

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BURSA İLİ KAYNAK SULARINDA RADON GAZI
RADYOAKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Fatih ALAKUŞ

Tez Danışmanı

Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN

Yozgat 2013

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BURSA İLİ KAYNAK SULARINDA RADON GAZI
RADYOAKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Fatih ALAKUŞ

Tez Danışmanı

Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBT-04-04 kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2013

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Fizik Anabilim Dalı 7011050022 numaralı öğrencisi Fatih ALAKUŞ 'un hazırladığı “**Bursa ili kaynak sularında radon gazı radyoaktivitesinin ölçülmesi**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 24/06/2013 Pazartesi günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mustafa BÖYÜKATA

Üye : (Danışman) Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümüt TEMİZER

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../20.....

Enstitü Müdürü
(Ünvanı, Adı Soyadı)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
GRAFİKLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Radyoaktivite	6
2.1.1. Radyoaktivite birimleri	8
2.1.2. Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri.....	9
2.1.2.1. Alfa (α) bozunumu.....	9
2.1.2.2. Beta (β) bozunumu.....	10
2.1.2.3. Gama (γ) bozunumu.....	11
2.1.2.4. İç dönüşüm (IC)	11
2.2. Radyasyon ve özellikleri.....	12
2.2.1. İyonlaştırıcı radyasyon.....	13
2.2.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	14
2.2.3. Radyasyon kaynakları.....	13
2.2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları.....	14
2.2.3.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	15
2.3. Radon ve özellikleri.....	15
2.3.1. Radon kaynakları	16
2.3.2. Sularda radon	17
2.3.3. Radon gazının sağlık üzerindeki etkileri	18
3. MATERYAL VE METOD	20
3.1. Bölgenin tanıtılması.....	20
3.2. Su numunelerinin toplanması.....	20

3.3. AlphaGUARD radon ölçüm cihazı	21
3.3.1. AlphaGUARD radon ölçüm cihazının dış yapısı	24
3.3.2. AlphaGUARD radon ölçüm cihazının iç yapısı	28
3.4. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması.....	31
3.5. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile sudaki radon ölçümü.....	32
3.6. Sudaki radon hesaplamaları.....	34
3.6.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları.....	35
3.6.2. Standart hata.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. AlphaGUARD Dedektörü İle Yapılan Ölçümler.....	37
SONUÇ	44
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	50

BURSA İLİ KAYNAK SULARINDA RADON GAZI RADYOAKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Fatih ALAKUŞ

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN

ÖZET

Bu çalışmada, Bursa ili kaynak sularında ki radon gazının mevsimsel radyoaktifliği ölçüldü. Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soygazlar sınıfında yer alan radon su, kaya ve topraktaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucu radon gazının solunmasından kaynaklanan akciğer kanseri riskinin arttığı ortaya konulmuştur. Kaynak sularındaki radonun radyoaktivitesi insan sağlığında önemli etkilere sahip olduğu bilindiği için bu çalışmanın önemi de ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyonu değerleri 0.62 Bq/L ile 50.96 Bq/L arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Radon, radyasyon, kaynak suları, sağlık.

**MEASUREMENT OF RADON GAS RADIOACTIVITY IN BURSA
WATER RESOURCES**

Fatih ALAKUŞ

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Master of Science Thesis**

Thesis Supervisor: Doc. Dr. M. Nureddin TÜRKAN

ABSTRACT

In this study, the seasonal radioactivity of radon gas in Bursa's spring waters has been measured. As a countless, scentless, tasteless element radon, which placed at noble gases with 86 atomic number, occurs as a result of radioactive decay of uranium in soil, water and rock. Because some of the radioactive decay products are alpha emitting, the biological importance of alpha radioactivity becomes more of issue. Researches carried out recently has shown that, lung cancer risk caused by inhalation of radon is getting higher and higher. As it is known that radon activity in spring waters has a significant effect on human health, the importance of this study becomes more clear.

In the present work Radon concentration values obtained from 0.62 Bq/L and 50.96 Bq/L.

Key words: Radon, Radiation, Spring water, Health.

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamda bana yol gösteren ve çalıőmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. M. Nureddin TÜRKAN' a çok teşekkür ederim.

Bu çalıőmaya destek veren Bozok Üniwersitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Çalıőmalarımın baőından beri beni hiç yalnız bırakmayan, çalıőmalarım sırasında sürekli bana destek veren ikinci danıőmanım Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK hocama, numunelerin alım yerlerinin belirlenmesinde, deney sonuçlarının her aőamasında yanımda bulunan Arő. Gör. Dr. Gizem AKKAYA ve Arő. Gör. Dr. Ayőegöl KAHRAMAN hocalarıma teşekkür ederim.

Numune alımlarım sırasında bana eőlik eden ve her türlü yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarım Tarkan AGURLU, Erkan KALKAN, Mehmet YILMAZ, Mehmet ÇİFCİ, Muammer AKKUŐ, Fatih ALPTEKİN, Murat GÜR, Fatih ACER ve Mahmut KURT' a teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalıőmalarım sırasında bana her türlü desteği veren eőim Tuğba ALTUN ALAKUŞ' a da sonsuz teşekkür ederim.

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1: Kış mevsimi ölçüm sonuçları.....	40
Tablo 4.2: İlkbahar mevsimi ölçüm sonuçları.....	41
Tablo 4.3: Bursa ili kaynak sularında radon konsantrasyonu sonuçları...	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1:	Numune alınan bölgeler haritası.....	21
Şekil 3.2:	AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörü.....	22
Şekil 3.3:	AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümleri.....	23
Şekil 3.4:	AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları.....	24
Şekil 3.5:	AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.....	25
Şekil 3.6:	Alpha GUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları.....	26
Şekil 3.7:	AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları.....	27
Şekil 3.8:	AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.....	28
Şekil 3.9:	AlphaGUARD dedektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi.....	29
Şekil 3.10:	AlphaGUARD' ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.....	30
Şekil 3.11:	Sudaki ölçüm düzeneği.....	32
Şekil 3.12:	Radon yayılma katsayısının (k) sıcaklık değişim grafiği.....	35

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 4.1: ^{222}Rn konsantrasyonu ölçümü örnek grafiği.....	37
Grafik 4.2: Sıcaklık ölçümü örnek grafiği.....	38
Grafik 4.3: Basınç ölçümü örnek grafiği.....	38
Grafik 4.4: Bağıl nem ölçümü örnek grafiği.....	39
Grafik 4.5: Muradiyesarnıç kaynak suyu radon konsantrasyonu ölçüm sonucu grafiği.....	39
Grafik 4.6: Bursa kaynak sularında radon konsantrasyonu mevsimsel sonuç grafiği.....	43

KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	: Analog-Sayısal Dönüştürücü (Analog Digital Converter)
Bq	: Becquerel
C	: Konsantrasyon Değeri
Ci	: Curie
DC	: Doğru akım (Direct Current)
DSP	: Dijital sinyal işleme (Digital Signal Processing)
L	: Litre
m	: Metre
mL	: Mililitre
mmHg	: Milimetre Civa
mSv	: Milisievert
n	: Nötron
p	: Proton
R	: Röntgen
Rn	: Radon
SI	: Uluslararası birim sistemi (System International)
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee On The Effect Of Atomic Radiation)
USEPA	: Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
V	: Hacim

α	: Alfa
β^-	: Beta Negatif
β^+	: Beta Pozitif
γ	: Gama
e^-	: Elektron
ν	: Nötrino
$^{\circ}\text{C}$: Santigrad Derece

1. GİRİŞ

Radyasyon yaşamın içerisinde olan ve genelde farkında olmadan tüm canlıların hayatını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen atom altı parçacıkların meydana getirdiği bir ışıdır. Radyasyon dünyanın her yerinde doğal olarak bulunmaktadır. Ancak sınır değerlerin üzerine çıkılmadığı müddetçe zararlı bir etkiye sahip değildir.

Günümüzde insan sağlığını tehdit eden dış faktörlerden bahsedildiğinde ilk aklı gelen nedenlerden biri de radyasyondur. Hiroşima ve Nagasaki'ye atılan nükleer bombalar, Çernobil ve Fukuşima nükleer santrallerindeki kazalardan dolayı çevreye yayılan radyasyon, insanların bu konudaki hassasiyetlerinin haklılığını ortaya çıkarmaktadır. Radyasyonun insan sağlığına etkileri araştırılmış ve bu araştırmaların ne kadar önemli olduğu belirlenmiştir. Özellikle Rusya'daki Çernobil ve Japonya'daki Fukuşima nükleer reaktör kazalarından sonra radyasyon konusu yeni bir bakış açısı kazanmıştır.

Yaşadığımız ortamda bulunan doğal radyasyonun yaklaşık yarısını teşkil eden radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünleri üzerinde radyoaktivitelerini ölçme çalışmaları hızla yapılmaktadır. Özellikle kaynak sularında, kaplıca sularında, toprakta ve kapalı ortamlarda yapılan radon gazı ölçümleri radyasyona bakış açımıza yeni ufuklar kazandırmıştır.

Bir bölgedeki radyoaktif kirliliğin bilinebilmesi içinde ölçümler yapılması gerekmektedir. Bu amaçla Bursa ili kaynak sularında radon gazı radyoaktivitesi ölçme çalışması 21 farklı lokasyon belirlenerek gerçekleştirildi.

Bir sonraki bölümde radyasyon hakkında genel bilgiler ve radon ölçümleri ile ilgili literatür özeti verildi. Materyal kısmında numunelerin alındığı Bursa bölgesi hakkında bilgiler verildi. Yöntem kısmında ise ölçümün teknikleri ve AlphaGuard dedektörünün özellikleri anlatıldı. En son kısımda elde edilen bulguların grafikleri ve tablosu verilerek tartışma ve sonuçla bitirildi.

2. GENEL BİLGİLER

Özellikle radyoaktif maddelerin yapay olarak elde edilmesine yol açan X-ışınları ve radyoaktivitenin keşfi radyasyonun kullanımı noktasında yeni yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. 1895 yılında keşfedilen X-ışınlarının keşfinden sadece altı ay sonra tıpta teşhis amacıyla kullanılması radyoaktivitenin önemine vurgu yapmaktadır. 1900'lü yılların başlarında bilim adamlarının farkında olmadan maruz kaldıkları yüksek dozda X-ışınları bu keşiflerle ulaşılan radyasyon olgusunun zararlı yönlerine de dikkat etmemiz gerektiğini de bize öğretmiştir. O günden bu güne kadar radyoaktivite ve radyasyon birçok farklı alanda kullanıla gelmiştir [1].

Tıpta tanı ve tedavide çarpıcı ilerlemelere önderlik eden iyonlaştırıcı radyasyonun ve daha birçok radyoaktif maddenin keşfi ile birlikte radyasyon insan hayatında endüstri, tarım ve araştırma alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Ancak gereksiz ya da gereğinden fazla bu tür radyasyon ışımalarına maruz kalınması insan hayatı için risk oluşturmaktadır [2]. Bu risk olasılığının yükselme periyodu ışınlanan kişinin doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından aldığı radyasyon miktarına bağlıdır. Bu bağlamda, nesli sürdürülebilir sağlıklı kuşakların geleceği adına radyasyondan korunma sistemini daha mükemmel bir hale getirmek bir zorunluluktur [1].

Günümüzde birçok insanın ölüm nedeni olarak sayılan kanser hastalıklarının sebeplerinden biride radyasyondur. Özellikle radyasyonun duyu organlarımız tarafından algılanamaması, insanlar için sinsi bir ölüm nedenidir. Ancak en büyük kaygı, nükleer içerikli silahların yaşamın doğasına aykırı ama insan doğasında hayat bulan savaşlarda kullanılma ihtimalidir. Radyasyonun zararları, nükleer enerji santrallerinde meydana gelen kazalarda etkilenen geniş alanlar ve toplumlarda Çernobil ve Fukuşima'da olduğu gibi açıkça gözükmemektedir [1].

Yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn gibi radyoaktif elementler ve uzaydan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyonun kaynağını oluşturmaktadırlar [3].

Radon ilk olarak 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiş olup, duyu organlarıyla algılanamayan, renksiz, tatsız, kokusuz bir gazdır. ^{238}U 'in radyoaktif bozunmasından oluşan, yaklaşık 1600 yıl yarı ömre sahip ^{226}Ra 'nın alfa yayınlaması sonucu oluşur. Radonun özellikle iki izotopu olan Toron (^{220}Rn) ve Aktinon (^{219}Rn) çevredeki radyasyon miktarını artırıcı etki yapmaktadır. Radonun bilinen bu iki radyoizotopunun olan yarı ömürleri çok kısa olup sırasıyla; 55.1 s ve 3.96 s'dir. Bu nedenle radon elementi 3.82 günlük yarı ömre sahip ^{222}Rn tarafından domine edilmektedir [4].

Uranyumun radyoaktif serisi içinde yer alan radonun yer altından havaya geçişi, toprak ve kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sular ile sağlanmaktadır. Bu nedenle radonla ilgili çalışmalar daha çok sulardaki ve topraktaki radonu tespit etmeye yönelik olarak yapılmaktadır. Buna ilaveten kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunun ölçülmesi de son derece önemlidir ve bu araştırmalar son yıllarda hız kazanmıştır [5].

Bu çalışmada Bursa ilinde önceden belirlenen 21 farklı kaynak suyundan alınan numuneler mevsimsel olarak kış ve ilkbahar mevsimlerinde ölçülmüştür. Bu ölçümler AlphaGUARD PQ2000PRO radon dedektörü ile analiz edilmiş ve uluslar arası standartlarla karşılaştırılmıştır. Böylece Radon gazının su kaynaklarındaki oranı analiz edilerek insan sağlığına etkileri açısından bir tespit yapılmıştır. Bursa ilinin engebeli coğrafik şartlarında ve zor hava koşullarında da çalışmalara devam edilmiştir.

İçme suyu olarak kullanılan bu kaynaklardaki radon gazının radyoaktivitesinin ölçülmesi, insan sağlığına olası radyolojik risk ve biyolojik zararın bilinmesi açısından çok önemlidir.

Bilindiği üzere canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli elemanlardan biri sudur. Bu nedenle suyun canlılar tarafından içilmesi ve kullanılması sağlık riski taşımayacak bir güvence içinde olmalıdır. İnsanlar su ihtiyacını yüzeysel sular ve yer altı su kaynaklarından elde etmektedir. Yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Bu durum, yer altı sularının yer altında bulunan radyoaktif kütlelerle ya da minerallerle temas etmesinden

kaynaklanmaktadır. Radyoaktivite konsantrasyonları, ortamın yapısal jeolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak, çok geniş bir aralıkta farklılıklar gösterir. Volkanik kütlelerle temas eden sulara ki radyoaktivite konsantrasyonu, tortul kütlelerle temas eden sulara göre daha yüksektir. Granit bakımından zengin olan bölgelerin yer altı sularında radon gazının ve uranyum ile toryum serisi ürünlerinin yüksek miktarda bulunduğu saptanmıştır. Ayrıca sismik faaliyet başlamadan önce yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle oluşan genişlemeler, kayalardan yer altı su sistemine radon geçişinin artmasına, dolayısıyla çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon yoğunluğunda bir artışın gözlenmesine neden olur [5].

Günümüze kadar yapılan ve sudaki radon konsantrasyonu ölçüm çalışmalarından bazıları aşağıda verilmiştir.

Gosink ve arkadaşları [6] 1990 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kuyu sularında yapmış oldukları çalışmalar sonucu radon konsantrasyonu değerini ortalama 39.96 Bq/L olarak ölçmüştür.

Sudaki radon konsantrasyonlarıyla ilgili Soto ve arkadaşlarının [7] 1995 yılında İspanya' nın kaplıcalarında yaptıkları ölçümlerde 824 Bq/L değerliği bulunmuştur. Bu nedenle ülkedeki bütün radyoaktif su kaynaklarının radon konsantrasyonlarının ölçülmesi, burada çalışan tüm elemanların ise radyasyona karşı koruyucu önlem alınmaksızın çalıştırılmamasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Lima ve Bonotto [8], 1996 yılında Brezilya'daki yer altı sularında var olan radon konsantrasyonunu ölçmüş ve 25.47 Bq/L ile 784.11 Bq/L arasında değişen değerler bulmuşlardır.

1999 yılında Suudi Arabistan'da Alabdua'aly'nin [9] yaptığı çalışmalarda ise, yer altı sularında ki radon konsantrasyonu değerleri 0.89 Bq/L ile 35.44 Bq/L aralığında gözlenmiştir.

Termal su bulundurma bakımından önemli ülkelerden biri olan Venezuela'nın kuzey bölgesindeki termal suların radon konsantrasyonu ile ilgili olarak Horvath ve arkadaşları [10], 2000 yılında yaptıkları çalışmalarda 1 Bq/L ile 500 Bq/L arasında

değerler elde etmişlerdir. Özellikle sulardaki doz hesaplamalarında değerler yılda 4 mSv'ye kadar ulaştığı bulunmuştur.

Yine Brezilya'da yapılan bir çalışmada Marques ve arkadaşları [11], 2004 yılında yaptıkları çalışmada yer altı sularındaki radon konsantrasyonunu 0.95 Bq/L ile 36 Bq/L arasında değişen değerlerde ölçmüşlerdir.

Yunanistan'da ki kaplıcalarda konuyla ilgili olarak Vogianis ve arkadaşları [12] 2004 yılında çalışmışlar, radon ve ürünlerinin değişimlerini gözlemlemek amacıyla termal suların radon konsantrasyonu değişimini gözlemlemişlerdir. Bu oranlar, 10 Bq/L ile 304 Bq/L aralığında değerler olarak elde etmişlerdir.

Song ve arkadaşları [13] 2005 yılında Çin'de dört farklı kaplıca otelinde NR-667A(III) radon dedektörü ile radon ölçümleri gerçekleştirmiş olup sıcak su kaynaklarında ki radon konsantrasyonunu 53.4 Bq/L ile 292.5 Bq/L aralığında ölçmüşlerdir.

Hırvatistan'da Radolic ve arkadaşlarının [14] 2005 yılında yapmış olduğu radon gazı konsantrasyonu ölçümü çalışmalarında dokuz ayrı kaplıca havuzunun jeotermal sularındaki radon düzeyleri belirlenmiş olup ortalama değer 40.3 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Macaristan'daki bir kaplıca merkezinde 2007 yılında radon çalışmaları yapan Somlai ve arkadaşları [15] radyasyon dozunu radon için 4.13 Bq/dm³ ile 6.70 Bq/dm³ aralığında belirlemişlerdir.

Komşu ülkemiz Yunanistan'daki kaplıcalarda Nikolopoulos ve arkadaşlarının [16] 2010 yılında yaptığı radon konsantrasyonu ölçümleri AlphaGUARD PQ2000 Pro cihazı ile yapılmış olup su örneklerinde 54 ± 10 Bq/L ile 297 ± 25 Bq/L aralığında değerler bulunmuştur.

Likit sintilasyon sayacı WinSpectral 1414' ü kullanarak Polonya'da bulunan 115 kaynak suyu ve kuyu suyu üzerinde, Koztowska ve arkadaşları [17] 2010 yılında su numuneleri alarak yer altı sularında aktif radon konsantrasyonunu belirlemeye dayalı çalışmalar yapmış olup 4.2 ± 0.4 Bq/L ile 1703 ± 55 Bq/L arasında sonuçlar

gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda tüketim için kullanılan 50 ayrı yer altı suyu veya çeşme suyu içinde doz hesaplanmış ve yıllık değerlerin 0.003 mSv ile 1.1 mS arasında değiştiği anlaşılmıştır.

Termal sularda radon konsantrasyonu çalışmaları İzmir ilinin Çeşme ilçesinde Barış [18] tarafından 2006 yılında yapılmış olup özellikle dört ayrı termal sudan ve onbir ayrı kuyu suyundan alınan numuneler CR-39 dedektörü ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda termal sulardaki radon konsantrasyonu ortalama değeri 0.207 Bq/L olarak 0.073 Bq/L ile 0.294 Bq/L aralığında ve kuyu sularında ise ortalama değeri 0.303 Bq/L olarak 0.086 Bq/L ile 0.493 Bq/L aralığında bulunmuştur.

2006 yılında Afyonkarahisar ve civarındaki termal suların radon konsantrasyonlarını AB-5R model radon dedektörü ile analiz eden Akkurt [19], radon konsantrasyonunun 0.085Bq/L ile 73.62 Bq/L aralığında olduğunu tespit etmiştir.

Güloğlu [20], 2007 yılında Çeşme bölgesinde bulunan aktif fay hatları üzerindeki kaplıcalarda altı farklı istasyonda radon konsantrasyonunu ölçmüş olup sudaki radon düzeylerini 1.38 Bq/L ile 33.24 Bq/L aralığında bulmuştur. Sıcak su kaynaklarında ki radon, kolektör yöntemiyle belirlenmiştir.

2007 yılında Marmara bölgesinin güneyinde Yalçın ve Gürler' in [21] yaptığı çalışmada Tennelec LB 1000-PW tipi cihaz kullanılarak analiz edilen su örneklerinde beta aktivitelerine rastlanmıştır. İçme suyu ve termal su kaynaklarında 0.06 Bq/L ile 0.74 Bq/L aralıklarında değerler ölçülmüştür. Özellikle su örneklerinin beta aktivitelerinin uluslar arası sağlık örgütleri tarafından tavsiye edilen değerlerin altında olduğu gözlemlenmiştir.

2.1. Radyoaktivite

İlk olarak radyoaktivite, Fransız fizikçi Becquerel' in 1896 yılında yapmış olduğu çalışmalarda uranyum tuzlarının fotoğraf filmlerini karartmasıyla keşfedilmiştir. Becquerel'in yapmış olduğu deneylerde kağıtla örtülü olduğu halde (bu kağıtlar ışık geçirmeme özelliğine sahip) yinede filmler etkilenmekteydi. Bu sonuçlar tıpkı görünür ışık gibi, fotoğraf filmi üzerindeki atomları iyonlaştırabilen bir ışığa türü olması gerektiğini göstermekteydi. Ancak bu ışığa görünür ışığın tersine kağıda da

geçebiliyordu. Bu tür ışıma radyoaktivite adı verildi ve sonraki iki yıl içinde Fransız fizikçilerden Marie ve Pierre Curie üç radyoaktif elementin daha (toryum, polonyum ve radyum) var olduğunu ortaya koydular. Bu çalışmalarından dolayı Becquerel ve Curie'ler 1903 yılında Nobel ödülünü almaya hak kazanmışlardır. Günümüzde radyoaktivitenin atom çekirdeğinden kaynaklandığı bilinmektedir. Becquerel'in henüz çekirdek yapısı anlaşılmadan 15 yıl önceki keşfi çekirdek fiziğinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir [22].

Bilinen çekirdeklerin yapısı incelendiğinde bu çekirdeklerin çoğunluğunun kararsız olduğu bilinmektedir. Esasen kararlılık bir çekirdeğin içinde bulundurduğu nötron ve proton sayıları arasındaki denge ile ilişkilidir. Radyoaktivitenin keşfinden bu yana yapılan tüm incelemeler, büyük kütle numarasına sahip kararlı çekirdeklerde proton sayısından daha fazla nötron olduğunu aynı zamanda küçük kütle numarasına sahip kararlı çekirdeklerde ise proton ve nötron sayısının eşit olduğunu göstermiştir. Çok fazla nötronu bulunan çekirdekler bir nötronu bir protona dönüştürerek, kendilerini çok daha kararlı bir yapıya kavuşturma eğilimindedir ve beta bozunumu olarak bilinen bu süreç, beta parçacığı olarak adlandırılmış negatif yüklü bir elektronun yayınlanması ile sonuçlanır. Çok sayıda protonu olan çekirdekler ise fazla protonları nötronlara dönüştürmek suretiyle pozitif yüklü elektron olan pozitron yayınlanması yapar ve böylece her pozitron ışınmasında bir pozitif yük eksilmiş olur [22].

Bu dönüşümler esnasında çoğu kez atom çekirdeği, gama ışınları olarak adlandırılan yüksüz ve kütsüz yüksek enerjili fotonlar yayarak fazla enerjisini kaybeder. Atom çekirdeği doğal olarak kendinden dönüşmekteyse buna doğal radyoaktivite denir. Bu dönüşüm eylemine bozunum, dönüşerek başka bir çekirdeğe değişen atom çekirdeğine ise radyoaktif çekirdek adı verilir [22].

Bazı ağır çekirdekler, Helyum çekirdeği yani alfa parçacığı yayınlamaya bozunurlar. Helyum çekirdeği yani alfa parçacıkları, beta parçacıklarından çok daha ağırdır ve iki değerlikli pozitif yük taşırlar [22].

Radyoaktif maddelerin saldıdığı ışınma, geçtiği noktalarda bulunan hava molekülleri ile etkileşerek bu molekülleri iyonlaştırdığı için, iyonlaşmış hava içinden geçen elektrik akımları radyasyonun ölçümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Üç tür

radioaktif ışımının var olduğu bilinmektedir. Rutherford tarafından bu ışımalar α , β ve γ ışınları olarak adlandırılmıştır. Havayı en çok iyonlaştıran ve madde içinde en kolay durdurulabilen ışın türü alfa ışınlarıdır. Bir kağıt yaprak bile alfa ışınlarını durdurmaya yeterlidir. Beta ışınları havayı iyonlaştırma ve madde içinden geçebilme açısından bazen etkilidirler. Bununla birlikte Beta ışınları, birkaç milimetre kalınlığında metal yaprakla durdurulabilmektedirler. Gama ışınları, havayı en az iyonlaştıran ve maddeyi en kolay geçebilen radioaktif ışım türüdür. Alfa, Beta ve Gama ışınları elektro manyetik alandan geçirilerek yapılan deneylerde ki gözlemlerden; alfa ışınlarının pozitif, beta ışınlarının negatif yük taşıdıkları ve gama ışınlarının ise yüksüz oldukları gözlenmiştir [22].

Herhangi bir dış etki olmadan bozulan elementlere doğal radioaktif elementler, bu bozunma olayına da doğal radioaktivite denir. Bozunuma uğrayan elementlerde doğada mevcut olan ve bilinen diğer radioizotopların bozunması sonucu ortaya çıkmaktadır [23].

Radioaktif çekirdekler laboratuarlarda da nükleer çekirdek reaksiyonları ile üretilmektedirler. Bu tür nükleer çekirdek üretimine yapay radioaktivite denir. Yapay radioaktivite ilk olarak Irene Curie ve Pierre Joilot tarafından 1934 yılında polonyumun doğal radioaktif bozunma sonucu çıkan alfa parçacıkları ile bombardıman edilmesi ile oluşan ^{30}P izotopunun gözlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu izotop 2,5 dakika yarı ömürle pozitron yayımlayarak bozulan bir çekirdektir [24].

Fisyon olayının keşfinden ve yapay radioaktivitenin bulunuşundan sonra bilim adamlarınca pek çok radioaktif madde üretilmiştir. Radioaktif olarak tanımlanan atomların radioaktif olma özellikleri, bu çekirdeklerin kararsız olmasından kaynaklanmaktadır. Olayın temel mantığı kararsız çekirdeklerin parçalanıp yeni bir çekirdeğin meydana gelmesi durumudur. Bu dönüşüm olayında radyasyon yayılımı görüldüğünden atomun uğradığı bu değişikliğe bozunma olayı adı verilir [5].

2.1.1. Radioaktivite Birimleri

Aktivite birimi Curie (Ci) bir saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gerçekleştiren çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır.

Aktivite birimi Becquerel (Bq) bir saniyede bir parçalanma gerçekleştiren radyoaktif çekirdeğin aktivitesi olarak tanımlanır.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ parçalanma/s}$$

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

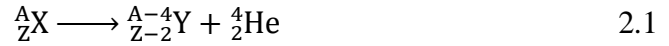
2.1.2 Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri

Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek kararlı bir yapı haline dönüşmek eğiliminin adıdır [25]. Bir radyoaktif çekirdek üç süreçten biri ile bozunmaya uğrar. Bunlar,

- a) Alfa (α) bozunumu
- b) Beta (β) bozunumu
- c) Gama (γ) bozunumu

2.1.2.1. Alfa (α) bozunumu

Bir çekirdek, alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}$) yayınlarsa, iki nötron ve iki proton kaybeder. Böylece N sayısı 2, Z sayısı 2 ve A sayısı 4 azalır. Bozunma sembolik olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:



Alfa bozunmasında çekirdeğin atom numarası ve kütle numarası değiştiğinden element başka bir elemente dönüşür [26].

Doğal radyoaktif maddeler tarafından yayımlanan ışınlar içinde delme gücü en zayıf olanı alfa parçacıklarıdır. Rutherford 1903 yılında alfa parçacıklarının yükünün kütleyle oranını, radyumun bozunmasından oluşan alfa parçacıklarının elektrik ve manyetik alanda sapmalarından yararlanarak ölçmüştür. Yine 1909 da Rutherford, alfa parçacıklarının tıpkı teoride düşündüğü gibi gerçekte helyum çekirdekleri olduğunu göstermiştir. Yapmış olduğu deneyde parçacıklar havası boşaltılmış ince duvarlı bir odanın duvarlarından nüfuz ederek odanın içine girmektedir. Rutherford birkaç gün bekledikten sonra yaptığı atomik spektroskopi ölçümleri ile odanın içinde helyum gazının varlığını ortaya çıkarmıştır. Birçok ağır çekirdek, özellikle doğal

radioaktif seri üyeleri alfa yayınlamak bozunurlar. Esasında alfa yayınlaması bir Coulomb itmesi olayıdır [24].

2.1.2.2. Beta (β) bozunumu

Çekirdeklerin negatif elektron yayınlamaları ilk gözlenen radyoaktif olaylardan biridir. Bu olayın tersi, yani bir çekirdeğin atom elektronlarından birini yakalaması ise 1938'de Alvarez'in çekirdek tarafından yakalanan atom elektronunun boşalttığı yerin doldurulması sırasında yayınlanan karakteristik X ışınlarını bulmasına kadar gözlenememiştir. 1934'te Joliot-Curies ilk kez radyoaktif bozunmada pozitif elektron (pozitron) yayınlaması olayını gözlediler ve böylece pozitron keşfedildi. Bu üç olay birbiri ile yakından ilgili olup beta bozunumu olarak adlandırılır [24].

En temel beta bozunma reaksiyonu bir protonun bir nötrona veya bir nötronun bir protona dönüşmesi olaylarıdır [24]. Bir radyoaktif çekirdek beta bozunumu yaptığında, ürün çekirdek ana çekirdekle aynı sayıda nükleon içerir. Atom numarası, protonların sayısının değişmesi anlamında 1 kadar değişir.



Burada e^- sembolü elektronu ve e^+ sembolü ise pozitronu göstermek için kullanılır. Beta parçacığı terimi bunların genel adıdır. Alfa bozunmasında olduğu gibi nükleon sayısı ve toplam yük, beta bozunmasında da korunur. Bu bozunmalarda çekirdekte bulunmayan elektron veya pozitron yayınlanır. Bunlar, bozunma anında, bozunan çekirdeğin durgun enerjisinden oluşturulur [26]. Beta bozunumu bu eşitliklerle tümü ile açıklanamamıştır. Daha sonradan yapılan çalışmalar sonucunda pozitron bozunumunda nötrino, elektron bozunumunda ise antinötrino yayımlandığı bulunduğundan bu olayla ilgili denklemlerin aşağıdaki gibi olması gerektiği belirlenmiştir,



2.1.2.3. Gama (γ) bozunumu

Nükleer reaksiyonların birçoğunda olduğu gibi bütün alfa ve beta bozunumlarının hemen hemen hepsinde, ürün çekirdek uyarılmış durumda bırakılır. Bu uyarılmış durumlar daha sonra kısa bir süre içinde bir veya daha fazla gama ışını yayınlamak taban duruma bozunurlar. Gama ışınları, X ışınları veya görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyon fotonlarıdır. Gama ışınlarının enerjileri tipik olarak 0,1 MeV ile 10 MeV arasında olup çekirdek durumları arasındaki enerji farkı mertebesindedir. Bu durum gama ışınlarının enerjilerinin diğer ışımalarla göre daha yüksek olduğunu göstermektedir [24].

Nükleer spektroskopi hakkındaki bilgilerimizin ayrıntı ve zenginliği, uyarılmış düzeyler hakkında bildiklerimize bağlıdır. Bu nedenle gama ışını yayınlanması ile ilgili çalışmalar nükleer spektroskopinin sürekli kullanıla gelen standart tekniği haline gelmiştir. Bu metodun güncelliğine ve kullanılabilirliğine katkı sağlayan diğer faktörler ise gama ışınlarının nispeten daha kolay gözlenebilmesi ve enerjilerinin ölçülebilme hassasiyetinin artırılabilmesine yöneliktir [24].

2.1.2.4. İç dönüşüm olayı

Çekirdek ile ilgili olaylardan biri olup, çekirdekteki fazla enerji doğrudan yörüngedeki bir elektrona iletilerek bu elektron yörüngeden fırlatıldığında gerçekleşir. Bu esnada elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden daha küçüktür, çünkü enerjinin bir kısmı elektronu bağlı bulunduğu yörüngeden koparabilmek için harcanmıştır. Bu sebeple, elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden, elektronun bağlanma enerjisinin çıkarılmasına eşittir. İç dönüşüm olayı genellikle K yörüngesi elektronları ile olursa da bazen diğer yörünge elektronları da bu olaya karışabilir. Bu olayda foton yoktur yani çekirdeğin enerjisi doğrudan atomun elektronlarına iletilir. Bu iletim olayı doğrudan sağlanır ve böylece elektron yörüngeden fırlatılır. Yörüngeden ayrılan elektrondan dolayı yörüngede bir elektron boşluğu olduğundan, bu boşluğu diğer yörüngelerden bir elektron gelerek doldurur ve bu sırada bir X-ışını yayınlanır. Bu X-ışını, belirli bir atom ve yapıya bağlı olarak o elemente ait karakteristik ışındır. Yayınlanan karakteristik X-ışınları elektron yakalanmasında birinci ürünün karakteristiğidir. İç dönüşümde nükleer yükte bir değişim yoktur ve yayınlanan

karakteristik radyasyon orijinal atoma aittir. İç dönüşümde yayınlanan elektron belli bir elementten aynı enerji ile salınır ve buna beta ışını çizgi spektrumu denir. Belli bir ışın yayınlayan radyoaktif madde incelendiğinde, parçacıklarının devamlı bir spektrumu olduğu ve bu belli spektrum üzerinde bir çizgi spektrumu varsa bunun da bir iç dönüşüm nedeniyle meydana gelen beta ışını çizgi spektrumu olduğu söylenir [5].

2.2. Radyasyon ve özellikleri

Maddenin kendiliğinden veya çevreden aldığı enerji etkisiyle dış ortama saldığı parçacık veya foton yapısındaki dalga türünde enerjiye radyasyon denir [27].

Elektromanyetik radyasyonların tipleri artan frekans sırasına göre; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar şeklinde adlandırılmıştır. Kaynakları farklı olan bu ışınların ortak yönü; maddeye ve insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Farklı radyasyonların frekansları farklı olduğundan enerjileri ve dolayısı ile giricilikleri de farklıdır. Ancak görünür ışık gibi düşük enerjili ışınlar girici değildir. Bununla birlikte X-ışınları ve gama ışınları, özelliklerinin görünür ışıkla tamamen aynı olmasına rağmen, giricilik yönüyle görünür ışıktan ayrılırlar. Çünkü frekans değeri ve enerjileri yüksek, dalga boyları kısadır [5].

Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etki bakımından iki grupta incelenebilir [28]:

1. İyonlaştırıcı radyasyon

- a) X-ışınları
- b) Alfa parçacıkları
- c) Beta parçacıkları
- d) Gama ışınları
- e) Kozmik ışınlar

f) Nötronlar

2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

a) Ultraviyole ışınlar

b) Kızılötesi ışınlar

c) Radyo dalgaları

d) Kozmik ışınlar

e) Baz istasyonları

f) Cep telefonları

g) Mikrodalga fırınlar

h) Radarlar

i) Yüksek gerilim hatları

Yukarıdaki sınıflandırmada iyonlaştırıcı olmayan radyasyon tamamen zararsız değildir. Örneğin mikrodalga fırında üretilen radyasyondan korunmak üzere kapak kısmına özel cam yerleştirilmiştir.

2.2.1. İyonlaştırıcı radyasyon

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü enerji düzeyine sahip, alfa ve beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdikleri etki iyonlaştırma (iyonizasyon) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden sapması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir [5].

İyonlaştırıcı radyasyon kozmik ışınlar, X-ışınları ve radyoaktif maddelerden yayımlanan radyasyonu içerir.

2.2.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun özelliği, atomlarla etkileşime girebilecek kadar yüksek değerde olmayan enerji düzeylerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde değişimlere sebep olduğu halde, organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmamasıdır [29].

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kızılötesi ışık, morötesi ışık, radyo dalgaları ve mikro dalgaları içerir.

2.2.3. Radyasyon kaynakları

Çevremizde radyasyon kaynakları doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere iki kısma ayrılır. Dünyanın oluşumuyla birlikte uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerin varlığı doğada bulunan radyasyonun ana kaynağıdır. Bunun yanında teknolojideki gelişmelere paralel olarak ilerleyen nükleer reaksiyon denemeleri de doğadaki radyasyon düzeyinin artmasında etkili olmuştur. Bunlar yapay radyasyon kaynaklarıdır. Son zamanlarda ortaya çıkan nükleer denemeler, alınan radyasyon miktarındaki artışa neden olmuş olsa da dünya genelinde ki yapay radyasyon kaynaklı alınan doz %15 iken doğal radyasyon kaynaklarından alınan doz %85 oranındadır [1].

2.2.3.1. Doğal radyasyon kaynakları

İnsanlar yaşam standartlarına, coğrafi şartlara ve yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olarak yıllık toplamda ortalama 2,4 mSv doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar. Canlılar hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar nedeniyle su ve gıda gibi doğal kaynaklardan radyasyon almaktadırlar. Dolayısıyla tüm canlılar faydalı olarak niteleyebileceğimiz ve hayatın enerji kaynağı olan bu radyasyonla birlikte yaşamaktadırlar [5].

Doğada toprak, su gibi doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Ölçümler radon gazından dolayı canlılar tarafından maruz kalınan dozun %50 olduğunu ve bu yolla

alınan yaklaşık yıllık dozun 1,3 mSv civarında olduğunu göstermektedir. Buna göre doğal radyasyon kaynaklarının başlıcaları ve oransal değerleri şu şekildedir [3]:

- | | |
|------------------------|--------|
| a) Kozmik radyasyon | % 14,8 |
| b) Gama radyasyonu | % 17,5 |
| c) Vücut içi ışınlanma | % 8,7 |
| d) Radon | % 49,4 |
| e) Yiyecekler | % 9,5 |

2.2.3.2. Yapay radyasyon kaynakları

Teknolojinin gelişimi, insanlığın yaşam standartlarının yükselmiş olması, sağlık alanındaki gelişmeler, enerji ihtiyacındaki artma insanoğlunun radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üreterek kullanmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Nükleer santrallerle termik santraller kıyaslandığında güvenlik tedbirleri doğru uygulanmak şartıyla nükleer santrallerin üstünlüğü ortadadır. Daha az maddeyle çok fazla enerjinin üretilmesi ve doğaya salınan gazların azaltılmış olması nükleer enerji gereksinimini vazgeçilmez hale getirmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar doğal radyasyon kaynaklarından alınan doz miktarının yapay kaynaklardan alınan doz miktarından çok daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Yapay radyasyon kaynakları kontrol altında olduğundan alınacak doz miktarının da az olduğu söylenebilir. Yapay radyasyon kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir [19].

- Nükleer güç santralleri
- Tıbbi uygulamalar
- Nükleer tıp
- Radyoterapi
- Endüstriyel uygulamalar
- Nükleer serpinti
- Tüketici ürünleri

2.3. Radon ve özellikleri

Radon, renksiz, kokusuz, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soygazlar sınıfında yer alan asal radyoaktif bir gazdır. Diğer elementlerle kimyasal tepkimeye girmez.

Donma noktası $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası ise $-61,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Yoğunluğu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $9,72\text{ g/L}$ dir. Radyoaktif radyumun (^{226}Ra) stabil özellikteki kurşuna (^{206}Pb) dönüşümü sırasında meydana gelir [30]. Radon yeryüzünde bulunan radyasyon kaynakları içerisinde en yüksek orana sahip olan doğal radyasyon kaynağıdır.

^{222}Rn , doğal radyasyon kaynaklarından olan 4,5 milyar yıl yarı ömre sahip ^{238}U serisinin bir elemanıdır. Uranyum serisi içinde yer alan, yarı ömrü 1600 yıl olan alfaaktif ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucunda ortaya çıkar [31].

^{226}Ra , radon oluşumunda bir üreteç görevi görmekle birlikte aynı zamanda uzun yarı ömürlüdür. ^{226}Ra , toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmakta dolayısıyla uranyum serisinin bir elemanı olarak geniş bir dağılım göstermektedir. Genellikle kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) ile denge halinde bulunur [32].

^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn , 35 izotopa sahip radon ailesinin üç ana izotopudur. Radon, toron ve aktinon olarak adlandırılan bu yapılar aynı zamanda radyoaktif soygazlardır. Uranyum, toryum ve aktinyum zincirine ait ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th başlangıç radyo izotopları özellikle bazı inşaat malzemelerinde, kayalarda ve toprakta çok fazla miktarda bulunmaktadır. Radon uranyum serisinin, aktinon aktinyum serisinin, toron ise toryum serisinin üyeleridir [33].

Konsantrasyon ölçümlerinde radon daha uzun yarı ömürlü olması nedeniyle ön planda tutulmaktadır. Radonun diğer izotoplarına göre ortamda daha yüksek oranda bulunmasının nedeni ^{238}U elementinin doğadaki izotopik bolluğunun diğer izotoplara göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [34].

Havadaki yayılma hızlarının yüksek olması nedeni ile Radon ve ürünlerine atmosferin her yerinde rastlanmaktadır. Bu olgu bize radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerde olası uranyum madenlerinin rezervinin de bulunduğunun ipuçlarını vermektedir [35].

2.3.1. Radon kaynakları

Uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşan radon az miktarda da olsa uranyum bulunan toprak ve kaya ortamlarından etkileşim içerisine girerek ortama

sızar. Bu sızmanın miktarı bölgeye, zamana, meteorolojik şartlara ve yerden yüksekliğe bağlıdır. Radon sızmasını arttıran diğer bir etmen atmosfer basıncı düşükken topraktaki havanın basıncındaki düşüşün gerçekleşmesidir. Radonun topraktan kaçmasını kolaylaştıran diğer bir etmende sıcaklığın yükselmesi sonucu toprağın kuruması ve gözeneklerin çoğalmasının gerçekleşmesidir. Ancak yağışlı havalarda yüzeydeki toprak nemlendiğinden gözeneklerin kapanması ile radonun yukarı doğru difüzyon yoluyla geçmesi zorlaştığından toprak yüzeyindeki radon yoğunluğu azalır [19].

Yapılan incelemeler göstermiştir ki radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi deniz düzeyinden yüksekliğe göre de farklılık göstermektedir. Kaynağı toprak olan radonun çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı konsantrasyon yükseklikle birlikte sabit bir şekilde azalma gösterir [4].

Radon bulunduğu coğrafi bölgenin jeolojik yapısıyla da yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Özellikle granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Araştırmalarda radon konsantrasyonunun sedimanter topraklarda düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra bazı tebeşir çökelti bölgelerinde az miktarda da olsa radona rastlamak mümkündür. Radon salınımı yapabilme özelliğine sahip yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslarda da radona rastlamak mümkündür [28].

2.3.2. Sularda radon

Yer altı suları yüzeye çıkarken uranyum kayaçlarına temas ederek uranyum ve radyumun çözünmesine sebep olur ve radon, su taneciklerince absorbe edilerek bu yolla yüzeye çıkar. Bu nedenle uranyum yataklarının bulunabilmesi için kuyu suları, kaynak suları ve jeotermal sularda radon konsantrasyonunun ölçülmesi gerekmektedir. Özellikle termal suların, yüzeydeki kaynak sularına göre daha derinden gelmeleri ve sıcak olmaları uranyum tuzlarının erimesine neden olduğundan yüzeydeki radon konsantrasyonunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

2.3.3. Radon gazının sağlık üzerindeki etkileri

İnsan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerden biri kapalı alanlarda hava kirliliğine yol açan radon gazıdır. Buna göre radon uzun vadede uzun süre solunduğu takdirde kansere neden olmaktadır. Esasında az miktarda radyasyona dayanıklı olan insan vücudu doz artışında dayanıklılığını kaybetmektedir. Akciğerin en küçük dokularına nüfuz eden radyoaktif partiküller alveollere zarar verebilmektedir. Akciğer kanseri üzerinde yapılan araştırmalarda uranyum madencilerinin bu hastalığa yakalanma riskinin yüksek olduğu görölmüştür. Radyasyonun en büyük zararı insanın genetik maddesi olan DNA (deoksiribonükleik asit) molekülünde mutasyona neden olmasıdır. Üreme hücrelerinde meydana gelen DNA mutasyonları gelecek nesillere de aktarılabilidiğinden nesiller boyu çeşitli hastalıklara neden olabilmektedir. Bunun en açık örneği Hiroshima ve Nagasaki'ye atılan atom bombalarının radyasyon etkisinden etkilenmiş bireylerin çocuklarında da bu mutasyonların kendisini göstermesidir [36].

İncelenen akciğer kanseri vakalarında neden olarak karşımıza Uranyum-238'in radyoaktif bozunma ürünü olan radon çıkmaktadır. Bozunma esnasında yaydığı alfa taneciği organizmanın moleküler yapısına zarar verdiğinden radon ve ürünleri birçok zehirli gazdan daha çok kanserojen etkiye sahiptir. Bu konuda Jostes' in yaptığı literatür taraması radonun aynı dozdaki kobaltdan 13 kat daha zararlı olduğunu göstermiştir [36].

1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği Bölümü'nce başlatılan 'Türkiye'de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi' kapsamında ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçölmemiş olduğundan hem radon gazı düzeyinin mevsimsel değişimini hem de bölgesel değişimini incelemek üzere çalışmalar yapılmış olup halen bu çalışmalar sürdürölmektedir [37].

Radon gazı radyoaktivitesinin ölçölmesi çalışmaları hem sağlık fiziği açısından hem de deprenselliğin bilinmesi açısından önemli olduğu bilindiğinden tüm dünyada ve ölkemizde de devam etmektedir. Bu çalışmayla Bursa ili kaynak sularındaki radon

gazı radyoaktivitesinin ölçülmesi kabaca Bursa ili radon gazı haritasının çıkarılmasına katkı sağlamaktadır.

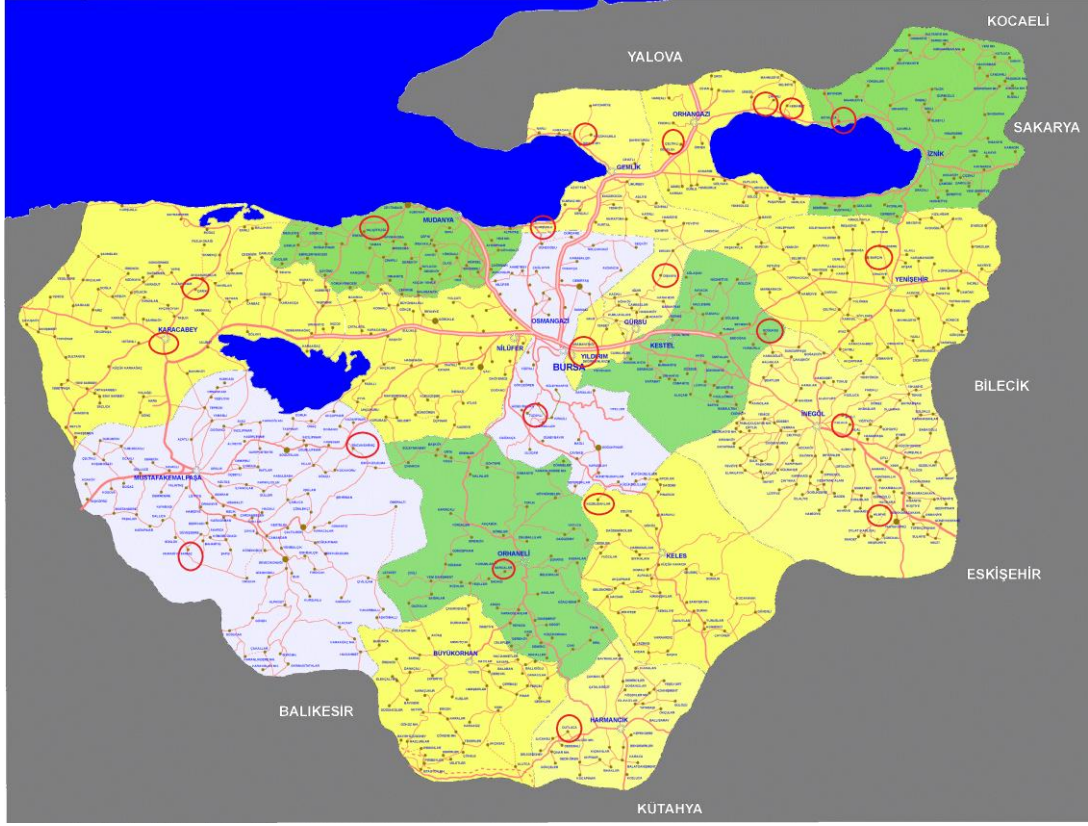
3.MATERYAL VE METOD

3.1. Bölgenin tanıtılması

Bursa ili Şekil 3.1 de görüldüğü gibi kuzeydoğusunda Sakarya, güneydoğusunda Kütahya, doğusunda Bilecik, güneybatısı ve batısında Balıkesir ve kuzeyinde ise Marmara Denizi, Yalova, Kocaeli'nin bulunan, uzun süre Osmanlı devletine başkentlik yapmış olan güzel bir ilimizdir. Toplam 10819 km² lik yüz ölçümüne sahip 17 ilçesi bulunan Bursa ili Marmara Bölgesinde bulunmaktadır. İlin özellikle turizm açısından en önemli yeri 2543 m yüksekliğindeki Uludağ'dır. Aynı zamanda Gemlik Körfezinin kuzeyinde yer alan Boz Burun ile İznik Gölü arasında uzanan 1602 m yüksekliğe sahip Samanlı Dağları, İznik Gölünün güneyinde 1283 m yüksekliğinde Katırlı Dağları ayrıca Mudanya Dağları, Kara Dağ, Asarak Dağları, Sinan Dağları, Gökçedağ ve Eğrigöz Dağı yörenin önemli yükseltileridir. Bu ilde Bursa Ovası, Karacabey Ovası, İnegöl Ovası, Orhangazi Ovası, İznik Ovası, Yenişehir Ovası, Mustafakemalpaşa Ovası ve Çayırköy Ovası en önemli düzlük alanlardır. Bunun yanı sıra İznik Gölü (298 km²) ve Uluabat (Apoliyont) Gölü (134 km²) de bu ilin sınırları içerisinde [38].

3.2. Su numunelerinin toplanması

Yapılan planlamalar doğrultusunda alınan su numuneleri 500 mL'lik pet şişelere doldurularak ölçüm için laboratuara götürülmüştür. Su numuneleri alınırken pet şişeler birkaç defa çalkalanmış, ağzına kadar su doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Alınan numuneler sabah erken saatlerde alınmış ve zaman kaybetmeden Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Çevre Aktivasyon Ölçüm Laboratuvarına götürülerek ölçümler yapılmıştır. Bu bağlamda su numunelerinin alındığı lokasyonlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Numune alınan bölgeler haritası [39].

3.3. AlphaGUARD radon ölçüm cihazı

AlphaGUARD PQ2000PRO Radon ve yan ürünlerine ait radyasyonu ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon dedektörüdür. Bu cihazla sudaki, havadaki, topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyasyon ölçümleri yapılabilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçlarını Bq/m^3 cinsinden veren cihaz, aynı anda ölçüm yapılan ortamın sıcaklığını ($^{\circ}C$), atmosfer basıncını (mbar) ve nem oranını (% rH) da belirleyebilmektedir. AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörü, alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan bu tip radyasyonu ölçmeye uygun iyonizasyon odalı bir cihazdır. Bu dedektör yüksek Radon ölçüm hassasiyetine sahip olup yoğunluk gradientleri ile küçük yoğunluk dalgalanmalarını algılayabilecek derecede hassas bir elektronik yapıya sahiptir. Cihaz uzun süreli ölçümler yapabilmekte olup ölçümler sırasında hem doğrudan bir güç kaynağına bağlanarak

hem de yüksek kapasiteli piller kullanılarak ölçümün yapılabildiği bir alettir. Şekil 3.2 de AlphaGUARD PQ2000PRO dedektörü görülmektedir [31].



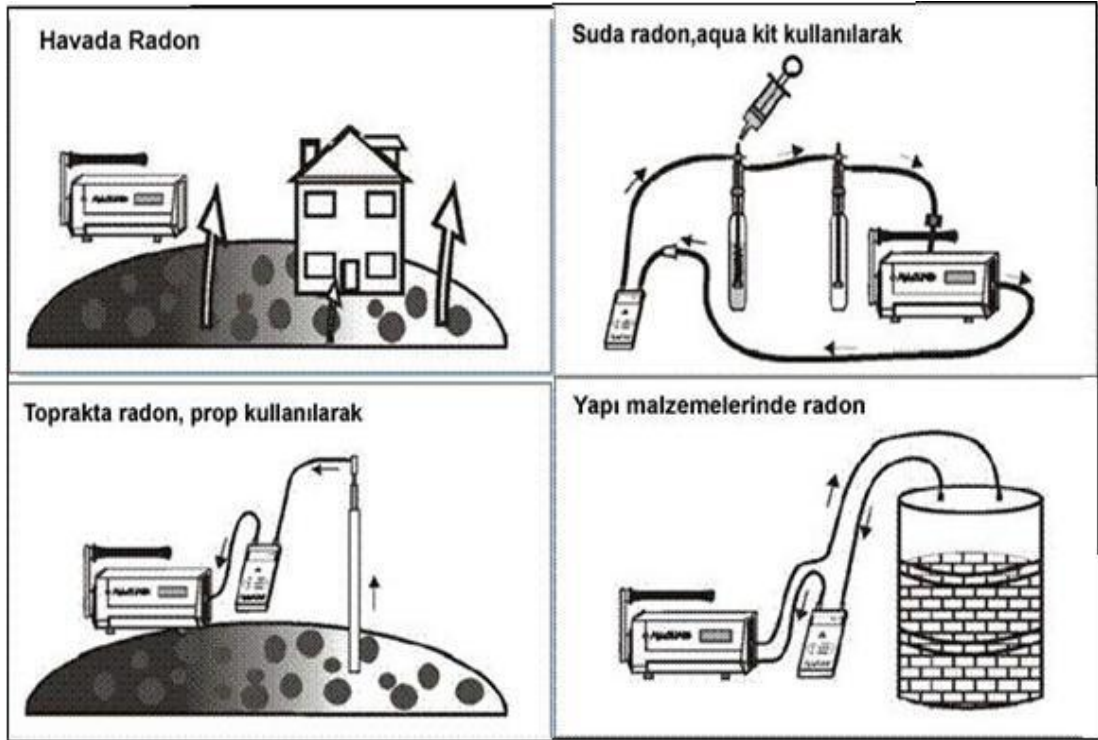
Şekil 3.2 AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörü

AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörünün çalışma prensibi şöyledir: Ölçüm ünitesine bağlanmış olan bir emme pompası yardımı ile hava dedektör iyonlaşma odasına çekilir. Sonuçta iyonlaşma odasına giren Radon-222 ve Radon-220 izotopları bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olur ve bir elektrik sinyali meydana getirir. Sürekli olarak gerçekleşen emme esnasında radon yan ürünleri plaka şeklindeki filtre tarafından tutulur ve üzerinde biriken radon yavru ürünlerinin alfa aktiviteleri ile birlikte filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemcili modül olan, alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip vasıtasıyla ölçülür. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrik sinyalleri, radon dedektörünün Counter-Modül sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilir. Algılanan veriler dedektörün kalibrasyon bilgileri kullanılarak yerleştirilen bir yazılım tarafından okunabilir veriler haline dönüştürülür [31].

AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörü için geliştirilmiş bulunan çeşitli yazılım paketleri yardımı ile alınan verilerin grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi,

arşivlenmesi ve sanal ortama sunulması yine bu yazılım paketi ile mümkündür. Bu cihaz için kullanılan yazılımların isimleri AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve en son geliştirilmiş olan DataEXPERT' dir. İlk iki yazılım türü sadece DOS ortamında çalışmakta ve Radon dedektörü ile bir RS232 port yardımı ile haberleşmektedir [31].

AlphaGUARD PQ2000PRO Radon dedektörünün atmosferde veya havada yapacağı ölçümler için ayrıca bir aparata gerek duyulmamaktadır. Fakat suda, toprakta ve yapı malzemelerinde Radon ve yan ürünlerinin yoğunluklarının tayin edilmesi için bazı aparatların kullanılması gerekmektedir. Suda yapılacak ölçümler için AquaKit adı verilen aparat kullanılmaktadır [31].

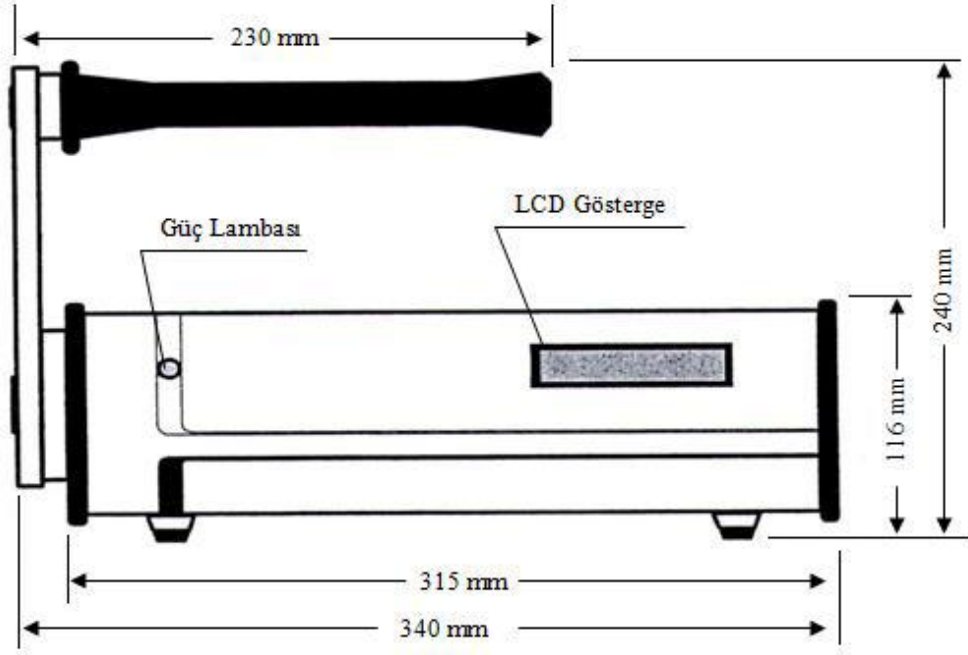


Şekil 3.3 AlphaGUARD dedektörü ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümleri [31].

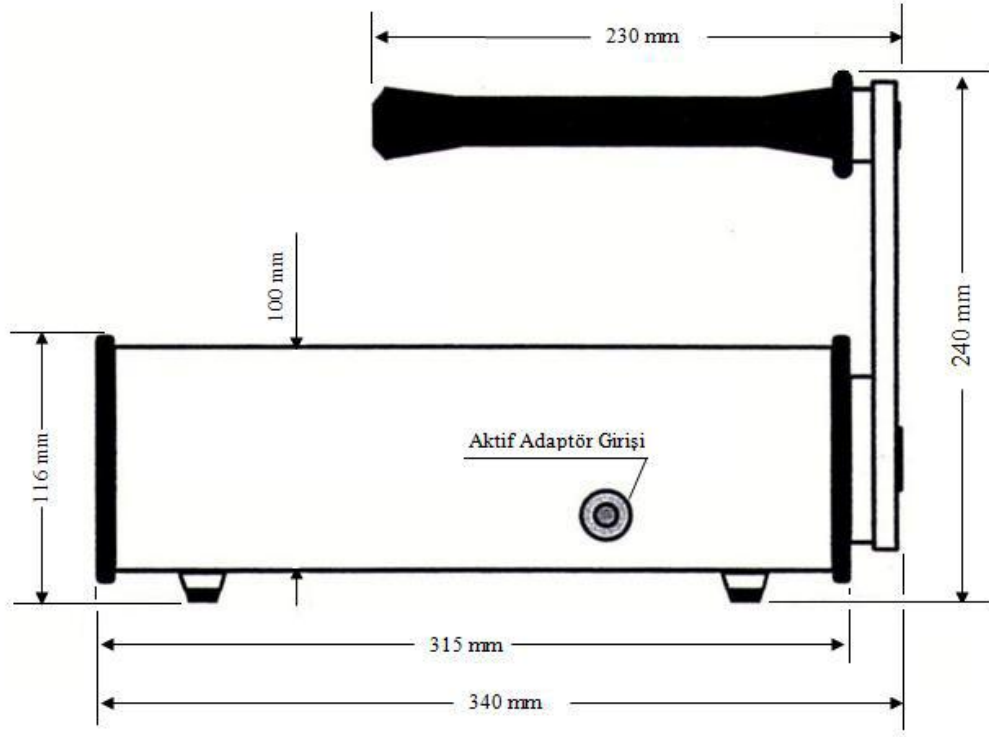
AlphaGUARD'ın içinde çeşitli lokasyonlarda veri toplanması için taşınabilir bir veri toplama sistemi ve aynı zamanda toplanan verilerin saklanabilmesi için bir veri depolama sistemi mevcuttur. Depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için veri analiz yazılımı ile birlikte çalışılmaktadır. Yerinde aktif ölçümler yapmayı sağlayan AlphaGUARD cihazı ayrıca bilgisayara bağlanarak ölçüm sırasındaki değişimlerde gözlenebilmektedir [40].

3.3.1. AlphaGUARD radon ölçüm cihazının dış yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon dedektörü dayanıklı alüminyum bir gövde içerisine yerleştirilmiş olup bu gövde içerisinde dedektörün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri bulunmaktadır. Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’da AlphaGUARD cihazının farklı görünüşleri ve bazı ebatları verilmiştir [40].



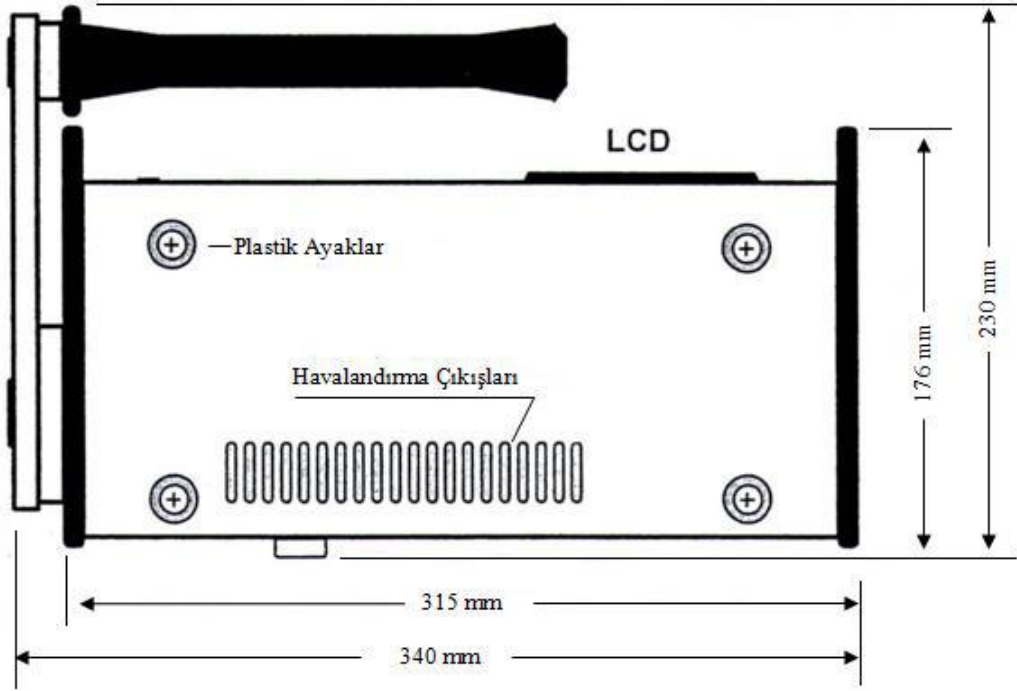
Şekil 3.4 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları [40].



Şekil 3.5 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları [40].

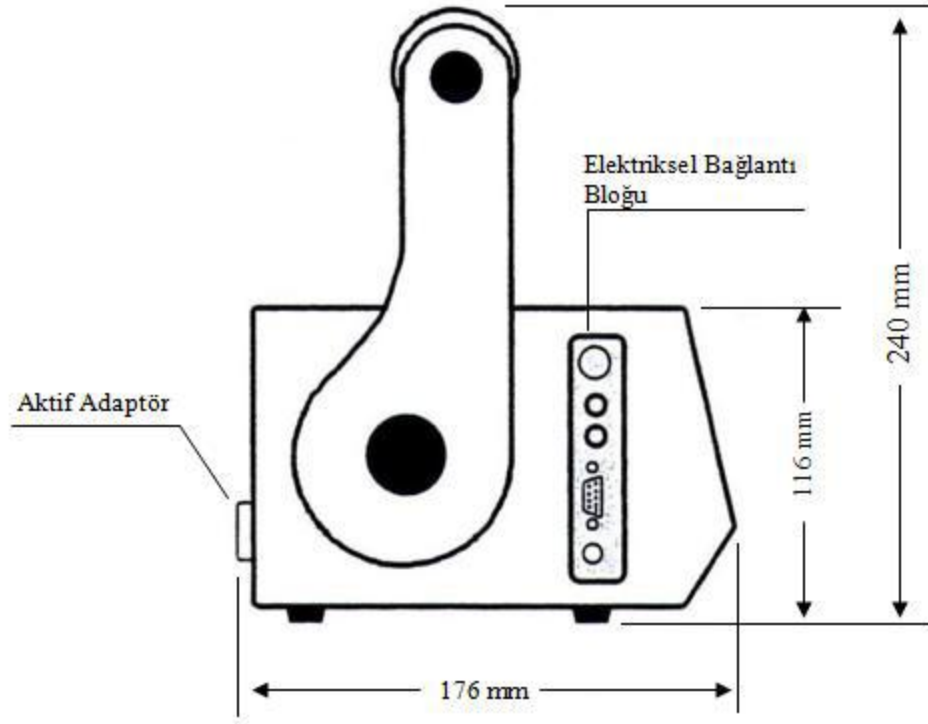
Cihazımızın arka kısmı incelendiğinde bu bölgede bulunan vida yuvası plastik bir kapla kapatılmış olup bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlamakta olup diğer bir ifadeyle buradan dedektör içine hava girişi sağlamaktadır [40].

Cihazın yerle temasını kesmek için plastik ayaklar vardır. Aynı zamanda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen bu yapıda havalandırma çıkışları bulunmaktadır. Sıcak havalarda uzun süreli kullanımlar için ısınan cihazın soğutulmasını sağlamak üzere iç kısmına bir fan yerleştirilmiştir [23].



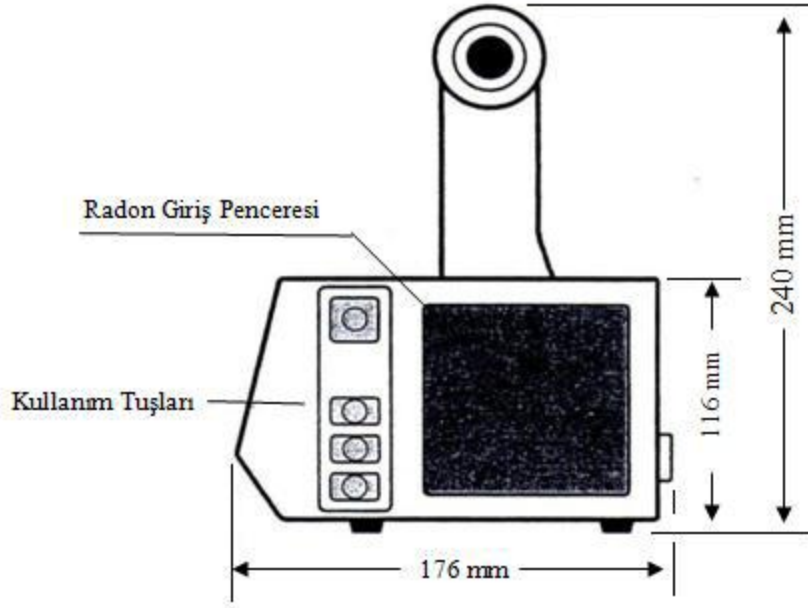
Şekil 3.6 Alpha GUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları [40].

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensör girişi için bir adet MINI-DIN-8S soketi, 2 adet 4 mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için 1 adet RS-232 girişi ve 12 V DC adaptör girişi bulunmaktadır (Şekil 3.7) [40].



Şekil 3.7 AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları [40].

Cihazın sağ tarafında korumayla kapatılmış radon gazı giriş paneli ve AlphaGUARD menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır (Şekil 3.8) [40].



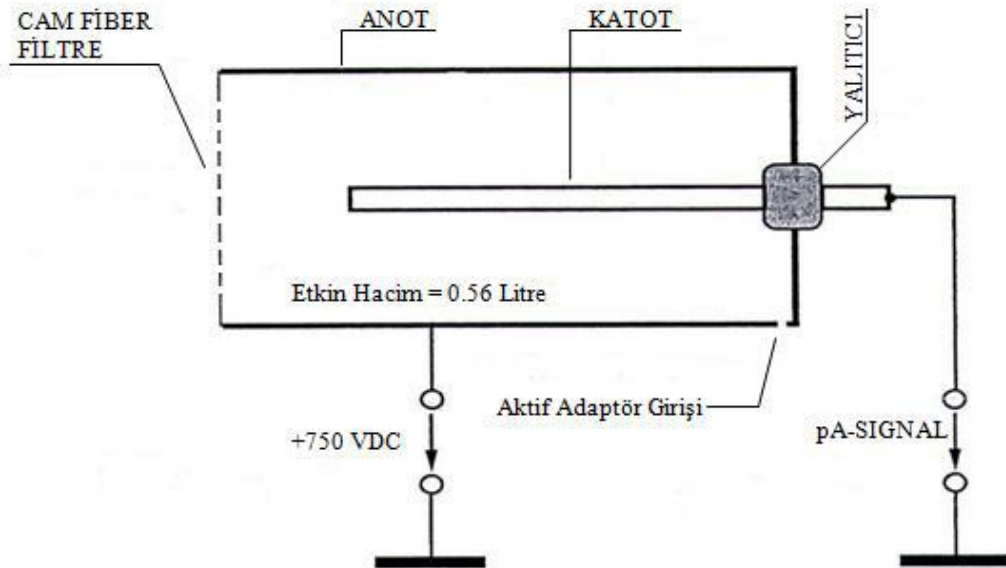
Şekil 3.8 AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları [40].

3.3.2. AlphaGUARD radon ölçüm cihazının içyapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO Radon dedektörünün asıl önemli kısmı içyapısıdır. Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan dedektör (atma iyonizasyon çemberi) ve dedektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal veri haline getiren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır. Radon, Toron ve bunların yan ürünlerinin sürekli ölçülmesini amaçlayan birçok cihaz ve bunların kullandıkları çeşitli tiplerde dedektörler mevcuttur. Seçilecek dedektörler ölçümün amacına, hassasiyet sınırlarına, ölçümün yapılacağı yerlere ve buralardaki radyasyon yoğunluğuna ve maliyete göre belirlenmektedir. Örneğin radyasyon yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde ölü zamanı daha küçük bir dedektör seçilmesi gerekmektedir. Bir radyasyon dedektörü için 'ölü zaman' dedektörün algılayabileceği en yakın iki bozunma arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanabilir [30].

Düzenli işletimde Radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada sadece Rn^{222} 'nin geçmesine izin verilirken yan ürünlerin iyonizasyon odasına girmesi engellenmektedir. Bu filtre aynı

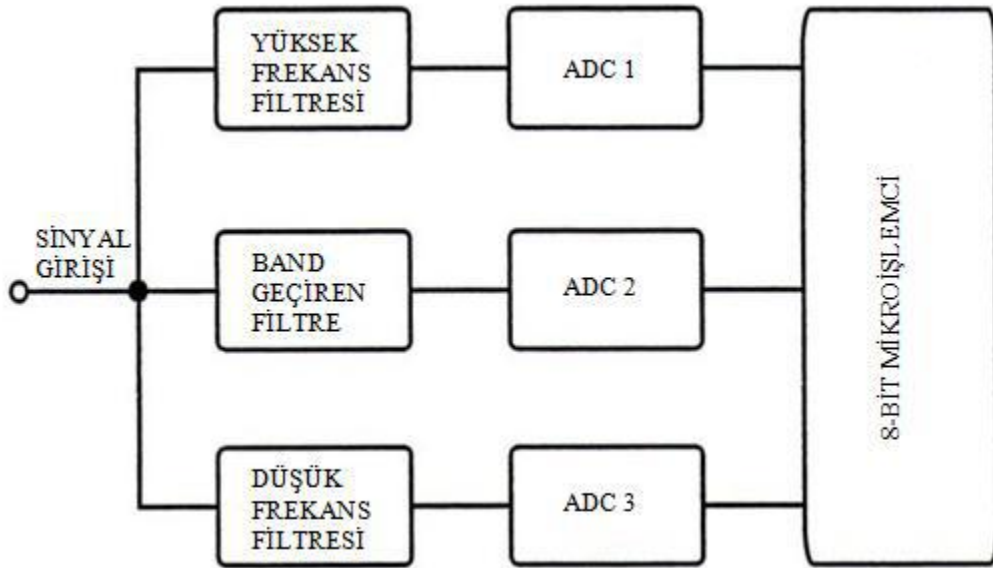
zamanda, çemberin iç kısmının toz zerreciklerinin birikmesiyle oluşacak kirlenme ve paslanmadan etkilenmemesini sağlamaktadır. Bunu desteklemek üzere cihaz içine dışarıdan miktarı kontrol edilebilen temiz hava girişi sağlayacak bir pompa (AlphaPUMP) da kullanılmaktadır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0,56 Litrelik bir etkin hacme sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin metal iç yüzeyleri, 750 Voltluk bir iç gerilimle yüklenerek dedektörün anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık dedektörün yatay eksenine denebilecek eksen boyunca yatay olarak uzanan paslanmaz çelikten yapılmış çubuk ise 0 Volt seviyesindedir ve katot vazifesini görür. Anot ve katot arasındaki yalıtım, elektrot çubuğun iyonizasyon çemberi içerisine girdiği noktadaki bir plastik parçayla sağlanır. Anot ve katot arasındaki 750 Voltluk gerilim farkı sayesinde dedektörün 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. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.9) AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun atma iyonizasyon odasının şematik bir çizimi görülmektedir [40].



Şekil 3.9 AlphaGUARD dedektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi [40].

Cihazın iyonizasyon odası içinde radon ve toron bulunduğu zaman dedektör her ikisi içinde aynı algılama hassasiyetini göstermektedir. Dedektör odasının dolması sürecinde radon yoğunluğunda herhangi bir değişiklik olmamasına karşın toronun neredeyse tamamı bozunacaktır çünkü 10 dakikalık bir gecikmeye sahiptir. Pratikte AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun torona karşı hassaslığı radona karşı hassaslığının % 1'i ile % 10'u arasındadır [30].

Cihazının iç yapısının ikinci temel bileşeni elektronik birimdir. Bu elektronik birim dedektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen radon verilerini alıp işlemekle sorumlu birimdir. Sayısal sinyal işleme birimi DSP, birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalına sahiptir. Her bir kanalın kendine ait analog-dijital çevirici devresi vardır. Böylece devreye dedektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı özelliğine göre aynı anda analiz edilebilmektedir. DSP birimine ait blok diyagram Şekil 3.10'da verilmiştir [30].



Şekil 3.10 AlphaGUARD' ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı [41].

Bir numaralı kanal AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun spektroskopik kanalı olarak adlandırılır. Burada sadece sinyallerin atma derinliklerine göre değil, aynı zamanda atma şekillerine göre de bir sınıflandırma yapılmaktadır. Bu sinyal analizi sonucunda üç boyutlu bir görüntü elde edilir. DSP teknolojisine sahip olmayan iyonizasyon

odalı dedektörlerde yüksek seviyedeki radon yoğunluklarında meydana gelen alfa (α) olayları multiplere (üçlülere) ayrılma eğilimindedirler ve bu sinyalleri daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak AlphaGUARD PQ 2000PRO'da da dedektör sisteminde kullanılan DSP teknolojisi bu durumda daha karmaşık bir matematiksel algoritma olan, çapraz korelasyon (cross-correlation) algoritması kullanarak meydana gelen gürültüyü seçmek suretiyle radon sinyalinden ayırt edebilmektedir. Elde edilen sinyal (prime sinyal) kısa zaman aralıklarında örneklenir ve orijinal sinyalin sayısal değerler halinde örnekleri çıkarılarak AlphaGUARD elektronik devresinin son kısmı olan hızlı mikro kontrolör tarafından işlenir [5].

ADC1 yoluyla spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her alfa (α) pikinden elde edilen atma genliği (= klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de, tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Dedektör tarafından toplanan bu bilgiler x eksenini alfa (α) piki genliğini (= alfa enerjisini), y eksenini zaman birimi başına meydana gelen alfa (α) bozunumu ve z eksenini de atma şekli olmak üzere üç eksenli bir spektrum halinde sunulabilir. ADC2 yani ikinci kanal sadece yüksek radon düzeylerinde devreye girmektedir. Kanalın girişindeki bant geçiren filtre devresi doğru boyutlandırıldığında gürültünün genliği çemberin toplam iyonizasyon akımının kareköküyle doğru orantılı olarak değişmektedir ve bu bağıntı kullanılarak piko amper düzeyindeki iyonizasyon akımı kesin olarak ölçülebilmektedir. ADC3'lü üçüncü kanal ise, klasik bir DC entegretrörlü akım ölçümü gerçekleştiren devredir [5].

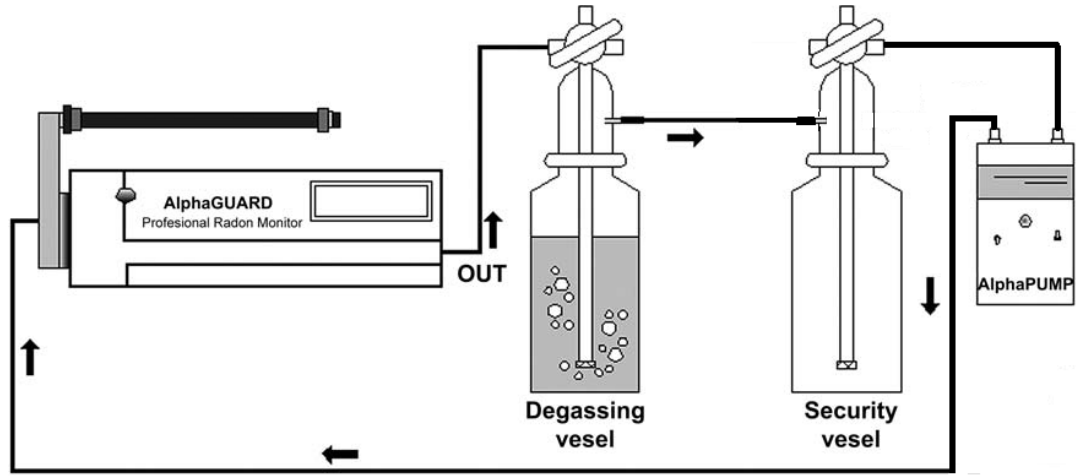
Bu üç sinyal karakteristiğinin temelinde altı değişik matematiksel algoritma yatmaktadır. Tüm işlemler sonucunda optimize edilmiş yoğunluk prosedürü vasıtasıyla gerçek Radon yoğunluğu belirlenmektedir. Her bir Radon değeri yaklaşık olarak 50 milyon matematiksel işlemin sonucunda elde edilir ve bu işlemler için AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun ihtiyaç duyduğu akım ise sadece 3 mA'dir [5].

3.4. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, ek bir donanım olan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO'dan oluşan Şekil 3.11'de şeması gösterilen düzenek aşağıdaki bağlantılar gerçekleştirilerek kurulur [40].

1. Arıtma şişesinin (degassing vessel) alt yan başlığı güvenlik şişesinin (security vessel) alt yan başlığına 150 mm'lik iki tane kilitli tüp ile bağlanır.
2. Güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın 'IN' başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır.
3. Pompanın 'OUT' başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan 'Aktive Adapter (aktif adaptör)' girişine bağlanır.
4. AlphaGUARD'ın sağ tarafındaki 'Flow Adapter (akış adaptörü)' girişi 600 mm'lik tüp ile arıtma şişesinin üst yan başlığına bağlanır.

Yukarıda ifade edilen tüm bağlantılar gerçekleştirildiğinde su numunelerinde radon konsantrasyonu ölçümü için kullanılan 1098 mL dahili hacimli ölçüm düzeneği hazırlanmış olur [40].



Şekil 3.11 Sudaki ölçüm düzeneği.

3.5. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile sudaki radon ölçümü

1. Şekil 3.11'de verilen ölçüm düzeneği kurulur.
2. AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu '1 min FLOW' olarak seçilir (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya AlphaEXPERT yazılımı ile yapılabilir).

3. Arıtma şişesini örnekle doldurmadan önce 10 dakika süreyle ölçüm yapılır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir.
4. Arıtma ve güvenlik şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilir.
5. Plastik enjektör, ölçümü yapılacak su örneği ile doldurulur.
6. Enjektör arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığına takılır ve 100 mL'lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır.
7. Arıtma ve güvenlik şişelerinin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı şekilde saat 6 konumuna getirilir. Böylece kapalı gaz çevrimi elde edilmiş olur.
8. Plastik enjektör, arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığından çıkarılır.
9. Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi '0,3 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve pompa açılır. Böylece ölçüm başlar.
10. 10 dakikalık döngü işleminden sonra pompa kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır.
11. Ölçümü yapılan su örneği arıtma şişesi içinden boşaltılır ve düzenek tekrar kurulur. AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilir.
12. Pompanın performans seviyesi '1 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve açılır (ölçüm düzeneği ortam havası ile temizlenir).
13. Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon değeri ortam konsantrasyonuna erişinceye kadar devam eder. Bu aşamadan sonra başka bir örnek için ölçüm prosedürü başlatılabilir.
14. Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (AlphaEXPERT) ile birlikte çalışır [40].

3.6. Sudaki radon hesaplamaları

Su örneklerindeki radon konsantrasyonu hesabı radon cihazında belirtilen radon konsantrasyonu üzerine kurulur. Yani ölçüm değeri, örneğin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Çünkü su içindeki radon, dedektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır [5].

$$C_{su} = \frac{C_{hava} \left[\frac{V_{sistem} - V_{numune}}{V_{numune}} + k \right] - C_0}{1000} \quad (3.1)$$

Bu denklemden

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

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

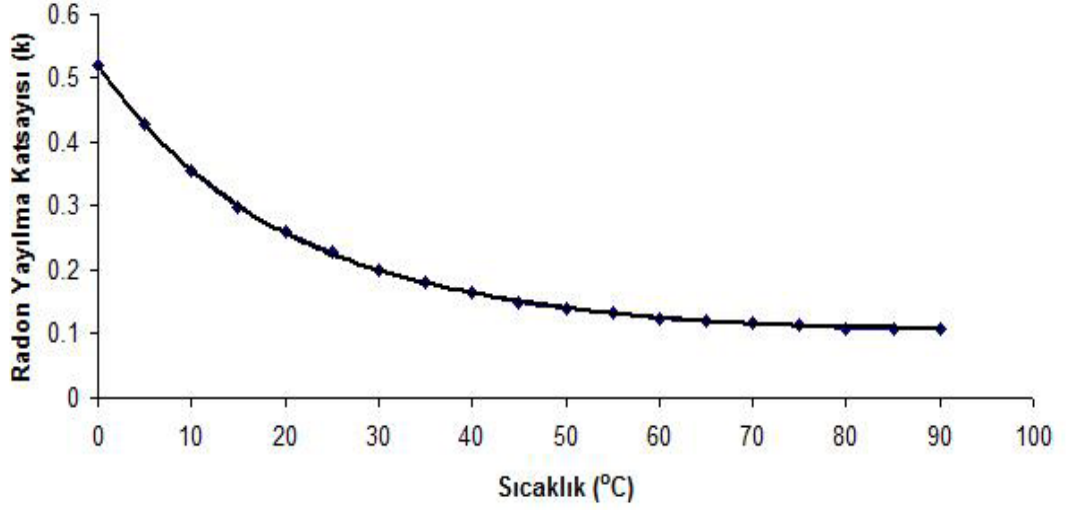
C_0 – arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m³);

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

V_{numune} – numunenin hacmi

k – radon yayılma katsayısıdır.

Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 3.12). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır. Burada k , sıvı fazdaki konsantrasyon değerinin gaz fazdaki konsantrasyon değerine oranı olarak tanımlanır [5].



Şekil 3.12 Radon yayılma katsayısının (k) sıcaklık değişim grafiği [42].

3.6.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları

Belirli zaman aralıklarında termal kaynak suyu ve havuz suyu için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri (3.2) denklemiyle hesaplandı [5].

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} \quad (3.2)$$

3.6.2. Standart hata

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hata hesabını bulmak amacıyla standart sapma hesaplamaları

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (3.3)$$

denklemini kullanılarak yapıldı. Standart sapma hesaplandıktan sonra, ortalama değerlerin standart hata hesabı

$$S.H. = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (3.4)$$

denklemleri kullanılarak yapıldı [5].

Lokasyonlardan alınan numuneler Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Çevre Aktivasyon Laboratuvarına hızlı bir şekilde götürülerek burada bulunan AlphaGUARD radon dedektörü ile ölçümü yapılmıştır.

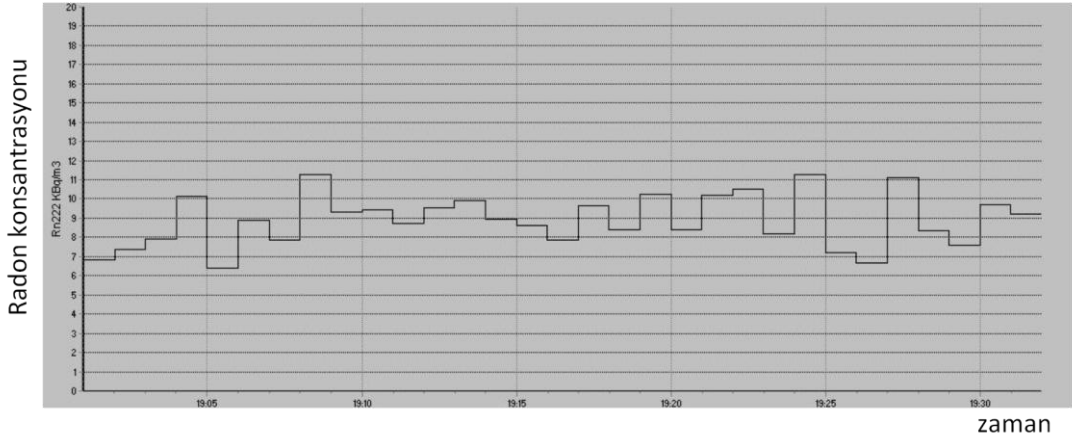
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bursa’da kaynak sularından alınan su numuneleri için, AlphaGUARD PQ 2000PRO radon dedektörü kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlere ait veriler; grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Sudaki ölçümler için elde edilmiş bu veriler ^{222}Rn konsantrasyonu, sıcaklık, basınç ve bağıl nem parametrelerinden oluşmaktadır. ^{222}Rn konsantrasyonu ve iklimsel parametreler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Bursa ilindeki kaynak sularından 21 tanesi önceden belirlenerek radon konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Her bir kaynaktan 3 adet 500 mL su numunesi alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler kış ve ilkbahar mevsimi olmak üzere iki kere tekrarlanmıştır.

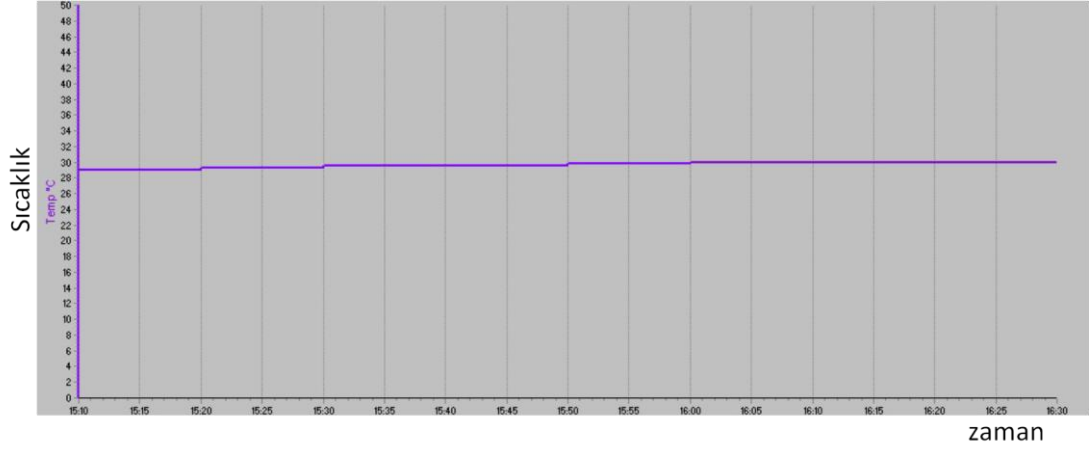
4.1. AlphaGUARD Dedektörü İle Yapılan Ölçümler

Şekil 4.1’de ölçümler sonunda AlphaGUARD ile geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımında elde edilen grafiklerden bir örnek gösterilmiştir. Grafikte x eksenini, zamanı saat cinsinden, y eksenini ise ^{222}Rn konsantrasyonunu Bq/m^3 biriminde göstermektedir.



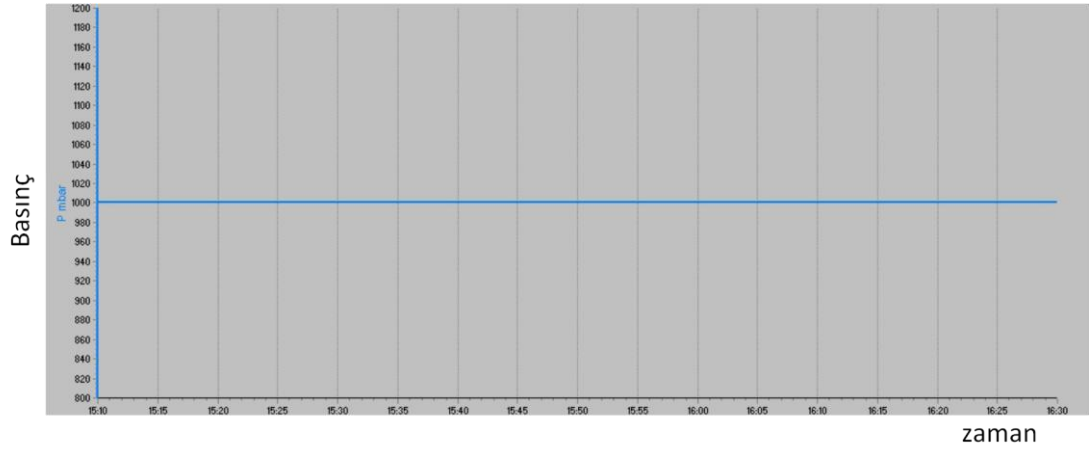
Grafik 4.1 ^{222}Rn konsantrasyonu ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.2’de ölçümler sırasında elde edilen sıcaklık verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman ve y eksenini ise santigrad derece cinsinden sıcaklıktır.



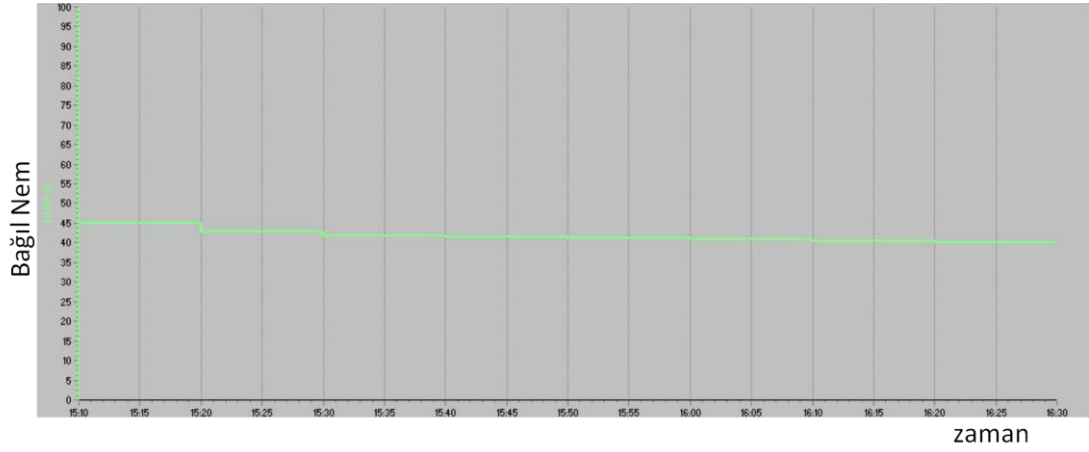
Grafik 4.2 Sıcaklık ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.3 'te ölçümler sırasında elde edilen atmosferik basınç verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman ve y eksenini ise mbar cinsinden atmosferik basınç olarak verilmiştir.



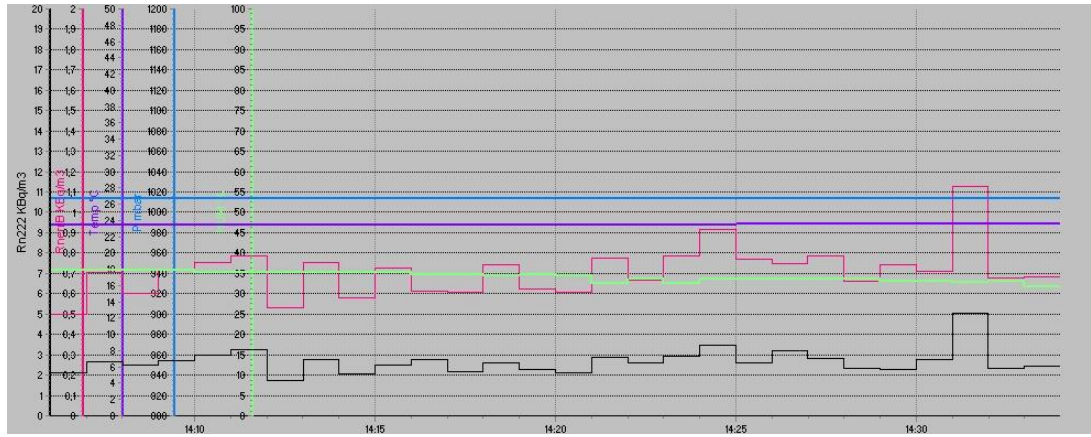
Grafik 4.3 Basınç ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.4 'de ölçümler sırasında elde edilen bağıl nem verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman ve y eksenini ise % rH cinsinden bağıl nem olarak verilmiştir.



Grafik 4.4 Bağıl nem ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.5 'de Muradiyesarnıç köyünden elde edilen sıcaklık, basınç, nem ve zamana bağlı radon konsantrasyonu grafiği örnek olarak verilmiştir.



Grafik 4.5 Muradiyesarnıç kaynak suyu radon konsantrasyonu ölçüm sonucu grafiği.

Kış mevsiminde yapılan ölçümlerin sonuçları aşağıda Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kış mevsimi ölçüm sonuçları

LOKASYON ADI	Doğal Fon (Bq/m³)	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Basınç (mbar)	Ort. Nem (% rH)	Ort. Sonuç (Bq/m³)
ÇELTİKÇİ	102.6	26.1	1009	% 36.3	457.60
KÜÇÜKKUMLA	102.6	26.0	1009	% 35.4	150.43
DUTLUCA	104.8	23.9	998	% 45.5	602.31
SERÇELER	104.8	24.4	997	% 41.0	244.31
ÇARIK	14.2	24.8	1022	% 30.2	1242.31
KARACABEY	14.2	24.5	1022	% 28.0	250.34
SİNCANSARNIÇ	102.8	24.1	1014	% 32.3	346.10
MURADİYESARNIÇ	102.8	23.7	1013	% 32.1	2399.34
KULACA	50.1	23.0	1006	% 36.9	1413.20
KOZBUDAKLAR	70.4	19.7	1008	% 34.6	747.25
BARÇIN	30.8	20.4	1018	% 43.4	718.28
SOĞUKSU	30.8	20.2	1018	% 45.2	121.96
YALIÇİFTLİK	25.4	20.3	1002	% 38.5	157.16
KURŞUNLU	25.4	19.5	1002	% 39.6	1719.66
TUZAKLI	70.4	18.7	1008	% 31.8	254.93
DIŞKAYA	101.4	21.9	1017	% 32.4	79.95
ARABAYATAĞI	30.8	20.9	1018	% 41.9	1874.46
HİLMİYE	-	-	-	-	-
BOYALICA	7.1	23.0	1018	% 38.2	1053.27
KERAMET DSİ KUYUSU	7.1	22.7	1018	% 33.7	95.84
ÇAKIRLI(YANAN SU)	40.6	23.5	993	% 55.2	477.70

İlkbahar mevsiminde yapılan ölçümlerin sonuçları aşağıda tablo 4.2 'de verilmiştir.

Tablo 4.2 İlkbahar mevsimi ölçüm sonuçları

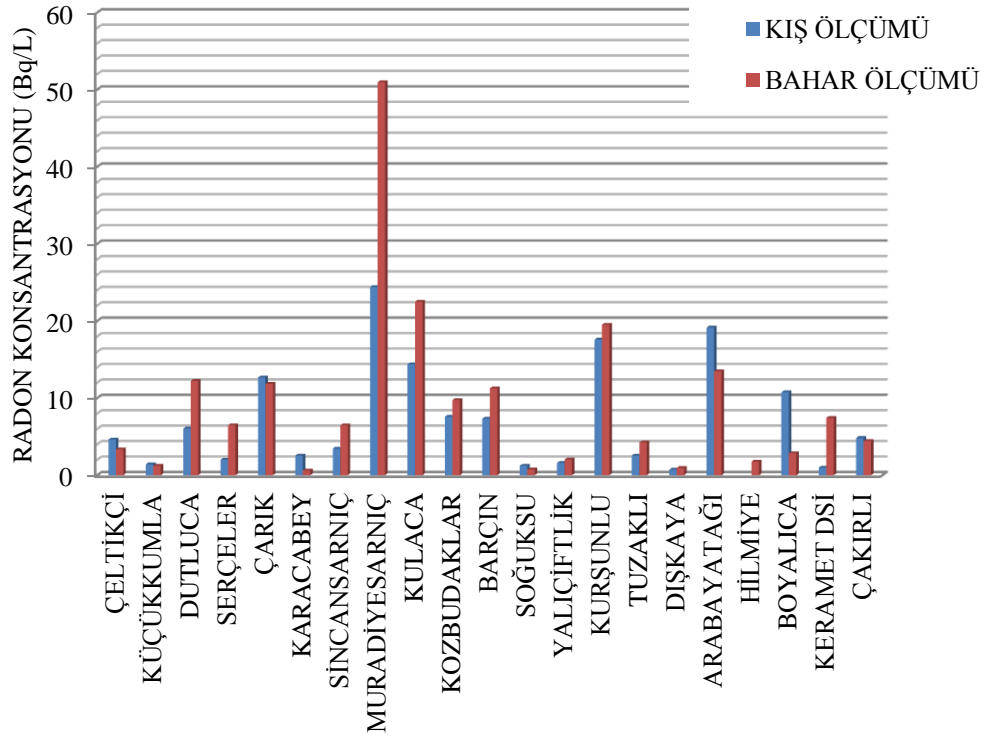
LOKASYON ADI	Doğal Fon(Bq/m ³)	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort.Basınç (mbar)	Ort. Nem	Ort. Sonuç (Bq/m ³)
ÇELTİKÇİ	10.7	23.4	997	% 36.8	331.53
KÜÇÜKKUMLA	10.7	23.6	998	% 43.1	121.03
DUTLUCA	73.1	22.0	995	% 64.1	1203.38
SERÇELER	73.1	23.1	994	% 63.9	639.33
ÇARIK	101.3	22.8	1003	% 46.7	1171.05
KARACABEY	101.3	22.2	1003	% 48.4	70.39
SİNCANSARNIÇ	67.7	23.1	1002	% 53.6	639.97
MURADİYESARNIÇ	67.7	24.6	1001	% 49.8	5000.35
KULACA	119.8	26.6	997	% 48.2	2218.55
KOZBUDAKLAR	96.2	20.6	1001	% 66.8	960.08
BARÇIN	114.7	23.1	1005	% 54.8	1115.43
SOĞUKSU	114.7	24.2	1005	% 54.4	85.11
YALIÇİFTLİK	2.1	20.4	1005	% 56.8	105.41
KURŞUNLU	2.1	21.1	1004	% 56.9	1906.32
TUZAKLI	96.2	22.5	1000	% 59.1	424.71
DIŞKAYA	57.5	28.2	997	% 59.9	97.78
ARABAYATAĞI	57.5	29.1	997	% 47.9	1330.14
HİLMİYE	119.8	26.0	997	% 52.5	184.99
BOYALICA	13.6	29.2	1002	% 32.6	257.89
KERAMET (DSİ KUYUSU)	13.6	28.6	1002	% 34.2	731.65
ÇAKIRLI (YANAN SU)	13.6	29.1	1002	% 33.6	436.00

Yapılan ölçümler sonucunda Bursa ili kaynak sularında ölçülen radon konsantrasyonları aşağıda Tablo 4.3 'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Bursa ili kaynak sularında radon konsantrasyonu sonuçları.

LOKASYON ADI	1.ÖLÇÜM SONUCU (Bq/L)	2.ÖLÇÜM SONUCU (Bq/L)
ÇELTİKÇİ	4.62 ± 0.32	3.38 ± 0.25
KÜÇÜKKUMLA	1.43 ± 0.05	1.22 ± 0.06
DUTLUCA	6.04 ± 1.51	12.23 ± 0.12
SERÇELER	1.99 ± 0.49	6.46 ± 0.36
ÇARIK	12.66 ± 0.20	11.86 ± 0.12
KARACABEY	2.54 ± 0.17	0.62 ± 0.34
SİNCANSARNIÇ	3.43 ± 0.59	6.46 ± 0.16
MURADİYESARNIÇ	24.40 ± 1.39	50.96 ± 2.27
KULACA	14.39 ± 3.26	22.49 ± 3.09
KOZBUDAKLAR	7.58 ± 0.12	9.73 ± 1.08
BARÇIN	7.33 ± 0.37	11.28 ± 0.35
SOĞUKSU	1.22 ± 0.05	0.75 ± 0.17
YALIÇİFTLİK	1.58 ± 0.39	2.04 ± 0.57
KURŞUNLU	17.59 ± 0.67	19.50 ± 1.64
TUZAKLI	2.54 ± 0.14	4.24 ± 0.61
DIŞKAYA	0.72 ± 0.04	0.95 ± 0.01
ARABAYATAĞI	19.15 ± 0.99	13.48 ± 0.35
HİLMİYE	-	1.77 ± 1.49
BOYALICA	10.75 ± 0.61	2.84 ± 0.14
KERAMET DSİ KUYUSU	0.97 ± 0.12	7.44 ± 0.47
ÇAKIRLI(YANAN SU)	4.84 ± 3.09	4.42 ± 0.17

Bu sonuçlar doğrultusunda Bursa ili kaynak sularında radon konsantrasyonu değerleri aşağıda Grafik 4.6 üzerinde mevsimsel olarak gösterilmiştir.



Grafik 4.6 Bursa kaynak sularında radon konsantrasyonu mevsimsel sonuç grafiği.

5. SONUÇ

Bursa ili kaynak sularında yapılan radon gazı ölçümü önceden belirlenen 21 farklı noktadan alınarak yapılmıştır. Bu çalışma Bursa'da içme suyu olarak kullanılan kaynak sularında yapılan ilk radon gazı radyoaktivitesi ölçümü çalışmasıdır. Bursa genelinde yapılan bu çalışma için belirlenen lokasyonlar, homojen bir şekilde dağıtılmaya çalışılmıştır. Bu ölçümler her bir su kaynağından alınan en az üç örneğin analizi sonucu elde edilmiş gerekli hesaplamalar yapılarak ortalama değerler bulunmuş ve standart sapması hesaplanmıştır. Bu çalışma mevsimsel olarak kış ve bahar aylarında gerçekleştirilmiştir. Alınan örnekler Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Çevre Aktivasyon Ölçüm Laboratuvarında bulunan AlphaGUARD Radon dedektörü ile ölçülmüştür.

Radon gazındaki ölçüm farklılığı çeşitli nedenlere bağlıdır. Depremsellik, su kaynağının mevsimlere bağlı olarak debisindeki artma ve azalma, açık hava basıncındaki değişiklikler, sıcaklık farklılıkları bunlara örnek olarak verilebilir. Radon gazı çıkışı mevsimlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genel olarak yer altında bulunan uranyum kayaçlarına temas eden su molekülleri yüzeye çıkarken uranyumun bir ürünü olan radon gazını taşıyarak açığa çıkar. Mevsimsel döngü içerisinde yukarıdaki tablo incelendiğinde bahar mevsimi ölçümlerinde elde edilen radon gazı konsantrasyonunun kış ölçümlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. USEPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) tarafından içme amaçlı kullanılan sular için izin verilen radon konsantrasyonu miktarı 11 Bq/L dir. Sonuçlar incelendiğinde Dutluca'da yaz mevsiminde, Çarık'da hem kış hem yaz mevsiminde, Muradiyesarnıç'ta hem kış hem yaz mevsiminde, Kulaca da hem kış hem yaz mevsiminde, Barçın'da yaz mevsiminde, Kurşunlu'da hem kış hem yaz mevsiminde, Arabayatağı bölgesinde hem kış hem yaz mevsiminde radon konsantrasyonunun 11 Bq/L olan sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Radon gazının canlıların vücuduna alınması tehlikeli sonuçlara neden olabilmektedir. Radon gazından etkilenen insanlarda en çok gözlemlenen hastalık mide ve akciğer kanseridir. Bundan dolayı da radon gazının yüksek olduğu su kaynaklarında sonuçların bilinmesi önem arz etmektedir.

Hilmiye köyünde yapılan ölçüm kış mevsimi ölçümleri bittikten sonra alınmasına karar verildiği için kış mevsimi ölçümü yapılamamıştır.

Muradiyesarnıç köyünde yapılan radon konsantrasyonu ölçümünün yüksek çıkması bölgenin granit kayaç yapısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır denilebilir.

Dünya literatüründe yapılmış olan bir çok deneysel çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kişi yada sistem kaynaklı eksikliklerden dolayı hatalar yapılmış olabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak bu çalışmadaki veriler oluşturulmuştur. Burada yapılmış olabileceği düşünülen eksiklikler ve hatalar, numune alımı sırasında şişelerin ağzının kapatılmasında geç kalınması, numunelerin dedektöre aktarımı sırasında gerçekleşen gaz kaçakları şeklinde örneklendirilebilir.

Yapılan ölçümler sonucunda Bursa ili kaynak sularında kış mevsimi ortalama radon konsantrasyonu 7.29 Bq/L, ilkbahar mevsimi ortalama radon konsantrasyonu ise 9.24 Bq/L olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. TAEK; Radyasyon, İnsan ve Çevre, s.1-2, 2010
2. TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr>.
3. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York. Annex A., 1993.
4. Özdemir, F.B., Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.112-120. Afyonkarahisar, 2006.
5. Akar, Ü., Bursa-Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.2-47, Bursa, 2010.
6. Gosink, T.A., Baskaran M., Holleman D.F., Radon in the Human Body From Drinking Water. Health Physics. 59: 919-920, 1990.
7. Soto, J., Frenandez, P.L., Quindos, L.S., Gomez-Arozamena, J. Radioactivity in Spanish Spas. Science of The Total Environment,162:187-192, 1995.
8. Lima, J.L.N., Bonotto D.M., Etapas analíticas para mensurao de radonio-222 e uso na avaliaao da radioatividade das águas de. Aguas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis, 10: 283-295, 1996.
9. Alabdua'aly, A.I., Occurrence Of Radon In The Central Region Groundwater Of Saudi Arabia. Journal Of Environmental Radioactivity 44: 85-95, 1999.
10. Horvath A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Pirohth, A., Greaves, E.D., Radon Concentrations in Hot Spring Waters in Northern Venezuela. Environmental Radioactivity. 47: 127-133, 2000.
11. Marques, A.L., Santos W.D., Geraldo L.P., Direct Measurements ofRadon Activity in Water From Various Natural Sources Using Nuclear Track Detectors. Applied Radiation and Isotopes, 60, 801-804, 2004.
12. Vogianis, E., Nikolopoulos, D., Louizi B A., Halvadakis, C.P., Radon Variations During Treatment in Thermal Spas of Lesvos Island (Greece). Journal of Environmental Radioactivity, 75: 159-170, 2004.
13. Song, G., Zhang, B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bennett, J., Lee, S.C., Indoor Radon Levels In Selected Hot Spring Hotels in Guangdong, China. Science of The Total Environment, 339: 63-70, 2005.

14. Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D., Planinic, J., Radon in The Spas of Croatia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 83: 191-198, 2005.
15. Somlai, J., Torma, Á., Dombovári, P., Kávási, N., Nagy, K., Kovcs, T., Contribution of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{234}U and ^{238}U Radionuclides to The Occupational and Patient Exposure in Heviz-Spas in Hungary. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 272: 101-106, 2007.
16. Nikolopoulos, D., Vogianis, E., Petraki, E., Zisos, A., Louizi, A., Investigation of The Exposure to Radon and Progeny in The Thermal Spas of Loutraki (Attica-Greece): Results From Measurements and Modelling. *Science of The Total Environment*, 408: 495-504, 2010.
17. Koztowska, B., Walencik, A., Dorda, J., Zipper, W., Radon in Groundwater and Dose Estimation for Inhabitants in Spas of The Sudety Mountain Area, Poland. *Applied Radiation and Isotopes*, 68: 854-857, 2010.
18. Barış, C., İzmir-Çeşme Yer altı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.70, Manisa, 2006.
19. Akkurt, A., Afyon Jeotermal Sularında Radon Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.37-41, Afyonkarahisar, 2006.
20. Güloğlu, A., Çeşme Bölgesinde Aktif Fay Hatlarındaki Kaplıçalarda Radon Anomalileri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.12-23, İzmir, 2007.
21. Yalçın, S. ve Gürler, O., The radioactivity measurement in soil, coal and water in South Marmara region of Turkey, 2007.
22. Taylor, J. R., Zafaritos, C. D., Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik, İstanbul, 1996.
23. Akyıldırım, H., Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 99, Isparta, 2005.
24. Krane, Kennet S., Nükleer Fizik, New York, 1988.
25. <http://www.taek.gov.tr>, 'Radyasyon Nedir?', 05.05.2013.
26. Serway ve Beichner, Fen ve Mühendislik İçin Fizik, Ankara, 2000.
27. Elektromanyetik Kirlilik, www.istanbul.edu.tr, 05.05.2013.

28. Davutoğlu, H., Radon Gazını Ölçme Metotları. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.62, Kütahya, 2008.
29. 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, s.175, Adana, 2007.
30. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., Radon Kirliliği. T. C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, Ankara, 1997.
31. Kılıç, N., Kükürtlü Kaplıcaları Atatürk Rehabilitasyon Merkezindeki Radon konsantrasyonunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2011.
32. Thomas, D.C., Mcneill, K.G., Dougherty, C., Estimates of Life-Time Lung Cancer Risks Resulting from Rn Progeny Exposure. Health Physics, 45: 825-846, 1985.
33. 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.
34. Evans, R.D., Engineers Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters. Health Physics, 38:1173-1197, 1968.
35. Kumbur, H., Zeren, O., Köksal, M., Özçınar, B., İçel'de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması, Ekoloji Çevre Dergisi, 7: 25-31, 1997.
36. Akdoğan, Ç., Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi, Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İzmir, 2010.
37. Taşkın, H., İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, s. 6-32 İstanbul, 2006.
38. Abi, K., İklim değişikliklerinin Bursa'nın sıcaklık özellikleri üzerine yansımaları. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Orta Öğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Anabilim Dalı Coğrafya Öğretmenliği Bilim Dalı, İstanbul, 2010.
39. <http://resim.maxihayat.net/Bursa-Haritasi-Detayli-.gif>.
40. Alphaguard User Manuel Genitron Instruments, Germany, 1998.
41. AlphaGUARD PQ2000/MC50, Multiparameter Radon Monitor, Genitron Instruments, Germany, 2006.

42. Aquakit Accessory for radon in water measurement in combination with the radon monitor Alphaguard, Genitron Instruments, Germany, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ALAKUŞ 1976 yılında Sarıkaya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Ankara’da Çizmeçi İlkokulu, Hüseyin Güllüoğlu Orta Okulu ve Ankara Kurtuluş Lisesinde tamamladı. 1995 yılında kazandığı Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümünü 2000 yılında bitirdi.

2000 ile 2010 yılları arasında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı çeşitli okullarda öğretmenlik yaptı. 2010 yılından buyana halen çalışmakta olduğu İçişleri Bakanlığına bağlı Bursa Polis Kolejinde Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

Adres: Bursa Polis Koleji Yıldırım/BURSA

Tel: 0505 716 14 55

E-posta: alakusfatih@gmail.com