



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

**İÇ ANADOLU’NUN GRANİTÇE ZENGİN  
BÖLGELERİNDEKİ KUYU SULARINDA  
RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONUNUN  
BELİRLENMESİ VE RADYASYON DOZ  
TAHMİNİ**

**İsmail GENÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK Anabilim Dalı**

**Eylül-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail GENÇ tarafından hazırlanan “İç Anadolu’nun Granitçe Zengin Bölgelerindeki Kuyu Sularında Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi ve Radyasyon Doz Tahmini” adlı tez çalışması 02/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Veysel ZEDEF

#### Danışman

Prof. DPr. Mehmet ERDOĞAN

#### Üye

Prof. Dr. Ülfet ATAV

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



İsmail GENÇ

01.10.2019

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****İÇ ANADOLU'NUN GRANİTÇE ZENGİN BÖLGELERİNDEKİ KUYU  
SULARINDA RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİ  
VE RADYASYON DOZ TAHMİNİ****İsmail GENÇ****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı****Danışman: Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN****2019, 44 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN****Prof. Dr. Veysel ZEDEF****Prof. Dr. Ülfet ATAV**

Aksaray ili bölgesi, İç Anadolu'da bulunan granitoyitlerin ve metamorfik kayaçların yoğunlukta olduğu bir bölgedir. Bu çalışmada, jeolojik değişimlere bağlı granitik ve metamorfik yapıdaki kayaçların bulunduğu bölgedeki farklı derinliklere sahip 13 kuyudan alınan sulara radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) aktivite konsantrasyonu AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü kullanılarak ölçülmüştür. Kuyu suları için ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri  $0.83 \text{ Bq l}^{-1}$  ila  $171.67 \text{ Bq l}^{-1}$  aralıklarında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre bu suların sindirim yoluyla tüketimine ve solunmasına bağlı olarak radon kaynaklı alınan radyasyonun yıllık etkin doz tahminleri hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar ulusal ve uluslararası örgütlerin tavsiye ettiği sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre sadece bir kuyudan alınan örnek hariç diğer su örnekleri Dünya Sağlık Örgütü tarafından tavsiye edilen limit değerlerin altında yer almaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Aksaray ili, granitçe zengin bölge, İç Anadolu Bölgesi, kuyu suyu, , radon, yıllık etkin doz

**ABSTRACT****MS THESIS****RADIATION DOSE ESTIMATION AND DETERMINATION OF RADON  
ACTIVITY CONCENTRATION IN WELL WATER IN THE GRANITE-RICH  
REGIONS OF CENTRAL ANATOLIA****İsmail GENÇ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF PHYSICS****Advisor: Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN****2019, 44 Pages****Jury  
Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN  
Prof. Dr. Veysel ZEDEF  
Prof. Dr. Ülfet ATAV**

Aksaray Province is located in Central Anatolia and granitoidic – metamorphic rocks in the region, radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) activity concentration for water samples taken from 13 wells having different depths was measured by using AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detector in the region having granitic and metamorphic rocks due to geological changes. The radon activity concentration values were found in the range of 0.83 to 171.67 Bq  $\text{l}^{-1}$ . According to the results, the annual effective doses from the consumption and inhalation of these waters were estimated due to radon. In addition, the results were compared with the limit values recommended by national and international organizations. According to the results, water samples except for the sample taken from only one well are below the World Health Organization recommended limits.

**Keywords:** Aksaray province, Central Anatolia, granite rich region, well water, radon, annual effective dose

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince tecrübeleri ile daima yanımda olan ve birlikte çalışmaktan onur duyduğum Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a çok teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İsmail GENÇ  
KONYA-2019



## İÇİNDEKİLER

|                                                                      |             |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                    | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                 | <b>ii</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                   | <b>iii</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                             | <b>iv</b>   |
| <b>ÇİZELGELER LİSTESİ .....</b>                                      | <b>vi</b>   |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>                                        | <b>vii</b>  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>                                 | <b>viii</b> |
| <b>1.GİRİŞ .....</b>                                                 | <b>1</b>    |
| <b>2.RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON BİRİMLERİ .....</b>                  | <b>3</b>    |
| 2.1.Radyasyon Kaynakları.....                                        | 3           |
| 2.1.1.Doğal Radyasyon Kaynakları .....                               | 3           |
| 2.1.2.Yapay Radyasyon Kaynakları .....                               | 4           |
| 2.2. Radyasyon Birimleri .....                                       | 5           |
| 2.2.1. Aktivite .....                                                | 5           |
| 2.2.2. Işınlama.....                                                 | 5           |
| 2.2.3. Soğrulmuş Doz .....                                           | 5           |
| 2.2.4. Doz Eşdeğeri.....                                             | 6           |
| 2.2.5. Etkin Doz .....                                               | 6           |
| 2.3. Radon .....                                                     | 7           |
| <b>3. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                   | <b>9</b>    |
| <b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                    | <b>12</b>   |
| 4.1 Materyal .....                                                   | 12          |
| 4.1.1. Su Numunelerinin Alındığı Bölge ve Jeolojik Yapısı .....      | 12          |
| 4.1.2. AlphaGUARD Radon Detektörü ve Yapısı.....                     | 15          |
| 4.2. Yöntem.....                                                     | 19          |
| 4.2.1. Su Numunelerinin Alınması .....                               | 19          |
| 4.2.2. Ölçüm Düzenineğinin Hazırlanması ve Numunelerin Analizi ..... | 20          |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3. Sudaki Radon Aktivite Konsantrasyonu ve Standart Hata Hesaplamaları ..... | 21        |
| 4.4. Suların Tüketimine Bağlı Radon Kaynaklı Etkin Doz Tahmini .....           | 23        |
| <b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>                                | <b>25</b> |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                           | <b>40</b> |
| 6.1 Sonuçlar .....                                                             | 40        |
| 6.2 Öneriler .....                                                             | 41        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                         | <b>42</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                          | <b>44</b> |



## ÇİZELGELER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge-4.1: Kuyu suyu örneklerinin alındığı bölgelere ait konumlar ve derinlikler__                                                                                                            | 14 |
| Çizelge-5.1: Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                  | 25 |
| Çizelge-5.2: Ortaköy ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                   | 26 |
| Çizelge-5.3: Sarıyahşi ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                 | 27 |
| Çizelge-5.4: Sarıyahşi ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                 | 28 |
| Çizelge-5.5: Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                  | 29 |
| Çizelge-5.6: Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                  | 30 |
| Çizelge-5.7:Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                   | 31 |
| Çizelge-5.8: Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                  | 32 |
| Çizelge-5.9: Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                  | 33 |
| Çizelge-5.10: Koyak Köyündeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                      | 34 |
| Çizelge-5.11: Yanyurt Köyündeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                    | 35 |
| Çizelge-5.12: Boruca Köyündeki kuyu suyuna ait veriler _____                                                                                                                                    | 36 |
| Çizelge-5.13:Çekiçler Köyündeki kuyu suyuna ait veriler_____                                                                                                                                    | 37 |
| Çizelge-5.14: Ölçüm yapılan tüm kuyu suyu numuleri için kuyu kodları, derinlikleri, tüketime bağlı etkin dozlar, pH değerleri, elektriksel iletkenlik ve radon aktivite konsantrasyonları _____ | 38 |
| Çizelge-6.1: Bazı ülkelerdeki kuyu sularına ait radon aktivite konsantrasyonu sonuçları _____                                                                                                   | 40 |
| Çizelge-6.2: Türkiye'nin bazı illerine ait kuyu sularındaki radon aktivite konsantrasyonu sonuçları _____                                                                                       | 41 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil-2.1: Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan mSv cinsinden yıllık etkin doz                         | 4  |
| Şekil-2.2: Doğal radyasyon kaynakları                                                                                   | 4  |
| Şekil-2.3: Radon ve toronun bozunum ürünleri                                                                            | 7  |
| Şekil-4.1: Orta Anadolu Bölgesi Aksaray İli Metamorfik Kayaç Haritası                                                   | 14 |
| Şekil-4.2: Numune Alım Noktaları                                                                                        | 15 |
| Şekil-4.3: AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü                                                                              | 16 |
| Şekil-4.4: AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları                                                              | 17 |
| Şekil-4.5: AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları                                                            | 18 |
| Şekil-4.6: AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları                                                             | 18 |
| Şekil-4.7: AlphaGUARD cihazının yandan görünüşü ve ebatları                                                             | 19 |
| Şekil-4.8: Ölçümlerin Yapıldığı Bölgenin Haritası                                                                       | 20 |
| Şekil-4.9: Su İçin Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi                                                                       | 21 |
| Şekil-4.10: Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği                                                              | 22 |
| Şekil-5.1: İç Anadoludaki granitçe zengin bölgelerde yer alan kuyulardan alınan suları radon aktivite konsantrasyonları | 39 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| Bq :               | Becquerel          |
| Ci :               | Curie              |
| <sup>0</sup> C :   | Santigrat derece   |
| k :                | Kilo               |
| l :                | Litre              |
| m :                | Metre              |
| MeV :              | Mega elektron volt |
| ml :               | Mililitre          |
| mSv :              | Mili sievert       |
| n :                | Nötron             |
| nSv :              | Nano sievert       |
| pCi :              | Pico curie         |
| Rn :               | Radon              |
| R :                | Röntgen            |
| sa :               | Saat               |
| Sv :               | Sievert            |
| t <sub>1/2</sub> : | Yarı-ömür          |
| V :                | Hacim              |
| y <sup>-1</sup> :  | 1/yıl              |
| τ :                | Ortalama-ömür      |
| α :                | Alfa               |
| λ :                | Bozunma sabiti     |
| μ :                | Mikro              |

### Kısaltmalar

|           |                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|
| DC :      | Direct Current                                                         |
| DSP :     | Digital Signal Processing                                              |
| ICRP :    | International Commission on Radiological Protection                    |
| rH :      | Relative Humidity                                                      |
| TAEK :    | Türkiye Atom Enerjisi Kurumu                                           |
| UNSCEAR : | United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation |
| USEPA :   | U. S. Environmental Protection Agency                                  |

## 1.GİRİŞ

Su, canlıların yapısını oluşturan ve hayatını sürdürebilmesini sağlayan en temel maddedir. Bu nedenle su canlılar ve insanlar tarafından sağlık riski taşımayacak bir şekilde kullanılmalıdır. Sudaki kirlenme, suyun sağlık riskini etkileyecek şekilde kimyasal, fiziksel, biyolojik ve radyoaktif madde içermesi anlamına gelmektedir. İnsanlar ve diğer tüm canlılar yaşamları boyunca çevrelerinde bulunan kaynaklardan doğal olarak radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyon kaynaklarının yaklaşık %80'lik kısmını doğal kaynaklar, %20 lik kısmını ise insan yapımı yapay kaynaklar oluşturmaktadır.<sup>222</sup>Rn

İnsanlar doğal radyasyona, karasal ve kozmik kaynaklı dış radyasyon ve vücudumuzdaki radyoaktif elementlerden oluşan iç radyasyon aracılığı ile maruz kalırken, tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, radyoterapi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti, nükleer güç santralleri ve tüketici ürünleri de yapay radyasyona sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2008).

Doğal radyasyon kaynaklarının en önemli kısmını radon (<sup>222</sup>Rn) ve onun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2008). Radyoaktif bir soy gaz olan radonun yarı ömrü 3.82 gün olup yerkürede bulunan uranyumun (<sup>238</sup>U) ve doğal bozunum zincirinde yer alan radyumun (<sup>226</sup>Ra) radyoaktif dönüşümü sonucunda oluşmaktadır. Bu dönüşümde radyum bir alfa parçacık tipi radyasyon yayarak radona dönüşür. Radonun radyoaktif ürün izotopları Po-214 (Polonyum) ve Po-218 (Polonyum) sırasıyla 7.69 MeV ve 6 MeV enerjili alfa parçacıkları yayınlayarak bozunuma uğrarlar. Bu izotoplar radon maruziyetinden dolayı insanlar tarafından alınan toplam radyasyon dozunun yaklaşık %90'ından fazlasını oluşturmaktadır (Gillmore ve ark., 2001).

Suda çözünme özelliğine sahip olan radon toprakta, havada ve çeşitli sularda farklı seviyelerde bulunabilir. Radonun yoğunluğu 0 °C' de 9.73 g l<sup>-1</sup>'dir. Sudaki çözünürlüğü 0 °C' de 510 cm<sup>3</sup> l<sup>-1</sup> olan radonun çözünürlüğü sıcaklık, tuzluluk ve suyun pH değeri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Erees ve ark., 2007; Schubert ve ark., 2012). Bu nedenle insanlar için vazgeçilmez olan suyun radyoaktivite açısından da temiz ve güvenilir olması gerekmektedir. İnsanlar su ihtiyaçlarını yer altı ve yüzey sularından sağlamaktadırlar. Yer altı sularındaki radon aktivite seviyelerinin

yüzey sularına göre daha yüksek olduğu bilim adamları tarafından tespit edilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Yeraltı suyundaki radon seviyesi, suyun yeraltındaki izlediği yola, bu yolda temas ettiği kaya ve toprak türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yerküredeki doğal radyoaktif bozunum zincirinin bir üyesi olan radonun konsantrasyonu yerküredeki kayaç ve topraklarda bulunan radyoaktif elementlerin miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Radon aktivite konsantrasyonundaki bu değişim yerkürenin jeolojik yapısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla yeraltı sularının yerküredeki hareketi esnasında temas ettiği kaya ve toprakların jeolojik yapısına, özellikle granitik kayaçlar ve tortul şistlerin bağl olarak daha yüksek uranyum ve toryum içermesine bağlı olarak suda çözünmüş radonun aktivite seviyesi farklılık göstermektedir (UNSCEAR, 2000).

Suda çözünmüş radonun içme yoluyla vücuda alınması mide ve tüm vücut için bir radyasyon maruziyetine sebep olabilir (Khattak ve ark., 2011). Bunun yanında ev içi kullanımdaki suların özellikle kuyu suyu gibi yeraltı sularının yüksek radon seviyesine sahip olması radonun sudan havaya geçişinden dolayı kapalı ortam radon maruziyetine katkı yapmaktadır (Kearfott, 1989). Kapalı ortamdaki radon ve bozunum ürünlerinin solunum yoluyla vücuda alınması özellikle akciğer bronşal dokularında iç ışınlamaya sebep olmaktadır ve bu durum da akciğer kanserine sebep olabilmektedir. Dünyadaki akciğer kanserlerinin sebepleri arasında radon önemli bir yer tutmaktadır (BEIR, 1999; UNSCEAR, 2000). Bu nedenle içme sularında özellikle de kuyu sularında radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, İç Anadolu bölgesi'nde yer alan ve Orta Anadolu Masifi olarak bilinen Aksaray İli'nde granitik ve metamorfik kayaçların yoğun olduğu bölgelerde yer alan 13 kuyu suyu örneğinin radon aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların Aksaray bölgesindeki jeolojik yapının yer altı su kaynaklarına etkilerinin tespit edilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma ile kuyu sularının tüketilmesine bağlı olarak insanların aldığı doğal radyasyon dozları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası sağlık kuruluşlarının tavsiye ettiği sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kuyu sularının tüketilmesine bağlı olarak radon ve doğal radyoaktivite ilişkisi tespit edilmiştir.

## 2.RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON BİRİMLERİ

İlk kez 1896'da uranyum atomunun, gazları iyonize ederek fotoğraf plaklarının karartılması yoluyla keşfedilen doğal radyoaktivite, kararsız bir çekirdeğin kararlı hale gelebilmek için elektromanyetik dalga ya da parçacık türünden radyasyon yayınlarak başka bir çekirdeğe dönüşmesidir.

Radyoaktif parçalanma veya bozunma kendiliğinden olan rastgele bir süreç olup Denklem (2.1) ile verilen bozunma kanununa uymaktadır.

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de verilen  $N_t$  ifadesi  $t$  zaman sonundaki radyoaktif atom sayısını,  $N_0$  ise başlangıçtaki atom sayısını,  $e^{-\lambda t}$  exponansiyel azalım ifadesindeki  $\lambda$  radyoaktif çekirdeğin bozunma olasılığını ve  $t$  ise zamanı göstermektedir.

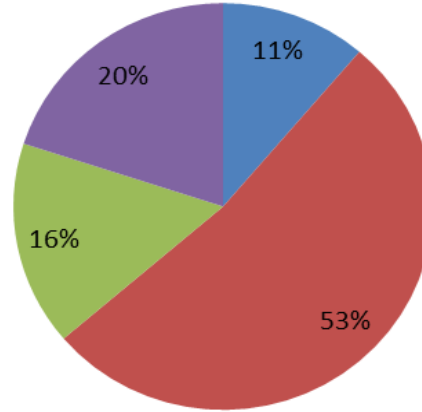
### 2.1.Radyasyon Kaynakları

#### 2.1.1.Doğal Radyasyon Kaynakları

Canlılar dünyanın oluşumundan itibaren doğal kaynaklardan iyonize radyasyona maruz kalmaktadır. Bu maruziyet dış ve iç radyasyon olarak iki başlık altında ele alındığında, dış radyasyon karasal ve kozmik kaynaklı olup, iç radyasyon ise vücudumuzdaki radyoaktif elementlerden kaynaklanmaktadır. Dış radyasyon maruziyetinin ana bileşenlerini yerkürede bulunan radyoaktif elementler ve atmosfere giren yüksek enerjili kozmik parçacıklar oluşturmaktadır.

Yerküredeki radyoaktif element kaynaklı karasal radyasyon jeolojik yapıyı oluşturan volkanik, granitik, killi şist ve fosfat içeren kayaç ve topraklardan kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyon maruziyetinin en önemli kaynağı yerkürede bulunan uranyum ( $^{238}\text{U}$ ) ve doğal radyoaktif bozunum zincirinde yer alan radon ( $^{222}\text{Rn}$ )'dur. Radon kaynaklı alınan yıllık etkin doz 1,26 mSv'dir. Dış kaynaklı karasal radyasyondan alınan yıllık toplam etkin doz ise 0,48 mSv'dir. Atmosfere giren yüksek enerjili kozmik ışınlar sebebiyle maruz kalınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv'dir. İnsan vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden kaynaklanan iç ışınlama sebebiyle maruz kalınan dozun dünya ortalaması 0,29 mSv

kadardır (UNSCEAR, 2000). Doğal kaynaklardan alınan bu yıllık etkin doz değerleri Şekil 2.1’de, radyasyon kaynaklarının oransal değeri ise Şekil 2.2’de verilmiştir.



### 2.1.2.Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapılan araştırmalara ve elde edilen verilere göre insan vücudunun maruz kaldığı radyasyonun ortalama %20’ si insan yapımı kaynaklardan oluşmaktadır. Bu kaynakları; tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, radyoterapi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti, nükleer güç santralleri ve tüketici ürünleri kapsamaktadır (TAEK, 2019).

## 2.2. Radyasyon Birimleri

### 2.2.1. Aktivite

Bir radyoaktif çekirdekte oluşan aktivite birim zaman başına bozunmaya uğrayan atom sayısını gösterir ve Denklem (2.2) ile ifade edilmektedir.

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

Radyoaktivitenin özel birimi Curie (Ci) olup, SI birim sisteminde Becquerel (Bq)'dir ve saniye başına bir parçalanma yapan radyoaktif çekirdek miktarı olarak adlandırılır. Curie (Ci) ile Becquerel arasındaki ilişki Denklem (2.3) ile ifade edilmektedir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (1 \text{ Bq} = 0,27 \times 10^{-10} \text{ Ci}) \quad (2.3)$$

Spesifik Aktivite ise herhangi bir radyoaktif maddenin Ci/gr olarak ölçülen aktivite yoğunluğudur. Yani belirli bir hacimde bulunan radyoaktivitenin bu hacmin tümüne oranıdır. Örneğin, İyot (I-131) bulunan bir tüpte kararlı bir izotop olan İyot-127'de bulunabilir. Radyoaktif maddenin kararlı izotoplarının aynı ortamda bulunması veya bulunmaması durumunda bu izotoplara taşıyıcı (carrier), taşıyıcısız (carrier free) isimleri verilmektedir (Görpe, 1992).

### 2.2.2. Işınlama

Bir ortamdaki radyasyon seviyesini belirlemek için maruz kalınan radyasyon miktarı ölçülür. Bu gama veya x ışınının havada neden olduğu iyonizasyon miktarıdır ve birimi özel birimlerde Röntgen' dir. SI birim sisteminde ise Coulomb/kilogram olarak ifade edilmektedir. 1 Röntgen (R) 0,001293 gr' lık havada 1 elektrostatik birimlik iyon oluşturan gama veya x ışını miktarıdır. Radyasyonun şiddetini ölçmez, yalnızca sayısal ölçüm yapmaktadır.

### 2.2.3. Soğurulmuş Doz

1 gram radyasyona maruz kalan materyalde absorbe edilen 100 erg' lik enerjiye 1 Rad denir. Soğurulmuş radyasyon dozunun İngilizce "Radiation Absorbtion Dose" ifadesinin ilk harflerinden oluşan Rad, herhangi bir radyasyonu ölçebilir fakat

radasyonun şiddetini veya sayısını ölçmez. Uluslararası SI birimine göre rad yerine Gray birimi kullanılır.

$$1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad'tır.}$$

#### 2.2.4. Doz Eşdeğeri

Farklı radyasyon tiplerinin biyolojik ortam değişimine göre farklı etkiler gösterdiğini belirtmekte ve SI özel birimlerinde Rem olarak adlandırılmaktadır. Absorbe edilen gama veya x ışınının eşdeğer biyolojik etki oluşturacak absorbe edilmiş başka bir radyasyon oranını ölçer (Görpe, 1992).

$$\text{Rem} = \text{Rad} \cdot W_R$$

$$\text{Sivert} = \text{Gray} \cdot W_R$$

Yukarıda verilen eşitlikte  $W_R$  radyasyon etkinlik faktörüdür. Soğurulan aynı miktardaki doz için  $\alpha$  parçacıkları protonlardan 4 kez daha zararlıdır. Parçacığın yükü arttıkça verdiği zarar da artmaktadır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg}$$

Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir (ICRP, 2012; Anonim, 2019a).

#### 2.2.5. Etkin Doz

Doku ve organların aldıkları doz seviyesinin tüm vücut için yüklendiği riski ifade eden kavramdır. İnsan vücudundaki organ ve dokuların iyonlaştırıcı radyasyona karşı göstermiş oldukları hassasiyetlerin farklılık göstermesi eşdeğer doz hesaplanması etkin dozu hesaplamada önemli bir etkidir. Etkin dozu belirlemek için her organ için belirlenmiş doku ağırlık faktörleri ( $W_T$ ) kullanılır (ICRP, 2003).

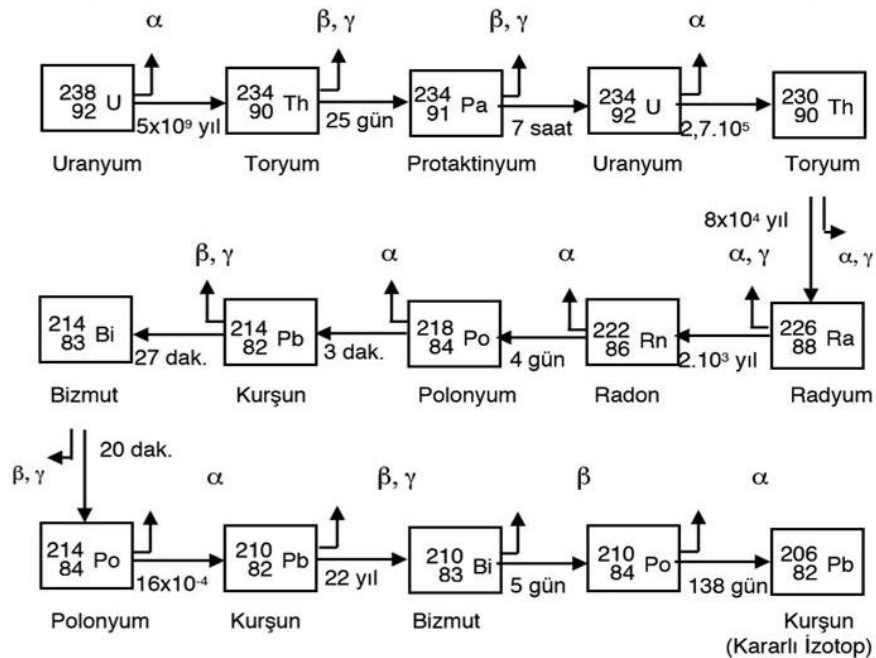
Etkin doz, radyasyonun enerji ve tipini dikkate alırken aynı zamanda doku ve organ hassasiyetlerinin de dikkate alındığını ifade etmektedir. Tüm vücut için tanımlanan etkin doz (E) matematiksel olarak Denklem (2.4) ile tanımlanmaktadır.

$$E = \sum_T W_R H_T \quad (2.4)$$

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynakları nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2.4 mSv' dir. Tıp alanında çalışan radyasyon görevlilerinin aldıkları dozun yıllık ortalaması 1-5 mSv civarındadır. Çernobil nedeniyle Türk halkının aldığı kişisel doz ortalaması 0.5 mSv' dir (ICRP, 2012; Anonim, 2019a).

### 2.3. Radon

1899 yılında Ernest Rutherford tarafından keşfedilen radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) renksiz, tatsız, kokusuz, insanların duyu organları ile hissedemeyeceği radyoaktif bir soy gaz olup havadan yaklaşık sekiz kat daha ağırdır. Radon Şekil 2.3' de görüldüğü gibi yerkürede bulunan doğal uranyum ( $^{238}\text{U}$ ) bozunum zincirinde yer alan radyumun ( $^{226}\text{Ra}$ ) radyoaktif bozunumu sonucunda oluşan radyoaktif bir elementtir. Radonun yarı ömrü 3.824 gün olup iki tane polonyum radyoizotopu (Po-218; 3,05 dakika, Po-214; 164 mikro saniye), bismut (Bi-214; 19.9 dakika), kurşun (Pb-214; 26.8 dakika) olmak üzere dört adet kısa ömürlü bozunum ürününe sahiptir (Şekil 2.3) (UNSCEAR, 2000; Gillmore ve ark., 2001).



Şekil 2.3. Radon ve toronun bozunum ürünleri (Anonim, 2019b).

Yeryüzündeki kayaç ve topraklarda yer alan uranyum ve toryumun bozunum ürünü olan radyum  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{224}\text{Ra}$  radyo izotoplarının bozunması sonucu oluşan gaz fazındaki sırası ile radon ve toron atomları bu bozunma süreci sırasında geri tepme yolu ile serbest kalırlar. Gözeneklere giren radon atomları bozunana kadar ya da atmosfere ulaşana kadar difüzyon ve yatay iletim yoluyla boşluk ortamında taşınır. Bu süreç topraktaki radonun davranışı, jeolojik yapı, iklim ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişebilmektedir.

Radon, yer yüzeyindeki uranyum ve toryumun bozunumu sonucunda oluştuğundan yerküreyi oluşturan toprak ve kayaların içinde bulunmakta ve radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle daha çok volkanik, granit, fosfat ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Toprakta oluşan radyoaktivite, yerkürede bulunan kayaların doğa etkileriyle zamanla parçalanıp ufalanması ve yağmur akıntı suları ile toprağa karışması sonucu meydana gelmektedir. Dolayısıyla topraktaki radyoaktivitenin yoğunluğu o bölgedeki kayaçların jeolojik yapısıyla doğru orantılıdır (UNSCEAR, 2000).

Havadan yaklaşık sekiz kat daha ağır olan radon, çukur yerlerde toplanmakta ve suda çözünmektedir (UNSCEAR, 2000). Radon çözünürlüğü sıcaklığın artması ile azalırken, suyun sıcaklığının artması sonucu yükselmektedir ve metan, karbondioksit, nitrojen gibi gazlarla, genellikle yer altı suları ile birlikte dışarı taşınmaktadır. Radonun bu özellikleri, hidrotermal sistemlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde bir araç olarak kullanılmasına izin vermektedir. Radon suyu metallerden oluşur ve kimyasal olarak aktiftir. Radonun üç yayılım türünden biri ve en tehlikelisi alfa'dır ve 4,78 MeV enerji yayılımı yapmaktadır. Alfa parçacığı uzun mesafelerde etkisizdir fakat vücut içerisindeki hücrelerde önemli hasarlara neden olabilmektedir.

### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radon en önemli doğal radyasyon kaynakları arasında yer alır ve suda çözünebilme özelliği nedeniyle içme sularındaki aktivite değerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde;

Gosink ve arkadaşları 1990 yılında Amerika’da içme ve kullanım suyunun karşılandığı birçok sondaj kuyusunda yapmış oldukları çalışmalarında ortalama radon konsantrasyonunun 39.96 kBq/m<sup>3</sup> değerinde olduğunu tespit etmişlerdir (Gosink ve ark., 1990).

1992 yılında Farai ve Sanni Nijerya’da bir yıl süreyle 20 farklı kuyudan aldıkları örnekleri haftada üçer kez incelemişler ve çalışma süresi sonunda en fazla örnek alınan kuyunun %20’lik hata ile 15 Bq l<sup>-1</sup> oranında <sup>222</sup>Rn konsantrasyonuna sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Farai ve Sanni, 1992).

Marques ve arkadaşları 2004 yılında Brezilya’da yeraltı suları, deniz suyu, musluk suları ve akarsular için radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yeraltı sularında 0.95 Bq l<sup>-1</sup>-36 Bq l<sup>-1</sup>, deniz suyunda 0.3 Bq l<sup>-1</sup>-0.54 Bq l<sup>-1</sup>, musluk sularında 0.39 Bq l<sup>-1</sup>-0.47Bq l<sup>-1</sup> ve akarsularda 0.43Bq. l<sup>-1</sup>-2.40 Bq. l<sup>-1</sup> değerleri arasında değerler elde etmişlerdir (Marques ve ark., 2004).

Aynı yıl içerisinde Kochowska ve arkadaşları Polonya’da 45 farklı kuyudan aldıkları su örneklerini incelemişler ve tüm konsantrasyon değerlerinin 12 kBq/m<sup>3</sup>’ün altında olduğunu tespit etmişlerdir (Kochowska ve ark., 2004).

2005 yılında Villalba ve arkadaşlarının Meksika’nın Chihuahua eyaletine ait 9 Şehrin içme ve kuyu sularında yaptıkları <sup>222</sup>Rn ölçümlerinde, suların %48’ inde radon konsantrasyonlarının USEPA’nın sınır değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Villalba ve ark., 2005).

2008 yılında Romanya’da Cosma ve arkadaşları yüzey suları, kuyu suları ve kaynak sularında yer alan radon konsantrasyonlarını analiz etmişler ve yüzey sularında 0.5 kBq/m<sup>3</sup>-10 kBq/m<sup>3</sup>, kuyu sularında 0.6 kBq/m<sup>3</sup>-112.6 kBq/m<sup>3</sup> ve kaynak sularında 2 kBq/m<sup>3</sup>-129.3 kBq/m<sup>3</sup> değerleri arasında değişen değerleri gözlemişlerdir (Cosma ve ark., 2008).

Yang ve arkadaşlarının 2014 yılında gerçekleştirdiği Amerika'nın Maine bölgesindeki kuyu sularında uranyum ve radon aktivitelerinin belirlenmesine yönelik çalışmada, uranyum ve radon aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $>30 \mu\text{g/L}$  ve  $> 4000 \text{ pCi/L}$  olarak belirlenmiş ve granitik alanda yer alan bu kuyuların içme suları olarak kullanılmasına yönelik risk durumları ele alınmıştır (Yang ve ark., 2014).

Aynı yıl içerisinde Romanya' nın Biher bölgesinde, Moldovan ve arkadaşları şebeke suyuna bağlı içme sularında ve maden bölgesinde yer alan kişisel kuyularda radon ölçümleri yapmışlardır. Dünyada öngörülen sınır değerleri içerisinde değerlendirilebilen ortalama değerler kuyu suları için  $35.5 \text{ kBq/m}^3$ , kaynak suları için  $18.5 \text{ kBq/m}^3$  ve musluk suları için  $6.9 \text{ kBq/m}^3$  değişirken yine sınır değerleri içerisinde olduğu görülen yıllık efektif dozlar ise  $4.78$  ve  $338.43 \mu\text{Sv y}^{-1}$  aralığında tespit edilmiştir (Moldovan ve ark., 2014).

Yine 2014 yılında Bem ve arkadaşları Polonya' nın güneyindeki yeraltı içme sularında sıvı sintilasyon tekniğini kullanarak radon ölçümleri yapmışlar ve  $0.42 - 10.52 \text{ kBq/m}^3$  aralığında ortalama değerler elde edilirken, sudaki radonun içmeyle vücuda alınması ve sudan havaya geçen radonun solunmasına bağlı radyasyon dozları ise sırasıyla  $1.15$  ve  $11.8 \mu\text{Sv}$  aralığında belirlenmiştir (Bem ve ark., 2014).

Kasic ve arkadaşları tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen Bosna Hersek'in Tuzla bölgesindeki kuyu sularındaki radon aktivite belirleme çalışmasında AlphaGUARD radon detektörü kullanılmış ve Avrupa Birliği tarafından tavsiye edilen  $100 \text{ Bq l}^{-1}$  üst sınırının oldukça altında yer alan  $0.21-3.70 \text{ Bq l}^{-1}$  aralığında radon aktivite değerleri elde edilmiştir (Kasić ve ark., 2016).

Pisapak ve Bhongsuwan ise 2017 yılında Güney Tayland'ın Nanom şehrindeki kuyu sularında radon aktivite konsantrasyonları  $0.1 - 483 \text{ Bq l}^{-1}$  aralığında ölçmüş ve kanser riski bakımından sonuçları değerlendirmişler ve bazı bölgelerdeki kuyu sularının radon aktiviteleri EC2013/51/EURATOM yönergesinde belirlenen  $100 \text{ Bq l}^{-1}$  üst limit değerinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir (Pisapak ve Bhongsuwan, 2017).

2018 yılında Al-Alawy ve Hasan Irak'ın Karbala bölgesinde yer alan kuyu sularının radon aktivitelerini CR-39 tekniğini kullanarak belirlemeyi amaçlamışlar ve maksimum radon aktivite değeri  $4.11 \text{ Bq l}^{-1}$  iken ortalama radon aktivite değerini  $2.84$

Bq l<sup>-1</sup> olarak tespit etmişlerdir. Bu değerler USEPA' nın tavsiye ettiği üst sınır seviyesinin altında yer almaktadır (Al-Alawy ve Hasan, 2018).

Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde,

2007 yılında Yalım ve arkadaşları Afyonkarahisar ili ve çevresindeki fay hattı boyunca bazı kuyu sularındaki radon konsantrasyonu incelemişler ve değerlerin 0.7 Bq. l<sup>-1</sup>-31.7 Bq. l<sup>-1</sup> arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Yalım ve ark., 2007).

Akar Tarım ve arkadaşları 2011 yılında Bursa ilinde yer alan ve içme amaçlı kullanılan 27 adet kuyu suyu örneğinde radon aktivite konsantrasyonlarını incelemişler ve 1,46- 53,64 Bq. l<sup>-1</sup> aralığında değişen değerler elde etmişlerdir (Akar Tarım ve ark., 2011).

2013 yılında Erdoğan ve arkadaşları Konya ili'nde içme suyu şebekesini besleyen ve farklı derinliklere sahip kuyu sularına ait radon aktivite değerleri incelemişler ve ilkbahar mevsimi için 2,29 Bq l<sup>-1</sup>- 27,25 Bq l<sup>-1</sup> aralığında, yaz mevsiminde ise 1,44 Bq l<sup>-1</sup>-27,45 Bq l<sup>-1</sup> aralığında değişen sonuçlar gözlemişlerdir (Erdogan ve ark., 2013).

Son olarak 2014 yılında Tabar ve Yakut, Yalova'da tıbbi tedavi amaçlı kullanılan termal sularda radon aktivite konsantrasyonlarını RAD 7 radon detektörü kullanarak ölçmüş ve araştırma sonucunda 0.21-5.82 kBq/m<sup>3</sup> aralığında değişen ortalama değerler elde edilirken, yıllık etkin dozların ise 2.44 - 9 µSv y<sup>-1</sup> aralığında olduğu belirlenmiştir (Tabar ve Yakut, 2014).

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Materyal

Bu tez kapsamında Aksaray ilinde yer alan kuyu sularına ait radon aktiviteleri taşınabilir nitelikteki alfa spektrometrik sisteme sahip AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile tespit edilmiştir.

#### 4.1.1. Su Numunelerinin Alındığı Bölge ve Jeolojik Yapısı

Magmatik kayalar Mamasun gabroidleri ve Gücünkaya granitoyitleri olarak iki alt birime ayrılmaktadır (Güllü ve Yıldız, 2012). Gabrolar koyu yeşil, siyahımsı yeşil renkli olup orta iri taneli bileşenlere sahiptir. Piroksen, hornblend, plajiyoklas (An54-62) ve kuvars mineralleri ana bileşenleri oluştururken serisit, klorit, aktinolit ve epidot alterasyon minerallerini oluşturmaktadır. Apatit, titanit ve opak mineraller tali bileşenleri oluşturur. Gücünkaya granitoidleri orta-iri taneli olup rengi içerdiği mafik mineral oranına göre gri ile yeşilimsi gri renkler arasında değişmektedir. Ana mineralleri kuvars, ortoklas, plajiyoklas, hornblend ve biyotit oluşturmaktadır. Epidot ve klorit ikincil mineralleri oluşturur. Granitoidler içerisinde 1-10 cm büyüklükte oval, yuvarlağımsı şekilli mafik mikrogranüler dokulu anklavlar yer almaktadır. Gabro ve granitoidler diyorit porfir türü damar kayaları tarafından kesilir. Granitoidlerin Üst Kretase yaşlı olduğu ifade edilmiştir (Yıldız ve ark., 2014).

Aksaray ili, 33-35 derece doğu meridyenleri ile 38-39 derece kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Doğuda Nevşehir, güneydoğuda Niğde, batısında Konya ve kuzeyde Ankara ve kuzeydoğuda Kırşehir ile çevrilidir. Yüzölçümü 7626 km<sup>2</sup>'dir. Aksaray'ın Ağaören, Eski, Gülağaç, Güzeyurt, Ortaköy, Sarıyahşi olmak üzere 6 ilçesi, 192 köy ve kasabası bulunmaktadır. Aksaray yüzey şekilleri itibariyle düzlüktür. Denizden 980 metre yükseklikte yer almaktadır.

Tezin inceleme konusunu oluşturan su numuneleri Aksaray İli'nin Granitoyitik açıdan oldukça zengin bölgelerinde yer alan Ortaköy, Sarıyahşi, Ağaören ilçeleri ve Aksaray iline bağlı Koyak, Salmanlı, Borucu köylerindeki derinlikleri farklı 13 kuyudan alınmış ve bu örneklerin radon aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Su numunelerinin alındığı bölgeler ve kuyu derinlikleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Çalışma alanı

Aksaray İli kuzeyinde yer alan K31b3, K31b1 K32d3 ve K32d4 paftalarını kapsamaktadır.

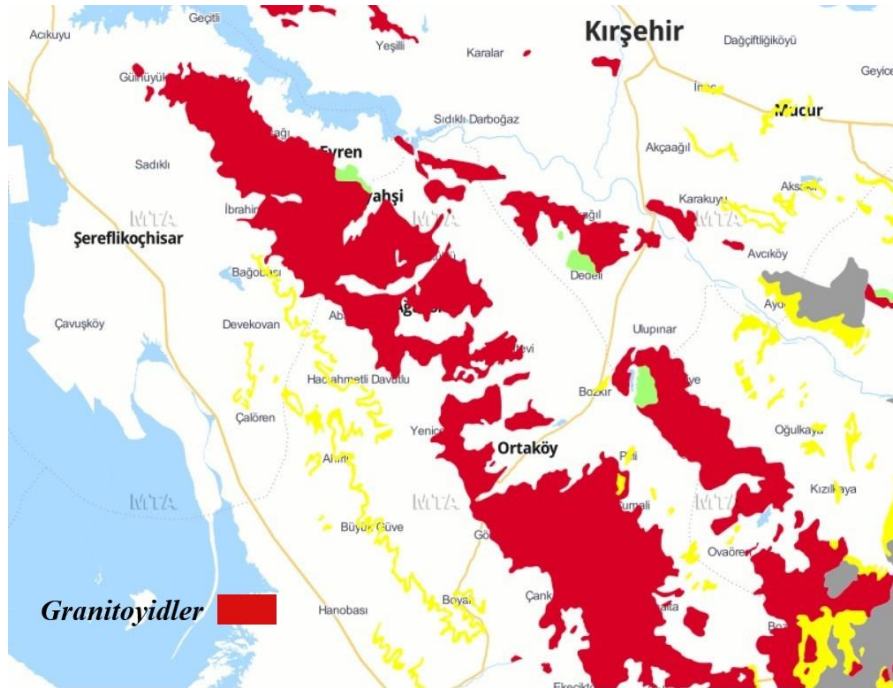
İnceleme alanında yer alan magmatik kayalar "Ekecik Magmatik Birliği" ve "Ağaçören İntrüzif Takımı" başlıkları altında incelenmiştir. Bu alanda yer alan gabroyik kayalar; genelde koyu yeşil-siyahımsı yeşil renklerde olup, ortairi tanelidirler. İnceleme alanında gabrolarla olan sınırının belirlenmesi oldukça zor olan diyoritlerin taze yüzeyleri daha çok koyu yeşilimsi renklerde gözlenmektedir. Gabroların, çalışma alanında geniş yüzeylenimler sunan biyotit granit/granodiyoritlerle temsil edilen Gücünkaya Granitoidleriyle olan dokanağı kesin olarak ayırt edilememekle birlikte geçiş zonu olarak gözlenmektedir. Ekecik magmatik birliği içerisinde en yaşlı birimi Gökkaya amfibol granodiyoriti oluşturur. Gelinseki graniti, Sinandı biyotit granitini keser. Sırayalar alkali feldispat graniti ve Sırayalar alkali feldispat granit porfiri kendisinden yaşlı tüm magmatik birimleri kesen son magmatik evreyi temsil eder. Sırayalar gabrosu, Ekecik hornblend gabrosu, Oluk tepe gabronoriti Ağaçören intrüzif takımı içerisinde yer alır.

Jeokimyasal incelemelerde Ekecik magmatik birliğine ait kaya örneklerinin tamamı A/CNK diyagramında peralümina bölgede yer alırken, Ağaçören intrüzif takımına ait gabrolar metalümina bölgede yer alır. Ekecik magmatik birliğinin kökenini meta-sedimanter ve kabuk katkısı baskın, manto katkısı az kaynaklar oluştururken, Ağaçören intrüzif takımı daha az kabuk katkılı I tipi magmadan türemiştir. İnceleme alanı sıkışmalı ve genişlemeli tektonik rejimlerin etkisi altında kalmıştır. Alt Miyosen yaşlı sıkışmalı tektonik rejim etkisi ile ters faylar ve klipler gelişmiştir. Alt Miyosende gelişen sıkışmalı tektonik rejim ile ters fay düzlemlerinde dinamik metamorfik kayalar oluşmuştur. Bu kayalar fay breşi, mikrobreş, kataklazit ve milonit türü dinamik metamorfik kayalardır. Geç Pleyistosende genişlemeli tektonik rejim etkisi altında normal faylar ve buna bağlı olarak horst-graben yapıları gelişmiştir. (Güllü ve Yıldız, 2012; Küre, 2017).

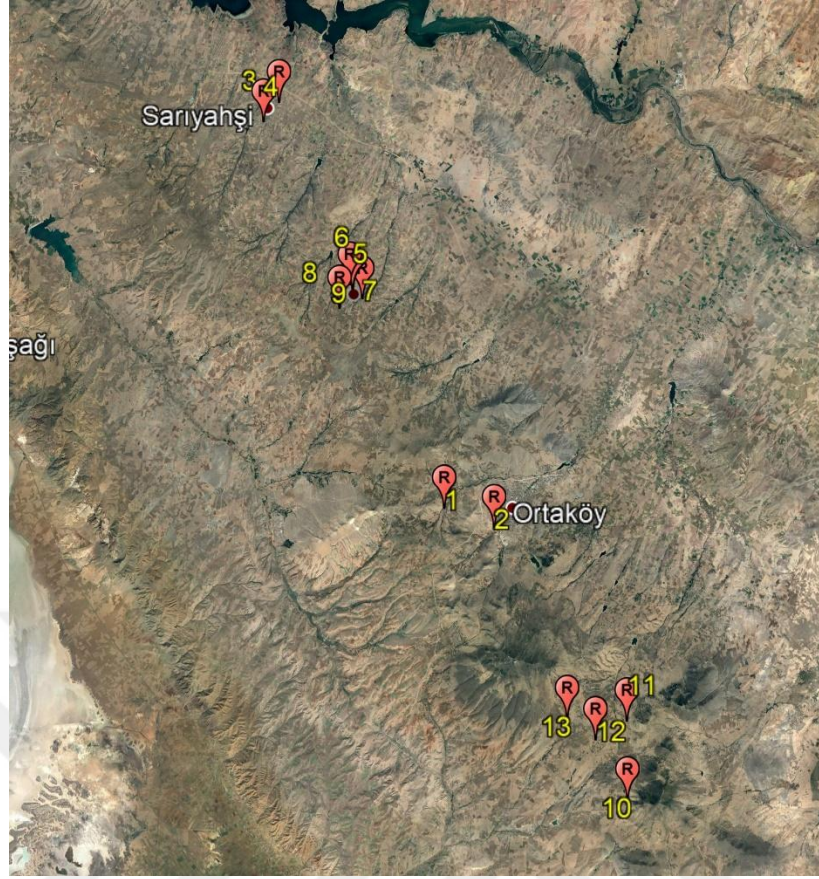
Orta Anadolu bölgesi Aksaray mevkinde yapılan çalışmaya ait metamorfik kayaç haritası Şekil 4.1 'de yer almaktadır. Bu bölgedeki granitoidlerce zengin olan ilçe ve köylerden alınan numuneler ise Şekil 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 . Kuyu suyu örneklerinin alındığı bölgelere ait konumlar ve derinlikler

| ÖLÇÜM NO | KOORDİNAT                 | DERİNLİK(M) | BÖLGE İSMİ                 |
|----------|---------------------------|-------------|----------------------------|
| 1        | 38 44' 11" K 33 59' 11" G | 60          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 2        | 38 43' 28" K 34 01' 34" G | 90          | Ortaköy İlçesi (Aksaray)   |
| 3        | 38 59' 19" K 33 51' 13" G | 102         | Sarıyahşi İlçesi (Aksaray) |
| 4        | 38 58' 35" K 33 50' 29" G | 24          | Sarıyahşi İlçesi (Aksaray) |
| 5        | 38 52' 20" K 33 54' 47" G | 17          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 6        | 38 52' 20" K 33 54' 47" G | 30          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 7        | 38 51' 58" K 33 55' 15" G | 72          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 8        | 38 51' 37" K 33 54' 10" G | 35          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 9        | 38 52' 29" K 33 54' 39" G | 24          | Ağaçören İlçesi (Aksaray)  |
| 10       | 38 33' 21" K 34 07' 55" G | 32          | Koyak Köyü (Aksaray)       |
| 11       | 38 36' 17" K 34 07' 53" G | 52          | YanYurt Köyü (Aksaray)     |
| 12       | 38 35' 35" K 34 06' 24" G | 60          | Borucu Köyü (Aksaray)      |
| 13       | 38 36' 22" K 34 05' 03" G | 40          | Çekiçler Köyü (Aksaray)    |



Şekil 4.1 Orta Anadolu Bölgesi Aksaray İli Metamorfik Kayaç Haritası (MTA, 2019).

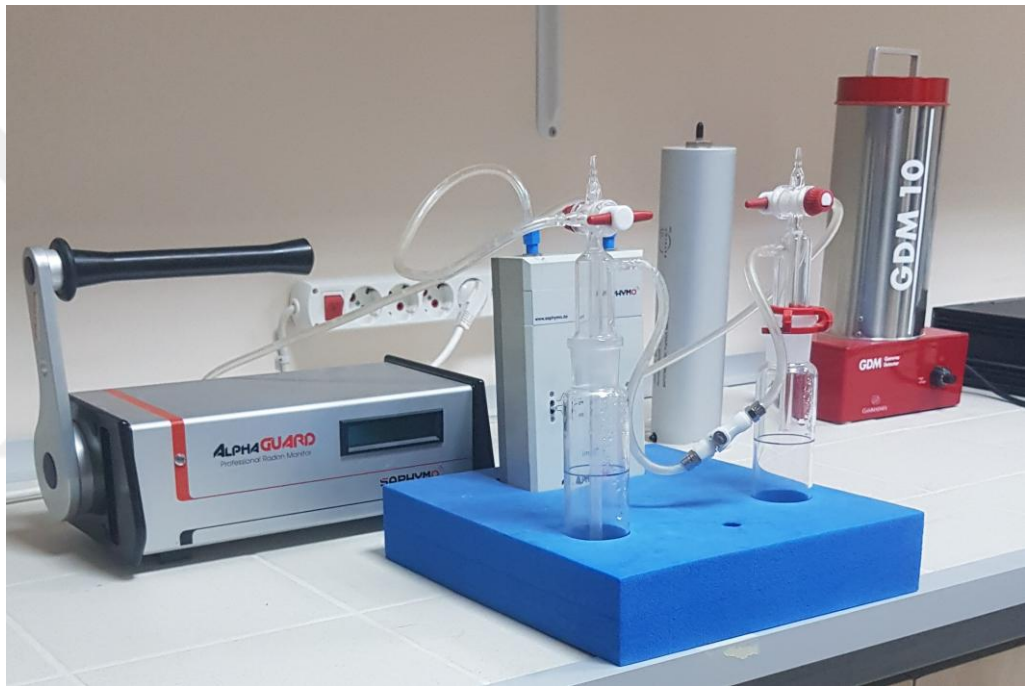


Şekil 4.2 Numune Alım Noktaları

#### 4.1.2. AlphaGUARD Radon Detektörü ve Yapısı

$^{222}\text{Rn}$  kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılan ve taşınabilir nitelikte bir radyasyon detektörü olan AlphaGUARD PQ 2000PRO, bu tez çalışmasında radon ölçümleri için tercih edilmiştir. Hava, su, toprak ve yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonunu ölçülebilen bu cihaz radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak ayrıca sıcaklık (-15 ile + 60 °C aralığında), atmosfer basıncı (800-1050 mbar aralığında) ve nem oranı (%0 - %99 rH (Relative Humidity) aralığında) gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir. Detektör, Alfa radyasyonun maddeyi iyonize edici özelliğinden yararlanan, paslanmaz çelikten ve silindir şeklinde yapılmış, detektör besleme gerilimi (Direct Current (DC)) 750 volt olan iyonizasyon odalı bir cihazdır. Uzun süreli ölçümler için uygun yapıya sahip olan bu cihaz aynı zamanda ile ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabilmekte ve yüksek kapasiteli pilleri sayesinde 10 güne kadar seçilen ölçüm moduna göre sürekli ölçüm alınabilmektedir. Detektör toplam hacmi 0.62 litre olmasına rağmen bunun yalnızca 0.56 litrelik kısmı etkin detektör olarak kullanılmakta ve bu detektör ile 2 - 2.106 Bq l<sup>-1</sup> aralığında radon

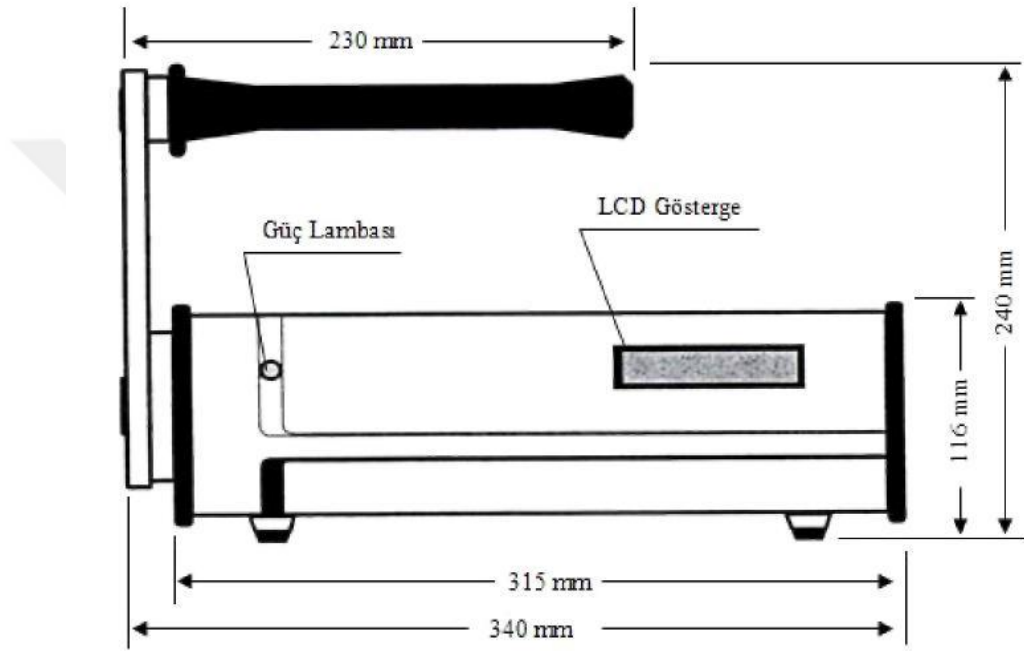
konsantrasyonu ölçümü yapılabilir. Sistem bu kadar geniş ölçüm aralığına sahip olmasına rağmen kendisinden gelen %3 gibi bir doğrusallık hata payı bulundurmaktadır. Bu radon ölçüm cihazı difüzyon ve akış modu olmak üzere amaca ve zaman seçimine bağlı olarak iki şekilde ölçüm yapabilmektedir. Difüzyon modu uzun süreli ve devamlı ölçümlerde kullanılırken cihaz detektörü bu modda 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydetmektedir. Akış modunda ise 1 dakika veya 10 dakikalık veri alma aralıkları ayarlanabilirken, bu mod daha çok kısa süreli ölçümlerde çok sayıda veri elde etmek için tercih edilmektedir. Şekil 4.3’ da AlphaGUARD detektörü görülmektedir.(AlphaGUARD, 2012).



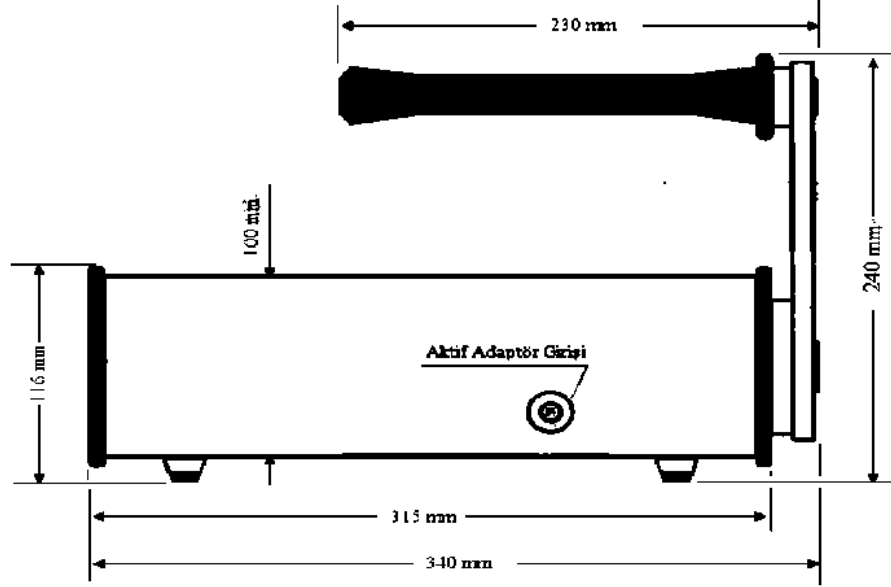
Şekil 4.3 AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü

Cihaz Çeşitli bölgelerde veri toplanması için taşınabilir bir veri toplama sistemi ve aynı zamanda toplanan verilerin saklanabilmesi için ayrıca bir veri depolama sistemine sahiptir. Depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için veri analiz yazılımı ile birlikte çalışmakta ve bilgisayara bağlanarak ölçüm sırasındaki değişimler gözlenebilmektedir. Bu radon detektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı detektör iyonlaşma odasına çekmekte ve emilim sonucunda iyonlaşma odasına giren radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak elektrik sinyalleri meydana getirmektedir. Sürekli gerçekleşen emme esnasında radon yan ürünleri bir plaka şeklindeki filtre tarafından

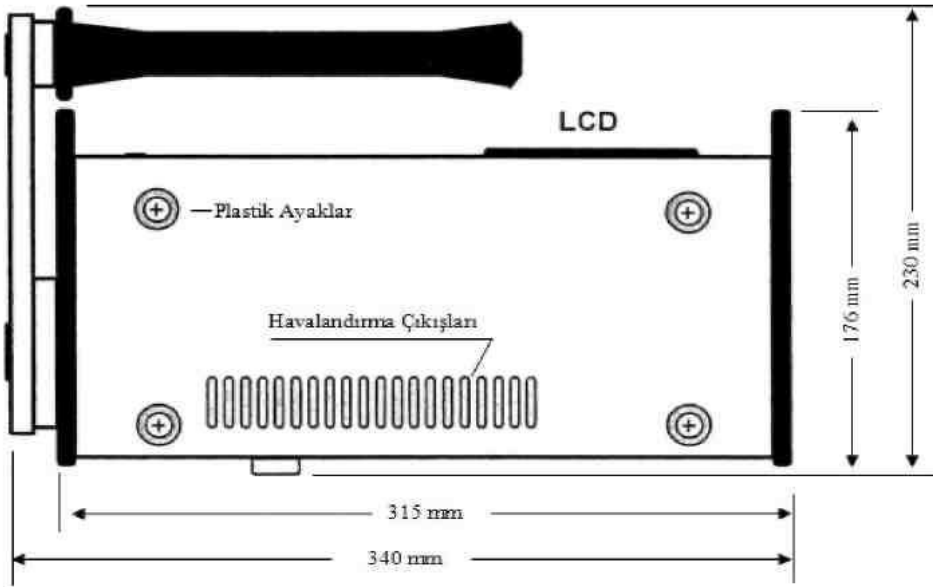
tutulurken, filtre plakası üzerinde biriken radon yavru ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü aracılığıyla ölçülmektedir. Tüm ölçümler sonucu elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilmekte ve yazılım tarafından detektörün kalibrasyon bilgileri kullanılarak anlamlı verilere dönüştürülmektedir (AlphaGUARD, 2012). Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' da AlphaGUARD cihazının farklı görünüşleri ve bazı ebatları yer almaktadır.



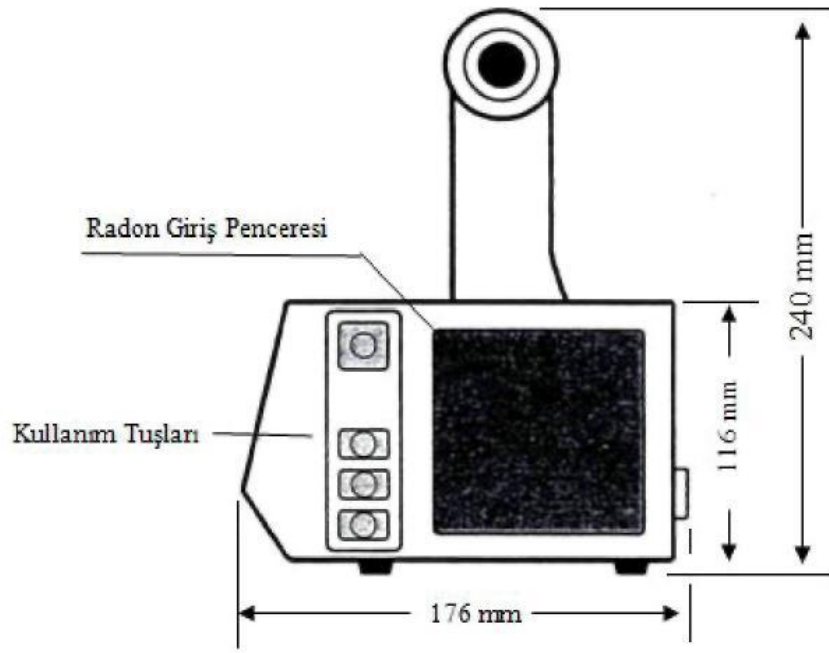
Şekil 4.4 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları (AlphaGUARD, 2012)



Şekil 4.5 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları (AlphaGUARD, 2012)



Şekil 4.6 AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları (AlphaGUARD, 2012)

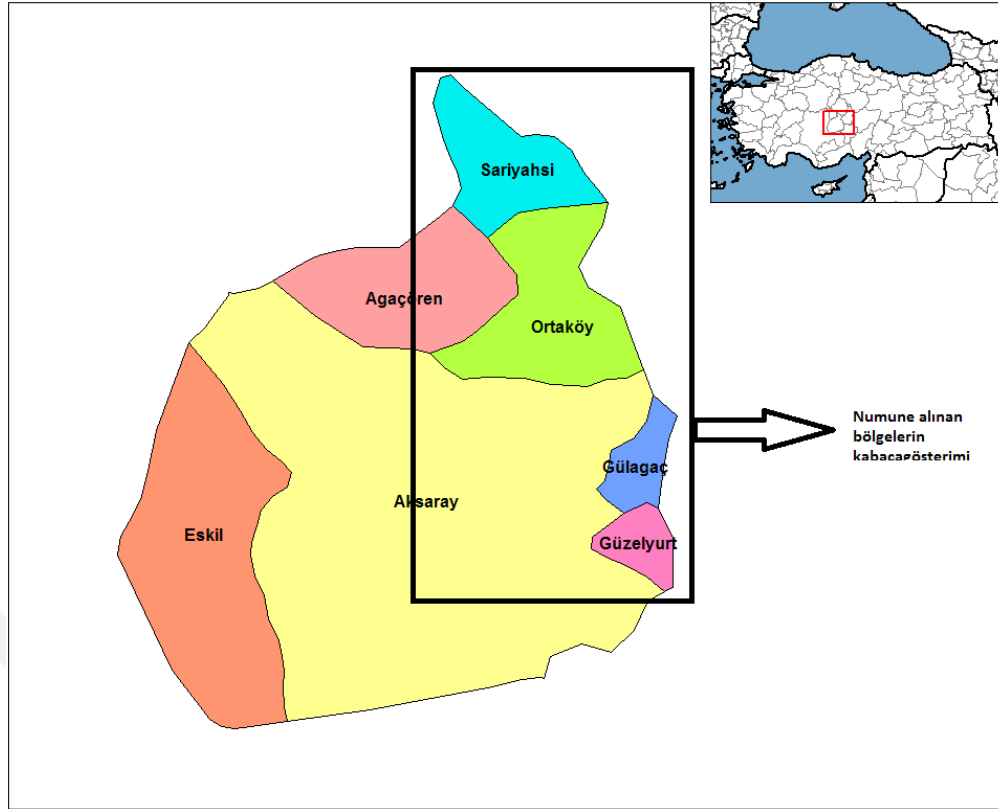


Şekil 4.7 AlphaGUARD cihazının yandan görünüşü ve ebatları (AlphaGUARD, 2012)

## 4.2. Yöntem

### 4.2.1. Su Numunelerinin Alınması

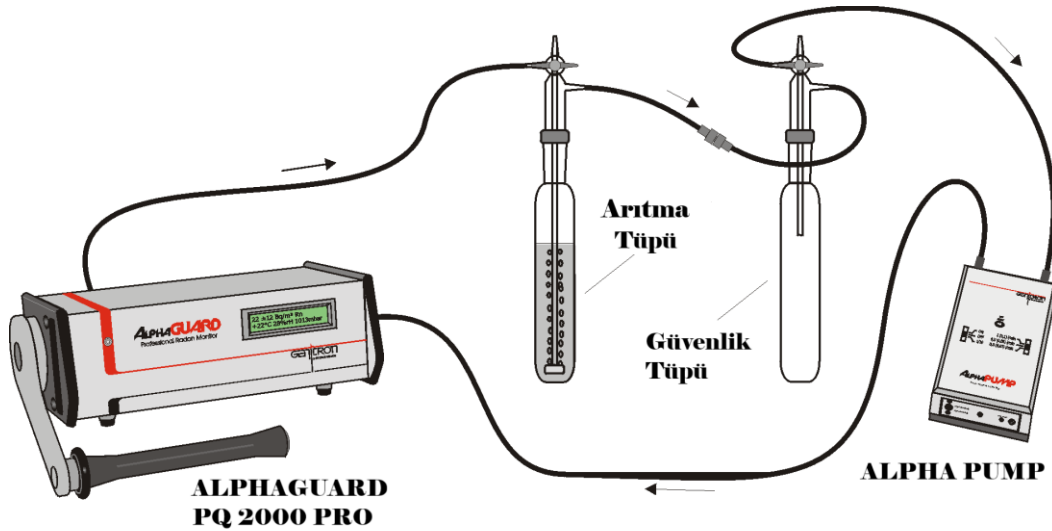
Su örnekleri toplanan kuyular Aksaray İli kuzeyinde yer alan granitoyid açıdan zengin ilçe ve köylerden farklı derinlikler baz alınarak seçilmiştir (Şekil 4.8). Araştırma için 500 mL 'lık plastik şişeler kullanılmıştır. Kuyulardan örnek alınmadan önce kuyu suları 5-7 dk arası dışarı akıtılarak kuyunun kaynağındaki suya ulaşılması sağlanmıştır. Alınan su örneğinden radon gazı kaçışını önlemek için plastik şişeler içinde boşluk kalmayacak şekilde suyla doldurulmuş ve şişe sıkıca kapatılmıştır. Alınan kuyu suyu örnekleri kısa bir süre içerisinde vakit kaybı yaşanmadan Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Nükleer Fizik laboratuvarına ulaştırılarak analiz edilmiştir. Her kuyu su numunesi için üç kez ölçüm alınarak ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.8 Ölçümlerin Yapıldığı Bölgenin Haritası

#### 4.2.2. Ölçüm Düzenineğinin Hazırlanması ve Numunelerin Analizi

AlphaGUARD ölçüm cihazı ile sudaki, havadaki, topraktaki radon seviyeleri ölçülebilmekte ve su için yapılacak ölçümlerde AlphaGUARD cihazı ile birlikte toprakKIT ve AquaKIT aparatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca AlphaGUARD radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak atmosfer basıncı (800-1050 mbar aralığında), sıcaklık (-15- +60 °C aralığında) ve nem oranı (%0-%99 rH aralığında) gibi üç farklı iklimsel parametre de ölçülebilmektedir.



Şekil 4.9 Su İçin Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi (AlphaGUARD, 2012)

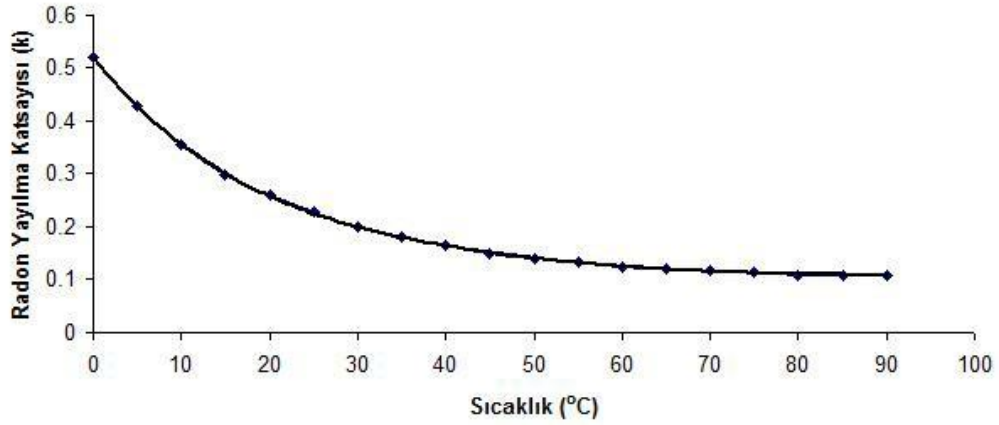
Bu tez çalışmasında sulardaki radon aktivite ölçümleri gerçekleştirileceği için AlphaGUARD cihazı ile birlikte ek olarak AquaKIT seti de kullanılmıştır. Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için ek bir donanım olarak kullanılan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO Şekil 4.9’ de şematik olarak gösterilmektedir. Bu ölçüm düzeneğinin kurulum adımı ilk olarak arıtma şişesinin (degassing vessel) alt yan başlığına ve 150 mL’lik iki tane kilitli tüp ile güvenlik şişesinin (security vessel) de bu alt yan başlığına bağlanması ile başlar. Daha sonra güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın ‘IN’ başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır. Pompanın ‘OUT’ başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile AlphaGUARD’ın arka kısmında bulunan ‘Aktive Adaptör (aktif adaptör)’ girişine bağlandıktan sonra kurulum AlphaGUARD’ın sağ tarafındaki ‘Flow Adapter (akış adaptörü)’ girişinin 600 mL’lik tüp ile arıtma şişesinin üst yan başlığına bağlanması sonucu tamamlanır (AlphaGUARD, 2012).

#### 4.3. Sudaki Radon Aktivite Konsantrasyonu ve Standart Hata Hesaplamaları

Su örneklerine ait radon konsantrasyon hesabı radon cihazında belirtilen radon konsantrasyonu üzerine kurulmaktadır. Su içindeki radon detektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmekte ve havanın da bu değere katkısı söz konusu olduğu için ölçüm değeri örneğin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı Denklem (4.1) kullanılarak yapılmaktadır.

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

Burada,  $C_{su}$ : su örneğinin radon konsantrasyonu ( $Bq\ l^{-1}$ );  $C_{hava}$ : ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri ( $Bq\ m^{-3}$ );  $C_0$ : arka plan (doğal fon) konsantrasyonu ( $Bq\ m^{-3}$ );  $V_{sistem}$ : ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (1102 ml);  $V_{\text{örnek}}$ : su örneğinin hacmi (100 ml);  $k$ : radon yayılma katsayısı'dır. Radon yayılma katsayısı ( $k$ ), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 4.10). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır (Kochowska ve ark., 2004; Akar Tarım ve ark., 2011).



Şekil 4.10. Radon yayılma katsayısının ( $k$ ) değişim grafiği

Belirli zaman aralıklarında her kaynak için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri Denklem 4.2 ile hesaplanmıştır.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N} \quad (4.2)$$

Standart Hata Hesaplamaları ise,

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hata hesabını bulmak amacıyla standart sapma hesaplamaları ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3 kullanılarak yapıldı. Standart sapma hesaplandıktan sonra, ortalama değerlerin standart hata hesabı Denklem 4.4 kullanılarak yapıldı.

$$S.H. = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (4.4)$$

#### 4.4. Suların Tüketimine Bağlı Radon Kaynaklı Etkin Doz Tahmini

Bu kuyu sularının içme yoluyla tüketimine bağlı olarak radon kaynaklı halkın aldığı yıllık etkin doz tahminleri UNSCEAR 2000 raporuna göre Denklem 4.5 ile hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$\text{İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz } (\mu\text{Sv}) \text{ (YED)} = C_{Rn} \times (60 \text{ litre/yıl}) \times (10^{-3} \text{ m}^3, \text{ l-litre}) \times (3.5 \text{ nSv/Bq}) \quad (4.5)$$

Denklem 4.5' de ilk terim  $C_{Rn}$ , su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonunu göstermektedir. UNSCEAR raporlarına göre bebek, çocuk ve yetişkinler tarafından tahmini olarak tüketilen yıllık su miktarları sırasıyla 100, 75 ve 50 litredir. Bu popülasyon grubunun kabul edilen oranı sırasıyla 0.05, 0.3 ve 0.65 olduğu dikkate alınırsa ağırlıklı tahmin yılda 60 litre ortalama su içildiğini göstermektedir. İkinci terim de bu değeri göstermektedir. Üçüncü terim litreden  $\text{m}^3$  dönüşüm faktörünü ve son terim olan  $3.5 \text{ nSv Bq}^{-1}$  değeri ise aktiviteden etkin doza dönüşüm faktörünü göstermektedir (UNSCEAR, 2000).

Suda çözünmüş radonun sudan da havaya geçme eğilimi göstermesinden dolayı, su kaynaklı kapalı ortamdaki radon ve kısa yarı ömürlü ürünlerinin solunmasına bağlı yıllık etkin doz ise Denklem 4.6 ile verilmektedir.

$$\text{Solunmaya Bağlı Yıllık Etkin Doz } (\mu\text{Sv}) \text{ (YED)} = C_{Rn} \times (10^{-4}) \times (7000 \text{ saat}) \times (0.4) \times (9 \text{ nSv (Bq saat m}^{-3}\text{)}^{-1}) \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da ilk terim  $C_{Rn}$ , su örneklerinin radon aktivite konsantrasyonunu göstermektedir. İkinci terim sudan havaya radonun geçiş oranını göstermektedir.

Üçüncü terim kapalı ortam meşguliyet süresinin 7000 saat olduğunu, son terim ise doz dönüşüm faktörünü göstermektedir (UNSCEAR, 2000).



## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Granitçe zengin bölgelerde yer alan kuyulardan alınan su numunelerinin radon aktivite değerleri AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü kullanılarak 2019 yılı Nisan ayında gerçekleştirilmiştir.

İç Anadolu Bölgesi'nin magmatik kayalardan olan granitik açıdan oldukça zengin Aksaray ili ilçelerinden olan Ortaköy, Sarıyahşi, Ağaçören ilçelerinde ve Salmanlı, Yanyurt, Borucu, Koyak köylerinde bulunan 13 kuyudan alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri incelenmiştir. Ayrıca kuyu sularındaki radon konsantrasyonlarına bağlı yıllık etkin doz değerleri de hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:1                                                                                                                                                  |               |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K1                                                                                             |               |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 44' 11" K, 33° 59' 11" G<br><b>Derinlik:</b> 60 m<br><b>pH:</b> 7,2<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.60 mS cm <sup>-1</sup> |               |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                        | 1.ölçüm       | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                    | 25            | 27      | 64      |
| <b>C<sub>hava</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                 | 103           | 74      | 79      |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                               | 25,2          | 26,6    | 27,1    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                              | 0,835 ± 0,133 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                  | 0,00017       |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                | 0,00209       |         |         |

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi Aksaray’ın Ağaçören ilçesinde bulunan 60 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $0,835 \pm 0,133 \text{ Bq l}^{-1}$  değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak  $0,00017 \text{ } \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak  $0,00209 \text{ } \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 Ortaköy ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:2                                                                                                                                                                                     |                    |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ortaköy İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K2                                                                                                                                 |                    |         |         |
| <b>Koordinat:</b> $38^{\circ} 43' 28'' \text{ K}, 34^{\circ} 01' 34'' \text{ G}$<br><b>Derinlik:</b> 90 m<br><b>pH:</b> 7,2<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> $0.76 \text{ mS cm}^{-1}$ |                    |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                                                           | 1.ölçüm            | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| $C_0 \text{ (Bq m}^{-3}\text{)}$                                                                                                                                                               | 94                 | 144     | 249     |
| $Chava \text{ (Bq m}^{-3}\text{)}$                                                                                                                                                             | 1027               | 1181    | 1096    |
| Ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                                       | 27,4               | 27,5    | 27,5    |
| $C_{ort} \pm S.H \text{ (Bq l}^{-1}\text{)}$                                                                                                                                                   | $11,106 \pm 0,627$ |         |         |
| İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz ( $\mu\text{Sv}$ )                                                                                                                                               | 0,00233            |         |         |
| Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz ( $\mu\text{Sv}$ )                                                                                                                                             | 0,02797            |         |         |

Çizelge 5.2’ de görüldüğü gibi Aksarayın Ortaköy ilçesinde bulunan 90 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $11,106 \pm 0,627 \text{ Bq l}^{-1}$  değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5)

kullanılarak  $0,00233 \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmış solumaya bağılı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak  $0,02797 \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 Sarıyahşi ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| <b>Ölçüm No:3</b>                                                                                                                                                                  |                      |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| <b>Konum:</b> Sarıyahşi İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K3                                                                                                                   |                      |                |                |
| <b>Koordinat:</b> $38^{\circ} 59' 19''$ K, $33^{\circ} 51' 13''$ G<br><b>Derinlik:</b> 102 m<br><b>pH:</b> 7,40<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> $0.38 \text{ mS cm}^{-1}$ |                      |                |                |
| <b>Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri</b>                                                                                                                                        | <b>1.ölçüm</b>       | <b>2.ölçüm</b> | <b>3.ölçüm</b> |
| <b><math>C_0 \text{ (Bq m}^{-3}\text{)}</math></b>                                                                                                                                 | 1192                 | 1725           | 1718           |
| <b><math>Chava \text{ (Bq m}^{-3}\text{)}</math></b>                                                                                                                               | 16197                | 18950          | 15554          |
| <b>Ortalama sıcaklık (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>                                                                                                                           | 24,4                 | 24,7           | 23,8           |
| <b><math>C_{\text{ort}} \pm S.H \text{ (Bq l}^{-1}\text{)}</math></b>                                                                                                              | $171,673 \pm 13,857$ |                |                |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>                                                                                                                   | 0,03605              |                |                |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>                                                                                                                 | 0,43261              |                |                |

Çizelge 5.3' de görüldüğü gibi Aksarayın Sarıyahşi ilçesinde bulunan 102 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $171,673 \pm 13,857 \text{ Bq l}^{-1}$  değeri bulunmuştur. İçmeye bağılı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak  $0,03605 \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmış solumaya bağılı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak  $0,43261 \mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 Sarıyahşi ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:4                                                                                                                                                   |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Sarıyahşi İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K4                                                                                             |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 58' 35" K, 33° 50' 29" G<br><b>Derinlik:</b> 24 m<br><b>pH:</b> 7,80<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.62 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 1187           | 248     | 150     |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 4447           | 2521    | 2041    |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 23,4           | 23,3    | 22,7    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 30,271 ± 9,430 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                   | 0,00635        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                 | 0,07682        |         |         |

Çizelge 5.4' de görüldüğü gibi Aksarayın Sarıyahşi ilçesinde bulunan 24 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 30,271 ± 9,430 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00635 µSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,07682 µSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:5                                                                                                                                                   |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K5                                                                                              |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 52' 20" K, 33° 54' 47" G<br><b>Derinlik:</b> 17 m<br><b>pH:</b> 6.76<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.60 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 610            | 237     | 95      |
| <b>C<sub>hava</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                  | 2060           | 1087    | 941     |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 22,2           | 21      | 21,3    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 13,675 ± 4,582 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00635        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,07628        |         |         |

Çizelge 5.5' de görüldüğü gibi Aksarayın Ağaçören ilçesinde bulunan 17 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 13,675 ± 4,582 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00635 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,07628 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:6                                                                                                                                                   |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K6                                                                                              |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 52' 20" K, 33° 54' 47" G<br><b>Derinlik:</b> 30 m<br><b>pH:</b> 7,40<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 1.08 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 179            | 469     | 370     |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 2227           | 2267    | 2144    |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 22,6           | 23      | 22,5    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 22,961 ± 0,425 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00469        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,05634        |         |         |

Çizelge 5.6' da görüldüğü gibi Aksarayın Ağaçören ilçesinde bulunan 30 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 22,961 ± 0,425 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00469 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,05634 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:7                                                                                                                                                   |               |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K7                                                                                              |               |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 51' 58" K, 33° 55' 15" G<br><b>Derinlik:</b> 72 m<br><b>pH:</b> 7,60<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.79 mS cm <sup>-1</sup> |               |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm       | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 288           | 58      | 177     |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 664           | 632     | 491     |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 23,4          | 23,8    | 23,6    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 5,933 ± 0,622 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                   | 0,00124       |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (µSv)</b>                                                                                                                 | 0,01495       |         |         |

Çizelge 5.7' de görüldüğü gibi Aksarayın Ağaçören ilçesinde bulunan 72 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $5,933 \pm 0,622$  Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00124 µSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,01495 µSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:8                                                                                                                                                   |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K8                                                                                              |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 51' 37" K, 33° 54' 10" G<br><b>Derinlik:</b> 35 m<br><b>pH:</b> 7,40<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.40 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 114            | 517     | 432     |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 2306           | 2731    | 2488    |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 23,5           | 23,4    | 23,1    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 25,369 ± 1,623 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00532        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,06392        |         |         |

Çizelge 5.8' de görüldüğü gibi Aksarayın Ağaçören ilçesinde bulunan 35 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 25,369 ± 1,623 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00532 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,06392 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9 Ağaçören ilçesindeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:9                                                                                                                                                   |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Ağaçören İlçesi (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K9                                                                                              |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 52' 29" K, 33° 54' 39" G<br><b>Derinlik:</b> 24 m<br><b>pH:</b> 7,40<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.40 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 500            | 413     | 53      |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 2387           | 2210    | 1716    |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 23             | 23,5    | 23,9    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 21,257 ± 2,260 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00446        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,05356        |         |         |

Çizelge 5.9' da görüldüğü gibi Aksarayın Ağaçören ilçesinde bulunan 24 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 21,257 ± 2,260 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00446 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,05356 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10 Koyak Köyündeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:10                                                                                                                      |                 |         |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|---------|
| Konum: Koyak Köyü (Aksaray)<br>Kuyu Kodu: K10                                                                                    |                 |         |         |
| Koordinat: 38° 33' 21" K, 34° 07' 55" G<br>Derinlik: 32 m<br>pH: 7,40<br>Elektriksel iletkenlik (E.İ.): 0.92 mS cm <sup>-1</sup> |                 |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                             | 1.ölçüm         | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| C <sub>0</sub> (Bq m <sup>-3</sup> )                                                                                             | 22              | 45      | 2281    |
| Chava (Bq m <sup>-3</sup> )                                                                                                      | 36              | 9356    | 11076   |
| Ortalama sıcaklık (°C)                                                                                                           | 24,2            | 24,4    | 23,8    |
| C <sub>ort</sub> ±S.H (Bq l <sup>-1</sup> )                                                                                      | 69,156 ± 45,960 |         |         |
| İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)                                                                                              | 0,01452         |         |         |
| Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)                                                                                            | 0,17431         |         |         |

Çizelge 5.10' da görüldüğü gibi Aksarayın Koyak köyünde bulunan 32 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 69,156 ± 45,960 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,01452 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,17431 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11 Yanyurt Köyündeki kuyu suyuna ait veriler

| <b>Ölçüm No:11</b>                                                                                                                                           |                |                |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Konum:</b> YanYurt Köyü (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K11                                                                                                |                |                |                |
| <b>Koordinat:</b> 38° 36' 17" K, 34° 07' 53" G<br><b>Derinlik:</b> 52 m<br><b>pH:</b> 7,50<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.62 mS cm <sup>-1</sup> |                |                |                |
| <b>Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri</b>                                                                                                                  | <b>1.ölçüm</b> | <b>2.ölçüm</b> | <b>3.ölçüm</b> |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 676            | 326            | 269            |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 3570           | 2407           | 2369           |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 24,8           | 24             | 23,8           |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 28,090 ± 5,270 |                |                |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00589        |                |                |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,07078        |                |                |

Çizelge 5.11' de görüldüğü gibi Aksarayın Yanyurt köyünde bulunan 52 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve 28,090 ± 5,270 Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00589 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,07078 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12 Boruca Köyündeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:12                                                                                                                      |               |         |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|---------|
| Konum: Borucu Köyü (Aksaray)<br>Kuyu Kodu: K12                                                                                   |               |         |         |
| Koordinat: 38° 35' 35" K, 34° 06' 24" G<br>Derinlik: 60 m<br>pH: 7,30<br>Elektriksel iletkenlik (E.İ.): 0.59 mS cm <sup>-1</sup> |               |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                             | 1.ölçüm       | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| C <sub>0</sub> (Bq m <sup>-3</sup> )                                                                                             | 206           | 47      | 31      |
| Chava (Bq m <sup>-3</sup> )                                                                                                      | 612           | 177     | 92      |
| Ortalama sıcaklık (°C)                                                                                                           | 23,8          | 24,2    | 23,1    |
| C <sub>ort</sub> ±S.H (Bq l <sup>-1</sup> )                                                                                      | 2,916 ± 2,102 |         |         |
| İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)                                                                                              | 0,00061       |         |         |
| Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)                                                                                            | 0,00734       |         |         |

Çizelge 5.12' de görüldüğü gibi Aksarayın Borucu köyünde bulunan 60 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $2,916 \pm 2,102$  Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00061 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,00734 μSv olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.13 Çekiçler Köyündeki kuyu suyuna ait veriler

| Ölçüm No:13                                                                                                                                                  |                |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Konum:</b> Çekiçler Köyü (Aksaray)<br><b>Kuyu Kodu:</b> K13                                                                                               |                |         |         |
| <b>Koordinat:</b> 38° 36' 22" K, 34° 05' 03" G<br><b>Derinlik:</b> 40 m<br><b>pH:</b> 7,30<br><b>Elektriksel iletkenlik (E.İ.):</b> 0.77 mS cm <sup>-1</sup> |                |         |         |
| Ölçüm Verilerinin Ortalama Değerleri                                                                                                                         | 1.ölçüm        | 2.ölçüm | 3.ölçüm |
| <b>C<sub>0</sub> (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                     | 1052           | 216     | 144     |
| <b>Chava (Bq m<sup>-3</sup>)</b>                                                                                                                             | 2296           | 1484    | 1508    |
| <b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>                                                                                                                                | 25,5           | 23,4    | 19,6    |
| <b>C<sub>ort</sub>±S.H (Bq l<sup>-1</sup>)</b>                                                                                                               | 17,609 ± 3,311 |         |         |
| <b>İçmeye Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                   | 0,00369        |         |         |
| <b>Solumaya Bağlı Yıllık Etkin Doz (μSv)</b>                                                                                                                 | 0,04437        |         |         |

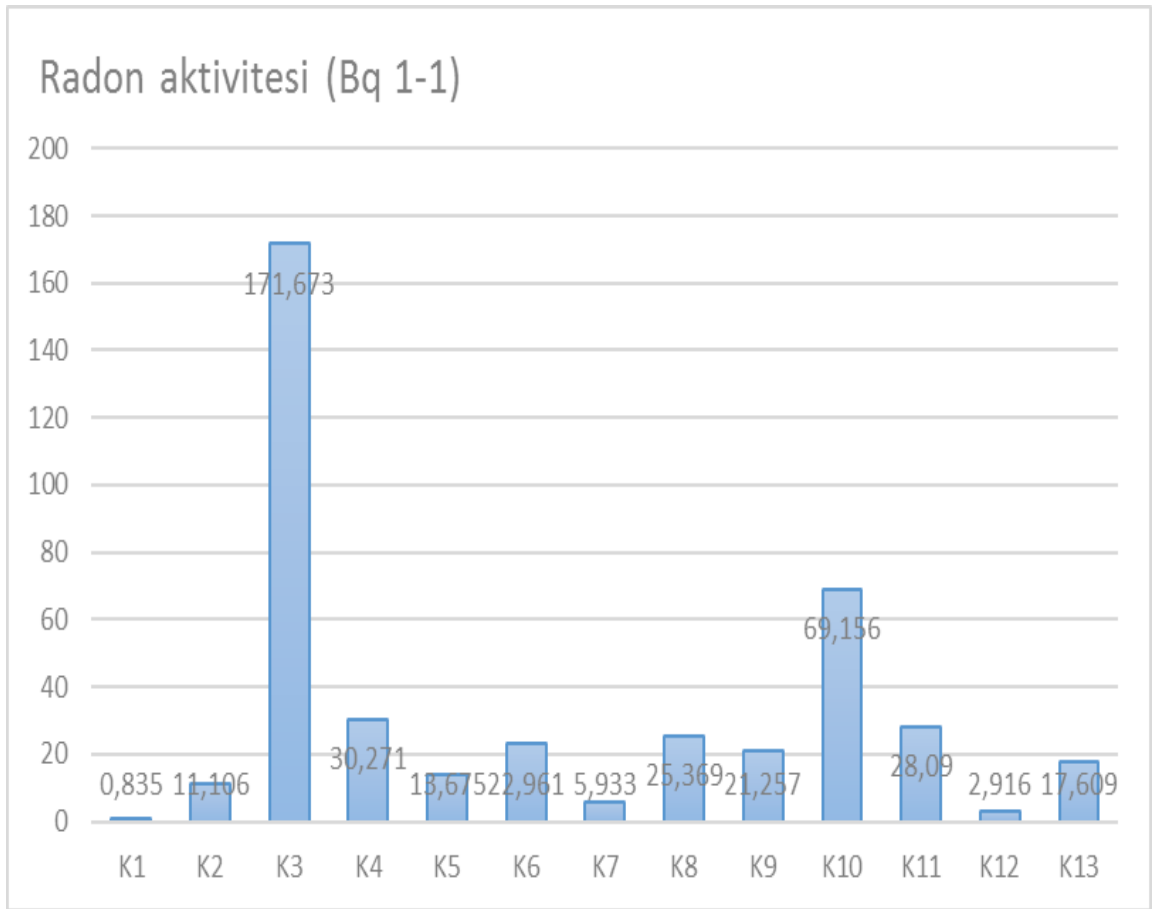
Çizelge 5.13' de görüldüğü gibi Aksarayın Çekiçler köyünde bulunan 40 m derinliğe sahip kuyu suyundan alınan su numunelerinin radon aktivite konsantrasyonu Denklem (4.1) ile standart hata ise Denklem (4.4) ile hesaplanmış ve  $17,609 \pm 3,311$  Bq l<sup>-1</sup> değeri bulunmuştur. İçmeye bağlı alınan etkin doz tahminleri Denklem (4.5) kullanılarak 0,00369 μSv olarak hesaplanmış solumaya bağlı etkin doz tahminleri ise Denklem (4.6) kullanılarak 0,04437 μSv olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmadan 13 farklı derinlikteki noktadan alınan kuyu sularından elde edilen radon aktivite seviyeleri 0.83 – 171.67 Bq l<sup>-1</sup> aralığında ölçülmüştür. Bu kuyu sularının tüketilmesi sonucunda radon kaynaklı alınan doz tahminleri içme yoluyla tüketim için 0,00017 - 0,03605 μSv aralığında, soluma için ise 0,00209 - 0,43261 μSv aralığında

hesaplanmıştır. Ayrıca bu su numuneleri için pH ve elektriksel iletkenlik değerleri de ölçülmüştür. Elde edilen tüm sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.14' de verilmiştir. Bu kuyu sularından alınan numuneler için kuyu kodlarına karşı Bq l<sup>-1</sup> biriminde radon aktivite konsantrasyonları Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 Ölçüm yapılan tüm kuyu suyu numuneleri için kuyu kodları, derinlikleri, tüketime bağlı etkin dozlar, pH değerleri, elektriksel iletkenlik ve radon aktivite konsantrasyonları

| Numara | Kod | Radon Aktivitesi<br>(kBq m <sup>-3</sup> ±SH) | Derinlik<br>(m) | Etkin Doz<br>(μSv) |         | pH  | Elektriksel İletkenlik<br>(mS cm <sup>-1</sup> ) |
|--------|-----|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------|---------|-----|--------------------------------------------------|
|        |     |                                               |                 | Tüketim            | Soluma  |     |                                                  |
| 1      | K1  | 0,835 ± 0,133                                 | 60              | 0,00017            | 0,00209 | 7,2 | 600                                              |
| 2      | K2  | 11,106 ± 0,627                                | 90              | 0,00233            | 0,02797 | 7,2 | 760                                              |
| 3      | K3  | 171,673 ± 13,857                              | 102             | 0,03605            | 0,43261 | 7,4 | 380                                              |
| 4      | K4  | 30,271 ± 9,430                                | 24              | 0,00635            | 0,07682 | 7,8 | 620                                              |
| 5      | K5  | 13,675 ± 4,582                                | 17              | 0,00635            | 0,07628 | 7,3 | 1170                                             |
| 6      | K6  | 22,961 ± 0,425                                | 30              | 0,00469            | 0,05634 | 7,4 | 1080                                             |
| 7      | K7  | 5,933 ± 0,622                                 | 72              | 0,00124            | 0,01495 | 7,6 | 790                                              |
| 8      | K8  | 25,369 ± 1,623                                | 35              | 0,00532            | 0,06392 | 7,4 | 400                                              |
| 9      | K9  | 21,257 ± 2,260                                | 24              | 0,00446            | 0,05356 | 7,4 | 400                                              |
| 10     | K10 | 69,156 ± 45,960                               | 32              | 0,01452            | 0,17431 | 7,4 | 920                                              |
| 11     | K11 | 28,090 ± 5,270                                | 52              | 0,00589            | 0,07078 | 7,5 | 620                                              |
| 12     | K12 | 2,916 ± 2,102                                 | 60              | 0,00061            | 0,00734 | 7,3 | 590                                              |
| 13     | K13 | 17,609 ± 3,311                                | 40              | 0,00369            | 0,04437 | 7,3 | 770                                              |



Şekil 5.1. İç Anadoludaki granitçe zengin bölgelerde yer alan kuyulardan alınan sularının radon aktivite konsantrasyonları

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Ölçüm sonuçlarına göre en yüksek radon aktivite konsantrasyonu K3 kod numarasıyla verilen Sarıyahşi ilçesinde bulunan 102 m derinliğindeki kuyudan alınan numunede  $171,673 \pm 13,857 \text{ Bq l}^{-1}$  olarak, en düşük radon aktivite konsantrasyonu ise K1 kod numarasıyla verilen Ağaçoören ilçesinde 60 m derinliğindeki kuyudan alınan numunede  $0,835 \pm 0,133 \text{ Bq l}^{-1}$  olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir. Kuyu sularından alınan örneklerin radon aktivite konsantrasyonları ile bu kuyuların derinlikleri arasında genel bir ilişki gözlenmemekle birlikte en yüksek radon aktivitesi 102 m derinliğindeki en derin kuyuda ölçülmüştür. Sonuçlara göre, kuyu sularının radon aktivite konsantrasyonları ile bu suların pH seviyeleri arasında da bir ilişki gözlenmemiştir. Yine bu kuyulara ait suların radon aktivite konsantrasyonları ile elektriksel iletkenlikleri arasında genel bir ilişki olmamakla birlikte en yüksek radon aktivite değerine sahip kuyu suyu örneğinin elektriksel iletkenliği en düşük değer olarak  $380 \text{ mS cm}^{-1}$  ölçülmüştür.

Granitçe zengin olan çalışma bölgesindeki kuyu sularının radon aktivite ölçüm sonuçlarının farklı ülkelerdeki kuyu sularında gerçekleştirilen aynı ölçümler ile kıyaslaması yapıldığında, Çizelge 6.1’ de görülen ülkelerden daha yüksek aralıklarda olduğu görülmektedir. Aynı kıyaslama Çizelge 6.2’ de verilen ülkemizdeki benzer çalışmalar için yapıldığında yine bu bölgedeki kuyu sularının radon aktivite değerlerinin daha yüksek aralıklarda olduğu görülmektedir. Bu durum bölgenin granitçe zengin olması ve radyoaktif element içeriğinin yüksek olması ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 6.1 Bazı ülkelerdeki kuyu sularına ait radon aktivite konsantrasyonu sonuçları

| Çalışmayı Gerçekleştiren | Yıl  | Ülke/ Şehir               | Radon Aktivitesi ( $\text{Bq l}^{-1}$ ) |
|--------------------------|------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Gosink ve Ark.           | 1990 | Amerika                   | 39,96                                   |
| Kochowska ve Ark         | 2004 | Polonya                   | 12                                      |
| Comsa ve Ark.            | 2008 | Romanya                   | 0,6 – 112,6                             |
| Moldovan ve Ark.         | 2014 | Romanya - Biher           | 35,5                                    |
| Kasic ve Ark.            | 2016 | Bosna Hersek - Tuzla      | 0,21 – 3,7                              |
| Pisopak ve Bhongsuwan    | 2017 | Güney Tayland - Nanom     | 0,1 - 483                               |
| Alawy ve Hasan           | 2018 | Irak - Karbala            | 2,84 – 4,11                             |
| Bu çalışma               | 2019 | Türkiye (Aksaray bölgesi) | 0.83- 171.67                            |

Çizelge 6.2 Türkiye'nin bazı illerine ait kuyu sularındaki radon aktivite konsantrasyonu sonuçları

| Çalışmayı Gerçekleştiren | Yıl  | Şehir          | Radon Aktivitesi (Bq l <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|------|----------------|----------------------------------------|
| Yalım ve Ark.            | 2007 | Afyonkarahisar | 0,7 – 31,7                             |
| Tarım ve Ark.            | 2011 | Bursa          | 1,46 – 53,64                           |
| Erdoğan ve Ark.          | 2013 | Konya          | 1,44 – 27,45                           |
| Tabar ve Yakut           | 2014 | Yalova         | 0,21 – 5,82                            |
| Bu çalışma               | 2019 | Aksaray        | 0.83- 171.67                           |

Dünya Sağlık Örgütü (D.S.Ö., WHO) içme sularında radon aktivite limitini 100 Bq l<sup>-1</sup> olarak, USEPA ise 11.1 Bq l<sup>-1</sup> olarak tavsiye etmektedir. Çalışma bölgesindeki kuyulardan alınan örneklerin radon aktivite sonuçları Aksaray'ın Sarıyahşi ilçesindeki K3 kodlu kuyudan alınan örnek hariç Dünya Sağlık Örgütü tarafından tavsiye edilen limit değerlerin altında yer almaktadır. Sonuçlar USEPA'nın tavsiye ettiği sınır değerler ile karşılaştırıldığında K1, K2, K7 ve K12 kodlu kuyular hariç diğer kuyulardan alınan numunelerin radon aktivite değerleri bu tavsiye sınırlarının üstünde yer almaktadır.

## 6.2 Öneriler

Suda çözünme özelliğine sahip radon doğal radyasyon kaynaklarından en önemlisidir. Suda çözünmüş radonun içme sularında ya da ev kullanım sularında yüksek seviyelerde olması halk sağlığı bakımından riskler içerebilmektedir. Ülkemizdeki şebeke sularının gerekli kontrollerinin sürekli olarak yapılmasından dolayı risk faktörü oldukça düşüktür. Fakat bireysel olarak sulama amaçlı açılan kuyulardan elde edilen suların halkımız tarafından içme amaçlı ve ev içi kullanımları yüksek radon içeriğine sahipse risk içerebilir. Bu çalışmada sadece 1 kuyu (K3) için elde edilen değer Dünya Sağlık Örgütü tarafından tavsiye edilen limit değerlerin üzerinde iken 9 kuyu (K3, K4, K5, K6, K8, K9, K10, K11, K13) için elde edilen değerler USEPA'nın tavsiye ettiği limit değerinin üzerinde çıkmıştır. Numunelerin alındığı bu kuyular genellikle sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır fakat bazı durumlarda halkımız tarafından içme amaçlı veya ev içi temizliklerde kullanılabilir. Sulama amaçlı açılan kuyuların, özellikle bu bölgede olanların radon aktivite değerinin yüksek seviyelerde olma ihtimaline karşı sadece sulama amaçlı kullanılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akar Tarim, U., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. ve Gundogdu, O., 2011, Evaluation of radon concentration in well and tap waters in Bursa, Turkey, *Radiation protection dosimetry*, 150 (2), 207-212.
- Al-Alawy, I. ve Hasan, A., 2018, Radon Concentration And Dose Assessment In Well Water Samples From Karbala Governorate Of Iraq, *Journal of Physics: Conference Series*, 012117.
- AlphaGUARD, 2012, *ALGU User Manual*
- Anonim, 2019a, Doz Birimleri, [https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2016/FZ%20404/906918682\\_doiz\\_hesabi.pdf](https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2016/FZ%20404/906918682_doiz_hesabi.pdf): [30.07.2019].
- Anonim, 2019b, Radyasyon, [bilgibank.tk/index.php?title=Radyasyon&mobileaction=toggle\\_view\\_desktop](http://bilgibank.tk/index.php?title=Radyasyon&mobileaction=toggle_view_desktop): [30.07.2019].
- BEIR, V., 1999, Health Effects of Exposure to Radon, (Washington, DC: National Academic) National Academy of Sciences National Research Council, 176-177.
- Bem, H., Plota, U., Staniszewska, M., Bem, E. M. ve Mazurek, D., 2014, Radon (<sup>222</sup>Rn) in underground drinking water supplies of the Southern Greater Poland Region, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299 (3), 1307-1312.
- Cosma, C., Moldovan, M., Dicu, T. ve Kovacs, T., 2008, Radon in water from Transylvania (Romania), *Radiation Measurements*, 43 (8), 1423-1428.
- Erdogan, M., Eren, N., Demirel, S. ve Zedef, V., 2013, Determination of radon concentration levels in well water in Konya, Turkey, *Radiation protection dosimetry*, 156 (4), 489-494.
- Erees, F., Aytas, S., Sac, M., Yener, G. ve Salk, M., 2007, Radon concentrations in thermal waters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey, *Radiation Measurements*, 42 (1), 80-86.
- Farai, I. ve Sanni, A., 1992, Year-long variability of <sup>222</sup>Rn in a groundwater system in Nigeria, *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)*, 15 (3-4), 399-403.
- Gillmore, G. K., Phillips, P., Denman, A., Sperrin, M. ve Pearce, G., 2001, Radon levels in abandoned metalliferous mines, Devon, Southwest England, *Ecotoxicology and Environmental safety*, 49 (3), 281-292.
- Gosink, T., Baskaran, M. ve Holleman, D., 1990, Radon in the human body from drinking water, *Health physics*, 59 (6), 919-924.
- Görpe, A., & Cantez, S., 1992, Pratik Nükleer Tıp, *İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri*, p.
- Güllü, B. ve Yıldız, M., 2012, Mamasun (Aksaray) Gabroyidlerinin Petrojenetik Karakteristiği, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (1), 28-42.
- ICRP, 2003, Biological Effects after Prenatal Irradiation (Embryo and Fetus), *ICRP Publication 90. Ann. ICRP*, 33 (1-2).
- ICRP, 2012, *Annals of the ICRP*, 9-12.
- Kasić, A., Kasumović, A., Adrović, F. ve Hodžić, M., 2016, Radon measurements in well and spring water of the Tuzla area, Bosnia and Herzegovina, *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 67 (4), 332-339.
- Kearfott, K. J., 1989, Preliminary experiences with <sup>222</sup>Rn gas in Arizona homes, *Health physics*, 56 (2), 169-179.
- Khattak, N., Khan, M., Shah, M. ve Javed, M., 2011, Radon concentration in drinking water sources of the Main Campus of the University of Peshawar and

- surrounding areas, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 290 (2), 493-505.
- Kochowska, E., Mazur, J., Kozak, K. ve Janik, M., 2004, Radon in well waters in the Kraków area, *Isotopes in environmental and health studies*, 40 (3), 207-212.
- Küre, İ. S., 2017, Granitoid magmasının kristalizasyon ve diferansiasyon süreçleri, Ortaköy (Aksaray) örneği,(Orta Anadolu), *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Marques, A. L., dos Santos, W. ve Geraldo, L. P., 2004, Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors, *Applied radiation and isotopes*, 60 (6), 801-804.
- Moldovan, M., Benea, V., Niță, D., Papp, B., Burghel, B., Bican-Brișan, N. ve Cosma, C., 2014, Radon and radium concentration in water from North-West of Romania and the estimated doses, *Radiation protection dosimetry*, 162 (1-2), 96-100.
- MTA, 2019, Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü: MTA.
- Pisapak, P. ve Bhongsuwan, T., 2017, Radon concentration in well water from Namom district (Southern Thailand): a factor influencing cancer risk, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313 (1), 123-130.
- Schubert, M., Paschke, A., Bednorz, D., Bürkin, W. ve Stieglitz, T., 2012, Kinetics of the water/air phase transition of radon and its implication on detection of radon-in-water concentrations: practical assessment of different on-site radon extraction methods, *Environmental science & technology*, 46 (16), 8945-8951.
- Tabar, E. ve Yakut, H., 2014, Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299 (1), 311-319.
- TAEK, 2019, GÜNLÜK HAYATIMIZDA RADYASYON (RADON VE SİGARA), [https://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_02.html](https://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html): [30.07.2019].
- UNSCEAR, 2000, Exposure Due to Natural Radiation Sources, *United Nations, New York*.
- UNSCEAR, 2008, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes.
- Villalba, L., Sujo, L. C., Cabrera, M. M., Jimenez, A. C., Villalobos, M. R., Mendoza, C. D., Tenorio, L. J., Rangel, I. D. ve Peraza, E. H., 2005, Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico, *Journal of environmental radioactivity*, 80 (2), 139-151.
- Yalım, H. A., Sandıkçıoğlu, A., Ünal, R. ve Orhun, Ö., 2007, Measurements of radon concentrations in well waters near the Akşehir fault zone in Afyonkarahisar, Turkey, *Radiation Measurements*, 42 (3), 505-508.
- Yang, Q., Smitherman, P., Hess, C., Culbertson, C. W., Marvinney, R. G., Smith, A. E. ve Zheng, Y., 2014, Uranium and radon in private bedrock well water in Maine: geospatial analysis at two scales, *Environmental science & technology*, 48 (8), 4298-4306.
- Yıldız, M., Yıldız, A., Kahya, A. ve Gürçan, S., 2014, Kızılkaya (Sevinçli/Aksaray) ignimbiritinin jeolojisi ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (1), 1-8.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İsmail GENÇ  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Aydın-1989  
**Telefon** : 0507-5014431  
**e-mail** : [Smailgenc89@gmail.com](mailto:Smailgenc89@gmail.com)

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                                        | Bitirme Yılı |
|---------------|------------------------------------------------------|--------------|
| Lise          | Selçuklu Atatürk Anadolu Lisesi                      | 2006         |
| Üniversite    | Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Müh.          | 2012         |
| Yüksek Lisans | Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Anabilimdalı | -            |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl  | Kurum            | Görevi       |
|------|------------------|--------------|
| 2018 | LIMAK Holding    | Tünel Şefi   |
| 2017 | İNTEKAR YAPI A.Ş | Şantiye Şefi |
| 2017 | MEGA Holding     | Tünel Şefi   |
| 2016 | PETEK Proje      | Kontrol Müh. |
| 2015 | İMC Proje        | Şantiye Şefi |

### UZMANLIK ALANI

Jeofizik, Jeoloji, Sismik, Radon, Zemin Etüd

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

İsmail GENÇ, Mehmet ERDOĞAN, Oğuzhan Altay YÖNET, Kaan MANISA, Hasan BIRCAN, Veysel ZEDEF, “Radon Activity In Well Water And Radiation Dose Estimation In The Granite-Rich Regions Of Central Anatolia, Turkey”. 5th International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2019).