

**T.C.  
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİLİS İLİ SULARINDA RADON GAZI ÖLÇÜMÜ**

**AYŞE GÜNDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU**

**OCAK 2016**

**KİLİS**

## TEZ ONAYI

Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU danışmanlığında, Ayşe GÜNDOĞAN tarafından hazırlanan “**Kilis İli Sularında Radon Gazı Ölçümü**” adlı tez çalışması ...../...../201.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy..... ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

| <b>Jüri Üyeleri</b> | <b>Unvanı, Adı Soyadı</b>  | <b>İmza</b> |
|---------------------|--|-------------|
| <b>Başkan</b>       | Doç.Dr. Abdurahman ÇETİN<br>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik ABD     |             |
| <b>Üye</b>          | Doç.Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU<br>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik ABD   |             |
| <b>Üye</b>          | Yrd.Doç.Dr. Erdal KÜÇÜKÖNDER<br>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., Teknik Bilimler MYO, Fizik ABD |             |

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ...../...../201.. tarih ve ...../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:.....

Bu tez çalışması Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimi tarafından 2013/02/LTP02 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Yrd.Doç.Dr. Nail İLHAN**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KİLİS İLİ SULARINDA RADON GAZI ÖLÇÜMÜ

Ayşe GÜNDOĞAN

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Cumhuriyet CANBAZOĞLU

Yıl: 2016

Sayfa: 63

Sularda radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığının korunması açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de sularda radon seviyesinin belirlenmesi ile ilgili pek çok çalışma son on yılda yapılmıştır. Bu çalışmada, Kilis il genelinden toplanan 49 adet su örneğinin radon konsantrasyonları CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak kapalı kutu yöntemi ile belirlenmiştir. Kilis il geneli için ortalama radon konsantrasyonu 1,86 Bq/L (standart sapması: 0,09) olarak hesaplanmıştır. Su örneklerinin radon konsantrasyonları 0,69 Bq/L (SS: 0,06) ile 6,93 Bq/L (SS: 0,18) arasında değişmektedir. Bu değerler, içme suları için tavsiye edilen sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve halk sağlığı açısından herhangi bir tehdit oluşturmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radon, CR-39, Su, Kilis.

## ABSTRACT

MSc. Thesis

MEASUREMENTS OF RADON GAS IN WATERS IN THE PROVINCE OF KİLİS

Ayşe GÜNDOĞAN

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

Year: 2016

Page: 63

Determining radioactivity levels in waters is of great importance for the protection of human health. Over the past decade, many studies related to determination of radon levels in waters have been carried out in Turkey. In this study, radon concentrations of 49 water samples collected from Kilis province were determined by using CR-39 passive nuclear track detectors with closed-can technique. The average radon concentration for Kilis province was calculated as 1,86 Bq/L (standart deviation: 0.09). Radon concentrations of the water samples ranged between 0,69 Bq/L (SD: 0.06) and 6,93 Bq/L (SD: 0.18). These values were compared with the recommended limits for drinking water and no risk factor identified to public health.

**Keywords:** Radon, CR-39, Water, Kilis.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılmasında ve sonuçlandırılmasında bana yardımcı olan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi ve danışman hocam Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU'na teşekkür ederim. Radyoaktivite analizlerinin yapıldığı, Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı imkânlarından faydalanmamızı sağlayan Bitlis Eren Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Mahmut DOĞRU hocamıza sonsuz şükranlarımızı sunarız. Radyoaktivite ölçümlerinin yapılması esnasında emeği geçen Bitlis Eren Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL'a çok teşekkür ederiz.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde 2013/02/LTP02 nolu proje ile destek sağlayan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimine teşekkür ederiz.

Son olarak, tezimin tamamlanması sürecinde bana her konuda destek veren sevgili eşim Şerif BAĞIŞ'a ve her türlü desteğini yaşamım boyunca benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayşe GÜNDOĞAN

Kilis, 2016

## İÇİNDEKİLER

|  |          |
|--|----------|
| ÖZET.....  | I        |
| ABSTRACT.....  | II       |
| TEŞEKKÜR.....  | III      |
| İÇİNDEKİLER.....                                       | IV       |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                           | VI       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                   | VII      |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                 | VIII     |
| RESİMLER DİZİNİ.....                                   | IX       |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                   | <b>1</b> |
| 1.1. Radyoaktivite ve Radyasyon .....                  | 2        |
| 1.2. Radyasyon Birimleri.....                          | 3        |
| 1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri.....        | 4        |
| 1.3.1. Radyoaktif Bozunma.....                         | 4        |
| 1.3.2. Bozunma Türleri.....                            | 4        |
| 1.4. Radyasyon Kaynakları.....                         | 7        |
| 1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....                 | 7        |
| 1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....                 | 8        |
| 1.5. Radon ve Özellikleri.....                         | 10       |
| 1.6. Radon İzotopları ve Doğal Radyoaktif Seriler..... | 10       |
| 1.7. Radonun Sağlık Üzerine Etkisi.....                | 11       |
| 1.8. Radonun Bulunduğu Yerler.....                     | 13       |
| 1.8.1. Toprakta Radon.....                             | 13       |
| 1.8.2. Sularda Radon.....                              | 14       |
| 1.8.3. Havada Radon.....                               | 15       |
| 1.9. Radon Gazı Ölçüm Yöntemleri.....                  | 16       |
| 1.9.1. Kısa Dönem Ölçüm Yöntemleri.....                | 16       |
| 1.9.2. Uzun Dönem Ölçüm Yöntemleri.....                | 17       |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.10. Önceki Yapılan Çalışmalar.....                               | 18        |
| <b>2. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>                                  | <b>24</b> |
| 2.1. Bölgenin Tanıtılması.....                                     | 24        |
| 2.2. Materyal.....   | 25        |
| 2.3. Yöntem.....   | 26        |
| 2.3.1. Numunelerin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....         | 26        |
| 2.3.2. CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri.....               | 27        |
| 2.3.3. Kapalı Kutu Tekniği ve Sulardaki Radon Aktivite Hesabı..... | 29        |
| 2.3.4. Sulardaki Efektif Doz Tahmini.....                          | 30        |
| 2.3.5. Standart Sapma.....   | 31        |
| <b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>4. SONUÇLAR.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>5. KAYNAKLAR.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>54</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler:

**Bq:** Becquerel

**Ci:** Curie

**Gy:** Gray

**Sv:** Sievert

### Kısaltmalar:

**ICRP:** Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu

**TAEK:** Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

**UNSCEAR:** Birleşmiş Milletler Radyoaktivite Etkileri Bilimsel Komitesi

**USEPA:** Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

**WHO:** Dünya Sağlık Örgütü



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. Radyoaktif ışımaların şematik gösterimi (Baran, 2013).....   | 3  |
| Şekil 1.2. Alfa bozunumunun şematik gösterimi (Akar, 2010).....   | 5  |
| Şekil 1.3. Nötron bozunmasıyla oluşan beta parçacığı (Gümbür, 2014).....  | 6  |
| Şekil 1.4. Gama bozunumunun şematik gösterimi (Karadem, 2011).....  | 6  |
| Şekil 1.5. Doğal ve yapay radyasyona maruz kalma yüzdeleri (TAEK).....  | 8  |
| Şekil 1.6. Dünya genelinde maruz kalınan doğal radyasyon dozlarının oranları (TAEK).....  | 9  |
| Şekil 1.7. <sup>238</sup> U radyoaktif serisinin bozunma şeması (Dayanıklı, 2004).....  | 12 |
| Şekil 1.8. <sup>232</sup> Th radyoaktif serisinin bozunma şeması (Dayanıklı, 2004).....   | 12 |
| Şekil 2.1. Kilis il ve ilçelerinin harita üzerindeki yerleri.....   | 25 |
| Şekil 2.2. Deneyde kullanılan kapalı kutu yönteminin konfigürasyonu.....  | 29 |
| Şekil 3.1. Kilis il merkezi ve ilçelerdeki mahallelerden alınmış olan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonları (Bq/L).....  | 33 |
| Şekil 3.2. Kilis il merkezi ve ilçelerdeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinin dağılımı.....  | 35 |
| Şekil 3.3. Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından tüketilmesi ile içerdiği radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan efektif doz değerleri [Ding (µSv/yıl) WHO]..... | 36 |
| Şekil 3.4. Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan su örneklerinin içilmesi ile maruz kalınan radon efektif doz değerleri [Ding (µSv/yıl) EPA].....  | 38 |
| Şekil 3.5. Kilis il genelinden toplanan içme suyu örneklerinin içtikleri radonun, ev içindeki hava ortamına transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri [Dinh (µSv/y) EPA].....         | 39 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Çizelge 1.1.</b> Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK).....   | 9  |
| <b>Çizelge 1.2.</b> U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın içme sularında <sup>226</sup> Ra ve <sup>222</sup> Rn konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınır değerleri (Gümbür, 2014).....                    | 15 |
| <b>Çizelge 3.1.</b> Kilis il merkezi ve ilçelerdeki mahallelerden alınmış olan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonları (Bq/L).....   | 33 |
| <b>Çizelge 3.2.</b> Kilis il merkezi ve ilçelerdeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinin dağılımı ve yüzdelik dilimi.....  | 34 |
| <b>Çizelge 3.3.</b> Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından tüketilmesi ile içerdiği radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan efektif doz değerleri [Ding (μSv/yıl) WHO] ..... | 36 |
| <b>Çizelge 3.4.</b> Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan su örneklerinin içilmesi ile maruz kalınan radon efektif doz değerleri [Ding (μSv/yıl) EPA].....   | 37 |
| <b>Çizelge 3.5.</b> Kilis il genelinden toplanan içme suyu örneklerinin içerdikleri radonun, ev içindeki hava ortamına transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri [Dinh (μSv/yıl) EPA].....      | 39 |

## RESİMLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| <b>Resim 2.1.</b> CR-39 algılayıcıların örnek kaplarına yerleştirilmesi.....                         | 27 |
| <b>Resim 2.2.</b> CR-39 filmlerin alüminyum folyolara sarılması ve çit çit poşetlere konulması ..... | 28 |
| <b>Resim 2.3.</b> RADOSYS İz Analiz Sistemi.....   | 28 |
| <b>Resim 2.4.</b> CR-39 filmi üzerinde alfa parçacıklarının bırakmış olduğu izler.....               | 28 |



## 1.GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünya oluşumundan itibaren background seviyesinde radyoaktiftir. Bu yüzden insanoğlu var olduğu sürece doğal radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır ve sürekli olarak doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Radyasyonla ilgili çalışmalar 1896 yılında Henry Becquerel tarafından başlatılmıştır. Radyasyon, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Yaptığı etki bakımından da iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak sınıflandırılır (Akkurt, 2006).

Doğal radyasyon, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda var olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif elementlerden kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozunun yaklaşık %50'sini radon ve onun kısa ömürlü ürünleri oluşturmaktadır. Radon kaynaklı maruz kalınan yıllık doz yaklaşık 1,3 mSv'dir. İnsanlar yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak yılda ortalama 2,4 mSv'lik doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar (UNSCEAR, 2000; Değerlier, 2007).

Canlıların hayatlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan en temel gereksinimlerden biri sudur. Bu yüzden suyun canlılar tarafından içilmesi ve kullanılması sağlık riski taşımayacak şekilde güvenli olmalıdır. İnsanoğlu, su ihtiyacını yer altı ve yüzeysel su kaynaklarından karşılamaktadır. Yer altı suları yüzey sularına göre daha radyoaktiftir. Bunun sebebi yer altı sularının radyoaktif kütlelerle temas halinde olmasındandır (Değerlier, 2007). Suların doğal ortamda saf halde bulunması imkânsızdır. Su için kirlenici olan ve dolayısıyla insan sağlığını tehdit edici özelliğe sahip unsurlardan biri de suların radyoaktivite seviyesidir. Suyun radyoaktif olarak kirlenmesi iki temel yol ile olmaktadır. Bunlarda birisi atmosferde ve toprakta bulunan doğal radyonüklit kaynaklı, diğeri ise nükleer aktiviteler (reaktör kazaları, nükleer silah denemeleri vb.) ve tıbbi radyoaktif atık kaynaklıdır (Kılıç, 2015).

İçme suları standartlarının gerek radyoaktif elementler gerekse metal ve ağır metaller bakımından ulusal veya uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş limitlerin altında bulunması istenir. Radyoaktivite ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmiş düzeylerin üzerinde bulunması ve bu suların uzun süreler kullanılması, toplum sağlığı olumsuz yönde etkileyebilir. Doğal radyoaktif çekirdeklerden  $^{222}\text{Rn}$ , insanların içme

sularını tüketmesi ile maruz kaldıkları radyasyon dozunun en büyük sebebidir (Oliveira et al., 2001; Kılıç, 2015).  $^{222}\text{Rn}$  ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinden kaynaklanan radyasyona maruz kalmanın kanser riskini artırdığı tahmin edilmektedir (Bonavigo and Zucchetti, 2008; Kılıç, 2015).

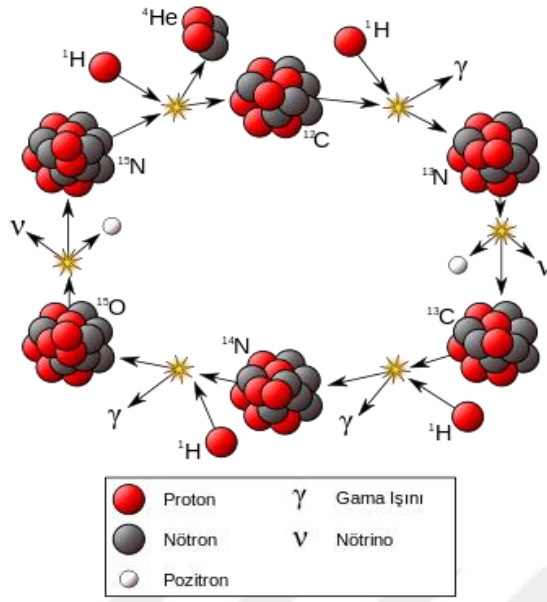
Bu çalışmanın amacı, Kilis il genelindeki mahallelerde içme suyu olarak kullanılan musluk sularının radon konsantrasyonunu belirlemek ve Kilis halkının içme sularındaki radondan dolayı maruz kaldığı radyasyon dozunu hesaplamaktır. Bunun için Kilis ili ve ilçelerindeki mahallelerden alınan su örneklerinin radon konsantrasyonu CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak kapalı kutu yöntemi ile belirlenmiştir. İçme sularındaki radon konsantrasyon değerlerinden, insanların maruz kaldıkları efektif doz değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular limit değerler ile karşılaştırılmış ve halk sağlığı için risk oluşturup oluşturmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma ilk olması bakımından önem arz etmektedir.

### **1.1. Radyoaktivite ve Radyasyon**

Radyoaktivite ilk kez 1896 yılında Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. 1898'de ise Fransız fizikçiler Pierre ve Marie Curie tarafından yapılan deneylerle radyo aktifliğin varlığı ispatlanmıştır (Esmeray, 2005). Radyoaktivite; kararsız bir atom çekirdeğinin ışın ya da parçacık çıkararak daha kararlı başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Şekil 1.1'de radyoaktif ışınlar şematik olarak gösterilmiştir (Baran, 2013).

Radyasyon; dalga, parçacık veya foton olarak isimlendirilen enerji paketleridir. Nükleer bölünme sonucunda ortaya çıkar. İnsanlar sürekli olarak çevresindeki doğal ve yapay radyasyon kaynakları ile etkileşim halindedir. Radyo ve televizyon iletişimini sağlayan radyo dalgaları, tıpta ve endüstride kullanılan x-ışınları, güneş ışınları vb. günlük hayatımızda etkisinde kaldığımız radyasyon kaynaklarından bazılarıdır (Akkurt, 2006).

Radyasyon, maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atom veya moleküllerle çarpışır. Madde üzerinde meydana getirdiği etkilere göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır (Zorer, 2006).



Şekil 1.1. Radyoaktif ışımaların şematik gösterimi (Baran, 2013)

**i) İyonlaştırıcı Radyasyon:** Madde atomları ile etkileşime girdiğinde iyonlaşma meydana getiren radyasyonlardır. Alfa ve beta parçacıkları, nötronlar, X ve Gama ışınları bu tür radyasyonlara örnektir.

**ii) İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon:** Madde atomları ile etkileşime girdiğinde iyonlaşma meydana getirmeyen radyasyonlardır. Bu tür radyasyonlara örnek olarak mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ışık, morötesi ışık, radyo ve televizyon dalgaları verilebilir (Doğan, 2011).

## 1.2. Radyasyon Birimleri

Radyoaktivite birimleri; Aktivite birimi, Işınlama birimi, Absorblanan doz birimi ve Eşdeğer doz birimi olmak üzere dörde ayrılır.

**i) Aktivite Birimi:** Birimi Becquerel'dir ve saniyede 1 bozunma gerçekleştiren radyoaktif maddenin aktivitesidir. Önceden kullanılan aktivite birimi Curie'dir ve 1 saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunma gerçekleştiren radyoaktif maddenin aktivitesi olarak tanımlanmaktadır.

**ii) Işınlama Birimi:** Birimi Röntgen'dir ve normal hava şartlarında ( 0 °C ve 760 mm Hg basıncında) havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk pozitif ya da negatif elektrik yüklü iyonlar meydana getiren X ve  $\gamma$  radyasyon miktarıdır.

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$$

**iii) Absorblanan Doz Birimi:** SI birim sisteminde absorblanan doz birimi Gray (Gy)'dir ve 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule'luk enerji veren radyasyon dozudur. Eski birimi rad olup 1 rad, herhangi bir maddenin gram başına düşen 100 erg'lik enerji soğurumudur.

$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/kg}, 1\text{rad} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 100 \text{ erg/g}$$

**iv) Eşdeğer Doz Birimi:** İyonlaştırıcı radyasyonların bütün vücuda yaptığı biyolojik etkilerin bir ölçüsüdür. Eşdeğer doz birimi Joule/kg olup, Sievert (Sv) adı verilmiş ve absorbanmış doz ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır. Eski birimi rem (Röntgen Equivalent Man)'dir. Sievert ile rem arasındaki bağıntı;

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}, 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem'dir.}$$

### 1.3. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri

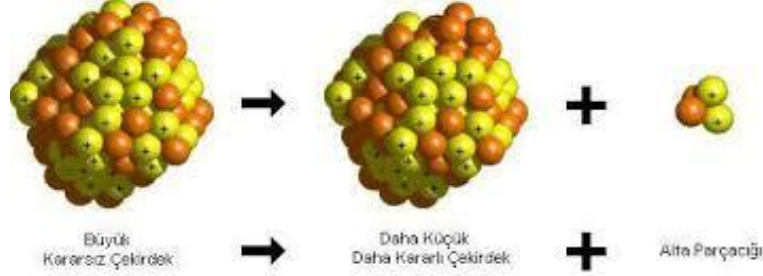
#### 1.3.1. Radyoaktif Bozunma

Radyoaktif bozunma fazla enerjisi olan çekirdeğin elementler ya da elektromanyetik parçacıklar yayma yoluyla değişime uğramasıdır. Kararsız atom çekirdeklerinin alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) ışınması yaparak daha kararlı çekirdeklere dönüşmesi olayına radyoaktif bozunma denir (Doğan, 2011).

#### 1.3.2. Bozunma Türleri

Kararsız atom çekirdekleri radyoaktif bozunmaya uğrarken belirli birkaç yol takip eder. Bazen kararsız atom çekirdeklerinin bozunması iki veya daha fazla yolla gerçekleşebilir. Bilinen radyoaktif bozunma şekilleri şunlardır: alfa ( $\alpha$ ) bozunumu, beta ( $\beta^-$ ) bozunumu, gama ışını yayınlanması ( $\gamma$ -yayma) ve nötron yayınlanması (n-yayma)'dır.

### i) Alfa Bozunumu



Şekil 1.2. Alfa bozunumunun şematik gösterimi (Akar, 2010)

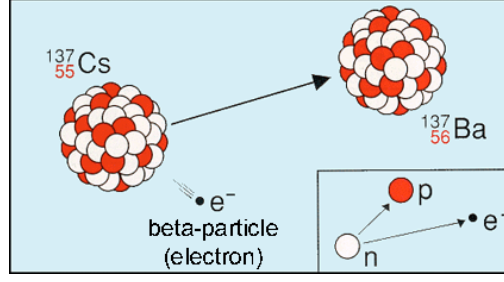
Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayınlamaya uğrar. Alfa bozunumu sürecinde bozulan çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır (Denklem 1.1). Alfa parçacığı aslında iki kez iyonlaşmış helyum atomudur. Alfa bozunumunun şematik gösterimi Şekil 1.2’de verilmiştir (Akar, 2010).

### ii) Beta Bozunumu

Çekirdekteki yük dağılımı kararsızlığı nedeniyle fazla protonun nötrona veya fazla nötronun protona dönüşmesi sonucu sırası ile pozitron ya da elektron yayınlaması meydana gelir. Yayınlanan bu radyasyona beta radyasyonu denilir (Gümbür, 2014). Beta parçacıkları pozitif ve negatif yüklü olabilirler. Çekirdek içindeki nötron fazla ise yayınlanan elektron negatif yüklü olur ve  $\beta^-$  ile gösterilir. Eğer çekirdekteki proton fazla ise yayınlanan parçacıklar pozitif yüklü olur ve pozitron adını alır ve  $\beta^+$  ile gösterilir (Baykara, 2005).  $\beta^-$  ve  $\beta^+$  bozunumları sırası ile Denklem (1.2) ve Denklem (1.3)’de verilmiştir. Nötron bozunmasıyla oluşan beta parçacığı Şekil 1.3’de gösterilmiştir (Gümbür, 2014) .



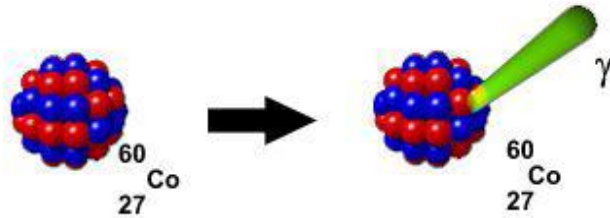




Şekil 1.3. Nötron bozunmasıyla oluşan beta parçacığı (Gümbür, 2014)

### iii) Gama Işınması

Elektromanyetik radyasyon foton olarak adlandırılan enerji paketleridir ve sahip oldukları enerjiye göre elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerinde bulunurlar. Elektromanyetik radyasyon olan gama ışınlarının enerjileri elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kısmındadır. Gama yayınlanması optik veya x-ışınları geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlanmasına benzer. Gama ışınlarının kaynağı çekirdektir. Nükleer durumlar arasındaki geçişlerde yayınlanırlar. Uyarılmış bir durum, daha küçük bir uyarılmış duruma veya taban duruma iki durum arasındaki fark kadar bir enerjiye sahip gama ışını (foton) yayınlayarak geçer. Yani, dışarı salınan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar bir enerji farkıyla geçer. Gama yayınlanmasının yarı ömrü çok kısadır ve genellikle  $10^{-9}$  saniyeden daha küçüktür. Bununla birlikte saat hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanmaları da vardır. Gama yayınlanması kütle numarası 5'den büyük tüm çekirdeklerde gözlenir (Krane, 2001; Doğan, 2011). Gama bozunumunun şematik gösterimi Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Gama bozunumunun şematik gösterimi (Karadem, 2011)

#### iv) Nötron Yayınlanması

Nötron, kütlesi hemen hemen protonun kütlesine eşit yüksüz bir nükleondur. Radyoaktif bozunma sonucunda oluşmazlar. Bununla birlikte, çekirdekten nötron yayılımı sadece bölünme olayı sonucunda olur. Bu olay, ağır çekirdeğin nötron bombardımanı sonucunda ikiye bölünmesi ve birden fazla nötron ile birlikte büyük bir enerjinin açığa çıkmasıdır. Nötronlar yüksüz olmaları nedeniyle, madde içine kolayca nüfuz edebilir ve atomun elektron yapısından geçebilir (Baykara, 2005).

### 1.4. Radyasyon Kaynakları

Çevremizdeki radyasyon kaynakları doğal ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 1.5’de doğal ve yapay radyasyona maruz kalma yüzdeleri verilmektedir.

#### 1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanlar her zaman yeryüzünde var olan karasal radyonüklitler ve uzaydan gelen kozmik ışınlardan dolayı iyonize edici radyasyonlara maruz kalırlar. Karasal radyonüklitler  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerine ait olan radyonüklitler ve  $^{40}\text{K}$ ’dır. Toprakta, suda ve bina yapı malzemelerinde bulunurlar. Sindirim ve solunum yoluyla insan vücuduna geçer, çeşitli organ ve dokularda birikir ve doz etkisi meydana getirirler. Karasal gama radyasyonu ve dış uzaydan gelen kozmik ışınlar ise doğrudan maruz kalma sonucu canlılarda doz etkisi oluştururlar.

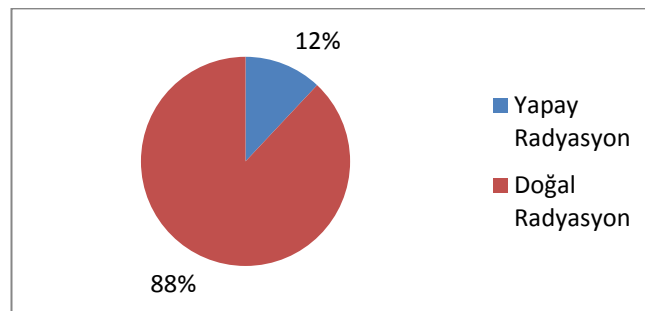
**i) Kozmik Radyasyonlar:** Dünyamız sürekli olarak uzaydan yüksek enerjili parçacıklar tarafından bombardıman edilmektedir. Bu yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Kozmik ışınların yoğunluğu yerin manyetik alanı ve yüksekliğe bağlı olarak değişir. Yüklü parçacık olan protonlar atmosfere yaklaştıkça yerin manyetik alanı ile etkileşirler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Dolayısıyla insanların maruz kaldığı kozmik radyasyon enlem arttıkça artar. Kozmik ışın kaynaklı yer seviyesindeki yıllık etkin doz UNSCEAR raporlarında 0,4 mSv’dir. Bununla birlikte yüksek enerjili kozmik ışınlar ait nötron ve protonlar atmosferin alt tabakalarındaki elementlerle etkileşerek trityum,

karbon-14, berilyum-7 ve sodyum-22 gibi radyoizotoplar oluşturabilmektedir. Oluşan bu radyoaktif izotoplar solunum ve sindirim yolu ile iç ışınlamaya neden olurlar. Trityum, berilyum-7, sodyum-22 ve karbon-14 için ortalama yıllık etkin doz değerleri sırası ile 0,01  $\mu\text{Sv}$ , 0,03  $\mu\text{Sv}$ , 0,15  $\mu\text{Sv}$  ve 12  $\mu\text{Sv}$  olarak tahmin edilmektedir (TAEK).

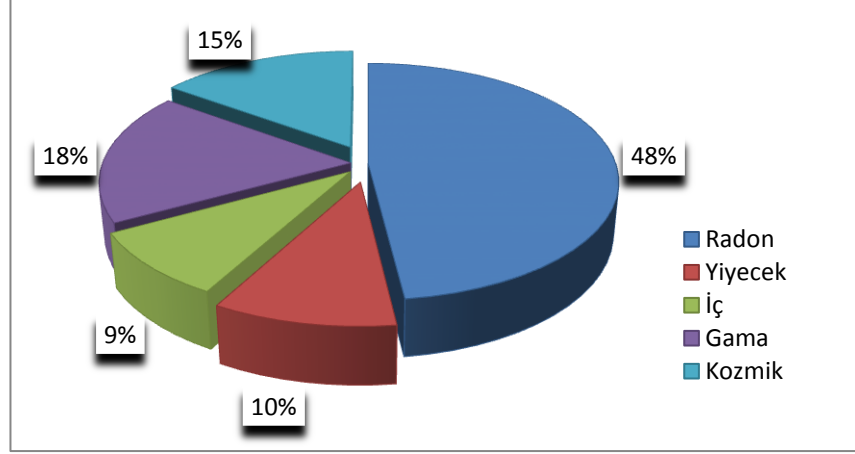
**ii) Karasal Radyasyonlar:** Dünyanın oluşumundan bu yana var olan karasal radyonüklitler, vücudumuzu dış ve iç ışınlamaya maruz bırakırlar. Dış ışınlamalar yeryüzünde var olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  serilerine ait olan radyonüklitler ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopundan yayınlanan gama ışınlarından kaynaklanır. Bu radyonüklitler vücut içerisinde bulunmakta ve radyasyon yayarak çeşitli organları iç ışınlamaya maruz bırakmaktadır. Karasal radyonüklitler kaya ve toprak katmanlarında değişik konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte yer kabuğunun ağırlık olarak %2.4'ünü oluşturan  $^{40}\text{K}$ 'in aktivite konsantrasyonu genellikle  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'den büyüktür. UNSCEAR 2000 raporuna göre toprakta bulunan doğal radyonüklitlerin ortalama aktivite konsantrasyonları  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırası ile 35, 35, 45 ve 400 Bq/kg'dır (TAEK). Şekil 1.6'da dünya genelinde maruz kalınan doğal radyasyon dozlarının oranları verilmiştir. Çizelge 1.1'de ise dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri gösterilmektedir (TAEK).

#### 1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Nükleer enerji ve bilimin gelişmesi, yapay radyasyon kaynaklarının üretimini mümkün hale getirmiştir. Bilinen başlıca yapay radyasyon kaynakları tıbbi uygulamalar, tanısal radyoloji, nükleer tıp, radyoterapi, endüstriyel uygulamalar, nükleer serpinti, nükleer güç santralleridir (Akkurt, 2006; TAEK).



Şekil 1.5. Doğal ve yapay radyasyona maruz kalma yüzdeleri (TAEK)



Şekil 1.6. Dünya genelinde maruz kalınan doğal radyasyon dozlarının oranları (TAEK)

Çizelge 1.1. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK)

| Işınlanma Kaynağı                     | Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv) |                 |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|                                       | Ortalama                      | Değişim Aralığı |
| <b>Kozmik Radyasyon</b>               |                               |                 |
| • Foton bileşeni                      | 0,28                          |                 |
| • Nötron bileşeni                     | 0,10                          | 0,3 - 0,1       |
| • Kozmojenik Radyoizotoplar           | 0,01                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | <b>0,39</b>                   |                 |
| <b>Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınımlar</b> |                               |                 |
| • Bina İçi                            | 0,07                          |                 |
| • Bina Dışı                           | 0,41                          | 0,3 – 0,6       |
| <b>Toplam</b>                         | <b>0,48</b>                   |                 |
| <b>Solunum Yolu İle Işınlanma</b>     |                               |                 |
| • Uranyum ve Toryum Serileri          | 0,006                         |                 |
| • Radon (Rn-222)                      | 1,15                          | 0,2 – 10        |
| • Toron (Rn-220)                      | 0,10                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | <b>1,26</b>                   |                 |
| <b>Beslenme Yolu İle Işınlanma</b>    |                               |                 |
| • K-40                                | 0,17                          |                 |
| • Uranyum ve Toryum Serileri          | 0,12                          | 0,2 – 0,8       |
| <b>Toplam</b>                         | <b>0,29</b>                   |                 |
| <b>Genel Toplam</b>                   | <b>2,4</b>                    | <b>1 – 10</b>   |

### 1.5. Radon ve Özellikleri

Radon, suda çözünürlüğü yüksek, kimyasal olarak inert olan renksiz, tatsız ve kokusuz radyoaktif bir gazdır. 3,82 gün yarılanma ömrüne sahiptir (Baykara ve Doğru, 2006). Radon,  $^{238}\text{U}$  serisinin içerisinde ve kendisinden önce gelen  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bir alfa vererek bozunmasından ortaya çıkmaktadır. Bu elemente Radium'dan sonra keşfedildiği için Radon adı verilmiştir. Radon, periyodik cetvelde asal gazlar grubunda (8A grubu) ve 6. periyotta yer almaktadır (Akkurt, 2006). Erime noktası  $-71^{\circ}\text{C}$ , kaynama noktası ise  $-62^{\circ}\text{C}$ 'dir. Radonun bilinen izotopları  $^{220}\text{Rn}$  (toron) ve  $^{219}\text{Rn}$ 'un (aktinon) yarı ömürleri çok kısa olup sırasıyla 55,6 saniye ve 3.96 saniyedir (Özdemir, 2006).

Radon; toprak ve kayalarda, atmosferde, sulara ve binalarda kullanılan malzemelerde mevcuttur. Radon ve toronun kısa ömürlü bozunma ürünlerinin solunması, yutulması veya başka yollarla insan vücuduna girmesi radonla ilgili sağlık riski oluşturur. Radyasyon dozunun solunmasından dolayı meydana gelen sağlık hasarı radon kızlarının karmaşık bir fonksiyonudur (ICRP, 1987). Radon gazı teneffüs edildiğinde, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olur (Özdemir, 2006).

### 1.6. Radon İzotopları ve Doğal Radyoaktif Seriler

Doğal background radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda var olan  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunması sonucu oluşan radon gazıdır. Radyoaktif bir gaz olan radon kayalardaki çatlaklardan toprak yüzeyine doğru yükselir ve bina içi gibi kapalı ortamlarda birikir. Havalandırması iyi olan kapalı ortamlarda sağlık açısından sorun oluşturma riski oldukça düşüktür. Bu nedenle havalandırması iyi olmayan evlerin radon konsantrasyonları dışarıdakinden oldukça yüksek olabilir. Radon gazının teneffüs edilmesi, akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama radyasyon dozu  $1.3 \text{ mSv/yıl}$ 'dır (Özdemir, 2006).

Radon'un  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  (toron),  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Radon, en ağır doğal radyoaktif element olan  $^{238}\text{U}$ 'nun radyoaktif bozunma serisinin bir üyesidir. Radonun diğer iki izotopu  $^{220}\text{Rn}$  ( $t_{1/2}= 55,6$  saniye) ve  $^{219}\text{Rn}$  ( $t_{1/2}= 3,96$  saniye) sırasıyla toryum ( $^{232}\text{Th}$ ) ve aktinyum ( $^{235}\text{U}$ ) serisinin üyeleridir.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif

serisinin bozunma şemaları Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de verilmiş ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır (Dayanıklı, 2004).

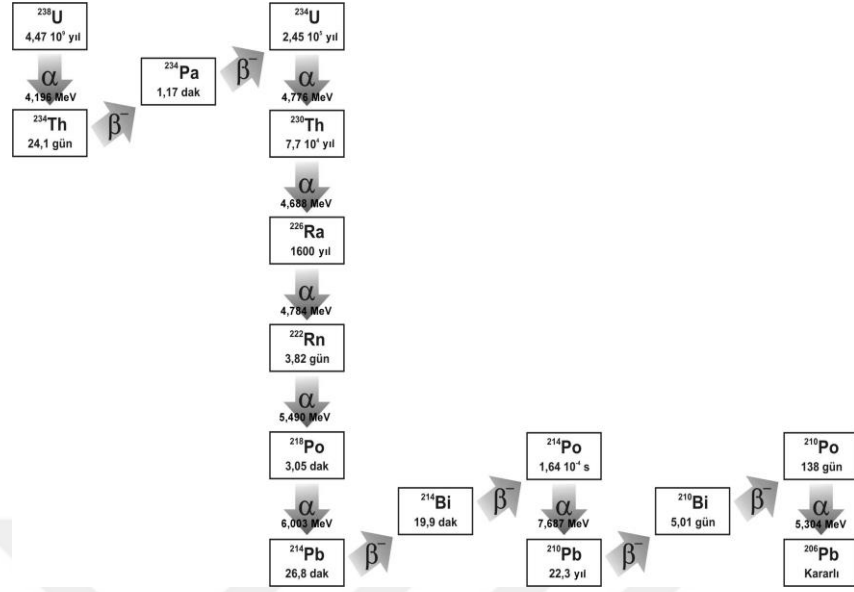
**i) Uranyum Serisi:** Uranyum radyoaktif serisinin ana elemanı  $^{238}\text{U}$ 'dur. Bu seri 8 alfa ve 6 beta radyoaktif bozunumu içerir. Başlıca kız çekirdekler, sırası ile Toryum-234, Protaktinyum-234, Uranyum-234, Toryum-230, Radyum-226, Radon-222, Polonyum-218, Kurşun-214, Bizmut-214, Polonyum-214, Kurşun-210, Bizmut-210, Polonyum-210 ve son olarak kararlı Kurşun-210 izotopudur (Dayanıklı, 2004).

**ii) Toryum Serisi:** Toryum radyoaktif bozunum serisinin ana elemanı  $^{232}\text{Th}$ 'dir. Toryum serisinin ürün radyonüklitleri sırasıyla Radyum-228, Aktinyum-228, Toryum-228, Radyum-224, Radon-220, Polonyum-216, Kursun-212, Bizmut-212, Polonyum-212, Talyum-208 ve son olarak kararlı Kursun-208 izotopudur (Dayanıklı, 2004).

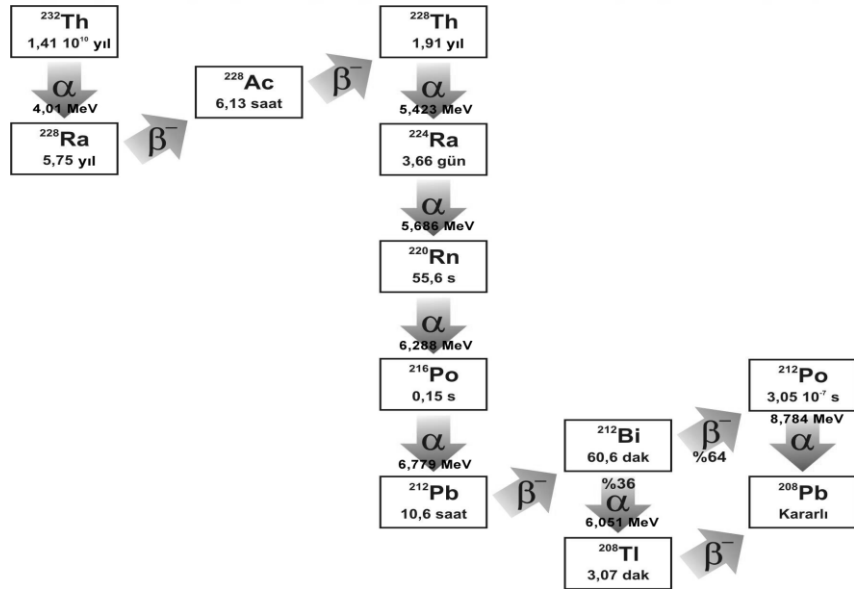
### 1.7. Radonun Sağlık Üzerine Etkisi

Radon ve bozunma ürünleri, uranyum içeren kayalardan ve topraktan difüzyon ve konveksiyon yoluyla sızarak havaya yayılır. Atmosferdeki radonun bozunma ürünleri pozitif yüklü serbest iyonlar halindedir. Bu iyonlar toz parçacıkları halinde yayılarak su damlacıkları ve oksijen molekülleriyle bir araya gelerek gruplanırlar. Havadaki aerosoller solunum yoluyla vücuda girer, trake, bronşlar ve alveollere yerleşerek akciğer ve doku hücrelerini radyasyona maruz bırakırlar. Doğal kaynaklardan insan akciğerlerinin maruz kaldığı radyasyon dozunun %57 oranındaki bölümü radon ve bozunma ürünlerinin solunumundan dolayıdır (Revan, 2010).

Solunum sistemindeki radon ve bozunma ürünleri, kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam etmekte ve akciğerlerin radyasyon dozuna maruz kalmasına sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı da zamanla akciğer kanserine yakalanma riski artmaktadır. Solunum sistemdeki radyasyon dozu, solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünlerin yoğunluğuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır (TAEK).



Şekil 1.7.  $^{238}\text{U}$  radyoaktif serisinin bozunma şeması (Dayanıklı, 2004)



Şekil 1.8.  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif serisinin bozunma şeması (Dayanıklı, 2004)

## 1.8. Radonun Bulunduğu Yerler

Radonun ana kaynağı yer küredir. Biyosfer tabakasında serbest halde bulunan radon difüzyon ve çözünme yoluyla havaya kolaylıkla taşınır. Bu taşınma esnasında radon, kaynaklandığı uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, sularda ve havada değişik yoğunluklarda bulunabilir (Demirel, 2013).

### 1.8.1 Toprakta Radon

Toprakta bulunan doğal radyonüklitler ( $^{238}\text{U}$  serisi,  $^{232}\text{Th}$  serisi,  $^{235}\text{U}$  serisi ve  $^{40}\text{K}$  gibi) toprağın background seviyesinde radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Radonun  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$  olmak üzere üç izotopu vardır ve bu izotoplar sırası ile  $^{238}\text{U}$  radyoaktif serisinin,  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif serisinin ve  $^{235}\text{U}$  radyoaktif serisinin üyeleridir. Dolayısıyla topraktaki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{235}\text{U}$ 'in varlığı radon konsantrasyonu etkiler. Bu izotoplar içerisinde en az öneme sahip olanı  $^{219}\text{Rn}$ 'dir çünkü onun atası olan  $^{235}\text{U}$  diğer radyonüklitlere nazaran yer kabuğunda az bulunur.  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  radyoaktif serilerinin üyesi olan  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{222}\text{Rn}$ 'nin topraktaki üretim hızı pratikte hemen hemen aynıdır.  $^{220}\text{Rn}$ 'nin yarı ömrü ( $t_{1/2}=55,6$  saniye)  $^{222}\text{Rn}$ 'nin yarı ömründen ( $t_{1/2}=3,82$  gün) küçük olduğu için  $^{222}\text{Rn}$  çevreye daha çok yayılır. Bu nedenle radon izotopları içerisinde en önemlisi  $^{222}\text{Rn}$  olarak kabul edilir (Canbazoğlu, 2004).

Doğal radyonüklitler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak parçalanır ve topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olurlar. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut uranyum zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik, demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyonüklitlerin konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Toprak içinde bulunan doğal radyonüklitler, toprak içindeki oranlarına göre çevrenin doğal radyasyon seviyesini değiştirirler ve aynı oranda da insanların doğal radyasyona maruz kalmasına sebep olurlar (Dayanıklı, 2004).



### 1.8.2. Sularda Radon

Sular, etrafında bulunan toprak ve kayalar ile devamlı etkileşim halindedir. Bu sebeple toprak ve kayalarda bulunan radyoaktif izotopların sulara geçme olasılıkları son derece yüksektir. Bu nedenle toprağın içerdiği radyoaktif materyallerin suların radyoaktivite seviyesi üzerine önemli etkileri vardır. Yeraltı sularının yüzey sularından daha radyoaktif olması, temas ettikleri radyoaktif kütleler veya minerallerden ileri gelmektedir. Sularda en fazla uranyum bozunma serisine ait  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  bulunmaktadır.  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  alfa radyasyonu yayınlamaya azalır.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunma ürünü olan  $^{222}\text{Rn}$ , yer altı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunabilir. Sularda bulunan radon gazının kaynağını sularda çözünmüş radyum tuzları oluşturur. Yer altı sularında aktinyum serisine ait radyonüklitleri tespit etmek hemen hemen imkânsızdır.  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{228}\text{Ra}$  radyonüklitleri sularda detekte edilebilecek miktarlarda bulunmasına rağmen, bu aileden olan  $^{220}\text{Rn}$ 'nin çok kısa yarı ömrü, su ve kayalarda birikmesine olanak vermemektedir. Suların çözücülük, taşıyıcılık ve çöktürme gibi karakteristik özellikleri, suların doğal radyoaktivitesini etkilemektedir (Özdemir, 2013).

İnsanoğlu yaşamı boyunca en fazla suya ihtiyaç duyar. Su, doğada bulunan tüm canlılar için gerekli olan en temel gereksinimdir. Radon suda çözünebilen bir gaz olduğundan, sulardaki radon konsantrasyon seviyeleri geniş bir dağılım sergiler. Yüzey sularının radon seviyeleri genellikle yer altı sularına göre birkaç  $\text{kBq/m}^3$  daha düşüktür. Çünkü sulardaki radon seviyeleri havalandırma ve sıcaklık gibi etkilerle azalır (Al-Masri and Blackburn, 1999).

Musluk suları normalde çok düşük radon konsantrasyonuna sahiptirler. Bunun nedeni suların kısmen işlemlerden geçirilmesidir. Özellikle şehir şebeke suları havalandırılarak içtikleri radon gazının havaya karışması sağlanır ve böylece radon konsantrasyonu düşürülür. Su kaynağı sondaj kuyusu olan evlerde, sular musluklara kadar kapalı bir sistem içerisinde gelir. Bu nedenle, bu tür suların içerdiği radon konsantrasyonu çok yüksek olabilir. Bununla birlikte, suların içerdiği radon konsantrasyonu esas olarak toprağın içerdiği radyonüklit miktarına bağlıdır (Can, 2011). U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın içme sularında  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınır değerleri Çizelge 1.2'de verilmiştir (Gümbür, 2014).

Suların mutfak ve banyo gibi alanlarda kullanımı, sularda bulunan radonun ev içlerine transfer olmasına neden olur. Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon miktarı da artar. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilmektedir (Gümbür, 2014). Sudaki radonun kapalı ortama transferini etkileyen faktörler; sudaki radon çözünürlüğü, kullanılan su miktarı, kapalı ortamın hacmi ve kapalı ortamın havalandırma şekli olarak sıralanabilir (Revan, 2010).

### 1.8.3. Havada Radon

Havadaki radonun esas kaynağı topraktaki radyumdur. Havadaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu; topraktaki  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonuna, topraktan radyoaktif gaz çıkış hızına ve atmosferik dağılım faktörlerine bağlıdır. Bununla birlikte, bina yapı malzemeleri hava için diğer bir radon kaynağıdır. Bina yapı malzemeleri hem doğal olarak topraktaki uranyumu içerirler hem de önemli derecede uranyum içeren kömür külünü ihtiva ederler. Bu nedenle önemli sayılabilecek bir radon kaynağıdır. Hava için diğer bir radon gazı kaynağı ise sulardır. Suların kullanımı esnasında suda çözünen radon havaya yayılır ve havadaki radon konsantrasyonuna katkı sağlar. Yeraltı suları üzerinde yüksek basınç olduğundan önemli miktarda ( $370 \text{ kBq m}^{-3}$ 'den fazla ) radon içerebilirler ve evlerdeki radon gazı konsantrasyonuna azımsanmayacak bir katkı sağlarlar. Havada bulunan radon gazı, insanların soluma ile maruz kaldığı radyasyon dozuna en büyük katkıyı verir. Bu doz değeri yaklaşık olarak  $1,3 \text{ mSv}$  civarındadır. Soluma ile vücut içerisine alınan radon ve onun bozunum ürünü olan radon kızları solunum sisteminde birikir. Radon ve kızları bozunuma uğrayarak solunum sistemi organlarının radyasyona maruz kalmasına sebep olur ve sağlık riski oluşturur (Canbazoglu, 2004).

**Çizelge 1.2.** U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın içme sularında  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınır değerleri (Gümbür, 2014)

| USEPA üst sınırı | (Bq/L) | (Bq/m <sup>3</sup> ) | (pCi/L) |
|------------------|--------|----------------------|---------|
| Radon            | 11     | 11000                | 300     |
| Radyum           | 0,555  | 555                  | 15      |

## **1.9. Radon Gazı Ölçüm Yöntemleri**

Radon ölçüm teknikleri, ölçüm sonuçlarının alınma süresine göre kısa dönem ölçümler ve uzun dönem ölçümleri olmak üzere iki grupta incelenebilir (Kapdan, 2009).

### **1.9.1. Kısa Dönem Ölçüm Yöntemleri**

Kısa dönem ölçümlerde hedeflenen anlık sonuçları almaktır. En sık kullanılan kısa dönem ölçüm teknikleri aktif kömür, elektrot iyon odaları ve radon tuzağı teknikleridir (Kapdan, 2009).

#### **i) Aktif Karbon Tekniği**

Bu teknik, radon gazının absorblayıcı (kömür gibi) bir ortamda absorbe olmasına ve daha sonrada bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun bozunum ürünlerinin ( $^{214}\text{Pb}$  ve  $^{214}\text{Bi}$ ) yayınladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi temeline dayanmaktadır. Bunun için metal bir kap içerisine birkaç gram aktif karbon yerleştirilir. Daha sonra metal kap uygun bir kapakla kapatılır. Metal kap ölçüm yapılacak yere yerleştirilir ve ortamdaki radonun kömüre difüz edebilmesi için kapağı açılır. Kabin bu şekilde bekletilme süresi birkaç gündür. Ölçüm süresi sonunda kabin kapağı tekrar kapatılır ve gama spektroskopisi ile analizleri gerçekleştirilir. Radon bozunum ürünlerinin gama aktivite ölçümleri gama sayım sistemleri kullanılarak yapılır. Bu sayede radon konsantrasyonu belirlenir. Kullanılan metal kaplar farklı boyutlarda ve şekillerde olabilir. Bazı metal kaplarda toron girişini engellemek için difüzyon bariyerleri kullanılabilir (Kapdan, 2009).

#### **ii) Elektrot İyon Odaları**

Elektrot, kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzemedir. Çelik bir kap içerisine teflon gibi bir elektrot malzemesi yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşturur. Kap tabanındaki küçük bir giriş, radon gazının içeri girmesini sağlar. Radon ve bozunum ürünleri radyoaktif olduklarından alfa, beta ve gama ışınları yayınlırlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar havada ilerlerken oksijen ve azot gibi atomlarla çarpışırlar.

Bunun sonucunda kap içerisinde iyonize olmuş parçacıklar meydana gelir. Bu iyonlar elektrot tarafından oluşturulmuş olan elektrik alan tarafından toplanır ve elektrotun toplam yükü değişir. Bu değişimden yararlanarak radon konsantrasyonu bulunur (Kapdan, 2009).

### **iii) Radon Tuzağı (Grab Sampler) Tekniği**

Bu teknikte Lucas Hücresi olarak bilinen bir alfa sintilasyon hücresi ve bir veya iki foto tüp kullanılır. Sintilasyon hücresinin duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmıştır. Sintilasyon hücresi bir veya iki vanalı olabilir. Hava numunesi bu vanalar açılarak toplanır. Numune alındıktan sonra vana kapatılır. Radonun bozunum ürünleriyle radyoaktif dengeye gelmesi için dört saat beklenir. Radyoaktif denge oluştuğundan sonra sintilasyon hücresi sayım için foto tüpün ağzına yerleştirilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları sintilasyon hücresinin duvarlarındaki ZnS ile etkileşir ve meydana gelen parıldamalar elektrik sinyallerine çevrilerek sayılır. Gerekli hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir (Kapdan, 2009).

### **1.9.2. Uzun Dönem Ölçüm Yöntemleri**

Radon doğası gereği günlük ve mevsimlik değişimler gösterdiğinden, yıllık ortalama radon konsantrasyon seviyesini tespit edebilmek için uzun dönem radon ölçümleri gerçekleştirilir. Uzun dönem radon ölçümlerinde sıklıkla pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılmaktadır. Radona maruz kalan nükleer iz algılayıcıları kimyasal kazıma işlemine tabi tutularak, algılayıcılar üzerindeki izler görünür hale getirilir ve optik mikroskop ile sayılır. Böylece radon konsantrasyonu hesaplanabilir (Canbazoğlu, 2004; Kapdan, 2009).

Pasif nükleer iz algılayıcıları uzun süreli radon ölçümleri için kullanılmaktadır. Kullanılan filmler selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmıştır. Radon ve radonun bozunum ürünleri genelde alfa aktiftirler fakat alfa parçacığı dışında beta ve gama parçacığı da yayınlırlar. Uzun dönem radon ölçümlerinde kullanılan nükleer iz algılayıcıları büyük ölçüde beta ve gama ışınlarına hassas değildirler. Bu nedenle alfa parçacıkları bu filmler üzerinde iz

bırakırlar. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladıkları bu alfa parçacıkları sayılarak radon konsantrasyonu bulunabilir. Çünkü yayınlanan alfa parçacıklarıyla radon konsantrasyonu arasında doğrudan bir orantı vardır. Alfa parçacıklarının algılayıcıda bıraktığı izler daha sonra kimyasal iz kazıma yöntemiyle açığa çıkartılırlar. Kazıma çözeltisi olarak 2-6 M NaOH ya da KOH sulu çözeltisi kullanılır. Algılayıcılara sıcaklığı 40°C ile 70°C arasında değişebilen bir film banyosu uygulanır. Kimyasal kazıma süresi 2-6 saat arasında değişir. Kimyasal kazıma süreci sonunda alınan filmler destile sudan geçirilir. Optik mikroskop ile film üzerindeki izler sayılır ve radon konsantrasyonu hesaplanır (Durrani and Bull, 1987; Canbazoglu, 2004; Can, 2011).

### **1.10. Önceki Yapılan Çalışmalar**

Amrani, D. ve arkadaşları tarafından 2000 yapılan bir çalışmada, Cezayir’de yeraltı sularında radon konsantrasyonları ölçülmüş ve radon konsantrasyonlarının 0,5 Bq/L ile 19,37 Bq/L arasında değişim gösterdiğini tespit edilmiştir (Amrani et al., 2000).

Marques, A.L. ve arkadaşları Brezilya’da, yer altı suları, deniz suyu, musluk suları ve akarsularda radon konsantrasyon ölçümleri yapmışlar ve yer altı suyu örneklerinde 0,95 Bq/L ile 36 Bq/L, deniz suyu örneklerinde 0,3 Bq/L ile 0,54 Bq/L, musluk suları örneklerinde 0,39 Bq/L ile 0,47 Bq/L ve akarsu örneklerinde ise 0,43 Bq/L ile 2,40 Bq/L değer aralığında ölçümler elde etmişlerdir (Marques et al., 2004).

Mowlavi, A.A. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Ramsar’da belirlenen 14 içme suyu örneğinde radon konsantrasyonu PRASS sistemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçların hepsi, normal seviye değeri olan 10 kBqm<sup>-3</sup>ten daha yüksek belirlenmiştir (Mowlavi et al., 2009).

Xinwei, L. ve Xiaolan, Z. tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada Çin’in Xian, Xianyang ve Shaanxi Baoji eyaletlerinde belirlenen toplam 38 içme suyu örneğinde radon konsantrasyonu ölçülmüş ve Xian, Xianyang ve Shaanxi Baoji eyaletlerinde radon seviyeleri sırasıyla 5.78, 13.04 ve 15.01 kBq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Xianyang

ve Shaanxi Baoji eyaletlerindeki radon seviyelerinin insanlar için radyolojik risk oluşturduğu rapor edilmiştir (Xinwei and Xiaolan, 2004).

Wu, Y.Y. ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, Çin'in Pekin bölgesinde belirlenen 89 içme suyu örneğinde radon konsantrasyonu ölçülmüş ve gözlenen maksimum radon seviyesini 49 Bq/L olarak belirlenmiştir. Ölçülen tüm örneklerde radon konsantrasyonlarının aritmetik ve geometrik ortalamaları sırasıyla 5.87 ve 4.63 Bq/L'dir. İçme sularında ortalama yıllık etkin doz miktarı 2.78  $\mu$ Sv ve suların radon soluma değeri ise 28.5  $\mu$ Sv olarak belirlenmiştir (Wu, et al., 2014).

Akar, Ü. tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, Bursa-Çekirge bölgesinde 12 ayrı kaynaktan toplanan termal su örneklerinin AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda radon konsantrasyon değerleri  $2,513 \pm 0,286$  Bq/L ile  $94,347 \pm 4,361$  Bq/L arasında değişmektedir. Sonuçlardan bazılarının USEPA tarafından izin verilen limit değerleri geçtiği gözlenmiştir (Akar, 2010).

Akkurt, A. tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar ve civarında yer alan 10 ayrı kaynaktan toplanan termal su örnekleri, AB-5R model radon detektörü ile analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyonunun 0,085-73,62 Bq/L değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon değerlerinden bazılarının USEPA tarafından izin verilen limit değerleri geçtiği saptanmıştır (Akkurt, 2006).

Barış, C. tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada, İzmir-Çeşme yer altı-termal su örneklerinin radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Radon konsantrasyonunun 0,086-0,493 Bq/L arasında değiştiği ve ortalama değerin 0,303 Bq/L olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon değerlerinin EPA'nın tavsiye ettiği değerleri aşmadığı gözlenmiştir ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmamaktadır (Barış, 2006).

Çetinkaya, H. tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada, Kütahya ili içme sularında toplanan 30 su örneğinde radon konsantrasyonları kolektör yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda radon konsantrasyonunun  $0,119 \pm 0,067$  Bq/L ile  $48,510 \pm 3,46$  Bq/L arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Elde edilen radon

konsantrasyonlarından bazılarının USEPA ve diğer sağlık kuruluşları tarafından izin verilen değerleri geçtiği gözlenmiştir (etinkaya, 2009).

Demirel, S. tarafından 2013 yılında yapılan bir çalışmada, Konya şehrinin merkezinde bulunan farklı derinlikteki ve akifer özelliği gösteren 16 kuyudan ilkbahar ve yaz mevsimlerinde toplanan kuyu su örneklerinde radon konsantrasyonu AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü ile analiz edilmiştir. Su örneklerindeki radon konsantrasyonunun ilkbahar mevsiminde  $2,29 \pm 0,17$  Bq/L ile  $27,25 \pm 1,07$  Bq/L arasında, yaz mevsiminde ise  $1,44 \pm 0,18$  Bq/L ile  $27,45 \pm 1,25$  Bq/L arasında değiştiği kaydedilmiştir. Bu alışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyon değerlerinin WHO tarafından izin verilen limit değerlerin aşağısında olduğu gözlemlenmiştir (Demirel, 2013).

Durak, S. tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, Kütahya'da bulunan 12 adet kaplıcadan değişik dönemlerde alınan sulardaki radon konsantrasyonu LR-115 tip II katihal nükleer iz kazıma detektörleriyle belirlenmiştir. Bu alışma sonucunda elde edilen ortalama radon konsantrasyon değeri  $15,35$  Bq/L olarak hesaplanmıştır (Durak, 2010).

Erdoğan ve arkadaşları tarafından Konya'da yapılan bir çalışmada, 10 ayrı bölgesindeki su kaynaklarından ilkbahar ve yaz mevsiminde alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD PQ 2000PRO radon gaz sayacı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon seviyelerinin ilkbahar ve yaz mevsimi için sırasıyla  $0,60 \pm 0,11$  ile  $70,34 \pm 3,55$  kBqm<sup>-3</sup> ve  $0,67 \pm 0,03$  ile  $36,53 \pm 4,68$  kBqm<sup>-3</sup> aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Hesaplanan efektif doz değerleri ilkbahar ve yaz mevsimi için sırasıyla  $0,09$ - $10,13$  nSv ve  $0,1$ - $5,26$  nSv arasında değişmektedir (Erdoğan et al., 2013).

Erdoğdu, M. tarafından 2015 yılında Osmaniye ve çevresinde yapılan bir çalışmada, sulardaki radon konsantrasyonu AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak belirlenmiştir. Bu alışma sonucu elde edilen maksimum ve minimum aktivite değerleri sırasıyla  $0.986 \pm 0.472$  Bq/L ve  $0.164 \pm 0.103$  Bq/L olarak bulunmuştur. Elde edilen radon konsantrasyon değerleri USEPA tarafından izin verilen limit değerlerinin altında

kaldığından dolayı halk sağlığı açısından tehdit oluşturmadığı rapor edilmiştir (Erdoğan, 2015).

Gümbür, S. tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, Kahramanmaraşta toplanan 42 adet su örneğinin CR-39 pasif iz detektörü kullanılarak radon konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon değerlerinin  $305,8 \pm 10,7$  Bq/m<sup>3</sup> ile  $80,6 \pm 3,9$  Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyon değerlerinin USEPA ve diğer sağlık kuruluşları tarafından izin verilen limit değerlerin altında olduğu ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmadığı belirtilmiştir (Gümbür, 2014).

İncirci, F. tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, Kastamonu bölgesinin 10 ayrı ilçesinde bulunan sulardan alınan 18 adet su örneğinin radon konsantrasyonu AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü ile belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon değerleri ilkbahar dönemi için  $0,362 \pm 0,139$  Bq/L ile  $12,734 \pm 0,391$  Bq/L aralığında, yaz dönemi için  $0,312 \pm 0,034$  Bq/L ile  $19,213 \pm 1,000$  Bq/L aralığında değişmektedir (İncirci, 2011).

Revan, M. tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, Kuzey Ege bölgesinde bulunan Zeytin Dalı termal tesisi, Nebiler kaplıcası, Kaynarca kaplıcası ve Bademli kaplıcasından alınan su örneklerinin <sup>222</sup>Rn konsantrasyonu LR-115 tip II katıhal iz detektörleri ile analiz edilmiştir. Hesaplanan radon konsantrasyon değerleri 0,19 ile 20,71 Bq/L aralığındadır (Revan, 2010).

Okur, A. tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, Tokat ilindeki içme ve yüzey sularından 4 ayrı kaynaktan alınan su örneklerinin radon konsantrasyonu AB-5R detektörü kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon değerleri musluk suyu için  $0,42 \pm 0,28$  Bq/L ile  $1,41 \pm 0,37$  Bq/L aralığında, pınar suyu için  $0,13 \pm 0,17$  Bq/L ile  $1,20 \pm 0,29$  Bq/L değerleri aralığındadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyon değerleri USEPA ve diğer sağlık kuruluşları tarafından izin verilen limit değerleri ile karşılaştırılmış ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmadığı rapor edilmiştir (Okur, 2011).



Özdemir, F.B. tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar ve çevresindeki kuyu sularından 10 ayrı kaynaktan alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri AB-5R detektörü ile belirlenmiştir. Hesaplanan radon konsantrasyon değerleri 0,42-28,82 Bq/L aralığındadır (Özdemir, 2006).

Özdemir, F. tarafından 2013 yılında yapılan bir çalışmada, Konya bölgesindeki termal su kaynaklarından ilkbahar ve yaz mevsiminde alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD PQ 2000PRO radon gaz sayacı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyon seviyeleri ilkbahar mevsimi için  $0,60 \pm 0,11 \text{ kBqm}^{-3}$  ile  $70,34 \pm 3,55 \text{ kBqm}^{-3}$  arasında, yaz mevsimi için ise  $0,67 \pm 0,03 \text{ kBqm}^{-3}$  ile  $36,53 \pm 4,63 \text{ kBqm}^{-3}$  arasında değişmektedir. Hesaplanan radon konsantrasyon değerlerinin halk sağlığı açısından tehdit oluşturmadığı rapor edilmiştir (Özdemir, 2013).

Özkan, D. tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar'da bulunan termal kaynakların bölgesel olarak radon aktivitelerindeki değişimler AB-5R detektörü kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda radon aktivitesi 0,029 Bq/L ile 8,997 Bq/L arasında bulunmuştur. Hesaplanan radon konsantrasyon değerleri USEPA ve diğer sağlık kuruluşları tarafından izin verilen limit değerlerinin altındadır ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmamaktadır (Özkan, 2011).

Tel, F. tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, Konya'nın Selçuklu, Meram ve Karatay ilçelerindeki 27 farklı konuttan alınan çeşme sularının sonbahar ve kış mevsimlerindeki radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD radon detektörü kullanılarak belirlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda su deposu bulunan 11 konuttan alınan örneklerin sonbahar ve kış mevsimi için radon konsantrasyon değeri ortalama 3.15 Bq/L bulunurken, su deposu olmayan konutlardan alınan su örnekleri için bu değer ortalama 10.20 Bq/L olarak bulunmuştur. Bu çalışma sonucu elde edilen radon değerlerinin USEPA tarafından tavsiye edilen limit değeri aşmadığı gözlenmiş ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturmadığı belirlenmiştir (Tel, 2014).

Topsakal, Ş.E. tarafından 2015 yılında yapılan bir çalışmada Konya'nın ılgın ilçesinde bulunan fay hattı civarındaki 13 doğal kaynak, 7 kuyu ve bu kuyuların beslediği 13 musluk suyundan alınan örneklerin radon aktiviteleri AlphaGUARD PQ 2000PRO

radon detektörü ile ölçülmüştür. Yer altı suları için ölçülen radon konsantrasyonları 0.59 ile 58.57 kBq/m<sup>3</sup> aralıklarında hesaplanmıştır. Radon konsantrasyonu ölçülen 33 su örneğinin 24 tanesi USEPA tarafından tavsiye edilen 11.1 kBq/m<sup>3</sup> lük güvenlik sınır değerinin altında ölçülmüştür ve bu sonuçlar halk sağlığı açısından tehdit oluşturmamaktadır (Topsakal, 2015).

Yalçın ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, Kastamonu'da ilkbahar ve yaz mevsiminde alınan doğal kaynak suyu ve musluk suyu örneklerinin radon konsantrasyon değerleri AlphaGUARD radon gaz sayacı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen ortalama radon konsantrasyonları ilkbahar için doğal kaynak suyu ve musluk suyu örneklerinde sırasıyla 0,39 ± 0,02 Bq/L ile 12,73 ± 0,39 Bq/L ve 0,36 ± 0,04 Bq/L ile 9,29 ± 0,45 Bq/L aralığında değişmektedir. Doğal kaynak suyu ve musluk suyu için ise yaz aylarında sırası ile 0,50 ± 0,09 Bq/L ile 19,21 ± 1,00 Bq/L ve 0,31 ± 0,03 Bq/L ile 13,14 ± 0,38 Bq/L aralığında değişmektedir. Hesaplanan efektif doz eşdeğeri, ilkbahar ve yaz mevsimi için sırasıyla 0,80 ile 49,09 µSvy<sup>-1</sup> ve 0,93 ile 32,54 µSvy<sup>-1</sup> arasında değişmektedir (Yalçın et al., 2011).

Yuce ve Gasparon tarafından yapılan bir çalışmada, Eskişehir'de belirlenen bölgelerde toplam 19 su kaynağından kış ve yaz mevsiminde alınan su örneklerinin radon konsantrasyon değerleri GEO-RTM 2128 radon gaz sayacı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen radon konsantrasyonları kış ve yaz mevsimi için sırasıyla 1,6 ile 230 Bq/L ve 3,7 ile 251 Bq/L aralığında değişmektedir. Analiz sonuçları, 19 su kaynağından 14'ünün radon konsantrasyonunun EPA tarafından belirlenen 11,1 Bq/L limit değerini geçtiğini göstermiştir (Yuce and Gasparon, 2013).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Bölgenin Tanıtılması

Kilis ili Güneydoğu Anadolu bölgesinde, Hatay-Kahramanmaraş oluğu ile Fırat ırmağı arasında uzanan Gaziantep Platosu'nun güneybatı kısmında Türkiye-Suriye sınırı boylarında, 16<sup>0</sup> K enlemi ile 32<sup>0</sup> D boylam değerleri arasındadır. Bu konumıyla saha Akdeniz ve Güneydoğu bölgeleri arasındaki geçiş kuşağı üzerinde bulunur. Kilis'in sınırları, güneyden Türkiye-Suriye sınırı, batı ve kuzey batıdan İslâhiye, kuzey ve kuzeydoğudan Gaziantep merkez ve doğudan Oğuzeli ilçeleriyle çevrilidir. Kilis il ve ilçelerinin harita üzerindeki yerleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Kilis ilinin Elbeyli, Musabeyli ve Polateli olmak üzere üç tane ilçesi bulunmaktadır. Elbeyli ilçesi, Kilis ilinin doğusunda ve il merkezine 35 km uzaklıkta yer almaktadır. İlçenin nüfusu 5982 kişidir. Musabeyli ilçesi, Kilis ilinin kuzey batısında bulunmaktadır. Kilis il merkezine uzaklığı 33 km olup, ilçenin nüfusu 13962 kişiden oluşmaktadır. Polateli ilçesi Kilis ilinin kuzeyinde, il merkezine 20 km mesafededir. İlçenin nüfusu 5306 kişidir (Kilis Valiliği, 2015).

Kilis ili ülkemizin en az yağış alan illerindendir. Bölgenin ana su kaynakları, Seve Barajı ve Yenyapan yer altı su kaynağıdır. Bununla birlikte, Kilis ilindeki evlerin çoğunluğunda artezyen kuyusu mevcuttur. Kilis ilinde toplam 6 tane su deposu bulunmaktadır. Bunlar; itfaiye binası içerisinde 250 m<sup>3</sup>, içme suyu arıtma binası içerisinde 10000 m<sup>3</sup>, çengel mevkiinde eskisi 2500 m<sup>3</sup> ve yenisi 5000 m<sup>3</sup>, çengel mevkiinin üst kısmında eskisi 1500 m<sup>3</sup> ve yenisi 3000 m<sup>3</sup> hacminde depolardır. Buradaki sular insanlara ulaşmadan önce, içme suyu arıtma tesislerine gelir. Arıtılan su 10000 m<sup>3</sup> hacmindeki depoya alınır. Buradaki suyun bir kısmı çengel mevkiine ve çengel mevkiinin üst kısmındaki depoya, suyun diğer kısmı ise cazibe yöntemle (pompasız işlem ile) şebekelere dağıtılır. 10000 m<sup>3</sup> hacmindeki depo alt kat şebekeyi (itfaiye ve içme suyu arıtma binası), 2500 ve 5000 m<sup>3</sup> hacmindeki depolar orta kat şebekeyi (çengel mevki), 1500 ve 3000 m<sup>3</sup> hacmindeki depolar ise üst kat şebekeyi (çengel mevkiinin üst kısmı) besler (Kilis Belediyesi, 2015).



**Şekil 2.1.** Kilis il ve ilçelerinin harita üzerindeki yerleri

İlin iklimi genel karakterleri itibariyle Akdeniz iklimi içerisinde kalır. Akdeniz iklim bölgesi, Akdeniz havzasının genel atmosfer dolaşımı içerisindeki yeri gereği yazın çoğunlukla tropikal, kışın ise kutupsal hava kütleleri gibi birbirinden farklı özellikler gösteren hava kütlelerinin tesirinde kalır (Kilis Valiliği, 2015). Yıllık ortalama sıcaklık Kilis'te  $16.8^{\circ}\text{C}$ 'dir. Kış mevsimi ortalama sıcaklıkları  $3.6^{\circ}\text{C}$  ile  $6.5^{\circ}\text{C}$  arasında değişir. Yaz mevsimi sıcaklık ortalaması 25 derecenin üzerindedir. Geçiş mevsimlerinden yazı takip eden sonbahar, kışı takip eden ilkbahardan daha sıcaktır. En soğuk ay ocak ayı olup sıcaklık temmuz ve ağustos aylarında en yüksek değerlerine ulaşır. Bu aylardan itibaren ocak ayına kadar ise sıcaklıklar yavaş yavaş azalır. Kilis'te ortalama sıcaklığı sıfır derecenin altında olan ay bulunmaz. İlde kış ayları serindir. Mart, nisan, ekim ve kasım aylarından oluşan dört ay ılık, mayıstan ekime kadar olan beş ay da sıcak geçer (Kilis İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2015).

## 2.2. Materyal

Bu çalışmada, CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak kapalı kutu tekniği ile Kilis ili içme sularında radon konsantrasyonları belirlenmiştir. CR-39 algılayıcılarının kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü  $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$ 'dir. CR-39 algılayıcılarının karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Optik özellikleri camla kıyaslanabilecek nitelikte olup, yüzeyi parlak ve pürüzsüz olan bir tür plastiktir.

- Sahip olduğu üstün optik özellikleri sayesinde her türlü şartlarda kullanılabilir. Çözücülerle temas ettiğinde iç ve dış yüzeyinde çatlamlar ve kırılmalar olmaz.
- Kimyasal maddelere, aseton ve benzin içeren çözücülere karşı dayanıklıdır.
- Aşınma direnci akrilik plastiklerden 30-40 kat daha fazladır.
- 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığında saydamlığından %5 oranında kayıp verir (Canbazoğlu, 2004).

Deneyde kullanılan CR-39 algılayıcıları 1 cm x 1 cm boyutunda ve üretici firma tarafından belirlenen kalibrasyon faktörü 44,47 kBq h mm<sup>2</sup>/iz m<sup>3</sup> dür (RADOSYS, 2011).

### **2.3. Yöntem**

Bu çalışmada, Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyonları CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak kapalı kutu tekniği ile belirlenmiştir.

#### **2.3.1. Numunelerin Toplanması ve Analize Hazırlanması**

Radon konsantrasyonları belirlenecek olan içme suyu örnekleri, Kilis ilini karakterize edecek şekilde seçilmiş olan il merkezi ve ilçelerdeki mahallelerden nüfus yoğunluğu da dikkate alınarak toplandı. Musluk suları 4-5 dakika kadar akıtıldıktan sonra 1 litrelik polietilen kaplara alındı ve kapakları radon kaçışını önlemek için sıkıca kapatıldı. Daha sonra şişeler etiketlendi. Alınan su örneklerinin mümkün olduğu kadar çalkalanmasına izin vermeden dikkatlice laboratuvara transferi sağlandı ve uygun laboratuvar şartlarında muhafaza edildi. Su örnekleri dış etkenlerden (güneş ışığı, toz vb.) etkilenmemesi için alüminyum folyolarla tamamen kapatıldı. Daha sonra radyoaktif dengeye gelmesi için 1 ay laboratuvarda bekletildi. Bekletilme süresi sonunda su örneklerinin kapakları dikkatli ve seri bir şekilde açılarak 1cm x 1cm boyutlarında kare şeklindeki CR-39 SSNTD'leri kapağın altına oyun hamuru yardımıyla (kapaklara dik olacak şekilde) yerleştirildi. CR-39 algılayıcılarının örnek kaplarına yerleştirilmesi Resim 2.1'de gösterilmiştir. Daha sonra kapakları kapatılarak 30 gün süreyle CR-39 algılayıcıları su örneklerinden yayınlanan alfa ışınlarına maruz bırakıldı. Bu süre sonunda dikkatlice CR-39 filmleri

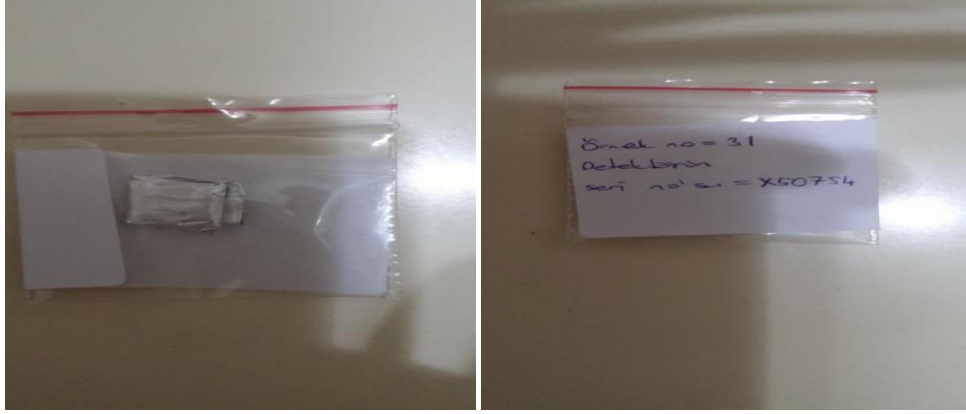
tek tek toplanarak alüminyum folyolara sarılıp ve ayrı ayrı çit çit poşetlere konuldu (Resim 2.2). Etiketlenerek analiz için Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'na gönderildi.

### 2.3.2. CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri

CR-39 radon algılayıcılarının analizleri Bitlis Eren Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda RADOSYS İz Analiz Sistemi kullanılarak gerçekleştirildi (Resim 2.3). 30 gün süreyle su örneğinden yayınlanan alfa ışınlarına maruz kalan CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları, 90 °C sıcaklıkta 4,5 saat süreyle %25'lik NaOH çözeltisi içerisinde kimyasal kazıma işlemine tabi tutuldu. Kimyasal kazıma işlemi RADOSYS cihazının kimyasal kazıma ünitesinde gerçekleştirildi. NaOH çözeltisi kimyasal kazıma ünitesinden tahliye edildikten sonra 4 litre saf suya 200 ml sirke eklenerek algılayıcılar yaklaşık 20 dakika nötralizasyon işleminden geçirildi. Nötralizasyon işleminden sonra, CR-39 algılayıcılarına 4 lt saf su ile banyo işlemi yapıldı ve ünite dışında 12 saat bekletilerek kurutuldu. Daha sonra, her bir CR-39 algılayıcısı üzerinde farklı en az 9 bölge seçilerek radon gazından dolayı bu bölgeler üzerinde alfa parçacıklarının bırakmış olduğu izler (Resim 2.4) kameralı mikroskop ile sayıldı (Şahin, 2009; Kılıç, 2015).



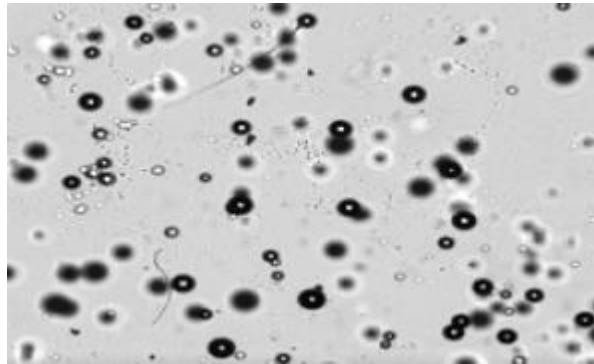
**Resim 2.1.** CR-39 algılayıcılarının örnek kaplarına yerleştirilmesi



**Resim 2.2.** CR-39 filmlerin alüminyum folyolara sarılması ve çit çit poşetlere konulması



**Resim 2.3.** RADOSYS İz Analiz Sistemi.



**Resim 2.4.** CR-39 filmi üzerinde alfa parçacıklarının bırakmış olduğu izler.

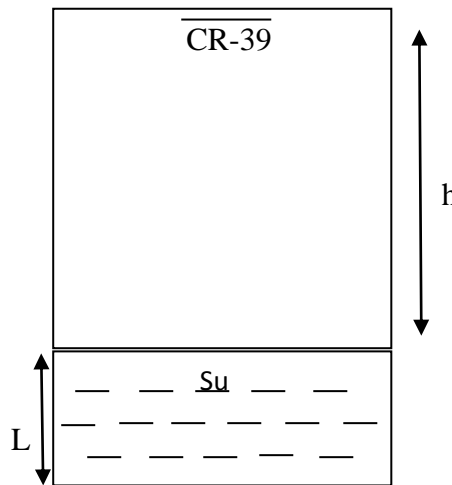
### 2.3.3. Kapalı Kutu Tekniği ve Sulardaki Radon Aktivite Hesabı

Su örneklerinin radon konsantrasyonu CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak kapalı kutu tekniği ile belirlendi. Deneyde kullanılan kapalı-kutu yönteminin konfigürasyonu Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Burada, L; su örneğinin derinliği, h; örnek kabındaki suyun detektöre olan uzaklığıdır (Al-Bataina et al., 1997). Kapalı kutu içerisinde alfa ışınlarına maruz kalan CR-39 algılayıcıları kimyasal kazıma işlemine tabi tutuldu ve daha sonra kameralı mikroskop ile algılayıcılar üzerindeki alfa parçacığı kaynaklı izler sayıldı.

Kapalı kutu içerisindeki hava ve sudaki radon aktivite konsantrasyonları sırası ile Denklem 2.1 ve Denklem 2.2 kullanılarak hesaplandı (Al-Bataina et al., 1997; Baykara and Doğru, 2006):

$$A_{\text{hava}} = \frac{C_0 T_0 \rho}{\rho_0 T} \quad (2.1)$$

Burada;  $A_{\text{hava}}$ : su numunesi üzerindeki havanın radon aktivite konsantrasyonu,  $C_0$ : kalibrasyon odasının radon aktivite konsantrasyonu,  $T_0$ : kalibrasyona maruz kalma zamanı,  $\rho_0$ : kalibrasyonu yapılmış detektörler üzerindeki izlerin yüzey yoğunluğu,  $\rho$ : kapalı kutu içerisinde alfa parçacıklarına maruz kalan detektörlerin üzerindeki izlerin ölçülen yüzey yoğunlukları, T: örneklerin maruz kalma zamanıdır.



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan kapalı-kutu yönteminin konfigürasyonu



$$A_{su} = \frac{\lambda A_{hava} h T}{L} \quad (2.2)$$

Burada,  $A_{su}$ : sudaki radon aktivitesi,  $\lambda$ :  $^{222}\text{Rn}$ 'nin bozunma sabiti,  $h$ : örnek kabındaki su yüzeyinden detektöre olan uzaklık,  $T$ : örneğin maruz kalma zamanı,  $L$ : örneğin derinliğidir.

#### 2.3.4. Sulardaki Efektif Doz Tahmini

Sulardaki radon, içme sularının tüketilmesi ile alınmasına rağmen, sudan havaya (ev içerisine) radon transferi ile de radyasyon dozuna maruz kalmaya sebebiyet verir. Bu nedenle toplam doz tahminini hesaplamak için, hem yeme hem de soluma durumu dikkate alınmalıdır. Suda çözünen radonun solunması ve içme sularının tüketilmesi ile maruz kalınan radyasyon dozunun tahmini ve oluşabilecek sağlık risklerinin değerlendirilmesi bu nedenle oldukça önemlidir. Su tüketiminin miktarı fiziksel aktiviteler ve iklime göre önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. İçme suyu tüketimi dışında, suların banyo ve mutfakta ev işleri için kullanımı esnasında sudaki radonun ev içi hava ortamına transfer olması sonucunda, suda bulunan radon soluma ile radon gazına maruz kalınmasına katkı sağlar. Bu çalışmada hem yeme hem de soluma durumu dikkate alınarak suların içerdiği radondan dolayı maruz kalınan radyasyon dozu hesaplanarak tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Suların içilerek tüketilmesiyle maruz kalınan radon dozu ( $D_{ing}$ ; yıllık efektif doz hızı) Denklem 2.3 kullanılarak hesaplanır (Yuce and Gasparon, 2013):

$$D_{ing} = A_w \times V_w \times F_{ing} \quad 2.3$$

Burada;  $A_w$ : sudaki radyonüklit aktivite konsantrasyonu (Bq/L),  $V_w$ : yıllık içme suyu olarak tüketilen su miktarı (yetişkin bir kişi için 730L/yıl olarak farz edilir),  $F_{ing}$ : yeme (yutma, içme) için efektif doz eşdeğer dönüşüm faktörüdür (WHO için  $1,23 \times 10^{-5}$  mSv/Bq, EPA için  $3,5 \times 10^{-6}$  mSv/Bq olarak alınır).

Sudaki radonun ev içine transferi sonucu soluma ile maruz kalınan yıllık efektif doz hızı ( $D_{inh}$ ) Denklem 2.4 kullanılarak hesaplanır (Yuce and Gasparon, 2013):

$$D_{inh} = A_w \times TF \times F \times F_{inh} \times T \quad 2.4$$

Burada;  $A_w$ : sudaki radyonüklit aktivite konsantrasyonu (Bq/L), TF: transfer faktörü (sudaki her birim radon konsantrasyonu için havadaki radon konsantrasyonundaki artıştır ve  $10^{-4}$  olarak alınır), F: radon ve onun ürünleri arasındaki denge faktörüdür ve 0,4 olarak alınır,  $F_{inh}$ : efektif doz katsayısıdır ( $9 \times 10^{-6} \text{ mSv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$ ), T: maruz kalma zamanıdır (7000 saat/yıl olarak farz edilir ve meşguliyet faktörü %80 olarak alınır).

İçme suları ve sudan havaya çıkışlar için WHO ve EPA tarafından tavsiye edilen radon doz limitleri sırası ile 0,04 ve 0,10 mSv/yıl'dır. Bununla birlikte ICRP genel halk için 1 mSv/yıl'lık bir doz limiti (solunum için) tavsiye eder (Yüce and Gasparon, 2013).

### 2.3.5. Standart Sapma

Örneklerin standart sapma hesaplamaları Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanır (Akar, 2010).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad 2.5$$

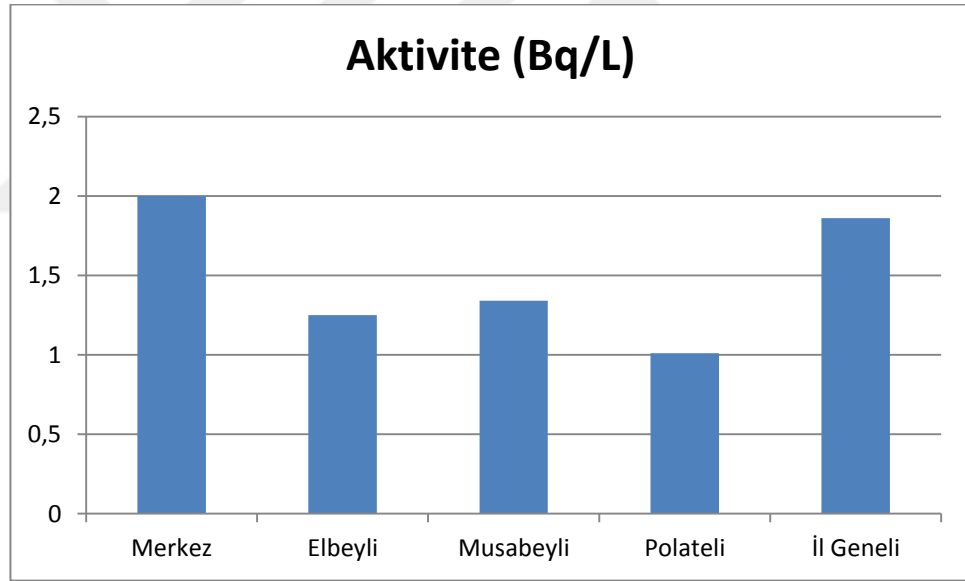
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kilis il ve ilçe merkezlerindeki içme sularının radon konsantrasyonu CR-39 pasif nükleer iz algılayıcıları kullanılarak belirlenmiştir. Bu suların insanlar tarafından içilerek tüketilmesi ve ev işleri için (mutfakta, banyoda, çamaşırda vb.) kullanılması sonucu Kilis halkının maruz kaldığı efektif radyasyon dozu hesaplanmıştır. Bu amaçla Kilis il genelini karakterize edecek şekilde seçilmiş olan mahallelerden 49 adet musluk suyu örneği alınmış ve kapalı kutu tekniği ile radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Radon konsantrasyonu belirlenen su örneklerinin aktivite değerleri; il merkezi, Elbeyli, Musabeyli ve Polateli için sırası ile EK1, EK2, EK3 ve EK4’de verilmiştir. İl geneli için en yüksek radon konsantrasyonu 6,93 Bq/L (Standart Sapması: 0,18) ile il merkezindeki Muallim Rıfat Bilge mahallesinde, en düşük radon konsantrasyonu ise 0,69 Bq/L (Standart Sapması: 0,06) ile yine il merkezindeki Okçular mahallesinde ölçülmüştür. İçme suyu örneklerinin hiçbirisi US EPA tarafından önerilen 11.1 Bq/L’lik maksimum kontaminasyon seviyesini aşmamaktadır.

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1’de Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınmış olan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu verilmiştir. Çizelge 3.1 irdelendiğinde il merkezi su örnekleri için ortalama radon konsantrasyonunun 2,00 Bq/L (Standart Sapması: 0,09) ve değişim aralığının 0,69 Bq/L ile 6,93 Bq/L olduğu görülür. Elbeyli ilçesi için su örneklerinin radon konsantrasyonları 1,01 Bq/L’den 1,50 Bq/L’ye değişir ve ortalaması 1,25 Bq/L (Standart Sapması: 0,08)’dir. Musabeyli ilçesi için ortalama radon konsantrasyonu 1,34 (SS: 0,08) Bq/L’dir ve su örneklerinin radon konsantrasyonları 0,96 Bq/L ile 1,73 Bq/L arasında değişir. Polateli ilçesi için ortalama radon konsantrasyonu 1,01 Bq/L (SS: 0,07) dir. İl geneli için içme sularının ortalama radon konsantrasyonu 1,86 Bq/L (SS: 0,09) dir ve suların radon konsantrasyonları 0,69 Bq/L’den 6,93 Bq/L’ye değişir. Şekil 3.1 irdelendiğinde, suların en yüksek ortalama radon konsantrasyonunun 2,00 Bq/L (SS:0,09) ile il merkezinde, en düşük ortalama radon konsantrasyonunun ise 1,01 Bq/L (SS: 0,07) değeri ile Polateli ilçesinde olduğu görülür. Kilis il merkezi su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu, il geneli için elde edilmiş olan ortalama radon konsantrasyon değerinden (il geneli için 1,86 Bq/L) büyüktür. Elbeyli, Musabeyli ve Polateli ilçe merkezlerinin ortalama radon konsantrasyonları ise il geneli ortalamasının altındadır.

**Çizelge 3.1.** Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınmış olan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu (Bq/L)

| Bölge Adı | Örnek Sayısı | Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L) |          |          |                |
|-----------|--------------|--------------------------------------|----------|----------|----------------|
|           |              | Minimum                              | Maksimum | Ortalama | Standart Sapma |
| Merkez    | 40           | 0,69                                 | 6,93     | 2,00     | 0,09           |
| Elbeyli   | 4            | 1,01                                 | 1,50     | 1,25     | 0,08           |
| Musabeyli | 3            | 0,96                                 | 1,73     | 1,34     | 0,08           |
| Polateli  | 2            | 0,88                                 | 1,13     | 1,01     | 0,07           |
| İl Geneli | 49           | 0,69                                 | 6,93     | 1,86     | 0,09           |



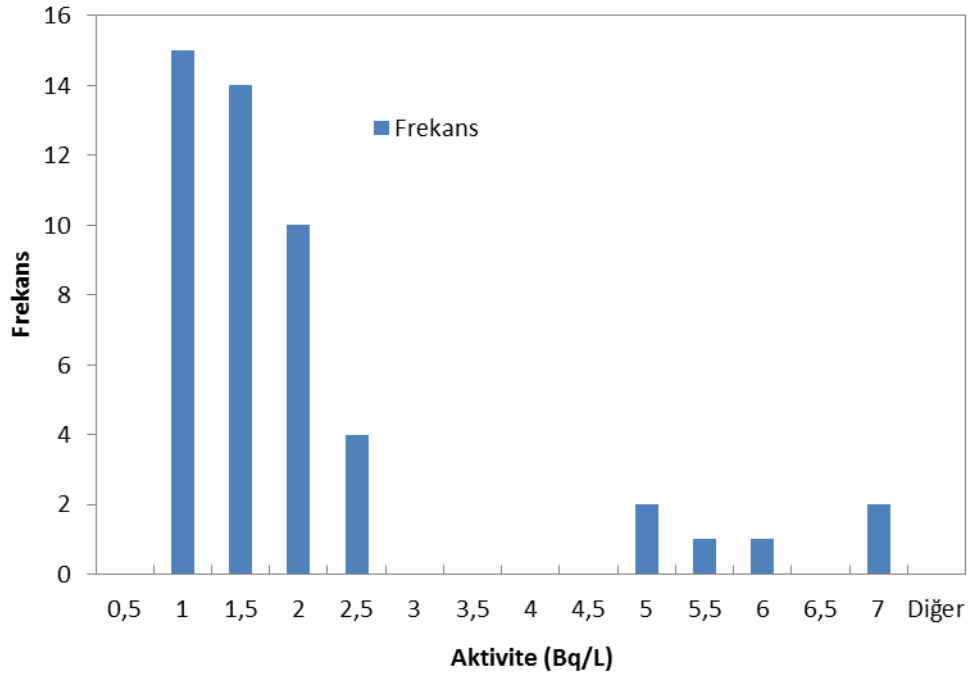
**Şekil 3.1.** Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınmış olan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2’de Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinin dağılımları verilmiştir. Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2 birlikte irdelendiğinde, radon konsantrasyon seviyesi 0,5-1 Bq/L arasında olan 15 adet mahallenin olduğu ve bu mahalle sayısının %30,6’lık bir dilime tekabül

ettiği görülür. Su örneklerinin alındığı toplam mahalle sayısının %28,6'sına karşılık gelen 14 mahallede ise suların radon konsantrasyon seviyesi 1-1,5 Bq/L arasındadır. 10 mahallede (%20,4) ise içme sularının radon seviyesi 1,5-2 Bq/L düzeyindedir. %8,2'lik dilime tekabül eden 4 mahallede ise radon konsantrasyonu 2-2,5 Bq/L seviyesindedir. Su örnekleri alınan mahallelerin yaklaşık olarak %88'inde radon konsantrasyon seviyesi 0,5-2,5 Bq/L arasındadır. Geriye kalan yaklaşık olarak %12'lik dilimin radon konsantrasyon seviyesi ise 4,5-7 Bq/L arasındadır.

**Çizelge 3.2.** Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinin dağılımları ve yüzdeler dilimleri

| Radon Konsantrasyonu (Bq/L) | Frekans | Yüzdeler Dilim (%) | Mahalle   |
|-----------------------------|---------|--------------------|---|
| 0,5-1                       | 15      | 30,6               | Bölük Mh., Şehitler Mh., İslambey Mh., Demirciler Mh., Helvacıoğlu Mh., Bilalhabeşi Mh., Okçular Mh., Hürriyet Mh., Barış Mh., Altınüzüm Mh., İzzettin İyigün Paşa Mh., Şihahmet Mh., Şehitsakıp Mh., Pınar Mh., Musabeyli, Atatürk Mh., Polateli                 |
| 1-1,5                       | 14      | 28,6               | Mehmet Sanlı Mh., Tekke Mh., Yedi Aralık Mh., Hakverdi Mh., Mehmet Çavuş Mh., Atatürk Mh., TOKİ, Mehmet Rıfat Kazancıoğlu Mh., İnönü Mh. Elbeyli, Hürriyet Mh. Elbeyli, Akyüz Mh. Elbeyli, Şehitler Mh. Elbeyli, Cumhuriyet Mh. Musabeyli, Şehit Ali Mh. Polateli |
| 1,5-2                       | 10      | 20,4               | Aslan Mh., Vaiz Mh., Yeni Mh., Çengel Mh., İsmetpaşa Mh., Doğan Güreş Paşa Mh., Kartalbey Mh., Namık Kemal Mh., Cumhuriyet Mh., Akyüz Mh. Musabeyli   |
| 2-2,5                       | 4       | 8,2                | Ekrem Çetin Mh., Nedim Ökmen Mh., Albay İbrahim Karaoğlanoğlu Mh., Kazım Karabekir Mh.  |
| 4,5-5                       | 2       | 4,1                | Çaylak Mh., Mullahamit Mh.  |
| 5-5,5                       | 1       | 2                  | Müslüman bey Mh.  |
| 5,5-6                       | 1       | 2                  | Tırıklı Mh.   |
| 6,5-7                       | 2       | 4,1                | Abdioymağı Mh., Muallim Rıfat Bilge Mh.   |



**Şekil 3.2.** Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan içme suyu örneklerinin radon konsantrasyon seviyelerinin dağılımları

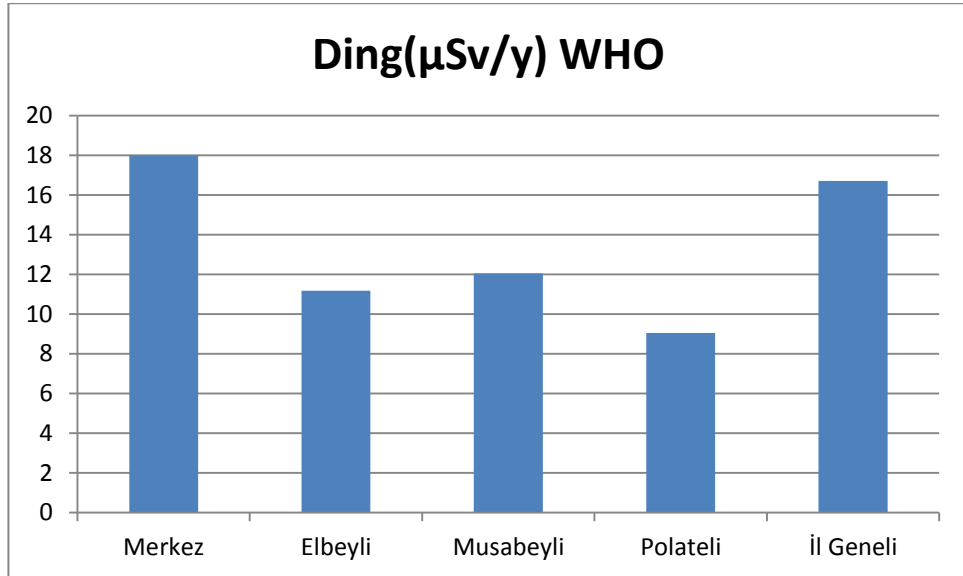
Çizelge 3.3 ve Şekil 3.3 Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından tüketilmesi ile içerdiği radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan efektif doz değerlerini göstermektedir. Çizelge 3.3'deki efektif doz değerleri WHO tarafından tavsiye edilen doz katsayısı ( $F_{ing} = 1,23 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$ ) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Suların içilerek tüketilmesiyle maruz kalınan radon dozu ortalaması Kilis il merkezi için  $17,98 \mu\text{Sv/yıl}$  (SS:0,81)'dir ve efektif doz değerleri  $6,18 \mu\text{Sv/yıl}$  ile  $62,22 \mu\text{Sv/yıl}$  arasında değişir. Elbeyli, Musabeyli ve Polateli ilçeleri için efektif doz değeri ortalaması sırası ile  $11,18 \mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,67),  $12,05 \mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,70),  $9,04 \mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,61) olarak hesaplanmıştır. Elbeyli ve Musabeyli için radon kaynaklı alınan efektif doz değerinin değişim aralığı ise sırası ile  $9,10 \mu\text{Sv/yıl}$ - $13,47 \mu\text{Sv/yıl}$  ve  $8,63 \mu\text{Sv/yıl}$ - $15,57 \mu\text{Sv/yıl}$ 'dir. İl geneli için ortalama efektif doz  $16,70 \mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,78) olarak hesaplanmıştır ve efektif doz değerleri  $6,18 \mu\text{Sv/yıl}$ 'dan  $62,22 \mu\text{Sv/yıl}$ 'a değişim gösterir. Kilis il merkezi ve ilçeleri için hesaplanan ortalama efektif doz değerlerinin hepsi, WHO tarafından tavsiye edilen limit değer olan  $40 \mu\text{Sv/yıl}$ 'dan küçüktür. Şekil 3.3 irdelendiğinde, en yüksek ortalama efektif doz değerinin Kilis il merkezinde ( $17,98 \mu\text{Sv/yıl}$ ), en düşük ortalama efektif doz değerinin Polateli ilçesinde

(9,04  $\mu\text{Sv/yıl}$ ) olduğu görülür. Kilis il merkezi, il geneline (16,70  $\mu\text{Sv/yıl}$ ) göre daha büyük, ilçeler ise daha küçük efektif doz değerine sahiptir.

**Çizelge 3. 3.** Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından tüketilmesi ile içerdiği radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan efektif doz değerleri [Ding ( $\mu\text{Sv/yıl}$ ) WHO]

| Bölge Adı | Örnek Sayısı | Efektif Doz Ding ( $\mu\text{Sv/yıl}$ ) WHO |          |          |                |
|-----------|--------------|---|----------|----------|----------------|
|           |              | Minimum                                     | Maksimum | Ortalama | Standart Sapma |
| Merkez    | 40           | 6,18  | 62,22    | 17,98    | 0,81           |
| Elbeyli   | 4            | 9,10  | 13,47    | 11,18    | 0,67           |
| Musabeyli | 3            | 8,63  | 15,57    | 12,05    | 0,70           |
| Polateli  | 2            | 7,93  | 10,15    | 9,04     | 0,61           |
| İl Geneli | 49           | 6,18  | 62,22    | 16,70    | 0,78           |

**Ding:** İçme suyu doz değeri.



**Şekil 3.3.** Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından tüketilmesi ile içerdiği radon konsantrasyonundan dolayı maruz kalınan efektif doz değerleri [Ding ( $\mu\text{Sv/yıl}$ ) WHO]

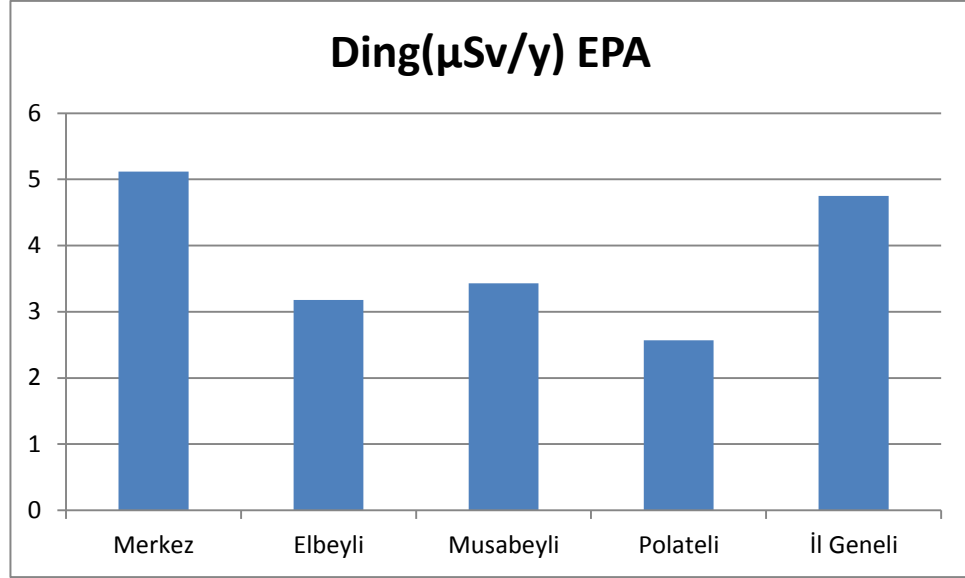
Çizelge 3.4 ve Şekil 3.4’de Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan su örneklerinin içilmesi ile maruz kalınan radon efektif doz değerleri verilmiştir. Efektif doz değerleri EPA tarafından tavsiye edilen doz katsayısı ( $F_{ing} = 3,5 \times 10^{-6}$  mSv/Bq) kullanılarak hesaplanmıştır. Kilis il geneli için efektif doz değerlerinin ortalaması 4,75  $\mu$ Sv/yıl (SS: 0,22)’dir ve doz değerleri 1,76  $\mu$ Sv/yıl’dan 17,71  $\mu$ Sv/yıl’a değişir. Kilis il merkezi için ortalama efektif doz 5,12  $\mu$ Sv/yıl (SS: 0,23) olarak hesaplanmıştır ve 1,76  $\mu$ Sv/yıl ile 17,71  $\mu$ Sv/yıl değerleri arasında değişim sergiler. Elbeyli, Musabeyli ve Polateli ilçeleri için efektif doz değerlerinin ortalaması sırası ile 3,18  $\mu$ Sv/yıl (SS:0,19), 3,43  $\mu$ Sv/yıl (0,20) ve 2,57  $\mu$ Sv/yıl (SS: 0,17) olarak hesaplanmıştır. Elbeyli ve Musabeyli için efektif doz değerinin değişim aralığı ise sırası ile 2,59  $\mu$ Sv/yıl-3,83  $\mu$ Sv/yıl ve 2,46  $\mu$ Sv/yıl-4,43  $\mu$ Sv/yıl’dır. Çizelge 3.4’deki efektif doz değerlerinin hiç birisi, EPA tarafından tavsiye edilen limit değer olan 40  $\mu$ Sv/yıl’ı aşmamaktadır. Şekil 3.4 irdelendiğinde; il geneline (4,75  $\mu$ Sv/yıl) göre il merkezinin (5,12  $\mu$ Sv/yıl) yüksek, buna karşın Elbeyli (3,18  $\mu$ Sv/yıl), Musabeyli (3,43  $\mu$ Sv/yıl) ve Polateli (2,57  $\mu$ Sv/yıl) ilçelerinin ise düşük efektif doz değerine sahip olduğu görülür.

**Çizelge 3.4.** Kilis il merkezi ve ilçelerindeki mahallelerden alınan su örneklerinin içilmesi ile maruz kalınan radon efektif doz değerleri (Ding ( $\mu$ Sv/yıl) EPA)

| Bölge Adı   | Örnek Sayısı | Efektif Doz Ding ( $\mu$ Sv/yıl) EPA |          |          |                |
|---|--------------|--------------------------------------|----------|----------|----------------|
| (Limit Değer: 40 $\mu$ Sv/yıl, $F_{ing} = 3,5 \times 10^{-6}$ mSv/Bq) |              |                                      |          |          |                |
|   |              | Minimum                              | Maksimum | Ortalama | Standart Sapma |
| Merkez  | 40           | 1,76                                 | 17,71    | 5,12     | 0,23           |
| Elbeyli   | 4            | 2,59                                 | 3,83     | 3,18     | 0,19           |
| Musabeyli   | 3            | 2,46                                 | 4,43     | 3,43     | 0,20           |
| Polateli  | 2            | 2,26                                 | 2,89     | 2,57     | 0,17           |
| İl Geneli   | 49           | 1,76                                 | 17,71    | 4,75     | 0,22           |

**Ding:** İçme suyu doz değeri.





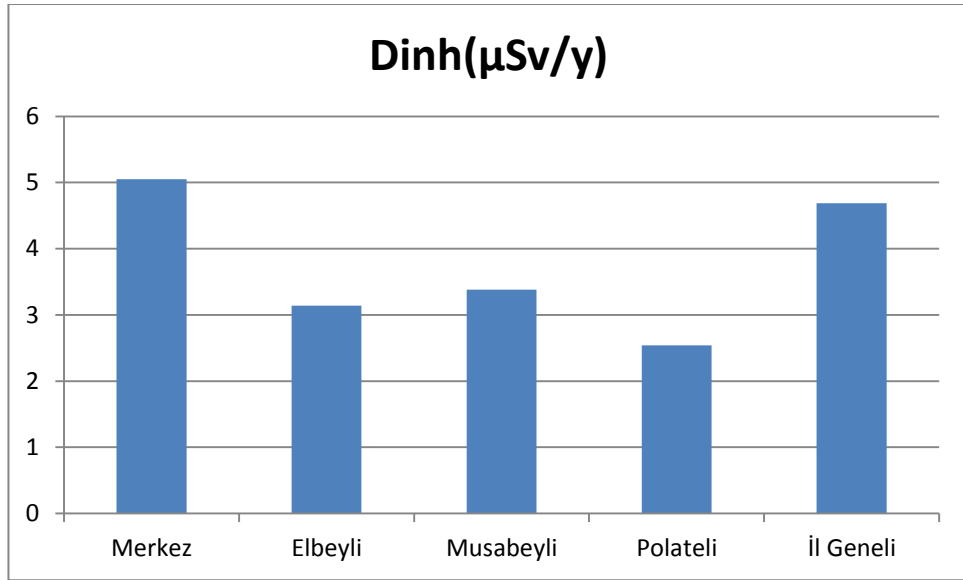
**Şekil 3.4.** Kilis ili içme sularının tüketilmesi sonucu maruz kalınan ortalama efektif doz değerleri [Ding (μSv/yıl) EPA]

Kilis il genelinden toplanan içme suyu örneklerinin içerdikleri radonun, ev içindeki hava ortamına transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İçme sularının ev işleri (banyo ve mutfakta) için kullanımı sonucunda sudan hava ortamına transfer olan radon, soluma ile vücut içerisine alınır ve bir doz etkisi meydana getirir. Solunan radonun meydana getirdiği bu efektif doz hızı, EPA tarafından tavsiye edilen doz katsayısı ( $F_{inh} = 9 \times 10^{-6} \text{ mSv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$ ) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kilis il merkezi için efektif doz değerleri 1,74 μSv/yıl’dan 17,46 μSv/yıl’a kadar değişim gösterir ve ortalama efektif doz değeri 5,05 μSv/yıl (SS: 0,23)’dır. Elbeyli, Musabeyli ve Polateli ilçeleri için ortalama efektif doz değerleri sırası ile 3,14 μSv/yıl (SS: 0,19), 3,38 μSv/yıl (SS: 0,20) ve 2,54 μSv/yıl (SS: 0,17) olarak hesaplanmıştır. Elbeyli ve Musabeyli için efektif doz değerlerinin değişim aralığı ise sırası ile 2,55 μSv/yıl-3,78 μSv/yıl ve 2,42 μSv/yıl-4,32 μSv/yıl’dır. İl geneli için efektif doz değerleri 1,74 μSv/yıl ile 17,46 μSv/yıl arasında değişir ve ortalaması 4,69 μSv/yıl (SS: 0,22) olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.5’deki efektif doz değerlerinin hepsi, EPA ve ICRP için sırası ile 100 μSv/yıl ve 1000 μSv/yıl olan limit değerlerin altındadır. Şekil 3.5 irdelendiğinde; il merkezinin efektif doz değerinin (5,05 μSv/yıl), il genelinin efektif doz değerinin (4,69 μSv/yıl) yukarısında olduğu görülür. Elbeyli (3,14 μSv/yıl), Musabeyli (3,38 μSv/yıl) ve Polateli (2,54 μSv/yıl) doz değerleri ise il genelinin altındadır.

**Çizelge 3.5.** Kilis il genelinden toplanan içme suyu örneklerinin içerdikleri radonun, ev içindeki hava ortamına transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri [Dinh ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ ) EPA]

| Bölge Adı   | Örnek Sayısı | Efektif Doz Dinh ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ ) EPA |          |          |                |
|---|--------------|--|----------|----------|----------------|
| (Limit Değer: EPA için $100 \mu\text{Sv}/\text{yıl}$ ; ICRP için $1000 \mu\text{Sv}/\text{yıl}$ ,<br>$F_{\text{inh}} = 9 \times 10^{-6} \text{ mSv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$ ) |              |  |          |          |                |
|   |              | Minimum  | Maksimum | Ortalama | Standart Sapma |
| Merkez  | 40           | 1,74   | 17,46    | 5,05     | 0,23           |
| Elbeyli   | 4            | 2,55   | 3,78     | 3,14     | 0,19           |
| Musabeyli   | 3            | 2,42   | 4,37     | 3,38     | 0,20           |
| Polateli  | 2            | 2,23   | 2,85     | 2,54     | 0,17           |
| İl Geneli   | 49           | 1,74   | 17,46    | 4,69     | 0,22           |

**Dinh:** Sudan bina içine transfer olan radon için doz değeri.



**Şekil 3.5.** Kilis il genelinden toplanan içme suyu örneklerinin içerdikleri radonun, ev içindeki hava ortamına transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri [Dinh ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ ) EPA]

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Kilis il ve ilçe merkezlerindeki mahallelerden alınan 49 adet içme suyu örneğinin radon konsantrasyonları CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılarak kapalı kutu tekniği ile belirlendi. Kilis halkının suların içilerek tüketilmesi ve sudan bina içerisine transfer olan radondan dolayı maruz kaldıkları efektif radyasyon dozu hesaplandı.

Kilis il geneli için suların ortalama radon konsantrasyonu 1,86 Bq/L (SS: 0,09) olarak hesaplandı. İl geneli için en yüksek radon konsantrasyonu 6,93 Bq/L (SS: 0,18) ile il merkezindeki Muallim Rıfat Bilge mahallesinde, en düşük radon konsantrasyonu ise 0,69 Bq/L (SS: 0,06) ile yine il merkezindeki Okçular mahallesinde ölçüldü. İçme suyu örneklerinin konsantrasyon değerlerinin hepsi US EPA tarafından önerilen 11.1 Bq/L'lik maksimum kontaminasyon seviyesinin altında bulundu.

Kilis il merkezi, Elbeyli, Musabeyli ve Polateli ilçeleri için su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonları sırası ile 2,00 Bq/L (SS: 0,09), 1,25 Bq/L (SS: 0,08), 1,34 (SS: 0,08) Bq/L ve 1,01 Bq/L (SS: 0,07) olarak hesaplandı.

Kilis il genelinde içme suyu örnekleri alınan mahallelerin yaklaşık olarak %88'inde radon konsantrasyonu 0,5-2,5 Bq/L seviyesinde, geriye kalan %12'lik dilimin radon konsantrasyonu ise 4,5-7 Bq/L seviyesinde dağılım gösterdi.

Kilis il merkezi ve ilçelerinden alınan su örneklerinin insanlar tarafından içilerek tüketilmesiyle maruz kalınan efektif doz değerleri WHO ve EPA tarafından tavsiye edilen doz katsayıları kullanılarak hesaplandı. Kilis il geneli için ortalama efektif doz değeri WHO ve EPA için sırası ile 16,70  $\mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,78) ve 4,75  $\mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,22) olarak hesaplandı. Hesaplanan efektif doz değerlerinin hepsinin, WHO ve EPA tarafından limit değer olarak tavsiye edilen 40  $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dan küçük olduğu ve halk sağlığı için risk oluşturmadığı belirlendi.

Kilis il genelinden alınan su örneklerinin içerdiği radonun bina içerisine transfer olması sonucunda sebebiyet verdiği efektif doz değerleri EPA tarafından tavsiye edilen doz katsayısı kullanılarak hesaplandı. Kilis il geneli için ortalama efektif doz değeri 4,69  $\mu\text{Sv/yıl}$  (SS: 0,22) olarak hesaplandı. Efektif doz değerlerinin hepsinin EPA ve ICRP

için sırası ile 100  $\mu\text{Sv/yıl}$  ve 1000  $\mu\text{Sv/yıl}$  olan limit değerlerinin altında olduğu ve halk sağlığı için risk oluşturmadığı görüldü.

Sularda radon konsantrasyonlarının belirlenmesi, insan sağlığının korunması ve ihtiyaç halinde gerekli önlemlerin alınması bakımından oldukça önemli ve gereklidir. Radon'un doğası gereği sularda bulunması ve mevsimsel olarak değişim göstermesi nedeniyle, geleceğe dair olarak Kilis ilinde sürekli ve mevsimsel olarak sularda radon ölçümleri ile ilgili projeler yapılabilir. Suların radon seviyesi ile ilgili olarak bir veri bankası oluşturulabilir ve Kilis ili sularının radon seviyelerinin uluslar arası kuruluşlar tarafından belirlenmiş olan limit değerleri aşıp aşmadığı sürekli olarak takip edilebilir. Limit değerlerin yukarısında radon konsantrasyonu ölçülmesi durumunda, radon konsantrasyonunun düşürülmesini amaçlayan projeler geliştirilebilir. Bölgenin jeolojik yapısı da göz önünde bulundurularak daha kapsamlı çalışmalar planlanabilir.

## 5. KAYNAKLAR

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

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

Al-Bataina, B.A., İsmail, A.M., Kullab, M.K., Abumurad, K.M., Mustafa, H., 1997. Radon Measurements in Different Types of Natural Waters in Jordan. Radiation Measurements 28, 591-594.

Al-Masri, M.S., Blackburn, R., 1999. Radon-222 and Related Activities in Surface Waters of the English Lake District. Applied Radiation and Isotopes 50,1137-1143.

Amrani, D., Cherouati, D.E. Cherchali, M.E.H., 2000. Groundwater Radon Measurements in Algeria. Journal of Enviromental Radioactivity 51, 173-180.

Baran, A., "Denizli ve Çevresindeki Termal Alanlarda Bina İçi Radon Düzeylerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

Barış, C., "İzmir-Çeşme Yer Altı-Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

Baykara, O., "Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

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

Bonavigo, L., Zucchetti, M., 2008. Dose Calculation Due to Underground Exposure: the Tav Tunnel in Valle Di Susa, Fresenius Environmental Bulletin 17, 1476-1479.

Can, B., "Kilis İlindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Canbazoğlu, C., "Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

Çetinkaya, H., "Kütahya İli İçme Sularında Radon ve Radyum Miktarlarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

Dayanıklı, Ş.A., "Manisa İlinde Kullanılan Bina Materyallerinde Radyoaktivite Tayini" Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

Değerlier, M., "Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

Demirel, S., "Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında  $^{222}\text{Rn}$  Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

Doğan, B., "CR-39 Nükleer İz Detektörleri İle Iğdır İlinde Kapalı Ortamlarda  $^{222}\text{Rn}$  Aktivite Konsantrasyonu Tayini ve Ölçümlerin İstatistiksel Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Durak, S., "Kütahya İli Kaplıca Sularında Radon-Radyum Konsantrasyonlarının ve Kaplıcalardaki Kapalı Ortam Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

Durrani, S.A., Bull, R.K., 1987. Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Method and Applications. ISBN: 0-08-020605-0, Pergamon Press, Oxford.

Erdoğan, M., Ozdemir, F., Eren, N., 2013. Measurements of Radon Concentration Levels in Thermal Waters in the Region of Konya, Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49, 567-574.

Erdoğan, M., "Osmaniye ve Çevresindeki İçilebilir ve İşlenebilir Sularda Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

Esmeray, E., "Konya ve Çevresinde Bulunan Su Kaynaklarındaki Doğal Radyasyonun İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

Gümbür, S., "Kahramanmaraş İlinde Su Örneklerinde Radon Gazı Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

ICRP, 1987. Lung Cancer Risk From Indoor Exposure to Radon Daughters, *Annals of the ICRP* 17, 1-60.

İncirci, F., "Kastamonu Bölgesindeki Sularda Radon Aktivitesinin Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Kapdan, E., "Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 2009.

Karadem, A., "CR-39 Detektörü İle Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Kılıç, Ö., "Bitlis Kaynak Sularında Radon Seviyelerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Semineri, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

Kilis Belediyesi, 2015. <http://www.kilis.bel.tr/> (Erişim tarihi: Aralık 2015).

Kilis İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2015. <http://www.kiliskulturturizm.gov.tr/> (Erişim tarihi: Aralık 2015).

Kilis Valiliği, 2015. <http://www.kilis.gov.tr/> (Erişim tarihi: Aralık 2015).

Krane, K.S., 2001. Nükleer Fizik (1. Cilt). ISBN: 975-7477-82-6, Palme Yayıncılık, Ankara.

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

Mowlavi, A.A., Shahbahrami, A., Binesh, A., 2009. Dose Evaluation and Measurement of Radon Concentration in Some Drinking Water Sources of the Ramsar Region in Iran. Isotopes in Environmental and Health Studies 45, 269-272.

Okur, A., “Tokat İli İçme ve Yüzey Sularında Radon Gazı Konsantrasyonu Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O., Bambalas, E., 2001. Natural Radionuclides in Drinking Water Supplies of Sao Paulo State, Brezil and Consequent Population Doses. Journal of Environmental Radioactivity 53, 99-109.

Özdemir, F.B., “Afyon ve Çevresindeki Kuyu sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

Özdemir, F., “Konya'nın Termal Sularında <sup>222</sup>Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.



Özkan, D., "Afyonkarahisar Yöresindeki Jeotermal Su Kaynaklarında Bölgesel Radon Gazı Değişimlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Koca Tepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

RADOSYS, 2011. RADOSYS User Manual. Radosys Kft., Budapest, Hungary.

Revan, M., "Kuzey Ege Kaplıcalarının Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

Şahin, S., "Sivrice Fay Zonundaki Radon Değişimi ve Doğal Radyoaktivite", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr>. (Erişim tarihi: Aralık 2015).

Tel, F., "Konya'nın Çeşme Sularında Radon Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

Topsakal, Ş.E., "Konya'nın Ilgın İlçesinde Bulunan Ilgın Fay Hattı Civarındaki Yer Altı Sularında ve Toprak Gazında Radon Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, with scientific annexes, United Nations, New York.

Xinwei, L., Xiaolan, Z., 2004. Study of the Radon Concentrations in Drinking Water From Three Main Cities of Shaanxi Province, China. Environmental Geology 45, 1082-1086.

Wu, Y.Y., Ma, Y.Z., Cui, H.X., Liu, J.X., Sun, Y.R., Shang, B., Su, X., 2014. Radon Concentrations in Drinking Water in Beijing City, China and Contribution to Radiation Dose. International Journal of Environmental Research and Public Health 11, 11121-11131.

Yalçın, S., Gurler, O., Akar, U.T., İncirci, F., Kaynak, G., Gundogdu, O., 2011. Measurements of Radon Concentration in Drinking Water Samples from Kastamonu (Turkey). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 47, 438-445.

Yuce, G., Gasparon, M., 2013. Preliminary Risk Assessment of Radon in Groundwater: a case study from Eskişehir, Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49, 163-179.

Zorer, Ö.S., “Bendimahı Çayı’nda ve Çayın Van Gölü’ne Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

## **EKLER**

EK-1. Kilis İl Merkezi Sularının Radon Konsantrasyonları

EK-2. Kilis Elbeyli İlçe Sularının Radon Konsantrasyonları

EK-3. Kilis Musabeyli İlçe Sularının Radon Konsantrasyonları

EK-4. Kilis Polateli İlçe Sularının Radon Konsantrasyonları



**EK-1. Kilis il merkezi sularının radon konsantrasyonları**

| Örnek No | Mahalle                 | Su Kaynağı | Radon                 |
|----------|-------------------------|------------|-----------------------|
|          |                         |            | Konsantrasyonu (Bq/L) |
| 1        | Mehmet Sanlı Mh.        | Musluk     | 1,44±0,08             |
| 2        | Bölük Mh.               | Musluk     | 0,95±0,07             |
| 3        | Tekke Mh.               | Musluk     | 1,18±0,07             |
| 4        | Şehitler Mh.            | Musluk     | 0,76±0,06             |
| 5        | İslambey Mh.            | Musluk     | 0,88±0,06             |
| 6        | Aslan Mh.               | Kuyu       | 1,79±0,09             |
| 7        | Vaiz Mh.                | Musluk     | 1,75±0,09             |
| 8        | Yeni Mh.                | Musluk     | 1,55±0,08             |
| 9        | Çaylak Mh.              | Musluk     | 4,99±0,15             |
| 10       | Yedi Aralık Mh.         | Musluk     | 1,06±0,07             |
| 11       | Abdi Oymağı Mh.         | Musluk     | 6,55±0,17             |
| 12       | Tırıklı Mh.             | Musluk     | 5,62±0,16             |
| 13       | Müslüman Bey Mh.        | Kuyu       | 5,14±0,15             |
| 14       | Demirciler Mh.          | Musluk     | 0,99±0,07             |
| 15       | Hakverdi Mh.            | Musluk     | 1,21±0,07             |
| 16       | Helvacıoğlu Mh.         | Musluk     | 0,88±0,06             |
| 17       | Bilalhabeşi Mh.         | Musluk     | 0,85±0,06             |
| 18       | Okçular Mh.             | Musluk     | 0,69±0,06             |
| 19       | Mehmet Çavuş Mh.        | Musluk     | 1,14±0,07             |
| 20       | Muallim Rıfat Bilge Mh. | Musluk     | 6,93±0,18             |
| 21       | Atatürk Mh.             | Musluk     | 1,36±0,08             |
| 22       | TOKİ                    | Musluk     | 1,19±0,07             |
| 23       | Çengel Mh.              | Musluk     | 1,85±0,09             |
| 24       | İsmet Paşa Mh.          | Musluk     | 1,58±0,09             |
| 25       | Hürriyet Mh.            | Musluk     | 0,83±0,06             |
| 26       | Ekrem Çetin Mh.         | Kuyu       | 2,17±0,10             |
| 27       | Barış Mh.               | Kuyu       | 0,94±0,07             |
| 28       | Altınüzüm Mh.           | Musluk     | 0,91±0,06             |

**EK-1(Devam). Kilis il merkezi sularının radon konsantrasyonları**

|   |                                     |        |                  |
|---|-------------------------------------|--------|------------------|
| 29  | İzzettin İyigün Paşa Mh.            | Musluk | 0,90±0,06        |
| 30  | Nedim Ökmen Mh.                     | Kuyu   | 2,26±0,10        |
| 31  | Şıhahmet Mh.                        | Kuyu   | 0,77±0,06        |
| 32  | Doğan Güreş Paşa Mh.                | Musluk | 1,53±0,08        |
| 33  | Albay İbrahim Karaoğlan<br>oğlu Mh. | Musluk | 2,02±0,10        |
| 34  | Mehmet Rıfat Kazancıoğlu<br>Mh.     | Musluk | 1,41±0,08        |
| 35  | Kazım Karabekir Mh.                 | Kuyu   | 2,49±0,11        |
| 36  | Kartalbey Mh.                       | Musluk | 1,71±0,09        |
| 37  | Mullahamit Mh.                      | Musluk | 4,99±0,15        |
| 38  | Şehitsakıp Mh.                      | Musluk | 0,97±0,07        |
| 39  | Namık Kemal Mh.                     | Kuyu   | 1,91±0,09        |
| 40  | Cumhuriyet Mh.                      | Kuyu   | 1,97±0,10        |
| <b>Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |                                     |        | <b>2,00±0,09</b> |

**EK-2. Kilis Elbeyli ilçe sularının radon konsantrasyonları**

| <b>Örnek No</b>                             | <b>Mahalle</b>       | <b>Su Kaynağı</b> | <b>Radon</b>                 |
|---|----------------------|-------------------|------------------------------|
|   |                      |                   | <b>Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |
| 41  | İnönü Mh./Elbeyli    | Musluk            | 1,10±0,07                    |
| 42  | Hürriyet Mh./Elbeyli | Musluk            | 1,50±0,08                    |
| 43  | Akyüz Mh./Elbeyli    | Musluk            | 1,37±0,08                    |
| 44  | Şehitler Mh./Elbeyli | Kuyu              | 1,01±0,07                    |
| <b>Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |                      |                   | <b>1,25±0,08</b>             |

**EK-3.** Kilis Musabeyli ilçe sularının radon konsantrasyonları

| <b>Örnek No</b>                             | <b>Mahalle</b>           | <b>Su Kaynağı</b> | <b>Radon</b>                 |
|---|--------------------------|-------------------|------------------------------|
|   |                          |                   | <b>Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |
| 45  | Cumhuriyet Mh./Musabeyli | Musluk            | 1,33±0,08                    |
| 46  | Pınar Mh./Musabeyli      | Kuyu              | 0,96±0,07                    |
| 47  | Akyüz Mh./Musabeyli      | Musluk            | 1,73±0,09                    |
| <b>Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |                          |                   | <b>1,34±0,08</b>             |

**EK-4.** Kilis Polateli ilçe sularının radon konsantrasyonları

| <b>Örnek No</b>                             | <b>Mahalle</b>          | <b>Su Kaynağı</b> | <b>Radon</b>                 |
|---|-------------------------|-------------------|------------------------------|
|   |                         |                   | <b>Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |
| 48  | Şehit Ali Mh./ Polateli | Musluk            | 1,13±0,07                    |
| 49  | Atatürk Mh./ Polateli   | Musluk            | 0,88±0,06                    |
| <b>Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)</b> |                         |                   | <b>1,01±0,07</b>             |



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Ayşe GÜNDOĞAN

**Doğum Yeri:** Şahinbey/GAZİANTEP

**Doğum Tarihi:** 14.06.1987

**E Posta:** [asi\\_1476@hotmail.com](mailto:asi_1476@hotmail.com)

**Yabancı Dil:** İngilizce

**Eğitim Durumu ( Okul, mezuniyet yılı, Şehir)**

**Lisans:** Kilis 7 Aralık Üniversitesi, 2008-2012, Kilis

**Yüksek Lisans:** Kilis 7 Aralık Üniversitesi, 2012-2016, Kilis