

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA'DAKİ ORHANELİ TERMİK SANTRALİ
ÇEVRESİNDEKİ SULARDA RADON SEVİYESİNİN
VE YILLIK ETKİN DOZLARIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf ÖZER

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan YAKUT

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA'DAKİ ORHANELİ TERMİK SANTRALİ
ÇEVRESİNDEKİ SULARDA RADON SEVİYESİNİN
VE YILLIK ETKİN DOZLARIN BELİRLENMESİ**

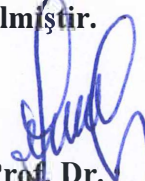
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf ÖZER

Enstitü Anabilim Dalı

FİZİK

Bu tez 27/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


**Prof. Dr.
Recep AKKYA
Jüri Başkanı**


**Doç. Dr.
Hakan YAKUT
Üye**


**Doç. Dr.
Betül USTA
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.

Yusuf ÖZER

27.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Hakan YAKUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Prof. Dr. Recep AKKAYA'ya ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Emre TABAR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Radyasyon ve Radyoaktif Bozunumlar	9
2.2. Radon ve Bozunum Ürünleri	11
2.2.1. Sularda radon	12
2.2.2. Radon ve deprem ilişkisi.....	13
2.2.3. Radon ve sağlık ilişkisi	14
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Çalışma Bölgesi Jeolojik Özellikleri	16
3.2. Materyal ve Yöntem.....	17
3.2.1. Ölçümün yapılışı.....	20

BÖLÜM 4.	
ÖLÇÜMLERİN SONUÇLARI VE ANALİZİ	21
4.1. Çalışılan Sularda Ölçülen Radon Aktiviteleri ve Hesaplanan Efektif Dozlar	22
4.2. Sularda Fiziksel Özelliklerin (pH, İletkenlik ve E_h ölçümleri) Analizi .	32
 KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ	43



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Alfa
β^-	: Beta – ışıması
β^+	: Beta + ışıması
Bq	: Becquerel
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EPA	: United States Environmental Protection Agency
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
γ	: Gama
lt	: Litre
MeV	: Mega elektron volt
mSv	: Milisievert
SI	: International System of Unit
^{222}Rn	: Radon
^{220}Rn	: Toron
^{219}Rn	: Aktinon
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE	: Türk Standartlar Enstitüsü
Th	: Toryum
U	: Uranyum
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atom Radiation
WHO	: World Health Organization

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları (TAEK).....	10
Şekil 2.2. Radon ve Toron bozunum zincirleri	12
Şekil 3.1. Bursa İli, Orhaneli ve Keles ilçelerinin haritadaki yeri	16
Şekil 3.2. RAD 7'nin RAD H ₂ O aksesuarı ile birlikte şematik diyagramı	18
Şekil 3.3. Su örneğinin RAD 7 dedektörüne bağlanması ve su örneğinin köpürtülmesi	19
Şekil 4.1. Su örneklerindeki radon konsantrasyonu değişimi ve yıllık efektif doz dağılımı	29
Şekil 4.2. Suların ölçülen fiziksel özellikleri ile ²²² Rn aktivitesi arasındaki korelasyon.....	34

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Doğal radyoaktif seriler hakkındaki bilgiler	10
Tablo 2.2. Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları (UNSCEAR 1993)	13
Tablo 2.3. Farklı ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından öngörülen kapalı ortamlardaki müsaade edilebilir limit radon konsantrasyonları (Bqm-3 biriminde) verilmektedir.	15
Tablo 4.1. Çalışılan kaynak sularının örnekleme ve ölçüm tarihleri, koordinatları ve Bozunum düzeltme faktörleri (DCF)	22
Tablo 4.2. Çalışılan kaynak sularının ölçülen ortalama radon aktiviteleri, minimum ve maksimum değerleri, standart sapmalar, bozunum ve nem düzeltmeleriyle (DCF ve HC) radon aktiviteleri	23
Tablo 4.3. Farklı Yaş Grupları için doz dönüşüm parametreleri ve su alım oranları (Kaur et al, 2019)	25
Tablo 4.4. Çalışılan kaynak sularının içilerek tüketilmesi ve sulardan havaya karışan radonun solunması nedeniyle alınan yıllık efektif dozlar (Bebekler, Çocuklar ve Yetişkinler için $\mu\text{Svy-1}$ birimlerinde)	25
Tablo 4.5. Bu çalışma ile diğer çalışmaların (çeşitli tipteki sularda Rn aktivitelerinin) sonuçlarının karşılaştırılması	27
Tablo 4.6. Türkiye'nin farklı bölgelerindeki sular için rapor edilen ortalama (veya min-mak.) yıllık efektif dozların karşılaştırılması	30
Tablo 4.7. Çalışılan kaynak sularının içilerek tüketilmesi ve sulardan havaya karışan radonun solunması nedeniyle farklı vücut organlarının aldığı yıllık efektif dozlar ($\mu\text{Svy-1}$ birimlerinde)	32
Tablo 4.8. Sularda ölçülen fiziksel özellikler: pH, EC ($\square\text{S}$), ORP (mV) ile ortalama ^{222}Rn (Bqm-3) aktiviteleri	33

ÖZET

Anahtar kelimeler: Radon, RAD-7, Efektif doz, aktivite

Bu çalışmada, Bursa'daki kömür yakıtlı termal santralin olduğu Keleş ve Orhaneli ilçelerinden toplanan doğal kaynak sularının radon ölçümleri Rad-7 elektronik radon ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve literatürdeki benzer çalışmaların verileriyle karşılaştırılmıştır. Ölçülen ortalama radon konsantrasyonları $0.70-87,48 \text{ BqL}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Ayrıca ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak bu suların tüketilmesinden kaynaklı dozlar hesaplanmıştır. Bu suların içilmesinden kaynaklı tahmin edilen yıllık efektif dozlar ise yetişkinler için $1,27-133,42 \mu\text{Svy}^{-1}$ aralığında, çocuklar için $3,86-138,76$ aralığında ve bebekler için $7,32-263,04$ aralığında değişmektedir. Bu çalışmada üç numunenin dışında elde edilen tüm efektif dozlar, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) önerdiği $100 \mu\text{Svy}^{-1}$ referans değerinin altındadır.

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVEL IN COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS IN BURSA

SUMMARY

Keywords: Radon, RAD-7, effective dose, activity

In this study, radon measurements of the natural spring waters collected from the Keleş and Orhaneli districts, a coal-fired thermal power plant, in Bursa were carried out using the RAD-7 electronic radon measurement device. The results of the measurement analysis were compared with the results of the World Health Organization (WHO) and similar studies in the literature. The measured mean radon concentration in spring waters was found to vary from 0.70 to 87.48 BqL⁻¹. The effective doses due to ingestion of ²²²Rn from the one year consumption of these waters were estimated to range from 1.27 to 133.42 µSvy⁻¹, from 3.86 to 138.76 µSvy⁻¹ and from 7,32 to 263,04 µSvy⁻¹, for adults, children and infants, respectively. The all results obtained in the exception of three samples in this study indicate that the committed effective doses are below the WHO (World Health Organization) recommended reference level of 100 µSvy⁻¹.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Radyasyon evrenin oluşumundan bu güne kadar var olan, kararsız halde bulunan radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçmek için bulunduğu ortama dalga, parçacık veya foton olarak enerji yayılması olayına denir. Radyasyon çalışmaları ilk defa 1896 yıllarında Henri Becquerel tarafından başlatılmıştır. Radyasyon doğal ve yapay radyasyon olarak iki kısımda incelenir, insanoğlu var oluşundan bu güne kadar doğal radyasyona maruz kalmıştır ve kalmaya devam etmektedir. Doğal olarak oluşan ve insan kaynaklı kaynaklardan gelen radyoaktivite, çevremizde sürekli mevcuttur. Çevrede bulunan bazı kimyasal elementler de doğal olarak radyoaktiftir. Bunlar topraklarda, sularda, iç ve dış ortam havalarında ve hatta vücudumuzda bile çeşitli miktarlarda bulunur ve bu nedenle bunlara maruz kalmak kaçınılmazdır. Ek olarak, Dünya hem güneşten hem de uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar (ki bunlara kozmik ışınlar denir) tarafından sürekli bombalanmaktadır. İnsanoğlu deniz seviyesinden enlem, boylam ve yüksekliğe göre miktarı değişen bu kozmik radyasyondan mutlaka bir doz alır. Tıpta tanı ve tedavi için radyasyonun kullanılması günümüzde insan kaynaklı en büyük radyasyona maruz kalma kaynağıdır. Nükleer silahların test edilmesi, endüstriyel ve tıbbi tesislerden oluşan rutin atıklar ve Çernobil kazası gibi etkenler de çevremize insan yapımı radyonüklidler eklemektedir. Birleşmiş Milletler Atom Radyasyonunun Etkileri Bilim Komitesi (UNSCEAR, 2008), çevrede bulunan tüm radyasyon kaynaklarından kişi başına düşen küresel yıllık ortalama dozun yaklaşık 3.0 mSv /yıl olduğunu tahmin etmektedir. Bunun %80'ni (2.4 mSv) doğal olarak ortaya çıkan radyasyon kaynaklarından, % 19.6'sı (neredeyse 0.6 mSv) tıbbi teşhis için radyasyon kullanımından, geri kalan % 0.4'ü (yaklaşık 0.01 mSv) diğer kaynaklardan kaynaklanmaktadır. Nerede yaşadıklarına, diyet tercihlerine ve diğer yaşam tarzı seçimlerine bağlı olarak popülasyonun bireysel üyeleri tarafından alınan dozda büyük farklılıklar olabilir. Bireysel radyasyon dozları tıbbi tedavilere ve mesleki maruziyetlere bağlı olarak da değişebilir.

Doğal radyasyon kaynaklarının yanında birçok teknolojik çalışma yapay olarak'ta, radyasyonu ortaya çıkarmıştır. Radyasyon yayan maddelere radyoaktif madde denir. Yaptığı etki bakımından ise iyonlaştırıcı, iyonlaştırıcı olmayan olarak ikiye ayrılır. İnsanoğlu farkına varmadan gözle görülmeyen radyasyona vücudumuzun bütün sistemleri maruz kalırız. Evlerimizde kullandığımız birçok alet radyasyon yayar. Sürekli belirli değerlerin üzerinde radyasyona maruz kalan insanların ciddi sağlık problemleri yaşayacağı aşikârdır.

Doğal kaynaklardan alınan radyasyonun en önemli kaynağı ise radon gazıdır, bu gazın doğal radyoaktif serilerden gelen üç radyoaktif izotopu vardır. Bu radyoaktif gazın en önemli kararsız izotopu olan ^{222}Rn (ki buna genelde radon ismi verilir), Uranyum-238 serisindeki Radyum'un (^{226}Ra) alfa bozunumu neticesinde ortaya çıkmaktadır ve yarılanma süresi $T_{1/2}=3,82$ gündür. Yer kabuğunun içinden gelen bu gaz yeraltı sularında, doğal kaynak sularında ve madenler gibi kapalı ortamlarda yüksek yoğunluklarda bulunabilir. Radon gazı binalarımıza, sularımıza çok rahat bir şekilde yer kabuğundan geçiş yapabilir. Özellikle inşaat yapı alanlarında toprak ile yalıtım sistemi sağlanmaz ise, radon gazı kendine çıkış yolu arayıp çatlak olan yerlerden, tesisat kaçaklarından binaların içine sızabilir ve insanların çoğunlukla vaktini geçirdiği kapalı ortamlarda yüksek yoğunlukta birikebilir. Bu tür durumlarda bu gazı bina içinden uzaklaştırmak için ya sürekli havalandırma yapılmalı ya da özel bir havalandırma sistemi kurulmalıdır.

19. yüzyıldan beri radon gazının atmosfere yayıldığı bilinir ve sismoloji biliminde önemli ölçüde yardım sağlar. Radon gazının ölçümlerinin sağlık açısından incelediğimizde, elde ettiğimiz sonuçların uluslararası kuruluşların belirttiği sonuçların altında olması istenir. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından içilen sularda ^{222}Rn aktiviteleri için müsaade edilebilir limit değer 11 Bq/L olarak rapor edilmiştir (USEPA 1991). İnsanoğlunun en önemli hayat kaynağı olan su üzerine son dönemlerde radon gazı çalışmalarının arttığı gözlenmektedir. Radon gazı genel itibari ile yer kabuğundan, sularımıza oradan da atmosfere yayılabilmektedir.

Bu alışmada Bursa ilinde termik santral çevresinden alınan doğal kaynak sularında radon aktiviteleri RAD-7 elektronik radon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca bu suların tüketimesinden kaynaklı yıllık efektif dozlar hesaplanarak literatürdeki diğer benzer çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır.



BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radyasyonlar girdikleri ortamın gaz atomlarında yaptıkları etkiye göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bunlarda kendi içlerinde parçacık tipi ve dalga tipi radyasyonlar olarak iki gruba ayrılabilir. Alfa (${}^4\text{He}^{+2}$ veya α), Beta (β^+ ve β^-), proton ve nötron gibi radyasyonlar parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyonlardır. X ve gama (γ) ışınları ise dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyonlardır. İyonlaştırıcı olmayan dalga tipi radyasyonlara örnek olarak elektromanyetik spektrumdaki UV bölgesindeki ışınlar, görünür bölge ışınları, IR ışınları, mikrodalgalar, radyo dalgaları verilebilir.

Gözümüzle dahi göremediğimiz birçok radyasyona vücudumuzun bütün sistemleri maruz kalır ve maruz kalınan radyasyon da insan sağlığı açısından tehlikelidir. Aşırı derecede radyasyona maruz kalmak önemli hastalıkların habercisidir. Yıllık ortalama 2.8 mSv'lık radyasyon dozunun büyük bir kısmı doğal kaynaklardan alınır (UNSCEAR,2000).

Doğal kaynaklardan alınan dozun en büyük kısmını radondan alınan doz oluşturur. Bu gaz Radon (${}^{222}\text{Rn}$), radyum (${}^{226}\text{Ra}$) elementinin radyoaktif bozunumundan meydana gelir, soygazlar sınıfında var olan bu gazın fiziksel özellikleride farklıdır rengi, kokusu ve tadı olmayan bir gazdır. Yer kabuğunun içinden gelen bu gaz yer altı sularında çözünebilir, kapalı ortamlarda da yüksek yoğunlukta bulunur. Hayat kaynağımız olan sulara yoğunluğu oldukça yüksektir, su kaynaklarının yer altından atmosfere çıkarken izlediği yollar da uranyum elementinin yatağı var ise radyum ve uranyum çözünerek radon gazı ortaya çıkarırlar.

Radon gazı yoğunluk olarak havadan daha düşük olduğu için yer kürenin altında kendine çıkış arayarak hızlı bir şekilde yeryüzüne hareket eder, insanların çoğunlukla

vaktini geçirdiği kapalı ortamlarda yoğunluğu yüksektir. Havalandırması iyi olmayan yapılarda radon yoğunluğu fazladır. Radon yoğunluğunun fazlalığı ise sağlık açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir.

Bu alanda yapılan çalışmalar, radon gazının uzun süre boyunca solunmasının sağlık açısından önemli bir risk (akciğer kanseri) oluşturacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle radon gazı ölçümleri sağlık açısından incelendiğinde, elde edilen sonuçların uluslararası kuruluşların belirttiği sınır değerlerin altında olması istenir.

Radon gazının doğal kaynaklar yoluyla da yayılması toprak ve su üzerine yapılan çalışmaları hızlandırmıştır ve bunu neticesinde ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmıştır. Hala güncelliğini korumaya devam eden bu tür çalışmalar farklı teknikler ve yöntemler kullanılarak da yapılmaktadır. Ülkemizde ve Dünyada yapılan kaynak sularındaki radon ölçümlerinin bir kısmının kısa özeti aşağıda verilmeye başlanacaktır.

Al-Bataina vd. tarafından Ürdün doğal su kaynaklarında yapılan radon ölçümlerinde elde edilen radon konsantrasyonlarının sınır değerlerden daha küçük olduğu ve risk açısından tehlike teşkil etmediği gözlenmiştir (Al- Bataina et al., 1997).

Al- Masri ve Blackburn tarafından yapılan İngiltere göller bölgesindeki çalışmada, yüzey sularında radon konsantrasyonunun, kireçtaşı ve fay olan bölgeler dışında limitlerin altında olduğunu rapor edilmiştir (Al-Masri and Blackburn, 1999).

Yunanistan'da yapılan bir başka çalışma ise termal su kaplıcalarındaki tedavi süresince ortaya çıkan radon değişimlerini izlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, termal suların radon aktivitelerinin 10-304 BqL⁻¹ aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu sulara tedavi gören yetişkinler için yıllık doz değişimi ise 0,0067-0,1279 mSv aralığında bulunmuştur. Aynı değer bu kaplıcalarda çalışan personeller için yıllık etkin doz eşdeğeri ise 20 mSv olarak tahmin edilmiştir (Vogiannis et al. 2004).

Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki içme sularındaki radon konsantrasyonunu belirlemek için yapılan ölçümler neticesinde ^{222}Rn 'nin aktivitesi ortalama 10,82 Bq/L olarak ölçülmüş ve radyasyon güvenliği açısından değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Damla, vd, 2005).

Çin'de termal kaplıca otellerinde yapılan radon ölçümleri (NR-667A (III) radon detektörüyle) sonucunda sıcak su kaynaklarındaki radon konsantrasyonunun 53,4-292,5 BqL⁻¹ arasında değiştiği ve dışarıdaki havada ise 17,2-190,9 Bqm⁻³ aralığında değiştiği görülmüştür. Kaplıca suyunun kullanıldığı odalardaki banyoların içerisindeki havada radon konsantrasyonunun 22-2855 Bqm⁻³ aralığında, banyosu olmayan odalarda ise 17-912 Bqm⁻³ aralığında değiştiği gözlenmiştir (Song et al. 2005).

Radolic vd. tarafından Hırvatistan'da yapılan diğer bir çalışmada ise dokuz farklı kaplıcanın havuzlarındaki jeotermal sularda çözünen radon miktarı ve o ortamlardaki havada biriken radon seviyeleri belirlenmiştir. Kaplıcalarda çalışan personelin aldığı etkin doz değerlerinin 0,27 mSvy⁻¹ olduğu bulunmuştur. Aynı çalışmada ayrıca radonun termal su havuzundan havaya transfer faktörü $4,9 \pm 0,7 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır (Radolic et al. 2005).

Meksika'nın Chihuahua eyaletinde Villalba ve ark.'nın içme ve kuyu sularında yaptıkları çalışmada, suların 48 % 'inin Rn aktivitesinin USEPA'nın öngördüğü limit değerleri aştığı gözlenmiştir (Villalba et al. 2005).

Afyonkarahisar ve civarındaki termal suların 2006 yılında AB-5R model radon detektörü ile analiz edilmesinden elde edilen verilerde radon aktivitesinin 0,085-73,62 BqL⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir (Akkurt,2006).

İzmir ilinin Çeşme ilçesinde yapılmış bir çalışmada ise termal su ve kuyu suyu kaynaklarından toplanan numunelerin radon konsantrasyonları CR-39 detektörleri ile (pasif ölçüm tekniğiyle) belirlenmiştir. Termal su örneklerinde ölçülen radon aktiviteleri 0,073-0,294 BqL⁻¹ aralığında (0,207 BqL⁻¹ ortalama değerle) değişiyorken,

kuyu sularında ölçülen radon değerleri ise 0,086-0,493 BqL⁻¹ aralığında (0,303 BqL⁻¹ ortalama değeriyle) değişmektedir (Barış, 2006).

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin farklı yerleşim bölgelerinden toplanan su numunelerinin ²²²Rn aktiviteleri ölçülmüş ve ortalama 10.82 BqL⁻¹'lik bir aktivite elde edilmiştir (Çevik ve ark. 2006).

Ereer vd'nin Denizli ilinde gerçekleştirdikleri bir çalışmada ise fay hattı boyunca bulunan termal su kaynaklarından toplanan su numunelerinin radon konsantrasyonlarının 0,67 BqL⁻¹ ile 25,90 BqL⁻¹ arasında değiştiği görülmüştür (Erees ve ark. 2006).

İzmir-Dikili civarındaki jeotermal bir bölgeden alınan su numunelerinde ölçülen ²²²Rn aktivite konsantrasyonları ise 29-3075 Bqm⁻³ aralığında elde edilmiştir (Yarar ve ark. 2006).

Afyonkarahisar ilinde fay hattı boyunca bazı kuyu sularının ²²²Rn aktivitesi ölçülmüş ve sonuçların 0,7 ile 31,7 BqL⁻¹ arasında değiştiğini gözlemişlerdir (Yalım ve ark. 2007).

İzmir'de Çeşme civarındaki aktif fay zonları üzerinde bulunan kaplıcalarda gerçekleşen başka bir çalışmada ise, altı farklı istasyonda radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bölgedeki termal su örneklerinde radon ölçümü kolektör metoduyla yapılırken, çevredeki topraklardaki radon miktarı ise alfa duyarlı LR-115 dedektörleri (pasif ölçüm tekniğiyle) kullanılarak ölçülmüştür. Radon konsantrasyon değişimleri su örneklerinde 33,24-1,38 BqL⁻¹ aralığında, topraklardaki film dedektörlerde radondan kaynaklı oluşan iz yoğunlukları ise 250-2460 izcm⁻²hafta⁻¹ aralığında bulunmuştur (Güloğlu 2007).

Amasya'da yapılan bir çalışmada ise, içme sularında radon aktivitesinin ölçülen değerlerinin 0,42-2,4 BqL⁻¹ aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Öner ve ark. (2009).

Yunanistan'daki Loutraki termal kaplıcalarında Nikolopoulos vd. tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, radon ve bozunum ürünlerinin hastaların ve çalışan personellerin sağlıkları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Alpha GUARD PQ2000 Pro dedektörü ile yapılan ölçümlerde, su numunelerindeki radon seviyesi $54 \pm 10 - 297 \pm 25$ BqL⁻¹ aralığında bulunmuştur. Tedavi odalarında belirlenen radon ve bozunum ürünlerinin değişimi ise ²²²Rn için 820-3160 Bqm⁻³, ²¹⁸Po için 350-1000 Bqm⁻³, ²¹⁴Pb 160-780 Bqm⁻³, ²¹⁴Bi 22-590 Bqm⁻³ aralığında bulunmuştur. Banyo tedavisi alan hastaların etkin dozları düşük bulunmuş (ancak ihmal edilemez) içme tedavisi gören hastalara karşılık gelen dozlar yüksek çıkmış fakat önerilen uluslararası sınırların altında bulunmuştur. Çalışan personelin, işçiler için kabul edilebilir sınırların çok altında, ancak oldukça etkili dozlara maruz kaldığı bulunmuştur (Nikolopoulos vd. 2010).

Tokat ili ve çevresinde yaptıkları çalışmada, içme sularında radon konsantrasyonu'nu ölçmüşler ve değerlerin 0,5 ve 1,3 BqL⁻¹ değer aralığında değiştiğini belirtmişlerdir (Yiğitoğlu ve ark. 2010).

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

Konya ili ve çevresinde yapılan bir çalışmada, içme sularında radon konsantrasyonunu ölçülmüş ve ölçümlerin 0,91 ile 12,58 BqL⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir (Erdoğan vd. 2013).

Bu tez çalışmasında, Bursa ili kaynak sularında radon aktiviteleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları kullanılarak çalışma bölgesinde yaşayan insanların aldıkları yıllık etkin doz seviyesi hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları, Dünya'da ve Türkiye'de yapılmış literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

2.1. Radyasyon ve Radyoaktif Bozunumlar

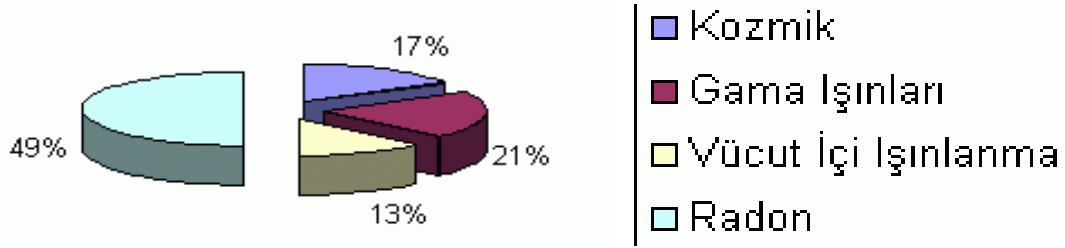
Çekirdek fiziğinin gelişmesi üzerine ilk çalışmaları yapan ve önemli keşiflerde bulunan Becquerel dir. Şubat 1896 tarihinde belirli florens tuzlarının güneş ışınlarına maruz bıraktıktan sonra yayınladıkları radyasyon üzerine çalışıyor iken tesadüfi olarak bir sonuca şahit oldu masasının içinde unuttuğu levhaların ışıktan soğruldukları halde, ışığa maruz kalmış gibi sonuç vermişlerdir. Deneylei belirli peryotlarla yapan Becquerel levhalardaki bu etkinin uranyum elementinin kendine has özelliği olduğunu ve buradaki olayın uranyum tuzundan kaynaklandığını söylemiştir.

İnsanoğlu varoluşundan bu güne kadar radyasyon ile birlikte yaşamıştır ve devam etmektedir. Dünyamızın yer kabuğundaki radyoaktif elementler ve bozunum ürünleri (özellikle de radon), güneş ve uzayın boşluğundan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyon almamızda önemli rolü vardır.

Yer kabuğundaki radyoaktif elementlerin kararlı hale geçmek için yayınladıkları doğal radyasyon insan yaşamını önemli oranda etkilerler ayrıca, çekirdek tepkimeleri sonucu oluşan yapay radyasyon da vardır. Ek olarak evlerimizde kullanılan yapı malzemelerinin, tükettiğimiz içme sularının, gıdaların ve daha nicelerinin radyasyona maruz kaldığı bilinmektedir.

Alınan dozun çoğunluğunu doğal kaynaklar daha sonra tıbbi uygulamalar, ışımalar ve yapay kaynaklar sağlar. Doğal kaynaklardan radyasyonun çoğunluğunu radon gazı sağlar.

Bu Doğal radyasyon kaynaklarını Şekil 2.1.'deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları (TAEK)

Doğal olarak elde edilen radyoaktifliğe ek olarak çekirdek tepkimeleri sonucunda elde edilen yapay radyoaktif çekirdeklerden de (özellikle tıbbi atıklar vb.) maruz kalınan bir radyasyon dozu mevcuttur. Yapay radyoaktivite Curie ve Joilot'in çalışmaları sonucunda polonyum elementinin bozunmasından çıkan α -parçacıkları ile tepkimeye girmesi sonucunda ortaya çıkmıştır.

Atom numarası, $Z=81$ ve $Z=92$ arasındaki çekirdeklerin hepsi kararsızdır. Bu kararsız çekirdekler kararlı hale geçmek için uygun bozunma geçirerek kararlı yapıya dönüşürler. Bu dönüşüm sırasında ışınım yayarlar. Radyoaktiflik özelliği gösteren çekirdeklere doğal radyoaktif çekirdekler, yayınlanan ışımaya da radyasyon denir (Arya 1999b.).

Doğal radyoaktif seriler Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Doğal radyoaktif seriler hakkındaki bilgiler.

Kütle Sayıları	Seriler	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (yıl)	Kararlı Çekirdek
U_n	Toryum	$^{232}_{90}Th$ (6α , 4β)	$1,39 \times 10^{10}$	^{208}Pb
U_{n+1}	Neptünyum	^{297}Np (8α , 6β)	$2,14 \times 10^6$	^{209}Bi
U_{n+2}	Uranyum	$^{238}_{92}U$ (8α , 6β)	$4,51 \times 10^9$	^{206}Pb
U_{n+3}	Aktinyum	$^{235}_{92}U$ (7α , 4β)	$7,07 \times 10^8$	^{207}Pb

Yapay radyoaktif çekirdekler gelişen teknoloji ile birlikte, nükleer reaktörlerde elementlerinin çeşitli tanecikler ile bombardımanı sonucunda elde edilmesi sonucunda da oluşurlar.

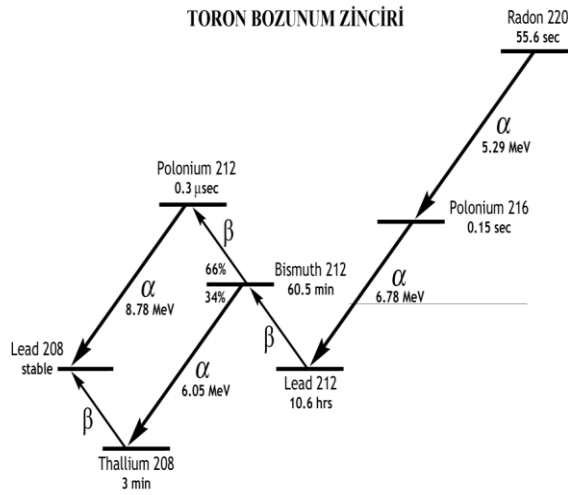
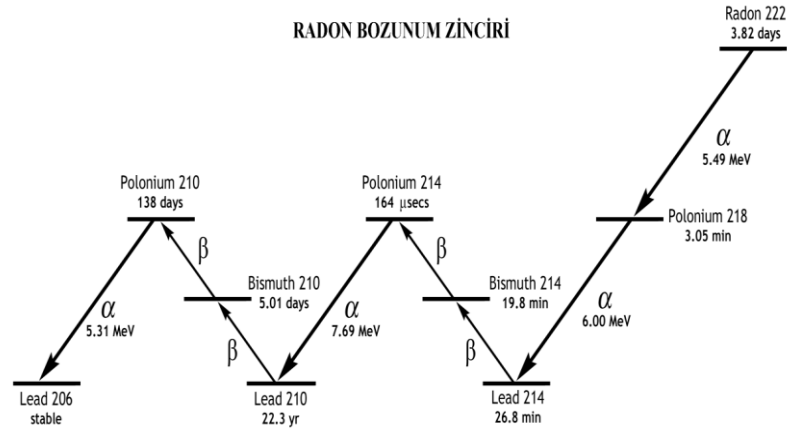
Şimdiye kadar birçok radyoaktif element (400' den fazla) yapay olarak elde edilmiştir.

2.2. Radon ve Bozunum Ürünleri

Bilim insanlarının radyoaktivite üzerine merak salmaları birçok çalışmayı tetiklemiştir. Rutherford ve Owens tarafından yapılan çalışmalarda toryum atomunun radyoaktif bir gaz saldığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaların ışığında Curie'ler radyum elementininde aynı olayı gözlemlemişlerdir.

Alman bilim insanı Dorn yaptığı çalışmalarda radon gazını ampüllerde keşfetti bu çalışmalar ışığında Rutherford ve Curie'lerin buldukları gazların radonun izotopları olduğu ortaya çıkmıştır. Ramsay ve Gray, radonu bulunduğu ortamdan yalıtıp bir rapor yayınlayarak radonun en ağır gaz olduğunu açıkladılar.

Radyum elementi kayalarda, toprak katmanlarında yoğun miktarda bulunmaktadır. Radyum 226'nın bozunumdan yarı ömrü 3,8 gün olan Radon 222 oluşur. Radonun bozunum ürünü olan Polonyum dur. Radon kavramı çoğunlukla, Radon 222'yi açıklamak için kullanılır. Radonun iki tane daha doğal olan izotopu Toron ve Aktinondur. Rn-220 izotopuna toron (yarı ömrü 51.5 s) ve Rn-219 izotopuna ise aktinon (yarı ömrü 3,92 s) denir.



Şekil 2.2. Radon ve Toron bozunum zincirleri

2.2.1. Sularda radon

Su, yaşadığımız evrenin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Su yaşamın temeli olup, hayatımızın temel kaynağıdır. Dolayısıyla insan sağlığı açısından radyoaktivite değerlerinin tespiti son derece önemlidir.

Yer altı suları farklı jeolojik yapılarla ve oluşumlar ile temas halindedir sular geçtikleri bölgelerden, magma tabakaların'dan, yer altı kayalardan, toprak tabakalarından hareket ederek buldukları ortamdaki elementlerin radyoaktif özelliklerinden etkilenecek doğal yollar ile radyoaktif özellik kazanırlar. Bu yüzden yeraltı suları yüzey sularına göre daha fazla radyoaktif özellik kazanırlar.

Yeraltı sularında rastlanan belli başlı radyoaktif elementler ^{40}K , ^{87}Rb , ^{235}Th , ^{235}U ve ^{238}U 'dir. Ayrıca ^{238}U 'in bozulması sonucunda ortaya çıkan Ra^{226} , Rn^{222} (radon) yeraltı sularında bulunmaktadır. Radon kimyasal yönden etkisiz olmasına karşın radyoaktif özelliği önemlidir.

Canlıların hayatında önemli bir yeri olan kaynak sularında ve termal sularda radon gazının genellikle yüksek oranlarda bulunmaktadır. Su kaynaklarındaki ortalama radon konsantrasyonları Tablo 2.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Su kaynaklarının ortalama radon konsantrasyonu ve yüzdelik kullanım oranları (UNSCEAR 1993).

Kaynak tipi	Radon Konsantrasyon (BqL^{-1})			KULLANIM(%)		
	ABD	İNGİLTERE	REFERANS DEĞER	ABD	İNGİLTERE	REFERANS DEĞER
Yüzey suyu	1,10	1	1	50	66	60
Yer altı suyu	1,15	30	10	32	34	30
Kuyu suyu	208	<100	100	18	<1	10

2.2.2. Radon ve deprem ilişkisi

Depremin olacağını önceden tahmin edip önlem almak insan kaybı ve maddi açıdan kayıpların önüne geçmek için oldukça önemlidir. Depremlerin önceden belirlenmesi için sismoloji ve fizik bilimi önemli çalışmalar yapmaktadır. Dünya üzerinde en yoğun deprem oluşumu Pasifik Okyanusunda gerçekleşmekte, sırası ile Atlas Okyanusu, Asya ve Avrupa kıtaları ve Hint Okyanusu izlemektedir. Bu nedenle, iki kıtanın birleşiminde yer alan Türkiye, dikkatle izlenmeyi gerektirecek özellik taşımaktadır.

Ülkemizin aktif faylar üzerinde yer alması depremin önemli bir yeri vardır. Deprem üzerine birçok bilim insanı çalışmaktadır bu çalışmalar da farklı metodlar izlenmektedir bu metodlardan birisi radon ihtivasının yoğunluğuna bakılarak depremin büyüklüğü hakkında ilişkilendirmektir.

Yer kabuğu içindeki radon salınımları sismolojik öncüler arasında yer almaktadır. Rusya, Japonya ve Çin'de yapılan çalışmalar radon gazı ile sismik aktiviteler arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Radon gazı salınımının aktif olan fay hatları üzerinde fazla olduğu bilinmektedir, fiziksel koşullara ve sismolojik faaliyetlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle meydana gelecek genleşmeler sonucu, kayalardan yeraltı sulara radon geçişi artmaktadır.

Radon gazındaki artışlar deprem öncesinde yüksek bir değere ulaşır, depremle birlikte temel durumuna dönmektedir. Deprem anında ve sonrasında ortaya çıkan küçük artış sarsıntılar ile birlikte ortama radon salınımı gözlemlenir.

2.2.3. Radon ve sağlık ilişkisi

Son dönemde yapılan çalışmalar radonun yüksek yoğunluğu bağlı olarak akciğer kanseri riskinde önemli oranda artış olduğu ortaya çıkmıştır. Uranyum madenlerindeki radon ve bozunum ürünlerinin solunması üzerine yapılan çalışmalar, uranyum elementine maruz kalan madencilerinin kanser riskine maruz meslek grubu olduğunu ortaya çıkarmıştır (UNSCEAR,1988).

Epidemiyolojik çalışmalarda madenlerde çalışan 68.000 maden işçisinin içinde 2.700 işçi radon ihtivasına bağlı olarak akciğer kanserine yakalanmıştır. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar.

Yüksek doza maruz kalmak herkesin akciğer kanseri olacağı anlamına gelmez. Radon soygaz olduğundan dolayı solunum esnasında dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radonun bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Kararsız halde bulunan radon ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam ederler ve bulunduğu ortama radyasyon gönderirler. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3

mSv/yıl'dır (Seligman 1990). Trakea'da olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar.

Radon insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerdendir.

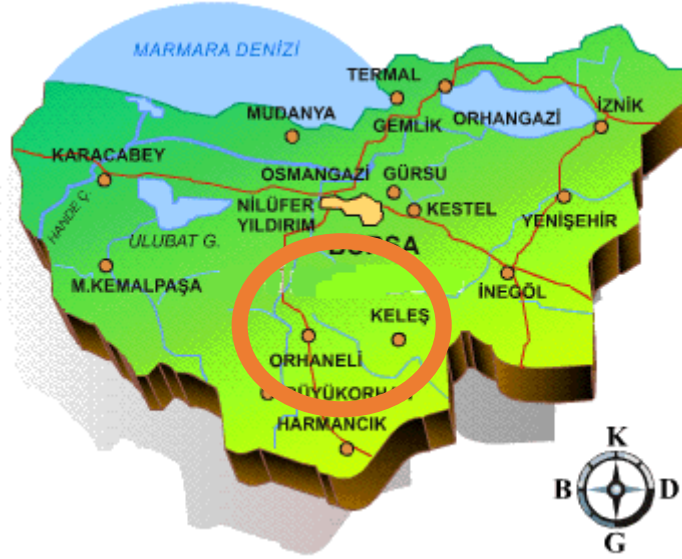
Tablo 2.3. Farklı ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından öngörülen kapalı ortamlardaki müsaade edilebilir limit radon konsantrasyonları (Bqm-3 biriminde) verilmektedir.

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

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesi Jeolojik Özellikleri

Çalışma bölgemiz Bursa ili merkezine 57 km uzakta olan Orhaneli ve merkeze uzaklığı 64 km olan Keles ilçelerinde gerçekleştirilmiştir. Orhaneli ilçesinin bulunduğu koordinatları $28^{\circ} 94' 12''$ enlem ve $28^{\circ} 94' 12''$ boylama sahiptir. Keles ilçesi ise $40^{\circ} 20' 09''$ enlem ve $29^{\circ} 21' 31''$ boylama sahiptir.



Şekil 3.1. Bursa İli, Orhaneli ve Keles ilçelerinin haritadaki yeri

Orhaneli ilçesi konum itibarıyla Kuzey Ege ile Güney Marmara'nın kesişmesinde bulunan ilginç bir noktadır. Orhaneli İlçe Merkezi; Kuzeyinde Nilüfer ve Osmangazi, güneyinde Büyükorhan, Harmancık, batısında Mustafakemalpaşa, doğusunda Keles ilçeleriyle sınırlıdır.

Linyit, mermer, krom sıcak su, maden suyu ve orman gibi yer altı ve yer üstü kaynakları bakımından oldukça zengin olan ilçenin denizden yüksekliği 487 metre

olup yüz ölçümü 764 km²'dir. İlçede dağlar yüksek olmayıp, mevcut yerler genellikle ormanla kaplıdır.

Orhaneli'nin en önemli yer altı zenginlikleri, krom madeni ve linyit kömürüdür. Krom madeni en fazla Göynükbelen Beldesi ve Topuk köyü civarında çıkarılmaktadır. Kömür ise; Gümüşpınar, Dünder, Altıntaş Köyleri'nden çıkarılır. Bu bölgede çıkarılan kömürler, Orhaneli'de kışın yakacak olarak kullanıldığı gibi, ayrıca Orhaneli Termik Santrali'nde de kullanılmaktadır. Serçeler Köyü'nde ekonomik değeri yüksek mermer ocakları mevcuttur. Göynükbelen ve Topuk Köyü'nde üretimi yapılan talk ve amyant madenleri mevcuttur.

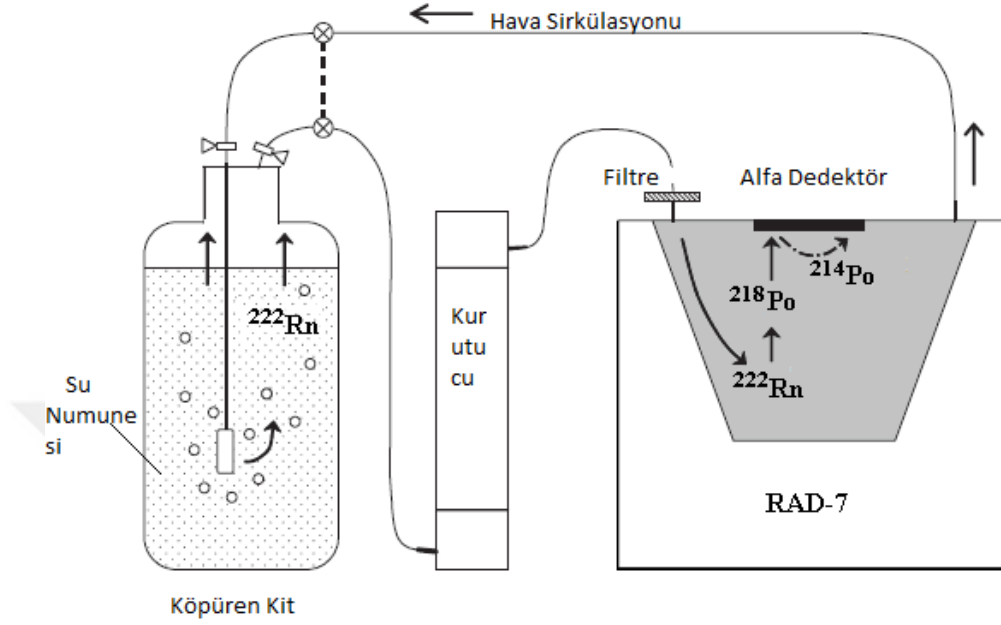
Keles; Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu bölümünün en kuzeyinde, Uludağ'ın güney yamaçlarında kurulmuş bir ilçedir. Yüzölçümü 640 kilometrekare olup 35 köyü 7 mahallesi vardır Keles ve civarı yeraltı kaynakları ile endüstriyel hammadde bakımından oldukça zengin olmasına rağmen bu kaynakların çoğu ekonomik olmadıkları gerekçesiyle işletilmemektedir.

Yörenin en zengin maden yatağı Harmanalanı Köyü yakınlarındaki linyit ocağıdır. Davutlar Köyü civarında da oldukça büyük linyit rezervi bulunmaktadır. Ayrıca Alpagut Köyü'nde kalsit, Gelemiş Köyü'nde molibden, Kozbudaklar Köyü'nde krom ve mermer yatakları tesbit edilmiştir. MTA tarafından yapılan araştırmalarda yörede; doğal gaz, magnezyum, bakır, demir, boraks ve wolfram madenlerine de rastlanmıştır. Ancak; bu madenler ekonomik olmadıkları gerekçesiyle işletilmemektedir. İlçede hakim olan toprak tipi "kahverengi orman toprağı" olup fazla miktarda kireç ihtiva eder, ancak kil oranı düşük olduğundan kolay işlenir. Toprakta % 30 kireç, % 19 fosfor ve % 2 oranında organik madde bulunduğu, toprağın asidik derecesinin (PH) 7.70 olduğu tesbit edilmiştir.

3.2. Materyal ve Yöntem

Bu tez kapsamında radon ölçümleri için kullanılan RAD 7 (Durrige Co, USA) radon detektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kısaca, bu cihaz, ideal bir ölçüm, hızlı okuma sunmaktadır, taşınabildir (yaklaşık 5 kg) ve zararlı kimyasallarla çalışmayı

da ortadan kaldırmaktadır. RAD H₂O aksesuarı ile RAD 7'nin şematik diyagramı Şekil 3.2.'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. RAD 7'nin RAD H₂O aksesuarı ile birlikte şematik diyagramı

RAD7 bir katı-hal alfa detektörü kullanır. Katıhal detektörü alfa radyasyonunu doğrudan bir elektrik sinyaline dönüştüren yarıiletken bir malzemedir (genellikle silikon kullanılır). Katıhal cihazların önemli bir avantajı sağlamlıklarındır. Diğer bir avantajı her bir alfa parçacığının enerjisinin elektronik olarak belirlenebilmesidir. Bu sayede üretilen radyasyonun radonun hangi bozunum ürününden (²¹⁸Po, ²¹⁴Po vs.) geldiğini tam olarak ölçmek mümkündür. Alfa spektroskopisi olarak bilinen bu tekniğin havayı çekme (Sniffing) veya numuneyi tutma uygulamalarında mükemmel bir avantajı vardır. Bu cihazla aynı zamanda radyum ölçmekte mümkündür. Bunun için radon ölçümünde kullanılan numunenin bir hafta bekletilmesi yeterlidir. Bir hafta sonunda ölçülen aktivite Radyum aktivitesi olacaktır.



Şekil 3.3. Su örneğinin RAD 7 dedektörüne bağlanması ve su örneğinin köpürtülmesi

RAD7 dedektörü ölçüm işlemleri öncesinde kendi metaaryelinde oluşabilecek nem değerlerinin referans aralığa gelmesi için çalıştırılır, istenen nem değerlerine ulaşıldığı'an numuneler üzerinde çalışmaya başlanır. Numune ölçümünde RAD H₂O aksesuarı kullanılarak su numunesi içeren 250 ml şişelere kapalı bir hava borusu sistemi ile RAD7 radon dedektörüne bağlanır. RAD7 pompası çalıştırılarak 5 dakika periyotlar ile su köpürtülür ve böylece suda çözülmüş olan radon gazının yüzeye çıkması sağlanır (Şekil 3.3.). 5 dk'lık bir havalandırma boyunca mevcut radonun %94'ünden fazlası sudan ayrıştırılmış olur. Sistem 5 dk. bekledikten sonra kendine ait olan printer bir ara rapor verir ve sayıma başlar. Sayım 5'er dakikalık 4 periyotla devam eder. Her ölçüm periyodunda sistem ara rapor verir. 30 dk'lık periyot sonunda RAD7, her biri 5 dk'lık olan 4 sayımdaki ortalama radon aktivitesine bağlı bir spektrum verir. Böylece analiz edilen su numunesinin radon içeriği belirlenmiş olur.

RAD7 cihazı laboratuvarlarda uzun bir süredir kullanılmaktadır. Bu cihaz sıvı sintilasyon sayıcıları kadar hassas ve doğru değerler verir ve aynı zamanda diğer cihazlara göre daha ($10 \text{ pCi/L} \approx 370 \text{ Bq/m}^3$ 'ten daha az deteksiyon limitiyle) duyarlıdır.

3.2.1. Ölçümün yapılışı

Orhaneli ve Keles ilçelerinde toplanan su numuneleri 500 ml şişeler kullanarak toplanmıştır. Toplama esnasında ilk başta şişelerin içleri aynı su ile temizlenerek, kaynağa yaklaştırılarak fazla köpürtülmeden şişenin uç kısmına kadar doldurulup hızlı bir şekilde kapakları kapatılmıştır. Şişelerin üzerine etiket yardımı ile mevcut enlem, boylam, rakım, alındığı tarih ve saat yazılmıştır.

Alınan su örnekleri köpürtülmeden hızlı bir şekilde SAÜ Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilerek ölçüm işlemlerine başlanmıştır. Ölçüm işlemleri 250 ml cam şişeler vasıtası ile ölçüme başlanmıştır.

BÖLÜM 4. ÖLÇÜMLERİN SONUÇLARI VE ANALİZİ

Bu tez çalışması Marmara Bölgesindeki Bursa ilinin Orhaneli ve Keleş ilçelerinde bulunan 16 farklı yerden doğal kaynak suyu örneği kaynağından 500 ml'lik numune şişelerine alınarak SAÜ Nükleer Fizik Laboratuvarına dikkatli bir şekilde (sarsıntı ve çalkalanma olmadan) getirilmiştir. Daha sonra laboratuvarında bulunan RAD-7 elektronik radon dedektör sistemi kullanılarak kesim 3.2'de anlatılan ölçüm tekniğine uygun şekilde ^{222}Rn aktivite ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, numunenin kaynaktan alınıp laboratuvara getirilmesinin hemen akabinde (5-6 günü aşmayacak bir süre içerisinde) yapılmaya özen gösterilmiştir. Bu nedenle de ölçüm sonuçları geçen süredeki radonun bozunması da hesaba katılarak DCF düzeltme faktörü ile çarpılmıştır. Çünkü numunenin alınımı takip eden birkaç saat içerisinde ölçüm yapılamadığı için ve bu sürede radon bozunmaya devam edeceğinden böyle bir işlem zorunludur. Bozunum düzeltme faktörleri (DCF).

$$\text{DCF}=\exp(T/\tau) \quad (4.1)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada T: Bozunma süresi, τ : ^{222}Rn 'nin ortalama ömrüdür (132.4 saat). Ekler kısmında farklı bozunma sürelerine ait düzeltme faktörleri EK-3 tablosunda sunulmuştur.

Su örneklerinin alındığı yerlerin koordinatları, alınma tarih ve saatleri, ölçüm tarih ve saatleri, örneklerin laboratuvara getirilip ölçümler yapılmaya kadarki süreçte geçen süreler ve bozunum düzeltme faktörleri gibi bilgiler Tablo 4.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Çalışılan kaynak sularının örnekleme ve ölçüm tarihleri, koordinatları ve Bozunum düzeltme faktörleri (DCF)

İlçe	Örnek ID	Koordinatlar	Rakım (metre)	Alınan Tarih/ Saat	Ölçülen Tarih/Saat	Geçen Süre (saat)	DCF
Orhaneli	O1	K40,022° -D28,891°	450	18.11.18/9.23	26.11.18/10.28	193,08	4,299
	O2	K39,960° -D28,879°	301	18.11.18/11.49	26.11.18/11.13	191,40	4,244
	O3	K40,029° -D28,978°	796	18.11.18/ 8.42	26.11.18/11.56	195,23	4,369
	O4	K39,843° -D28,884°	710	18.11.18/ 9.35	26.11.18/12.56	195,35	4,373
	O5	K39,946° -D28,924°	300	18.11.18/ 9.54	26.11.18/13.32	195,63	4,382
	O6	K39,877° -D28,886°	685	18.11.18/ 9.23	26.11.18/14.07	196,73	4,419
	O7	K39,911° -D28,770°	408	18.11.18/13.05	26.11.18/14.41	193,60	4,316
	O8	K39,958° -D28,881°	285	18.11.18/10.45	26.11.18/15.15	196,50	4,411
	O9	K39,830° -D28,813°	791	18.11.18/11.45	26.11.18/15.50	196,08	4,397
	O10	K39,958° -D28,881°	285	18.11.18/14.13	26.11.18/16.22	194,15	4,334
	O11	K39,897° -D28,294°	370	18.11.18/11.45	26.11.18/16.57	197,20	4,435
Keleş	K1	K37,807° -D29,195°	922	28.10.18/10.35	05.11.18/13.39	195,07	4,364
	K2	K40,006° -D29,188°	944	28.10.18/8.50	05.11.18/14.22	197,53	4,446
	K3	K39,970° -D29,174°	1187	28.10.18/11.30	05.11.18/15.03	195,55	4,380
	K4	K39,951° -D29,216°	1087	28.10.18/12.30	05.11.18/15.42	195,20	4,368
	K5	K40,010° -D29,180°	930	28.10.18/15.00	05.11.18/16.22	193,37	4,308

4.1. Çalışılan Sularda Ölçülen Radon Aktiviteleri ve Hesaplanan Efektif Dozlar

Tez çalışması kapsamında RAD-7 (H₂O) aksesuarları kullanılarak herbir su örneği için dört ölçüm yapılmış ve bu ölçüm spektrumundan su örneklerinin ortalama radon aktiviteleri, minimum-maksimum radon aktivite değerleri (BqL⁻¹ birimlerinde) ve ölçümlerdeki standart sapmalar Tablo 4.2.'de sunulmuştur. Ölçümler su örnekleri alındıktan yaklaşık 5-6 gün içerisinde yapıldığından bu süreçte örneklerdeki radonun bozunmasının da hesaba katılması gerektiğinden, spektrumda elde edilen radon aktiviteleri DCF bozunum düzeltme faktörüyle çarpılarak aktivite düzeltmeleri yapılmıştır. Ayrıca ölçümler esnasında cihazın içindeki nem oranının en azından ilk iki ölçümde belirli seviyelerde (%5-10 gibi) tutulmasıyla ölçülen aktivitede nemden kaynaklı oluşabilecek ölçüm hataları en aza indirgenmektedir. Nem oranının %10

seviyesinin üzerinde olması radonun ve bozunum ürünlerinin bozunumu neticesinde oluşan alfa parçacıklarının cihazın içindeki silikon sensöre ulaşmasını kısmen engellemektedir ve buda ölçüm hatalarına sebebiyet vermektedir. RAD-7 cihazı aynı zamanda ölçtüğü datanın analizinin yapılabildiği ‘Capture’ yazılımına sahiptir ve bu yazılımla nemden kaynaklı ölçüm hatalarını ‘Nem Düzeltme (HC) Faktörü’ ile aktiviteye katabilmektedir. Ölçülen radon aktivitelerine bozunum düzeltmesi ve nem düzeltmesi (DCF+HC) yapıldığında veriler Tablo 4.2’nin son iki sütunundaki gibi değişim göstermiştir. Burada en büyük düzeltmeyi yapan DCF’dür. Nem düzeltmesinin aktiviteye katkısı %10-12 arasında değişmektedir.

Tablo 4.2. Çalışılan kaynak sularının ölçülen ortalama radon aktiviteleri, minimum ve maksimum değerleri, standart sapmalar, bozunum ve nem düzeltmeleriyle (DCF ve HC) radon aktiviteleri

İlçe	Örnek ID	Ort. Rn aktivitesi, Bq/L	Standart Sapma (SD)	Min.-Mak. Değerler Bq/L	Rn Bq/L (HC+DCF)	Standart Sapma (HC+DCF)
Orhaneli	O1	2,600	0,454	10,737-15,648	12,518	2,186
	O2	0,446	0,272	0,704-3,532	2,120	1,293
	O3	0,148	0,000	0,724-0,729	0,724	0,002
	O4	4,600	0,414	19,640-24,048	22,530	2,028
	O5	4,530	0,995	18,161-29,204	22,234	4,884
	O6	6,020	0,743	25,736-34,595	29,794	3,677
	O7	8,100	0,782	34,656-42,631	39,151	3,780
	O8	7,200	1,120	31,026-43,575	35,572	5,533
	O9	14,100	1,830	57,622-79,292	69,442	9,013
	O10	5,670	1,090	23,928-35,334	27,520	5,290
	O11	8,320	0,440	38,591-43,806	41,323	2,185
Keleş	K1	15,600	2,340	60,603-87,483	76,242	11,436
	K2	9,850	1,600	39,435-58,755	49,045	7,967
	K3	12,000	1,010	54,938-65,729	58,862	4,954
	K4	9,770	1,750	35,811-54,793	47,797	8,561
	K5	5,370	0,751	20,892-29,384	25,910	3,624

$D_{içme}^{Rn}$, (AED_{ing} , μSvy^{-1} biriminde) doz katsayıları, radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ve yıllık su tüketimi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (UNSCEAR 2008):

$$D_{içme}^{Rn} = A_{Rn} \times W_{in} \times D_f^i \quad (4.2)$$

burada A_{Rn} sudaki radon aktivitesini (BqL^{-1}), W_{in} içilen yıllık su miktarını (LYl^{-1}) (WHO 2011) ve D_f^i mide yoluyla alım dozu dönüşüm faktörüdür ($SvBq^{-1}$) (UNSCEAR 2000a).

Sudan kaçan radonun solunması yoluyla alınan yıllık efektif doz ($D_{Solunma}^{Rn}$, veya AED_{inh} , $\mu Sv y^{-1}$ biriminde) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (UNSCEAR 2000):

$$D_{Solunma}^{Rn} = A_{Rn} \times R_w \times F \times T \times D_f^s \quad (4.3)$$

burada D_f^s solunma yoluyla alımda doz dönüşüm faktörüdür ve $9 \text{ nSv m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ Bq}^{-1}$ olarak önerilmiştir. R_w ise havadaki radon ve sudaki radon oranıdır (10^{-4}), F ise radon ve ürünlerinin arasındaki denge faktörüdür (0,4) ve T ise (7000 hy^{-1}) kişi başına yıllık ortalama iç mekanda bulunma zamanıdır (UNSCEAR, 1993).

Birçok ülkede, içme suyu, doğal kaynaklar, kuyular ve sondaj delikleri gibi yeraltı suyu kaynaklarından elde edilir. Bu su kaynakları normalde rezervuarlardan, nehirlerden veya göllerden gelen yüzey sularından daha yüksek radon konsantrasyonlarına sahiptir. Bugüne kadar, epidemiyolojik çalışmalarda, radon içeren içme suyu tüketimi ile artan mide kanseri riski arasında net bir ilişki bulunamamıştır. İçme suyunda çözülmüş radon, iç havadaki radon seviyesini az da olsa artırabilir. Normal olarak, yutmaya kıyasla solunma radonundan daha yüksek bir radon dozu alınır. "Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu kalitesi kuralları" (2011), içme suyunda radon için tarama seviyelerinin, havadaki radon için ulusal referans seviyesine dayanarak ayarlanmasını önermektedir. İçme suyunda yüksek radon konsantrasyonlarının beklenebileceği durumlarda, radon konsantrasyonlarını ölçmek akıllıca olacaktır. Havalandırma yoluyla veya granül aktif karbon filtreleri kullanarak içme suyu kaynaklarındaki radon konsantrasyonunu azaltmak için basit ve etkili teknikler de mevcuttur.

Farklı yaş grupları için suyun içilmesi yoluyla radyonüklid alımına bağlı alım dozu, UNSCEAR'ın 2000 yılındaki raporunda verilen dönüşüm parametreleri (UNSCEAR 2000a) kullanılarak hesaplanmıştır ve alım oranları ise WHO'nun 2011 raporunda

belirtilmiştir (WHO 2011). Çeşitli yaş kategorileri için dönüşüm parametrelerinin ve günlük su alım oranlarının değerleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Farklı Yaş Grupları için doz dönüşüm parametreleri ve su alım oranları (Kaur et al, 2019)

Yaş grupları	Bebekler			Çocuklar			Erkekler			Kadınlar			Referanslar
	0-6 ay	1-3 yaş	4-8 yaş	9-13 yaş	14-18 yaş	Yetişkin	9-13 yaş	14-18 yaş	Yetişkin	9-13 yaş	14-18 yaş	Yetişkin	
Vücut kütlesi(kg)	6	12	20	36	61	70	37	54	57	DRIs (2005)			
Nefes oranı ($m^3 h^{-1}$)	0.11	0.22	0.35	0.56	0.72	0.78	0.56	0.64	0.61	ICRP (2002)			
İçme oranı(Ly^{-1})	200	260	300	350	600	730	350	600	730	WHO (2011)			
DCF _{Ing} (Rn) μSv	0.023	0.0059		0.0035			0.0035			UNSCEAR (2000b)			
Maruz kalma per. (year)	–	6		30			30			USEPA (2001)			
Maruz kalma sıklığı (gy)	350	350		350			350			USEPA (2001)			
Maruziyet süresi (hy^{-1})	8760	8760		8760			8760			USEPA (2001)			
Ort. Ömür (yıl)	65	65		65			65			WHO (2011)			
Ort. süre (gün)	23,725	23,725		23,725			23,72			WHO (2011)			

Tablo 4.2.'de ölçülen Rn aktiviteleri kullanılarak, çalışılan kaynak sularının içilerek tüketilmesi ve sulardan havaya karışan radonun solunması nedeniyle alınan yıllık efektif dozlar ($\mu Sv y^{-1}$ birimlerinde) belirli yaş grupları için (Bebekler, Çocuklar ve Yetişkinler için) hesaplanmış ve Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Çalışılan kaynak sularının içilerek tüketilmesi ve sulardan havaya karışan radonun solunması nedeniyle alınan yıllık efektif dozlar (Bebekler, Çocuklar ve Yetişkinler için $\mu Sv y^{-1}$ birimlerinde)

İlçe	Örnek ID	Rn, Bq/L (HC+DCF)	OEF(içme), $\mu Sv y^{-1}$			OEF(solunma)
			Bebek (≤ 1 yaş)	Çocuk (12-16 yaş)	Yetişkin (≥ 17 yaş)	Yetişkin (≥ 17 yaş)
Orhaneli	O1	12,518	43,187	22,783	21,907	31,546
	O2	2,120	7,315	3,859	3,710	5,343
	O3	0,724	2,499	1,318	1,267	1,825
	O4	22,530	77,728	41,004	39,427	56,775
	O5	22,234	76,709	40,467	38,910	56,031
	O6	29,794	102,790	54,226	52,140	75,082
	O7	39,151	135,071	71,255	68,514	98,661
	O8	35,572	122,722	64,740	62,250	89,641
	O9	69,442	239,576	126,385	121,524	174,994
	O10	27,520	94,943	50,086	48,160	69,350
	O11	41,323	142,564	75,208	72,315	104,134
Keleş	K1	76,242	263,035	138,760	133,424	192,130
	K2	49,045	169,206	89,262	85,829	123,594
	K3	58,862	203,075	107,129	103,009	148,333
	K4	47,797	164,900	86,991	83,645	120,449
	K5	25,910	89,390	47,156	45,343	65,293

Tablo 4.4.'ten görüldüğü gibi, içilen su için hesaplanmış yıllık efektif doz eşdeğerleri yetişkinler için 1,27-133,42 $\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ aralığının da, çocuklar için 3,86-138,76 aralığında ve bebekler için 7,32-263,04 aralığında değişmektedir.

Radyasyondan korunma, radyasyona maruz kalmanın bir miktar risk içerdiği varsayımına dayanmaktadır. Uzun süreli maruz kalmalar için, örneğin uzun süre boyunca radyonüklid içeren içme suyu içilmesi durumunda olduğu gibi, insanlarda artmış bir kanser riski olduğuna dair kanıtlar, 100 mSv'nin üzerindeki dozlarda mevcuttur (Brenner ve ark., 2003). Bu dozun altında, epidemiyolojik çalışmalar ile artan bir risk tespit edilmemiştir. Herhangi bir riskin bulunmadığı sınır (eşik) değerin altında değilse dozlar, maruz kalma ile risk arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmıştır. 0.1 mSv/yıl'lık bireysel doz kriteri (IDC), tespit edilebilir herhangi bir olumsuz sağlık etkisine yol açması beklenmeyen çok düşük bir risk seviyesini temsil eder. Tablo 4.4.'de verilen çalışmamız kapsamında ölçülen Rn-222 aktivitelerinden hesaplanan yıllık efektif dozlara bakıldığında, 0.1 mSv $\cdot\text{y}^{-1}$ değerini aşan dozlar, çocuklarda ve yetişkinlerde O9, K1 ve K3 örneklerinde; bebeklerde ise O6-O9, O11, K1-K4 aralığındaki örneklerde ortaya çıkmıştır.

İçme suyundan radyonüklid alımına bağlı olarak yıllık 0.1 mSv doza maruz kalmanın sağlığa ilave riskinin, aşağıdaki nedenlerden dolayı düşük olduğu kabul edilir:

1. Ortamdaki doğal radyoaktiviteden alınan bireysel dozlar çok değişkendir. Ortalama yıllık 2.4 mSv/yıl'dır, ancak dünyanın bazı bölgelerinde, uzun vadeli popülasyon çalışmalarında belirtildiği gibi sağlık risklerinde gözlenen herhangi bir artış olmadan ortalama dozlar, 10 kat daha yüksek olabilir (yani 24 mSv/yıl). (Tao, 2000; Nair ve diğerleri, 2009). Bu nedenle, 0.1 mSv/yıl olan bir IDC, doğal seviyelere küçük bir ilaveyi temsil eder.
2. Radyasyona bağlı kanser vakası için nominal risk katsayısı $5.5 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ 'dir (ICRP, 2008). Bunun içme suyundan 0.1 mSv/yıl IDC ile çarpılması, yaklaşık 5.5×10^{-6} civarında tahmini bir yıllık kanser riskini verir.

Tablo 4.5. Bu çalışma ile diğer çalışmaların (çeşitli tipteki sulara Rn aktivitelerinin) sonuçlarının karşılaştırılması

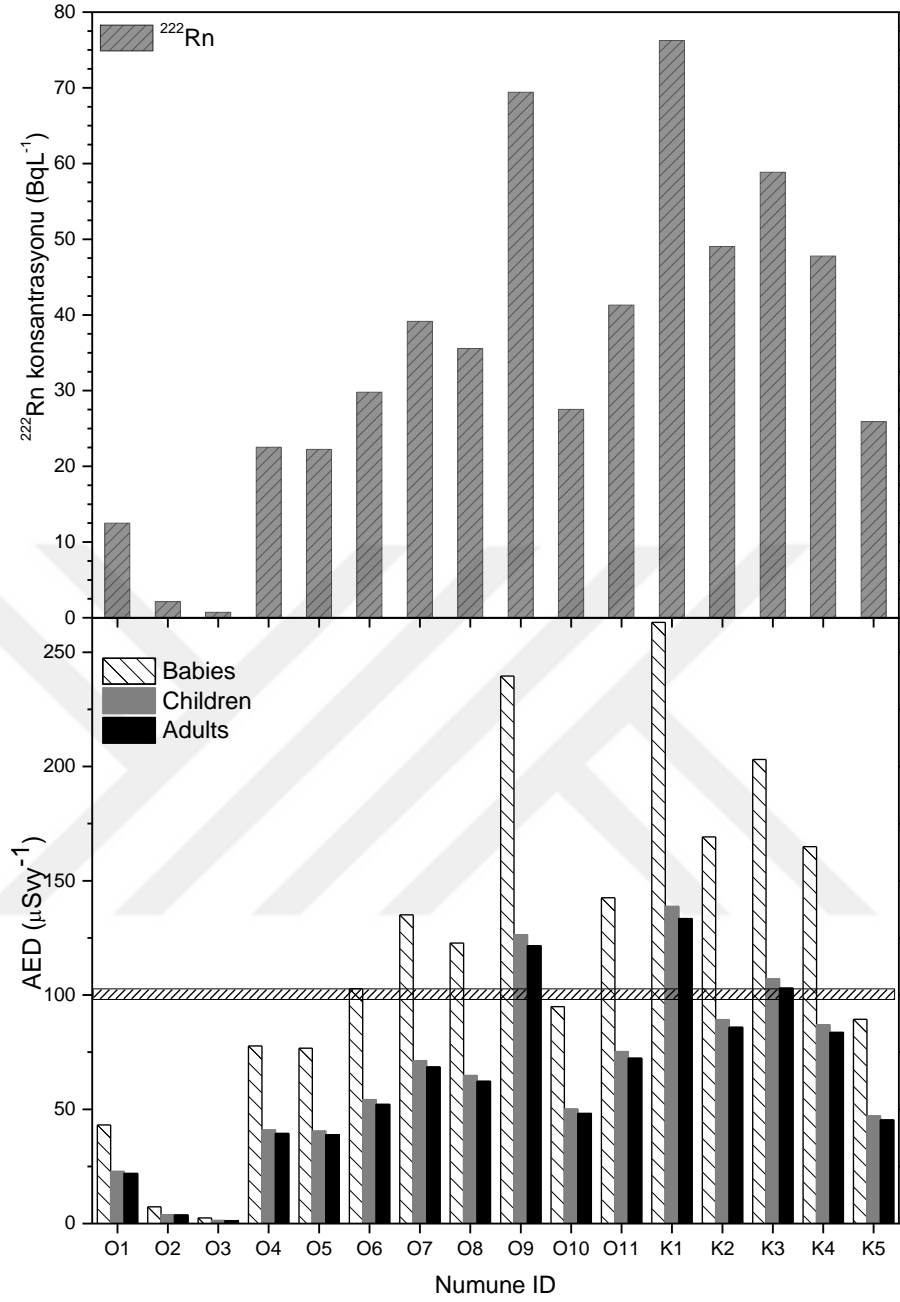
²²² Rn Activity (Bq l ⁻¹)			Çalışmalar	Yer
Kaynak(Spring)	Kuyu (Well)	Musluk (Tap)		
0,1-576	-	0-2	Horvath et al. (2000)	Venezuela
3,3-10,7	3,1-5,7	2,5-4,7	Kullab et al. (2005)	Sırbistan
0,46-49,6	0,91-19,88	-	Abdallah et al. (2007)	Lübnan
2-129,3	0,6-112,6	-	Cosma et al. (2008)	Romanya
10-28	0,4-20	-	Kaur et al. (2019)	Hindistan
14-1385	-	-	Martins, L et al. (2019)	Portekiz
0,246-34,36	0,86-16,12	-	Khan, A. R.et al. (2019)	Pakistan
280-2164	29-3090	-	Sobakin (2018)	Yakutistan
1,7-117 (RAD7)	-	2,5-49(RAD7)	Prasad et al.(2018)	Hindistan
2,1-277 (RnDuo)	-	13,5-61 (RnDuo)		
6,2-20,10	9,1-23,6	-	Khan, F. et al. (2018)	Pakistan
2-14	-	-	Lebed et al. (2018)	Ukrayna
52-380	-	-	Renteria-Villalobos et al. (2017)	Meksika
1,4-105	-	-	Fonollosa, et al. (2016)	İspanya
2,8-46,62	-	8,33-8,51	Kumar et al. (2017)	Hindistan
3,1-187,3	-	0,4-6,4	Moldovan et al. (2014)	Romanya
10,2-68,9	5,6-35,2	1,2-4,5	Nita et al. (2013)	Romanya
0,70-27,6	1,27-16,5	-	Khattak et al. (2014)	Pakistan
18-1522	-	-	Kozłowska et al. (2008)	Polonya
2,11-120	1,12-40,3	0,31-24,3	Somlai et al. (2007)	Macaristan
3,3-10,7	3,1-5,7	2,5-4,7	Al-Bataina et al. (1997)	Ürdün
0,041-0,69	-	-	Ibrahim et al.(2016)	Nijerya
0,041-0,69	0,28-9,5	-	Karataşlı et al. (2017)	Mersin
10,82	-	-	Damla et al.(2005)	Karedeniz
0,207	0,303	-	Bariş et al.(2006)	İzmir
0,085-44,57	-	-	Akkurt et al. (2006)	Afyon
22,68	-	-	Özdemir et al. (2006)	Afyon
1,0-5,4	-	-	Kumru et al. (2006)	Denizli
6,23-11,35	-	-	Duran et al. (2017)	Karadeniz
0,334-7,810	-	-	Yamaç et al. (2018)	İzmit
4,31-15,44	-	0,32-21,30	Koray et al. (2014)	Zonguldak
1,85-99,27	-	-	Erdoğan et al. (2017)	Konya
1,47-14,76	-	0,83-1,63	Doğan et al.(2018)	İstanbul
0,39-1,17	-	0,42-2,4	Öner et al. (2009)	Amasya
0,13-1,20	-	0,48-1,30	Yiğitoğlu et al.(2010)	Tokat
0,13-0,90	-	1,02-3,30	Baykara et al. (2006)	NAFZ ²
0,39-19,21	-	0,31-13,14	Yalçın et al. (2011)	Kastamonu
0,43-0,69	-	0,16-0,69	Erdoğan et al.(2016)	Osmaniye
0,74-59,65	1,98-20,8	1,49-9,01	Yakut et al. (2013)	Sakarya
0.704-76,24	-	-	Bu Çalışma (2019)	Bursa

Bu çalışmada elde edilen ^{222}Rn aktivitelerinin ve elde edilen efektif dozların literatürdeki benzer çalışmaların verileriyle karşılaştırılması Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da sırasıyla sunulmuştur.

Tablo 4.5.'ten görüleceği üzere bu çalışmada ölçülen radon aktiviteleri Sakarya (Yakut vd.(2013)), Konya (Erdoğan et al.(2017)), Afyon (Akkurt et al.(2006)), İspanya (Fonollosa, et al. (2016)), Lübnan (Abdallah et al. (2007)), Hindistan (Kumar et al. (2017)), Macaristan (Somlai et al. (2007)) ve Romanya'da (Cosma vd (2008) ve Nita et al. (2013)) yapılmış çalışmalarla karşılaştırılabilir büyüklüktedir. Fakat Polonya (Kozłowska et al. (2008)), Meksika (Renteria-Villalobos et al. (2017)), Portekiz (Martins et al. (2019)), Yakutistan (Sobakin (2018)), Romanya (Moldovan et al. (2014)) ve Venezuela'daki (Horvath vd. (2000)) çalışmaların ölçülen üst limitinden oldukça küçüktür. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında da görünür şekilde ölçtüğümüz değerler daha yüksektir.

Çalışılan su örneklerinde ölçülen radon konsantrasyonları değişimi ve yıllık efektif doz dağılımları Şekil 4.1.'de de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 4.1.'den görüldüğü gibi, sekiz numunede içilen su için yıllık efektif doz eşdeğerleri $100 \mu\text{Svy}^{-1}$ sınır değerinden daha büyüktür. En yüksek ortalama radon konsantrasyonu ve yıllık etkin doz K1 istasyonunda bulunmuştur. En düşük ortalama radon konsantrasyonu ve yıllık etkin doz ise O3 istasyonunda bulunmuştur.

Bu verilerden, radonun suyun içilmesi yoluyla vücuda alınmasından kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri yaklaşık $61 \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer UNSCEAR [10] tarafından verilen $100 \mu\text{Svy}^{-1}$ yıllık etkin dozun limit değerinden düşüktür. Fakat O9, K1 ve K3 numunelerinin doz eşdeğerleri bu sınır değerden önemli derecede yüksek olup bu suların ne oranda halk tarafından tüketildiğinin araştırılması gerekmektedir. Uzun süre ve yüksek miktarda tüketilmelerinin ve kullanılmalarının insan sağlığı üzerine etkilerinin olabileceği düşünülürse bu tür bir durumda gerekli tedbirlerin alınması oldukça önemlidir.



Şekil 4.1. Su örneklerindeki radon konsantrasyonu değişimi ve yıllık efektif doz dağılımı

Çalışılan bölgede sularadaki radondan dolayı ortaya çıkan ortalama etkin dozun Türkiye'nin farklı bölgelerinden gelen diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılması Tablo 4.6.'da yapılmıştır.

Tablo 4.6. Türkiye'nin farklı bölgelerindeki sular için rapor edilen ortalama (veya min-mak.) yıllık efektif dozların karşılaştırılması

Yer	Çalışmalar	AED (μSvy^{-1})
Amasya	Öner et al. (2009)	5.87
Tokat	Yiğitoğlu et al. (2010)	3.0
Elazığ	Baykara ve Doğru (2006)	9.0
Tekirdağ	Yarar et al. (2000)	9.3
İstanbul	Karahan et al. (2000)	0.2
Bursa	Tarım et al. (2011)	1.11
Eskişehir	Örgün et al. (2005).	1.9
Kastamonu	Yalçın et al. (2011)	Min-Mak: 0,8-49,09
Konya	Erdoğan et al. (2017)	Min-Mak: 0,37-19,85
Zonguldak	Koray et al. (2014)	Min-Mak: 0,91-3,24
Afyon	Yalım et al. (2007)	74
Osmaniye	Erdoğan et al. (2015)	Min-Mak: 0,42-2,52
Samsun-Rize	Duran et al (2017)	56,03
Sakarya	Yakut et al. (2013)	1.92
Yalova	Tabar ve Yakut (2014)	6,55
Bursa	Bu çalışma (2019)	61,34

Tablo 4.6.'dan görüleceği üzere bu tez çalışmasında ölçülen radon aktivitelerinden kaynaklı ortalama yıllık efektif doz değeri Türkiye'nin diğer bölgelerindeki sular için rapor edilmiş dozlardan (Kastamonu, Afyon, Samsun-Rize hariç) oldukça yüksektir. Kastamonu (Yalçın et al. (2011)), Afyon (Yalım et al. (2007)) ve Samsun-Rize (Duran et al (2017))'de yapılan çalışmalarda doz eşdeğerleri bu tez çalışmadakiyle eşdeğer düzeyde doza sahiptirler. Ayrıca Afyon'daki ve Samsun-Rize'deki su örnekleri her ne kadar yakın etkin dozlara sahip olsa da bizim bu çalışmamızdaki gibi doğal kaynak sulardan değildirler. Afyon'daki çalışmada kuyu suları, Samsun-Rize'deki çalışmada ise spa suları çalışılmıştır. Tablo 4.6'da minimum ve maksimum değer aralıkları verilen çalışmalar ayrıntılı olarak incelenirse, bu çalışmaların verisinden ortalama etkin dozlar da elde edilebilir.

Vücudun iç organlarında radon alımına bağlı radyasyon dozunun değerlendirilmesi;

Farklı yaşlar için içilen sudaki radyonüklid miktarıyla orantılı olarak artan miktarda doza maruz kalmış insanlarda, kemik büyümesi, böbrek hastalıkları, akciğer hastalığı, mide ve gastrointestinal kanser, akciğer kanseri, anemi, katarakt ve bozulmuş bağışıklık sistemi gibi ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Bu nedenle, sudaki radon, hem akciğerler hem de mide için bir radyasyon dozu kaynağıdır. Çeşitli

vücut organları için yıllık ortalama etkin doz (D_0) UNSCEAR (2000b) tarafından verilen faktörlere göre aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır (Kaur et al., 2019):

$$D_o (\mu\text{Svy}^{-1}) = W_T \times H(r_T)_{ing,inh} \quad (4.4)$$

Bu ifadedeki W_T doku ağırlık faktörüdür. Bu faktör akciğer, kolon ve mide için 0.12, yumurtalıklar için 0.20, karaciğer ve böbrek için 0.05 ve cilt için 0.01 olarak verilir (ICRP 2012). $H(r_T)$ ise ayrı ayrı eşdeğer içme ve soluma dozudur. Aşağıdaki gibi tanımlanırlar.

$$H(r_T)_{inh} = A_{Rn} \times R_{a/w} \times DCF \times F \times O_{In} \quad (4.5)$$

$$H(r_T)_{ing} = A_{Rn} \times EDC \times A_w \quad (4.6)$$

A_{Rn} (BqL^{-1}) radon konsantrasyonudur, EDC mide yoluyla alımda doz dönüşüm katsayısıdır ($D_f^i = 3,5 \text{ nSvBq}^{-1}$)'dir. A_w , yetişkinler tarafından günlük su alımıdır (60 Ly^{-1}), $R_{a/w}$, havadaki radonun sudaki radona oranı (10^{-4}), F denge değeri (0,4), O_{In} ise kişi başına ortalama kapalı alanda kalma süresi (7000 hy^{-1}) ve DCF, radon maruziyeti için doz dönüşüm faktörüdür ($D_f^s = 9 \text{ nSvm}^3\text{h}^{-1}\text{Bq}^{-1}$) (UNSCEAR, 1993).

Çalışılan bölgede sularali radonun (içilme yoluyla) alınmasından dolayı ve sudan ortamın havasına karışan radonun solunmasından dolayı vücudun farklı iç organlarında ortaya çıkan iç dozlar Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7.'den görüleceği üzere sular yoluyla havaya karışan radonlu havanın solunmasından kaynaklı akciğerlerdeki doz $10,71 \mu\text{Svy}^{-1}$ ortalama değere sahip olup $0,22 - 23,06 \mu\text{Svy}^{-1}$ değerleri arasında değişim göstermektedir. Radonlu suyun içilmesiyle mide ve bağırsakta alınan ortalama doz $0,89 \mu\text{Svy}^{-1}$ 'dir. Karaciğer, yumurtalıklar (gonatlar) ve deri tarafından radon karışmış suyun tüketilmesinden kaynaklı ortalama dozlar sırasıyla, $0,37 \mu\text{Svy}^{-1}$, $1,49 \mu\text{Svy}^{-1}$ ve $0,07 \mu\text{Svy}^{-1}$ 'dir. Radonun solunmasından kaynaklanan böbreklerdeki ortalama doz ($4,46 \mu\text{Svy}^{-1}$) mide, kolon, gonatlar, karaciğer ve deri tarafından alınan dozlarla karşılaştırıldığında daha

yüksek çıkmıştır. Tüm organlar tarafından alınan toplam doz ise $0,39 - 40,67 \mu\text{Svy}^{-1}$ değerleri arasında değişim göstermektedir ve WHO tarafından önerilen limit değerden ($100 \mu\text{Svy}^{-1}$) küçüktür.

Tablo 4.7. Çalışılan kaynak sularının içilerek tüketilmesi ve sulardan havaya karışan radonun solunması nedeniyle farklı vücut organlarının aldığı yıllık efektif dozlar (μSvy^{-1} birimlerinde)

İlçe	Örnek ID	Akciğerler	Mide	K. Bağırsak	Gonadlar	Karaciğer	Böbrekler	Deri	Toplam Doz
Orhaneli	O1	3,79	0,32	0,32	0,53	0,13	1,58	0,03	6,68
	O2	0,64	0,05	0,05	0,09	0,02	0,27	0,00	1,13
	O3	0,22	0,02	0,02	0,03	0,01	0,09	0,00	0,39
	O4	6,81	0,57	0,57	0,95	0,24	2,84	0,05	12,02
	O5	6,72	0,56	0,56	0,93	0,23	2,80	0,05	11,86
	O6	9,01	0,75	0,75	1,25	0,31	3,75	0,06	15,89
	O7	11,84	0,99	0,99	1,64	0,41	4,93	0,08	20,88
	O8	10,76	0,90	0,90	1,49	0,37	4,48	0,07	18,97
	O9	21,00	1,75	1,75	2,92	0,73	8,75	0,15	37,04
	O10	8,32	0,69	0,69	1,16	0,29	3,47	0,06	14,68
	O11	12,50	1,04	1,04	1,74	0,43	5,21	0,09	22,04
Keleş	K1	23,06	1,92	1,92	3,20	0,80	9,61	0,16	40,67
	K2	14,83	1,24	1,24	2,06	0,51	6,18	0,10	26,16
	K3	17,80	1,48	1,48	2,47	0,62	7,42	0,12	31,40
	K4	14,45	1,20	1,20	2,01	0,50	6,02	0,10	25,49
	K5	7,84	0,65	0,65	1,09	0,27	3,26	0,05	13,82
	Min.	23,06	1,92	1,92	3,20	0,80	9,61	0,16	40,67
	Mak.	0,22	0,02	0,02	0,03	0,01	0,09	0,00	0,39
	Ort.	10,71	0,89	0,89	1,49	0,37	4,46	0,07	18,90
	SD	6,59	0,55	0,55	0,92	0,23	2,75	0,05	11,62

4.2. Sularda Fiziksel Özelliklerin (pH, İletkenlik ve E_h ölçümleri) Analizi

Herhangi bir çözeltinin pH değeri çözeltideki H^+ iyonu ile OH^- iyonu derişimlerinin oranına bağlıdır ve H^+ iyonu konsantrasyonunun logaritmik değerinin negatifi alınarak bulunur. 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 sahiptir ve nötraldir. Elektrometrik ve kalorimetrik metotlar kullanılarak pH değerleri ölçülmektedir. Ayrıca sulu çözeltilerde gerçekleşen birçok kimyasal olayda önemli bir rol oynayan H^+ iyonlarının aktivitesiyle ilişkili olan redoks potansiyelleri (ORP) de ölçülebilir fiziksel özelliklerdendir ve volt (veya milivolt) birimiyle tanımlanırlar. Fakat ölçümde kesinlikle sisteme bilinen redoks potansiyeline sahip bir elektrodun bağlanması gerekir ki aksi taktirde elektrodun potansiyeli tek

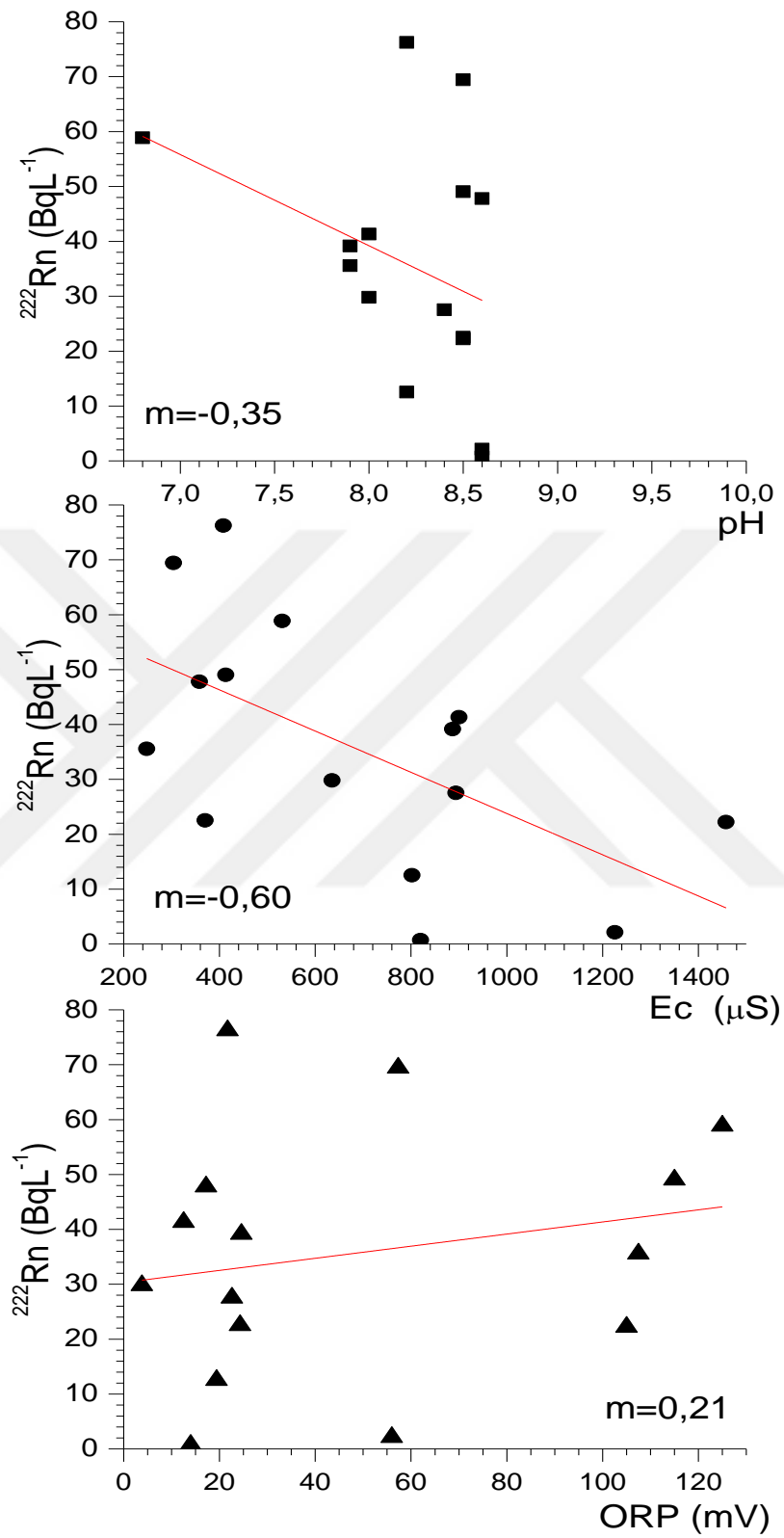
başına ölçülemez. ORP değeri referans alınan elektroda göre de E altında indis olarak belirtilir. Sularda ölçülen diğer bir özellik ise iletkenlik olup çözeltinin elektrik akımını geçirmeye karşı gösterdiği direnç veya akımı geçirme yeteneğidir ve birimi Siemens'tir. Sularda çözünen tuzların miktarının az olması nedeniyle ölçülmesi beklenen iletkenlik değeri oldukça küçük bir değere sahiptir ve bu nedenle iletkenlik 10^{-6} ile çarpılarak μS olarak ifade edilir (Saç, 1994; Güloğlu, 2007).

Bu tez çalışmasında toplanan su örneklerinin pH, E_h , EC ve sıcaklık ölçümlerinde dijital ölçüm cihazı (HI 8314 Membran pH ve Eh Meter) kullanılmıştır. Ölçümlerden önce cihaz pH' 4 ve 7 olan tampon çözeltileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Her ölçümden önce pH elektrodu saf suyla temizlenerek su örneğinin olduğu ölçüm kabına konulmuştur ve H^+ iyon konsantrasyonu ile meydana gelen potansiyel farkına göre ayarlanmış cihaz göstergesinden doğrudan suyun pH ve Eh değerleri ölçülmüştür.

Bursa'daki farklı tipteki suların fizikokimyasal ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırıldığı literatürde birkaç çalışma mevcuttur (Akkaya et al., 2016; Haklıdır, 2013; Karagülle et al., 2018; Pasvanoğlu, 2011; Pasvanoğlu et al., 2004; Boiero et al., 2010). Bu çalışmalarda örneklen suların jeofiziksel, fizikokimyasal özellikleri ölçülmüş ve farklı araştırmalarla ilişkileri ortaya konmuştur. Bu tez çalışmasında laboratuvar ortamına getirilen numunelerin pH, EC, ORP ve sıcaklık değerleri ölçülerek Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Sularda ölçülen fiziksel özellikler: pH, EC (μS), ORP (mV) ile ortalama ^{222}Rn (Bqm^{-3}) aktiviteleri

	P.H	ORP(mV)	EC(μS)	SICAKLIK	Rn (Bqm^{-3})
O1	8,2	19,4	802	25,4	12,518
O2	8,6	56	1226	26,1	2,120
O3	8,6	14,0	820	25,9	0,724
O4	8,5	24,3	370	26	22,530
O5	8,5	105	1458	25	22,234
O6	8	3,79	635	25,6	29,794
O7	7,9	24,6	887	25,5	39,151
O8	7,9	107,5	248	25,9	35,572
O9	8,5	57,3	304	26	69,442
O10	8,4	22,6	894	26	27,520
O11	8	12,5	900	25,7	41,323
K1	8,2	21,7	408	25,6	76,242
K2	8,5	115	413	25,8	49,045
K3	6,8	125	531	25,6	58,862
K4	8,6	17,2	358	25,9	47,797



Şekil 4.2. Suların ölçülen fiziksel özellikleri ile ^{222}Rn aktivitesi arasındaki korelasyon.

Örnekleme yapılan istasyonlardan alınan kaynak suyu numunelerine ait pH değerleri 6,8-8,6 arasında değişim göstermektedir. İletkenlik değişimleri ise 358-1458 mS değerleri aralığındadır. ORP değerleri ise 3,79-125 mV arasında değişmektedir. Suların ölçülen fiziksel özellikleri ve yine bu çalışmada ölçülmüş ^{222}Rn aktivite değerleri arasındaki ilişkinin çıkarılması için aşağıda verilen Şekil 4.2.'de çizilmiştir. ^{222}Rn konsantrasyonları ile pH ve EC değerleri arasında negatif bir korelasyon ortaya çıkmıştır. ORP ve ^{222}Rn konsantrasyonları arasında ise pozitif bir ilişki ortaya (Rn için $m=0.21$) çıkmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kısaca özetlenecek olursa;

1. Toplanan kaynak suyu örneklerinde ölçülen radon konsantrasyonları 0.704-87,48 BqL⁻¹ aralığında olup ortalama radon aktivitesi 35,05 BqL⁻¹ bulunmuştur. Bu radon seviyeleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen 100 BqL⁻¹ limit değerinin altındadır. Diğer taraftan çalışmadaki 14 yerde Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Acentesi'nin (USEPA) önerdiği sınır değeri (11 BqL⁻¹) aşılmıştır.
2. Radonun su tüketimi ile vücuda alınmasından kaynaklanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 61 $\mu\text{Svy-1}$ olarak bulunmuştur ve bu değer UNSCEAR tarafından verilen 100 $\mu\text{Svy-1}$ yıllık etkin doz değerinden daha düşüktür. Bu sınır değerinin özellikle O9, K1 ve K3 örneklerinde önemli derecede aşıldığı da görülmüştür.
3. Çalışmada ölçülen radon seviyeleri ve hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerleri Türkiye'deki ve dünyadaki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışılan tüm su örnekleri radyolojik olarak güvenlidir denilebilir, çünkü hiçbiri 100 BqL⁻¹ seviyesini aşmamaktadır. Ancak Bursa ili jeolojik olarak aktif bir bölgede olduğu için radyasyondan korunma amacıyla içme suyu kaynaklarında radyoaktivitenin sürekli olarak takip edilmesi gerekliliği de gözden kaçırılmaması gereken bir noktadır.

KAYNAKLAR

- Abdallah,S.M.,Habib,R.R.,Nuwayhida,R.Y.,Chatilac, M. and Katuld, G., 2007.Radon measurements in well and springwater in Lebanon. Radiation Measurements. 42, 298 – 303.
- Akkaya, Gizem; Kahraman, Aysegul; Koray, Abdullah; et al., Variation in the radon concentrations and outdoor gamma radiation levels in relation to different geological formations in the thermal regions of Bursa, Turkey, JOURNAL OF RADIOLOGICAL PROTECTION, 36, 3, 490-503, 2016.
- Akkurt, A. 2006. Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 57 s.
- Al- masri, M.S., Blackburn, R., 1999, “Radon-222 and related activities in surface waters of the English Lake”, District. Appl. Radiat. Isot. 50, pp. 1137-1143.
- Al-Bataina, B. A. et al., 1997, Radon measurements in different types of natural waters in Jordan, Conference: 18th International Conference on Nuclear Tracks in Solids Location: CAIRO, EGYPT Date: SEP 01-05, 1996, RADIATION MEASUREMENTS Volume: 28 Issue: 1-6 Special Issue: SI Pages: 591-594 Published: 1997
- Al-bataina, B.A., İsmail, A.M., Kullab, M.K., Abmurad, K.M., Mustafa, H.,1997, “Radon measurements in different types of natural waters in Jordan”, Radiat.Meas. 28 (1-6), pp. 591-594.i.
- Arya, A. P. 1983a. Çekirdek fiziğinin esasları (Çeviri: Y. Şahin). Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü. Sayı 3. 28-30s., Erzurum.
- Arya, A. P. 1983b. Çekirdek fiziğinin esasları (Çeviri: Y. Şahin). Atatürk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü. Sayı 3. 28-30s., Erzurum.
- Barış, C. 2006, “İzmir-Çeşme Yeraltı-Termal Suları Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, s. 70.
- Baykara, O. and Dogru, M.,2006. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey). Radiation Measurements. 41, 362–367.

- Boiero, Daniele; Godio, Alberto; Naldi, Mario; et al., Geophysical investigation of a mineral groundwater resource in Turkey, *HYDROGEOLOGY JOURNAL*, 18, 5, 1219-1233, 2010.
- Brenner D et al. (2003) Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(24):13761–13766.
- Çevik, U. N. Damla, G. Karahan, N. Çelebi, A.I. Kobya. 2006. “Natural Radioactivity In Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Turkey”, *Radiation Protection Dosimetry* 118 (1): 88 – 92.
- Cosma, C., Moldovan, M., Dicu, T. and Kovacs, T., 2008. Radon in water from Transylvania (Romania). *Radiation Measurements*. 43, 1423 – 1428.
- Damla N. vd. 2006. Gross A And B Activities In Tap Waters İn Eastern Black Sea Region Of Turkey, *Chemosphere*, Volume 62, Issue 6, Pages 957-960.
- Damla, N., Çevik, U., Karahan, G., Tıraşoğlu, E., Kobya, A.Ğ., Çelebi, N., 2005, “Doğu Karadeniz Bölgesi İçme Sularında ^{222}Rn Analizi”, *Ulusal Su Günleri*, Trabzon.
- Davutoğlu, H. 2008. Radon gazı ölçme metotları. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 22s. Kütahya.
- Doğan, M. et al., 2018, Investigation of radon concentrations in some reservoirs, spring and tap waters in İstanbul, Turkey, *JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY*, 315, 3, 653-660.
- Duran Uzun S., Küçükömeroğlu, B., Damla, N., Taşkın, H., Çelik, N., Çevik, U., Ersoy, H. 2017. Radioactivity measurements and risk assessments of spa waters in some areas in Turkey, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, vol. 53, no. 1, 91–103.
- Durrige Company. 1997. RAD7, RAD H₂O accessory owner’s manual. <http://www.durrige.com/documentation/RADH2OManual.pdf>. Erişim Tar.: 01.05.2019.
- Enge, H.A. 1966, “Introduction to Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Company”, Inc. USA. s. 582.
- Erdoğan, M. 2013. “Konya İçme Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini Makalesi” Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü.
- Erdoğdu M. vd. (2016), Spatial distribution of ^{222}Rn concentrations and dose estimations in various waters, *HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT* 2016, VOL. 22, NO. 4, 927–940.

- 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: 354-361.
- Fonollosa, E. et al., 2016, Radon in spring waters in the south of Catalonia. *J. Environ. Radioact.*, 151, 275–281.
- Güloğlu, A. 2007. "Çeşme Bölgesinde Aktif Fay Hatlarındaki Kaplıçalarda Radon Anomalileri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi", Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 12-23, s.61.
- Haklıdır, Fusun Tut, Hydrogeochemical evaluation of thermal, mineral and cold waters between Bursa city and Mount Uludag in the South Marmara region of Turkey, *GEO THERMICS*, 48, 132-145, 2013.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A. and Greaves, E.D., 2000. Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*. 47, 127-133.
- Karagülle, Mufit Zeki; Karagülle, Mine; Kilic, Songul; et al. , In vitro evaluation of natural thermal mineral waters in human keratinocyte cells: a preliminary study, *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOMETEOROLOGY*, 62, 9, 1657-1661, 2018.
- Karahan, G. and Bayülken, 2000, Assessment of gamma dose rates around İstanbul (Turkey), *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 213-221.
- Karahan, G., Ozturk, N. and Bayulken, A. 2000. Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul, Turkey. *Water Res.* 34, 4367–4370.
- Kaur, M., Kumar A., Mehra R., 2019, Age-dependent ingestion and inhalation doses due to intake of uranium and radon in water samples of Shiwalik Himalayas of Jammu and Kashmir, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191-224.
- Khan, A. R. et al., 2019, Geo-spatial analysis of radon in spring and well water using kriging interpolation method, *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY-WATER SUPPLY*, 19, 1, 222-235 .
- Khan, F. et al., 2018, Estimation of radon concentrations and associated radon doses by using active technique in drinking water sources of Abbottabad, KPK, Pakistan, *INDOOR AND BUILT ENVIRONMENT*, 27, 5, 682-689.
- Khattak, N. U. et al., 2014, Radon concentration in drinking water sources of the region adjacent to a tectonically active Karak Thrust, southern Kohat Plateau, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, *JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY*, 302, 1, 315-329.

- Koray, A. et al., 2014, Measurements of Radon Concentrations in Waters And Soil Gas of Zonguldak, Turkey, RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, 162, 3 , 375-381.
- Kozłowska, B., Walencik, A., Dorda, J., 2008, Natural radioactivity and dose estimation in underground water from the Sudety Mountains in Poland, RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, 128, 3, 331-335.
- Krane, K. S. 2001a,b. Nükleer fizik 1. cilt (Çeviri Editörü: Başar Şarer). Palme Yayıncılık. No: 173. 161-162 s.,192s, 204-206 s., Ankara.
- Kullab, M., 2005. Assessment of radon-222 concentrations in buildings, building materials, water and soil in Jordan. Applied Radiation and Isotopes. 62, 765–773.
- Kumar, A. et al., 2017, Radon and uranium concentrations in drinking water sources along the fault line passing through Reasi district, lesser Himalayas of Jammu and Kashmir State, India, HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT, 23, 7, 1668-1682.
- Lebed, O. O. et al., 2018, Radon in the spring water of the Zdolbuniv Region, Ukraine, UKRAINIAN JOURNAL OF ECOLOGY, 8, 3, 83-91.
- Martins, L et al., 2019, A New Framework for the Management and Radiological Protection of Groundwater Resources: The Implementation of a Portuguese Action Plan for Radon in Drinking Water and Impacts on Human Health, WATER, 11, 4 , 760.
- Moldovan, M. et al., 2014, Radon and Radium Concentration in Water From North-West Of Romania And The Estimated Doses, Conference: 2nd International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research RAD and The 2nd East European Radon Symposium (SEERAS) Location: Nis, SERBIA Date: MAY 27-30, 2014, RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, 162 , 1-2, 96-100.
- Nair RR et al., 2009, Background radiation and cancer incidence in Kerala, India—Karanagappally cohort study. *Health Physics*, 96(1):55–66.
- Nikolopoulos, D. et al., 2010, “Investigation of The Exposure to Radon and Progeny in The Thermal Spas of Loutraki, Results From Measurements and Modelling”, Science of The Total Environment, Attica-Greece, 408- 495-504.
- Nita, D. C. et al., 2013, Radon Concentrations in Water and Indoor Air in North-West Regions of Romania, Conference: 1st East European Radon Symposium (FERAS) Location: Cluj Napoca, ROMANIA Date: SEP 02-05, 2012, ROMANIAN JOURNAL OF PHYSICS, 58, S, S196-S201.

- Öner, F Yalim, H. A. 2009. Akkurt, A, adn Orbay, M., “The measurement of radon concentration in drink water and the Yeşilirmak River water in the area of Amasya”, Türkiye 133 (4): 223-226.
- Oner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A. and Orbay, M., 2009. The measurements of radon concentrations in drinking water and the Yesilirmak river water in the area of Amasya in Turkey. Radiation Protection Dosimetry.133, 223–226.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A. H., Karahan, G. and Çelebi, N. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in south-east parts of Eskisehir, Turkey. Applied Radiation and Isotopes. 63, 267–275 (2005).
- Özdemir, F.B. 2006a., “Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. s. 93.
- Pasvanoglu, S., Hydrogeochemical and isotopic investigation of the Bursa-Oylat thermal waters, Turkey, ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES, 64, 4, 1157-1167, 2011.
- Pasvanoglu, S; Canik, B; Rosen, MR, Hydrogeology and possible effects of the Mw 7.4 Marmara Earthquake (17 August 1999) on the spring waters in the Orhangazi-Bursa Area, Turkey, JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA, 63, 3, 313-322, 2004.
- Prasad, M. et al., 2018, A comprehensive study of radon levels and associated radiation doses in Himalayan groundwater, ACTA GEOPHYSICA, 66, 5, 1223-1231.
- Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D., Planinic, J. 2005., Radon in The Spas of Croatia. Journal of Environmental Radioactivity, 83: 191-198.
- Renteria-Villalobos, M. et al., 2017, Hydrochemistry and Rn-222 Concentrations in Spring Waters in the Arid Zone El Granero, Chihuahua, Mexico, GEOSCIENCES, 7, 1, UNSP 12 .
- Saç, M.M., 1994, İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite ve Veriler Arasında Korelasyon Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 64s.
- Seligman, H., 1990, “Isotopes in everyday life”, International Atomic Energy Agency, PI,A6E.
- Sobakin, P. I., 2018, Radon in Surface And Ground Waters Of The Elkon Uranium Region in Southern Yakutiya, ATOMIC ENERGY, 125, 2 , 133-138.
- Somlai, K. et al., 2007, Rn-222 concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose, RADIATION MEASUREMENTS, 42, 3, 491-495.

- Song, G., Zhang, B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bennett, J., Lee, S.C. 1994., Indoor Radon Levels In Selected Hot Spring Hotels in Guangdong, China. *Science of The Total Environment*, 339: 63-70.
- Tabar E, Kumru MN, Saç MM, et al. 2013. Radiological and chemical monitoring of Dikili geothermal waters, western Turkey. *Radiat Phys Chem.* 91, 89–87.
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. <http://www.taek.gov.tr>, 2019.
- Tao Z (2000) Cancer mortality in the high background radiation areas of Yangjiang, China during the period between 1979 and 1995. *Journal of Radiation Research (Tokyo)*, 41(Suppl.):31–41.
- Tarım, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic N., Yalçın, S., Kaynak, G. and Gundogdu O. Evaluation of radon concentration in well and tap waters in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry.* 150, 1-6 (2011).
- UNSCEAR, Sources, Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York, 2000.
- USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides. 1991 EPA/ 570, 9-91, 700.
- Villalba, L., L.C. Sujo, M.E.M. Cabrera, A.C. Jimenez, M.R. Villalobos, C.J.D. Mendoza, L.A.J. Tenorio, I.D. 2005. “Rangel, E.F.H. Peraza, Radon Concentrations in Ground and Drinking Water in the State of Chihuahua, Mexico”, *Journal of Environmental Radioactivity* 88: 139-151.
- Vogiannis, E., Nikolopoulos, D., Louizi B A., Halvadakis, C.P. 2004., “Radon Variations During Treatment in Thermal Spas of Lesbos Island (Greece)”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 75: 159-170.
- WHO (World Health Organization), 2009. *Who Handbook On Indoor Radon, A Public Health Perspective*, ISBN 978 92 4 154767 3, Geneva.
- Xinwei, L., 2006. Analysis of radon concentration in drinking water in Baoji (China) and the associated health effects. *Radiation Protection Dosimetry.* 121, 452–455.
- Yakut H., Tabar E., Zenginler Z., Demirci N., Ertugral F., "Measurement of (RN)-R-222 concentration in drinking water in Sakarya, Turkey", *RADIATION PROTECTION DOSIMETRY*, Vol. 157, 3, pp. 397-406, ISSN:0144-8420, DOI: 10.1093/rpd/nct157, DEC, 2013.
- Yalçın, S., Gurler, O., Tarım, U.A., Incircı, F., Kaynak, G. and Gundogdu O. Measurements of radon concentration in drinking water samples from Kastamonu (Turkey). *Isotopes in Environmental and Health Studies.* 47, 438-445 (2011).

- Yalim, H.A., A. Sandıkçıoğlu, R. Ünal, Ö. Orhun, 2007. “Measurements of Radon Concentrations in Well Waters Near the Akşehir Fault Zone in Afyonkarahisar”, Turkey. *Radiation Measurements* 42, 505–508.
- Yalim, H.A., Akkurt, I., Ozdemir, F.B., Unal, R., Sandıkçıoğlu, A. and Akkurt, A., 2007. The measurement of radon and Radium concentrations in well water in the Afyonkarahisar area of Turkey. *Indoor and Built Environment*.16, 77-81.
- Yarar, Y., Gunaydin, T. and Kam, E. A radon survey in some regions of Turkey. *International Congress Series*. 1276, 385–386 (2000).
- Yarar, Y., T. Günaydı, N. Çelebi, 2006. Determination of Radon Concentrations of the Dikili Geothermal Area in Western Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 118(1): 78-81.
- Yiğitoğlu, I., Öner, F Yalim, H. A., Akkurt, A., Okur, A. And Ozkan, A. 2010. “Radon onseration in water in the region of Tokat city in Turkey Radiat”, *Prot. Dosim.* 141 (2):358 – 362.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Özer, 13.09.1989'da Kayseri'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kayseride'de tamamladı. Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı ve çalışmalarına devam etmektedir.

