

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

**ŞİLE-KANDIRA-İZMİT BÖLGESİNDEKİ KAYNAK
SULARINDA RADON GAZININ İNCELENMESİ VE
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ RADON FARKINDALIK ANKETİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurgül ULUDAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ

AĞUSTOS 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞİLE-KANDIRA-İZMİT BÖLGESİNDEKİ KAYNAK
SULARINDA RADON GAZININ İNCELENMESİ VE
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ RADON FARKINDALIK ANKETİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Nurgül ULUDAĞ

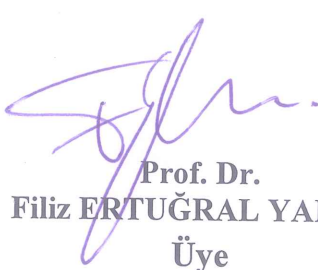
Enstitü Anabilim Dalı


:

FİZİK

Bu tez 06.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Orhan GÜRLER
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Filiz ERTUĞRAL YAMAÇ
Üye


Prof. Dr.
Recep AKKAYA
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Nurgül ULUDAĞ

06.08.2018

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince bilgi birikimi ve tecrűbesi ile bana yardımcı olan ve yűnlendiren deęerli danıŐmanım Sayın Prof. Dr. Filiz ERTUęRAL YAMAÇ' a, çalıŐmalarımnda desteęini esirgemeyen ArŐ. Gűr. Nilűfer DEMİRCİ SAYęI' ya, manevi olarak her zaman yanımda olan sevgili ailem ve Demet ALTINSOY' a çok teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Kısa Literatür Özeti	3

BÖLÜM 2.

GENEL BİLGİLER	9
2.1. Radonun Kimyasal Özellikleri	9
2.2. Radonun Yeraltındaki Hareketi	14
2.2.1. Radon Varlığı	15
2.2.2. Radon Göçü	18
2.3. Sularda Radon Yayılımı Hakkında Genel Bilgiler.....	19
2.4. Radon Gazı ve Sağlık İlişkisi	20
2.5. Çalışma Alanı ve Coğrafyası.....	23

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOD	30
3.1. RAD7 Radon Ölçüm Cihazı.....	30

3.2. Spektrum örnekleri	31
3.2.1. Operasyonel radon ışın spektrumları.....	31
3.2.1.1. Dengedeki idealize edilmiş radon.....	31
3.2.1.2. Tam dengede radon.....	32
3.2.1.3. Yeni radon	32
3.2.1.4. Eski radon	32
3.2.2. Toron spektrumu.....	33
3.2.2.1. Yeni Toron.....	33
3.2.2.2. Dengede Toron	33
3.2.2.3. Eski Toron	34
3.2.3. Birleşik (kombinasyon) spektrum	34
3.2.3.1. Eski Toronla Birlikte Dengede Radon.....	35
3.2.3.2. Eski Toronla Birlikte Eski Radon.....	36
3.2.3.3. Eski Toronla Birlikte Yeni Radon	36
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL VERİLER	38
4.1. Ölçüm Sonuçları.....	38
BÖLÜM 5.	
ANKET ÇALIŞMASI.....	54
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	68
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bq	: Becquerel (radyoaktivite birimi)
eV	: Elektron-Volt
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi
NRPB	: İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi
Sv	: Sievert (eşdeğer doz birimi)
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
$t_{1/2}$: Yarı ömür
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
ppm	: Milyonda bir

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. ^{238}U Bozunum Serisi	9
Şekil 2.2. Doğal radyasyon kaynakları sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozları yüzdesi	11
Sekil 2.3. Radonun oluşumu, göçü ve bu süreçlerde etkili olan dış etmenler.....	15
Sekil 2.4 Toprak taneciklerinde oluşan radon atomlarının izleyebileceği geri tepme yollarının şematik gösterimi	16
Sekil 2.5. Geri tepme olayının şematik gösterimi	17
Sekil 2.6. Radonun gözenekli ortamlardaki hareketi	19
Şekil 2.7. Polonyum $_{218}$ 'in akciğerlerdeki etkisi	22
Şekil 2.8. Su numunelerinin lokasyon haritası.....	23
Şekil 2.9. Şile lokasyon ve jeoloji haritası	25
Şekil 2.10. Kandıra jeoloji haritası.....	26
Şekil 2.11. İzmit jeoloji haritası	27
Şekil 3.1. RAD7'nin RAD H $_2$ O aksesuarı ile birlikte şematik diyagramı	30
Şekil 3.2. Köpüren su örneğinin RAD7 detektörüne bağlanması	31
Şekil 3.3. Dengedeki Radon spekturumu	32
Şekil 3.4. Tam dengedeki Radon spekturumu.....	33
Şekil 3.5. Tam dengedeki Radon spekturumu.....	33
Şekil 3.6. Tam dengedeki Radon spekturumu.....	34
Şekil 3.7. Yeni Toron spekturumu	34
Şekil 3.8. Dengedeki Toron spekturumu	35
Şekil 3.9. Eski Toron spekturumu	35
Şekil 3.10. (A) Yeni radonla birlikte yeni toron, (B) yeni radonla dengedeki radon, (C) dengedeki radonla dengedeki radon.....	36
Şekil 3.11. Eski Toronla birlikte dengede Radon spektrumu	36
Şekil 3.12. Eski Toronla birlikte eski Radon spektrumu.....	37
Şekil 3.13. Eski Toronla birlikte yeni Radon spektrumu	37

Şekil 4.1. Şile bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsatrasyonu dağılımlarını gösteren kontur haritası	48
Şekil 4.2. Kandıra bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsatrasyonu dağılımlarını gösteren kontur haritası.....	49
Şekil 4.3. İzmit bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsatrasyonu dağılımlarını gösteren kontur haritası	50
Şekil 4.4. Şile-Kandıra-İzmit bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.....	52

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Radon ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri.....	11
Tablo 2.2. Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu.....	12
Tablo 2.3. İstasyon adlarının numaralara karşılık değerleri.....	28
Tablo 4.1. Şile-Kandıra-İzmit Sularında Radon Konsantrasyonu.....	38
Tablo 4.2. Suların PH, EC, TDS ve ORP ölçüm sonuçları.....	43
Tablo 4.3.Suların 222Rn aktivite konsantrasyonlarının mod, medyan, aritmetik ortalama, standart sapma ve frekans dağılımlarının Skewness ve Kurtosis katsayıları.....	51
Tablo 4.4. Farklı çalışmalardaki kaynak sularında radon konsantrasyonları.....	53

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 4.1. ²²² Rn konsantrasyon değerleri	41
Grafik 4.2. Yıllık etkin doz değerleri	42
Grafik 4.3. Su numunelerinin PH değerleri	45
Grafik 4.4. Suların EC (mSv) değerleri	45
Grafik 4.5 . Suların ORP (mV) değerleri	46
Grafik 4.6. Suların TDS (mg/l) değerleri	47
Grafik 5.1. Anket çalışmasındaki katılımcıların mesleklere göre dağılımı.....	55
Grafik 5.2. Katılımcıların Radon İle İlgili Bilgi Dağılımları.....	55
Grafik 5.3. Katılımcıların Radon Varlığı İle İlgili Tahmin Yüzdeleri.....	56
Grafik 5.4. Katılımcılara Göre Radon'un Günlük Yaşama Etki Alanları	57
Grafik 5.5. Katılımcıların Radon Kaynağı Tahmin Yüzdeleri	59
Grafik 5.6. Radona maruz kalma yolları.....	60
Grafik 5.7. Katılımcıların proje bilgisi oranları	61
Grafik 5.8. Katılımcıların bilgi sahibi olma oranları	61
Grafik 5.9. Katılımcıların Radon ölçüm talep dağılımı	62

ÖZET

Anahtar kelimeler: Radon

Bu tez çalışmasının ilk kısmında, Şile-Kandıra-İzmit kaynak sularında radon seviyesini belirleyerek radyolojik risk haritasını oluşturmak için farklı bölgelerden toplanmış su örneklerinde doğal radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür. Bu doğrultuda Şile, Kandıra ve İzmit'in çeşitli bölgelerinden toplanan su örneklerindeki ²²²Rn konsantrasyonları RAD7 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bölgenin 74 farklı kaynağından 08.10.2015 tarihinde alınan su numuneleri Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Analizler sonucunda maksimum Radon aktivitesi 7,810 Bq/L, minimum Radon aktivitesi 0,334 Bq/L olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu çalışmada bildirilen değerler, dünyanın farklı izleme kuruluşları tarafından önerilen eylem seviyelerinden daha düşüktür; ABD, EPA, UNSCEAR, vb. Dolayısıyla, kaynak sularının bu bölgedeki halkın yaşamı için herhangi bir sağlık tehdidi oluşturmadığını söyleyebiliriz. Çalışmanın ikinci kısmında Sakarya Üniversitesinin akademik personel, öğrenci ve idari personelleri olmak üzere toplam 1779 kişiye Radon farkındalığı anket çalışması yapılmış, sonuçlar excel ve C++ programlarında incelenerek istatistiksel verilerle sonuçlar açıklanmıştır.

EXAMINING OF REGIONAL RADON GAS IN SPRING WATER RESOURCES THE AREA OF SILE-KANDIRA-IZMIT AND SAKARYA UNIVERSITY RADON AWARENESS SURVEY

SUMMARY

Keywords: Radon

In the first part of this thesis, the natural radioactivity level have been measured for the spring water samples collected from different locations of city of Sile-Kandira- Izmit in order to provide a radiological risk map. Regarding to this aim, the activity concentrations of ^{222}Rn in the water samples collected from different regions of Sile-Agva-Kandira, have been measured by the method “RAD7”. The results of the analysis are: Maximum Radon activity 7,810 Bg/L, minimum Radon activity 0,334 Bg/L. However, the reported values in this study are lower than the levels of action recommended by different world monitoring agencies; US EPA, UNSCEAR, etc. Therefore, we can say that the spring waters does not constitute any health hazard for the life of the people in this region. In the second part of the study, with a total of 1,779 people Radon awareness surveys were carried out, including academic staff, students and administrative staff of Sakarya University. The results were analyzed in excel and C++ programs and statistical results were explained.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya oluşumundan beri radyoaktif olduğu için insanoğlu varoluşundan bu yana doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Radyasyon radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanır ve yaptığı etki bakımından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır [1]. Doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyonun hücrelere nüfuz etme özelliği biyolojik harabiyete neden olabilmektedir [2].

Radyasyon dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan doz %50 gibi bir paya sahip olup, yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. Coğrafi şartlara, yaşam standartlarına ve yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olarak insanlar ortalama toplam 2,4 mSv yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar.

Radon renksiz, kokusuz, tatsız, havadan yaklaşık sekiz kat daha ağırdır ve toprakta, havada ve su türlerinde bulunur. Suyla temas eden toprak ve kayaların çözünmesinden dolayı yer altı sularında da bulunur. Ayrıca kayalardan ve topraktan kuyu sularına geçen bu gaz difüzyonu su seviyesine, havalandırmaya ve diğer fiziksel faktörlere bağlıdır [3]. Radon 1600 yıl yarı ömre sahip ^{226}Ra 'nın alfa yayınlaması sonucu oluşur. Birçok izotopu olmasına karşın çevredeki radyasyon miktarına en fazla artırıcı etki yaptığı bilinen izotopları toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn)'un yarı ömürleri çok kısa olup sırasıyla 55.1 s ve 3.96 s'dir. Bu nedenle radon elementi 3.82 günlük yarı ömre sahip ^{222}Rn tarafından domine edilmektedir [4].

Çevreye salınan radon miktarı meteorolojik şartlara, zamana ve yerden yüksekliğe bağlıdır. Atmosfer basıncının düşük olması ile birlikte, toprak havasında da basınç

düşüşü gerçekleştiği için radon göçünde artış görülmektedir. Yağışlı havalarda toprak nemlendiğinden toprak gözenekleri kapanır ve radon difüzyonu zorlaşacağından toprak yüzeyindeki radon yoğunluğu azalır. Sıcaklık düştükçe toprağın kurumasiyla birlikte gözenekler açılacağı için radonun topraktan kaçışı kolaylaşmaktadır [1]. Çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi, deniz seviyesinden yüksekliğe göre farklılıklar göstererek artan yükseklikle sabit bir şekilde azalır [4].

Bu gaz coğrafi bölgenin, jeolojik yapısıyla da yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Sedimanter topraklarda ise radon konsantrasyonu düşüktür. Bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de az miktarda olsa da radona rastlanmaktadır. Ayrıca yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslar da sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir [5].

Su, canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için gerekli olan en önemli elemanlardan birisidir. Bu sebepten canlılar tarafından kullanılan su, sağlık riski oluşturmamalıdır. Doğal su kaynakları, radyasyon açısından sağlığa zararlı doğal radyoaktif elementler içerir, dolayısıyla da bu durum, halk sağlığı bakımından oldukça önemli ve dikkat edilmesi gereken bir husustur [6]. Bu doğal radyoaktif çekirdeklerden ^{222}Rn , insanların içme sularını kullanmasıyla maruz kaldıkları radyasyon dozunun en büyük sebebidir [7]. ^{222}Rn ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinden kaynaklanan radyasyon maruziyetinin kanser riskini artırdığı düşünülmektedir [8].

Bir bölgenin radon seviyesinin bilinmesi ve bu seviyedeki değişimlerin takibi, o bölgede yaşayan insanların maruz kaldıkları dozun belirlenmesi ve gerekli durumlarda önlemlerin alınabilmesi için büyük önem arz etmektedir.

Bu amaçla bu çalışma, Şile, Kandıra ve İzmit' de belli başlı bölgeleri kapsayan 74 farklı kaynak su örneklerinin radon konsantrasyon sonuçlarını göstermektedir. Bu çalışma, bölgeden alınan kaynak sularındaki çözünmüş radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılan literatürdeki ilk çalışmadır.

1.1. Kısa Literatür Özeti

Türkiye’de suda radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Aynı zamanda dünyanın çeşitli alanlarında kullanım suları, kuyu suyu ve termal suların radyoaktivitesinin ölçümleri ve bunlardan kaynaklanan doz hesaplamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Kastamonu’da İncirci tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında Kastamonu il ve ilçelerinin kaynak ve içme suları radon aktivitesi ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre maksimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 12,734 Bq/L, yaz dönemi için 19,213 Bq/L dir. Minimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 0,362 Bq/L, yaz dönemi için 0,312 Bq/L olarak bulunmuştur [9].

Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında AlphaGUARD PQ 2000 PRO detektörü kullanılarak radon konsantrasyonu ölçülmüş, radon konsantrasyon değerleri $2,513 \pm 0,286$ Bq/L ile $94,347 \pm 4,361$ Bq/L aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir [10].

Afyon jeotermal sularında Pylon AB-5R detektörü kullanılarak radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, maksimum radon konsantrasyonu 44,57 Bq/L ve minimum radon konsantrasyonu 0,085 Bq/L olarak bulunmuştur [11].

Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, 0,94 Bq/L ile 15,61 Bq/L değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir [12].

İzmir-Çeşme yer altı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları yapılmış, termal ve kuyu sularında CR-39 nükleer iz kazıma detektörü kullanılarak radon aktivitesi ölçülmüş, termal sularda radon konsantrasyonu 0,0730,294 Bq/L arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0,207 Bq/L olarak hesaplanmış, kuyu sularında radon konsantrasyonu 0,086-0,493 Bq/L arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0,303 Bq/L olarak hesaplanmıştır [13].

İstanbul'da Karahan ve arkadaşlarının içme suları ve yüzey suları için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyon değerleri 0,019 Bq/L ile 0,048 Bq/L arasında değişim göstermiştir [14].

Brezilya'da 2004 yılında nükleer iz dedektörü kullanılarak yapılan bir çalışmada radon ölçüm sonuçları yer altı suları için 0.95-36.00 Bq/l, deniz suları için 0.30-0.54 Bq/l, musluk suları için 0.39-0.47 Bq/l, nehir suları için 0.43-2.40 Bq/l olarak ölçülmüştür. Brezilya devletinin koymuş olduğu sınır değer ise 2.35 Bq/l'dir [15].

2000 yılında Ürdün'de ki sıcak kaynak sulardan alınan örneklerin radyonüklid konsantrasyonları bir HPGe gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak Th234, Ra226, Pb214, Bi214, Ac228, Th228, Pb212, Bi212, Tl208, U235 ve K40'ın aktiviteleri 0.14 ile 34.8 Bq/l arasında değerleri kapsar. Ayrıca ana uranyum ve toryumun konsantrasyonları sırayla 3.0×10^{-3} ile 0.59 mg/l olarak bulunmuş, sonuçlar ise içme suyu ile kıyaslanmıştır [16].

Çevik ve arkadaşları Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 11 farklı yerleşim yerinden alınan su örneklerinin ^{222}Rn aktiflik konsantrasyonlarını tespit etmiş ve ortalama aktiflik konsantrasyonunu 10.82 Bq/L olarak bulmuşlardır [17].

Denizli'de Erees ve arkadaşlarının depremler ile fay hattı üzerindeki termal suların radon konsantrasyonundaki değişimler arasında bağlantı kurmak amacıyla yaptıkları çalışmada konsantrasyon değerlerinin 0.67 kBq·m⁻³ ile 25.90 kBq·m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir [18].

Yalım ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada Afyonkarahisar ili ve çevresindeki fay hattı boyunca bazı kuyu sularındaki radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0.7 Bq/L ile 31.7 Bq/L arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir [19].

Tarım ve arkadaşları Bursa'daki kuyu suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının değişimlerini çalışmıştır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, kuyu suları için 1.46-53.64 Bq/L, çeşme suları için 0.91-12.58 Bq/L aralığındadır [20].

Slovenya’da yapılan bir çalışmada bazı maden suları ve termal sularda yapılan çalışmalarda elde edilen radon sonuçlarının 5 ile 1700 pCi/l arasında, radyum sonuçlarının 0.2 ile 16.6 pCi/l arasında değiştiği gözlenmiştir [21].

M.Azovazi ve ekibi tarafından 2001 yılında Fas’da yapılan çalışmada gama spektroskopisi kullanılarak sadece maden bölgesinden alınan su örneklerinde Ra226 seviyesi 0,2 Bq/l civarında bulunmuştur [22].

D.K.Hakam ve arkadaşları tarafından 2001 yılında Fas’da yapılan çalışmada gama spektrometresi kullanılarak Ra226 ve Ra228 için aktivite değerleri sırasıyla kuyu sularında 1-25 mBq/l ve 0.6-17.3 mBq/l, mineral sularda 9.1-3696 mBq/l ve 2.4-620 mBq/l, nehir sularında 0.853 mBq/l ve 0.78-2.9 mBq/l, musluk sularında 0.46-46 mBq/l ve <0.4-7.7 mBq/l, göllerde 0.8123 mBq/l ve 0.61-11 mBq/l olarak bulunmuştur [23].

J. González-Labajo ve ekibi (2001) İspanya’da gerçekleştirilen çalışmada alfa ve gama spektrometresi kullanılarak maden suyundaki uranyum izotopları ve Po210 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 30 mBq/l ve 3-5 mBq/l olarak bulunmuştur [24].

S.A.Sagan ve arkadaşları tarafından 2001 yılında Ürdün’de yapılan çalışmada germanyum dedektörü (HPG) ile gama spektrometresi kullanılarak U235 ve K40 aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.14 ile 34.8 Bq/l olarak ölçülmüştür. Yerkabuğunun ortalama U238 içeriği 2.7 mg/kg olduğu hesaplanmıştır [25].

N.Zouridakis ve ekibi tarafından 2002 yılında Yunanistan’ın Thessaloniki şehrindeki içilebilir sularda yapılan çalışmada sıvı sintilasyon sayaç sistemi kullanılarak sudaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. U-238 için aktivite konsantrasyonu 7 µg/l’den daha düşük Rn-222 için aktivite konsantrasyonu 4-30 Bq/l aralığında ölçülmüştür [26].

Yeni Kuzey Meksika’da A.C.Hakonson ve ekibi tarafından 2002 yılında ICP-MS kullanılarak nambe bölgesinde kuyu sularıyla sulanan domates, balkabağı, marul ve turp içeriğindeki U238 konsantrasyonları sırasıyla <1 µg/l-1, 150 µg/l-1, 500 µg/l-1 ve 1200-1 µg/l olarak ölçülmüştür [27].

Emily R. Unsworth ve arkadaşları tarafından 2002 yılında İngiltere’de yapılan bir çalışmada ICP kütle spektrometresi kullanılarak deniz suyundaki Uranyum konsantrasyonu için 2.68 ngml-1, yer altı suyundaki Uranyum konsantrasyonu için 0.3 ngml-1 değerleri bulunmuştur [28].

A.Misund ve arkadaşları tarafından 1999 yılında Avrupa’da yapılan bir çalışmada ICPAES, ICP-MS ve IC teknikleri kullanılarak mineral sulardaki Th, U ve K konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.0305 µg/l, 0.104 µg/l ve 5380 µg/l, yer altı sularındaki Th, U ve K konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.013 µg/l, 3.514 µg/l ve 2175 µg/l olarak ölçülmüştür [29].

Koji Oshita ve ekibi tarafından 2003 yılında Japonya’da gerçekleştirilen çalışmada ICPMS kullanılarak nehir suyu, deniz suyu ve musluk suyundaki Uranyum aktivite konsantrasyonları sırasıyla 2.63 %, 1.13 % ve 1.37 % olarak ölçülmüştür [30].

Clemens Reimann ve ekibi tarafından 2003 yılında spektrometre (ICP-OES ve ICP-MS, katyonlar) tekniği kullanılarak doğu Afrika’daki içme sularında U,K ve Th aktivasyon değerleri sırasıyla 0.005-48 µg/l, 598-45800 µg/l ve <0.002-1.59 µg/l aralığında bulunmuştur [31].

Saspal Singh ve ekibi tarafından 2003 yılında India’da yapılan çalışmada lazer fluorimetry ve fisyon iz kazıma tekniği kullanılarak göl sularındaki, kaynak sularındaki ve çeşitli kuyu suyu örneklerindeki uranyum değerleri $0.18 < U < 4.36$ ppb aralığında bulunmuştur [32].

L.Colmenero Sujo ve ekibi tarafından 2004 yılında Meksika’da sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada içme suyundaki radon konsantrasyonu 4.3-42 kBq/m³ olarak bulunmuştur [33].

Isam Salih ve ekibi tarafından 2004 yılında İsveç’te yapılan bu çalışmada ICP-MS tekniği kullanılarak doğal sulardaki Rn222, U238, Ra226 ve fluoride konsantrasyonları

sırasıyla 53470 Bq/l, 0.23-553.4 µg/l, 8.1-1917 mBq/l ve 0.03-2.31 mg/l aralığında ölçülmüştür [34].

Brezilya'nın Rio de Janeiro bölgesinde A.C.M. Costa ve ekibi tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada SRTXRF tekniği kullanılarak mineral sulardaki Mn, Cr, Ni, Cu, As, Se, Cd, Hg ve Pb için bulunan aktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla 100 µg/l, 50 µg/l, 20 µg/l, 1000 µg/l, 50 µg/l, 50 µg/l, 3 µg/l, 1 µg/l ve 10 µg/l olarak ölçülmüştür [35].

USA'da Kenneth G. Orloff ve ekibi tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada alfa parçacık spektrometresi kullanılarak kuyulardan toplanan su örneklerinde ki U-234-235-238 için bulunan toplam uranyum konsantrasyonları 1.7-5830 pCi/L'dir [36].

R.M.R. Almeida ve ekibi tarafından (2004) Brezilya'daki yer altı sularında yapılan çalışmada ICP-MS yöntemi kullanılarak sudaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. U238 aktivite konsantrasyonu $< 1.0 \times 10^{-4} - 8.0 \times 10^{-2}$ Bq/l, Ra226 aktivite konsantrasyonu $< 0.002 - 0.492$ Bq/l ve Ra228 aktivite konsantrasyonu ise $< 0.01 - 1.50$ Bq/l aralığında ölçülmüştür [37].

Adilson Lima Marques ve ekibi tarafından 2004 yılında Brezilya'nın Santos bölgesinden toplanan su örneklerinde Makrofol E polikarbonat plastik dedektör kullanılarak yapılan çalışma sonucu bulunan radon konsantrasyon değerleri; yer altı suları için 0.95-36.00 Bq/l, deniz suları için 0.30-0.54 Bq/l, musluk suları için 0.39-0.47 Bq/l, nehir suları için 0.43-2.40 Bq/l aralığında değişmektedir. Santos/Sao Vicente devletinin su için verdiği değer 2.35 Bq/l'dir [38].

Amerika'da Gosink ve arkadaşlarının içme ve kullanım suyunun karşılandığı birçok sondaj kuyusunda yapmış olduğu çalışmalarda ²²²Rn konsantrasyonları ortalama olarak 39.96 Bq/L ölçülmüştür [39].

Brezilya’da Lima ve Bonotto 1996 yılında yer altı sularında radon konsantrasyonunu ölçmüş ve 25.47 Bq/L ile 784.11 Bq/L arasında değişen konsantrasyon değerleri elde etmişlerdir [40].

İngiltere’de Al-Masri ve Blackburn, akarsulardan alınan su örneklerinde radon ölçümleri yapmış ve bu ölçümlerin sonuçlarının 0.080 Bq/L ile 1.171 Bq/L aralığında değişen değerler olduğunu tespit etmişlerdir [41].

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 [42].

Venezuela’da Horvath ve arkadaşlarının kaynak sularında yaptıkları çalışmada 0.1 Bq/L ile 576 Bq/L, musluk sularında yaptıkları çalışmada ise 0 Bq/L ile 2 Bq/L arasında değişen radon konsantrasyonu değerleri elde edilmiştir [43].

Polonya’da Kochowska ve arkadaşları 45 farklı kuyudan aldıkları su örneklerini incelemiş ve konsantrasyon değerlerinin hepsinin 12 Bq/L’nin altında olduğunu tespit etmişlerdir [44].

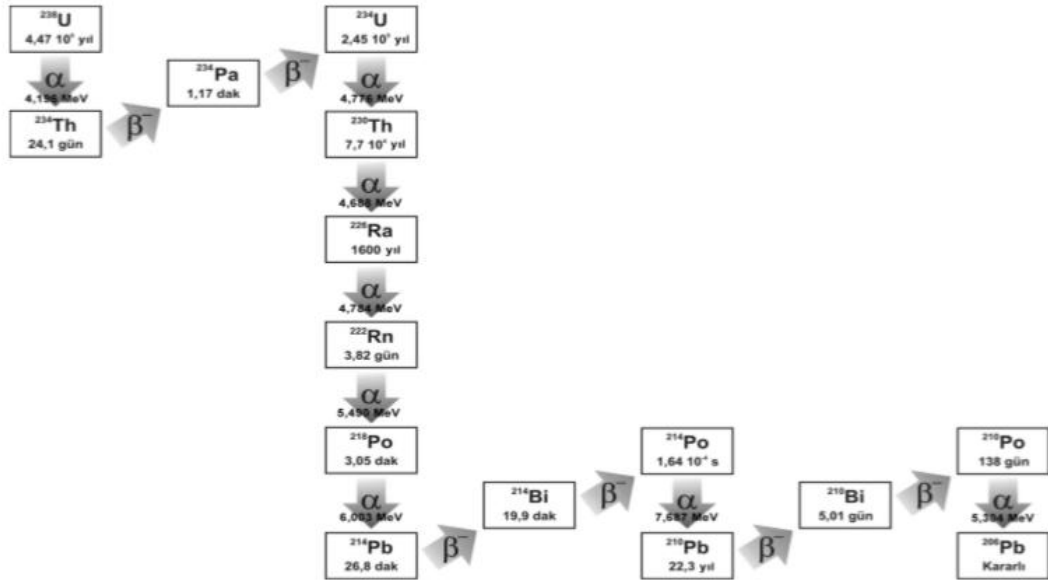
Marques ve arkadaşları Brezilya’da yeraltı suları, deniz suyu, musluk suları ve akarsularda radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yeraltı sularında 0.95 Bq/L ile 36 Bq/L, deniz suyunda 0.3 Bq/L ile 0.54 Bq/L, musluk sularında 0.39 Bq/L ile 0.47Bq/L ve akarsularda 0.43Bq/L ile 2.40 Bq/L değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir [45].

Romanya’da Comsa ve arkadaşları 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 [46].

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radonun Kimyasal Özellikleri

^{238}U bozulma zincirindeki ^{226}Ra 'nın bozulması ile sürekli olarak meydana gelen ve bozunum süresince doğal olarak oluşan Radon, diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmeyen renksiz, kokusuz asal bir gazdır [47]. ^{226}Ra 'nın 1602 yıllık yarı ömrü, kendisinden meydana gelen bütün ürünlerinin yarı ömründen çok daha uzun olduğundan 3,8 gün yarı ömürlü ^{222}Rn için üretim hızı değişmeyen bir üreteç görevini yapar [48,49].



Şekil 2.1. ^{238}U Bozunum Serisi

Radonun doğal olarak bulunan üç izotopu vardır. Bunlar U–238 zincirindeki Rn–222(Radon), Th–232 zincirindeki Rn–220(Toron) U–235 zincirindeki Rn219(Aktinon)'dur. Bu izotoplara ait özellikler Tablo 2.1' de verilmiştir.

Aktinon(Rn–219): Radyoaktif aktinyum serisinde bulunduğu için bu gaza aktinyum emanasyonu veya kısaca aktinon denir. Aktinon izotopu 6,42 MeV enerjili alfa vererek ^{215}Po ' e dönüşür. Bu izotopun yarı ömrünün çok kısa olması (3,98s) ve seri başı elementi U–235'in doğada çok az bulunması (%0.711) nedeniyle toprağın dışına difüzyonla çıkışı azdır. Doğal radyoaktif çevrede az bulunan bu izotopun atmosfere karışması ve belli bir yoğunluk oluşturma olasılığı oldukça zayıftır.

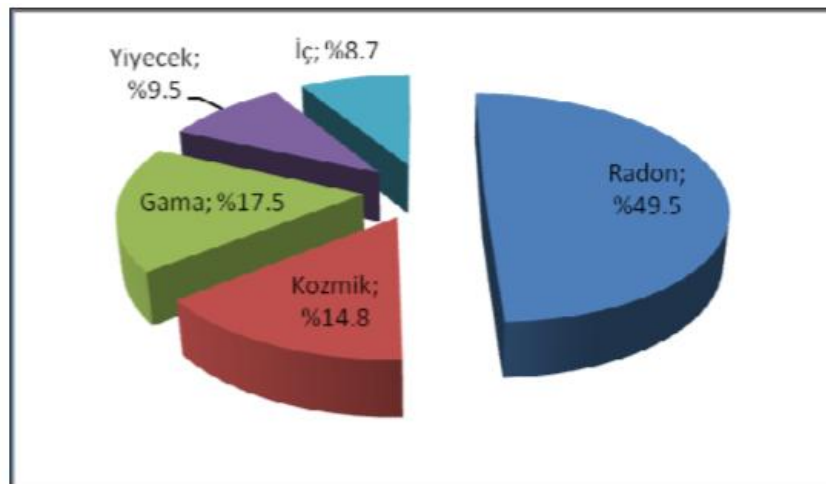
Toron(Rn–220): Radyoaktif toryum serisinde bulunduğu için bu gaza toryum emanasyonu ya da kısaca toron denir. 6,82 MeV enerjili alfa vererek ^{216}Po ' a dönüşür. Yarı ömrü aktinonla kıyaslandığında daha uzun ($t=54.5\text{s}$) olan bu izotop toprak gazında ve atmosferde belli bir yoğunluk oluşturabilir. Th/U oranı 4/1 – 3/1 olduğunda Rn–220'nin Rn–222 aktivitesine önemli bir katkı yapması söz konusudur [50].

Radon(Rn–222): Radon izotopları arasında en uzun yarı ömürlü olanı ($t=3.85$ gün) Rn–222 izotopudur. U–238'in doğada bol bulunuşu nedeniyle atmosferde ve toprak gazında yoğunluğu fazladır. Rn–222 ve ürünleri artarda 6 beta ve 8 alfa ışıması yaparak kararlı Pb–206 ile son bulan zinciri oluştururlar. Uranyum bozunma zincirinde yer alan Ra–226, 1620 yıllık yarı ömürle bozunarak radonu oluşturur. Radonun bozunum ürünlerinin ilk 4 tanesi Po–218(Ra–A), Pb–214(Ra–B), Bi–214(Ra–C) ve Po–214(Ra–C₁) yarı ömürleri 30 dakikanın altındadır ve kısa ömürlü radon ürünleridir. RaC(Bi–214)'nin beta bozunumu sonucunda oluşan RaC₁(Po–214) çok kısa bir yarı ömre sahiptir ve alfa yayını yapar. Bu durum göz önüne alındığında RaC doğrudan alfa yayınlayıcısı olarak ele alınabilir. Radonun bozunum ürünlerinden Pb–210 22,5 yıl ve Po–210 138 gün yarı ömürlüdür ve bu ürünler uzun ömürlü radon ürünleridir [50].

Tablo 2.1. Radon ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri

İZOTOP	ADI	SERİ	ANA ELEMENT	ÜRÜN	T _{1/2}	Enerji (MeV)
${}_{86}\text{Rn}^{222}$	Radon	U-238	Ra-226	Po-218	3,82 gün	α :5,49(%100) γ : 0,51(%0,07)
${}_{86}\text{Rn}^{220}$	Thoron	Th-232	Ra-224	Po-216	55,3 gün	α : 6,29(%100) γ : 0,55(%0,07)
${}_{86}\text{Rn}^{219}$	Aktinon	U-235	Ra-223	Po-215	4,0 saniye	α :6,82(%81) 6,55(%11) 6,42(%8) γ :0,272(%9) 0,401(%5)

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyonun yaklaşık yarısı Radondan kaynaklanmaktadır (Şekil 2.2.). Radon aktivitesinin dünya ölçeğinde yaklaşık 2 milyar Curie ve yer altı su kaynaklarındaki potansiyelin de 500 milyon Curie olduğu tahmin edilmektedir [51].



Şekil 2.2. Doğal radyasyon kaynakları sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozları yüzdesi [52]

Radon gazının çoğunlukla bulunduğu yerler, Radon kaynağı olan toprak ve kayalar, binalar ve yapı malzemeleri, su ve hava başlıkları altında incelenebilir. Uranyum ve Toryum yer kabuğunu meydana getiren kayalarda ve toprakta çok yaygın olarak bulunduğundan dolayı bu zincirden oluşan Radon da bu tip yapılarda bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar metamorfik ve volkanik kayaların radyoaktif madde içeriğinin tortul kayalardan fazla olduğunu göstermiştir. Kayalarda bulunan bu Uranyumun bozunması sonucunda zincirin bir parçası olan Radyum difüzyona uğrayarak daha üst katmanlardaki toprağa karışır. Uzun ömürlü olan Radyum da toprak içinde sürekli bozunup ^{222}Rn atomlarının toprak parçacıkları ve mineralleri arasında serbest kalmasını sağlar. Topraktaki ve havaya sızan Radon gazı miktarı toprak özelliklerine ve basınca bağlıdır. Bir radon atomu bir tanenin yüzeyine yakın olduğu zaman, taneler arasındaki gözeneğe geri dönebilir. Gözeneklere ulaşan radon miktarı, yayılma kesiri ile tanımlanmaktadır [53]. Tipik olarak yayılma kesiri, topraklarda ve yataklarda %10-40 arasında ve kilde %70'e kadar değişir. Yayılan radonun oranı, mineralin tane büyüklüğüne, bileşimine, ayrışma derecesine, radyum atomlarının nasıl konumlandırıldığına ve radyum içeriğine bağlıdır [54]. Genellikle gözenekler arasındaki tanecikler hava ve su karışımını içerir ve bu gözeneklerdeki radon atomları toprak gazı ve yeraltı suyunda bulunur [55].

Tablo 2.2. Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu [56]

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm-parts per million)
Volkanik Kayalar	3.0
Fosfat Kayalar (Florida)	120.0
Fosfat Kayalar (Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4.0
Kireç taşı	1.3
Tortul Kayalar	1.2

Suda çözülmüş halde bulunan radyoaktif izotoplar suyun radyoaktifliği hakkında bilgi vermektedir. Radon gazının nispeten uzak mesafelere göçü ancak sulu ortamlarda mümkün olmaktadır. Sıcaklık yükseldikçe sulara radon gazının aktivitesi azaldığı için suların içindeki radon derin kökenli değildir. Radonun bu özelliği sayesinde hidrotermal sistemlerin karakteristiklerinin belirlenmesine kolaylık sağlamıştır [57,58]. Radon

kaynağının geldiği yerin 100 °C den az sıcaklıkta olması gerekir. Bu yüzden soğuk ve ılık sular daha çok radyoaktiftir. Radon, difüzyon sonucunda kayaç çatlaklarında taşınma ile günde 100 metre kadar göç edebilir [59].

Uranyum serisinin elementlerinin genelinin katı olmasına rağmen, radon bir gazdır. Bu özelliğinden dolayı dolaylı olarak suda ya da doğrudan toprakta hareket edebilir ve sürekli olarak türeyebilir. İnsan sağlığına karşı potansiyel tehdit oluşturan Radonun yoğunluğu 0 °C derecede 9.72 g/l dir [60].

Radon suyu metallere oluşur ve kimyasal olarak aktiftir (Pb, Bi, Po gibi). Radon, üç radyasyon yayılım türünün (alfa, beta ve gama) en tehlikelisi olan 4,78 MeV enerjili alfa parçacığı yayılımı yapar [61]. Radon doğada bulunan tek radyoaktif asal gazdır. Genellikle radon yarı ömrü 3,825 gün olan ^{222}Rn ile anılır. ^{222}Rn , Uranyum (^{238}U) bozulma serisine ait, doğrudan ^{226}Ra 'un radyoaktif bozunması sonucu oluşan ve alfa parçacıkları yayan hareketsiz bir elementtir (Şekil 2.2.). Radon, oldukça uzun yarı ömürlü ^{210}Pb ye bozunmadan önce üç alfa, iki beta ışını ve çok sayıda gama ışını bölünmesiyle yayılır. Radon aktivitesi üstel olarak azalır, böylelikle beş yarı ömür veya yaklaşık 20 günde başlangıç aktivitesinin %1'i kadar aktiviteye sahip olmaktadır. Radonun kısa yarı ömrü, difüzyon ile topraktaki taşınımına normal şartlar altında birkaç metreye kadar izin vermektedir. Bu mesafe Toronun 55 saniyelik yarı ömründen dolayı çok daha kısa olmaktadır.

Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönmektedir. Kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi nadir elementlerden birisidir [62].

Radon gazı elektrik iletkenliği hiç olmayan ve ısı iletkenliği de $3,64 \times 10^{-5}$ W/cmK gibi çok düşük bir değere sahip olan asal bir gazdır. Radonun atomik yarıçapı $1,34 \times 10^{-10}$ m ve atomik kesitinin alanı $0,72 \times 10^{-24}$ cm² dir [63].

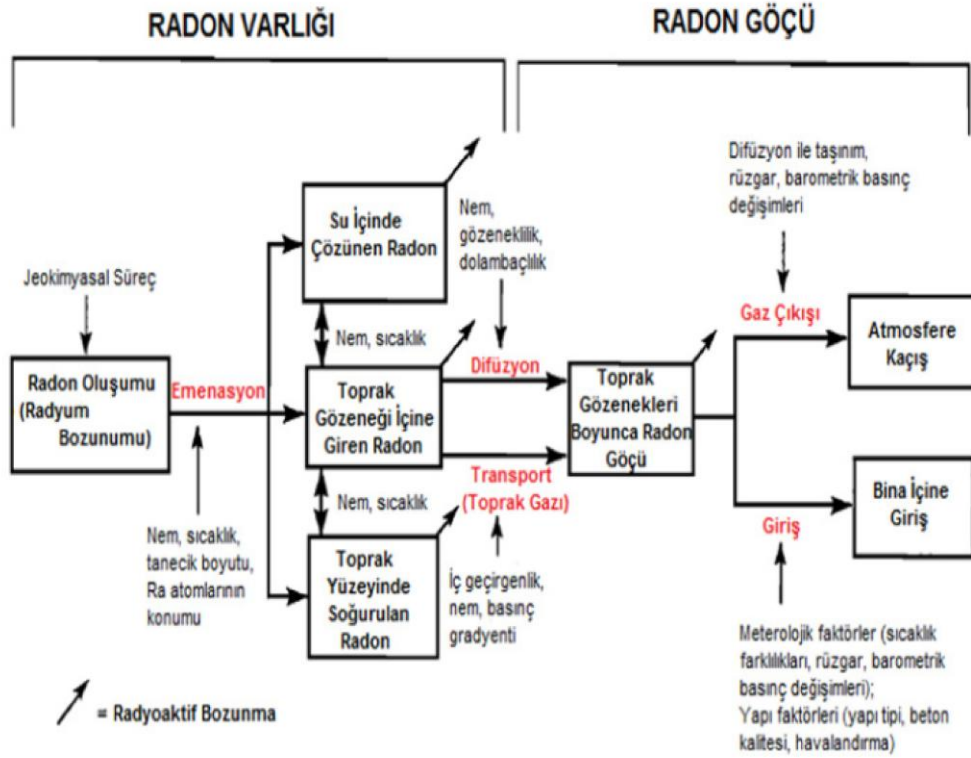
Radon donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, sıcaklık düşüşüyle orantılı bir şekilde sarılığı artan parlak bir görünüm alır [54].

Yer kabuğunda bulunan az miktardaki (ortalama 3 ppm) uranyumdan meydana gelen radon gazı, kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0,1 pCi/L lik bir ortalama radon konsantrasyonu bulunmaktadır. Radon, doğrudan gaz olarak ya da yeraltı suyundan çözünerek yer kabuğundaki kayalardan atmosfere yayılır. Yerkabuğundaki şekil değişimleri ve episantr (dış merkez) alanı içinde veya yakınındaki genleşmeler, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişini arttırmakta ve bunun sonucu olarak da sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda artış görülmektedir. Yeraltı suyundaki ve havadaki ^{222}Rn konsantrasyonu; yeraltında bulunan Uranyum depolarının yerini saptama, depremlerin önceden kestirilmesi gibi uygulamalar için dünya bilimlerinde iz olarak kullanılmaktadır [64].

2.2. Radonun Yeraltındaki Hareketi

Doğadaki radon kaynaklarının büyük bölümünü toprak ve kayalar oluşturmaktadır. Toprakta radon oluşumunda, oluşan radonun bina içine veya atmosfere göçünde etkili olan süreçleri iki grupta inceleyebiliriz (Sekil 2.3.).

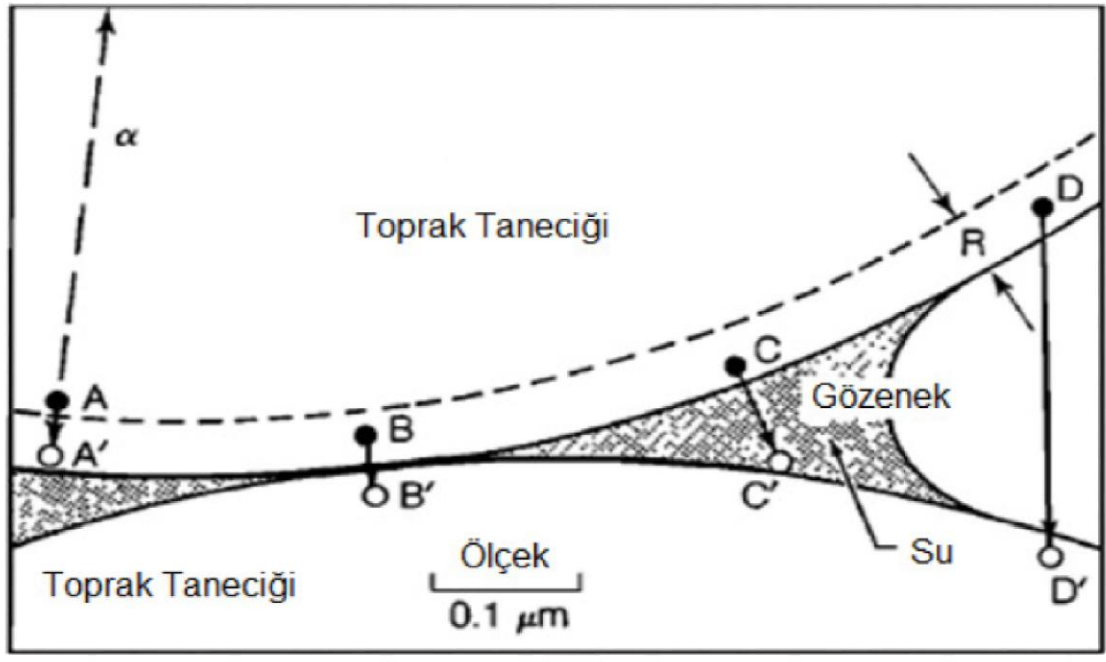
Birinci grup radon varlığı olarak adlandırılır ve radon konsantrasyonunu etkileyen faktörleri tanımlar. Bu gruptaki faktörler toprağın radon kaynağı olarak potansiyelini belirler. İkinci grup radon göçü olarak adlandırılır ve radonun topraktan bina içine veya atmosfere hareketini tanımlar [65].



Sekil 2.3. Radonun oluşumu, göçü ve bu süreçlerde etkili olan dış etmenler [65]

2.2.1. Radon Varlığı

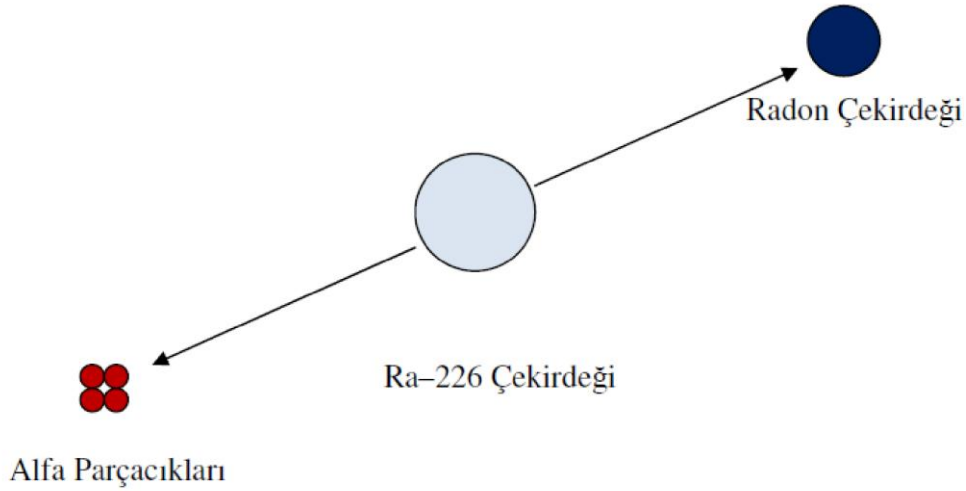
Emanasyon Gücü: Yer kabuğunun alt katmanlarında bulunan radyumun radyoaktif bozunumu sonucu oluşan radon, kısa yarı ömrü süresince topraktan atmosfere doğru göç eder. Radon bu göç olayını gaz fazda, toprak gözenekleri arasında difüzyon ve transport mekanizmaları ile hareket ederek gerçekleştirmektedir. Ancak toprak içinde oluşan radon atomlarının yalnızca belirli bir kesri oluştuğu toprak taneciğinden ayrılarak gözenek hacmi içine girmektedir. Toprakta oluşan ve oluştuğu toprak taneciğinden kaçarak toprağın gözenek hacmi içine giren radon atomlarının kesri emanasyon gücü, emanasyon katsayısı veya emanasyon kesri olarak adlandırılır [66]. Emanasyon gücünün üç bileşenden oluştuğu düşünülebilir. Bunlar direk geri tepme, dolaylı geri tepme ve difüzyon kesri olarak isimlendirilir. Bu bileşenler, geri tepen radon atomlarının, geri tepme yollarının bitiş konumuna bağlı olarak ortaya çıkmıştır (Sekil 2.4.) [65].



Şekil 2.4. Toprak taneciklerinde oluşan radon atomlarının izleyebileceği geri tepme yollarının şematik gösterimi.

Şekilde 2 μm çapındaki iki küresel toprak taneciği B noktasında birbirleri ile temas halindedir. Boyalı bölgeler su ile doludur. Radon atomlarının geri tepme uzaklığı kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Koyu noktalar ile gösterilen radyum atomları bozunarak bir parçacığı ve geri tepme yolunu içi boş noktalar ile gösterilen yerlerde bitirebilecek bir radon atomu oluşturmaktadır. A noktasında radyum atomu, oluşacak radon atomunun tanecikten kaçışına çizin vermeyecek kadar derinde yer almaktadır. B ve D noktalarında geri tepen radon atomu olduğu tanecikten kaçtıktan sonra komşu taneciğe girebilecek yeterli enerjiye sahiptir (dolaylı geri tepme). C noktasında ise radon atomu geri tepme yolunu gözeneki dolduran su içinde sonlandırmaktadır (direk geri tepme). Su içinde geri tepme enerjisini kaybeden radon gözenekler boyunca difüzyon ile hareket eder [66].

Direk Geri Tepme Kesri: Radyumun doğal izotoplarından birisine ait olan bir atom bozduğunda açığa çıkan enerjinin büyük bir bölümü alfa parçacığı tarafından taşınmaktadır. Açığa çıkan enerjinin geri kalan kısmı ise geri tepme enerjisi olarak adlandırılır (tipik kimyasal bağ enerjisinin 10^4 – 10^5 katı kadardır) ve oluşan radon atomu tarafından taşınır. Şekil 2.5' de geri tepme olayı gösterilmiştir [66].



Şekil 2.5. Geri tepme olayının şematik gösterimi

Bilinen bazı mineral yoğunlukları için, bozunmanın gerçekleştiği mineral taneciği içinde geri tepen radon atomunun gidebileceği maksimum uzaklık 20 – 70 nm' dir. Tanecik sınırlarına doğru yönelmiş olan radon atomlarının gözenek hacmi içerisine girme sansı yüksektir. Bu radon atomları (mineral taneciği içinde oluşan ve geri tepme yolunu gözenek hacmi içinde sonlandıran) emanasyon gücünün direkt-geri tepme kesrini oluştururlar. Eğer gözenek gaz ile dolu ise geri tepen radon atomunun gidebileceği maksimum uzaklık, kalan kinetik enerjisi ile havadaki geri tepme uzaklığının çarpımına eşittir. Sıkı yapıya sahip olan doğal materyallerde ya taneciklerin boyutları, tanecik içindeki geri tepme uzaklığından daha büyüktür ya da gözenekler havadaki geri tepme uzaklığından daha küçüktür. Birinci durumda birkaç tane geri tepen radon atomu oluştukları tanecikten kaçabilir. Eğer ikinci durum söz konusu ve gözenekler gaz ile dolu ise geri tepme yolu gözenek içinde son bulmaz. Gözenek içinde bir sıvının bulunması emanasyon gücünün direk geri tepme kesrini artırır [66].

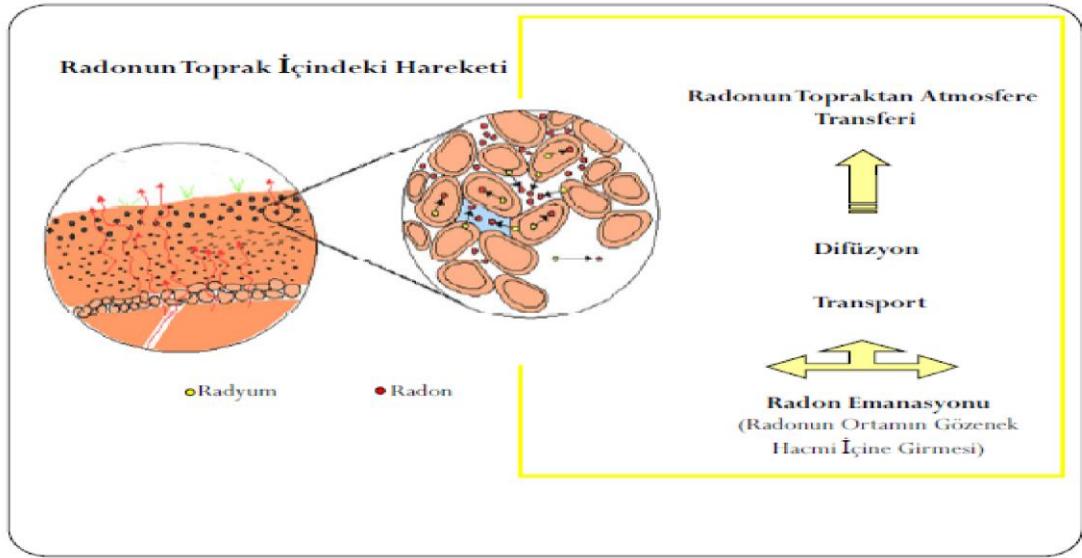
Dolaylı Geri Tepme Kesri: Eğer geri tepen radon atomu olduğu tanecik ile komşu tanecik arasındaki gözenek boydan boya geçebilecek yeterli enerjiye sahip ise komşu katı materyalin yüzeyine girer ve burada katı materyal içindeki geri tepme uzaklığı ile karşılaştırılabilir büyüklükte derinliğe sahip bir cep oluşturur [66]. Cep, radon atomunun taşıdığı geri tepme enerjisinin geri tepme yolu boyunca soğurularak materyali

eritmesi sonucu oluşmaktadır. Eriyen cep materyali soğumadan önce geri tepen radon atomunun gözenek içine geri kaçma olasılığı vardır. Bu süreç emanasyon gücünün dolaylı geri tepme kesri olarak adlandırılır [67]. Oluşan cebin derinliği materyal içinde harcanan enerjinin kesrine bağlıdır. 1939'da Flügge ve Zimen oluşan bu cebin derinliğinin ve çapının 10 nm olduğunu, 1971'de Zimen ve Merten cebin derinliğinin yaklaşık 10 nm, çapının ise 1 nm olduğunu öne sürmüşlerdir [66].

Difüzyon Kesri: Radium izotoplarının homojen olarak dağıldığı kum büyüklüğündeki tanecikler için emanasyon gücünün direkt geri tepme kesri çok küçüktür. Bu nedenle çoğu doğal materyal içindeki yüksek emanasyon gücünün radon izotoplarının materyal boyunca difüzyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir [66]. Difüzyon kesrini, geri tepme yoluna tek bir tanecikte başlayan ve noktlayan radon atomları oluşturur. Bu radon atomları daha sonra gözenekler boyunca moleküler difüzyon ile göç eder [65].

2.2.2. Radon Göçü

Toprakta radon izotoplarının göçünü etkileyen önemli faktörler, izotopların bozunma hızı, akışkan ile dolu gözenekler söz konusu ise izotopların difüzyon katsayısı, akışkanın bileşimi, hareketi ve eğer akışkan birden fazla faz içeriyorsa izotopların bu fazlar arasındaki dağılımıdır [66]. Radon göçünde etkili olan mekanizmaları difüzyon ve transport olarak ikiye ayırabiliriz. Difüzyon radon izotoplarının gözenek ortamını dolduran sıvıya göre hareket etmesidir. Transport ise gözeneği dolduran sıvının kendisinin gözenek ortamı boyunca hareket etmesi ve radon izotoplarını taşımasıdır. İncelenen bir bölgede bu mekanizmalardan yalnızca biri etkili olabileceği gibi her iki mekanizma da etkili olabilir [66].



Sekil 2.6. Radonun gözenekli ortamlardaki hareketi

Gözenek içinde akışkanın (çoğunlukla su) bulunması emanasyon sürecini hızlandırmakta ve radon izotoplarının soğurulmasını önleyebilecek bir etki göstermektedir. Ancak radon izotopu bir kez geri tepme enerjisini kaybettiğinde, ortamda bulunan akışkan izotopu soğurarak veya difüzyon katsayısını düşürerek göç olayını engellemektedir [66].

2.3. Sularda Radon Yayılımı Hakkında Genel Bilgiler

İnsanlar su ihtiyaçlarını, yer altı su kaynaklarından ve yüzey sularından sağlamaktadır. Herhangi bir jeolojik bölgede bulunan su kaynakları buldukları yerin jeokimyasal yapısı ve radyoaktif elementleri hakkında bilgi verebilir. Radon, Uranyum zincirinde bulunan radyumun bozunumu sırasında aldığı kinetik enerji yardımı ile bağlı olduğu molekülden ayrılır ve gaz halinde ortama karışarak topraktan atmosfere veya ilişkili olduğu yapıya doğru harekete geçer [68]. Su kaynağının kollarından biri Uranyum kaynaklarından geçiyorsa, bu sularda Uranyum ve Radyum elementleri çözelti olarak taşınabileceğinden, kaynak veya kuyu sularında yürütülen çalışmalar radon konsantrasyon değerleri hakkında fikir verici olabilmektedir. Sudaki Radon konsantrasyon değeri Bq/l yada pCi/l birimleri ile verilir [55]. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi UNSCEAR, yüzey suları için tipik

^{222}Rn konsantrasyonunun 40 Bq/m^3 (1pCi/l) değerinden daha alt seviyede bulunduğunu ve yeraltı suları için tipik ^{222}Rn konsantrasyonunun 4 ile 40 kBq/m^3 arasında değişiklik gösterdiği bilinmektedir [69].

Havadaki radon yayılımı sudaki radon yayılımına oranla daha fazladır ve denge ilişkileri sıcaklıktan bağımsız gelişmektedir. 0°C sıcaklıktaki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan iki kat, eşit kapalı bir hacimde ve $+15^\circ\text{C}$ 'deki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan üç kat daha büyüktür.

ABD'de yapılan farklı çalışmalar, radonun özel kuyu kaynaklarında ve küçük su kaynaklarında büyük kamu su kaynaklarına kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir. Özel kuyu kaynakları ve küçük su kaynakları, genellikle uranyum taşıyan granit, metamorfik kayalar veya fay zonu olan düşük kapasiteli akiferlerde olma eğilimindedir. Büyük kamu su kaynakları genellikle düşük uranyum içeriğine sahip yüksek kapasiteli kum ve çakıl akiferleri kullanma eğilimindedir [70].

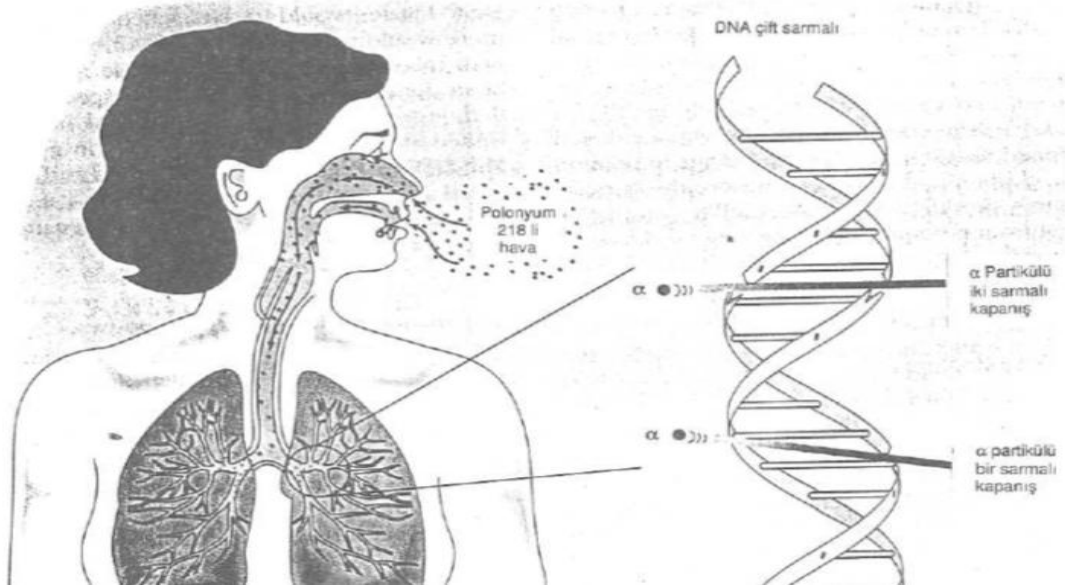
2.4. Radon Gazı ve Sağlık İlişkisi

Radon ve bozunma ürünlerinin solunması ile birlikte bronşal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunum devam ettiği için maruz kalınan radyasyon önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Alınan radyasyon dozunun oluşturduğu akciğer dokusunda hasar, havadaki Radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonuna, fizyolojik parametrelere ve toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne bağlı olarak zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. İnsan vücuduna asıl etkiyi düşük reaktiviteli ve çözünürlüklü radon gazı değil bozunumla ortaya çıkan Polonyum, Bizmut ve Kurşunun radyoaktif izotopları vermektedir. Radonun yarı ömrü ürünlerine oranla daha uzun olduğu için kimyasal bağ yapamaz ve yarı ömrünü tamamlayamadan insan akciğerinden atılır. Fakat Radon bozunumla ortaya çıkan radyoaktif izotoplar, Radon gibi gaz halinde olmadıklarından, toz ya da havadaki diğer parçacıklara çok çabuk yapışır ve solunma yoluyla insan vücuduna alınırlar [71].

Bu parçacıklar akciğer içinde bozunmalarını alfa, beta veya gama ışınması yaparak kararlı hale gelinceye dek sürdürürler. Vücut içerisindeki bu ışımalarından en önemlisi alfa ışınmasıdır. Akciğer üzerinde beta ve gama ışınlarının etkisi alfa ışınlarının etkisine göre ihmal edilebilir düzeydedir.. Akciğerlerde maruz kalınan dozun miktarını bilmek için solunum yoluyla kaç tane atomun alındığı ve biyolojik ömrünün ne kadar olduğu bilinmelidir. Radon ürünlerinin biyolojik yarı ömürleri 20 dakika ile 4,8 saat arasındadır. USA Çevre Koruma Ajansı (EPA-Environmental Protection Agency) yılda 20.000 akciğer kanseri vakasının Radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir [72].

İnsanların aldıkları radyasyon dozlarını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi (ICRP), Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) gibi kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Çalışmalar, yüksek seviyede radona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB) [73], İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2,500' ünü, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) [74] ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar.

Yapılan araştırmalar insanların yaşamları süresince maruz kaldıkları X ışını ve tıpta kullanılan radyoaktif element dozlarının üç katını kapalı yerlerde aldıklarını göstermiştir [75].

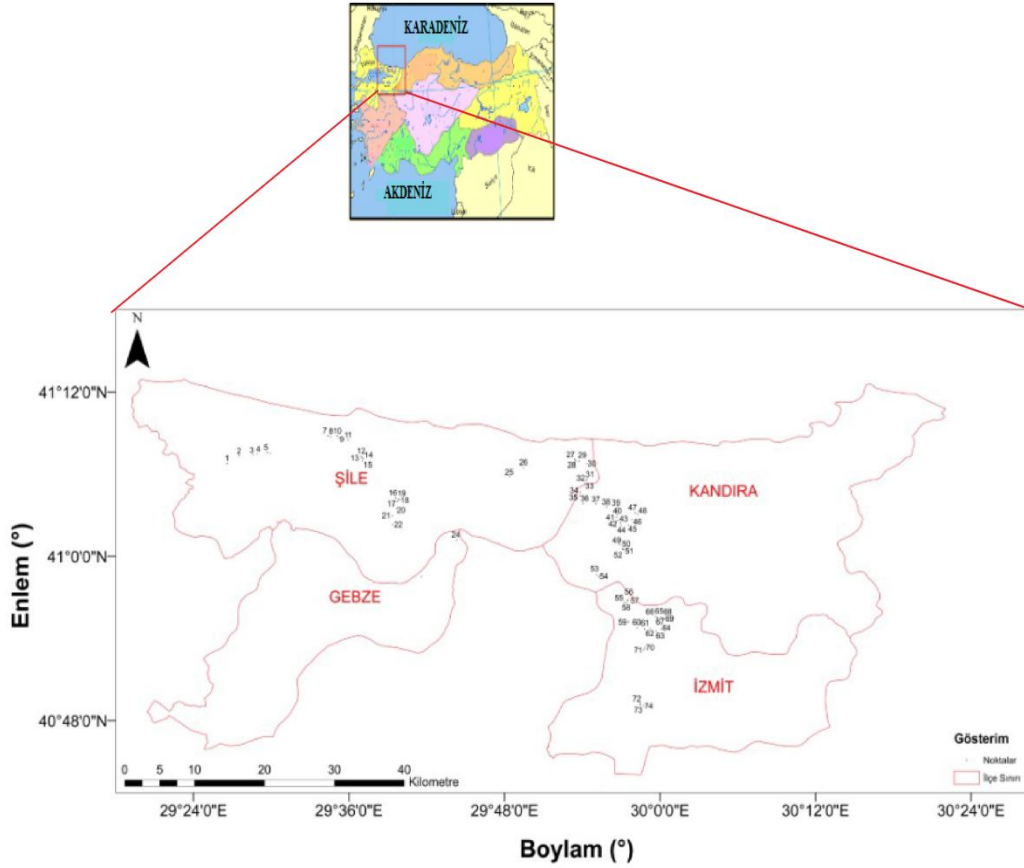


Şekil 2.7. Polonyum₂₁₈'in akciğerlerdeki etkisi

Polonyum 218'in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır.

2.5. Çalışma Alanı ve Coğrafyası

Çalışma alanı Şile-Kandıra-İzmit güzergahından 74 farklı kaynak su örneğinin alınmasıyla oluşmuştur.



Şekil 2.8. Su numunelerinin lokasyon haritası

Şile merkezinin İstanbul'a (İstanbul'un merkez ilçelerinden Ümraniye'ye) uzaklığı 55 km'dir. Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara Bölgesi'nin kuzeydoğusunda, Çatalca – Kocaeli bölümünde, Kocaeli Yöresinde ve Kocaeli Yarımadasının Karadeniz kıyısında yer alır. İlçenin doğusunda Kocaeli ilinin Kandıra, güneyinde yine Kocaeli'nin Gebze, güneybatısında İstanbul'un Kartal ile Ümraniye, batısında İstanbul'un Beykoz ilçeleri, kuzeyinde ise Karadeniz bulunur [76].

796 km² alana sahip olan Şile, Çatalca ve Silivri'den sonra İstanbul'un üçüncü büyük ilçesidir. Şile İstanbul'un 39 ilçesinden biridir. 29 derece 40 dk. doğu boylamı ile 41 derece 10 dk kuzey enlemi üzerindedir.

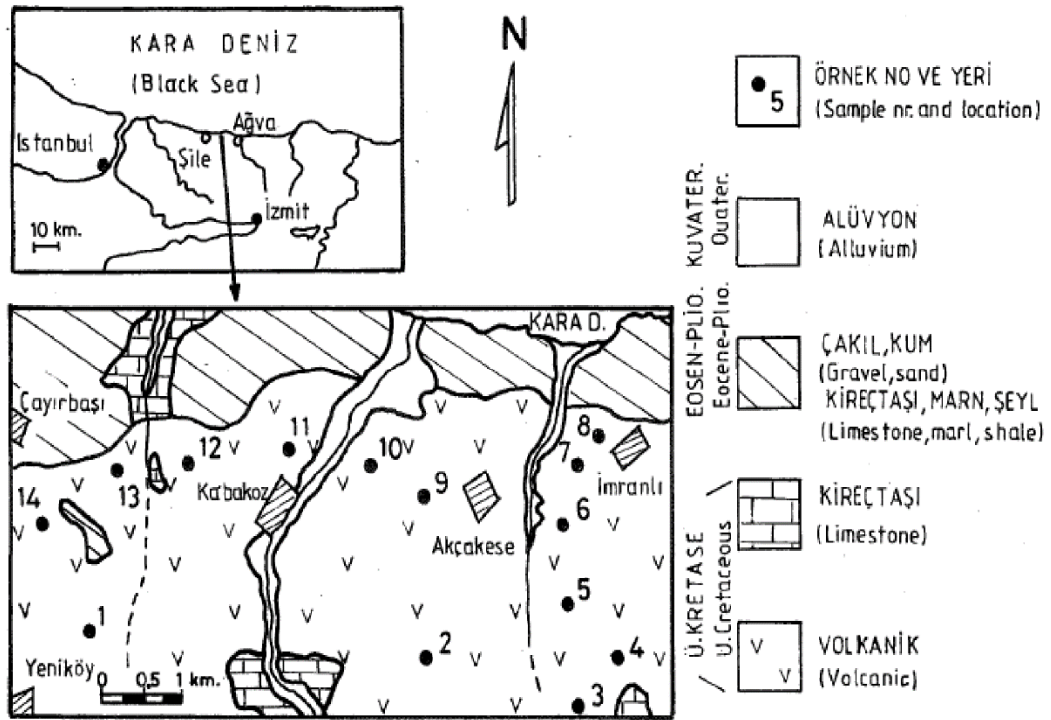
Kaynakları ormanlık alanların içinde olan sayısız akarsular ve göller arasında verimli tarım havzaları bulunur. Doğal göllerin dışında Ömerli ve Darlık baraj gölleri, Kervansaray, Karamandere ve Oruçoğlu göletleri içme suyu ve sulama amaçlı kullanılır.

Şile Türkiye deprem haritasına göre dörtlü tonlamada 2.derece deprem bölgesi içinde kalır. İlçede günümüze dek tamamen yıkıcı bir depreme rastlanmamıştır.

Şile iklimi Karadeniz ile Akdeniz iklimleri arasında geçiş iklimi özelliği gösterir. Yıllık ortalama sıcaklık 13.6 derecedir. Sıcaklık değerleri Ocak ve Şubat aylarında düşük, Temmuz ve Ağustos aylarında yüksektir. Yıllık ortalama yağış 749 mm. Olup yağışlı günler 125-150 gün arasındadır. Yağışlar sonbahar ve kışın çok, yaz aylarında ise azdır. Karla rtl günler sayısı sahil kesiminde 1-10 gün arasında, i kesimlerde 10-20 gün arasındadır [77].

Çalışma alanı sık ormanlarla kaplı olup, bitki örtüsü litolojiye bağlı olarak değişmektedir. Karadeniz sahillerindeki kireçtaşı ve marn tipi litolojiler üzerinde çayırılık ve fundalıklar, volkanik kayaçların ve Neojen okellerinin üzerinde yaygın ormanlık alanlar bulunur. Yüksek oranda yıpranmış kals-alkali volkanik kayaların taşınmasına bağlı olarak yaygın ince kömür yatakları ve endüstriyel kil yatakları içermektedir.

Şile Bölgesinde yapılmış jeolojik çalışmalarda (Baykal, 1943; Okay, 1948; Baykal ve nalán, 1979) Paleozoyik'den günümüze dek çeşitli çökel gruplan ve magmatikler ayırtlanmıştır. Bu araştırmacılar Baykal ve nalán (1979), Paleozoyik yaşlı kiretaşlan ve düşük dereceli metaklastitleri, Mesozoyik yaşlı konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve marnları ve Senozoyik yaşlı marn, kumtaşı, Őeyi ile kil - kum - çakıtaşı ve alüvyon ile kumul çökellerinden oluşan bir istif tanımlamışlar, volkanikler kapsamında ise Paleozoyik yaşlı trakiandezitleri ve st Kretase yaşlı andezitleri ayırtlamışlardır.



Şekil 2.9. Şile lokasyon ve jeoloji haritası

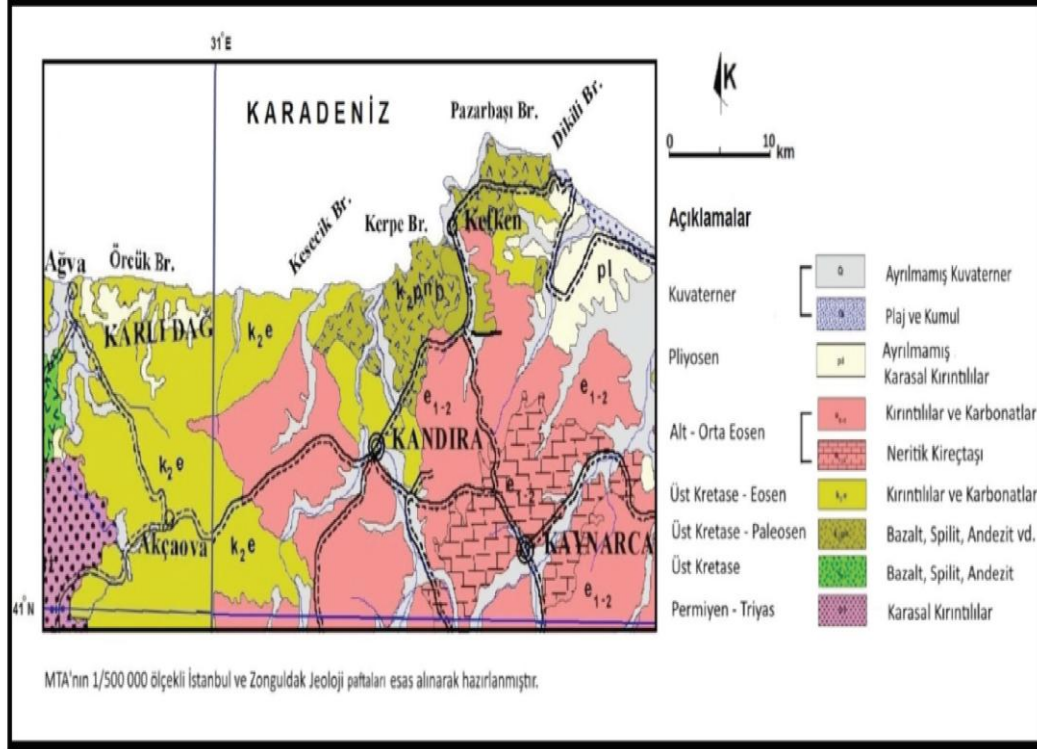
Kandıra İlçesi, Marmara Bölgesi'nde Kocaeli İline bağlı Karadeniz'de 52 km. uzunluğunda kıyısı olan tek ilçe olup, yüzölçümü 933 km² dir. Doğusunda Sakarya (Adapazarı) İli, batısında İstanbul ili, kuzeyinde Karadeniz, Güneyinde ise İzmit(Kocaeli) merkez ilçesi bulunmaktadır.

Kandıra ilçesinin arazisi küçük tepelerle kaplıdır. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 75 metredir. İlçede; Babadağ'ı (400 m.), Çaltepesi (350 m.) gibi bölgeye göre yüksek sayılabilecek tepeler bulunmaktadır.

İlçenin iklimi Batı Karadeniz ve Marmara bölgeleri ikliminin tesiri altındadır. İstikrarlı bir iklimi olmamakla beraber geçit iklimi özelliğini taşır. Yazın yağışlar genellikle düzensizdir. Kuzeyden gelen sert rüzgarları, kıyı boyunca uzanan sıradağlar engeller. Kış mevsimi genellikle fazla sert geçmez, yağışlar genellikle yağmur şeklinde olup, kar yağışı az olmaktadır [78].

Kandıra kıyılarının ana kayası genellikle Üst Kretase yaşlı birimlerden oluşur. Batıda ince ve orta tabakalı tortul kayalar, doğuda ise bazalt ve andezitlerden oluşan volkanik

kayalar yaygındır. Ayrıca koyların içinde ve akarsu ağızlarında Kuvaterner yaşlı alüvyonlara ve eski kum depolarına rastlanır (Şekil 2.10.).



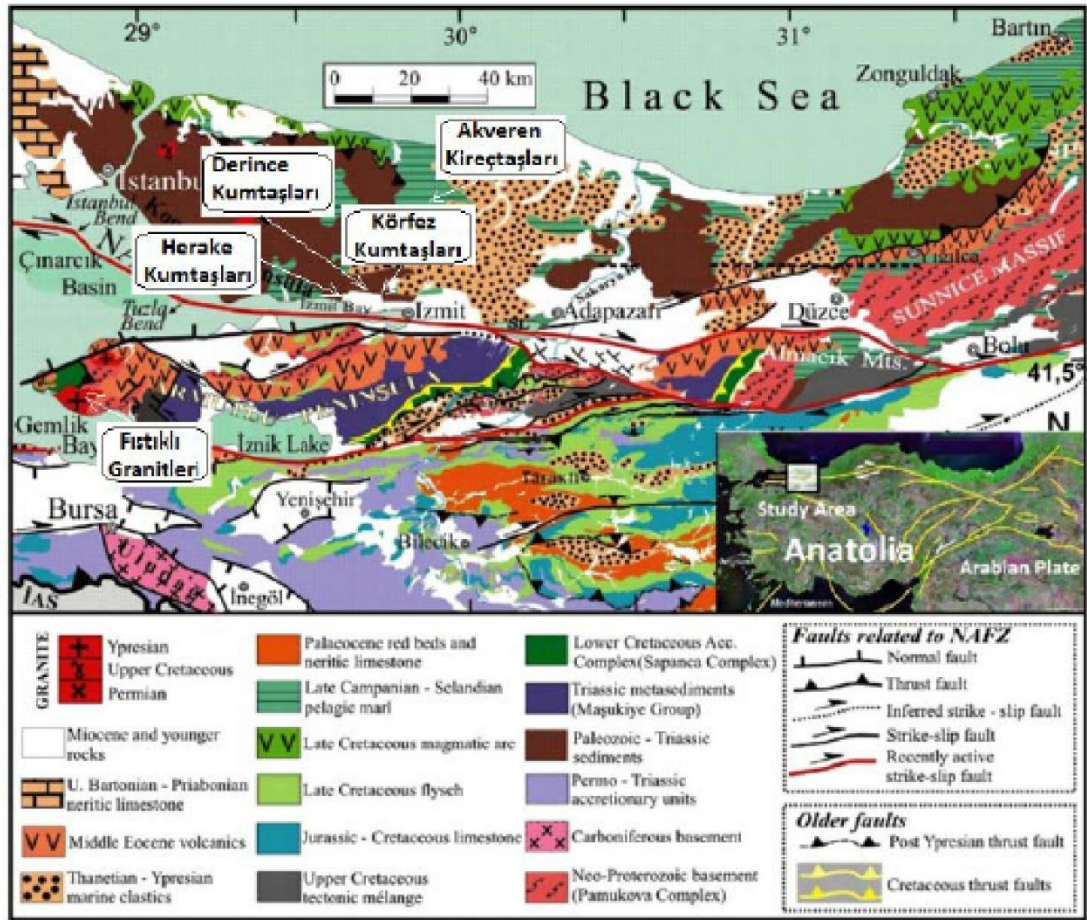
Şekil 2.10. Kandıra jeoloji haritası (MTA, 1/500.000 ölçekli Jeoloji haritaları, İstanbul ve Zonguldak paftaları esas alınarak hazırlanmıştır).

İzmit; Asya ve Avrupa'yı birbirine bağlayan Marmara Denizi'nin ve Marmara Bölgesinin doğusunda yer alan bir şehirdir. Kuzeyinde Kandıra, doğusunda Kartepe, güneyinde Baş iskele ve Gölcük, güneybatısında Karamürsel ve tam batı yönünde derince yer almaktadır. İzmit'in doğusundan geçen 30° doğu boylamı Türkiye saati (UTC+2) için esas kabul edilir.

Kendiyle aynı ismi taşıyan körfezin doğu yakasında yer alan İzmit, bir kıyı şehridir. Jeolojik ve coğrafi yapı açısından 40°-41° kuzey paralelleri ile 29°-31° doğu meridyenleri arasında bulunmakta, güneyde İzmit Körfezi, kuzeyde ise dik yamaçlarla Karadeniz'e uzanmaktadır. Arazi yapısının dik yamaçlara sahip olması nedeniyle, %5 eğime sahip olup, düzlükler az yer tutmaktadır. Topografya koşulları, kenti birbirine benzemeyen iki büyük kısma ayırmaktadır. Diğer bir önemli konu ise, kentin 1. derece

deprem bölgesi olmasıdır. Tüm bu jeolojik ve topografik özellikler, yağışlarla birlikte heyelan riskini artırma özelliğine sahiptir [79].

Çalışma alanında bulunan kayaçlar çok karmaşık olup, yaşları Kuvaterner'den Karbonifere kadar değişmektedir (Şekil 2.11.). Çalışma alanının jeolojisi Körfez, Derince ve Hereke kumtaşları ile Akveren kireçtaşları ve Fıstıklı granitlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.11. İzmit jeoloji haritası

Tablo 2.3. İstasyon adlarının numaralara karşılık değerleri

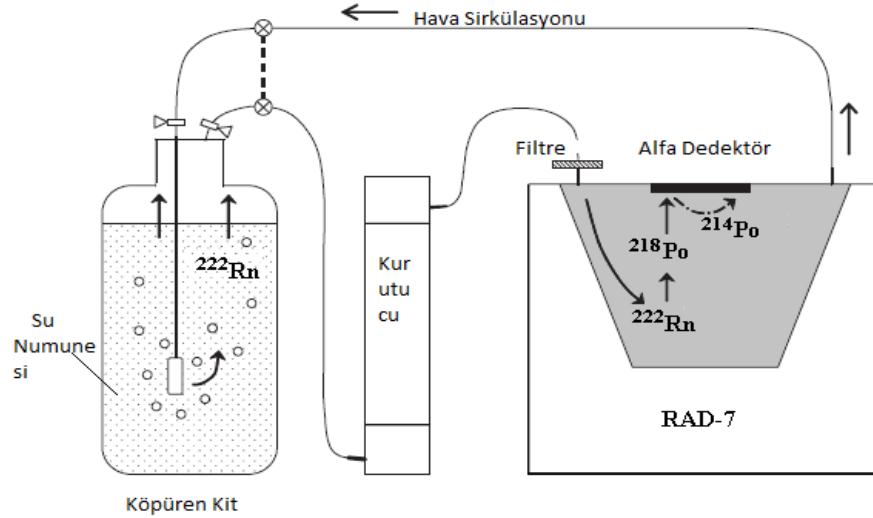
No	Yer	No	Yer
1	Üvezli Köyü, Şile (yeşilvadi yolu, esmasultan caddesi)	38	Küçük Köyü, Kandıra
2	Yeşilvadi Köyü, Şile (yeşilvadi yolu, esma sokak)	39	Küçük Köyü2, Kandıra
3	Yeşilvadi Köyü2, Şile	40	Küçük Köyü3, Kandıra
4	Kalealtı Köyü, Şile (yeşilvadi yolu)	41	İshaklar Köyü, Kandıra
5	Kalealtı Mezra, Şile (yeşilvadi yolu)	42	İshaklar Köyü2, Kandıra
6	Erenler Köyü, Şile (yeşilvadi yolu)	43	İshaklar Köyü3, Kandıra
7	Erenler Köyü, Şile (barutlu caddesi)	44	Akçaova Köyü, Kandıra
8	Ahmetli Köyü, Şile (kızıltoprak caddesi)	45	Akçaova Köyü2, Kandıra
9	Ahmetli Köyü2, Şile (ifade sokak)	46	Hatipler Köyü, Kandıra
10	Ahmetli Köyü3, Şile (Ahmetli caddesi)	47	Akıncı Köyü, Kandıra
11	İmrendere Köyü, Şile (çınarlık caddesi)	48	Akıncı Köyü2, Kandıra
12	Ovacık Köyü, Şile (yıldanere sokak)	49	Selametli Köyü, Kandıra
13	Ovacık Köyü2, Şile	50	Çalca Köyü, Kandıra
14	Ovacık Köyü3, Şile (filya mesire yeri)	51	Çalca Köyü2, Kandıra
15	Ovacık Köyü4, Şile (tekkeli şoför sami çeşmesi)	52	Çalca Köyü3, Kandıra
16	Teke Köyü, Şile (kaldırım sokak)	53	Dereli Köyü, Kandıra
17	Teke Köyü2, Şile (yazımayır mesire yeri)	54	Tatarahmet Köyü, Kandıra
18	Teke Köyü3, Şile (gülün caddesi)	55	Karamanlı Köyü, Kandıra
19	Teke Köyü4, Şile (gülün caddesi)	56	Bulduk Köyü, İzmit
20	Bıçkı dere köyü, Şile	57	Bulduk Köyü2, İzmit
21	Sevişli Köyü, Şile	58	Bulduk Köyü3, İzmit
22	Sevişli Köyü2, Şile	59	Uyuluk Köyü, İzmit (çingir çeşme)
23	Sevişli Köyü3, Şile	60	Kulmahmut Köyü, İzmit
24	Davutlu Köyü, Şile (Türk sokağı)	61	Kulmahmut Köyü2, İzmit
25	Gökmasyalı Köyü, Şile	62	Horozum Köyü, İzmit
26	İsa Köyü, Şile	63	Horozum Köyü2, İzmit
27	Büyük Bucaklı Köyü, Şile	64	Horozum Köyü3, İzmit
28	Küçükkaşığı Küme Evleri, Şile	65	Şahinler Köyü, İzmit
29	Aşağı Bucaklı Köyü, Şile	66	Şahinler Köyü2, İzmit
30	Kadı Köyü, Şile (gürcan sokak)	67	Şahinler Köyü3, İzmit
31	Çelebi Köyü, Şile (akdere sokak)	68	Şahinler Köyü4, İzmit
32	Kandıra Yolu	69	Şahinler Köyü5, İzmit
33	Ahatlı köyü, Kandıra	70	Kaynarca Köyü, İzmit
34	Büyük Bucaklı Köyü, Kandıra	71	Kaynarca Köyü2, İzmit
35	Yağcılar Köyü, Kandıra (sofular mahallesi)	72	Sepetçi Köyü, İzmit
36	Avdan Köyü, Kandıra	73	Sepetçi Köyü, İzmit
37	Yağcılar Köyü, Kandıra	74	Sepetçi Köyü, İzmit

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

3.1. RAD7 Radon Ölçüm Cihazı

Rad7 cihazı, radon ve yan ürünlerine ait radyasyonu ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. Bu cihazla sulardaki radon ölçümleri yapılabilir.

Yapılan ölçüm sonuçlarında Bq/m³ cinsinden veren cihaz, aynı anda ölçüm yapılan ortamın sıcaklığını OC, atmosfer basıncını (mbar) ve nem oranını (% RH) da belirler. RAD7'nin Rad H₂O aksesuarı şematik diyagramı Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. RAD7'nin RAD H₂O aksesuarı ile birlikte şematik diyagramı

Katı-hal alfa detektörü RAD7' de kullanır. Yarı iletken bir malzeme olan katı-hal detektörü alfa radyasyonunu doğrudan bir elektrik sinyaline dönüştüren, genellikle silikon kullanılan bir malzemedir. Katı hal cihazı alfa taneciğini enerjisini elektronik olarak belirler ve cihaz çok sağlamdır. Bu cihaz sayesinde radonun hangi bozunum ürününden (²¹⁸Po, ²¹⁴Po vs) olduğunu doğru bir şekilde ölçmek mümkündür. Havayı çekme veya numuneyi tutma uygulamalarında alfa spektroskopisi olduğu bilinen bu

teknikğin mükemmel bir avantajı vardır. Aynı zamanda bu cihazla radyum ölçmek mümkündür. Kullanılan numunenin bir hafta bekletilmesi radon ölçümünde yeterlidir. Ölçülen aktivite bir hafta sonunda radon aktivitesi olacaktır.

RAD-H₂O yöntemi, hava hacmi ve su hacminin sabit ve akış hızından bağımsız olduğu bir kapalı döngü havalandırma şeması kullanır. Hava, su boyunca dolaşır ve sürekli bir denge durumu oluşana kadar radonu çıkarılmasına yardım eder. RAD-H₂O sistemi bu denge durumuna yaklaşık 5 dakika içerisinde ulaşır, bundan sonra sudan daha fazla radon elde edilemez.

Radon çıkarma verimliliği veya sudan hava halkasına çıkartılan radon yüzdesi çok yüksektir, tipik olarak 40 mL' lik bir örnek için % 99 ve 250 mL' lik bir örnek için % 94' dür. Bu verimliliğinin kesin değeri, bir miktar ortam sıcaklığına bağlıdır, ancak genel olarak verimlilik % 90' ın üzerindedir.

Kurutucunun, ölçümden önce hava akışını kurutmak için her zaman kullanılması gerekir. Kurutucu uygun şekilde kullanılmazsa, RAD7 yanlış radon konsantrasyonları verebilir.

Kapalı bir hava borusu sistemiyle su numunesi içeren 500 ml'lik şişelere RAD7 radon dedektörü bağlanır. Sularda yapılacak ölçümlerde RAD H₂O aksesuarı kullanılır.



Şekil 3.2. Köpüren su örneğinin RAD7 detektörüne bağlanması

Radon gazının yüzeye çıkması için önce RAD7 pompası çalıştırılır, yaklaşık 5 dakikalık zaman içerisinde su köpürmeye başlar ve suda çözünmüş olan radon gazı yüzeye ulaşır. Böylece radonun % 94 den fazlası sudan ayrılmış olur. Sistem 5 dakika bekledikten sonra önce ara rapor verir ve sayıma başlar. Dört periyotla sayım her 5 dakikada bir devam eder ve her ölçümde ara rapor verir. Ölçüm tamamlandıktan sonra bütün sayımların ortalama radon konsantrasyonu bir spektrum grafiğinde verilir. Böylece ölçtüğümüz su numunesindeki radon miktarını öğrenmiş oluruz.

Bu cihaz ölçümlerde doğru sonuçlar verir, diğer cihazlara göre daha hassas ve duyarlıdır. RAD7 H₂O aksesuarı test merkezlerinde ve laboratuvarlarda kullanılmaktadır.

3.2. Spektrum Örnekleri

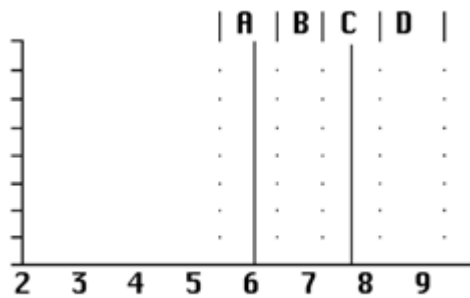
3.2.1. Operasyonel radon ışın spektrumları

3.2.1.1. Dengedeki idealize edilmiş radon

Tam Denge, her iki pik'te aynı zirve ve aynı yüksekliktedir.

A 6,00 MeV Po 218

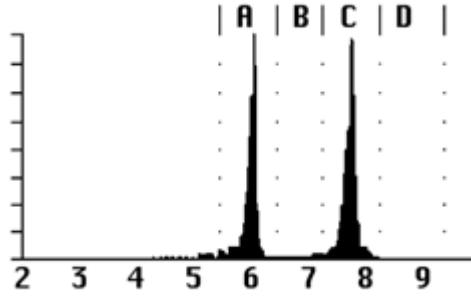
C 7.69 MeV Po214



Şekil 3.3. Dengedeki Radon spekturumu

3.2.1.2. Tam dengede radon

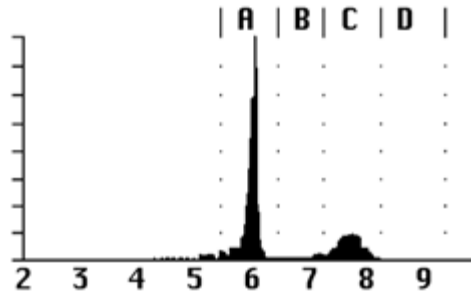
Sabit bir radon seviyesinde en fazla üç saat sonra pencere C sayım oranı A'da olduğu gibi yaklaşık olarak aynıdır.



Şekil 3.4. Tam dengedeki Radon spektrogramu

3.2.1.3. Yeni radon

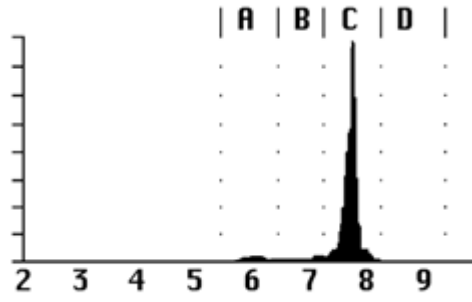
Radona 1 saatten daha kısa süre maruz kalındığı takdirde oluşan RAD7 spektrogramudur. C penceresinde oluşan pik uzunluk olarak büyümeye başlasa da onun sayım oranı hala A penceresindekinden oldukça düşüktür.



Şekil 3.5. Yeni radon Radon spektrogramu

3.2.1.4. Eski radon

On dakikadan kısa süredeki radon açık hava ile boşaltıldıktan sonraki RAD 7 spektrogramudur, bunu da radonun açığa çıkması takip eder.



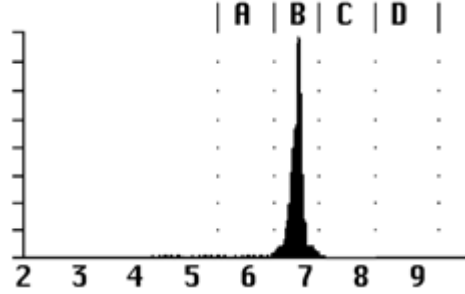
Şekil 3.6. Tam dengedeki Radon spekturumu

3.2.2. Toron spekturumu

3.2.2.1. Yeni toron

Hava sürekli örneklenirken Toron yüklü RAD7 spekturumudur.

B 6,78 MeV Po 216



Şekil 3.7. Yeni Toron spekturumu

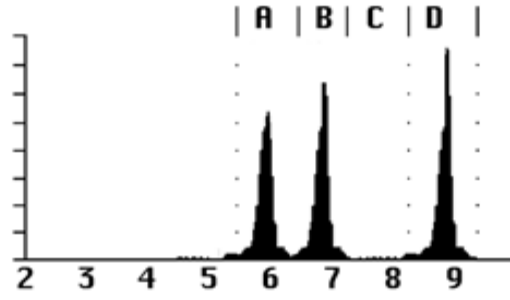
3.2.2.2. Dengede toron

Toron yüklü hava 12 saatten daha fazlası için sürekli örneklemeden sonra ki spekturumdur. D penceresindesayım oranı, A'da ölçülen oranın yaklaşık iki kadar olmalıdır.

A 6,05 MeV Bi212

B 6,78 MeV Po216

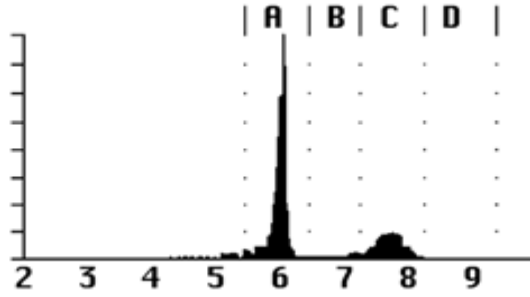
C 8,78 MeV Po212



Şekil 3.8. Dengedeki Toron spekturumu

3.2.2.3. Eski toron

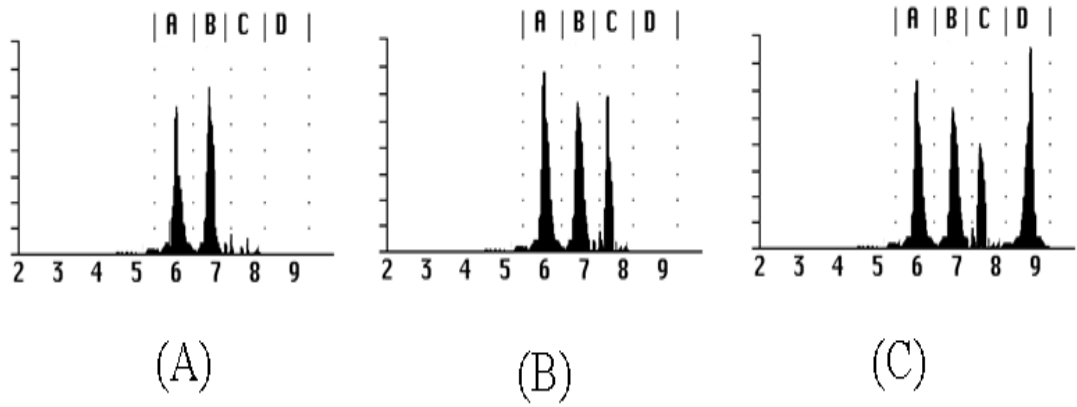
Uzun süreli örneklemenin kesilmesin den sonraki Toron yüklü havanın spektrumudur. Toron piki, B hemen yok olur. Kalın iki pik 10,6 saatlik bir yarı ömürle beraber bozular. D penceresinde sayılan oran A'da ölçülen oranın yaklaşık iki katı kadar olmalıdır.



Şekil 3.9. Eski Toron spekturumu

3.2.3. Birleşik (kombinasyon) spektrum

Radon ve toron kombinasyonlu spektrum oluşturmak için birbirine eklenebilir. Toron dan gelen pencere B ve D' deki piklerden, radondan gelen C deki piklerden oluşur. Pencere A'da ki pik genellikle radondandır, ancak D penceresinde bir pik var ise, A penceresindeki pike D'nin sayım oranının yarısı kadar katkı olacaktır. RAD7 bunu göz önünde bulundurur ve radon konsantrasyonu hesaplamadan önce, Bi_{212} sayımını düzeltmek için pencere A'da ki sayım oranını ayarlar. Aşağıdaki spektrumlarda radon ve toron karşılaştırılabilecek miktarlara sahiptir ancak, bizler genellikle birini diğerinden çok daha güçlü olarak görürüz.



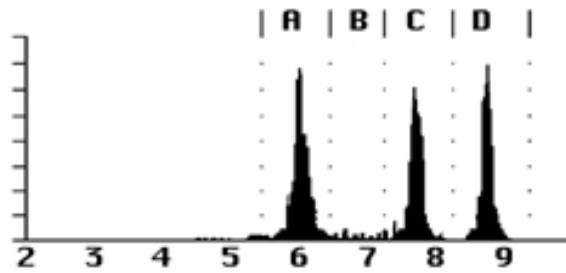
Şekil 3.10. (A) Yeni radonla birlikte yeni toron, (B) yeni radonla dengedeki radon, (C) dengedeki radonla dengedeki radon

Pencere A'nın sayım oranı kabaca pencere C'nin oranı ve pencere D'nin oranının yarısının toplamı kadardır.

- A. 6,00 MeV Po218
+6,05 MeV Bi212
- B. 6,78 MeV Po216
- C. 7,69 MeV Po214
- D. 8,78 MeV Po212

3.2.3.1. Eski toronla birlikte dengede radon

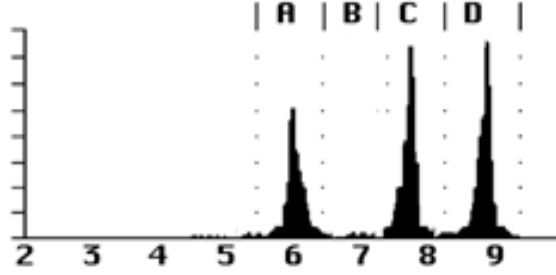
Pencere A'nın sayım oranı pencere C'nin sayım oranı ve pencere D'nin yarısının toplamı kadardır.



Şekil 3.11. Eski Toronla birlikte dengede Radon spektrumu

3.2.3.2. Eski toronla birlikte eski radon

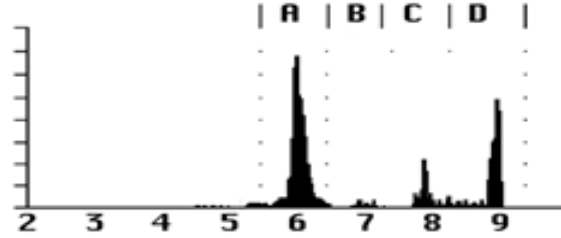
Pencere A'nın sayım oranı pencere D'nin yarısından fazla değildir.



Şekil 3.12. Eski Toronla birlikte eski Radon spektrumu

3.2.3.3. Eski toronla birlikte yeni radon

Eski bir toron spektrumu gibi görünürse de, pencere A'nın sayım oranı pencere D'nin sayım oranının yarısından oldukça fazladır.



Şekil 3.13. Eski Toronla birlikte yeni Radon spektrumu

BÖLÜM 4. DENEYSEL VERİLER

4.1. Ölçüm Sonuçları

Bu tez çalışmasında Şile-Kandıra-İzmit sınırları içerisinde bulunan doğal kaynak suları 500 ml'lik numune şişelerine alınarak SAÜ Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilmiştir. Daha sonra laboratuvarda bulunan RAD-7 elektronik radon detektör sistemi kullanılarak ^{222}Rn aktivite ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, numunenin kaynaktan alınıp laboratuvara getirilmesinin hemen akabinde yapılmaya özen gösterilmiştir. Bu nedenle de ölçüm sonuçları geçen süredeki radonun bozunması da hesaba katılarak DCF düzeltme faktörü ile çarpılmıştır. Çünkü numunenin alımını takip eden birkaç saat içerisinde ölçüm yapılamadığı için ve bu sürede radon bozunmaya devam edeceğinden böyle bir işlem zorunludur. Ölçüm sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Bozunum düzeltme faktörleri (DCF)

$$\text{DCF} = \exp (T/\tau)$$

Bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada **T**: Bozunma süresi, **τ** : ^{222}Rn 'nin ortalama ömrüdür (132.4 saat).

Tablo 4.1. Şile-Kandıra-İzmit sularında radon konsantrasyonu

İstasyon	Alındığı Tarih	Ölçülen Tarih	Geçen Süre	DCF	Rn Bq/L	Rn×DCF	SD Bq/L	SD×DCF
1	8.10.15 07:15	10.10.15 11:41	52,36	1,24	1,780	2,207	0,638	0,791
2	8.10.15 07:23	10.10.15 12:54	53,31	1,26	1,046	1,318	0,549	0,691
3	8.10.15 07:38	10.10.15 14:02	54,24	1,28	2,120	2,713	0,388	0,496
4	8.10.15 08:01	10.10.15 15:03	55,2	1,31	2,080	2,724	0,315	0,412
5	8.10.15 08:17	10.10.15 15:58	56,41	1,34	0,408	0,546	0,143	0,191
7	8.10.15 08:35	10.10.15 17:42	58,7	1,39	6,650	9,243	1,020	1,417

Tablo 4.1. (Devamı)

İstasyon	Alındığı Tarih	Ölçülen Tarih	Geçen Süre	DCF	Rn Bq/L	Rn×DCF	SD Bq/L	SD×DCF
8	8.10.15 08:50	10.10.15 18:25	59,35	1,40	1,345	1,883	1,570	2,198
9	8.10.15 08:51	10.10.15 19:15	60,24	1,43	2,300	3,289	0,952	1,361
10	8.10.15 08:55	10.10.15 20:16	61,39	1,46	7,160	10,453	0,923	1,347
11	8.10.15 09:05	11.10.15 08:16	71,21	1,69	0,631	1,066	0,307	0,518
12	8.10.15 09:16	11.10.15 09:09	72,07	1,71	0,705	1,205	0,140	0,239
13	8.10.15 09:27	11.10.15 09:55	72,28	1,72	0,964	1,658	0,505	0,868
14	8.10.15 09:32	11.10.15 10:41	72,9	1,73	7,810	13,511	0,732	1,266
15	8.10.15 09:42	11.10.15 11:28	73,46	1,74	7,460	12,980	1,340	2,331
16	8.10.15 10:02	11.10.15 12:13	74,11	1,77	1,246	2,205	2,080	3,681
17	8.10.15 10:09	11.10.15 13:59	75,50	1,79	4,340	7,768	1,030	1,843
18	8.10.15 10:15	13.10.15 09:07	119,8	2,84	0,631	1,792	0,224	0,636
19	8.10.15 10:19	13.10.15 10:25	120,6	2,86	1,710	4,890	0,147	0,420
20	8.10.15 10:24	13.10.15 11:28	121,4	2,88	1,780	5,126	0,529	1,523
21	8.10.15 10:32	13.10.15 12:31	122	2,9	2,640	7,656	0,509	1,476
22	8.10.15 10:48	13.10.15 13:15	122,27	2,91	0,779	2,266	0,141	0,410
23	8.10.15 11:57	13.10.15 14:12	122,15	2,9	0,520	1,508	0,192	0,556
24	8.10.15 12:09	13.10.15 14:59	122,50	2,9	2,260	6,554	0,456	1,322
25	8.10.15 12:14	13.10.15 15:43	123,29	2,92	0,668	1,950	0,463	1,351
26	8.10.15 12:23	13.10.15 16:30	126,7	3	2,640	7,920	0,081	0,243
27	8.10.15 12:49	13.10.15 17:24	126,35	2,99	0,890	2,661	0,419	1,252
28	8.10.15 13:03	13.10.15 18:15	126,12	2,99	0,334	0,998	0,223	0,666
29	8.10.15 13:11	13.10.15 19:11	126	2,98	5,270	15,704	1,340	3,993
30	8.10.15 13:32	13.10.15 21:35	127,3	3,01	0,483	1,453	0,330	0,993
31	8.10.15 13:40	14.10.15 08:29	139,11	3,3	0,742	2,448	0,209	0,689
32	8.10.15 13:47	14.10.15 09:18	140,29	3,33	0,594	1,978	0,122	0,406
33	8.10.15 13:54	14.10.15 11:14	142,40	3,38	2,080	7,030	0,632	2,136
34	8.10.15 14:01	14.10.15 10:18	142,17	3,37	1,520	5,122	0,393	1,324
35	8.10.15 14:21	14.10.15 12:19	142,2	3,37	3,230	10,885	0,581	1,957
36	8.10.15 14:26	14.10.15 13:06	143,20	3,39	1,370	4,644	0,423	1,433

Tablo 4.1. (Devamı)

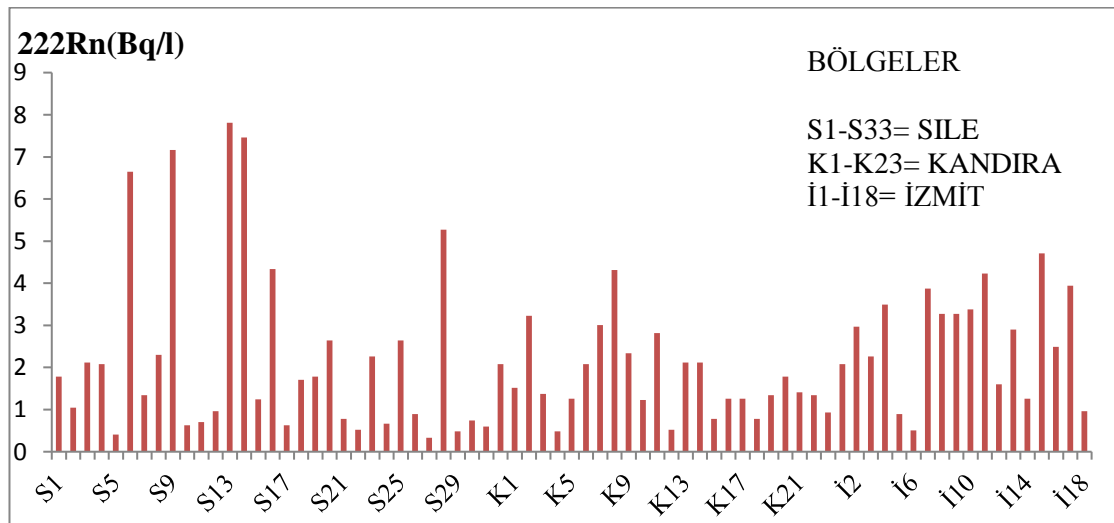
İstasyon	Alındığı Tarih	Ölçülen Tarih	Geçen Süre	DCF	Rn Bq/L	Rn×DCF	SD Bq/L	SD×DCF
37	8.10.15 14:32	14.10.15 14:03	144,29	3,42	0,483	1,651	0,410	1,402
38	8.10.15 14:33	14.10.15 14:49	144,16	3,41	1,260	4,296	0,287	0,978
39	8.10.15 14:38	14.10.15 15:35	144,57	3,43	2,080	7,134	0,501	1,718
40	8.10.15 14:41	14.10.15 16:24	145,43	3,45	3,010	10,384	0,530	1,828
41	8.10.15 14:57	14.10.15 17:08	146,11	3,47	4,310	14,955	1,040	3,608
42	8.10.15 14:58	14.10.15 18:41	147,43	3,50	2,340	8,190	0,983	3,440
43	8.10.15 15:10	14.10.15 19:25	148,15	3,51	1,230	4,317	0,391	1,372
44	8.10.15 15:22	15.10.15 10:11	162,11	3,84	2,820	10,828	0,951	3,651
45	8.10.15 15:29	15.10.15 11:31	165,58	3,93	0,519	2,039	0,308	1,210
46	8.10.15 15:33	15.10.15 12:34	166,59	3,95	2,120	8,374	0,334	1,319
47	8.10.15 15:36	15.10.15 14:15	167,21	3,97	2,120	8,416	0,221	0,877
48	8.10.15 15:42	15.10.15 15:15	167,57	3,98	0,779	3,100	0,222	0,883
49	8.10.15 15:57	15.10.15 16:55	168,2	3,99	1,260	5,027	0,810	3,231
50	8.10.15 16:20	15.10.15 18:04	169,44	4,02	1,260	5,065	0,253	1,017
51	8.10.15 16:23	15.10.15 18:50	170,27	4,04	0,779	3,147	0,222	0,896
52	8.10.15 16:25	15.10.15 19:49	171,24	4,06	1,340	5,440	0,383	1,554
53	8.10.15 16:30	15.10.15 20:38	172,8	4,1	1,780	7,298	0,529	2,168
54	8.10.15 16:36	15.10.15 21:26	172,40	4,09	1,410	5,766	0,356	1,456
55	8.10.15 16:42	15.10.15 22:12	173,30	4,10	1,340	5,494	0,583	2,390
56	8.10.15 16:52	15.10.15 23:05	174,13	4,13	0,928	3,832	0,331	1,367
57	8.10.15 17:01	15.10.15 23:58	174,57	4,14	2,080	8,611	0,532	2,202
58	8.10.15 17:07	16.10.15 03:45	178,38	4,23	2,970	12,563	0,837	3,540
59	8.10.15 17:16	16.10.15 04:28	180,48	4,28	2,260	9,672	0,255	1,091
60	8.10.15 17:27	16.10.15 06:29	181,58	4,31	3,490	15,041	0,289	1,245
61	8.10.15 17:31	16.10.15 07:21	182,10	4,32	0,891	3,849	0,631	2,725
62	8.10.15 17:57	16.10.15 08:05	183,52	4,35	0,505	2,196	0,638	2,775
63	8.10.15 17:59	16.10.15 09:07	184,52	4,38	3,870	16,950	0,543	2,378
64	8.10.15 18:02	16.10.15 09:59	186,3	4,42	3,270	14,453	0,500	2,210
65	8.10.15 18:09	16.10.15 11:23	188,46	4,47	3,270	14,616	0,967	4,322

Tablo 4.1. (Devamı)

İstasyon	Alındığı Tarih	Ölçülen Tarih	Geçen Süre	DCF	Rn Bq/L	Rn×DCF	SD Bq/L	SD×DCF
66	8.10.15 18:12	16.10.15 12:52	187,20	4,44	3,380	15,007	0,253	1,123
67	8.10.15 18:16	16.10.15 13:35	189,41	4,49	4,230	18,992	1,140	5,118
68	8.10.15 18:20	16.10.15 14:25	189,55	4,50	1,600	7,200	0,563	2,533
69	8.10.15 18:29	16.10.15 15:17	189,12	4,48	2,900	12,992	0,693	3,104
70	8.10.15 18:44	16.10.15 16:00	190,16	4,51	1,260	5,682	0,310	1,398
71	8.10.15 18:52	16.10.15 16:54	190,2	4,51	4,710	21,242	0,801	3,612
72	8.10.15 19:07	16.10.15 17:42	190,25	4,51	2,490	11,229	0,654	2,949
73	8.10.15 19:10	16.10.15 18:27	191,43	4,54	3,940	17,887	0,515	2,338
74	8.10.15 19:17	16.10.15 19:12	191,55	4,54	0,965	4,381	0,193	0,876

En yüksek ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları sırasıyla 14. istasyonda $7,810 \text{ Bq}^{-1}$ (Şile), 15. istasyonda $7,460 \text{ Bq}^{-1}$ (Şile), 10. istasyonda $7,160 \text{ Bq}^{-1}$ (Şile), 15. istasyonda $6,650 \text{ Bq}^{-1}$ (Şile) olarak gözlemlenmiştir. Sulardaki bu yüksek spesifik aktivite uranyumca zengin magmatik kayalardan taşınım prosesinin sonucunda oluşmuş olabilir.

En düşük ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla 28. istasyonda $0,334 \text{ Bq}^{-1}$ (Ağva) , 5. istasyonda $0,408 \text{ Bq}^{-1}$ (Şile) ve 37. istasyonda $0,483 \text{ Bq}^{-1}$ (Kandıra) olarak gözlemlenmiştir.

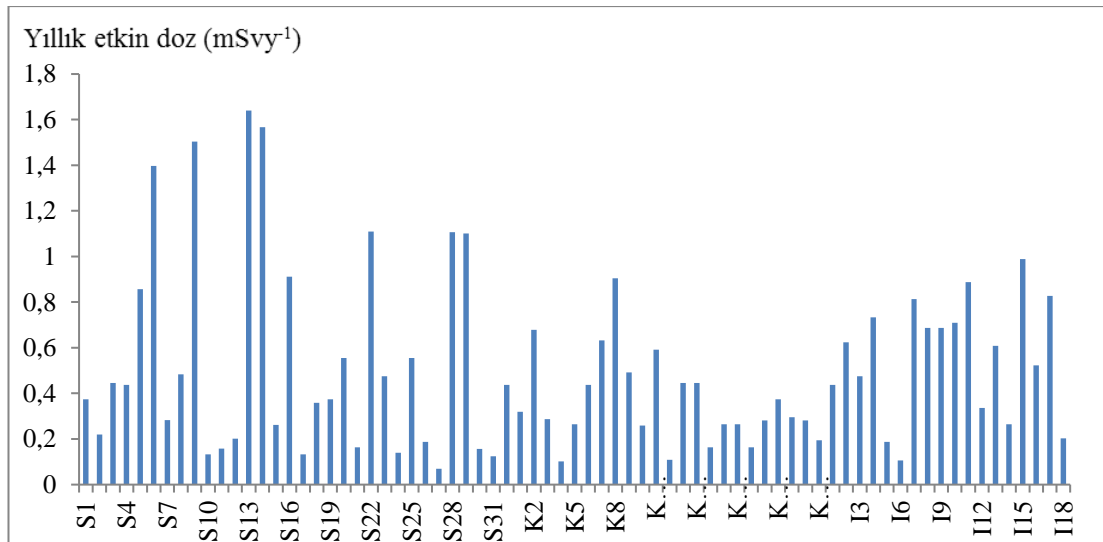
Grafik 4.1. ^{222}Rn konsantrasyon değerleri

İnsanların bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu yıllık etkin doz eşdeğeri (Y.E.D.E), olarak tanımlanır. Bu dozun vücuda alımı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kalmak sureti ile, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak sureti ile gerçekleşir. Yıllık etkin doz birimi sievert'tir. Birim hacim veya birim ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur (Değerliler, 2007). Suların içilmesi yoluyla alınan yıllık efektif dozlar sırasıyla aşağıdaki ifadelerle hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000);

$$D_{içme}^{Rn} = C_{Rn} \times I_a^{Rn} \times D_f^{Rn}$$

Burada C_{Rn} içilen sulardaki radon konsantrasyonudur ($Bq\ l^{-1}$ birimlerinde). I_a yıllık içilen su miktarıdır ve her iki radon ve radyum hesaplamaları için $60\ ly^{-1}$ olarak kabul edilir. D_f^{Rn} UNSCEAR tarafından önerilen doz dönüşüm faktörüdür ve sırasıyla radon için $3.5\ nSvBq^{-1}$ olarak önerilmiştir (UNSCEAR, 1993).

Bu çalışmada ölçülen ^{222}Rn değerleri ($Bq\ l^{-1}$) için hesaplanan yıllık etkin dozlar ($\mu Sv\ y^{-1}$) Grafik 4.2' de verilmiştir.



Grafik 4.2. Yıllık etkin doz değerleri

Şile-Kandıra-İzmit bölgelerindeki etkin doz 0,12-1,64 mSvy⁻¹ aralığında olup ortalama 0,47 mSvy⁻¹ değerine sahiptir. Uluslararası Radyasyondan Koruma Komitesi (ICRP) yıllık etkin doz için sınır değerleri 3-10 mSvy⁻¹ olarak belirlemiştir.

Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu [H⁺] ile hidroksil iyonunun [OH⁻] derişimlerinin oranına direk bağlıdır. Eğer H⁺ derişimi OH⁻ derişiminden fazla ise madde asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer OH⁻ derişimi H⁺ derişiminden fazla ise madde bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer OH⁻ ve H⁺ iyonlarından eşit miktarlarda mevcut ise, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötraldir.

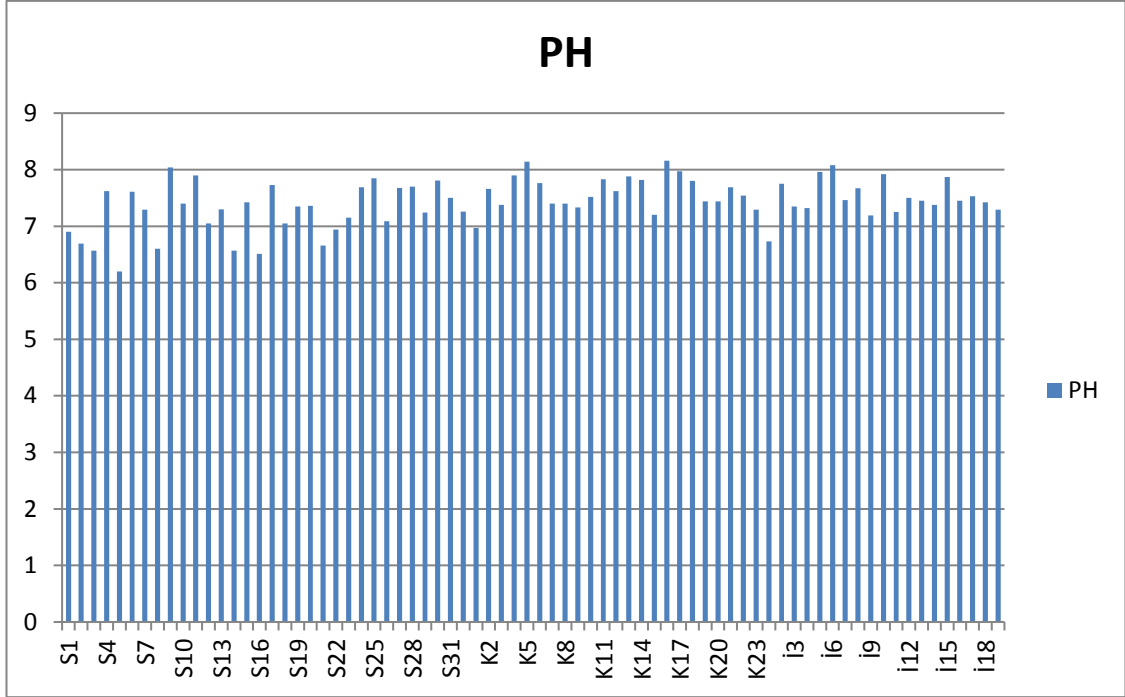
Alınan kaynak suyu örneklerinin Radon konsantrasyonlarının yanında PH, EC, TDS ve ORP ölçümleri de yapılmış olup, sonuçlar Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Suların PH, EC, TDS ve ORP ölçüm sonuçları

No	Ph	EC (mS)	ORP (mV)	TDS
1	6,9	97,2	64,7	48,7
2	6,69	135,8	73,6	67,9
3	6,57	100	80,3	50
4	7,62	486	20,6	243
5	6,2	122	96,6	60,2
6	7,61	181,9	21,7	91,1
7	7,29	466	39,3	233
8	6,6	94,7	81,9	47,3
9	8,04	478	2,5	239
10	7,4	591	33	296
11	7,90	286	5,2	143
12	7,05	102,9	53,6	51,5
13	7,3	177,4	39,2	88,6
14	6,57	189	81,7	190,5
15	7,42	2,08	32,6	1,05
16	6,51	104,9	83,7	52,5
17	7,73	470	12,5	235
18	7,05	594	53	298
19	7,35	365	36,2	183
20	7,36	436	35,7	218
21	6,66	185,2	75,2	92,8
22	6,94	342	59	170
23	7,15	448	47,1	224
24	7,69	470	16,8	235
25	7,85	263	7,8	131
26	7,09	610	50,5	304
27	7,68	9,4	17,7	313
28	7,70	2,8	17,1	503

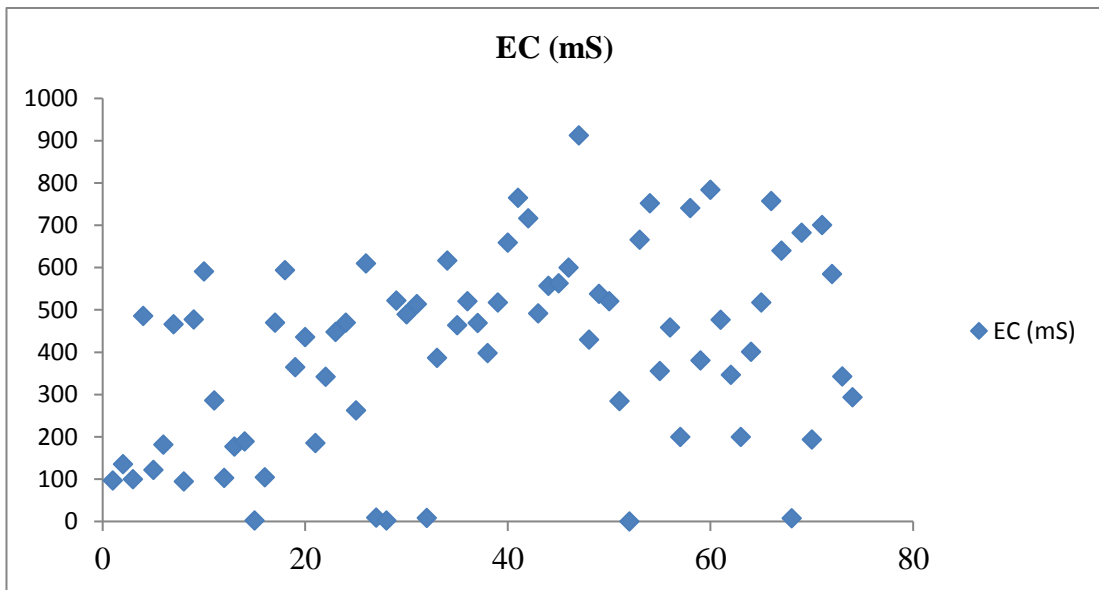
Tablo 4.2. (Devamı)

29	7,24	522	41,5	260
30	7,81	490	10,6	244
31	7,5	514	27,1	257
32	7,26	8,3	41	288
33	6,97	387	57,3	192
34	7,66	617	18,3	308
35	7,38	464	34,3	238
36	7,9	521	5,5	260
37	8,14	469	8,6	234
38	7,76	398	13,3	199
39	7,4	518	33,3	259
40	7,4	659	32,9	330
41	7,33	765	36,8	382
42	7,52	717	26,3	359
43	7,83	492	9	246
44	7,62	557	19,7	280
45	7,88	563	3,4	282
46	7,82	600	10,1	300
47	7,2	913	44,2	455
48	8,16	430	9,2	215
49	7,97	538	1,5	269
50	7,8	521	10,7	260
51	7,44	285	30,9	143
52	7,44	0,05	31,3	231
53	7,69	666	18,7	333
54	7,54	752	25,1	376
55	7,29	356	39	178
56	6,73	459	70,4	229
57	7,75	199,9	13,1	48,8
58	7,35	741	35,7	370
59	7,32	381	38,5	327
60	7,96	784	0,2	392
61	8,08	477	25	0,05
62	7,46	347	29,8	0,2
63	7,67	199,9	18	99,9
64	7,19	401	43,7	201
65	7,92	518	4,3	258
66	7,25	758	41,4	378
67	7,5	640	27,4	320
68	7,45	8,08	30,5	99,9
69	7,38	683	34,3	341
70	7,87	193,9	6,6	96,7
71	7,45	701	30,8	501
72	7,53	585	26	293
73	7,42	343	32,1	0,16
74	7,29	294	39,8	148



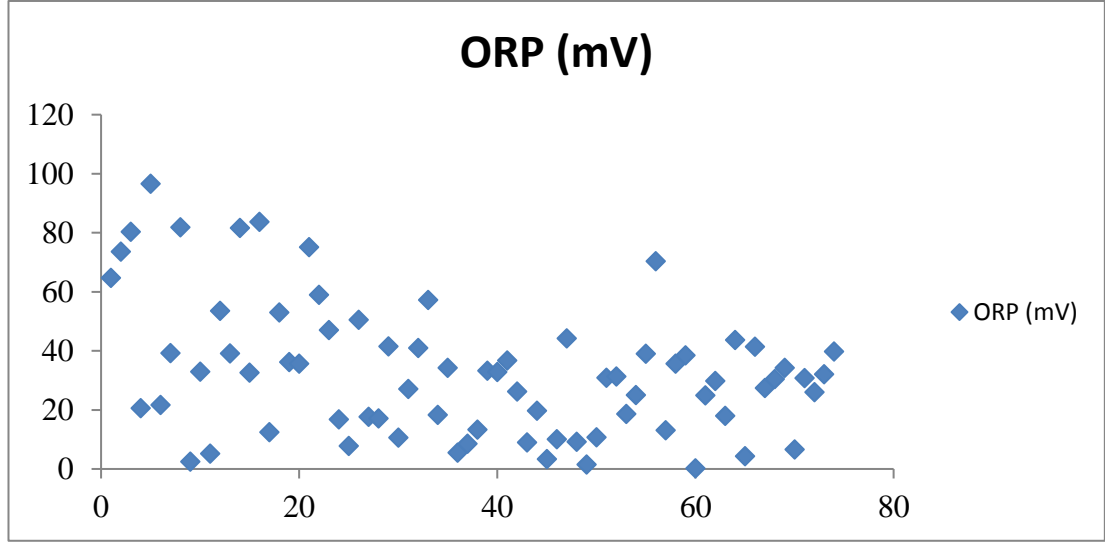
Grafik 4.3. Su numunelerinin PH değerleri

Elde edilen sonuçlara göre PH değerleri 6,2 ile 8,16 aralığında değişirken ortalama PH 7,32 değerine sahiptir. 5. istasyon olan Kalealtı (Şile) numunesi 6,2' lik PH oranı ile en asidik su olarak kaydedilmiş, 48. istasyon Akıncı (Kandıra) numunesi ise 8,16' lık PH oranı ile çalışmamızda en bazik su özelliğine sahiptir.



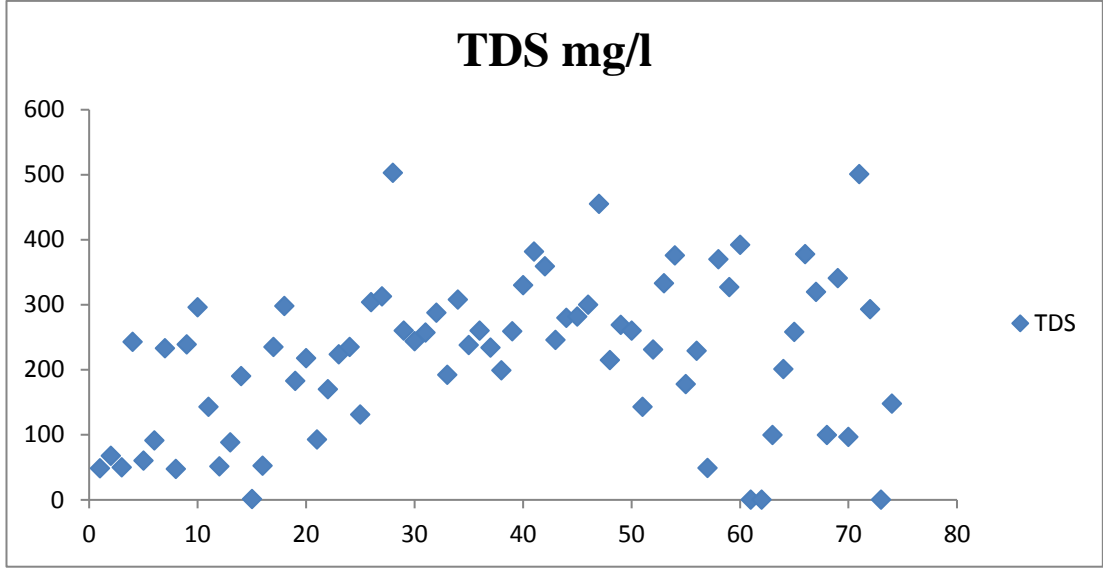
Grafik 4.4. Suların EC (mSv) değerleri

Ec değeri elektriksel iletkenliği açıklarken, suyun iletkenliği içerisinde çözülmüş olan iyonlara bağlı olduğu için aynı zamanda su içerisinde çözünen tuz oranını da ifade eder. Çalışmamızdaki EC değerleri 2,08-913 $\mu\text{mhos/cm}$ (μS) değerleri arasında bulunmuştur.



Grafik 4.5 . Suların ORP (mV) değerleri

ORP; oksidasyon indirgeme potansiyelidir. Ölçüm sonucu pozitif bir değer çıkmışsa bu suyun oksidasyon yani paslandırma ve bozucu/çürütücü etkilerinin olduğunu, negatif bir değer çıkmışsa bu suyun paslanmayı engelleyici özellikte yani antioksidan güce sahip olduğunu gösterir. Çalışmamızda ORP değerleri 2,5 ile 96,6 mV arasında değişmektedir.

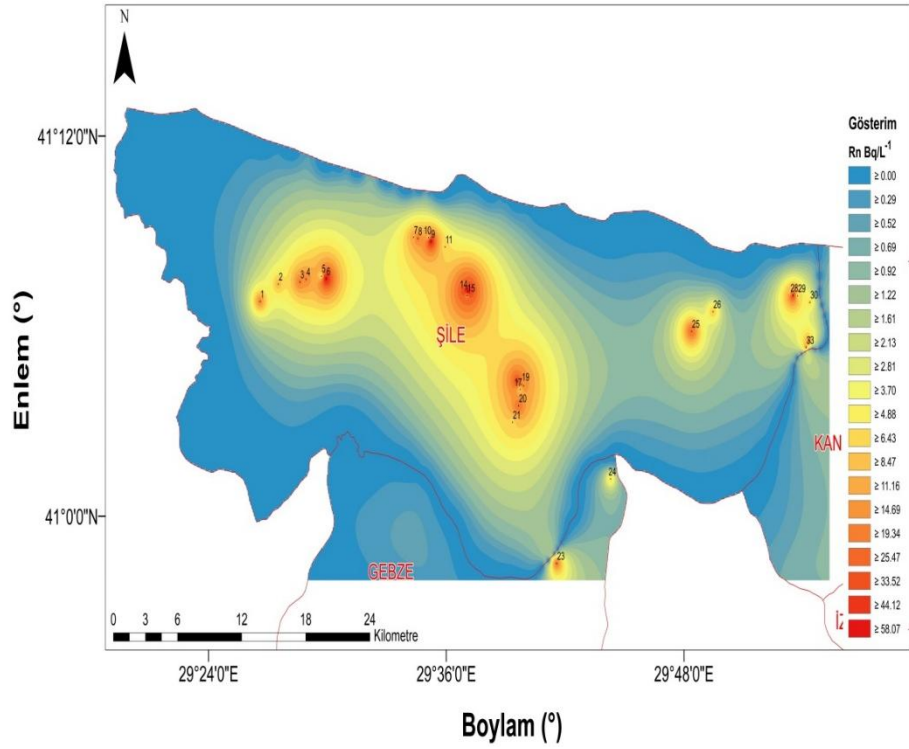


Grafik 4.6. Suların TDS (mg/l) değerleri

“Toplam Çözünmüş Katı Madde” olarak bilinen TDS, suların mineral ve iyon zenginliğini gösterir. Mevcut çalışmada TDS değerleri 0,05-503 mg/l arasında değişir.

Radon çalışmalarında ölçüm sonuçlarının yorumlanması ve değerlendirilmesi için çizilen radon dağılım haritaları büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, çalışma bölgesinden toplanan su örneklerinde ki ^{222}Rn konsantrasyonlarının dağılımları Şekil 4.1. , Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.’deki haritalarda verilmiştir.

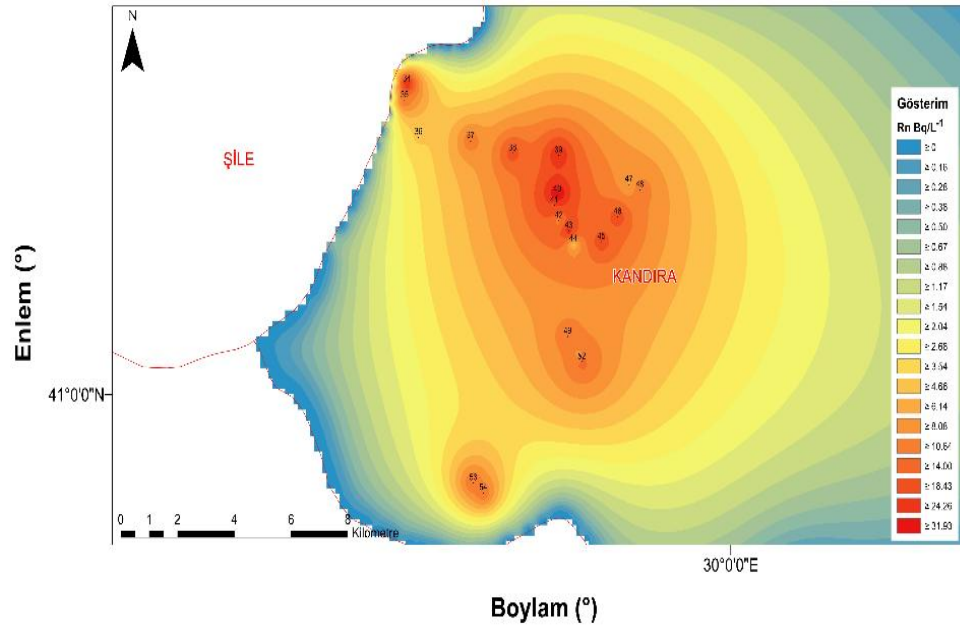
Şile-Kandıra-İzmit’ i üçe ayıracak olursak her bölgenin kendi içerisindeki analizini yapmak mümkün olmaktadır. Bölgelerin PH değerleri, Radon aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılım grafikleriyle beraber incelenmiştir.



Şekil 4.1. Şile bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu dağılımlarını gösteren kontur haritası.

Şile bölgesindeki en düşük değer $0,408 \text{ BqL}^{-1}$ ile 5. istasyon olan Kalealtı köyünden alınan su örneğine aittir. En büyük değer ise $7,810 \text{ BqL}^{-1}$ ile 14. istasyon olan Ovacık köyünden alınan su örneğine aittir.

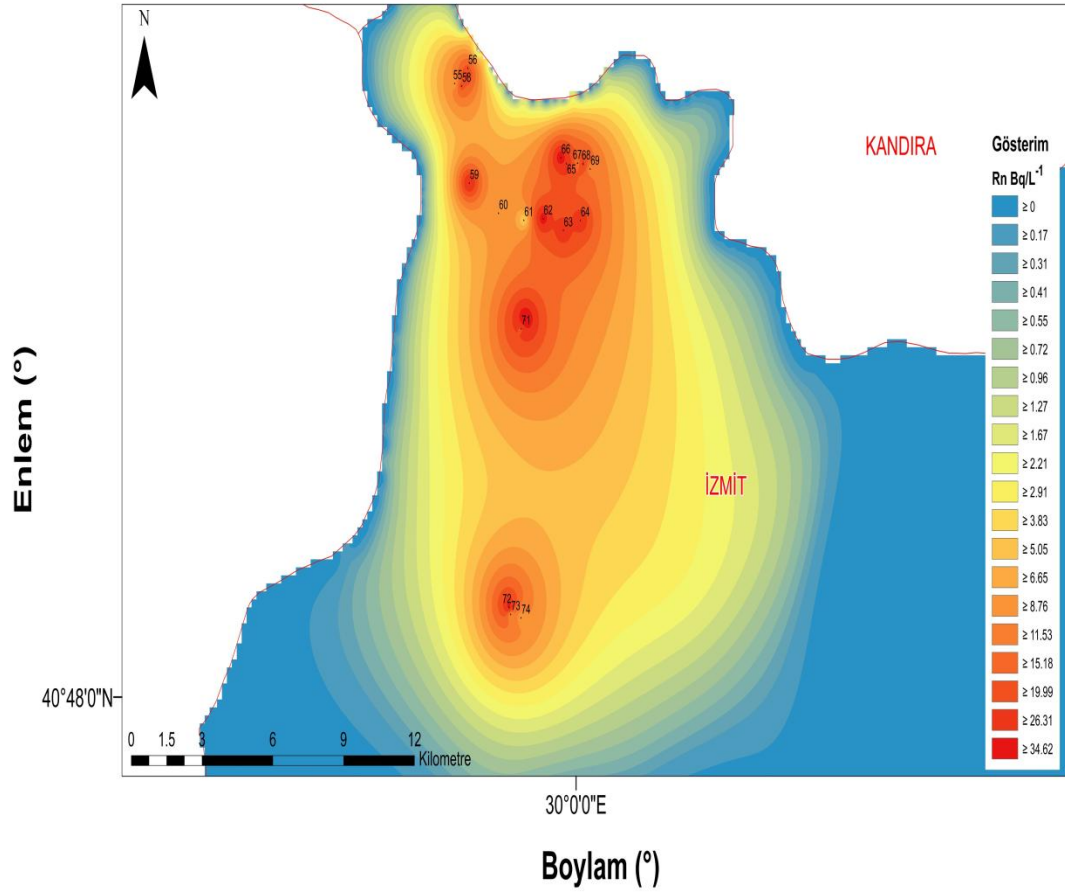
Aynı zamanda Şile bölgesindeki en yüksek Ph oranı 8,04 ile 9. istasyon olan Ahmetli köyünden alınan kaynak suyuna aittir. En düşük Ph oranı ise 6,2 ile 5. istasyon olan Kalealtı köyünden alınan örnekte ölçülmüştür.



Şekil 4.2. Kandıra bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsantrasyon dağılımlarını gösteren kontur haritası.

Kandıra bölgesinde kaydedilen en düşük değer $0,483 \text{ BqL}^{-1}$ ile 37. istasyon olan Yağcılar köyüne aittir. En yüksek değer ise $4,310 \text{ BqL}^{-1}$ ile 41. istasyon olan İshaklar köyüne aittir.

Aynı zamanda Kandıra bölgesindeki en yüksek Ph oranı $8,16$ ile 48. istasyon olan Akıncı köyünden alınan kaynak suyuna aittir. En düşük Ph oranı ise $6,97$ ile 33. istasyon olan Ahatlı köyünden alınan örnekte ölçülmüştür.



Şekil 4.3. İzmit bölgesinde ²²²Rn aktivite konsantrasyonu dağılımlarını gösteren kontur haritası.

İzmit' den alınan su örneklerinden en düşük değer 0,876 BqL⁻¹ ile 74. istasyon olan Sepetçi köyüne aittir. En yüksek değer ise 5,118 BqL⁻¹ ile 67. İstasyon olan Şahinler köyüne aittir.

Aynı zamanda İzmit bölgesindeki en yüksek Ph oranı 8,08 ile 61. istasyon olan Kulmahmut köyünden alınan kaynak suyuna aittir. En düşük Ph oranı ise 6,73 ile 56. istasyon olan Bulduk köyünden alınan örnekte ölçülmüştür.

Kaynak sularının ²²²Rn aktivite konsantrasyonları, mod, medyan, aritmetik ortalaması, standart sapması, Skewness ve Kurtosis kat sayıları IBM SPSS 20 istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 4.3.). Elde edilen ²²²Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımlarının normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunluğu araştırılmıştır.

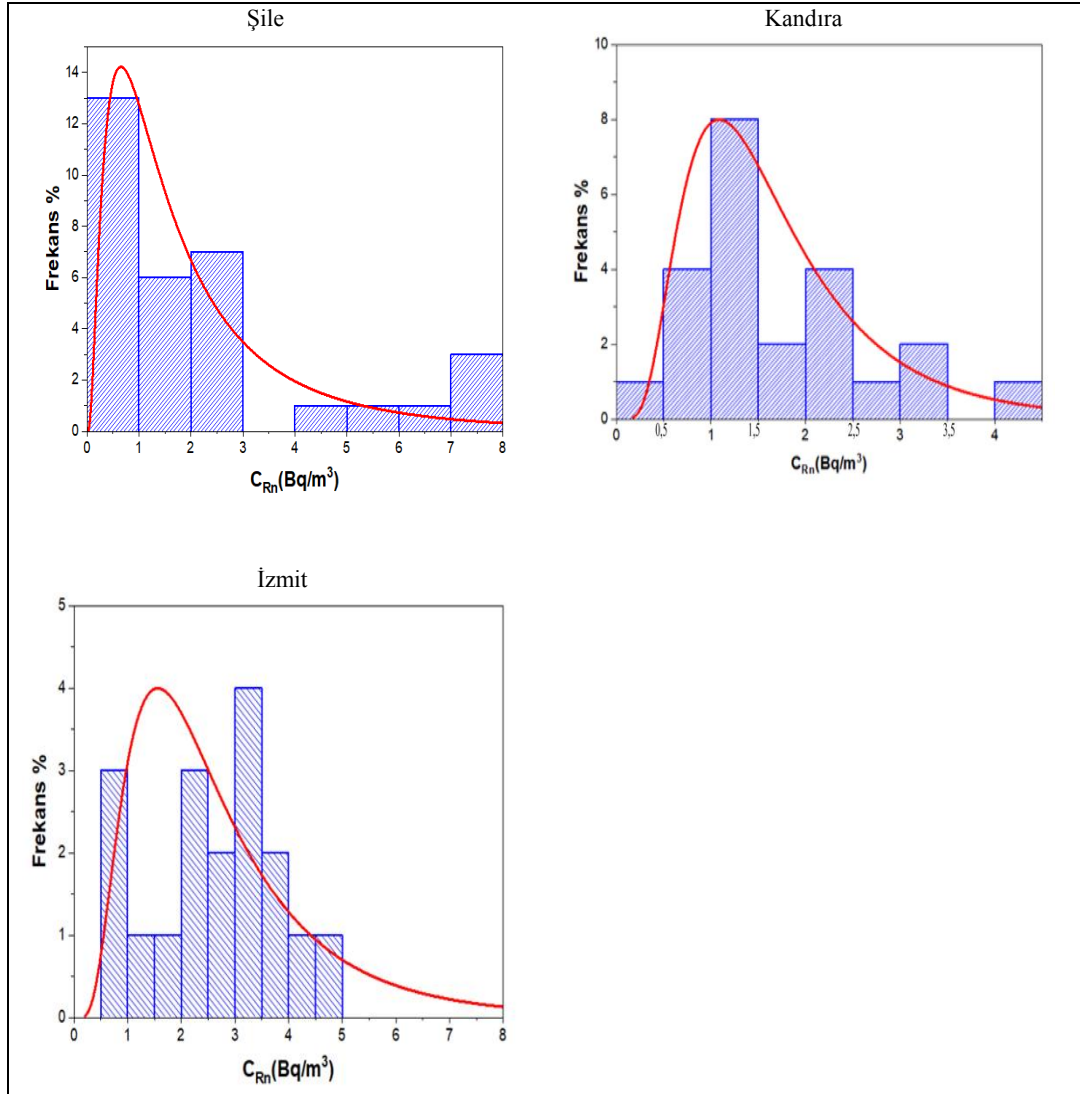
Tablo 4.3. Suların ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının mod, medyan, aritmetik ortalama, standart sapma, ve frekans dağılımlarının Skewness ve Kurtosis katsayıları

	Şile	Kandıra	İzmit	Log ₁₀
Ölçüm sayısı	33	22	19	2,18
Mod	0,63	1,26	3,27	1,78
Medyan	1,52	1,37	2,93	1,99
Aritmetik ortalama	4,94	0,88	1,53	2,89
Standart Sapma	2,22	0,94	1,23	1,70
Skewness	1,54	1,13	-,267	1,57
Kurtosis	1,23	1,27	-,959	2,50

Dağılımı test etmek için kullanılan yollardan biri ölçülen medyana aritmetik ortalama veya geometrik ortalama ile karşılaştırmaktır. Dağılım normal ise, ortalama medyana eşit olmalıdır. Eğer dağılım log-normal ise, o zaman geometrik ortalama medyana eşit olmalıdır (Karadeniz ve ark., 2008). Suların ^{222}Rn aktivite konsantrasyon değerlerini normale daha yaklaştırmak için bu değerlere logaritmik dönüşüm uyguladık ve bu değeri Log10 olarak adlandırdık (Tablo 4.2.). Hesaplanan logaritmik değerlerde ortalama ve medyan değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğunu yani verilerin logaritmik dönüşümle normale yaklaştığını görmüş olduk. Bu durumda bize ölçülen ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının dağılımının log-normal dağılıma uyduğunu gösterdi.

Yukarıda verilen Tablo 4.3’ de temel tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Skewness verinin simetrik dağılıp, dağılmadığının bir göstergesidir. Serilerin simetriden ne kadar uzaklaştığını gösteren “Çarpıklık Katsayısı” olarak adlandırılır. Simetrik dağılan bir verinin Skewness değeri 0’dır. Simetrik olmayan sağ yaslı bir veri de yani büyük değerlerin ağırlıkta olduğu bir veride pozitif Skewness vardır. Simetrik olmayan sola yaslı bir veride, yani küçük değerlerin ağırlıkta olduğu bir veride negatif Skewness katsayısı vardır. Bulduğumuz verilere göre Skewness İzmit için negatif değerdedir yani sola yaslı bir veridir. Kurtosis verinin bir Gauss dağılımına uyup, uymadığını belirler. Serinin yüksekliğinin normal serinin yüksekliğinden ne kadar uzaklaştığını gösteren “Basıklık Katsayısı” olarak adlandırılır. Gauss dağılımının Kurtosis değeri 0’dır. Daha düz bir dağılım negatif Kurtosis değerine sahiptir. Gauss dağılımından daha dik bir dağılım pozitif Kurtosis değerine sahiptir.

Bizim örneğimizde Kurtosis değerleri İzmit için negatif, Şile ve Kandıra mevsimleri için pozitif çıkmıştır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Şile-Kandıra-İzmit bölgesinde ^{222}Rn aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları

Çeşitli kaynak suları için farklı araştırmalarda ölçülen ^{222}Rn faaliyetleri Tablo 4.4.'de gösterilmektedir. Mevcut çalışmanın radon konsantrasyonları diğer sonuçlarla uyumlu görünmektedir. Tablo 4.3.'den görülebileceği gibi, bu çalışmada kaydedilen radon seviyeleri Ürdün, Venezuela, İran' da ölçülen radon aktivitesiyle karşılaştırıldığında nispeten düşüktür. Mevcut çalışma İtalya (Umbria), İsviçre Alpleri, Türkiye (Amasya) ve Türkiye (Tokat) tarafından bildirilen radon seviyeleri ile kıyaslanabilir. Sonuçlar, EPA tarafından kaynak suyundaki Radon seviyesi için önerilen 11 Bq/l, WHO tarafından kamu su denetimi için içme suyunun izin verdiği

100 Bq/l ve UNSCEAR tarafından önerilen yüzey suları için 40 Bq/l maximum değerinin çok altındadır.

Tablo 4.4. Farklı çalışmalardaki kaynak sularında radon konsantrasyonları

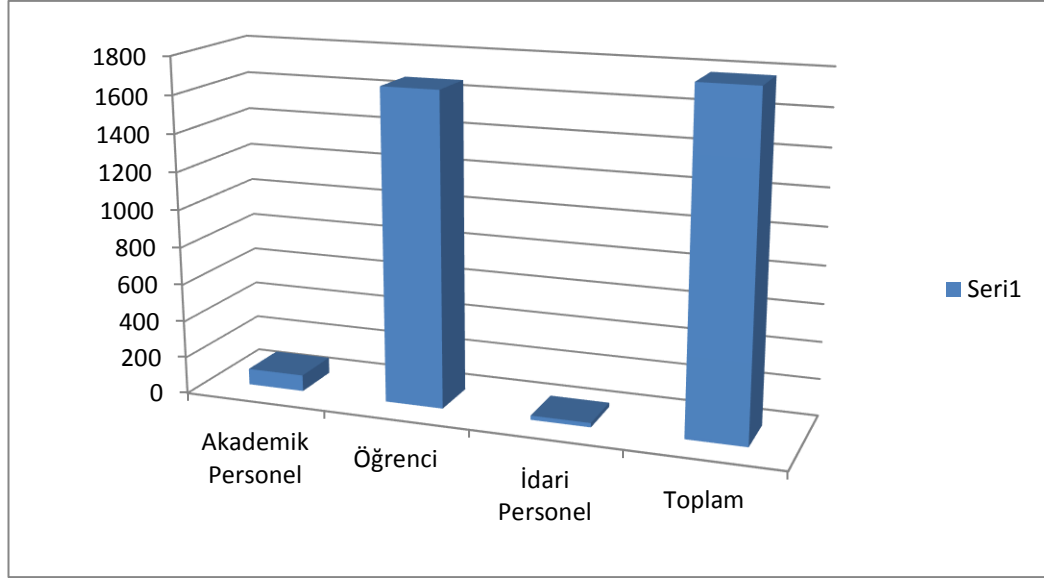
Suyun Türü	²²² Rn (Bq l ⁻¹)	Kaynak	Ülke
Kaynak Suyu	3,3-10,7	Al-Bataina,1997 [80]	Ürdün
	0,1-576	Horvath, A,2000 [81]	Venezuela
	11,4-83,4	Mowlavi, A,2009 [82]	İran
	0,13-0,9	Baykara, O,2006 [83]	Türkiye
	1,0-13	Kozłowska,2009 [84]	İtalya
	8,3-31,9	R. Bario,2005 [85]	İtalya(Umbria)
	0,1-718	F. Gainon,2007 [86]	İsviçre Alpleri
	0,39-1,17	F. Oner,2009 [87]	Türkiye, Amasya
	0,13-1,20	I.Yigitoglu,2010 [88]	Türkiye, Tokat
	0,334-7,810	Çalışma	Türkiye

BÖLÜM 5. ANKET ÇALIŞMASI

Tez çalışmasının ikinci kısmı Sakarya üniversitesinde öğrenci, akademik ve idari personelle yapılan radon farkındalığı anket çalışmasından oluşmaktadır. Proje kapsamında Sakarya Üniversitesi kampüsü ve civarındaki yerleşim yerlerine dedektör yerleştirilmiş. Radon hakkındaki algı ve farkındalığı belirlemek amacıyla sorular hazırlanmıştır.

- Çalışma, nicel araştırma tekniklerinden tarama tekniği ile gerçekleştirilmiştir.
- Çok seçimli, kısa metin, yanıtı tanımlı (Evet-Hayır, Cinsiyet...vb.) soru türleri bulunan Radon Farkındalığı Anketi uygulanmıştır.
- Verilerin analizinde, frekans ve yüzde değerleri kullanılmıştır.
- Radon hakkındaki algı ve farkındalığı belirlemek amacıyla 16 sorudan oluşan RFA, araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir.
- İlk iki soru, cinsiyet, kurumdaki konum, bölüm...vb. bilgilerin elde edildiği olgusal sorulardır.
- Diğer sorular radon ile ilgili farkındalığı belirlemek amacıyla sorulmuştur.
- Sonuçlar excel ve C++ programları kullanılarak istatistiksel yüzelere dökülerek incelenmiştir.

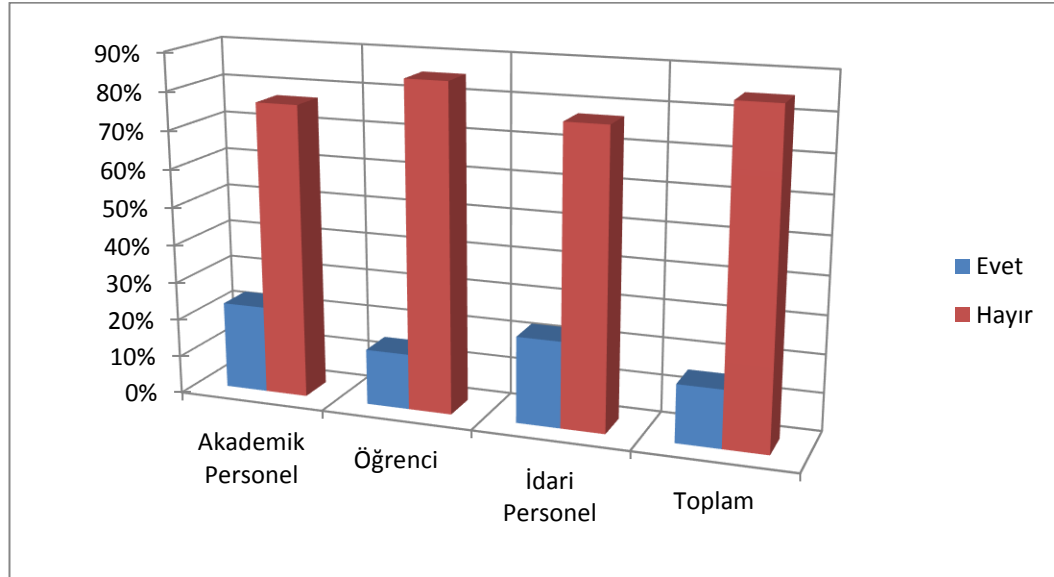
Ankete ait sorular ve katılımcıların cevapları grafiklerle birlikte açıklanarak aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.



Grafik 5.1. Anket çalışmasındaki katılımcıların mesleklere göre dağılımı

Araştırma, Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan katılımcıların büyük çoğunluğu öğrencilerden oluşmakla beraber akademik personel (88), idari personel (23) ve öğrenciler (1668) ile birlikte toplam 1779 kişi ile gerçekleştirilmiştir.

Radon ile ilgili herhangi bilgiye sahip misiniz?



Grafik 5.2. Katılımcıların Radon İle İlgili Bilgi Dağılımları

Akademik personellerin %23' ü, öğrencilerin %14,7' si ve idari personellerin %22,7' si, totalde ise katılımcıların %15,2' i Radon ile ilgili bilgi sahibi olduğunu, akademik

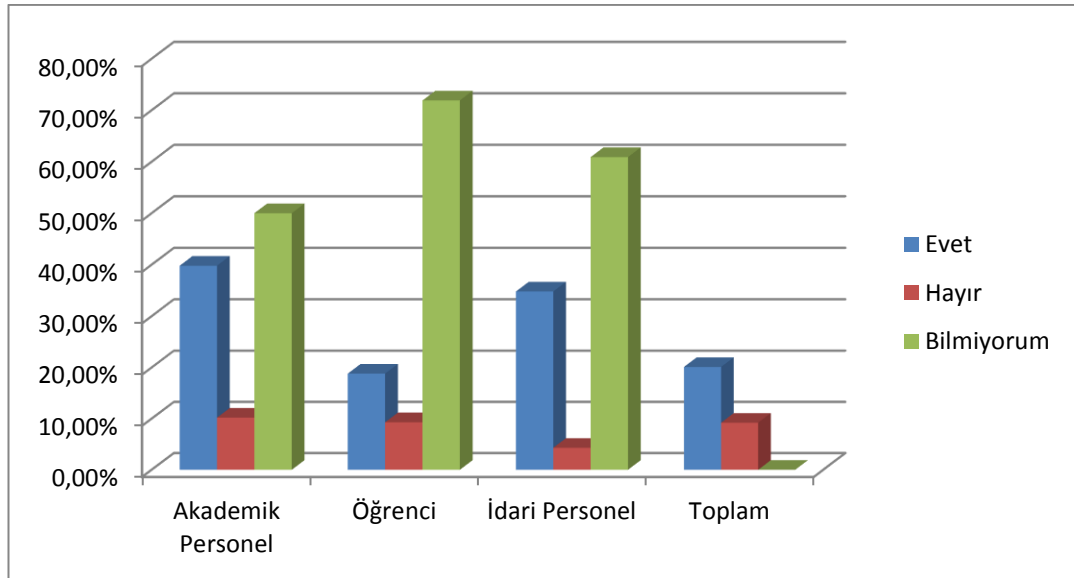
personellerin %77' si, öğrencilerin %85,3' u, idari personellerin % 77,3' ü, totalde ise katılımcıların %84,8' i bilgi sahibi olmadıklarını belirtmişlerdir.

Bu soruya “Evet” cevabı verenlere sorulan ikinci soru “Radon hakkındaki bilginizi nereden edindiniz?”

Verilen cevapların sırasıyla çoktan aza doğru sıralaması

- Okuldaki dersler
- İnternet
- Genel kültür
- Seminer
- Film
- Staj dönemindeki eğitim
- Belgesel

Size üniversitemizdeki dersliklerde, laboratuvarlarda ve ofislerde radon mevcut mudur?



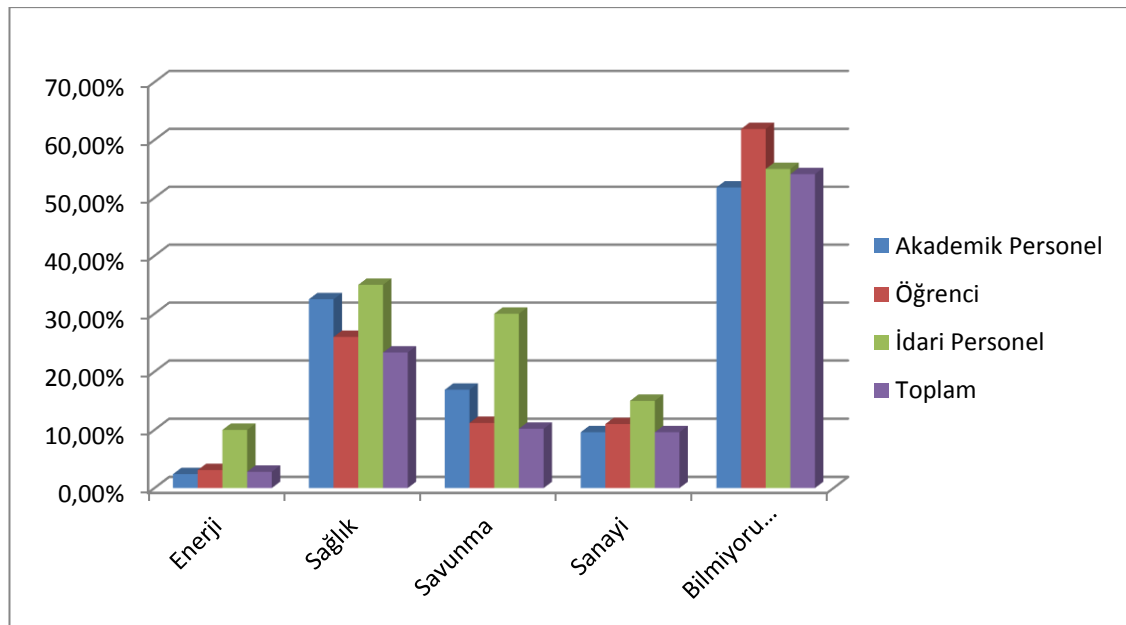
Grafik 5.3. Katılımcıların Radon Varlığı İle İlgili Tahmin Yüzdeleri

Akademik personellerin %39,8' i evet, %10,2' si hayır, %50' si bilmiyorum derken, öğrencilerin %18,8' i evet, %9,3' ü hayır, %71,9' u bilmiyorum seçeneğini işaretlemiş ve idari personellerin %34,8' i evet, %4,3' ü hayır, %60,9' u bilmiyorum derken totalde ise katılımcıların %20,1' i evet, %9,2' si hayır, % 70,2' si bilmiyorum şeklinde bildirmişlerdir.

Evet cevabı verenlere sorulan “Dersliklerde, laboratuvarlarda ve ofislerde radon kaynak/ları hangisi olabilir ?”

En yüksek oranda verilen cevap mobilyalar olmuştur. Diğer cevaplar çoktan aza sırasıyla bilgisayar, televizyon, yapı malzemeleri, aydınlatma, temeldeki toprak, ahşap eşyalar, kalorifer ve camdır.

Radonun günlük yaşamdaki en önemli etkisi hangi alandadır?

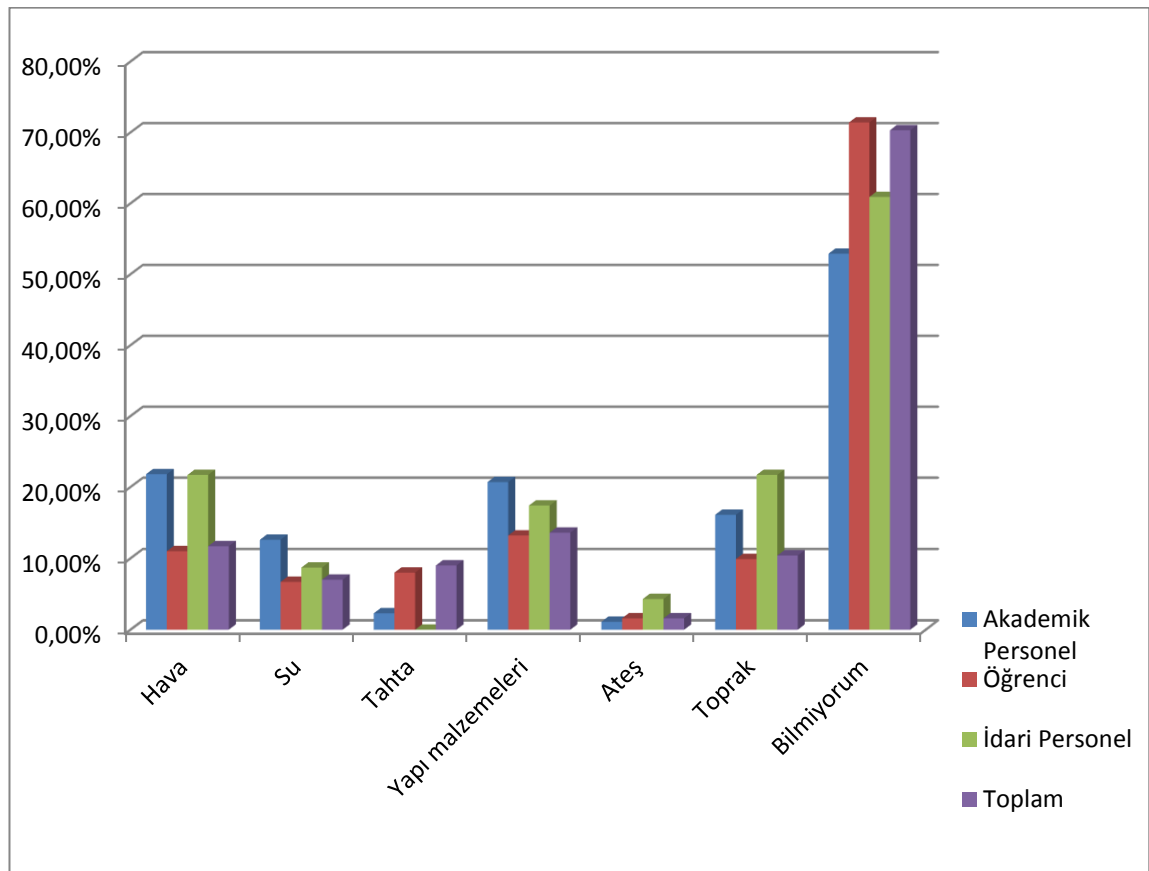


Grafik 5.4. Katılımcılara Göre Radon' un Günlük Yaşama Etki Alanları

Enerji diyenlerin oranı akademik personellerde %2,4, öğrencilerde %3,1, idari personellerde %10 katılımcıların totalinde %2,8 iken, sağlık diyenlerin oranı akademik personellerde %32,5, öğrencilerde %26, idari personellerde %35 katılımcıların totalinde %23,3 oranında, savunma diyenler akademik personeller için

%17, öğrenciler için %11,2, idari personeller için %10,2 iken, sanayi diyen akademik personeller %9,6, öğrenciler %11, idari personeller %15 totalde %9,6 oranına sahip olmakla beraber son olarak bilmiyorum diyenler için oranlar akademik personelde %51,8, öğrencilerde %61,9, idari personellerde %55 ve totalde %54,1 olarak kaydedilmiştir.

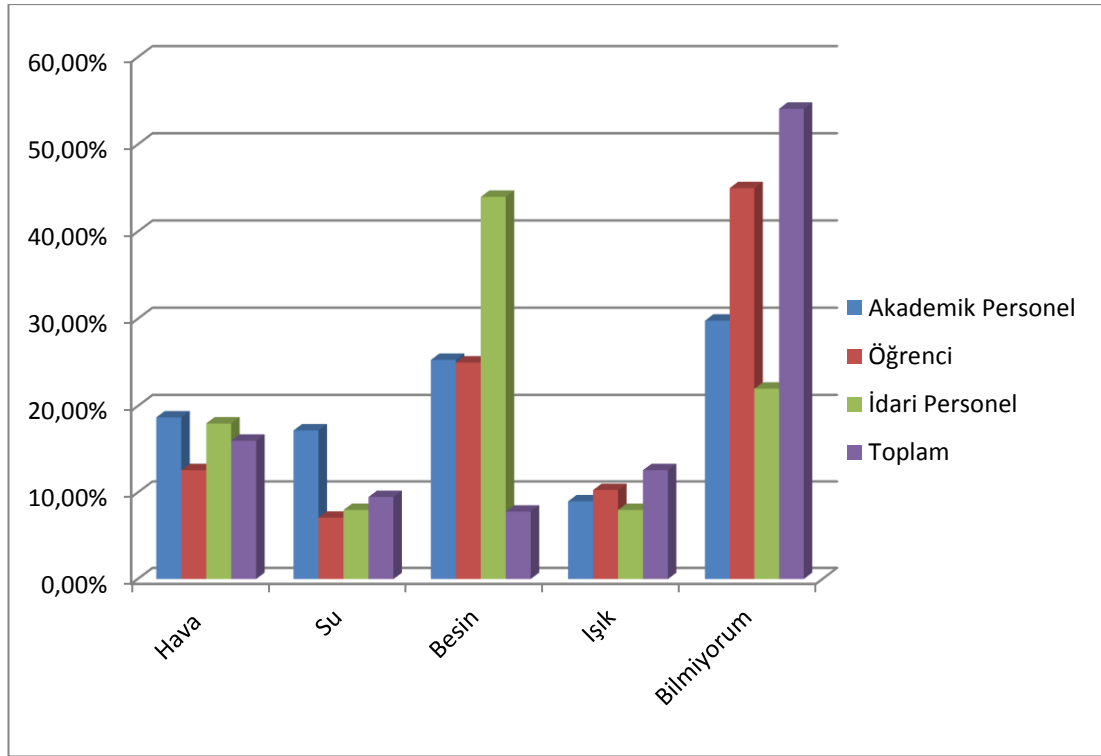
Çevremizdekilerden hangisi radon kaynağı olabilir?



Grafik 5.5. Katılımcıların Radon Kaynağı Tahmin Yüzdeleri

Akademik personeller %21,8 hava, %12,6 su, %2,3 tahta, %20,7 yapı malzemeleri, %1,1 ateş, %16,1 toprak, %52,9 bilmiyorum derken, öğrencilerde oranlar %11 hava, %6,7 su, %8 tahta, %13,2 yapı malzemeleri, %1,6 ateş, %9,9 toprak, %60,9 bilmiyorum şeklinde olup idari personellerde ise %21,7 hava, %8,7 su, %0 tahta, %17,4 yapı malzemeleri, %4,3 ateş, %21,7 toprak ve %60,9 bilmiyorum seçeneği olarak kaydedilmiştir.

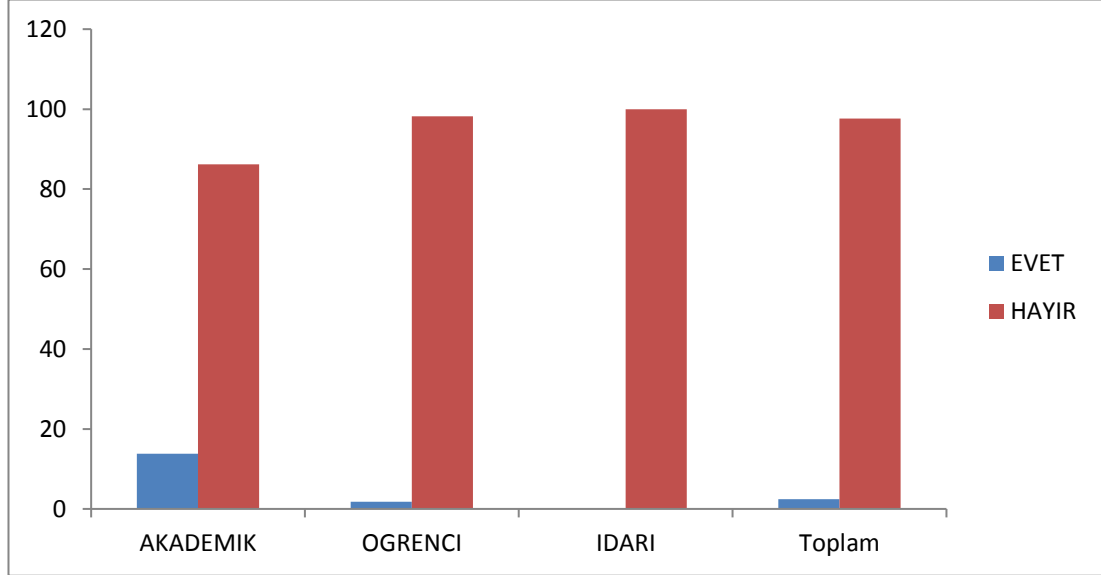
İnsan vücudu radona hangi yollarla maruz kalabilir ?



Grafik 5.6. Radona maruz kalma yolları

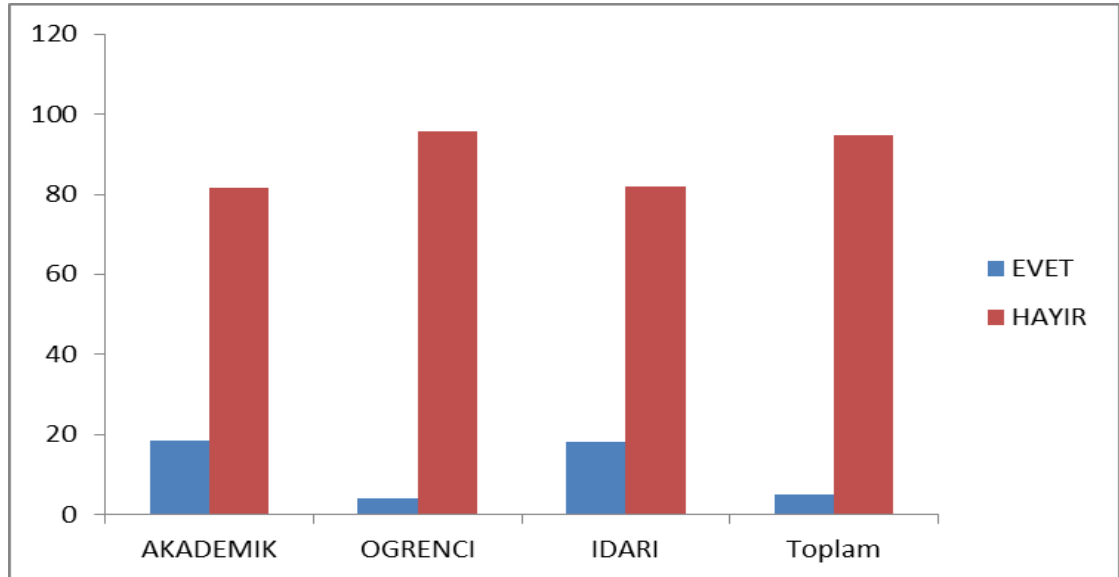
Akademik personeller %18,7 hava, %17,2 su, %25,3 besin, %9 ışık, %29,8 bilmiyorum derken, öğrencilerde oranlar %12,6 hava, %7 su, %25 besin, %10,3 ışık, %45 bilmiyorum şeklinde olup idari personellerde ise %18 hava, %8 su, %44 besin, %8 ışık, %22 bilmiyorum seçeneği olarak kaydedilmiştir.

“Yetkili kurumlarca önümüzdeki beş yıl içinde Türkiye genelinde gerçekleştirilecek, Kapalı ortamlardaki radon izleme çalışması hakkında bilgiye sahip misiniz?”



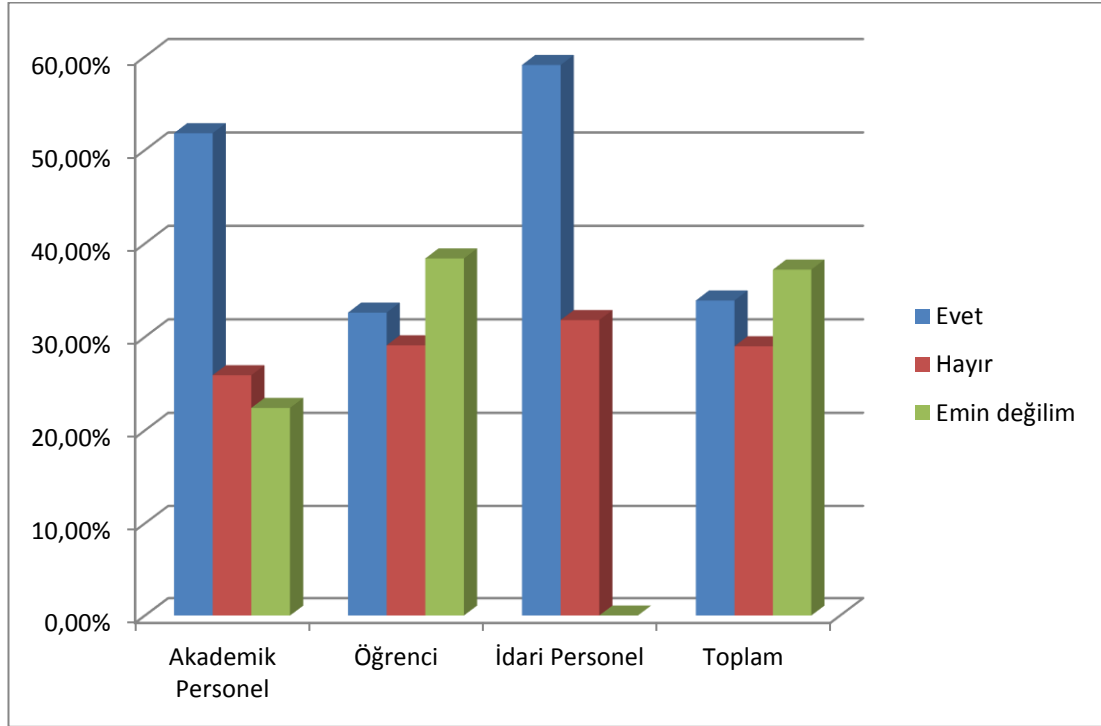
Grafik 5.7. Katılımcıların proje bilgisi oranları

“Bulduğunuz ortamda (ev, iş, okul,...vb.) radon konsantrasyonunun yüksek ya da düşük çıkması durumunda ne yapacağınızı biliyor musunuz?”



Grafik 5.8. Katılımcıların bilgi sahibi olma oranları

Siz de yaşadığınız ortamlardaki radon konsantrasyonunun belirlenmesini ister misiniz ?



Grafik 5.9. Katılımcıların Radon ölçüm talep dağılımı

Radon konsantrasyon belirlenmesi ile ilgili akademik personellerin %51,8' i, öğrencilerin %32,6' sı, idari personellerin %59,1' i, totalde %33,9 katılımcı evet derken, hayır diyenler akademik personellerde %25,9, öğrencilerde %29,1, idari personellerde %31,8, totalde %29 oranında son olarak da emin değilim diyenler akademik personelde %22,4, öğrencilerde %38,4, idari personelde %0, totalde %37,2 oranında kaydedilmiştir.

“Üniversitemizde bina içi radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik olarak iki yıldır yürütülen proje (SAU BİRKOB) çalışması hakkında bilgiye sahip misiniz ?
% 94,3 hayır, % 5,7 evet

SAÜ BİRKOB kapsamında sizin derslik, laboratuvar ya da ofisinize radon dedektörü bırakıldı mı?

% 93,5 hayır, % 6,5 evet

Derslik, laboratuvar ya da ofisine radon dedektörü bırakılanlara sorulan “Dedektörün bırakılmasının ardından radon hakkında araştırma yaptınız mı ?”

% 95,1 hayır, % 4,9 evet

Sonuçlar ;

- Elde edilen bulgular, her üç grubun da büyük çoğunluğunun yeterli ön bilgiye sahip olmadığını göstermektedir.
- Ön bilgiye sahip olanların çoğunluğu okulda aldıkları ders ya da katıldıkları seminerlerden bilgi edinmişlerdir. Bu yüzden konu ile ilgili bilgilerin dersler ve seminerler verilmelidir.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Coğrafik olarak, çalışma alanının yeri, su kaynaklarının bol olduğu Kuzey Marmara Bölgesi'ndedir. Bununla birlikte, nüfusun önemli bir kısmı köylerde ve kasabalarda kalıcı olarak bulunur ve özellikle içme suyu için yakındaki kaynak sularını kullanır. Ölçülen kaynak sularındaki radon seviyeleri 0.334 Bq l^{-1} ile 7.810 Bq l^{-1} arasında değişmekte olup ortalama 2.110 Bq l^{-1} değerindedir. PH değerleri ise 6,2 ile 8,16 aralığında değişirken ortalama PH 7,32 değerine sahiptir. En düşük ^{222}Rn konsantrasyonu ($0,334 \text{ Bq l}^{-1}$) 28. istasyondaki kaynak suyunda kaydedilirken, en yüksek seviyesi (7.810 Bq l^{-1}) 14. istasyona ait kaynak suyunda ölçülmüştür. Bu çalışmada ve Türkiye'de yapılan diğer çalışmalarda kaynak suyu için radon konsantrasyon değerleri, uluslararası çalışmalara kıyasla diğer su kaynakları için elde edilen sonuçlardan daha düşüktür. Bunun nedeni ölçümlerin yapıldığı bölgenin jeolojisi olabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada bildirilen değerler, dünyanın farklı izleme kuruluşları tarafından önerilen eylem seviyelerinden daha düşüktür; ABD EPA, UNSCEAR, vb. Ve dolayısıyla radon bu bölgedeki halkın yaşamı için tehdit oluşturmaz.

- Şile bölgesinden 31, Ağva' dan 24 ve Kandıra' dan 19 kaynak suyu örneği toplanmıştır. Su örneklerinde RAD7 dedektörü ile Radon gazı analizi yapılırken ayrıca suların PH, EC, TDS ve ORP değerleri de ölçülmüştür.
- Sonuçlardan da görüldüğü gibi kaynak sular için radon konsantrasyonu en yüksek 14. istasyon olan Küçük aşağı Küme evleri' nde (Şile), en düşük ise 28. istasyon olan Ovacık köyü' nde (Şile) bulunmuştur.
- Elde edilen sonuçlara göre PH değerleri 6,2 ile 8,16 aralığında değişirken ortalama PH 7,32 değerine sahiptir. 5. istasyon olan Kalealtı (Şile) numunesi 6,2 lik PH oranı minimum , 48. istasyon Akıncı (Kandıra) numunesi ise 8,16 lık PH oranı ile maksimum değere sahiptir.

- Bu çalışmada analiz edilen su örnekleri Dünya Sağlık Örgütü'nün limitine göre kullanım açısından güvenilir olarak değerlendirilebilir.
- Bu çalışmadaki etkin radon içeriği, diğer ülkelerdeki çalışmaların sonuçları ile kıyaslanabilir düzeydedir.
- Ayrıca bu çalışma Şile, Ağva ve Kandıra kaynak sularında radon gazını belirlemek için yapılan ilk çalışma olması sebebiyle de önem arz etmektedir.
- Çalışmanın ikinci kısmında Sakarya Üniversitesi'nin akademik personel, öğrenci ve idari personelleri olmak üzere toplam 1779 kişiye Radon farkındalığı anket çalışması yapılmış, sonuçlar excel ve C++ programlarında incelenerek istatistiksel verilerle sonuçlar açıklanmıştır.
- Katılımcıların %84,8' inin Radon hakkında bilgisi olmazken, üniversite genelinde yapılan çalışmadan sonra Radon hakkında araştırma yapanların oranı sadece %4,9' dur.
- Bulduğunuz ortamda radon konsantrasyonunun belirlenmesini ister misiniz sorusuna %33,9 evet derken, %29 hayır ve %37,2 emin değilim şeklinde yanıtlamıştır.
- Elde edilen verilere göre katılımcıların Radon bilgi ve farkındalıklarının yeterli olmadığı radyasyon ve ilgili alanlarda verilmesi gereken derslerin gerekliliğine dikkat çekmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Akkurt, A. 2006. Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 57 s.
- [2] Özger, A.G. 2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana. 93 s.
- [3] 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.
- [4] Özdemir, F.B. 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 112 s.
- [5] Davutoğlu, H. 2008. Radon Gazını Ölçme Metotları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya. 62 s.
- [6] Horvath, A., L.O. Bohus, F. Urbani, G. Marx, A. Piroth, E D. Greaves. 2000. Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. Journal of Environmental Radioactivity 47, 127-133.
- [7] Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O. and Bambalas, E. 2001. Natural Radionuclides in Drinking Water Supplies of Sao Paulo State, Brazil and Consequent Population Doses. J. Environ. Radioact. 53, 99-109.
- [8] Bonavigo, L. & Zucchetti, M. 2008. Dose Calculation due to underground exposure: the Tav tunnel in Valle Di Susa. Fresenius Environmental Bulletin, 17: 1476-1479.
- [9] İncirci, F. 2011. Kastamonu bölgesindeki sulara radon aktivitesinin ölçülmesi. Yüksek lisans tezi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 7,13s, 20-25s Kastamonu.
- [10] Akar, Ü. 2010. Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında radon konsantrasyonunun tayini. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 30-32s.,43-46s., Bursa.

- [11] Akkurt, A. 2006. Afyon jeotermal sularında radon (Rn222) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s.,13s., Afyon.
- [12] Özdemir, F. B. 2006. Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (^{222}Rn) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s., 25-32s., Afyonkarahisar.
- [13] Barış, C. 2006. İzmir-Çeşme yeraltı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 11s., Manisa.
- [14] Karahan, G., N. Öztürk, A. Bayülken. 2000. Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul. *Water Research* 34, 4367-4370.
- [15] Marques A.L., dos Santos W., Geraldo L.P.,(2004). Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. *Applied Radiation and Isotopes* 60;801-804.
- [16] Sagan S.A., Kullab M.K., Ismail A.M.,(2001).Radionuclides İn Hot Mineral Spring Waters İn Jordan.*Journal Of Environmental Radioactivity.* ; 52; 99-107
- [17] Çevik, U., N. Damla, G. Karahan, N. Çelebi, A.i. Kobya. 2006. Natural Radioactivity In Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Tukey. *Radiation Protection Dosimetry* 118, 1, 88-92.
- [18] Erees, F.S., G. Yener, M. Salk, Ö. Özbal. 2006. Measurements of Radon Content in Soil Gas and in the Thermal Waters in Western Turkey. *Radiation Measurements* 41, 354-36.
- [19] 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, 505-50.
- [20] Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. and Gundogdu, O. 2011. Evaluation of Radon Concentration in Well and Top waters in Bursa. *Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093, pp 1-6.
- [21] Kobal I., Kristian J., Ancik M.,Jerancic S.,Skofljanec M.,(1979). Radioactivity of Thermal and Mineral Springs in Slovenia .*Health Physics*, Vol.37; 239-242.
- [22] Azovazi M. , Quahidi Y. , Fakhi S., Andres Y. , Abbe J. Ch. ,Benmansour M. (2001). Natural radioactivity in phosphates ,phosphogypsum and natural waters in Morocco .*Journal of Environmental Radioavtivity* 54;231-242.

- [23] Hakam D. K. , Choukri A., Reyss J. L. , Lferde M. (2001). Determination and comparison of uranium and radium isotopes activities and activity ratios in samples from some natural water sources in Morocco. *Journal of Environmental Radioactivity* 57;175-189.
- [24] González-Labajo J., Bolivar J.P., Garcia-Tenorio R. (2001). Natural radioactivity in waters and sediments from a Spanish mining water. *Radiation Physics and Chemistry* 61;643-644.
- [25] Sagan S.A., Kullab M.K., Ismail A.M., (2001). Radionuclides in hot mineral spring waters in Jordan . *Journal of Environmental Radioactivity* 52;99-107.
- [26] Zouridakis N., Ochsenkühn K.M., Savidou A., (2002). Determination of uranium and radon in potable water samples. *Journal of Environmental Radioactivity* 61;225-232.
- [27] Hakonson-Hayes A.C., Fresquez P.R., Whicher F.W. , (2002). Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well waters. *Journal of Environmental Radioactivity* 59;29-40.
- [28] Unsworth E. R., Cook J. M. , Hill S. J., (2002). Determination of uranium and thorium in natural waters with a high matrix concentration using solid-phase extraction inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 442;141-146.
- [29] Misund A., Frengstand B. , Siewers U., Reimann C. ,(1999). Variation of 66 elements in European bottled mineral waters. *The Science of Total Environment* 243/244 ;21-41.
- [30] Oshita K., Oshima M., Gao Y., Kyve-Hyung Lee , Motomizu S., (2003). Synthesis of novel chitosan resin derivatized with serine moiety for the column collection/concentration of uranium and the determination of uranium by ICP-MS. *Analytica Chimica Acta* 480;239-249.
- [31] Reimann C., Bjorvatn K., Frengstad B., Melaku Z., Tekle-Haimanot R., Siewers U., (2003). Drinking water quality in the Ethiopian section of the East African Rift Valley I-data and Health aspects. *The Science of the Total Environment* 311;65-80.
- [32] Singh S., Singh L., Kher S., (2003). A comparison of fission track and laser fluorimetry techniques for uranium analysis in water samples. *Radiation Measurements* 36;517-519.
- [33] Sujo L.C., Cabrera M.E.M., Villalba L., Villalobas M.R., Moya E.T., Leon M.G., Garcia-Tenorio R., Garcia F. M., Peraza E.F.H., Aroche D.S. (2004). Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil , radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama , Chihuahua , Mexico . *Journal of Environmental Radioactivity* 77;205-219.

- [34] Salih I., Bäckström M., Karlsson S., Lund E., B.L.Pettersson H.(2004). Impact of fluoride and other aquatic parameters on radon concentration in natural waters .Applied Radiation and Isotopes 60;99-104.
- [35] Costa A.C.M., Anjos M.J. , Mareira S. , Lopes R.T., de Jesus E.F.O. ,(2003). Analysis of mineral water from Brazil using total reflection X-ray fluorescence by synchrotron radiation. Spectrochimica Acta Part B 58;2199-2204.
- [36] Orloff K.G. , Mistry K., Charp P., Metcalf S., Marino R., Shelly T., Melaro E., Donohoe A.M. and Jones R.L. , (2004). Human exposure to uranium in groundwater. Environmental Research 94;319-326.
- [37] Almeida R.M.R., Lauria D.C., Ferreira A.C., Sracek O.,(2004). Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil. Journal of Environmental Radioactivity 73;323-334.
- [38] Marques A.L., dos Santos W., Geraldo L.P.,(2004). Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. Applied Radiation and Isotopes 60;801-804.
- [39] Gosink, T.A., M. Baskaran, D.F. Holleman. 1990. Radon in the Human Body From Drinking Water. Health Physics. 59, 6, 919-920.
- [40] Lima, J.L.N., D.M. Bonotto. 1996. Etapas analíticas para mensuração de radônio- 222 e uso na avaliação da radioatividade das águas de. Águas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis 10 (2), 283-295.
- [41] Al-masri, m.s. Ve r. Blackburn. 1999. Radon-222 And Related Activities In Surface Waters Of The English Lake District. Applied Radiation and Isotopes 50, 1137-1143.
- [42] Alabdula'aly, A.I. 1999. Occurrence Of Radon In The Central Region Groundwater Of Saudi Arabia. Journal Of Environmental Radioactivity 44, 85-95.
- [43] Horvath, A., L.O. Bohus, F. Urbani, G. Marx, A. Piroth, E D. Greaves. 2000. Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. Journal of Environmental Radioactivity 47, 127-133.
- [44] Kochowska, E., J. Mazur, K. Kozak, M. Janik. 2004. Radon in Well Waters in the Krakow Area. Isotopes in Environmental and Health Studies 40, 207-21.
- [45] Marques, A.L., W.D. Santos, L.P. Geraldo. 2004. Direct Measurements of Radon Activity in Water From Various Natural Sources Using Nuclear Track Detectors. Applied Radiation and Isotopes 60, 801-804.

- [46] Comsa, c., m. Moldovan, t. Dicu, t. Kovacs. 2008. Radon In Water From Transylvania (Romania). *Radiation Measurements* 43, 1423-1428.
- [47] www.nj.gov/dep/rpp/radon/download/jgainv4, , Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [48] George, A. C., 2007. World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today. *Historical Evolution of Radon Measurement*.
- [49] www.nj.gov/dep/rpp/radon/download/jgainv4, Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [50] Viñas, R., et al., 2004, Comparative Analysis of Continuous Radon Sensors in Underground Environments, *Environmental Geology*, 46, 1108-1117.
- [51] Toutam, J.P., 1999, Gas Geochemistry and Seismotectonics, A Review, *Tectonophysics*, 304, 1-27 27.
- [52] Baykara, O., 2002, Nükleer Radyasyon Algılama Yöntemleriyle Deprem Olasılığının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, Elazığ.
- [53] <http://interno.asap.um.maine.edu/physics/radiation/radon.htm> , Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [54] Özmen, B., 1995, Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesinde Kullanılan Yöntemler, Afet leri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- [55] Davutoğlu, H. Haziran 2008. Radon gazı ölçme metotları. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 22 -30s, Kütahya.
- [56] Karadem, A., 2011. CR-39 Dedektörleri ile Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Isparta.
- [57] <http://interno.asap.um.maine.edu/physics/radiation/radon.htm>, Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [58] <http://interno.asap.um.maine.edu/physics/radiation/radon.htm>, Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [59] Viñas, R., et al., 2004, Comparative Analysis of Continuous Radon Sensors in Underground Environments, *Environmental Geology*, 46, 1108-1117.
- [60] NRC. 1999. Risk Assessment of Radon in Drinking Water, ed. NRC National Research Council, Commission on Life Science, Board on Radiation Effects Research; Committee on Risk Assessment of Exposure To Radon in Drinking Water (Washington, D.C.: National Academy Press).

- [61] Clavensjö, B. & Akerblom, G. 1994. The Radon Book – Measurements Against Radon, ed. The Swedish Council for Building Research (Stockholm).
- [62] Nazaroff, W., Moed, B., & Sextro, R. 1988. Soil as a Source of Indoor Radon: Generation, Migration, and Entry, in Radon and its Decay Products in Indoor Air, eds. W. Nazaroff & A. Nero, jr (Canada: John Willey & Sons).
- [63] Çelebi, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi.
- [64] Harley, N. H., Harley, J. H., 1990: Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure. Ca, A Cancer Journal for Clinician. 40. 5, Sept/Oct.
- [65] Akkurt, A. 2006. Afyon jeotermal sularında radon (Rn222) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s.,13s., Afyon.
- [66] Garver, E., Baskaran, M., 2004, Effects of Heating on the Emanation Rates of Radon-222 from a Suite of Natural Minerals, Applied Radiation and Isotopes, 61, 14771485.
- [67] Rutherford 1901, Rutherford's 1901 Experiment on Radiation Energy and His Creation of a Stable Detector.
- [68] UNSCEAR Report 1977,1982,1988 Sources ,Effects and risks of ionizing radiation.
- [69] Eisenbud, M. & Gesell, T. 1997. Environmental Radioactivity. From Natural, Industrial, and Military Sources, 4th edition (Academic Press).
- [70] Nazaroff, W.W. and Anthony V.N., 1988, Radon and Its Decay Products in Indoor Air, John Wiley and Sons, New York, 518p.
- [71] Cothorn, C.R., Smith, J.E.,1998, Environmental Radon, Library of Congress Cataloging in Publication Data, Environmental Science Research; 59-75125pp.
- [72] Özdemir, F.B., 2006, “Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [73] Sandıkçioğlu, A.,2004, “Afyon Deprem Fay Hattı Üzerinde Bulunan Kaplıca ve Kuyu Sularındaki Radon Değişiminin Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [74] İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB).

- [75] ICRP (1991), 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Ann. Pergamon Press, Oxford. International Commission of Radiological Protection.
- [76] Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R., Gilbertson D.D., 2002, "Radon in the Creswell Crags Permian limestone caves" *Journal of Environmental Radioactivity* 62, pp.165–179.
- [77] <http://www.istanbulkulturturizm.gov.tr/TR,165115/sile.html>, Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [78] <http://www.sile.bel.tr/>, Erişim Tarihi: 22.05.2018.
- [79] <http://www.kandira.bel.tr/>, Erişim Tarihi: 22.05.2018.
- [80] <http://www.izmit.bel.tr/>, Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- [81] Al-Bataina, B. A., Ismail, A. M., Kullab, M. K., Abmurad, K. M. and Mustafa, H. Radon measurements in different types of natural waters in Jordan. *Radiat. Meas.* 28, 1–6 (1997).
- [82] Horvath, A., Bohus, L. O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A. and Greaves, E. D. Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. *J. Environ. Radioact.* 47, 127–133 (2000).
- [83] Mowlavi, A. A., Shahbahrami, A. and Binesh, A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. *Isotopes Environ. Health Stud.* 45(3), 269–272 (2009).
- [84] Baykara, O. and Dogru, M. Measurements of radon 205 and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey). *Radiat. Meas.* 41, 362–367 (2006).
- [85] Kozłowska, B., Morelli, D., Walencik, A., Dorda, J., Altamore, I., Chieffalo, V., Giammanco, S., Imme, G. and Zipper, W. Radioactivity in waters of Mt. Etna (Italy). *Radiat. Meas.* 44, 384–389 (2009).
- [86] R. Bario, A. Rongoni, D.M.S. Saetta, D. Desideri, and C. Roselli, Radon and Tritium Measurements in Drinking Water in a Region of Central Italy (Umbria), *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 266, 397 (2005).
- [87] F. Gainon, N. Goldscheider, H. Surbeck, Conceptual Model for the Origin of High Radon Levels in Spring Waters – the Example of the St. Placidus Spring, Grisons, Swiss Alps, *Swiss J. Geosci.* 100, 251 (2007).
- [88] F. Oner, H.A.Yalim,A.Akkurt, and M. Orbay, The Measurement of Radon Concentrations in Drinking Water and Yesilirmak River Water in the Area of Amasya in Turkey, *Radiat. Prot. Dosim.* 133, 223 (2009).

- [89] Yigitoglu I., F. Öner, H.A.Yalim,A.Akkurt,A. Okur, andA. Özkan, Radon Concentrations in Water in the Region of Tokat city in Turkey, Radiat. Prot. Dosim. 142, 358 (2010).







EKLER

EK A: Sakarya Üniversitesi Radon Farkındalığı Anket

SAÜ Radyasyon ve Radon Farkındalığı Anketi

Bu çalışma, radyasyon ve radon ile ilgili farkındalığı belirlemek amacıyla SAÜ Nükleer Fizik grubu tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular bilimsel amaçla kullanılacağından sorulara içtenlikle cevap vermeniz gerekmektedir. Cevaplarınızın (X) şeklinde işaretleyebilir, uygun gördüğünüz sorulara birden fazla cevap verebilirsiniz.

Katılımınız için teşekkür ederiz.

1. Cinsiyetiniz? Bayan Erkek
2. Kurumdaki konunuzuz?
 İdari Personel
 Akademik Personel (Lisans Fakültesi, Yükseköğretim Belirtiliniz)
 Fen ve Müh. Bilimleri (Mühendislik, Tıp, Fen Fak., Teknoloji, Bilişim, Teknik Eğitim, Eğitim(Fen Alanları), Sağlık...vb.)
 Sosyal Bilimler (İşletme, Konservatör, Güzel Sanatlar, Edebiyat Fak., Eğitim(Sosyal alanlar), Felsefe, İletişim...vb.)
 Öğrenci (Lisans Belirtiliniz).....
3. Radyasyon, radyasyon güvenliği,...vb. konularında herhangi bir eğitim aldınız mı?
 Hayır Evet, Okulda Ders (Lisans belirtiliniz).....
 Evet, Seminer(Lisans belirtiliniz)..... Evet, Diğer (Lisans belirtiliniz).....
4. Türkiye'de Radyasyon ile ilgili çalışmalar hangi kurum tarafından düzenlenmektedir?
 Bilimiyorum Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Sağlık Bakanlığı
 TÜBİTAK Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Diğer (Lisans belirtiliniz).....
5. Radyasyonun canlı yaşamındaki yerini nasıl değerlendirirsiniz?
 Tamamen yararlı, hiç zarar yok Çoğunlukla yararlı, çok az zarar var Zararlı olduğu kadar yararlı
 Çoğunlukla yararlı, çok az zarar var Tamamen yararlı, hiç zarar yok
6. Aşağıdakilerden hangilerini radyasyon kaynağıdır?
 Teknolojik ürünler Tabiat Nükleer Çalışmalar İnsan vücudu
 Kozmik ışınlar X ve Gama ışınları Radyoaktif elementler Duman dedektörleri
 Ağaçlar Hava Yüksek gerilim hatları Denizler
7. Radyasyon aşağıdaki alanların hangisinde kullanılmaktadır?
 Bilimiyorum Enerji Tarım Tıp Endüstri
 Hayvancılık Güvenlik Eğitim Ulaşım Arkeoloji
8. İnsan vücudu radyasyona hangi yollarla maruz kalabilir?
 Bilimiyorum Besin Su İnsan vücudunda zaten radyasyon var
 Uçak yolculuğu Tedavi Hava Teknolojik eşyaları kullanarak
9. Aşağıdakilerden hangisinde radyoaktif madde/radyasyon oranı bulunmamaktadır?
 Bilimiyorum Pil Telefon Mikro dalgı fırın
 Modem Dijital Fotoğraf makinesi Sigara Bilgisayar
10. Aşağıdaki uyarı işaretlerinden hangilerini radyasyon uyarısı yapmaktadır?
     
11. Radyasyon uyarı işaretlerini nerelerde görebiliriz?
 Hastaneler Diş Polikliniği Laboratuvarlar Nükleer Araştırma Merkezleri
 Kafeler Trafolar Havuzalanlar Alışveriş Merkezleri
12. Radyasyon işaretleri gördüğünüzde ne yaparsınız?
 Ümmirvenem Ne yapacağımı bilmiyorum Ortamdan hemen kaçırım
 Diğer (Lisans Belirtiliniz).....
13. Radyasyona maruz kalmamıza neden olan alelerin kullanımında sizce stre açısından bir kısıtlama olmalı mı?
 Kullanılmamalı, aleler ihtiyaç için kullanılır istediğim zaman, istediğim stre kullanırım
 Kullanılmamalı, zaten sürekli radyasyona maruz kalıyoruz
 Kullanılmamalı çünkü.....
 Kullanılmalı, streler radyasyon ile ilgili kurum tarafından belirlenmeli
 Kullanılmalı, streyi kendim belirleyebilirim
 Kullanılmalı, çünkü.....
14. Yüksek dozda alınan radyasyonun insandaki etkileri neler olabilir?
 Bilimiyorum Kanser Ötüm Yank Katarakt
 Genetik Bozukluklar Kısırlık Tedavi Estetik Saç Dökülmesi

15. Radyasyondan korunma yolları hangileri olabilir?
 Ayrılmadan içme Radyasyon kaynağından uzaklaşma Kavum, karpuz tüketmek
 Sığınakta yeterince beklemek Taze oksijenli ortama gitme Radyasyon bulunan ortamda az zaman geçirme
 Kaliteli Yetiştirme
16. Sıze, yakın çevrenizdeki en etkili radyasyon kaynağı nedir?
(Lütfen belirtiniz)
17. Ülkemizde kurulması planlanan nükleer güç santrallerinin açılması hakkında ne düşünüyorsunuz?
 Açılmak, çünkü.....
 Açılmamak, çünkü.....
18. Radyasyondan korunma standardı olarak, bir kişinin yılda tüm vücudunun alabileceği maksimum miktarda edilebilir doz (MAMED) ne kadar olduğunu biliyor musunuz? Tedavilerinizde ve günlük yaşamınızda bu dozun göz önünde bulunduruluyor musunuz?
 MAMED biliyorum, yaşamımda bu dozun göz önünde bulundurulmuyor.
 MAMED biliyorum, yaşamımda bu dozun göz önünde bulundurulmuyor.
 MAMED bilmiyorum, yaşamımda bu dozun göz önünde bulundurulmuyor.
19. Radyasyon, radyasyon güvenliği, çevresel radyasyon ile ilgili bulunduğunuzun geliştirmek ister misiniz? Bunun için çalışmalar/bilginin görüldüğü takdirde nasıl bir çalışma gerçekleştirilirse katılmaya hazır mısınız?
 İsteyim, dersler verilirse katılırım İsteyim,(Lütfen belirtiniz).....
 İsteyim, seminerler yapılırsa katılırım İsteyim,(Lütfen belirtiniz).....
-
20. Radon ile ilgili herhangi bilgiye sahip misiniz?
 Hayır Evet (Lütfen belirtiniz).....
21. Yukarıdaki soruya cevabınız evet ise radon hakkındaki bilginizi nereden edindiniz?
(Lütfen belirtiniz)
22. Sıze üniversitemizdeki dersliklerde, laboratuvarlarda ve ofislerde radon mevcut mudur?
 Hayır Evet Bilmiyorum
23. Yukarıdaki soruya cevabınız evet ise dersliklerde, laboratuvarlarda ve ofislerde radon kaynakları hangileri olabilir?
 Bilmiyorum Televizyon Mobilya Kalorifer Temeldaki Toprak
 Yapı Malzemeleri Aydınlatma Ahşap Eşyalar Camlar Bilgisayarlar
24. Sıze Radonun günlük yaşamdaki en önemli etkisi hangi alandır?
 Bilmiyorum Enerji Sanayi Sağlık Savunma
25. Aşağıdakilerin hangisi radon kaynağı olabilir?
 Bilmiyorum Su Toprak Tahta Ateş
 Yapı Malzemeleri Hava
26. İnsan vücudu radona hangi yollarla maruz kalabilir?
 Bilmiyorum Su Hava Besinler İplik
27. Bulduğunuz ortamda (ev, iş, okul, ...vb.) radon konsantrasyonunun yüksek ya da düşük çıkması durumunda ne yapacağınızı biliyor musunuz?
 Hayır Evet.....yapılmadığıdır.
28. Yedinci kuramsalca üstünlerdeki beş yıl içinde Türkiye genelinde gerçekleştirilecek "Kapalı ortamlardaki radon izleme" çalışması hakkında bilgiye sahip misiniz?
 Hayır Evet.....amacıyla gerçekleştirilecektir.
29. Üniversitemizde bina içi radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik olarak iki yıldır yürütülen proje (SAU BİRKOB) çalışması hakkında bilgiye sahip misiniz?
 Hayır Evet
30. SAU BİRKOB kapsamında sizin derslik, laboratuvar ya da ofisinize radon dedektörü kuruldu mu?
 Hayır Evet
31. Yukarıdaki soruya (30) cevabınız evet ise dedektörün kurulmasının ardından radon hakkında araştırma yaptınız mı?
 Hayır Evet
32. Siz de yaşadığınız ortamlardaki radon konsantrasyonunun belirlenmesini ister misiniz?
 Hayır Evet Radon hakkında herhangi bir bilginiz olmadığı için, emin değilim
33. Yapılan bu anket çalışması radon hakkında sizde merak uyandırdı mı?
 Hayır Evet

Teşekkür ederiz

*SAU BİRKOB hakkında bilgi almak için Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Grubu ile iletişime geçebilirsiniz.

ÖZGEÇMİŞ

Nurgül ULUDAĞ, 26.02.1991'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında Mehmet Rauf Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde, yüksek lisans eğitimine başladı.