

UŞAK VE ÇEVRESİNDEKİ DERİN KUYU SULARINDA  
RADON (Rn-222) AKTİVİTESİNİN TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuncay ERDOĞAN

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UŞAK VE ÇEVRESİNDEKİ DERİN KUYU SULARINDA RADON ( $Rn-222$ )  
AKTİVİTESİNİN TAYİNİ

TUNCAY ERDOĞAN

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL danışmanlığında  
Tuncay ERDOĞAN tarafından hazırlanmış  
“UŞAK VE ÇEVRESİNDEKİ DERİN KUYU SULARINDA RADON (Rn–222)  
AKTİVİTESİNİN TAYİNİ”

başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca

22.01.2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Üye : Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah KAPLAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### UŞAK VE ÇEVRESİNDEKİ DERİN KUYU SULARINDA RADON (Rn-222) AKTİVİTESİNİN TAYİNİ

Tuncay Erdoğan

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

İnsanlar ve diğer canlı varlıklar yaşamları boyunca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından dolayı sürekli radyasyona maruz kalırlar. İnsanların doğal kaynaklardan aldıkları radyasyonun % 50'sini radon ve bozunum ürünleri oluşturur. İnsanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için su en önemli ihtiyaçların başında gelir. Canlılar su ihtiyaçlarını, yüzey sularından ve yeraltı su kaynaklarından temin ederler. Yeraltı suları içinden geçtikleri ve temas ettikleri radyoaktif kütlelerden dolayı  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  grubunda yer alan radyoaktif elementler içerir. Sularda çözünmüş uranyum serilerine ait olan radyoaktif elementler, sağlık için önemli riskler oluşturan  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$ 'dan meydana gelir. İçme sularındaki radyoaktif elementlerin değerlerinin uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş limit değerlerin altında olması istenir.

Diğer yandan dünyanın birçok bölgesinde görülen depremler, birçok araştırmacıyı depremi önceden tahmin etme metodlarını ortaya çıkarma ile ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik çalışmaların bir tanesi de radon gazı aktivitesindeki değişim ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesidir.

Bu çalışmanın amacı, Uşak ili ve çevresindeki derin kuyu sularının radon ve radyum aktivitelerini belirlemektir. Bu amaçla 10 farklı kuyudan, 13.08.2008 ile 22.12.2008 tarihleri arasında haftalık periyotlarla alınan su örnekleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Analizler sonucunda maksimum radon aktivitesi 21,56 Bq/L, minimum radon aktivitesi 0,05 Bq/L, maksimum radyum aktivitesi 5,84 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,02 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar radon-sağlık ve radon-deprem ilişkileri açısından değerlendirilmiştir.

**2010, 105 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Radon, Radyum, Deprem, Aktivite, Derin Kuyu Suyu

## **ABSTRACT**

M. Sc. Thesis

### **DETERMINATION OF RADON (Rn-222) ACTIVITY IN DEEP WELL WATER IN UŞAK AND ITS SURROUNDING**

Tuncay Erdoğan

Universty of Afyon Kocatepe

Institute of Science

Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

People and other living organisms are exposed to radiation via both natural and artificial resources throughout their life. Radon gas and other decay products constitute % 50 of natural radiation that people take in. Water is the most important need to sustain of human life. All living organisms get their water needs from surface and underground water sources. Underground water includes radioactive elements from  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  group because of radioactive materials which it passes through and contacts. Radioactive elements that belong to uranium material dissolved in the water are composed of  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$  which poses the serious risk for human health. It is the requirement of international authorities that radioactive elements contained in the drinking water must be below determined limit value.

On the other hand, due to earthquakes seen in many regions on the earth, many researchers have focused on finding methods for predicting earthquakes. One way of predicting earthquake is the investigation of the relation between changing radon gas activities and seismic activities.

The aim of this study is to determine radon and radium activities contained in deep well water in Uşak and its surroundings. For this purpose, water samples taken from 10 different wells by weekly periods between 13.08.2008 and 22.12.2008 are examined in the Nuclear Physics Laboratory of Physics Department at Afyon Kocatepe University. According to analysis, maximum and minimum radon activities are 21,56 Bq/L and 0,05 Bq/L, respectively. Regarding radium activity in the deep well water, its maximum and minimum activities are found as 5,84 Bq/L and 0,02 Bq/L, respectively.

Obtained results are evaluated for radon-helth and radon-earthquake relations.

**2010, 105 pages**

**Keywords:** Radon, Radium, Earthquake, Activity, Deep Well Water

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada benden yardımlarını esirgemeyen, tezimin tamamlanmasında en büyük katkıyı sağlayan, bilgi ve deneyimleri ile beni sürekli olarak olumlu şekilde yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL'a çok teşekkür ederim. Yine tezim süresince bilgi ve becerilerini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalardaki büyük desteğinden dolayı Arş. Görv. Ahmet Akkurt'a, ilgi ve alakalarından dolayı başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN olmak üzere bölümdeki tüm hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklardan numune alımlarım sırasında beni yalnız bırakmayan tüm öğretmen arkadaşlarıma, manevi desteklerinde dolayı tüm öğrencilerime teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışma dönemimde sürekli yanımda olan ve her zaman hayattaki en büyük destekçilerim, sevgili eşim Kimya Öğretmeni Gülcan Erdoğan'a, kızlarım Ezgi ve Sude'ye, ayrıca beni bugünlere getiren sevgili babam ve anneme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tuncay ERDOĞAN



## İÇİNDEKİLER

|                                                         |      |
|---------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                              | i    |
| ABSTRACT .....                                          | iii  |
| TEŞEKKÜR.....                                           | v    |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                    | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                    | x    |
| TABLolar DİZİNİ .....                                   | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                          | 1    |
| 1.1 Radyasyon Kaynakları .....                          | 1    |
| 1.2 Radyoaktivite .....                                 | 6    |
| 1.2.1 Atom Çekirdeği ve Kararlılığı.....                | 7    |
| 1.2.2 Radyoaktivite Birimleri.....                      | 13   |
| 1.2.2.1 Aktivite Birimi .....                           | 13   |
| 1.2.2.2 Işınlama Birimi.....                            | 14   |
| 1.2.2.3 Soğrulan Doz Birimi .....                       | 14   |
| 1.2.2.4 Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz) .....       | 15   |
| 1.3 Radyoaktif Bozunma Türleri.....                     | 15   |
| 1.3.1 Alfa Bozunması.....                               | 16   |
| 1.3.2 Beta-Negatif Bozunması .....                      | 16   |
| 1.3.3 Beta-Pozitif Bozunması.....                       | 17   |
| 1.3.4 Elektron Yakalanması .....                        | 19   |
| 1.3.5. İç Dönüşüm .....                                 | 20   |
| 1.3.6 İzomerik Geçiş .....                              | 21   |
| 1.3.7 Gama Işını Yayınlanması .....                     | 22   |
| 1.3.8 Nötron yayınlanması .....                         | 24   |
| 2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI ve LİTERATÜR İNCELEMESİ ..... | 25   |
| 2.1 Tez Çalışmasının Amacı .....                        | 25   |
| 2.2 Literatür İncelemesi.....                           | 27   |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                                                            | 34  |
| 3.1 İncelenen Su Kaynakları .....                                                                     | 34  |
| 3.2 Numune Alımı.....                                                                                 | 35  |
| 3.3 Pylon AB-5R Cihazında Sayım.....                                                                  | 35  |
| 3.3.1 WG-1001 Model Vakumlu Su-Gaz Ayırıştırıcı Sistemi .....                                         | 36  |
| 3.3.2 AB-5R Dedektörünün Çalışma Teorisi .....                                                        | 37  |
| 3.3.3 Ara Mod-Daimi Örnekleme .....                                                                   | 37  |
| 3.4 Pylon AB-5R’de Sudaki Radonun Ölçümü.....                                                         | 38  |
| 3.4.1 Sudaki Radon Hesaplamaları .....                                                                | 39  |
| 3.5 Pylon AB-5R Dedektörü ile Sudaki Radyumun Ölçümü.....                                             | 40  |
| 3.5.1 Sudaki Radyum Hesaplamaları .....                                                               | 41  |
| 3.5.2 Radon ve Radyumun Ortalama Hesaplamaları .....                                                  | 42  |
| 3.5.3 Standart Hata .....                                                                             | 42  |
| 4. DENEYSEL BULGULAR .....                                                                            | 43  |
| 4.1 Kaynakların Radon ve Radyum Aktiviteleri .....                                                    | 43  |
| 4.2 Kaynaklardan Aynı Tarihte Alınan Numunelerin Radon ve Radyum Aktivitelerinin<br>İncelenmesi ..... | 71  |
| 4.3 Kaynakların Ortalama Radon ve Radyum Aktiviteleri .....                                           | 90  |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....                                                                            | 93  |
| 5.1 Radon ve Radyum Aktivitelerinin Halk Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi.....                     | 93  |
| 5.2 Radon Aktivitelerindeki Değişim ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişki.....                     | 96  |
| KAYNAKLAR .....                                                                                       | 99  |
| İnternet Kaynakları.....                                                                              | 104 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                        | 105 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| A°              | : Angstrom                                                                                    |
| 1 Bq            | : Becquerel, 1 parçalanma s <sup>-1</sup>                                                     |
| 1 Ci            | : Curie, 3,7x10 <sup>7</sup> parçalanma s <sup>-1</sup>                                       |
| pCi             | : piko Curie                                                                                  |
| c               | : Işık Hızı (3x10 <sup>8</sup> m/s)                                                           |
| °C              | : Santigrad Derece                                                                            |
| 1 Gy            | : Gray                                                                                        |
| 1 R             | : Röntgen                                                                                     |
| 1 rad           | : Radiation Absorbed Dose                                                                     |
| 1 Sv            | : Sievert                                                                                     |
| mSv             | : mili Sievert                                                                                |
| $\alpha$        | : Alfa                                                                                        |
| $\beta^-$       | : Beta- negatif                                                                               |
| $\beta^+$       | : Beta- pozitif                                                                               |
| $\gamma$        | : Gama                                                                                        |
| n               | : Nötron                                                                                      |
| p               | : Proton                                                                                      |
| A               | : Spesifik Aktivite (Bq/L)                                                                    |
| C               | : Brüt Sayım Oranı (CPM)                                                                      |
| B               | : Arka Plan Sayım Oranı                                                                       |
| F               | : Hücre Sayım Verimliliği (0,745)                                                             |
| D               | : Gaz Ayrıştırma Verimliliği (300 A hücresi için:0,9)                                         |
| S               | : Hücreye Radonun Hapsedilmesinden Sayım Zamanına Kadar Geçen<br>Süre İçin Düzeltme Katsayısı |
| V               | : Numune Hacmi (190ml)                                                                        |
| G               | : Numune Alış Süresinden Numune Sayım Zamanına Kadar Geçen Süre<br>İçin Düzeltme Katsayısı    |

| <b><u>Simgeler</u></b> | <b><u>Açıklama</u></b> |
|------------------------|------------------------|
|------------------------|------------------------|

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| $^{238}\text{U}$  | : Uranyum   |
| $^{235}\text{U}$  | : Aktinyum  |
| $^{232}\text{Th}$ | : Toryum    |
| $^{237}\text{Np}$ | : Neptünyum |
| $^{222}\text{Rn}$ | : Radon     |
| $^{220}\text{Rn}$ | : Toron     |
| $^{219}\text{Rn}$ | : Aktinon   |
| $^{226}\text{Ra}$ | : Radyum    |
| $^{206}\text{Pb}$ | : Kurşun    |
| $^{212}\text{Po}$ | : Polonyum  |
| $^{208}\text{Tl}$ | : Talyum    |
| $^{212}\text{Bi}$ | : Bizmut    |
| $^{40}\text{K}$   | : Potasyum  |

| <b><u>Kısaltmalar</u></b> | <b><u>Açıklama</u></b> |
|---------------------------|------------------------|
|---------------------------|------------------------|

|         |                                                                                                                                               |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CPM     | : Counts Per Minute (Dakikadaki Sayım)                                                                                                        |
| EPA     | : Enviromental Prodection Agency (Çevre Koruma Ajansı)                                                                                        |
| eV      | : Elektron Volt                                                                                                                               |
| MeV     | : Mega Elektron Volt                                                                                                                          |
| NCPM    | : Net Counts Per Minute (Dakikadaki Net Sayım)                                                                                                |
| PMT     | : Photomultiplier Tube (Foto Çogaltıcı Tüp)                                                                                                   |
| TAEK    | : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu                                                                                                                |
| USEPA   | : United States Enviromental Prodection Agency<br>(Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)                                                    |
| ICRU    | : International Commission on Radiation Units and Measurements<br>(Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu)                                |
| UNSCEAR | : United Nations Scientific Committeon the Effects of Atomic Radiation<br>(Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi) |
| SI      | : International System of Unit (Uluslararası Birim Sistemi)                                                                                   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Dünya Geneline Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozların Oranları .....                                           | 1  |
| Şekil 1.2 Dünya Geneline Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri.....                            | 2  |
| Şekil 1.3 Dünya Geneline Yapay Radyasyon kaynaklarından Maruz Kalınan Dozların Oransal Değerleri.....                                     | 5  |
| Şekil 1.4 Uranyum Serisinin Parçalanması .....                                                                                            | 10 |
| Şekil 1.5 Aktinyum Serisinin Parçalanması .....                                                                                           | 11 |
| Şekil 1.6 Toryum Serisinin Parçalanması .....                                                                                             | 12 |
| Şekil 1.7 Alfa Bozunumu .....                                                                                                             | 16 |
| Şekil 1.8 Bir $\beta^-$ Bozunumu .....                                                                                                    | 17 |
| Şekil 1.9 Bir $\beta^+$ Bozunumu .....                                                                                                    | 18 |
| Şekil 1.10 Elektron Yakalaması Olayına Bir Örnek .....                                                                                    | 20 |
| Şekil 1.11 İç Dönüşüm Olayı .....                                                                                                         | 21 |
| Şekil 1.12 Gama Bozunumu.....                                                                                                             | 22 |
| Şekil 1.13 Alfa, Beta parçacıkları ve Gama ışınlarının Giricilikleri .                                                                    | 23 |
| Şekil 1.14 Bir Magnetik Alan Tarafından $\alpha$ , $\beta$ parçacıkları ve $\gamma$ Işınının Saptırılmalarını Gösteren Deneysel Düzenek . | 23 |
| Şekil 3.1 İncelenen Kaynakların Yerleri .....                                                                                             | 35 |
| Şekil 3.2 (a) Gaz Ayırıştırma Ünitesi, (b) Detektör, (c) Radon Depolama Hücresi.....                                                      | 36 |
| Şekil 4.1 1 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                                                                | 44 |
| Şekil 4.2 1 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                                                               | 44 |
| Şekil 4.3 1 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                                                            | 45 |
| Şekil 4.4 2 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                                                                | 47 |
| Şekil 4.5 2 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                                                               | 47 |
| Şekil 4.6 2 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktiviteleri Lineer Korelasyonu.....                                                               | 48 |
| Şekil 4.7 3 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                                                                | 50 |
| Şekil 4.8 3 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                                                               | 50 |
| Şekil 4.9 3 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                                                            | 51 |
| Şekil 4.10 4 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                                                               | 53 |
| Şekil 4.11 4 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                                                              | 53 |
| Şekil 4.12 4 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                                                           | 54 |
| Şekil 4.13 5 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                                                               | 55 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.14 5 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                     | 55 |
| Şekil 4.15 5 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                  | 56 |
| Şekil 4.16 6 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                      | 58 |
| Şekil 4.17 6 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                     | 58 |
| Şekil 4.18 6 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                  | 59 |
| Şekil 4.19 7 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                      | 61 |
| Şekil 4.20 7 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                     | 61 |
| Şekil 4.21 7 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                  | 62 |
| Şekil 4.22 8 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                      | 64 |
| Şekil 4.23 8 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                     | 64 |
| Şekil 4.24 8 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                  | 65 |
| Şekil 4.25 9 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi.....                                      | 66 |
| Şekil 4.26 9 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                     | 66 |
| Şekil 4.27 9 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                  | 67 |
| Şekil 4.29 10 Nolu Kaynağın Radium Aktiviteleri Değişimi.....                                    | 69 |
| Şekil 4.30 10 Nolu Kaynağın Radon-Radium Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu.....                 | 70 |
| Şekil 4.31 İncelenen Kaynakların 13.08.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 71 |
| Şekil 4.32 İncelenen Kaynakların 19.08.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 72 |
| Şekil 4.33 İncelenen Kaynakların 02.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 73 |
| Şekil 4.34 İncelenen Kaynakların 08.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 74 |
| Şekil 4.35 İncelenen Kaynakların 15.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 75 |
| Şekil 4.36 İncelenen Kaynakların 22.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 76 |
| Şekil 4.37 İncelenen Kaynakların 29.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 77 |
| Şekil 4.38 İncelenen Kaynakların 06.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 78 |
| Şekil 4.39 İncelenen Kaynakların 13.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri ..... | 79 |
| Şekil 4.40 İncelenen Kaynakların 20.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium .....              | 80 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Aktiviteleri .....                                                                  | 80 |
| Şekil 4.41 İncelenen Kaynakların 27.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 81 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 81 |
| Şekil 4.42 İncelenen Kaynakların 03.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 82 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 82 |
| Şekil 4.43 İncelenen Kaynakların 10.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 83 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 83 |
| Şekil 4.44 İncelenen Kaynakların 17.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 84 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 84 |
| Şekil 4.45 İncelenen Kaynakların 24.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 85 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 85 |
| Şekil 4.46 İncelenen Kaynakların 01.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 86 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 86 |
| Şekil 4.47 İncelenen Kaynakların 08.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 87 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 87 |
| Şekil 4.48 İncelenen Kaynakların 15.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 88 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 88 |
| Şekil 4.49 İncelenen Kaynakların 22.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium ..... | 89 |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 89 |
| Şekil 4.50 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçerisinde Ortalama Radon     |    |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 92 |
| Şekil 4.51 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçerisinde Ortalama Radium    |    |
| Aktiviteleri .....                                                                  | 92 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1 Dünya Geneline Doğal Radyasyon Kaynaklarından Alınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri .....                                                                | 3  |
| Tablo 1.2 Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitlerin Ortalama Değerleri .....                                                                                           | 4  |
| Tablo 1.3 Çeşitli Meslekler İçin Yıllık Ortalama Etkin Doz Değerleri .....                                                                                           | 6  |
| Tablo 1.4 Radyasyon Birimleri ve Dönüşüm Faktörleri .....                                                                                                            | 13 |
| Tablo 2.1 U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)'nın İçme Sularında <sup>226</sup> Ra ve <sup>222</sup> Rn Aktiviteleri İçin İzin Verilebilir Üst Sınırı ..... | 25 |
| Tablo 3.1 Su örneklerinin alındığı kaynaklar .....                                                                                                                   | 34 |
| Tablo 4.1 1 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 43 |
| Tablo 4.2 2 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 46 |
| Tablo 4.3 3 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 49 |
| Tablo 4.4 4 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 52 |
| Tablo 4.5 5 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 54 |
| Tablo 4.6 6 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 57 |
| Tablo 4.7 7 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 60 |
| Tablo 4.8 8 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 63 |
| Tablo 4.9 9 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 65 |
| Tablo 4.10 10 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçinde Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi .....                                                               | 68 |
| Tablo 4.11 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçindeki Ortalama Radon Aktiviteleri ve Standart Hataları .....                                                | 90 |
| Tablo 4.12 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçindeki Ortalama Radyum Aktiviteleri ve Standart Hataları .....                                               | 91 |

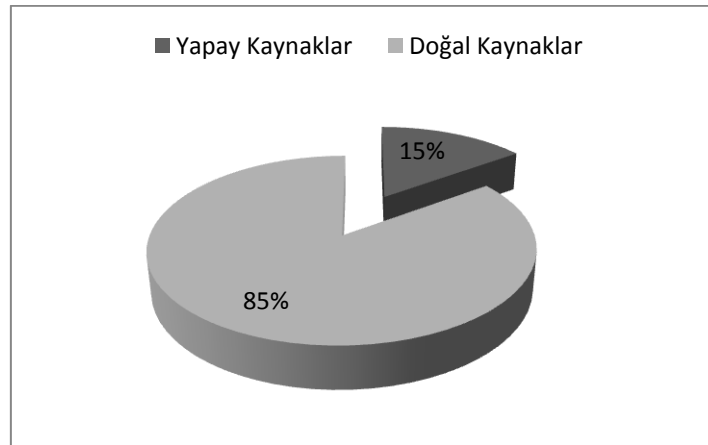


# 1. GİRİŞ

## 1.1 Radyasyon Kaynakları

İnsanlar ve diğer canlı varlıklar yaşamları boyunca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından dolayı sürekli olarak radyasyona maruz kalırlar. Uzaydan ve Güneş'ten gelen kozmik ışınlar, yerkürede bulunan radyoizotoplardan dolayı (toprak, su ve gıda gibi doğal radyasyon kaynaklarına ilaveten) enerji üretimi, endüstri, tıp, bilimsel araştırma, tarım, hayvancılık gibi birçok alanda kullanılan yapay radyasyon kaynaklarından yaşam boyunca sürekli olarak ışınlanırız.

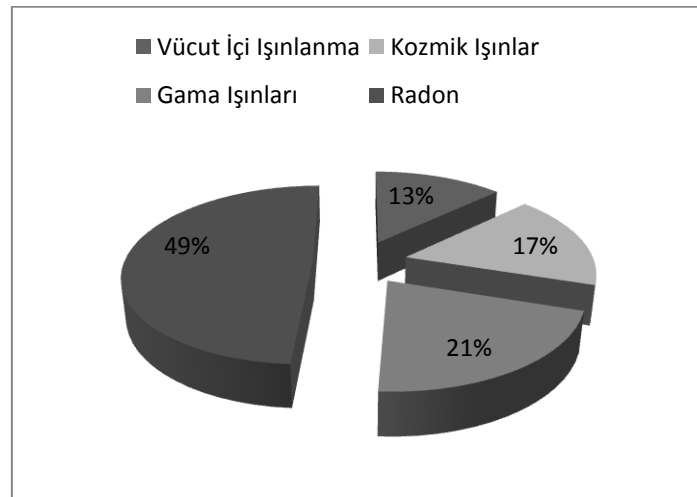
Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından dolayı dünya genelinde kişi başına alınan yıllık ortalama etkin doz 2,8 mSv'dir (UNSCEAR 2000). Burada ifade edilen etkin doz, alınan dozdan kaynaklanan radyasyon hasar miktarını ifade etmek için oluşturulmuş bir doz ölçüsüdür. Bu değerin yaklaşık olarak % 85'ten daha fazlasını doğal radyasyon kaynakları, % 14'ünü tıbbi ışınlamalar, % 1'den daha az kısmını ise radyoaktif serpintiler, tüketici ürünleri, nükleer endüstri ve mesleki ışınlamalar oluşturmaktadır. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oransal değerleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir. İnsanların ve canlıların yaşam standartları, alışkanlıkları, bulundukları ortamın fiziksel ve coğrafi şartları maruz kaldıkları radyasyon dozunu etkiler.



Şekil 1.1 Dünya Genelinde Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarından Alınan Dozların Oranları

Doğal radyasyon kaynakları; kozmik ışınları, yerkürede bulunan radyoaktif maddeleri, havadaki radon bozunum ürünlerini, yiyecek ve içeceklerde doğal olarak bulunan çeşitli radyonüklitidleri içerir. Yapay radyasyon kaynakları; tıbbi x-ışınları, nükleer silah denemelerinden kaynaklanan atmosferdeki radyoaktif serpintileri, nükleer endüstrinin radyoaktif atıklarının salınımı, endüstriyel gama ışınları ve tüketici ürünleri gibi diğer öğeleri içerir.

Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır (UNSCEAR 2000). Bu değer bazı ülkelerde 10 mSv'in üzerine çıkabilmektedir. Bu değer % 49'unu radon, % 21'lik kısmını gama ışınları, % 17'sini kozmik ışınlar, %13'ünü vücut içi ışınlamalar oluşturur. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozunun oransal değerleri Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri

Doğal radyasyon kaynaklarından ışınlama

- Uzaydan gelen kozmik ışınlardan
- Yerkabuğunda bulunan doğal radyoaktif izotoplardan

olmak üzere iki temel nedenden kaynaklanmaktadır.

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından alınan ortalama radyasyon doz değerleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Dünya Geneline Doğal Radyasyon Kaynaklarından Alınan Ortalama Radyasyon Doz Değerleri (UNSCEAR 2000).

| Işınlanma Kaynağı                     | Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv) |                 |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|                                       | Ortalama                      | Değişim Aralığı |
| <b>KOZMİK RADYASYON</b>               |                               |                 |
| • Foton bileşeni                      | 0,28                          |                 |
| • Nötron bileşeni                     | 0,10                          |                 |
| <b>KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR</b>      | 0,01                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | 0,39                          | 0,3-1,0         |
| <b>YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA</b> |                               |                 |
| • Bina dışı                           | 0,07                          |                 |
| • Bina içi                            | 0,41                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | 0,48                          | 0,3- 0,6        |
| <b>SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA</b>     |                               |                 |
| • Uranyum ve Toryum serileri          | 0,006                         |                 |
| • Radon ( Rn -222)                    | 1,15                          |                 |
| • Toron ( Rn -220)                    | 0,10                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | 1,26                          | 0,2-10          |
| <b>BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA</b>    |                               |                 |
| • K-40                                | 0,17                          |                 |
| • Uranyum ve Toryum serileri          | 0,12                          |                 |
| <b>Toplam</b>                         | 0,29                          | 0,2-0,8         |
| <b>GENEL TOPLAM</b>                   | 2,40                          | 1-10            |

Kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yüksekliğe bağlı olarak değişse de 0,4 mSv civarındadır (UNSCEAR 2000).

Yerkabuğunda bulunan doğal radyoaktif izotoplardan dolayı vücudumuz iki şekilde ışınlanmaya maruz kalır:

- Dış ışınlama
- İç ışınlama

Dış kaynaklı ışınlamanın temel nedeni, yer kabuğunda doğal olarak bulunan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  serilerinden ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarından kaynaklanan gama ışınlarıdır. Yer kabuğunda doğal olarak bulunan radyonüklitlerin ortalama değerleri Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2 Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitlerin Ortalama Değerleri (UNSCEAR 2000).

| Toprakta Bulunan Doğal Radyonüklitler (Bq/kg) |         |        |        |        |
|-----------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
|                                               | K-40    | U-238  | Ra-226 | Th-232 |
| Değişim Aralığı                               | 140-850 | 16-110 | 17-60  | 11-64  |
| Ortalama                                      | 400     | 35     | 35     | 45     |

Yeryüzü kaynaklı dış ışınlama nedeni ile alınan yıllık etkin doz değeri yaklaşık olarak 0,48 mSv civarındadır (UNSCEAR 2000). Bazı bölgelerde insanların aldıkları doz, bu ortalama değer in altında veya üstünde olabilir. Hindistan’ın Kerala bölgesinde, Fransa ve Brezilya’nın bazı bölgelerinde alınan doz dünya ortalamasının 20 katına kadar ulaşabilmektedir.

Yerkabuğundaki doğal radyasyon konsantrasyonları bölgenin jeolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (Choubey *et al.* 2003, Marques *et al.* 2004).

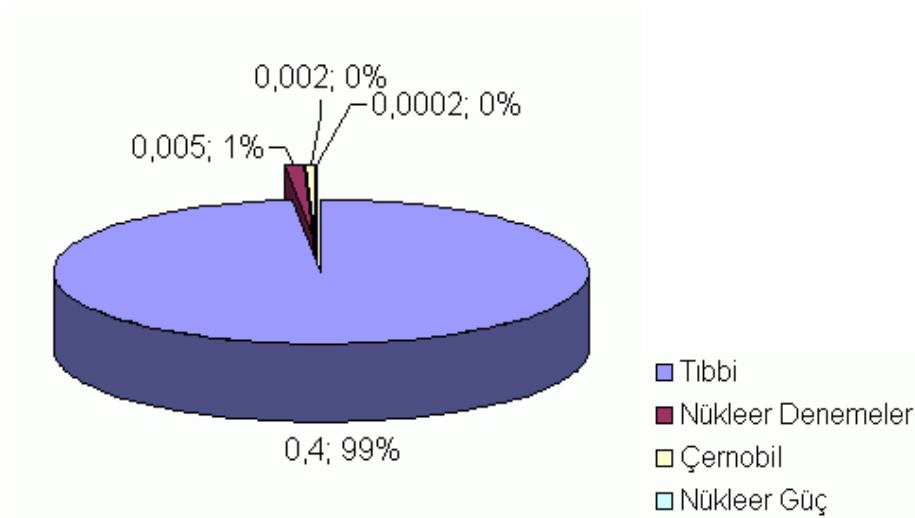
İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal radyoizotopların solunum ve sindirim yoluyla vücuda alınmasından kaynaklanır.

Havada bulunan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirlerindeki radyo izotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yoluyla vücuda alınmaktadır. Solunum nedeniyle iç ışınlamanın en önemli kısmını radon ve radonun bozunum ürünleri oluşturmaktadır. Radon haricindeki diğer doğal radyoizotopların solunum yoluyla vücuda alınmasından kaynaklanan iç ışınlamaya etkisi oldukça azdır. Dünya genelinde radon bozunum

ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun 1,2 mSv civarında olduğu tahmin edilmektedir (USCEAR 2000).

Yiyecek ve içeceklerde bulunan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri sindirim yoluyla alınan dozun temel nedenleridir. Uranyum ve toryum bozunma serilerindeki diğer radyonüklitler, özellikle  $^{210}\text{Pb}$  ve  $^{210}\text{Po}$  havada, gıdada ve suda bulunur, vücudumuzda iç ışınlanmaya sebep olurlar.  $^{40}\text{K}$  normal beslenme yoluyla vücuda giren radon bozunum ürünleri dışında iç ışınlanmanın ana kaynağıdır. Uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferle etkileşimi iç ışınlanmayı arttıran  $^{14}\text{C}$  gibi bazı radyonüklitleri oluşturur. Bu iç ışınlanma kaynaklarının sebep olduğu yıllık ortalama etkin dozun 0,3 mSv olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR 2000). Bu değerin yaklaşık olarak yarısını  $^{40}\text{K}$ 'dan kaynaklanmaktadır.

İnsanların yapay radyasyon kaynaklarından aldıkları yıllık ortalama etkin doz miktarı 0,4 mSv'dır (UNSCEAR 2000). Bu değerin % 99'luk gibi çok büyük kısmını tıbbi ışınlanmalar oluşturur. Radyasyonla görüntü elde edebilme ve radyasyonun hücre ve tümörleri yok edebilme özellikleri radyasyonun hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar. Tanısal radyoloji, Nükleer tıp, Radyoterapi radyasyonun tıp alanındaki uygulama alanlarıdır. Yapay radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Dünya Geneline Yapay Radyasyon kaynaklarından Maruz Kalınan Dozların Oransal Değerleri

İnsanların yaşamları boyunca çeşitli meslek gruplarına dâhil olarak çalışma yaşantılarında bulunurlar. Çeşitli meslek grupları için alınan radyasyonun yıllık ortalama etkin doz değerleri Tablo 1.3’te belirtilmiştir.

Tablo 1.3 Çeşitli Meslekler İçin Yıllık Ortalama Etkin Doz Değerleri (UNSCEAR 2000).

| Radyasyon Kaynakları |           |                   |           |                              |           |
|----------------------|-----------|-------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| Yapay Kaynaklar      |           |                   |           |                              |           |
| Nükleer Endüstri     | Doz (mSv) | Tıbbi Uygulamalar | Doz (mSv) | Endüstriyel Uygulamalar      | Doz (mSv) |
| Uranyum Madenciliği  | 4,5       | Radyoloji         | 0,5       | Işınlama Tesisleri           | 0,1       |
| Uranyum İşlenmesi    | 3,3       | Dişçilik          | 0,06      | Radyografi                   | 1,6       |
| Zenginleştirme       | 0,1       | Nükleer Tıp       | 0,8       | İzotop Üretimi               | 1,9       |
| Yakıt Üretimi        | 1,0       | Radyoterapi       | 0,6       | Endüstriyel Ölçüm Sistemleri | 0,4       |
| Nükleer Reaktörler   | 1,4       |                   |           | Hızlandırıcılar              | 0,8       |
| Yeniden İşleme       | 1,5       |                   |           |                              |           |
| Doğal Kaynaklar      |           |                   |           |                              |           |
| Radon Kaynakları     | Doz (mSv) | Kozmik Kaynaklar  |           | Doz (mSv)                    |           |
| Kömür Madenleri      | 0,7       | Sivil Havacılık   |           | 3,0                          |           |
| Metal Madenleri      | 2,7       |                   |           |                              |           |
| Binalar (Radon)      | 4,8       |                   |           |                              |           |

## 1.2 Radyoaktivite

Radyoaktiflik, 1896’da Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. 1895 yılında W.C. Roentgen’in x-ışınlarını bulmasından sonra Becquerel belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktifledikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. Şans

eseri kalın bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhaların yanına bıraktı. Bu levhaların banyo edildiklerinde ışığa karşı korunmuş olmalarına karşı ışıktaki kalmış gibi sonuç verdiklerini gördü. Becquerel önce bu etkinin nedeninin floresans madde olduğunu sanmış fakat diğer floresans maddelerin aynı olayı oluşturmadıklarını gözlemlemiştir. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel, fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya x-ışını olmadığını sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu gösterdi.

Becquerel'in keşfinden sonra Rutherford deneylere devam ederek 1897'de uranyumdan çıkan bu parçacıkları inceledi ve bu parçacıkları alfa ve beta olarak adlandırdı. Alfa ve beta parçacıklarının iyonlaştırma etkileri ve giriciliklerini araştırmak için yaptığı araştırmalarda, alfa parçacıklarının ince metal levhalar tarafından kolayca absorplandığını ve çok iyonlaştırıcı olduklarını, beta parçacıklarının ise daha girici fakat daha az iyonlaştırıcı olduklarını gözlemledi. Bu iki parçacıktan başka çok daha girici özelliğe sahip olan gama ışınını aynı yıllarda Nillard keşfetti. 1898 yılında Marie Curie ışınım yayınlayan elementin kimyasal özelliklerinden bağımsız olduğunu, bunun atom çekirdeğine özgü bir davranış olduğunu gösterdi. Daha sonra Marie Curie ve Pierre Curie, uranyum cevherinden polonyum (Po) ve radyum (Ra) gibi iki radyoaktif elementi ayırmayı başardılar. Radyoaktif ışınlar yayan maddelere Radyoaktif Madde, bu olaya da Radyoaktivite denir. 1934 yılında Irene Curie ve Pierre Joilot önceleri kararlı olan elementleri radyoaktif hale getirmenin mümkün olduğunu keşfettiler. Kararlı elementlerin radyoaktif hale getirilmesi olayına da Yapay Radyoaktivite denir.

### **1.2.1 Atom Çekirdeği ve Kararlılığı**

Atom çekirdeğini oluşturan parçacıklara nükleon denir. Atomun çekirdeği proton ve nötronlardan oluşmaktadır. Çekirdek çevresinde proton sayısına eşit elektronlar yer almaktadır. Proton ve nötronlar yaklaşık olarak eşit kütlede olup, elektronlar diğer iki parçacığa göre daha küçük kütleyle sahiptir. Çekirdek de yer alan nötron ve proton sayılarının toplamı Kütle Numarasını (A), protonların toplam sayısı ise Atom Numarasını (Z) belirtir.

Atom çekirdeğinin parçalanmaya ve nükleer bozunmaya karşı dayanıklılığına Çekirdek Kararlılığı denir. Çekirdek kararlılığında en büyük etken çekirdekte yer alan nötron proton oranıdır. Hafif olan çekirdeklerin kararlı olabilmeleri için n/p oranlarının bir veya bire yakın bir değerde olması gerekir. Ağır çekirdeklerin kararlı olabilmeleri için n/p oranının yaklaşık 1,5 dolayında olması gerekir.

Radyoaktif çekirdekler kararlı nötron/proton oranına sahip değildir ve kararsızdırlar. Radyoaktif çekirdeklerin kararlı nötron/proton oranına gelebilmek için radyoaktif ışıma yapmasına Çekirdek Bozunması adı verilir.

İlk bozunmaya uğrayan radyoaktif çekirdeğe ana çekirdek, oluşan çekirdeğe ise yavru çekirdek denir. Oluşan yavru çekirdek kararsız olabilir. Bu çekirdekte yine bozunmaya uğrayarak bir başka yavru çekirdeğe dönüşebilir. Sonuç olarak kararsız bir atom kararlı atom haline gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar. Bozunma sürecindeki radyoaktif çekirdekler alfa, beta parçacıkları veya gama ışınlarından birini veya birkaçını yayınlamaya bozunmayı gerçekleştirirler.

Radyoaktivite özelliği gösteren izotoplara Radyoizotop adı verilir. Radyoizotop üretimi; tıp, biyoloji, kimya ve enerji üretimi alanlarında kullanılmaktadır.

Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa, beta parçacıkları veya gama ışını yayınlamaya bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan serilere Radyoaktif Seriler adı verilir. Radyoaktif seriler; Uranyum, Toryum, Aktinyum, Neptünyum serisi şeklinde dört grup oluşturmuştur. Her seri bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür.

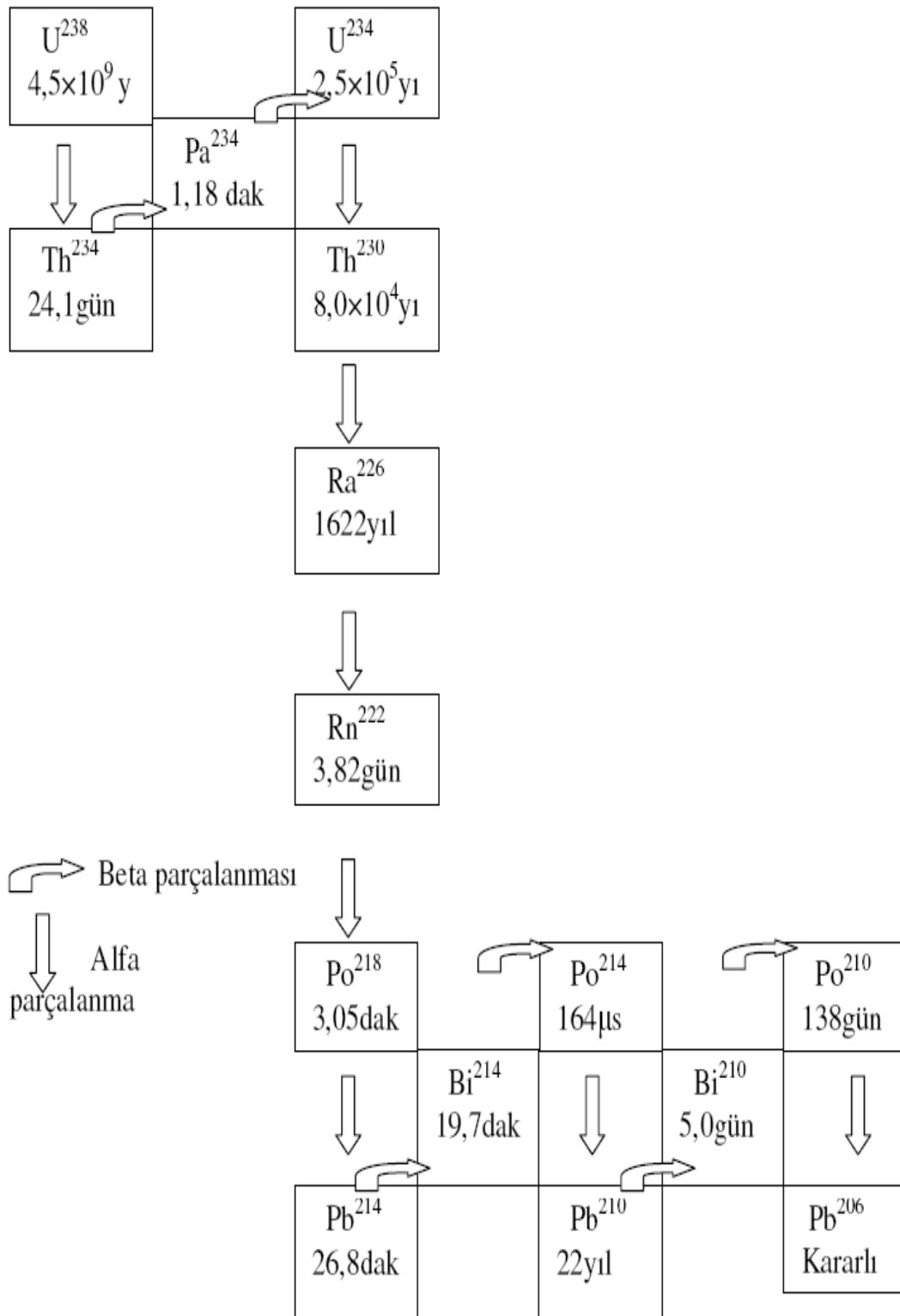
|                  |                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uranyum serisi   | : $^{238}\text{U}$ ile başlar parçalanmalar sonucu kararlı $^{206}\text{Pb}$ 'ye dönüşür.  |
| Aktinyum serisi  | : $^{235}\text{U}$ ile başlar ve en son ürün olarak kararlı $^{207}\text{Pb}$ 'ye dönüşür. |
| Toryum serisi    | : $^{232}\text{Th}$ ile başlar son ürün olarak kararlı $^{208}\text{Pb}$ ile son bulur.    |
| Neptünyum serisi | : $^{237}\text{Np}$ ile başlar bozunmalar sonucunda $^{209}\text{Bi}$ ile sonlanır.        |

Uranyum serisinin en uzun ömürlü üyesi  $^{238}\text{U}$  olup yarı ömrü  $10^9$  yıldır. Toryum serisinin en uzun ömürlü üyesi  $^{232}\text{Th}$  olup yarı ömrü  $10^{10}$  yıl, Aktinyum serisinin en

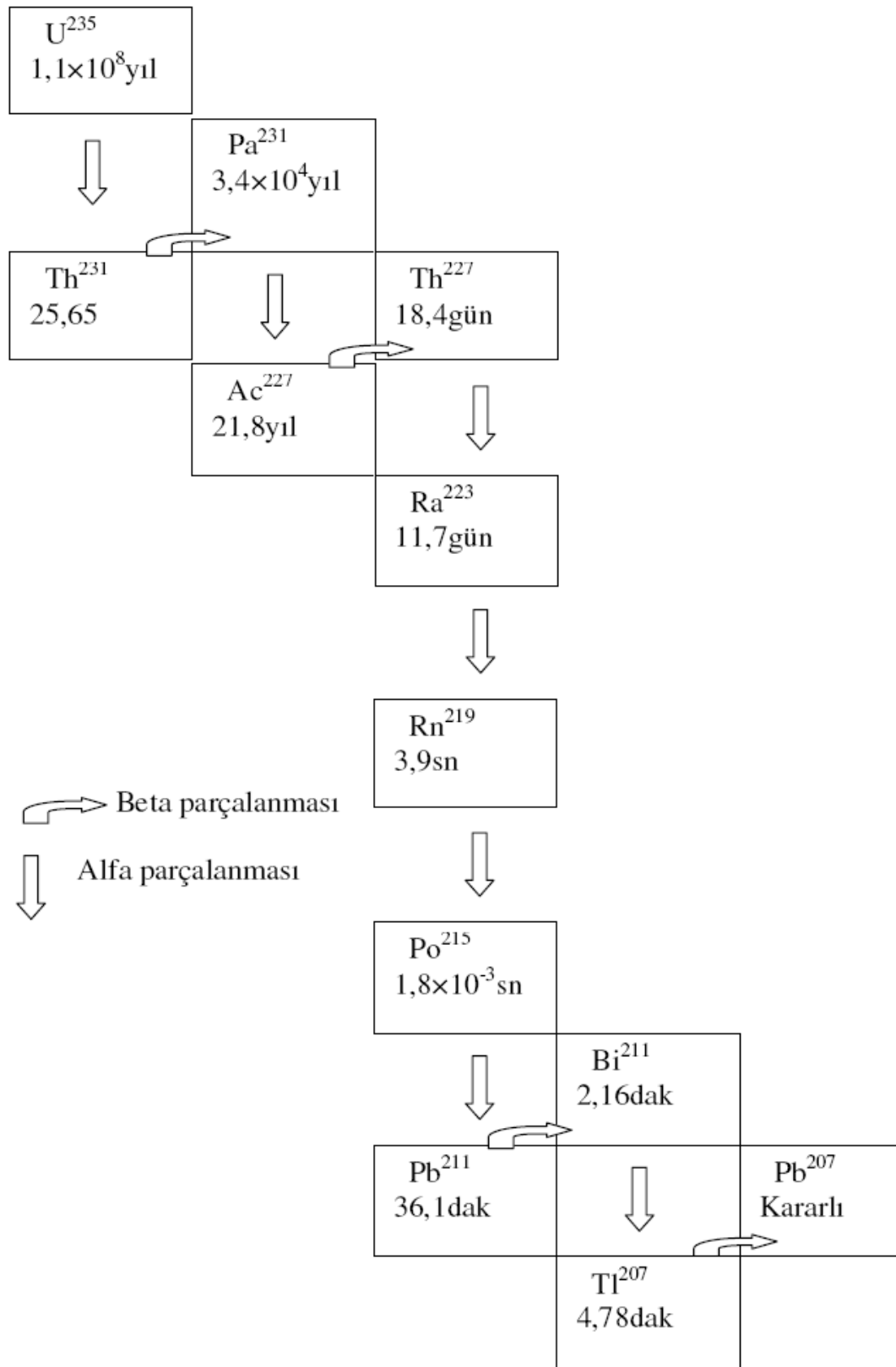


uzun yarı ömürlü üyesi  $^{235}\text{U}$  olup yarı ömrü  $10^8$  yıldır. Neptünyum serisinin en uzun yarı ömürlü üyesi ise  $^{237}\text{Np}$  olup yarı ömrü ise  $10^6$  yıldır. Neptünyum serisinin en uzun yarı ömürlü üyesinin yarı ömrü, dünyanın oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez.

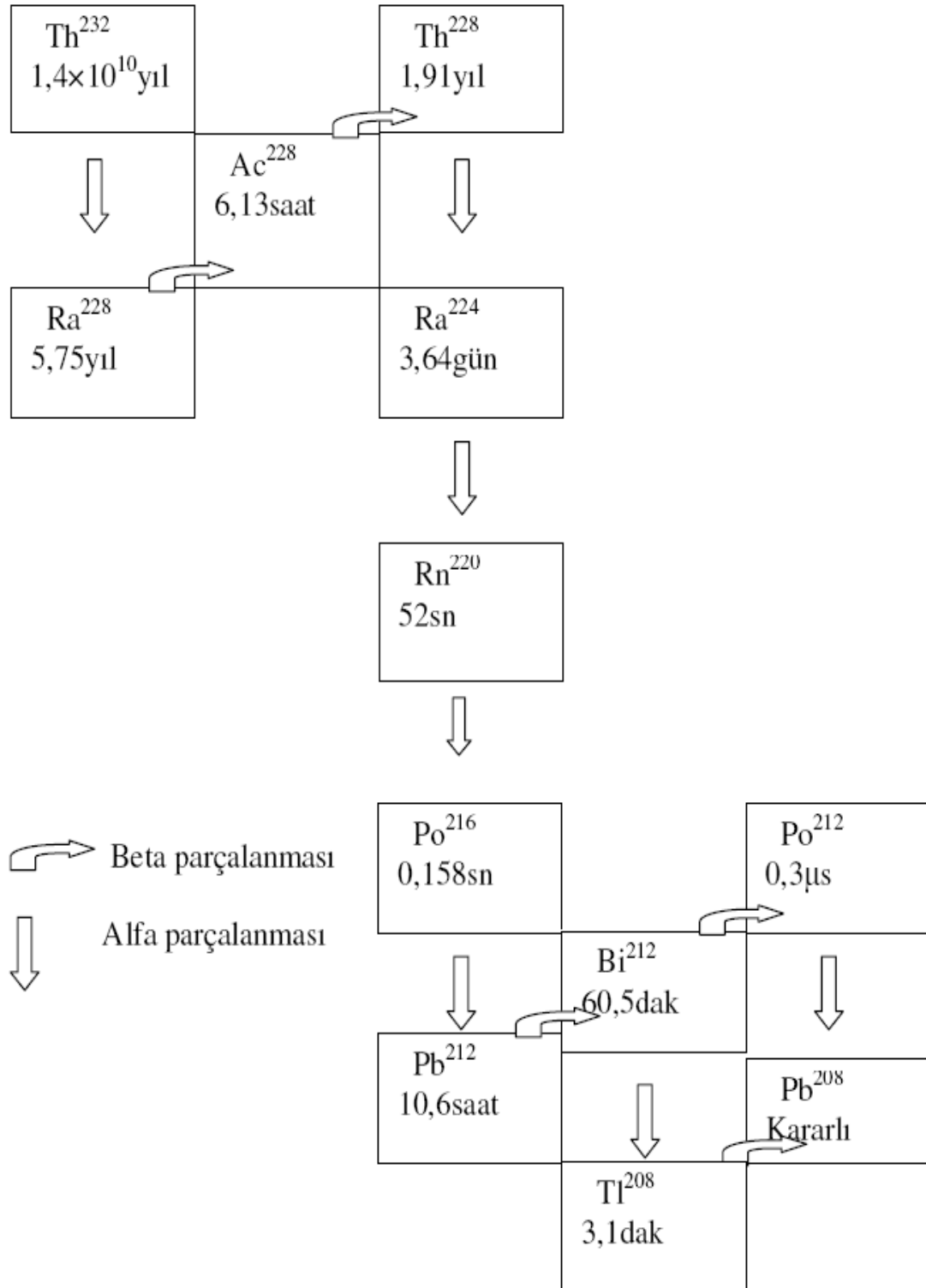
Uranyum, Aktinyum ve Toryum serileri Şekil 1.4, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da (Görür 2006) gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Uranyum Serisinin Parçalanması



Şekil 1.5 Aktinyum Serisinin Parçalanması



Şekil 1.6 Toryum Serisinin Parçalanması

### 1.2.2 Radyoaktivite Birimleri

Başlıca radyasyon birimleri olarak Aktivite, Işınlanma, Absorblanan (Soğrulan) Doz, Eşdeğer Doz kullanılır. ICRU (Uluslararası Radyasyon Birimler Komisyonu), aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, soğrulan doz için Rad, eşdeğer doz için Rem'i radyasyon birimleri olarak kabul etmişlerdir. MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi'nin (International System of Unit, SI) kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu kabule göre eski birimler yerine Becquerel (Bq), Röntgen (R), Gray (Gy), Sievert (Sv) birimleri kabul edilmiştir. Eski ve yeni birimler arasındaki dönüşüm faktörleri Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4 Radyasyon Birimleri ve Dönüşüm Faktörleri

| Büyüklik        | SI Birimi ve Sembolü | Eski Birimler ve Sembolü | Dönüşüm Faktörü              |
|-----------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| Aktivite        | Becquerel (Bq)       | Cruie (Ci)               | 1Ci= 3,7x10 <sup>10</sup> Bq |
| Işınlama        | Röntgen (C/kg)       | Röntgen (R)              | 1C/kg= 3876 R                |
| Absorblanan Doz | Gray (Gy)            | Rad (rad)                | 1Gy= 100 rad                 |
| Eşdeğer Doz     | Sievert (Sv)         | Rem (rem)                | 1Sv= 100 rem                 |

#### 1.2.2.1 Aktivite Birimi

Aktivite, birim zamanda bozunan radyoaktif madde miktarın gösterir. Yapay radyoizotopların elde edilmediği dönemlerde yarı ömrü uzun olan radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak Curie tanımlanmıştır. Bu tanım önce 1 gram radyumun parçalanma hızı, daha sonra 1 gram radyumla dengede olan radon miktarı, 1930 yıllarında ise 1 gram radyumla dengede olan radon gazı miktarında bir saniyedeki bozunma sayısı olarak değiştirilmiştir. Daha sonra Uluslararası Standartlar ve Radyoaktivite Birimleri Komisyonu tanımı genişleterek bütün radyonüklitler için

Curie'yi; bir saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır. Curie sadece radyoaktif maddenin bozunma sayısını ifade etmektedir. Curie bozunma sırasında radyoaktif maddenin saldığı radyasyonların sayısını göstermez.

SI birim sisteminde aktivite birimi olarak Becquerel (Bq) kullanılmakta olup, 1Bq, saniyede bir parçalanma gösteren radyoaktif maddenin aktivitesi olarak tanımlanır. Curie ve Becquerel arasındaki dönüşüm faktörü Tablo 1.4'te verilmiştir.

Curie genelde aktivitesi büyük olan, Becquerel ise aktivitesi küçük olan radyoaktif maddeler için kullanılır. Laboratuvar ölçümlerinde kullanılan aktivite birimi cpm'dir (Dakikadaki sayım miktarıdır).

#### **1.2.2.2 Işınlama Birimi**

Işınlanma x ve gama ışınlarını havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Birim hava kütlesi içerisinde meydana gelen iyonizasyondur. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur. Birim olarak Coulomb/kg ( $C \text{ kg}^{-1}$ ) şeklindedir. Eski birimi ise Röntgen'dir. 1 Coulomb/kg; normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb elektrik yükü değeri + ve – iyonlar oluşturan x ve gama radyasyon miktarıdır.

Röntgen sadece ışınlama birimi olup, demetteki foton sayısı ve enerjisi hakkında bilgi vermez. Işınlamaya uğrayan bir maddedeki soğurma dozunu vermez. Radyasyonun havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Radyasyon demetinin bir özelliğidir. Işınlama biriminin eski ve yeni birimleri arasındaki dönüşüm Tablo 1.4'te verilmiştir.

#### **1.2.2.3 Soğrulan Doz Birimi**

Röntgen x ve gama ışınları için tanımlandığından diğer radyasyonlar için kullanılmaz. Soğrulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Absorplanmış doz, birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır. Eski birimi Rad olup, ışınlanan maddenin 1 kg'ında  $10^{-2} \text{ J}$ 'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Bu doz

birimi sadece soğrulan enerji miktarını gösteren fakat hem parçacık hem de foton özellikli radyasyonlara uygulanabilen bir büyüklük olup, radyasyon demeti ile birlikte absorblayıcı maddenin de özelliğini gösterir. SI birim sisteminde soğrulan doz birimi olarak Gray (Gy) tanımlanmıştır. 1 Gy, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 j'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ve Rad arasındaki dönüşüm Tablo 1.4'te verilmiştir.

#### **1.2.2.4 Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz)**

Farklı iyonlaştırıcı radyasyonlar farklı biyolojik etkilerde bulunur. Bu yüzden radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan bir birim olup, doku veya organlarda birim kütlede soğrulan enerjinin miktarıyla orantılıdır. Genel olarak radyasyonun yolu boyunca kaybedilen enerji kaybına bağlıdır ve bu kayıp arttıkça biyolojik etkide artar.

Eski birimi Rem olup, 1 Röntgenlik x ve gama ışının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

SI birim sisteminde birimi j/kg olup Sievert (Sv) olarak kullanılır. 1 Sievert, 1 Gy'lik x ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sievert ve Gray arasındaki dönüşüm Tablo 1.4'te verilmiştir.

### **1.3 Radyoaktif Bozunma Türleri**

Radyoaktif çekirdekler çeşitli şekillerde bozunmaya uğrarlar. Bozunma sonucunda atomlar bozunmadan önceki ilk durumlarına göre daha az enerjiye sahip olurlar. Radyoaktif bozunma türleri sekiz değişik başlık altında aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Alfa bozunması, Beta-Pozitif bozunması, Beta-Negatif bozunması, Elektron yakalanması (EC-Elektron Capture), İç Dönüşüm (IC-Internal Conversion), İzomerik Geçiş (IT-Izomeric Transition), Gama Işını Yayınlanması, Nötron Yayınlanması.

### 1.3.1 Alfa Bozunması

Eğer radyoaktif çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur (Şekil 1.7). Bu bozunma sonucunda çekirdeğin atom numarası 2 kütle numarası ise 4 azalır (Denklem 1.1).



Alfa parçacıkları 1899 yılında Rutherford tarafından bulunmuş, Rutherford ve Royd tarafından yapılan spektroskopik metotlar sonucunda bu parçacığın helyum atomunun çekirdeğine eşit olduğu ortaya çıkarılmıştır. Alfa parçacıkları ağır ve iyonlayıcı parçacıklar olduklarından tehlikelidir. Alfa parçacıklarının enerji spektrumu kesiklidir. Enerjileri yaklaşık olarak 4MeV ile 9MeV arasında değişim gösterir. Giricilikleri çok küçük olup, kâğıt, ince metal foil veya birkaç cm'lik hava ile durdurulabilirler. İnsan derisi alfa parçacıklarını hücrelere ulaşmadan durdurabilir.



Şekil 1.7 Alfa Bozunumu

Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük olan çekirdeklerde daha sıklıkla görülür.

### 1.3.2 Beta-Negatif Bozunması

Çekirdekteki nötron fazlalığından kaynaklanan bir bozunmadır. Bu bozunmada kararsızlığı gidermek için çekirdekteki fazla nötronlardan biri proton ve elektrona

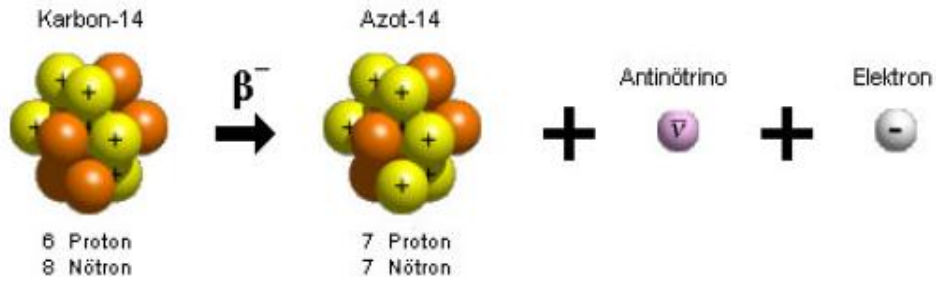


dönüşür (Denklem 1.2). Proton çekirdekte kalırken elektron çok yüksek hızlarla atom çekirdeğinden fırlatılır. Bu yüksek hızlı elektrona  $\beta^-$  parçacığı veya negatron adı verilir. Beta-negatif bozunmasına bir örnek Şekil 1.8’de gösterilmiştir.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad (1.2)$$

Bu bozunmada atomun kütle numarası değişmez.  $\beta^-$  ışıması yapan radyonüklitin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunmada kütle sayısı değişmediği için bu olaya izobarik bozunma adı verilmiştir (Denklem 1.3).

$${}^A_ZX_n \rightarrow {}^A_{Z+1}X'_{n-1} + e^- + \bar{\nu} \quad (1.3)$$



Şekil 1.8 Bir  $\beta^-$  Bozunumu

Beta parçacıklarının enerji spektrumları süreklidir.

### 1.3.3 Beta-Pozitif Bozunması

Atomun kararsızlığı nötron eksikliğinden ya da proton fazlalığından kaynaklanıyorsa  $\beta^+$  bozunması gerçekleşir. Bu bozunmada protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitron) dönüşür (Denklem 1.4).

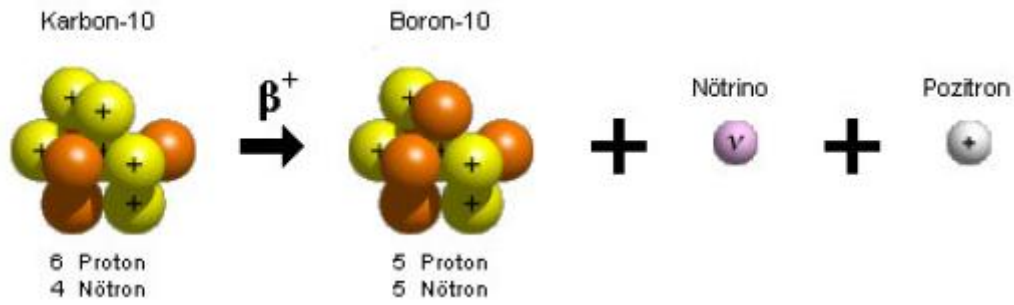
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad (1.4)$$

Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Pozitron yayınlayan radyonüklidin atom numarası bir eksilir ve kendinden bir önceki elementin izobar atomuna dönüşür.

Kütle numarası değişmez (Denklem 1.5). Beta-pozitif bozunmasına bir örnek Şekil 1.9’da verilmiştir.



Pozitronlar 1932 yılında keşfedilmiştir. Elektrik yükleri hariç elektronlarla aynıdır. Yükleri pozitifdir.



Şekil 1.9 Bir  $\beta^+$  Bozunumu

Pozitron yayımlanmasına mutlaka yörünge elektronlarından birinin yayımlanması eşlik eder. Çünkü çekirdekteki bir protonun nötrona dönüşmesiyle çekirdeğin pozitif yükü bir azaldığından elektronik yapının dengede kalması için yörüngedeki elektronların da bir azalması gerekir.

Beta ışınları, alfa ışınları gibi nükleer radyasyonlardır. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha az iyonlaşmaya sebep olurlar. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından yüz kat daha giricidirler. Beta parçacıkları kâğıttan geçerler fakat birkaç metre hava tabakası ve birkaç milimetrelik alüminyum levhaları bu ışınları durdurur. Beta ışınları insan vücuduna en fazla 10 mm kadar girebilir (Şeker ve Çerezci 1997). Beta ışınları dış derideki ölü seviyeye etki eder, derinin iç kısmında durduğu için dış derideki dokulara yakarak zarar verir. Beta Parçacıkları alfa parçacıklarıyla kıyaslandıklarında alfa parçacıklarına göre çok daha hafiftirler, hava molekülleri ile çarpıştıklarında yönlerini değiştirebilirler. Beta parçacıklarının hızları 0,99c'ye kadar

ıkabilir (c ışık hızı). İzotopların çoğu tarafından salınan beta ışımalarının enerjileri 0,5 MeV ile 3,5 MeV arasında değişir.

Bazı zamanlarda radyoaktif element iki alternatif yolla ışıma yapabilir. Bu ışımalar alfa ve beta ışımalarıdır. Böyle bir durumda her bir durumun kesin bir oranı vardır. Örneğin bizmut ( $^{212}\text{Bi}_{83}$ ) elementi bozunmasının yaklaşık % 66'sını  $\beta^-$  ışıması ile gerçekleştirirken, % 34'n alfa ışıması ile gerçekleştirir. Bu ışımalar sonucunda oluşan polonyum ( $^{212}\text{Po}_{84}$ ) ve Talyum ( $^{208}\text{Tl}_{81}$ ) tekrar ışıma yaparak kararlı Kurşun ( $^{208}\text{Pb}_{82}$ ) elementini meydana getirirler.

### 1.3.4 Elektron Yakalanması

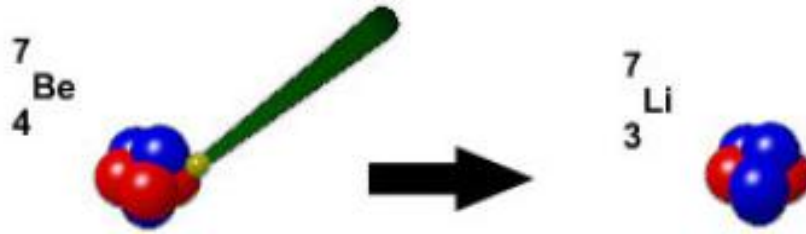
Atom proton fazlalığından dolayı kararsız durumda ise atomun çekirdeği yörünge elektronlarından birini yakalar. Bu elektron çekirdekdeki protonlardan biri ile birleşerek nötron haline gelir (Denklem 1.6). Bu olayda yakalanan elektron genellikle iç tabaka (K-tabakası) elektronlarıdır.



Bu olayda çekirdekten parçacık salınmaz ancak  $\beta^+$  bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir, kütle numarası ise aynı kalır (Denklem 1.7).



Bu bozunma olayı genellikle  $\beta^+$  bozunmasına uğrayan atomlar için alternatif bir bozunma şeklidir. Elektron yakalanması olayı iki aşamalı bir olaydır. İlk aşamada elektron çekirdek tarafından yakalanır. Bu olay atomun uyarılmasına sebep olur. Elektronun ekirdek tarafından yakalanması yörüngede bir elektron boşluğu oluşur, bu olayla birlikte yörüngeler arasında elektron geçişi başlar. Bu sırada atom x-ışını yayınlar. Bu ise olayın ikinci aşamasını oluşturur. Elektron yakalaması olayına bir örnek şekil 1.10'da verilmiştir.



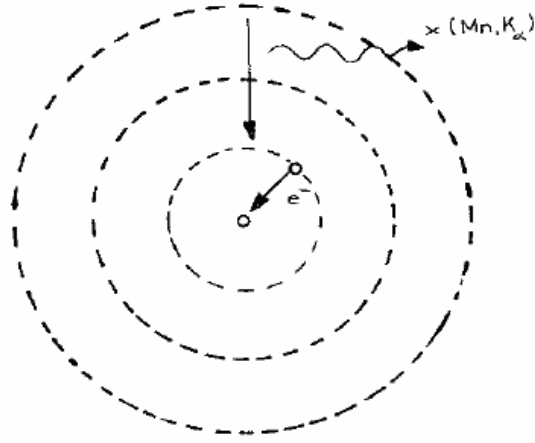
Şekil 1.10 Elektron Yakalaması Olayına Bir Örnek

$\beta^-$ ,  $\beta^+$  ve elektron yakalanması olaylarının üçünde de nötrino ve anti-nötrino denilen yüksüz ve kütesiz parçacıklar yayınlanmaktadır. Bu parçacıkların varlığı ilk olarak Pauli tarafından 1930'da önerilmiş daha sonra Fermi tarafından nötrino olarak adlandırılmıştır.

### 1.3.5. İç Dönüşüm

Bu olayda çekirdek sahip olduğu fazla enerjiyi yörüngede bulunan elektrona iletir. Elektron yörüngeden fırlar. Elektron tarafından taşınan enerji, çekirdeğin saldığı enerjiden daha küçüktür. Çünkü çekirdeğin saldığı enerjinin bir kısmı elektronu yörüngeden koparabilmek için harcanır. Elektronun taşıdığı enerji, çekirdeğin saldığı enerji ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir.

Bu olay genellikle K yörüngesi elektronları ile gerçekleşir. Çekirdek elektrona enerjisini doğrudan aktarır. Yörüngeden fırlayan elektronun bulunduğu yörüngede bir elektron boşluğu oluşur. Bu boşluk diğeryörüngelerden gelen bir elektronla doldurulur. Bu sırada bir x-ışını yayınlanır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 İç Dönüşüm Olayı

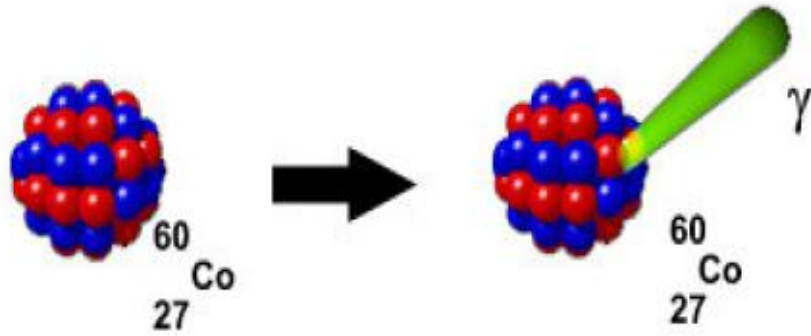
Bu x-ışınları karakteristik bir yapıya sahiptir. Karakteristik x-ışınları, elektron yakalaması olayında birinci ürünün karakteristiğidir. İç dönüşüm olayında ise nükleer yükte bir değişim yoktur, yayınlanan karakteristik ışınlar atoma aittir. İç dönüşüm olayında fırlatılan elektronlar belli bir elementten aynı enerji ile salınırlar. Buna beta ışını çizgi spektrumu denir.  $\beta^-$  yayınlayan radyoaktif madde incelendiğinde,  $\beta$  parçacıklarının devamlı bir spektruma sahip olduğu, bu belli spektrum üzerinde bir çizgi spektrumu varsa bunun iç dönüşüm olayı sonucu oluşan beta çizgi spektrumu olduğu kabul edilir.

### 1.3.6 İzomerik Geçiş

Radyoaktif atomlardan bazıları çekirdekteki enerji fazlalığı nedeniyle veya nüklit bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı durumuna geçemez, bozunma sonucu oluşan nüklit hala yarı kararlı durumda kalır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini elektromagnetik özellikte olan bir gama ışını şeklinde yayınlar. Bu olaya İzomerik Geçiş adı verilir. Bu olayda bozunan yarı kararlı nüklitin atom ve kütle numaralarında bir değişim olmaz. İzomerik geçişte atomun enerjisini yayınlaması uzun bir süre sonunda gerçekleşir. Bu nedenle uyarılmış atom genellikle başka bir radyoizotop olarak kabul edilir.

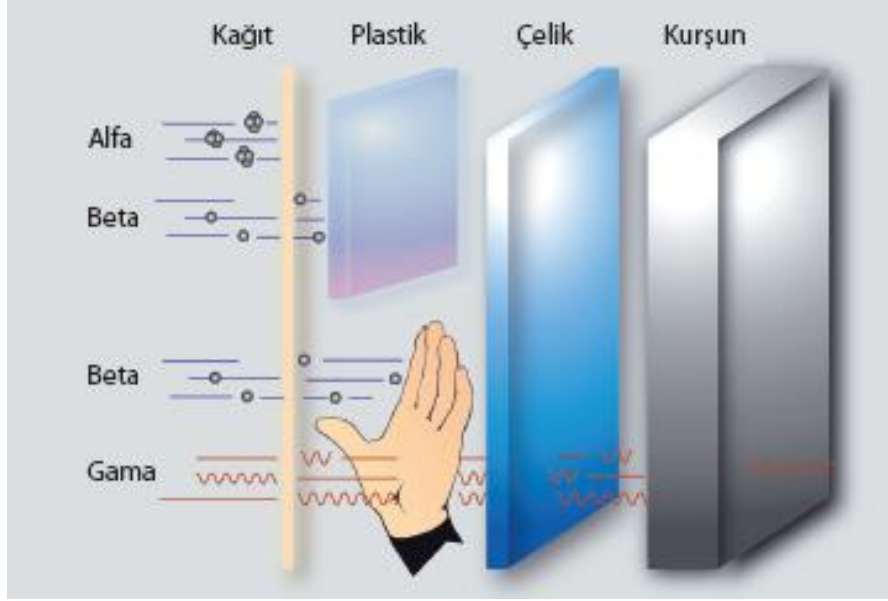
### 1.3.7 Gama Işını Yayınlanması

Radyoaktif bozunma şekillerinin en basiti gama bozunmasıdır. Gama ışınları elektromagnetik radyasyonlardır. Gama ışınları çekirdeklerin enerji fazlalığına sahip olması durumunda yayınlanan radyasyondur. Radyoaktif elementlerin alfa ve beta tanecikleri yayarak bozunmaları sırasında çoğunlukla gama ışınlarının da eşlik ettikleri görülür. Bu ışınlar çok kısa dalga boylu elektromagnetik dalgalardan oluşmaktadır. Gama ışını yayınlanmasında çekirdeğin A ve Z değerleri değişmez. Gama ışını yayınlanması olayına bir örnek Şekil 1.12’de verilmiştir.



Şekil 1.12 Gama Bozunumu

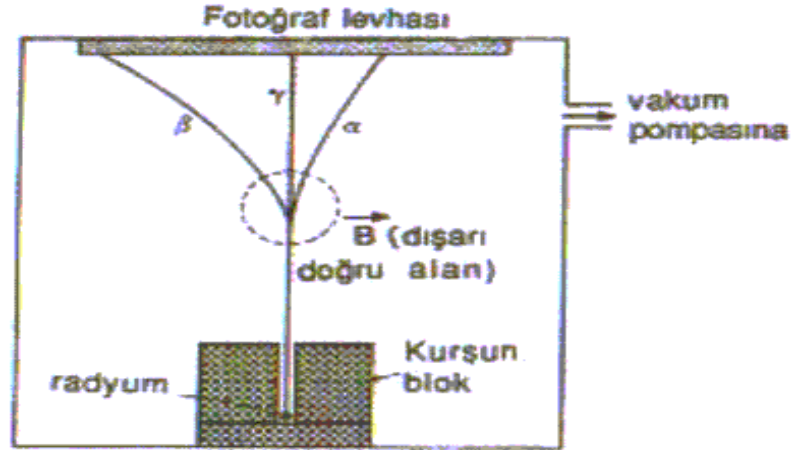
Gama ışınları çıkış şekline göre x-ışınlarından farklıdır. Atom çekirdeğinin yeniden düzenlenmesi sonucu meydana gelirler. Nükleer fisyon ve çekirdeğe nötron girmesi sonucu oluşan yakalama reaksiyonları sonucunda gama ışınları meydana gelebilir. Enerjileri 0,1 MeV ile 3 MeV arasında değişir. Etki güçleri çok yüksektir. Gama ışınları doğrudan iyonlaştırıcı değildirler fakat meydana getirdikleri elektronlarla bunu gerçekleştirirler. Beta ışınlarına göre 100 kat daha fazla nüfuz etme özelliğine sahiptirler. Alfa, Beta parçacıkları ile gama ışınlarının giriciliklerine ilişkin örnek Şekil 1.13’te gösterilmiştir.



Şekil 1.13 Alfa, Beta parçacıkları ve Gama ışınlarının Giricilikleri (<http://www.taek.gov.tr>).

Bu ışınlar birkaç cm'lik kurşun levhadan geçebilirler. Gama ışınlarını ancak kalın kurşun levhalar, 2-3 m'lik beton bloklar durdurabilir (Berkem 1974).

Gama ışınları yüksüz olduklarından elektrik ve magnetik alanda sapmazlar (Şekil 1.14).



Şekil 1.14 Bir Magnetik Alan Tarafından  $\alpha$ ,  $\beta$  parçacıkları ve  $\gamma$  Işınının Saptırılmalarını Gösteren Deneysel Düzenek (Arya1999).

### **1.3.8 Nötron yayınlanması**

Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Nötronların madde ile etkileşimleri yüklü parçacıklar veya gama ışınlarındakinden farklıdır. Nötronlar çok girici olabilirler. Nötronlar normal radyoaktif bozunma olayı sonucu meydana gelmezler. Atom çekirdeğinden nötron çıkışı Fisyon olayı ile gerçekleşir. Fisyon olayı da nükleer reaktörlerde meydana geldiği için nötron radyasyonuna nükleer reaktörlerde daha çok rastlanır.



## 2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI ve LİTERATÜR İNCELEMESİ

### 2.1 Tez Çalışmasının Amacı

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı radyasyonun yaklaşık % 50'sini radon ve onun bozunum ürünleri oluşturmaktadır. Radonun uzun süre solunması ve yutulması, önemli bir sağlık riski oluşturabilmektedir.

Radonun sağlık açısından tehlikeli oluşu ve sürekli maruz kalınması nedeniyle değerlerinin tespit edilmesi ve denetim altında tutulması gerekmektedir. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)'nın içme sularında  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  aktiviteleri için izin verilebilir üst sınırı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)'nın İçme Sularında  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  Aktiviteleri İçin İzin Verilebilir Üst Sınırı (USEPA 1991).

| USEPA  | Üst sınır | (Bq/L) | (pCi/L) |
|--------|-----------|--------|---------|
| Radon  |           | 11     | 300     |
| Radyum |           | 0,555  | 15      |

Radon radyoaktif bozunma sonucunda kısa yarı ömürlü radyoaktif ürünler oluşturur. Radonun bozunması ile ortaya çıkan, alfa ve beta parçacıkları yayınlayan  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Po}$  bozunum ürünleri kimyaca aktif katı elementlerdir. Bu izotoplar havadaki toz ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta, solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar. Bu parçacıklar bozunumunu vücut içerisinde sürdürmektedir. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşsal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte, bu süreçte sürekli radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu sürede ortaya çıkan enerji akciğer dokusunda hasara, zaman içerisinde akciğer kanserine neden olabilmektedir.

Dünyamızın birçok bölgesinde görülen yerkaşu hareketleri birçok araştırmacıyı depremi önceden tahmin etme metodlarını ortaya çıkarma, araştırma ile ilgili çalışmalara

yönlendirmiştir. Depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik çalışmalardan bir tanesi de, radon gazı değişimi ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesidir.

Yapılan çok sayıdaki araştırmalar, yeraltı sularındaki ve toprak gazındaki radon gazı değişimlerinin depremlerin önceden tahminine yönelik önemli bir işaret olduğu, radon anomalilerinin sismik olaylar için faydalı bir izleyici olduğu rapor edilmiştir

Doğal radyoaktif serilerde bulunan radon yerkabuğundan havaya, toprak ve kayalardaki çatlaklardan ve yeraltı su kaynaklarından karışmaktadır. Bu yüzden radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik çalışmalar daha çok sulara ve toprak gazında yapılmaktadır (Villalba *et al.* 2005). Ayrıca insanlar yaşamlarının büyük çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirdiklerinden, son yıllarda kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonlarını belirlemeye yönelik hem ülkemizde hem de dünyada birçok çalışmalar mevcuttur.

İnsanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için su en önemli ihtiyaçların başında gelmektedir. Canlılar su ihtiyaçları, yüzeysel sulardan ve yeraltı su kaynaklarından temin edilmektedir. Yer altı suları içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütleler veya minerallerden dolayı yüzey sularından daha radyoaktiftirler. Yeraltı sularının, yüzey sularından daha radyoaktif olduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur (Canbazoğlu 1998, Hopke *et al.* 2000, Yu *et al.* 1994). Yeraltı suları farklı konsantrasyonlarda  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  grubunda yer alan radyoaktif elementler içermektedir (Duenas *et al.* 1993). Sularda çözünmüş uranyum serilerine ait olan radyoaktif elementler genellikle sağlık için önemli riskler oluşturan  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$ 'dan meydana gelir.

Sularda bulunan radon ev içlerine sular kullanıldığı zaman girer. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar (UNSCEAR 1993).

Evlerde, duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktarda radon salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi ev içi radon

seviyesini önemli derecede etkileyecek kadar yüksektir. İnşaat malzemelerinden gelen ışınlamalara, yer altı sularından gelen katkı % 20 olurken, yüzeysel sulardan gelen katkı % 2 civarındadır (UNSCEAR 1988).

Bu tez, daha önce konuyla ilgili çalışma yapılmamış olan Uşak ilindeki, içme ve kullanım suyu ihtiyaçlarını karşılamak için açılmış derin sondaj su kuyularını kapsamaktadır. Bu derin kuyulardan çıkarılan suların bir kısmı, içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere şehir şebekesine verilmekte, bir kısmı ise ev ve fabrikalarda kullanım suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Kuyulardan alınan su numunelerindeki radon aktivitesini, hem halk sağlığı açısından hem de radon aktivitelerindeki değişim ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilerin değerlendirilerek, depremlerin önceden tahmin edilmesi amacıyla yapılmıştır.

## **2.2 Literatür İncelemesi**

Ülkemizde ve dünyada hem halk sağlık açısından hem de depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik, sulardaki radon aktivitelerini belirlemek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Kuyu sularındaki radon ve radyum konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar ile Sultandağı arasında yer alan 10 kaynakta ortalama radon konsantrasyonu 22,68 Bq/L, ortalama radyum konsantrasyonu 5,63 Bq/L olarak bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada maksimum radon konsantrasyonu 28,82 Bq/L, minimum radon konsantrasyonu 0,42 Bq/L, maksimum radyum konsantrasyonu 7,16 Bq/L, minimum radyum konsantrasyonu 0,07 Bq/L olarak bulunmuştur. Bazı kaynakların radon ve radyum konsantrasyonlarının USEPA tarafından izin verilen değerleri aştığı tespit edilmiştir (Yalın vd. 2007a).

Akkurt (2006), jeotermal sulardaki radon konsantrasyonlarını belirlemek için yaptığı çalışmada, radon konsantrasyonlarının 44,57 Bq/L–0,085 Bq/L arasında, radyum konsantrasyonlarının ise 4,94 Bq/L–0,062 Bq/L arasında değişen değerler aldığını bulmuştur. Elde edilen radon konsantrasyonlarının radyum konsantrasyonlarından daha

fazla olduğu tespit edilmiştir. Bazı kaynakların radon ve radyum konsantrasyon değerlerinin USEPA tarafından izin verilen değerlerin üzerinde olduğu, aynı değerlerin Avrupa Birliği ülkeleri için Euratom tarafından belirlenen değerlerden daha az olduğu yapılan çalışmada görülmüştür (Akkurt 2006).

Afyon deprem fay hattı üzerindeki kaplıca ve kuyu sularında 4 Ağustos 2003–25 Şubat 2004 tarihleri arasında yapılan bir çalışmada, radon konsantrasyon değerleri hem halk sağlığı, hem de radon konsantrasyonlarındaki değişim ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkiler açısından incelenmiştir. Çalışmada, sadece bir kaynağın 14 Ağustos 2003 tarihli numunesinde USEPA tarafından içme sularındaki radon konsantrasyonları için öngördüğü 11 Bq/L üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Diğer tarihlerde tüm kaynakların radon konsantrasyonları bu değerin altında olduğu çalışmada tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma, radon konsantrasyonlarındaki değişim ile deprem arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Ölçümler sonucunda hemen hemen tüm kaynakların radon konsantrasyonlarının 14 Ağustos 2003 tarihinde arttığı, artış oranlarının 5 ile 13 kat arasında değişerek maksimum değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu tarihe yakın tarihlerde ölçümlerin yapıldığı fay hattı üzerinde büyüklüğü 2,8 ile 3,5 arasında değişen 3 farklı deprem olduğu saptanmıştır. Radon konsantrasyonlarındaki değişimler ile deprem arasındaki ilişki aynı çalışmada 25 Şubat 2004 tarihinde alınan numunelerde de gözlenmiştir (Yalın vd. 2007b).

İzmir ili içme ve kullanım sularındaki  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarını belirlemek üzere, Saç ve Kumru tarafından 2003 yılında yapılan bir başka çalışmada, İzmir ili içme ve kullanım sularının karşılandığı, İzmir iline bağlı Halkapınar, Menemen, Gazimir, Manisa iline bağlı Sarıkız ve Göksu ilçelerinde ki sondaj kuyularından alınan su örnekleri incelenmiştir. Çalışmada kuyulardan alınan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu 2 Bq/L, ortalama radyum konsantrasyonu ise 0,2 Bq/L olduğu bulunmuştur. Kaynaklardan alınan numunelerde maksimum radon konsantrasyonu 6 Bq/L olarak ölçülürken, maksimum radyum konsantrasyonu ise 0,8 Bq/L olarak bulunmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar EPA'nın içme suları için kabul ettiği radon ve radyum konsantrasyonları ile karşılaştırılmış, elde edilen radon konsantrasyonlarının EPA'nın belirlediği değerin altında olduğu, bazı kuyuların radyum

konsantrasyonlarının EPA'nın belirlediği sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Saç ve Kumru 2003).

Alkan ve arkadaşları tarafından, İstanbul halkalı çöplüğü çevresinde bulunan 11 adet kuyudan alınan su örneklerinde yapılan radyoaktivite ölçümlerinde,  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarının 0,0096 Bq/L–0,070 Bq/L arasında, toplam beta aktivite değerlerinin ise 0,030 Bq/L–0,21 Bq/L arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir (Alkan vd. 1990).

Ege bölgesinde, Küçük Menderes Havzasında yer alan Kiraz ilçesindeki 100 köye ait içme ve sulama sularında yapılan çalışmada, su örneklerindeki radyum konsantrasyonlarının 0,27 pCi–17,5 pCi arasında değiştiği saptanmıştır (Altaş 1990).

İzmir ilinin çevre köylerindeki içme ve kullanma sularındaki  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarını belirlemeye yönelik yapılan bir başka çalışmada, içme ve kullanma sularının karşılandığı kuyu sularından toplanan 500 su örneğinde  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarının 0,049 Bq/L–0,33 Bq/L arasında değiştiği gözlenmiştir (Atalay 1990).

Yine Ege bölgesinde yapılan bir başka çalışmada, Kütahya iline bağlı Simav ve Emet ilçelerinin köylerinde içme ve kullanma sularındaki  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonları tespit edilmiştir. Radyum konsantrasyonlarını tespit etmek için kolektör yöntemi kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarının maksimum değeri 1,09 Bq/L olarak tespit edilmiştir (Türker 1994).

Kırklareli ilinde insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından ilin fon radyasyonunu belirlemek ve haritalandırmak amacıyla yapılmış, çalışmada Kırklareli iline ait su ve toprak örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları, gama ışınlama dozları ve ev içi radon konsantrasyonları tespit edilmiştir. İl genelinde 220 adet kaynak ve şebeke suyunda yapılan ölçümler sonucunda 12 kaynaktan alınan içme suyu örneklerinde toplam alfa değerleri WHO'nun tavsiye ettiği sınır değerlerin üzerinde çıktığı saptanmıştır. Toplam beta aktivitesi ise tüm su örneklerinde tavsiye edilen sınır değerlerin altında olduğu yapılan çalışmada tespit edilmiştir (Taşkın 2006).

İzmir ili Menemen ovasındaki su ve topraklarda radyoaktivite değerlerini belirlemek için yapılan bir başka çalışmada, Gediz nehrinin denize döküldüğü nokta referans alınarak yaklaşık 1 km aralıklarla 60 örneklem noktasından su örnekleri alınarak, örneklerdeki <sup>226</sup>Ra konsantrasyonları kolektör yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Ovada nehir boyunca toplanan su örneklerinde radyum konsantrasyonlarının 0,57 pCi–20,60 pCi arasında değiştiği saptanmıştır (Kumru ve Bakaç 2000).

Doğu Karadeniz Bölgesindeki içme sularındaki radon konsantrasyonunu belirlemek için yapılan çalışmada, 11 farklı yerleşim bölgesinden alınan su örneklerinin radon aktiflik konsantrasyonları tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda radonun ortalama aktiflik konsantrasyonu 10,82 Bq/L olarak bulunmuştur. Sonuçlar ilgili kuruluşlar tarafından önerilen referans değerleri ile mukayase edilerek, radyasyon güvenliği açısından değerlendirilmesi belirtilmiştir (Damla vd. 2005).

Eskişehir iline bağlı Sivrihisar, Karakaya, Beylik ova, Kaymaz ile Frigya vadisinde yer alan bazı yerleşim bölgelerindeki su kaynaklarında yapılan bir çalışmada radon derişimleri yerinde ölçümlenmiştir. 19 adet su kaynağında yapılan ölçümlerde Radon değerlerinin 1,6 Bq/L ile 230 Bq/L arasında değiştiği yapılan çalışma sonucunda tespit edilmiştir. Ölçümler sonucunda sulardaki radon gazı miktarlarının WHO ile AB'nin öngördüğü standartların üzerinde değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Yüce vd. 2009).

Meksika'nın Chihuahua eyaletinin 9 şehrinin içme ve kuyu sularında yaptıkları <sup>222</sup>Rn ölçümünde % 48'inde radon konsantrasyonlarının USEPA'nın sınır değerlerin üzerinde bulmuşlardır (Villalba *et al.* 2005).

Ürdün doğal su kaynaklarında yapılan <sup>222</sup>Rn konsantrasyonları ölçümlerinde radon düzeyinin normal seviyelerin altında olduğu tespit edilmiştir (Al- Bataina *et al.* 1997).

Al- Masri ve Blackburn İngiltere göller bölgesinde yaptıkları çalışmada yüzey sularında radon aktivitesinin, kireçtaşı ve fay bölgeleri hariç düşük olduğunu belirtmişlerdir (Al-Masri and Blackburn 1999).

Sarrou ve Pashalidis, Güney Kıbrıs için atmosferde ve sularda ölçmüş oldukları radon derişiminin düşük olduğunu tespit ettiler. Radon derişiminin düşüklüğünü, arıtılmış deniz suyunun su şebekelerinde kullanılmasıyla ilişkilendirdiler (Sarrou and Pashalidis 2003).

Hopke ve arkadaşları tarafından Amerika'da yapılan çalışmalarda yer altı sularının radon konsantrasyonlarının 24 Bq/L ile 40 Bq/L arasında değiştiği görülmüştür (Hopke *et al.* 2000).

Amerika'da içme ve kullanım suyunun karşılandığı çok sayıda sondaj kuyusunda yapılan çalışmalarda kuyuların ortalama Rn konsantrasyonları 39,96 Bq/L olarak ölçülmüştür (Gosink *et al.* 1990).

Farai ve Sanni Nijeryada bir yıl boyunca 20 farklı kuyudan aldıkları örnekleri incelemişler, en fazla örnek alınan kuyunun Rn konsantrasyonunun 15 Bq/L olduğunu tespit etmişlerdir (Farai and Sanni 1992).

Cezayir'de Amrani ve arkadaşları yer altı suları radon konsantrasyonlarının 0,50 Bq/L ile 19,37 Bq/L değiştiğini bulmuşlardır (Amrani *et al.* 2000).

Lima ve Bonotto, Brezilya'da yer altı suları radon konsantrasyonlarının 25,47 Bq/L ile 784,11 Bq/L arasında değiştiğini görmüşlerdir (Lima and Bonotto 1996).

Bu çalışmalara Kanada'da McGregor ve Gourgon'nun (McGregor and Gourgon 1980), Finlandiya'da Salonen' nin (Salonen 1987), Ghose ve arkadaşlarının Bengaldeş'de (Ghose *et al.* 2000), Horvath ve arkadaşlarının Venezuela'da (Horvath *et al.* 2000) yaptıkları çalışmaları ilave etmek mümkündür.

Ülkemizdeki bir diğer çalışma Adapazarı – Kuzuluk'da yapılmıştır. Bölgede ki termal su kaynaklarının kimyasal ve radyoaktif değişiklikleri incelenmiştir. Kuzuluk bölgesinde ki kaynakların 2 tanesinden alınan su örneklerinde, deprem öncesinde uranyum konsantrasyonlarında önemli artışlar meydana geldiği gözlenmiştir. Belin ve arkadaşları

yapmış oldukları bu çalışma sonucunda yer altı sularının kimyasal ve radyoaktif değerlerindeki değişimlerin depremle ilişkili bir sonuç olabileceğini belirtmişlerdir (Belin vd. 2002).

Yaprak ve arkadaşları tarafından Manisa ve Alaşehir bölgelerinde, depremin önceden tahminine yönelik olarak yaptıkları çalışmalarda, toprak gazındaki radon konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. Toprak gazında radon ölçümlerini, bölgedeki aktif fay hatları üzerinde sürekli olarak, iz kazıma tekniği kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Fay hatları boyunca 42 radon ölçüm istasyonunda yapılan ölçümler sonucunda, radon konsantrasyonlarının depremle ilişkilendirilebilecek değişiklikler gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Deprem öncesinde ve sonrasında 3 istasyonda elde edilen radon anonimlerinin pik yüksekliğinin yaklaşık ortalamasının üç katı olduğunu tespit etmişlerdir (Yaprak vd. 2003).

İzmir ili Çeşme bölgesinde aktif fay hatları üzerinde bulunan kaplıcalardaki radon anonimleri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılmış çalışmada, Ocak 2006 ile Ocak 2007 tarihleri arasında haftalık olarak 6 istasyonda sıcak su kaynaklarında radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Radon konsantrasyonlarının 33,24 Bq/L ile 1,38 Bq/L aralığında değiştiği saptanmıştır. Yapılan çalışmada radon konsantrasyonlarındaki maksimum değişimlerin depremler öncesinde meydana geldiği gözlenmiştir. Depremler öncesinde termal kaynaklardan alınan su örneklerindeki radon konsantrasyonlarında dikkate değer değişimler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Güloğlu 2007).

Ege bölgesinde, Doğanbey fayı üzerinde Ocak 2005 ile Haziran 2005 tarihleri arasında Saç ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada, Doğanbey çevresindeki kaplıcalarda radon gazı ve su sıcaklığı değişimleri ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre radon konsantrasyonları Ocak, Şubat ve Haziran aylarında önemli değişimler göstermiştir. Bu tarihlere karşılık gelen iki deprem bölgede tespit edilmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri 2,4 ve 4,4 büyüklüğünde olduğu saptandı. Çalışmada termal su kaynaklarındaki radon konsantrasyonunun 13,79 pCi–297,70 pCi arasında değiştiği, ortalama radon konsantrasyonunun 96,53 pCi olarak tespit edildi. Çalışmada,



17 Ekim ve 21 Ekim tarihlerinde İzmir’de oluşan deprem etkinliği nedeniyle toprak gazındaki ve termal sulardaki radon gazı konsantrasyonlarında ani artışlar gözlenmiştir (Saç vd. 2005).

M. Saç ve B. Camgöz tarafından İzmir ilindeki sismik aktiviteler ile radon konsantrasyonlarındaki kolerasyonun incelenmesine yönelik yapılan çalışmada, Bergama ve Çeşmealtı arasındaki bölge çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Bölgede 28.09.1999 ve 06.05.2000 tarihleri arasında radon konsantrasyonları ölçüm sonuçları İzmir ve çevresinde meydana gelen depremler ile karşılaştırılmıştır. Bazı istasyonlarda deprem büyüklükleri ile radon konsantrasyonları arasında değişimler gözlenmiştir. Yapılan çalışmada, Eylül ayı sonu ve Ekim ortası aylarında radon konsantrasyonlarının arttığı ve bu tarihlerde bazı bölgelerde sismik aktivite gözlemlendiği tespit edildi (Saç ve Camgöz 2006).

Doğu Anadolu bölgesindeki bazı diri fay hatlarındaki yer altı sularının doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi amacıyla, fay hatları üzerindeki bazı noktalardan alınan yer altı sularının toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür. Sonuçlar, suların radyoaktivite seviyelerine etki eden çeşitli faktörler açısından değerlendirilmiştir (Baykara vd. 2002).

### 3. MATERYAL VE METOT

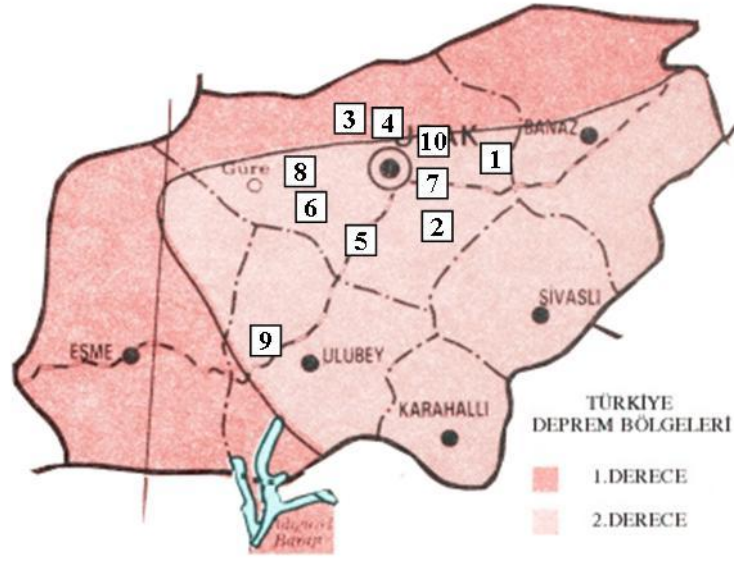
#### 3.1 İncelenen Su Kaynakları

Uşak il merkezinde, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak üzere açılmış 10 adet sondaj kuyusu kaynak olarak belirlenmiştir. Bu kaynak sularındaki radon ve radyum aktivitelerini belirlemek üzere kaynaklardan su örnekleri alınmış ve sayımlar gerçekleştirilmiştir. Numuneler 13.08.2008 ile 22.12.2008 tarihleri arasında yaklaşık 5 aylık süre içinde alınmıştır. Kuyular 100 metreden daha fazla derinliğe sahiptir. Numunelerin alındığı kaynak isimleri Tablo 3.1’de, kaynakların bulunduğu yerler ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Su Örneklerinin Alındığı Kaynaklar

| Kaynak No | Kaynak Adı                                   |
|-----------|----------------------------------------------|
| 1         | Bozkuş, İçme suyu sondaj kuyusu              |
| 2         | Çanlı, Kullanım suyu sondaj kuyusu           |
| 3         | Şantiye, İçme suyu sondaj kuyusu             |
| 4         | Doğala, İçme suyu sondaj kuyusu              |
| 5         | Bölme, İçme suyu sondaj kuyusu               |
| 6         | Desan Sitesi, İçme suyu sondaj kuyusu        |
| 7         | Şeker Fabrikası, Kullanım suyu sondaj kuyusu |
| 8         | Toki, İçme suyu sondaj kuyusu                |
| 9         | Ulubey, İçme suyu sondaj kuyusu              |
| 10        | Aybey, Aybey su deposu yanındaki çeşme       |

Yukarıdaki kaynakların tümü, içme ve kullanım suyu ihtiyacını karşılamak için açılmış sondaj kuyularıdır. 9 Nolu kaynak Ulubey ilçesinde olup, diğer kaynakların tümü Uşak il merkezinde yer almaktadır. 1, 3, 4, 5 Nolu kaynaklardan elde edilen sular içme suyu olarak şehir şebekesine verilmektedir. 7 Nolu kaynak Uşak şeker fabrikası içinde yer alan ve fabrikada kullanım suyu ihtiyacını karşılayan kaynaktır.



Şekil 3.1 İncelenen Kaynakların Yerleri (<http://www.deprem.gov.tr>).

### 3.2 Numune Alımı

Belirtilen kaynaklardan numune alımı için 500 ml'lik pet şişeler kullanılmıştır. Kaynaklardan numune almadan önce suyun bir süre akıtılması sağlanmıştır. Temiz su numunesi elde edildikten sonra şişeler tamamen, üst kısmında boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş, radon gazı kaçışını önlemek içinde şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Kaynaklardan alınan numuneler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarına götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 Pylon AB-5R Cihazında Sayım

Kaynaklardan alınan su numunelerindeki radon ve radyum aktivitelerini belirlemek için Pylon Electronics tarafından üretilen AB-5R dedektörü kullanılmıştır. Sistem iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar WG-1001 Gaz ayırıştırma ünitesi ile AB-5R dedektör bölümleridir. Kullanılan cihazın görünümü Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 (a) Gaz Ayırıştırma Ünitesi,

(b) Detektör,

(c) Radon Depolama Hücresi

### 3.3.1 WG-1001 Model Vakumlu Su-Gaz Ayırıştırıcı Sistemi

WG-1001 model vakumlu su-gaz ayırıştırıcı sistemi özel olarak, suyun içindeki radon ve radyum miktarının kesin ve hızlı biçimde saptanması için dizayn edilmiştir. Sistem temin edilen bir el pompası veya elektrikli vakum pompası ile tahliye edilir. Daha sonra gözenekli difüzyon tasından ölçülmüş miktardaki suya (190 cc) hava basılır. Bu işlemle hava sudan radonu söker ve hava karışımı kurutma tüpünden sintilasyon hücresine doğru akar. Su numunesinden geçen havanın oranı ince ayar vanası ile ayarlanır ve potansiyel olarak hücrede kalabilecek olan nem, kurutma vanası sayesinde giderilir. Akış oranı radonun sürtmesine bağlıdır ve 300 A model sintilasyon hücresi kullanıldığında 190 ml su numunesindeki çözünmüş radonun % 85-95 oranında sürtünmesi 5 dakika kabarcıklanma periyodu olarak elde edilir.

Sonraki aşamada, sintilasyon hücresi radon monitörüne takılır ve alfa aktivitesi belirlenir. Sonuçlar, radon bozulması için numune toplanması ile ölçüm arasında düzeltilmelidir. Bu hesaplama için bir tablo sağlanır. Sintilasyon hücresi ışıktan uzak tutulmalı ve her sefer için hücre örtüsü kullanılmalıdır. Hücre ışığa maruz kaldığında, hücrenin üzerindeki sintilasyon malzemesi ışıldar ve bozulması 5 dakika kadar sürebilir. Ölçümün tamamlanmasından sonra, hücreleri de içeren gaz ayırıştırma sistemi hava ve azot ile birkaç kez tahliye edilmeli, temizlenmeli ve tüm radyoaktif gazlardan arındırılmalıdır. Numuneleme ve sayım süresince, radon hücre duvarlarında depolanır ve arka plan sayımı temizleme işleminden sonra aynı kalır. Bu aktivite süratle bozulur. Ölçülen miktara göre hücre 3-4 saat sonra tekrar kullanılabilir.

### 3.3.2 AB-5R Dedektörünün Çalışma Teorisi

Radon ve toron gazları doğal olarak oluşan renksiz, kokusuz asal radyoaktif gazlardır. Bu gazlar, uranyum ve toryum ile başlayan radyoaktif bozunma serilerinin hemen hemen ortasında yer alırlar. Radon ve toron, havada yayılabilen veya havada yayılan toz ve duman dahil, yüzeylere yapışabilen bozunma ürünlerine bozunurlar. Radon gazı, toron gazı ve bunların ailesi enerji parçacıkları şeklinde radyasyon yayarlar. Bazı AB-5 aksesuarları radon gazı veya bozunma ürünleri, toron gazı veya bozunma ürünleri gibi radyoaktif malzeme örneklerini toplamak için kullanılır; diğer AB-5 aksesuarları, toplanan radyoaktif malzeme örneklerini alır; ve başka aksesuarlar, ölçüm yapılacak alanın yakınına yerleştirilir. Aksesuarlardaki bir sintilatör radyoaktif malzemeden yayılan enerji parçacıklarına tepki vererek ışık pulsları oluşturur. Bu ışık atmaları foton çoğaltıcı tüp (PMT) tarafından çoğaltılır ve elektronik sinyallere dönüştürülür. Bu sinyaller, bir mikro işlemci tabanlı entegre devrenin, kullanıcı tarafından tanımlanan aralıklarda sinyalleri saydığı ve kayıt ettiği AB-5'teki bir baskılı devre kartına gönderilir. Eğer AB-5 radon madundaysa, AB-5'teki yazılım sayımı dakikada ortalama sayım (CPM) değerine çevirir ve dakikadaki ortalama net sayım (NPCM) değerine ulaşmak için azalan etkilerini çıkarır. Ardından NPCM, örnekteki radon gaz konsantrasyonunu elde etmek için sayım hassasiyetine bölünür (Özdemir, 2006).

### 3.3.3 Ara Mod-Daimi Örneklem

Cihaz, programlanmış bir sayıda (2-99) döngü kadar çalışması için programlar. Her döngü, programlanmış sayıda aralık içerir. Veriler uzunluğu kullanıcı tarafından programlanan aralıklardaki sayım bazında kaydedilir. Çalıştırma, programlanan sayıdaki aralık ve döngüler tamamlandıktan sonra otomatik olarak sonlanır. AB-5'in yeniden başlatılması yeni bir çalışma başlatır. Dâhili pompa, her bir döngüde belirli bir aralıkta veya bir seri aralıkta çalışmak üzere ayarlanabilir. AB-5 pompası akış hızı, örneklem hacmini azami tutmak için genelde maksimuma ayarlanır. Pompanın sadece her döngünün ilk aralığında çalıştığı, her biri beş dakikalık 10 aralıktan oluşan 10 döngü olarak programlanmış bir çalışma, ara modunda daimi örneklemeye bir misaldir. Ara modda daimi örneklem ara vermeden çalışmak üzere programlanabilir.

### 3.4 Pylon AB-5R’de Sudaki Radonun Ölçümü

AB-5R dedektörü ile radon aktivitesini tespit etmek için yapılması gereken aşamalar aşağıda belirtildiği gibi yapılmaktadır.

1) Depolama hücreleri, radon gazıyla doldurulmadan önce her hücre için 5 dakika süreyle 3 değer alınır. Bu değerlerin ortalamaları alınarak arka plan sayım oranını sayım/dakika olarak elde edilir. Elde edilen bu değer Denklem 3.1’deki B değeridir.

2) Pompa PUMP konektörüne takılır ve hücre SCINTILLATION CELL bağlayıcısına yerleştirilir. Sistemdeki barometrik basınç yaklaşık 22 inç civa (Hg) basıncına düşürülür, daha sonra pompa ayrılır. Kurutma ajanının mavi renkte olmasına dikkat edilmelidir.

3) ON/OFF ve BYPASS vanalarını kapatılır. 190 ml numune, numune silindirene hızlıca aktarılır. Difüzyon tası ve lastik tıpa ile sıkıca kapatılır. Bu işleminin hızlı ve dikkatli bir şekilde yapılması önemlidir.

4) Bubbler, BUBBLER INLET’e giden ilk hata bağlanır. Sonra yavaşça EXHAUST DRYER bağlantısı takılır. Bu işlem birkaç saniye süreyle kabarcıklanmaya neden olur. Eğer kabarcıklanma yatışmazsa veya bariz bir vakum kaybı varsa lastik tıpların iyice yerleştirilmiş olduğundan emin olmamız gerekir.

5) Birkaç saniyelik kabarcıklanmadan sonra ON/OFF vanası açılır. Yaklaşık 5 dakikalık bir sürede sabit bir kabarcıklanma oranı sağlanmalıdır. Sürtme periyodu tamamlandığında ve vakum ölçeği 3 inç veya daha az civa basıncı gösterdiğinde BYPASS vanası 5-10 saniye süreyle yavaşça açılarak radon hücreye doğru depolanır.

6) Örnekleme zamanı kaydedilir (Ts).

7) ON/OFF ve BYPASS vanaları kapatılır. Bubbler’i EXHAUST DRYER konektöründen ayrılır. Daha fazla örnekleme yapmak için diğer hücrelere de yukarıdaki aşamaların aynısını uygulanır.

8) Sayım için sintilasyon hücresini örneklemeden yaklaşık 3,5 saat sonra (hücre içindeki radon aktivitesi dengeye geldiğinde) radyasyon monitörüne yerleştirilir ve 5'er dakika ara ile hücre 5 kez sayılır. Değerler sayım/dakika cinsinden kaydedilir ve sayım zamanı not edilir (Tc).

9) Hücrelerde kalan radonu sistemden temizlemek için önce hücrenin arkası gaz ayrıştırma sisteminin üzerine oturtulur. Kabarcıklandırma aparatı silindir içinde su olmadan yerleştirilir. Giriş ve çıkış hatları ilgili konektöre bağlanmış, ON/OFF ve BYPASS vanaları kapatılmış olmalıdır. Pompa yardımıyla hücredeki basınç yaklaşık 22 inç civa basıncına düşürülür. BYPASS vanası açılır. Bu işlem 2-3 kez tekrarlanır. Temizleme için kurutulmuş hava tercih edilmelidir.

10) Kullanılan tüm hücreler için yukarıdaki temizleme işlemi aynen tekrar edilir.

### 3.4.1 Sudaki Radon Hesaplamaları

Numunenin içindeki radon miktarını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$A = \frac{(C-B) \times 37}{F \times 6.66 \times D \times S \times V} \quad (3.1)$$

A:  $^{222}\text{Rn}$  aktivitesi (Bq/L)

C: Brüt Sayım Oranı (Sayım/dakika)

B: Arka plan sayım oranı (Sayım/dakika)

F: Hücre sayım verimliliği (normal olarak 0,745)

D: Gaz ayrıştırma verimliliği (300 A için 0,9)

S: Numuneleme zamanından (Ts) sayım zamanına (Tc) kadar geçen süre için radonun bozulma düzeltmesi

V: Numune hacmi (190 ml)

### 3.5 Pylon AB-5R Dedektörü ile Sudaki Radyumun Ölçümü

- 1) Örnek su numunesi (yaklaşık 500 ml) yalıtılabilir bir kap içine konulur.
- 2) Numune en az radonun yarı ömrü (91,80 saat) kadar beklemeye bırakılır.
- 3) Hücreleri radyum gazıyla örneklenmeden önce her bir hücre için 5 dakika süreyle 3 değer alınır. Bu değerlerin ortalamaları alınarak arka plan sayım oranı sayım/dakika olarak elde edilir. Bu değer Denklem 3.2'deki B değeridir.
- 4) Pompa PUMP konektörüne takılır ve hücre SCINTILLATION CELL konektörüne yerleştirilir. Sistemdeki barometrik basınç yaklaşık 22 inç civa (Hg) basıncına düşürülür. Daha sonra pompa ayrılır. Kurutma ajanının mavi renkte olmasına dikkat edilir.
- 5) ON/OFF ve BYPASS vanaları kapatılır. 190 ml numune, numune silindirene hızlıca aktarılır. Difüzyon tası ve lastik tıpa ile sıkıca kapatılır. Kapatma işleminin hızlı ve dikkatli bir şekilde yapılması önemlidir.
- 6) Bubbler BUBBLER INLET'e giden ilk hata bağlanır. Sonra yavaşça EXHAUST DRYER bağlantısı takılır. Bu işlem birkaç saniye süresince kabarcıklanmaya neden olur. Eğer kabarcıklanma yatışmazsa veya bariz bir vakum kaybı varsa lastik tıpların iyice kapatılmış olduğundan emin olmamız gerekir.
- 7) Birkaç saniyelik kabarcıklanmadan sonra ON/OFF vanası açılır. Yaklaşık 5 dakikalık bir sürede sabit bir kabarcıklanma oranı sağlanmalıdır. Sürtme periyodu tamamlandığında ve vakum ölçeği 3 inç veya daha az civa basıncı gösterdiğinde BYPASS vanasını 5-10 saniye süreyle yavaşça açılarak radon hücreye doğru depolanır.
- 8) Örneklemme zamanı kaydedilir (Ts).



9) ON/OFF ve BYPASS vanaları kapatılır. Bubbler EXHAUST DRYER konektöründen ayrılır. Daha fazla örnekleme yapmak için diğer hücrelerde yukarıdaki işlemlerin aynısı uygulanır.

10) Sayım için sintilasyon hücresi örneklenmeden yaklaşık 3,5 saat sonra (hücre içindeki radon aktivitesi dengeye geldiğinde) radyasyon monitörüne yerleştirilir. Işımanın bozulmasından sonra 5'er dakika ara ile hücre 5 kez sayılır. Değerler sayım/dakika cinsinden kaydedilir. Sayım zamanı kaydedilir (Tc).

11) Hücrelerde kalan radonu sistemden temizlemek için önce hücrenin arkası gaz ayırıştırma sisteminin üzerine oturtulur. Kabarcıkkanma aparatı silindir içinde su olmadan yerleştirilir. Giriş ve çıkış hatları ilgili konektöre bağlanmış, ON/OFF ve BYPASS vanaları kapatılmış olmalıdır. Pompa yardımıyla hücredeki barometrik basınç yaklaşık 22 inç civa basıncına düşürülür. BYPASS vanası açılır. Bu işlem 2-3 kez tekrarlanır. Temizleme için kurutulmuş hava tercih edilir.

12) Kullanılan diğer hücreler için yukarıda belirtilen işlemler aynen tekrarlanır.

### 3.5.1 Sudaki Radyum Hesaplamaları

Numunenin radyum aktivitesini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$A = \frac{(C-B) \times 37}{F \times 6.66 \times D \times S \times V \times (1-G)} \quad (3.2)$$

A: <sup>226</sup>Ra aktivitesi (Bq/L)

C: Brüt Sayım Oranı (CPM)

B: Arka Plan Sayım Oranı

F: Hücre Sayım Verimliliği (0,745)

D: Gaz Ayırıştırma Verimliliği (300 A hücresi için: 0,9)

S: Hücreye radonun hapsedilmesinden sayım zamanına kadar geçen süre için düzeltme katsayısı

V: Numune Hacmi (190ml)

G: Numune alış zamanı ile numune sayım zamanı arasında geçen süre için düzeltme katsayısı

### 3.5.2 Radon ve Radyumun Ortalama Hesaplamaları

Belirli zaman aralıklarında her kaynak için numuneler alındı. Bu örneklerin her bir kaynak için ortalama değerleri Denklem 3.3 ile hesaplandı.

$$X = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} \quad (3.3)$$

### 3.5.3 Standart Hata

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hata hesabını bulmak amacıyla standart sapma hesaplamaları

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X)^2}{N-1}} \quad (3.4)$$

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

$$S. H = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (3.5)$$

denklemleri kullanılarak yapıldı.

## 4. DENEYSEL BULGULAR

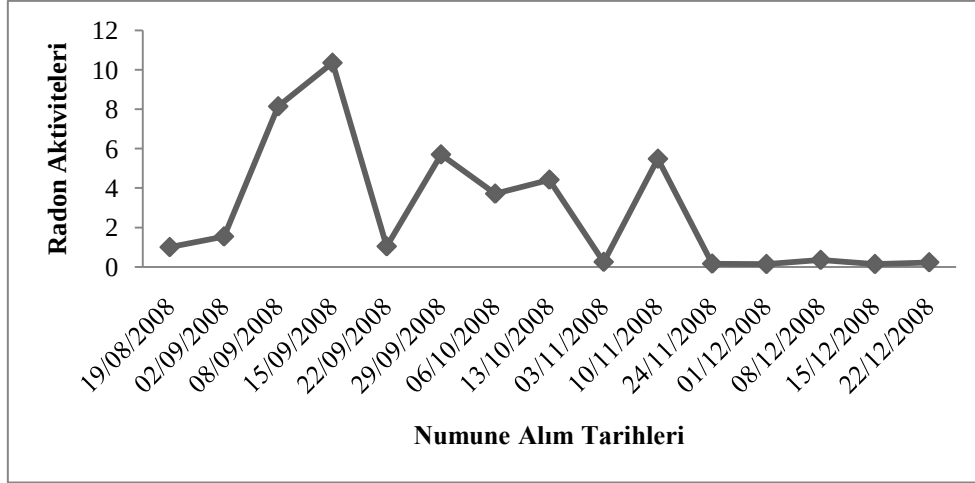
### 4.1 Kaynakların Radon ve Radyum Aktiviteleri

1 Nolu kaynaktan 19.08.2008-22.12.2008 tarihleri arasında alınan su numuneleri ile yapılan analizlerden elde edilen değerler Tablo 4.1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak radon aktivitelerinin değişimi Şekil 4.1’de, radyum aktivitelerinin değişimi Şekil 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.1 1 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

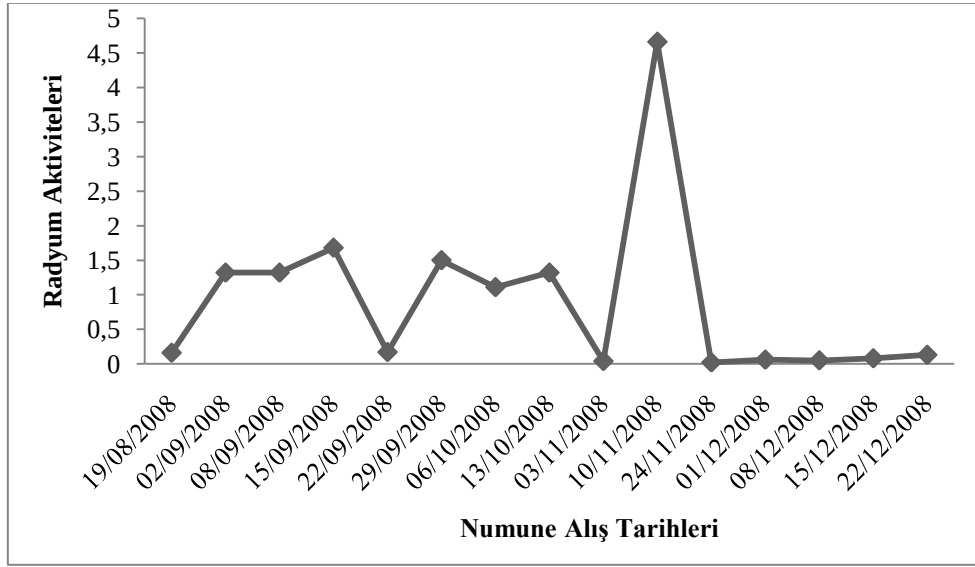
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 19.08.2008         | 1,00             | 0,16              |
| 02.09.2008         | 1,54             | 1,32              |
| 08.09.2008         | 8,14             | 1,32              |
| 15.09.2008         | 10,35            | 1,68              |
| 22.09.2008         | 1,04             | 0,17              |
| 29.09.2008         | 5,70             | 1,50              |
| 06.10.2008         | 3,71             | 1,11              |
| 13.10.2008         | 4,42             | 1,32              |
| 03.11.2008         | 0,25             | 0,04              |
| 10.11.2008         | 5,48             | 4,66              |
| 24.11.2008         | 0,16             | 0,02              |
| 01.12.2008         | 0,14             | 0,06              |
| 08.12.2008         | 0,35             | 0,05              |
| 15.12.2008         | 0,14             | 0,08              |
| 22.12.2008         | 0,23             | 0,13              |

Tablo 4.1 incelendiğinde 1 Nolu kaynaktan elde edilen radon aktivitelerinin USEPA tarafından sulardaki radon aktiviteleri için belirlenen 11 Bq/L üst limit değerini aşmadığı, sadece 08.09.2008 ile 15.09.2008 tarihlerinde bu değere yaklaştığı gözlenmiştir. Ancak 1 Nolu kaynaktan elde edilen radyum aktiviteleri incelendiğinde, 7 ayrı tarihte radyum aktiviteleri USEPA’nın radyum aktiviteleri için belirlediği üst limit olan 0,555 Bq/L değerini aştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.1 1Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

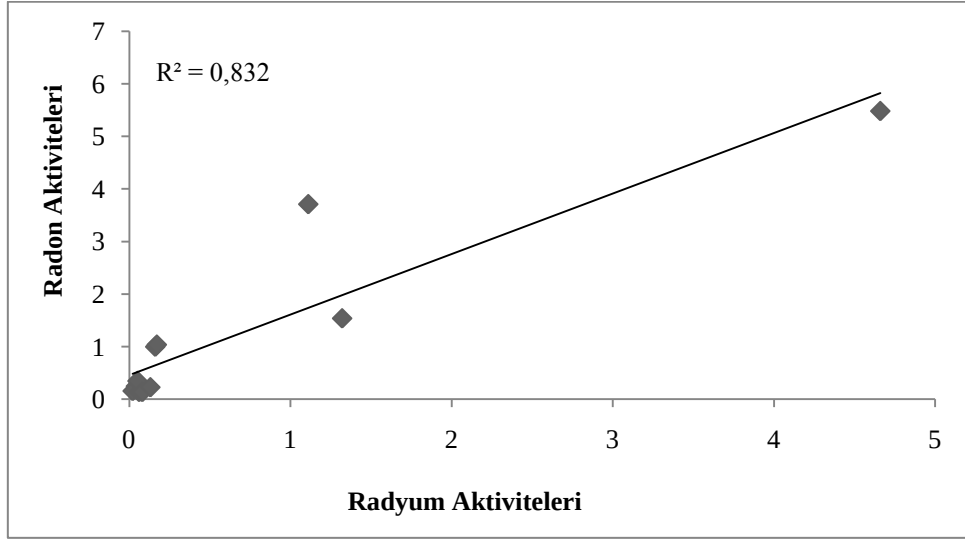
1 Nolu kaynağın radon aktiviteleri incelendiğinde, radon aktivitelerinin maksimum değerinin 10,35 Bq/L, minimum değerinin 0,14 Bq/L olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 1 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

1 Nolu kuyunun radyum aktiviteleri incelendiğinde, maksimum radyum aktivitesi 10.11.2008 tarihinde alınan numunede ölçülmüş olup 4,66 Bq/L değerinde, minimum radyum aktivitesi ise 24.11.2008 tarihinde alınan numunede tespit edilmiş olup 0,02 Bq/L değerinde olduğu gözlenmiştir. 1 Nolu kuyuda, 2, 8, 15, 29 Eylül 2008, 6, 13 Ekim 2008 ve 10 Kasım 2008 tarihlerinde alınan numunelerde radyum aktiviteleri USEPA'nın sular için kabul ettiği limit değerinin üzerinde olduğu görülmüştür.

1 Nolu kuyudan elde edilen radon ve radyum aktivitelerinin lineer korelasyonunu veren grafik Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Bu kaynak için radon-radyum korelasyon katsayısı 0,832 elde edilmiştir.



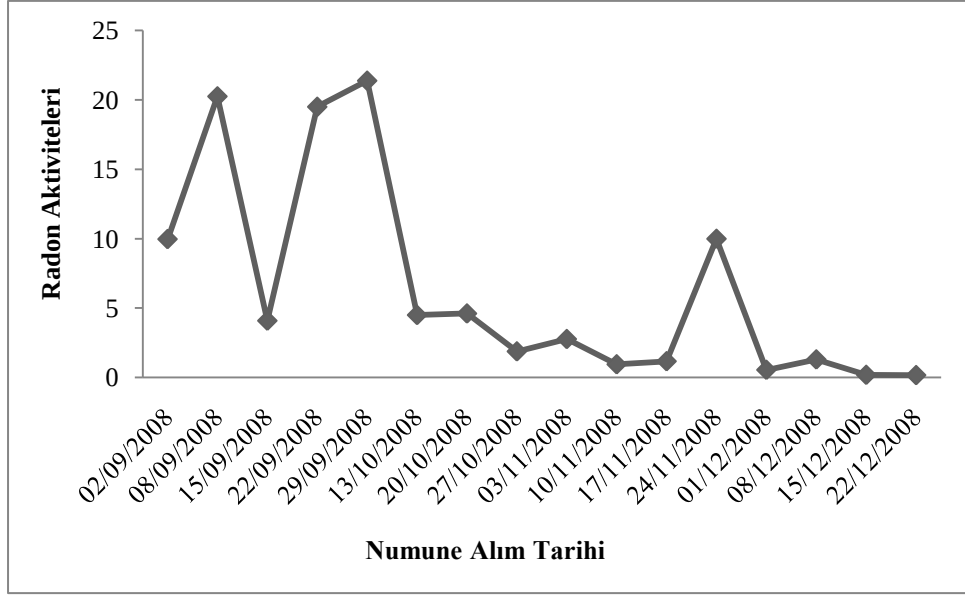
Şekil 4.3 1 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

2 Nolu kuyunun radon ve radyum aktivitelerinin değişimi, Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu değerler 02.09.2008 ile 22.12.2008 tarihleri arasında alınan numuneler aittir.

Tablo 4.2 2 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 02.09.2008         | 9,97             | 3,51              |
| 08.09.2008         | 20,25            | 3,39              |
| 15.09.2008         | 4,09             | 3,51              |
| 22.09.2008         | 19,50            | 5,84              |
| 29.09.2008         | 21,38            | 5,11              |
| 13.10.2008         | 4,50             | 1,35              |
| 20.10.2008         | 4,61             | 1,38              |
| 27.10.2008         | 1,88             | 1,60              |
| 03.11.2008         | 2,77             | 2,33              |
| 10.11.2008         | 0,95             | 0,76              |
| 17.11.2008         | 1,17             | 0,94              |
| 24.11.2008         | 9,99             | 2,99              |
| 01.12.2008         | 0,55             | 0,09              |
| 08.12.2008         | 1,30             | 0,20              |
| 15.12.2008         | 0,19             | 0,09              |
| 22.12.2008         | 0,17             | 0,11              |

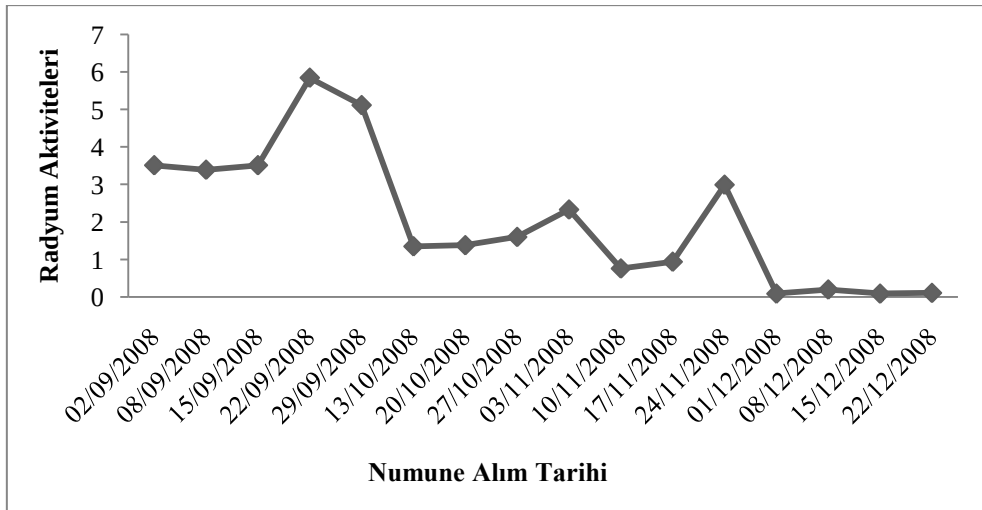
2 Nolu kaynaktan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 08.09.2008, 22.09.2008 ve 29.09.2008 tarihlerinde radon aktiviteleri USEPA’nın belirlediği st limit değerleri aştığı, radyum aktivitelerinin ise Eylül, Ekim ve Kasım aylarında alınan numunelerin, USEPA’nın radyum için belirlediği st limit değerini aştığı grlmştir. Radon ve radyum aktivitelerinin değişim grafikleri şekil 4.4 ve şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 2 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

2 Nolu kaynaktan alınan numunelerin ölçümü sonucu elde edilen radon aktivitelerinin numune alım tarihlerine göre değişim grafiği Şekil 4.4'teki gibi elde edilmiştir.

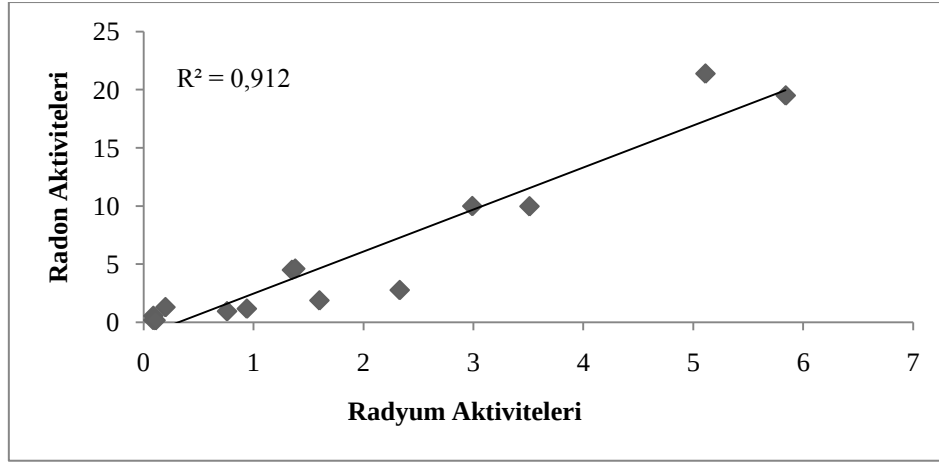
Ölçümler sonucunda 2 Nolu kaynağın maksimum radon aktivitesi 29.09.2008 tarihindeki numunede elde edilmiş olup 21,38 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 22.12.2008 tarihli numunede 0,17 Bq/L olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5 2 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

2 Nolu kaynağa ait radyum aktiviteleri 02.09.2008 ile 24.11.2008 arasındaki tüm ölçümlerde USEPA'nın radyum için belirlediği 0,555 Bq/L üst limit değerini aşmıştır. Aralık ayında alınan numunelerde ise radyum aktiviteleri bu değerin altında çıkmıştır. 2 Nolu kaynakta elde edilen ölçümlerde maksimum radyum aktivitesi 22.09.2008 tarihli numunede 5,84 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 01.12.2008 ve 15.12.2008 tarihli numunelerde 0,09 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

2 Nolu kaynaktan elde edilen radon-radyum aktiviteleri arasındaki lineer korelasyon grafiği Şekil 4.6'daki gibi elde edilmiş olup korelasyon katsayısı 0,912 bulunmuştur.



Şekil 4.6 2 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktiviteleri Lineer Korelasyonu

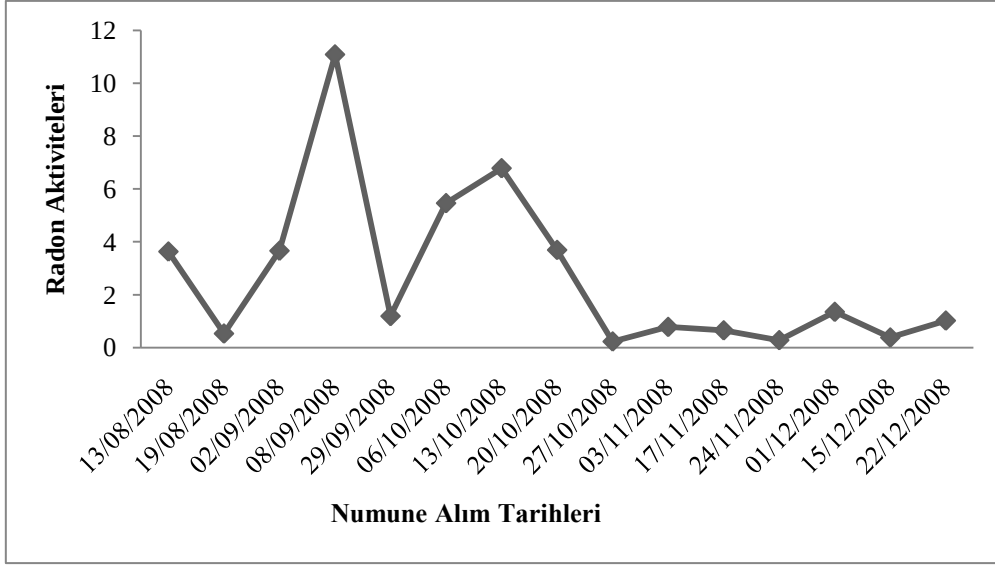


3 Nolu kaynağından 13.08.2008-22.12.2008 tarihleri arasında alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 3 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

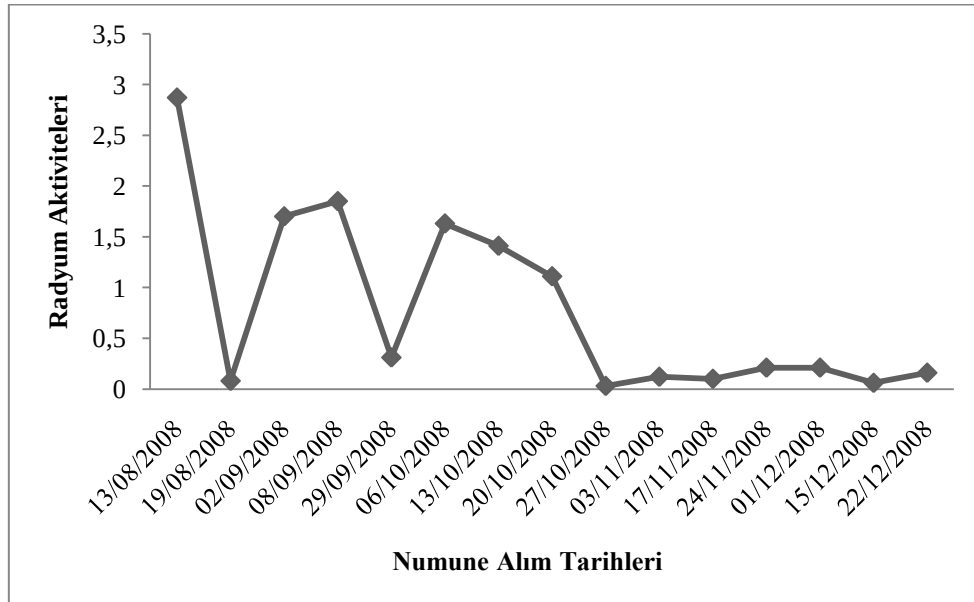
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 13.08.2008         | 3,63             | 2,87              |
| 19.08.2008         | 0,53             | 0,08              |
| 02.09.2008         | 3,66             | 1,70              |
| 08.09.2008         | 11,08            | 1,85              |
| 29.09.2008         | 1,19             | 0,31              |
| 06.10.2008         | 5,46             | 1,63              |
| 13.10.2008         | 6,78             | 1,41              |
| 20.10.2008         | 3,69             | 1,11              |
| 27.10.2008         | 0,23             | 0,03              |
| 03.11.2008         | 0,78             | 0,12              |
| 17.11.2008         | 0,65             | 0,10              |
| 24.11.2008         | 0,28             | 0,21              |
| 01.12.2008         | 1,35             | 0,21              |
| 15.12.2008         | 0,38             | 0,06              |
| 22.12.2008         | 1,02             | 0,16              |

Tablo 4.3 incelendiğinde 08.09.2008 tarihinde alınan numunede radon aktivitesi, 13 Ağustos 2008, 02 ve 08 Eylül 2008, 06, 13, 20 Ekim 2008 tarihlerinde alınan numunelerin ise radyum aktivitesi USEPA'nın sular için belirlediği üst limit değerlerini aşmıştır. Radon aktivitelerinin değişim grafiği Şekil 4.7'de, radyum aktivitelerinin değişim grafiği ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 3 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

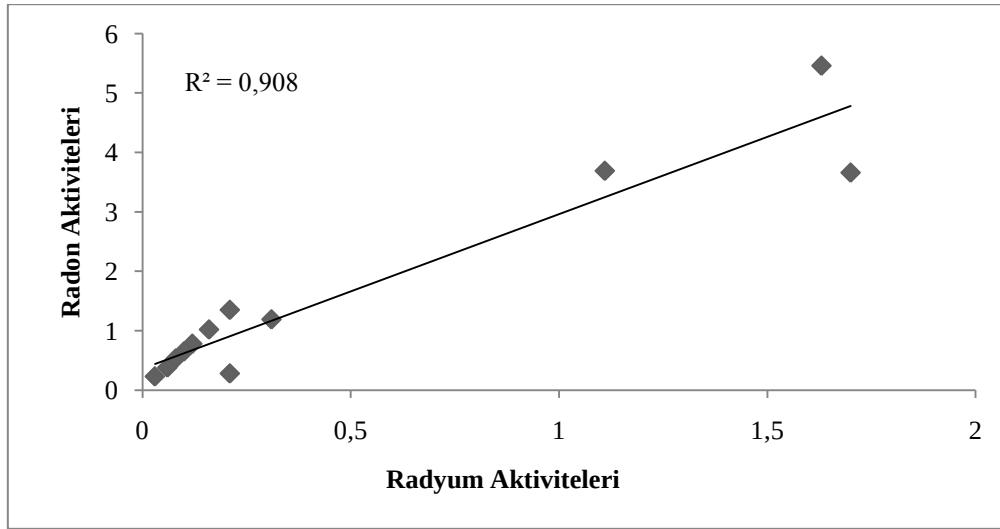
3 Nolu kaynak için maksimum radon aktivitesi 08.09.2008 tarihli numunede 11,08 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 27.10.2008 tarihinde alınan numunede 0,23 Bq/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.8 3 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

3 Nolu kaynaktan alınan numunelerin maksimum radyum aktivitesi 13.08.2008 tarihinde 2,87 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 27.10.2008 tarihinde 0,03 Bq/L olarak ölçülmüştür.

3 Nolu kaynağın radon-radyum aktiviteleri arasındaki korelasyon grafiği Şekil 4.9'daki gibi olup, korelasyon katsayısı ise 0,908 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9 3 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

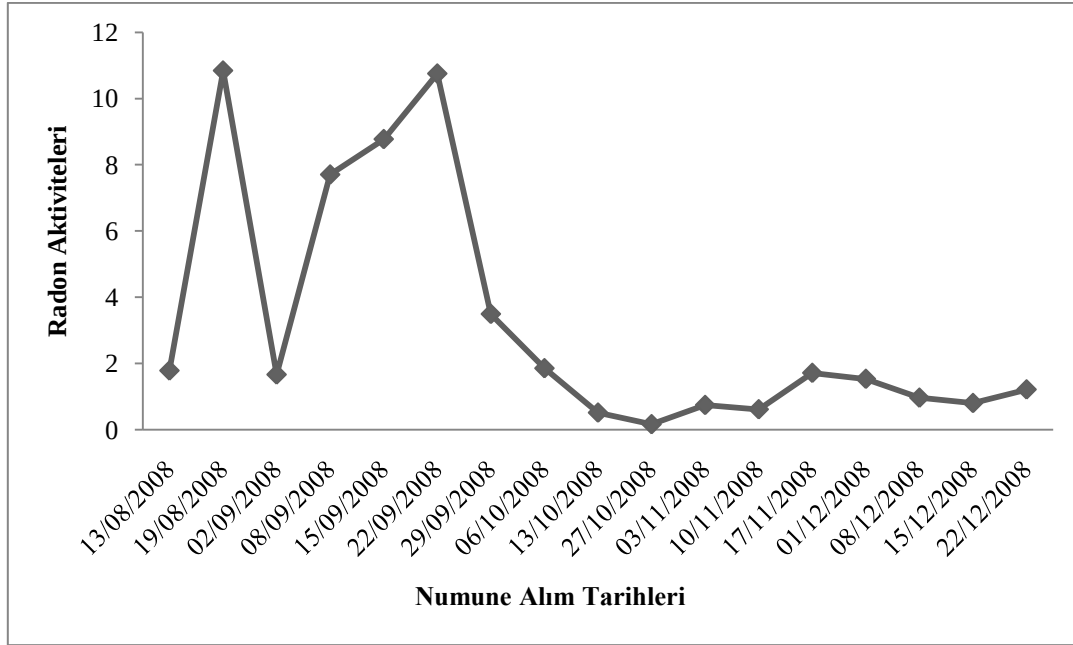
4 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerinin 13.08.2008 ile 22.12.2008 tarihleri arasındaki değişimleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 4 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

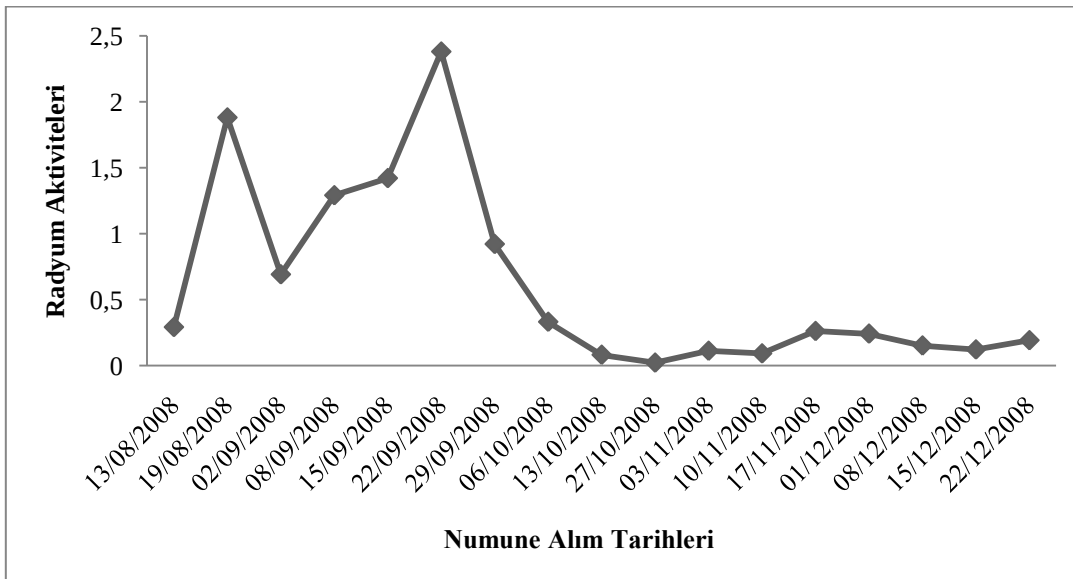
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 13.08.2008         | 1,78             | 0,29              |
| 19.08.2008         | 10,84            | 1,88              |
| 02.09.2008         | 1,66             | 0,69              |
| 08.09.2008         | 7,70             | 1,29              |
| 15.09.2008         | 8,77             | 1,42              |
| 22.09.2008         | 10,75            | 2,38              |
| 29.09.2008         | 3,49             | 0,92              |
| 06.10.2008         | 1,85             | 0,33              |
| 13.10.2008         | 0,51             | 0,08              |
| 27.10.2008         | 0,16             | 0,02              |
| 03.11.2008         | 0,74             | 0,11              |
| 10.11.2008         | 0,61             | 0,09              |
| 17.11.2008         | 1,71             | 0,26              |
| 01.12.2008         | 1,53             | 0,24              |
| 08.12.2008         | 0,96             | 0,15              |
| 15.12.2008         | 0,80             | 0,12              |
| 22.12.2008         | 1,21             | 0,19              |

Tablo 4.4 incelendiğinde radon aktivitelerinin USEPA'nın belirlediği üst limit değerini aşmadığı, radyum aktivitelerinin ise radyum için belirlenen 0,555 Bq/L değerini 19.08.2008, 02.09.2008, 08.09.2008, 15.09.2008, 22.09.2008, 29.09.2008 tarihlerinde alınan numunelerde aştığı tespit edilmiştir.

4 Nolu kuyuda maksimum radon aktivitesi 19.08.2008 tarihli numunede 10,84 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 27.10.2008 tarihli numunede 0,16 Bq/L bulunmuştur. Bu kuyuda radyum aktivitesinin maksimum değeri 22.09.2008 tarihli numunede 2,38 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 27.10.2008 tarihli numunede 0,02 Bq/L ölçülmüştür. Şekil 4.10'da 4 nolu kaynağın radon aktivitelerinin değişim grafiği, Şekil 4.11'de ise kaynağın radyum aktivitelerinin değişim grafiği verilmiştir.

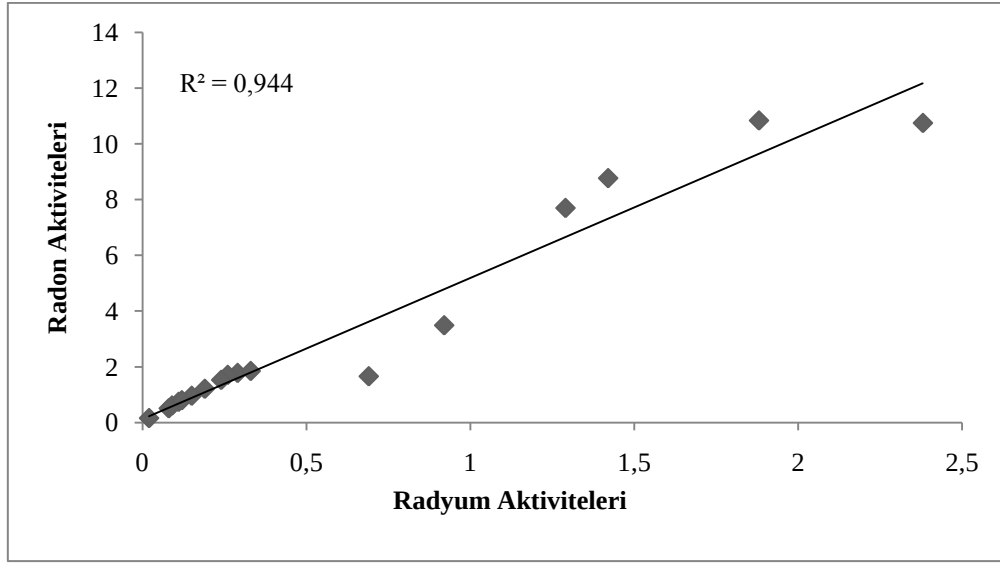


Şekil 4.10 4 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi



Şekil 4.11 4 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

4 Nolu kaynağın radon-radyum aktiviteleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,944'tür. Radon-radyum arasındaki korelasyonu gösteren grafik Şekil 4.12'deki gibi elde edilmiştir.



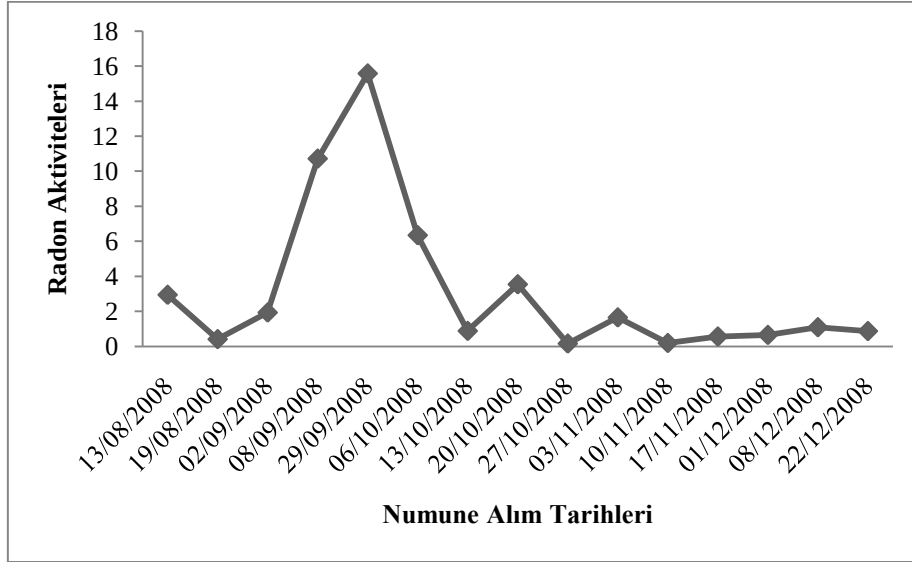
Şekil 4.12 4 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

5 Nolu kaynağın 13.08.2008-22.12.2008 tarihleri arasındaki radon ve radyum aktiviteleri Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5 5 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

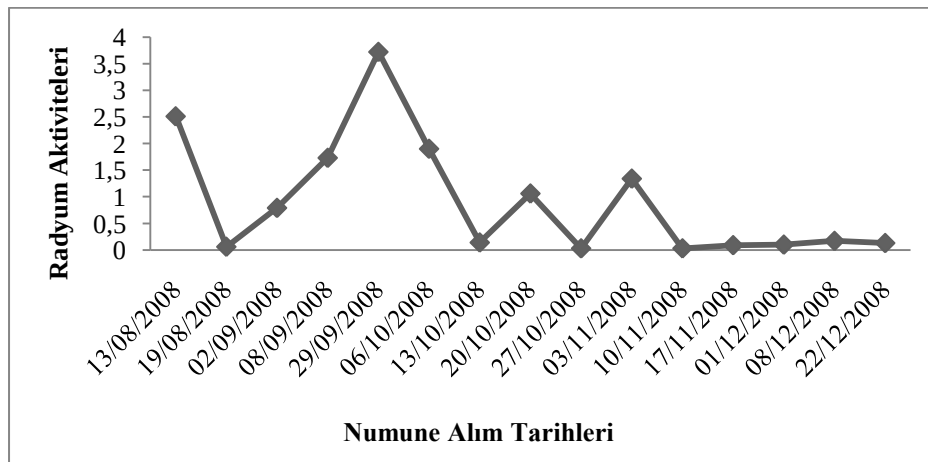
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 13.08.2008         | 2,94             | 2,51              |
| 19.08.2008         | 0,41             | 0,06              |
| 02.09.2008         | 1,93             | 0,79              |
| 08.09.2008         | 10,71            | 1,73              |
| 29.09.2008         | 15,57            | 3,72              |
| 06.10.2008         | 6,34             | 1,90              |
| 13.10.2008         | 0,88             | 0,14              |
| 20.10.2008         | 3,54             | 1,06              |
| 27.10.2008         | 0,16             | 0,03              |
| 03.11.2008         | 1,65             | 1,34              |
| 10.11.2008         | 0,19             | 0,03              |
| 17.11.2008         | 0,56             | 0,09              |
| 01.12.2008         | 0,65             | 0,10              |
| 08.12.2008         | 1,09             | 0,17              |
| 22.12.2008         | 0,87             | 0,13              |

Tablo 4.5 incelendiğinde 5 Nolu kaynağın 29.09.2008 tarihindeki radon aktivitesi ile 13.08.2008, 02.09.2008, 08.09.2008, 29.09.2008, 06.10.2008, 20.10.2008 ve 03.11.2008 tarihindeki radyum aktiviteleri, USEPA'nın radon ve radyum için belirlediği üst limit değerlerinden yüksek çıkmıştır. Şekil 4.13'te radon aktivitelerindeki değişim, Şekil 4.14'te radyum aktivitelerindeki değişim grafikleri verilmiştir.



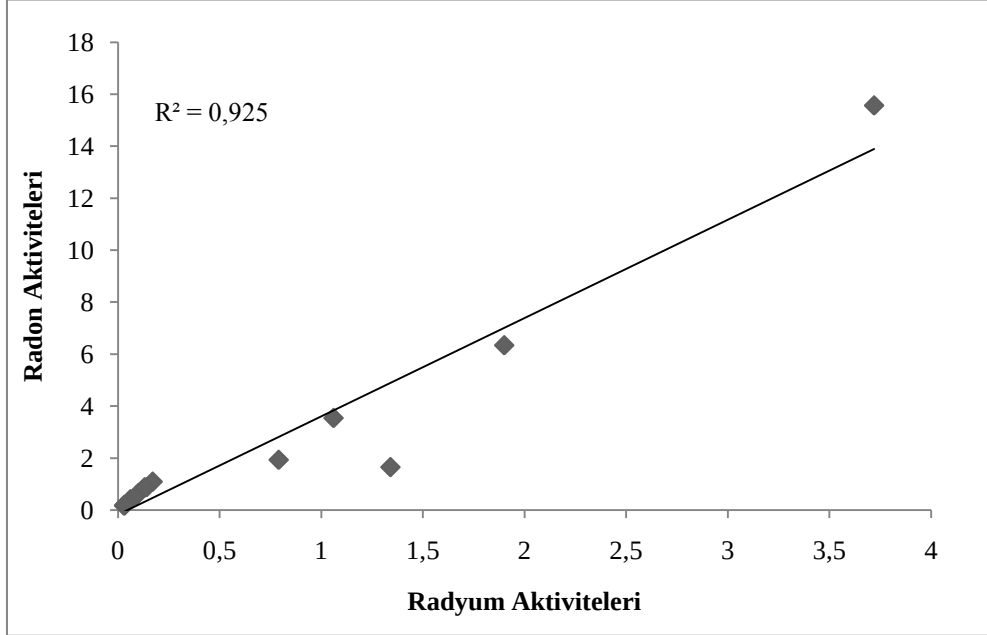
Şekil 4.13 5 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

5 Nolu kaynağın maksimum radon aktivitesi 29.09.2008 tarihli numunede 15,57 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 27.10.2008 tarihli numunede 0,16 Bq/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.14 5 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

5 Nolu kaynaktaki radyum aktiviteleri incelendiğinde, maksimum radyum aktivitesi 3,72 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,03 Bq/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.15 5 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

5 Nolu kaynağın radon-radyum aktivitelerinin arasındaki korelasyonu gösteren grafik Şekil 4.15'teki gibi elde edilmiştir. Bu kaynak için radon-radyum arasındaki korelasyon katsayısı 0,925'dir.



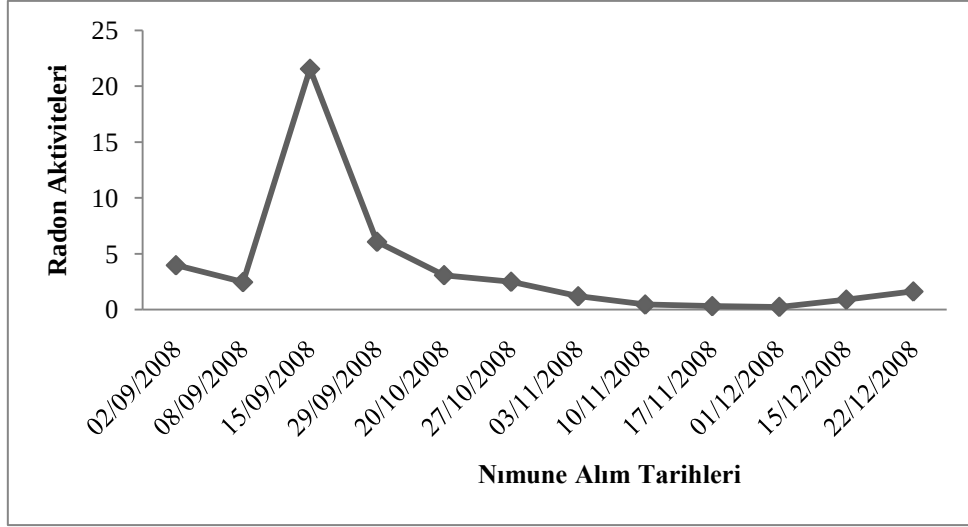
6 Nolu kaynaktan 02.09.2008-22.12.2008 tarihleri arasında alınan numunelere ait radon ve radyum aktivitelerinin değişimleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 6 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

| Numune Alım Tarihleri | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|-----------------------|------------------|-------------------|
| 02.09.2008            | 3,97             | 3,42              |
| 08.09.2008            | 2,46             | 2,11              |
| 15.09.2008            | 21,56            | 4,47              |
| 29.09.2008            | 6,07             | 1,45              |
| 20.10.2008            | 3,08             | 1,79              |
| 27.10.2008            | 2,49             | 2,11              |
| 03.11.2008            | 1,19             | 0,18              |
| 10.11.2008            | 0,45             | 0,07              |
| 17.11.2008            | 0,31             | 0,21              |
| 01.12.2008            | 0,24             | 0,14              |
| 15.12.2008            | 0,89             | 0,69              |
| 22.12.2008            | 1,62             | 0,25              |

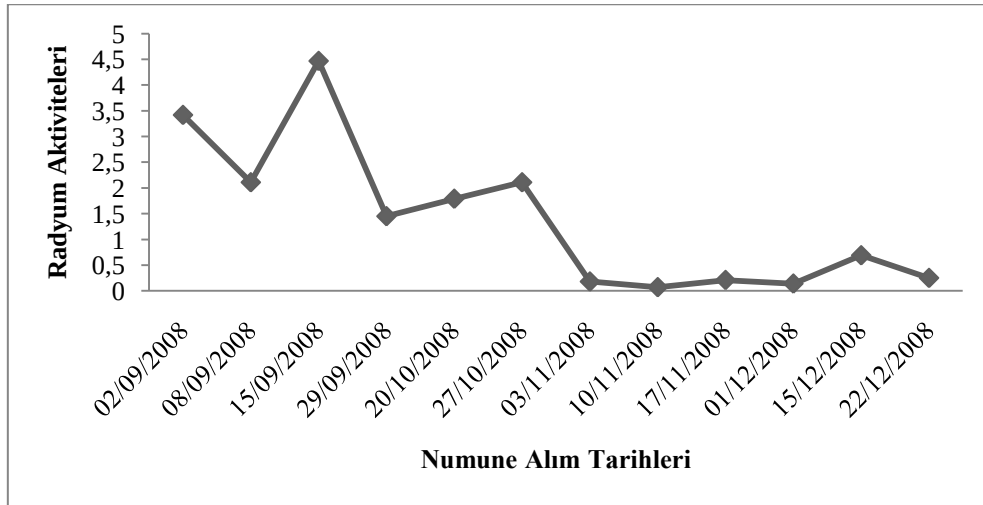
Tablo 4.6 incelendiğinde 15.09.2008 tarihinde radon aktivitesi USEPA’nın belirlediği üst limit değerini aşmıştır. Eylül, Ekim ve 15 Aralık tarihlerinde alınan numunelerde radyum aktiviteleri USEPA’nın radyum için belirlediği üst limit değerinden daha fazla ölçülmüştür.

6 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerindeki değişimi veren grafikler Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



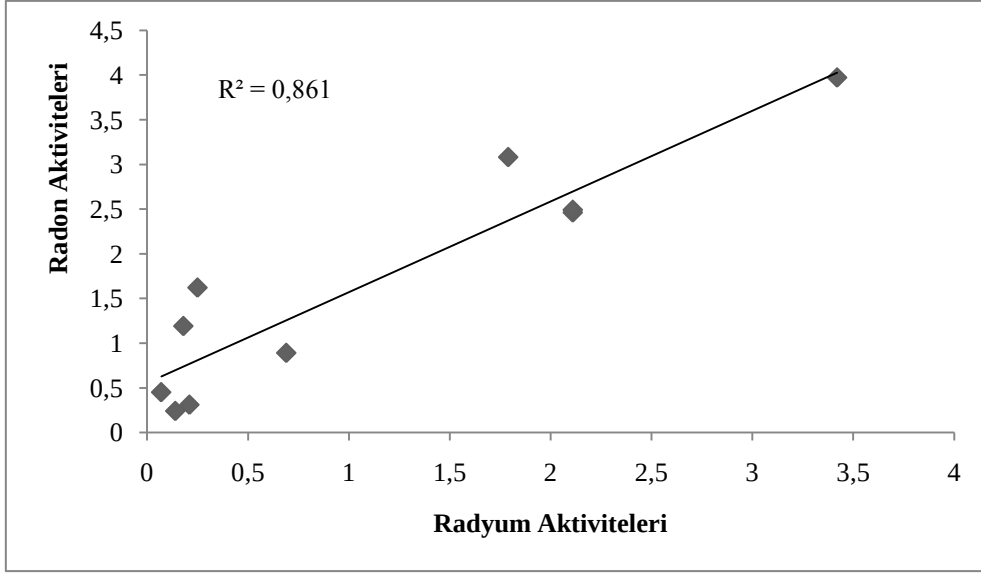
Şekil 4.16 6 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

6 Nolu kaynağın radon aktivitelerinin değişimi incelendiğinde maksimum radon aktivitesi 21,56 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 0,24 Bq/L olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.17 6 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

Radyum aktivitelerinin değişim grafiği incelendiğinde, 6 Nolu kaynak için maksimum radyum aktivitesi 4,47 Bq/L, minimum radyum aktivitesi 0,07 Bq/L olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.18 6 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

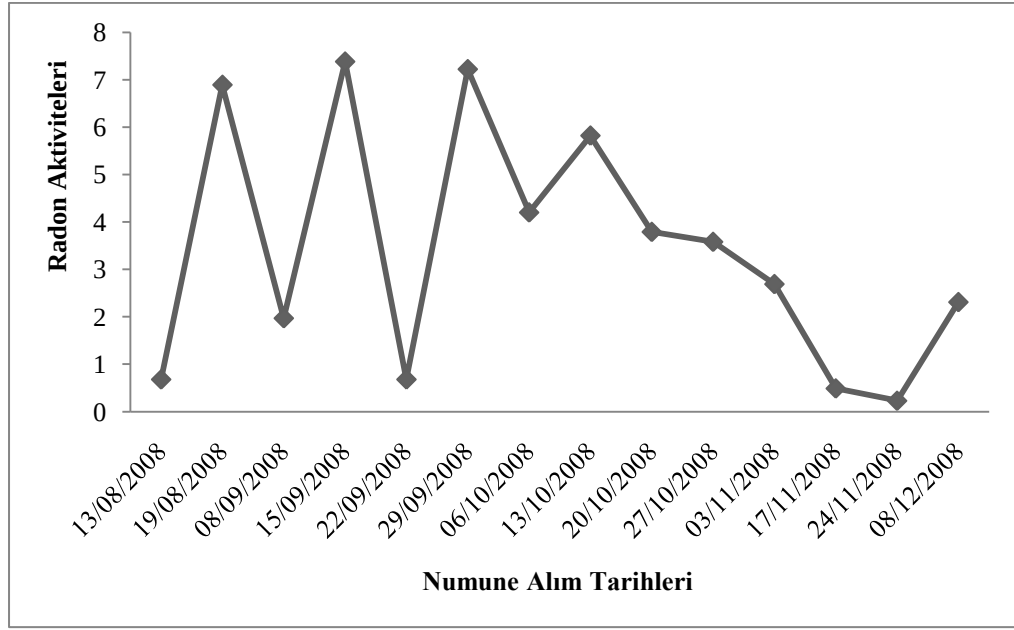
6 Nolu kaynak için radon-radyum aktivitelerinin korelasyonunu gösteren grafik Şekil 4.18’de verilmiştir. Korelasyon katsayısı 0,861 olarak hesaplanmıştır.

7 Nolu kaynaktan 13.08.2008-08.12.2008 tarihleri arasında alınan numunelerin radon ve radyum aktivitelerinin değişimi Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 7 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

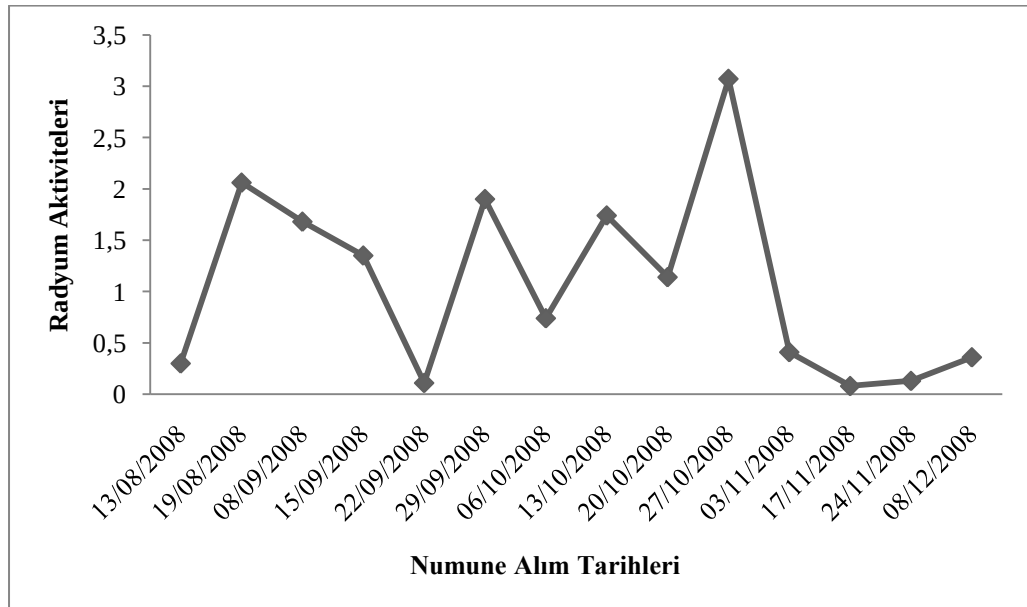
| Numune alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 13.08.2008         | 0,68             | 0,30              |
| 19.08.2008         | 6,89             | 2,06              |
| 08.09.2008         | 1,97             | 1,68              |
| 15.09.2008         | 7,38             | 1,35              |
| 22.09.2008         | 0,68             | 0,11              |
| 29.09.2008         | 7,22             | 1,90              |
| 06.10.2008         | 4,20             | 0,74              |
| 13.10.2008         | 5,82             | 1,74              |
| 20.10.2008         | 3,79             | 1,14              |
| 27.10.2008         | 3,58             | 3,07              |
| 03.11.2008         | 2,69             | 0,41              |
| 17.11.2008         | 0,49             | 0,08              |
| 24.11.2008         | 0,23             | 0,13              |
| 08.12.2008         | 2,31             | 0,36              |

7 Nolu kaynaktaki radon ve radyum aktiviteleri incelendiğinde radon aktiviteleri USEPA’nın sular için belirlediği 11 Bq/L üst limit değerini aşmadığı gözlenmiştir. Radyum aktiviteleri ise, 0,555 Bq/L üst limit değerini 19.08.2008, 08.09.2008, 15.09.2008, 29.09.2008, 06.10.2008, 13.10.2008, 20.10.2008, 27.10.2008 tarihlerinde aşmıştır. Kaynağın belirlenen periyotlar arasındaki radon ve radyum aktivitelerinin değişim grafikleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19 7 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

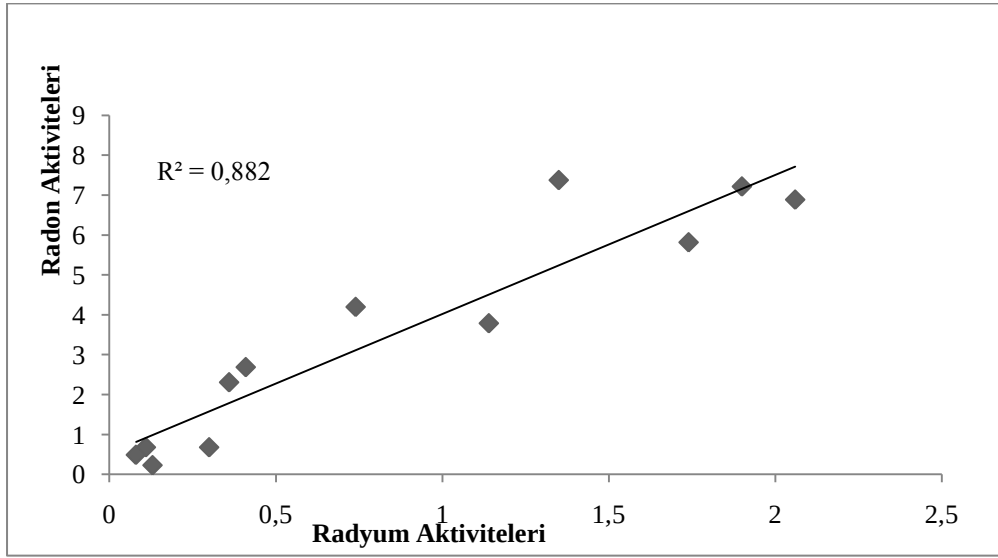
13.08.2008-08.12.2008 tarihleri arasında alınan numunelerin radon aktiviteleri değişimler göstermektedir. Maksimum radon aktivitesi 15.09.2008 tarihinde 7,38 Bq/L, minimum radon aktivitesi 24.11.2008 tarihinde 0,23 Bq/L olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.20 7 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

7 Nolu kaynağın maksimum radyum aktivitesi 27.10.2008 tarihinde alınan numunede 3,07 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 17.11.2008 tarihli numunede 0,08 Bq/L olarak bulunmuştur.

7 Nolu kaynağın radon-radyum aktivitelerinin ilişkisini gösteren korelasyon grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir. Korelasyon katsayısı 0,882 olarak bulunmuştur.



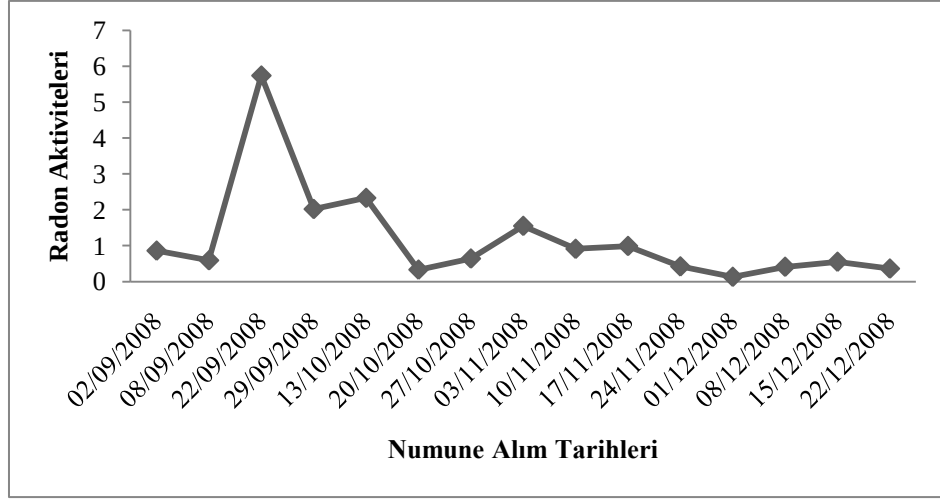
Şekil 4.21 7 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

8 Nolu kaynağın numune alım periyodu içindeki radon ve radyum aktivitelerinin değişimi Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 8 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

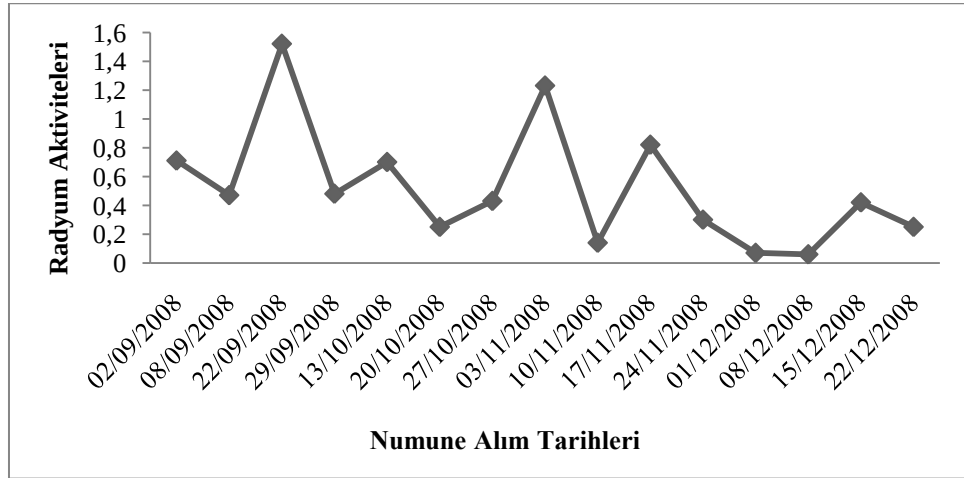
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 02.09.2008         | 0,86             | 0,71              |
| 08.09.2008         | 0,59             | 0,47              |
| 22.09.2008         | 5,74             | 1,52              |
| 29.09.2008         | 2,02             | 0,48              |
| 13.10.2008         | 2,33             | 0,70              |
| 20.10.2008         | 0,33             | 0,25              |
| 27.10.2008         | 0,64             | 0,43              |
| 03.11.2008         | 1,55             | 1,23              |
| 10.11.2008         | 0,91             | 0,14              |
| 17.11.2008         | 0,99             | 0,82              |
| 24.11.2008         | 0,42             | 0,30              |
| 01.12.2008         | 0,13             | 0,07              |
| 08.12.2008         | 0,41             | 0,06              |
| 15.12.2008         | 0,55             | 0,42              |
| 22.12.2008         | 0,36             | 0,25              |

Tablo 4.8 incelendiğinde radon aktivitelerinin USEPA’nın belirlediği 11 Bq/L üst sınır değerini aşmadığı, radyum aktivitelerinin ise sularda radyum için belirlenen 0,555 Bq/L üst sınır değerini 02.09.2008, 22.09.2008, 13.10.2008, 03.11.2008, 17.11.2008 tarihlerinde alınan numunelerde aştığı görülmektedir. 8 Nolu kaynağın numune alım periyodu içindeki radon ve radyum aktivitelerinin değişimi Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.22 8 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

8 Nolu kaynağın maksimum radon aktivitesi 22.09.2008 tarihli numunede 5,74 Bq/L, minimum radon aktivitesi 01.12.2008 tarihli numunede 0,13 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

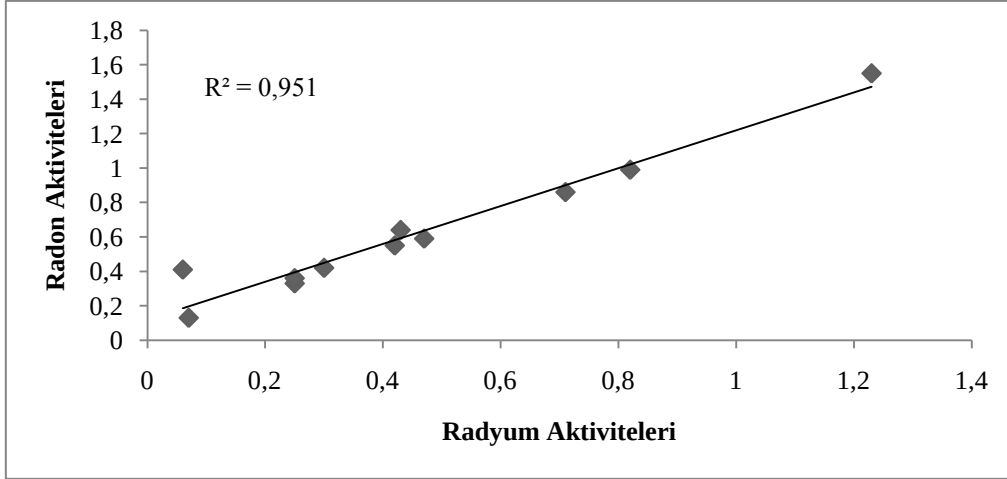


Şekil 4.23 8 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

8 Nolu kaynağın radyum aktiviteleri incelendiğinde maksimum radyum aktivitesinin 1,52 Bq/L, minimum radyum aktivitesinin ise 0,06 Bq/L olduğu bulunmuştur.

8 Nolu kaynağın radon ve radyum aktiviteleri arasındaki korelasyon Şekil 4.24'te çizilmiştir. Korelasyon katsayısı 0,951 olarak bulunmuştur.





Şekil 4.24 8 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

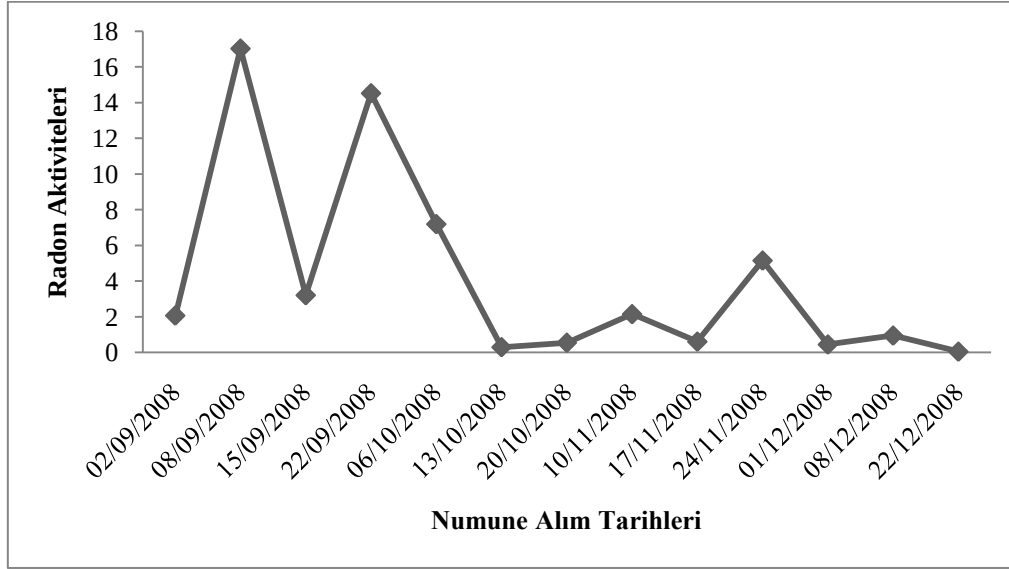
9 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerinin 02.09.2008-22.12.2008 tarihleri arasındaki değişimleri Tablo 4.9’da verildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.9 9 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçindeki Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 02.09.2008         | 2,07             | 1,77              |
| 08.09.2008         | 17,02            | 2,67              |
| 15.09.2008         | 3,21             | 2,73              |
| 22.09.2008         | 14,52            | 3,21              |
| 06.10.2008         | 7,19             | 2,15              |
| 13.10.2008         | 0,30             | 0,05              |
| 20.10.2008         | 0,55             | 0,43              |
| 10.11.2008         | 2,15             | 1,81              |
| 17.11.2008         | 0,61             | 0,41              |
| 24.11.2008         | 5,15             | 1,54              |
| 01.12.2008         | 0,45             | 0,31              |
| 08.12.2008         | 0,95             | 0,15              |
| 22.12.2008         | 0,05             |                   |

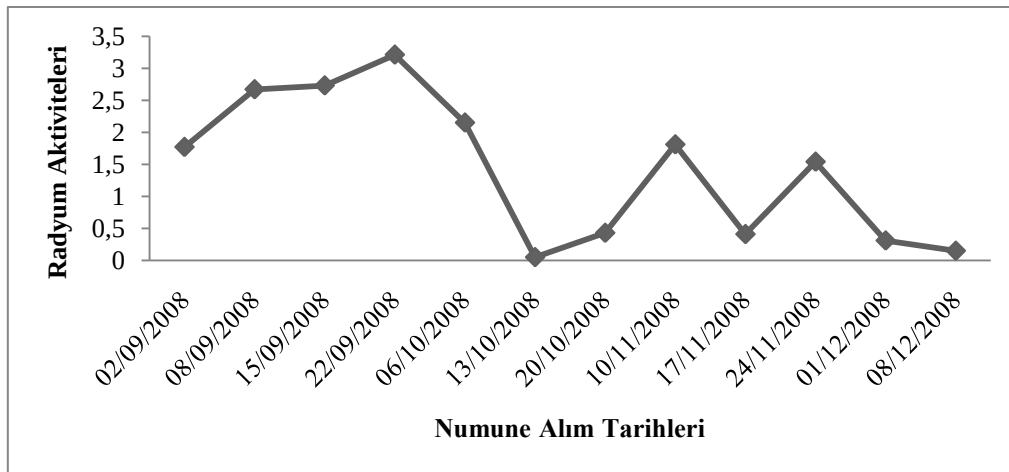
9 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerinin belirlenen periyotda değişimleri incelendiğinde, USEPA’nın radon ve radyum aktiviteleri için belirlediği limit değerleri, 08.09.2008 ve 22.09.2008 tarihlerinde radon aktivitelerinin, 02.09.2008, 08.09.2008,

15.09.2008, 22.09.2008, 06.10.2008, 10.11.2008 ve 24.11.2008 tarihlerinde ise radyum aktivitelerinin aştığı gözlenmiştir. Radon ve radyum aktivitelerinin numune alım periyotlarına bağlı grafikleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da verilmiştir.



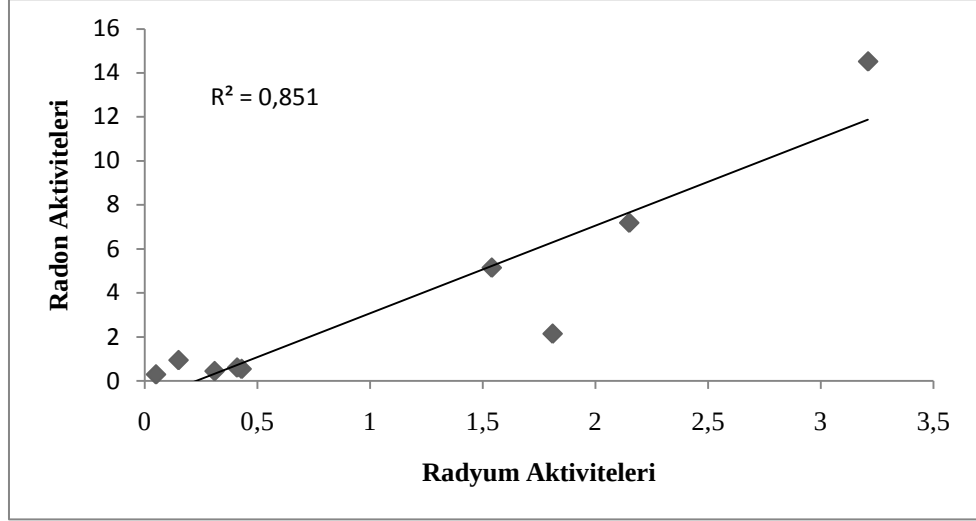
Şekil 4.25 9 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

9 Nolu kaynak için maksimum radon aktivitesi 17,02 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 0,05 Bq/L olduğu ölçümler sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 4.26 9 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

Kaynağın maksimum radyum aktivitesi 3,21 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,05 Bq/L olarak bulunmuştur. 9 Nolu kaynağın radon-radyum aktiviteleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,851 olup, bu korelasyonu gösteren grafik Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



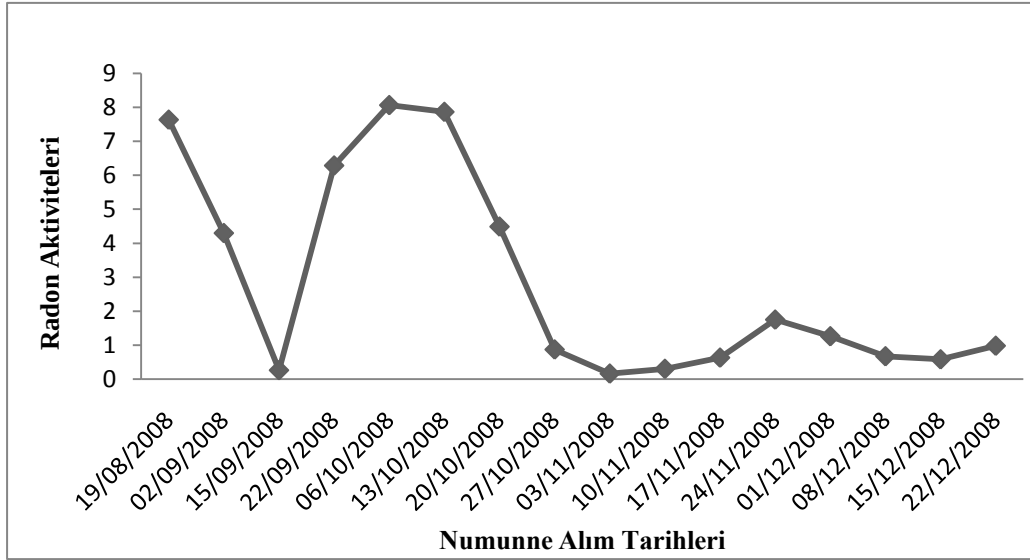
Şekil 4.27 9 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

10 Nolu kaynağın numune alım periyodu içinde radon ve radyum aktivitelerinin değişimi Tablo 4.10'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.10 10 Nolu Kaynağın Numune Alım Periyodu İçinde Radon ve Radyum Aktivitelerinin Değişimi

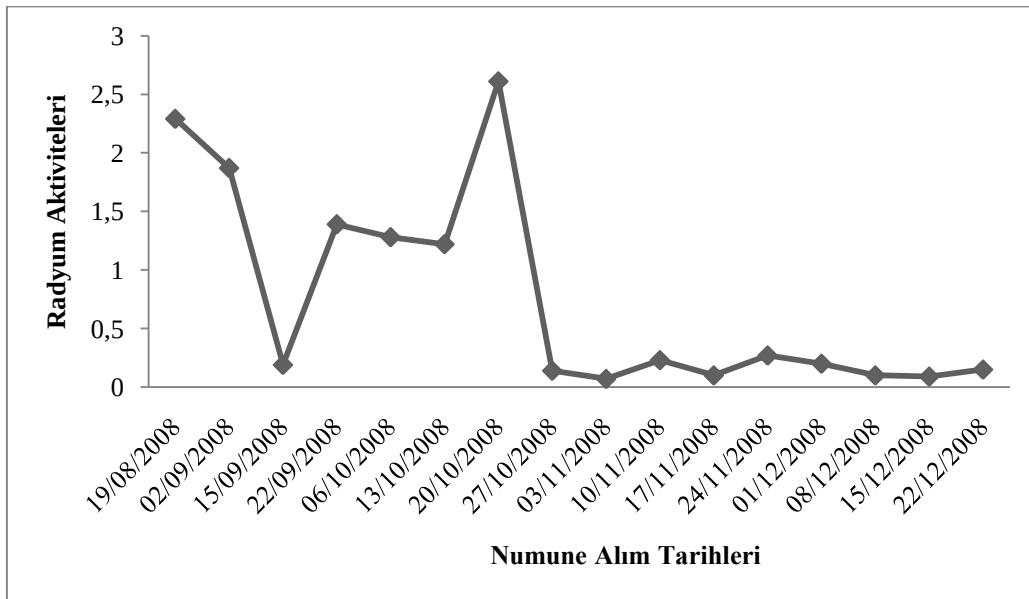
| Numune Alım Tarihi | Radon Aktivitesi | Radyum Aktivitesi |
|--------------------|------------------|-------------------|
| 19.08.2008         | 7,64             | 2,29              |
| 02.09.2008         | 4,30             | 1,87              |
| 15.09.2008         | 0,26             | 0,19              |
| 22.09.2008         | 6,29             | 1,39              |
| 06.10.2008         | 8,07             | 1,28              |
| 13.10.2008         | 7,87             | 1,22              |
| 20.10.2008         | 4,49             | 2,61              |
| 27.10.2008         | 0,87             | 0,14              |
| 03.11.2008         | 0,16             | 0,07              |
| 10.11.2008         | 0,30             | 0,23              |
| 17.11.2008         | 0,63             | 0,10              |
| 24.11.2008         | 1,75             | 0,27              |
| 01.12.2008         | 1,26             | 0,20              |
| 08.12.2008         | 0,67             | 0,10              |
| 15.12.2008         | 0,58             | 0,09              |
| 22/12/2008         | 0,98             | 0,15              |

10 Nolu kaynaktan 19.08.2008-22.12.2008 tarihleri arasında periyodik olarak alınan numuneler sonucunda yukarıdaki değerler elde edilmiştir. Kaynağın radon aktiviteleri USEPA'nın belirlediği üst limit değerleri aşmamakla birlikte, kaynağın radyum aktiviteleri, bazı tarihlerde USEPA'nın belirlediği 0,555 Bq/L değerini aştığı gözlenmiştir. Kaynağın radyum ve radon aktivitelerinin numune alım tarihlerine göre değişim grafikleri Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Şekil 4.30 ise radon ve radyum aktiviteleri arasındaki korelasyonu göstermektedir.



Şekil 4.28 10 Nolu Kaynağın Radon Aktiviteleri Değişimi

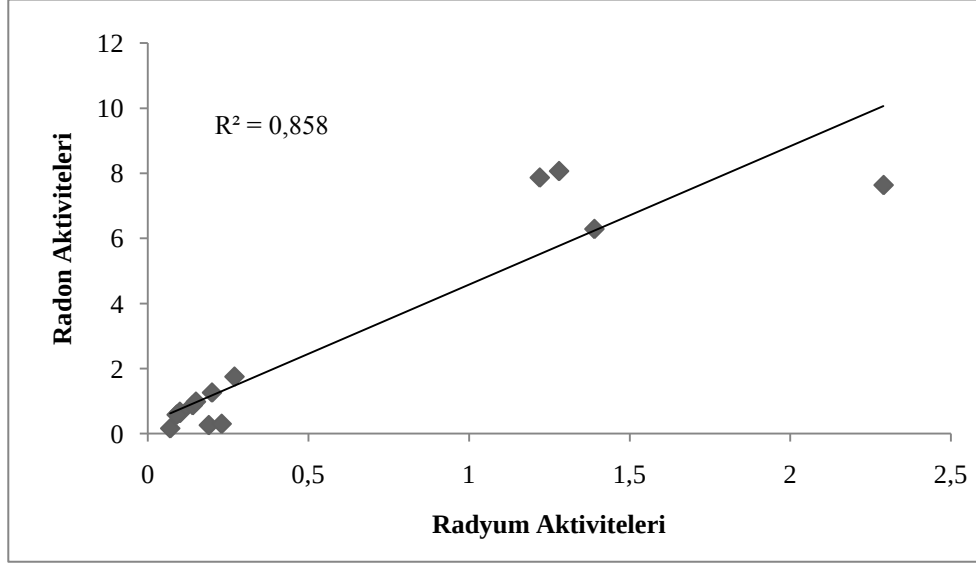
10 Nolu kaynağın radon aktivitelerinin değişimi incelendiğinde, maksimum radon aktivitesi 8,07 Bq/L, minimum radon aktivitesi 0,16 Bq/L olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.29 10 Nolu Kaynağın Radyum Aktiviteleri Değişimi

Kaynağın maksimum radyum aktivitesi 2,61 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,07 Bq/L olarak ölçülmüştür.

Radon ve radyum aktiviteleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,858 olarak hesaplanmıştır. Kolerasyon ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.30’da gösterilmiştir.

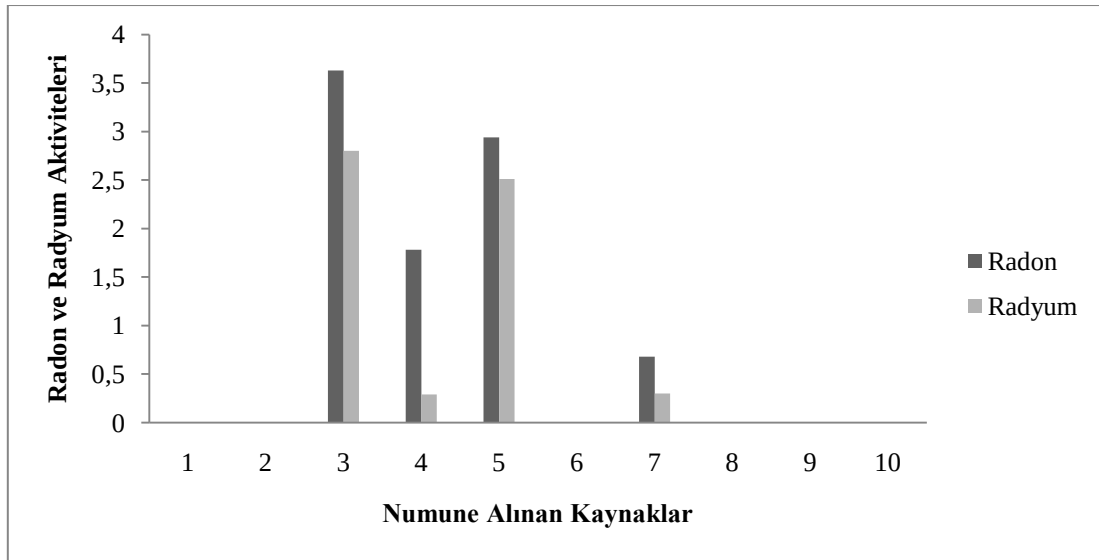


Şekil 4.30 10 Nolu Kaynağın Radon-Radyum Aktivitelerinin Lineer Korelasyonu

## 4.2 Kaynaklardan Aynı Tarihte Alınan Numunelerin Radon ve Radyum Aktivitelerinin İncelenmesi

Bu bölümde kaynaklardan aynı numune alım zamanlarında elde edilen radon aktiviteleri ve radyum aktiviteleri incelenmiş ve aynı tarihlerde alınan numunelerin radyum ve radon aktivitelerinin değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.

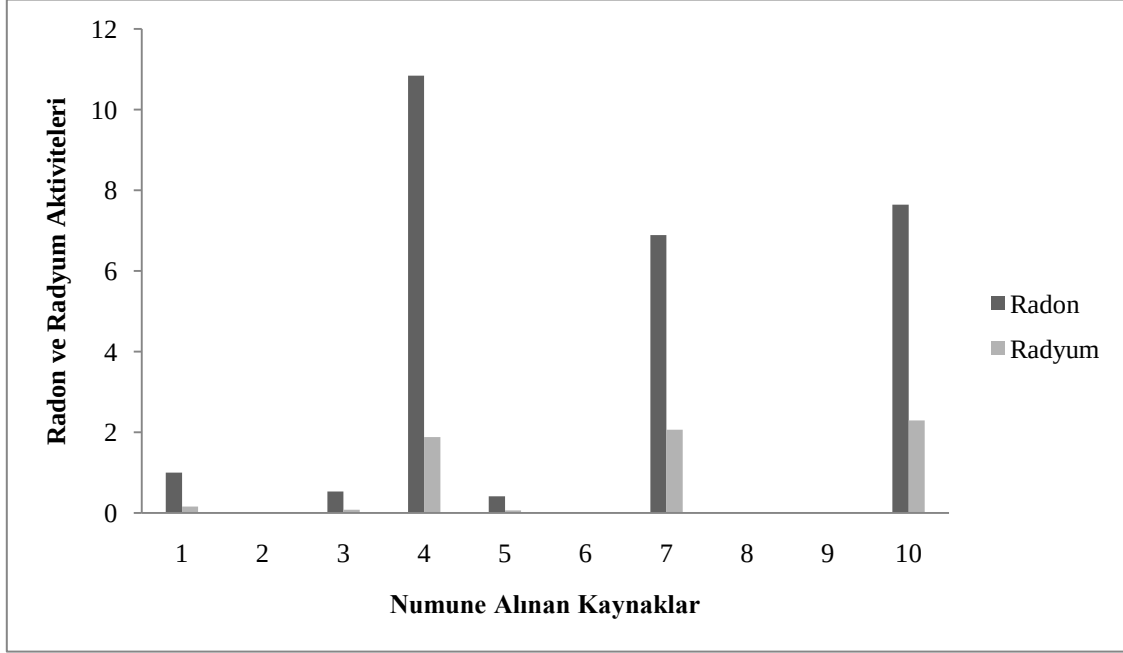
Kaynaklardan 13.08.2008 tarihinde alınan numunelerin analizleri sonucunda kaynakların radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 İncelenen Kaynakların 13.08.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

3, 4, 5 ve 7 Nolu kaynaklardan 13.08.2008 tarihinde alınan numunelerin radon aktiviteleri incelendiğinde maksimum radon aktivitesi 3 nolu kaynakta 3,63 Bq/L, minimum radon aktivitesi 7 Nolu kaynakta 0,68 Bq/L olarak ölçülmüştür. 13.08.2008 tarihinde 3, 4, 5, 7 Nolu kaynaklardan alınan numunelerin radyum aktiviteleri incelendiğinde, maksimum radyum aktivitesi 2,87 Bq/L olup 3 Nolu kaynakta, minimum radyum aktivitesi ise 4 Nolu kaynakta ölçülmüş olup 0,29 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

.Kaynaklardan 19.08.2008 tarihinde alınan numunelerin analizi sonucunda elde edilen radon ve radyum aktiviteleri Şekil4.32’de gösterilmiştir.

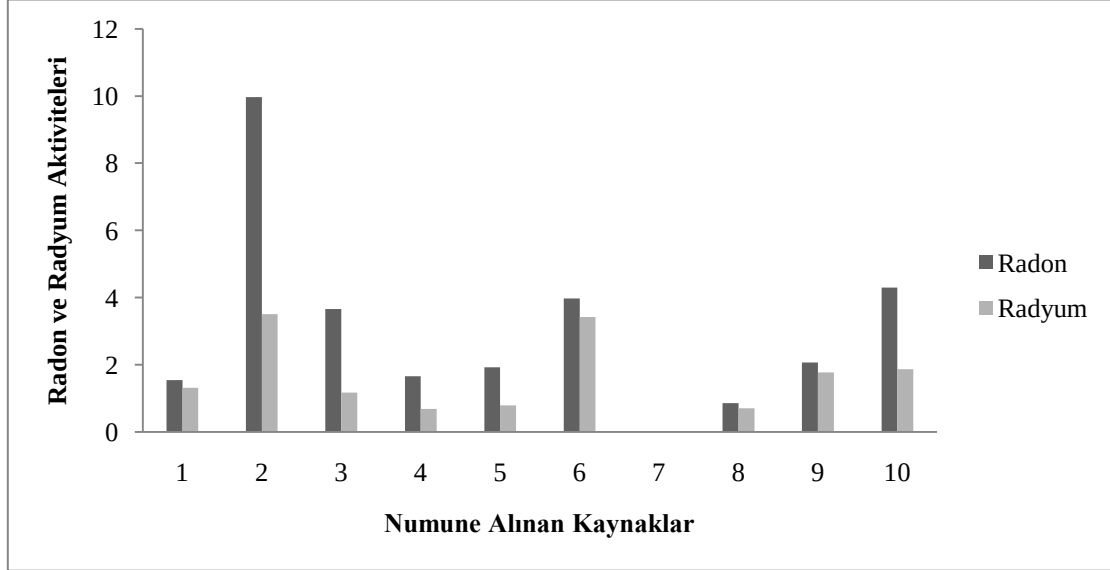


Şekil 4.32 İncelenen Kaynakların 19.08.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

19.08.2008 tarihinde 1, 3, 4, 5, 7 ve 10 Nolu kaynaklardan alınan numunelerin analizi sonucu maksimum radon aktivitesi 4 Nolu kaynakta 10,84 Bq/L olarak ölçülmüş, minimum radon aktivitesi ise 5 Nolu kaynakta 0,41 Bq/L olarak tespit edilmiştir. 19.08.2008 tarihli numunelerde maksimum radyum aktivitesi 10 Nolu kaynakta 2,29 Bq/L, minimum radyum aktivitesi 5 Nolu kaynakta 0,06 Bq/L olarak ölçülmüştür



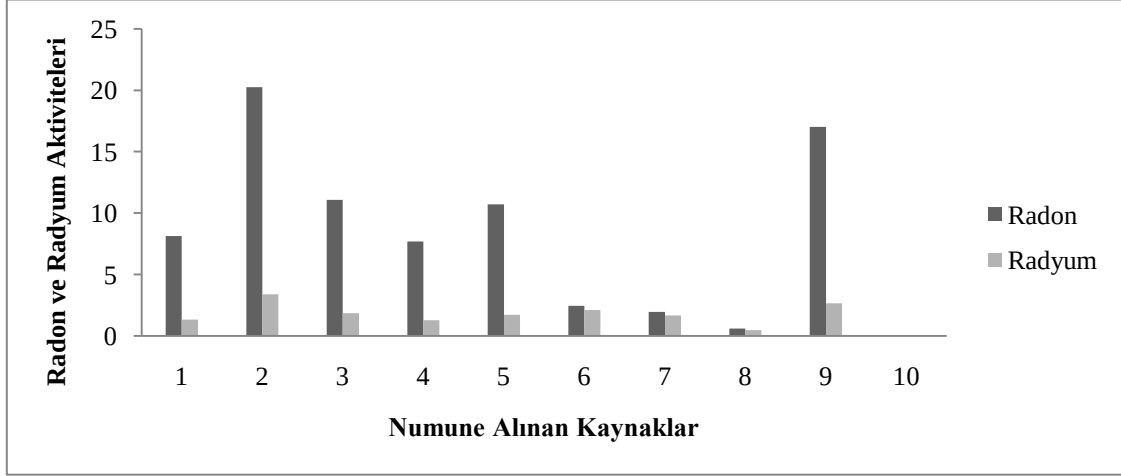
02.09.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin analizi sonucunda, kaynakların bu tarih itibariyle radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.33'te gösterilmiştir



Şekil 4.33 İncelenen Kaynakların 02.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Kaynaklardan 02.09.2008 tarihinde alınan numunelerin ölçümlerinde maksimum radon aktivitesi 2 Nolu kuyuda 9,97 Bq/L, minimum radon aktivitesi 8 Nolu kaynakta 0,86 Bq/L elde edilmiştir. 02.09.2008 tarihi itibariyle maksimum radyum aktivitesi 2 Nolu kaynakta 3,51 Bq/L, minimum radyum aktivitesi 4 Nolu kaynakta 0,69 Bq/L ölçülmüştür. Bu tarihte tüm kaynakların radyum aktiviteleri USEPA'nın radyum için belirlediği 0,555 Bq/L üst limit değerinden daha fazla çıkmıştır

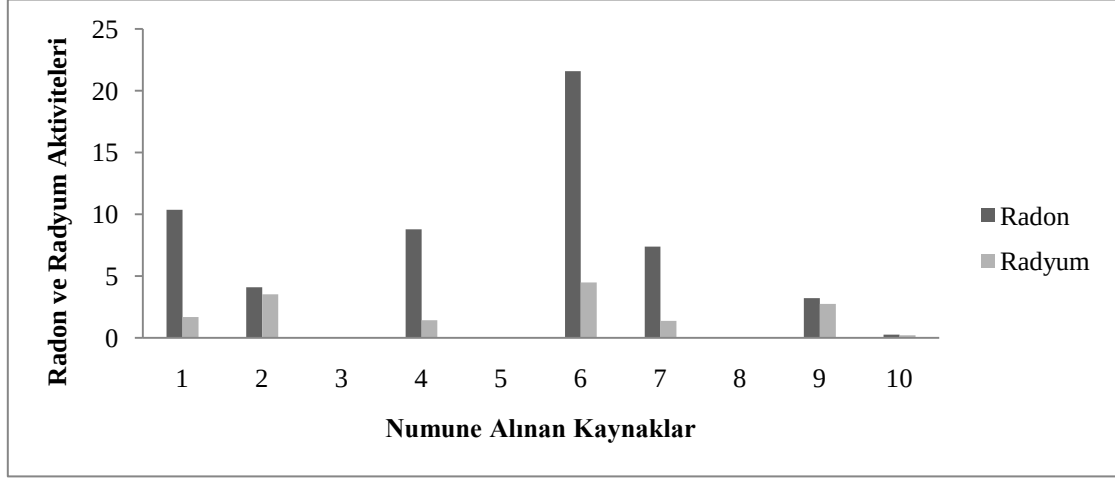
08.09.2008 tarihi itibariyle kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.34’te verilmiştir.



Şekil 4.34 İncelenen Kaynakların 08.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

08.09.2008 tarihinde kaynakların radon aktiviteleri incelendiğinde maksimum radon aktivitesi 2 Nolu kaynakta 20,25 Bq/L olarak ölçülmüştür. Aynı tarihte ölçülen minimum radon aktivitesi ise 8 Nolu kaynakta tespit edilmiş olup 0,59 Bq/L’dir. Kaynakların 08.09.2008 tarihinde alınan numunelerinde maksimum radyum aktivitesi 2 Nolu kaynakta 3,39 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 8 Nolu kaynakta 0,47 Bq/L olarak ölçülmüştür.

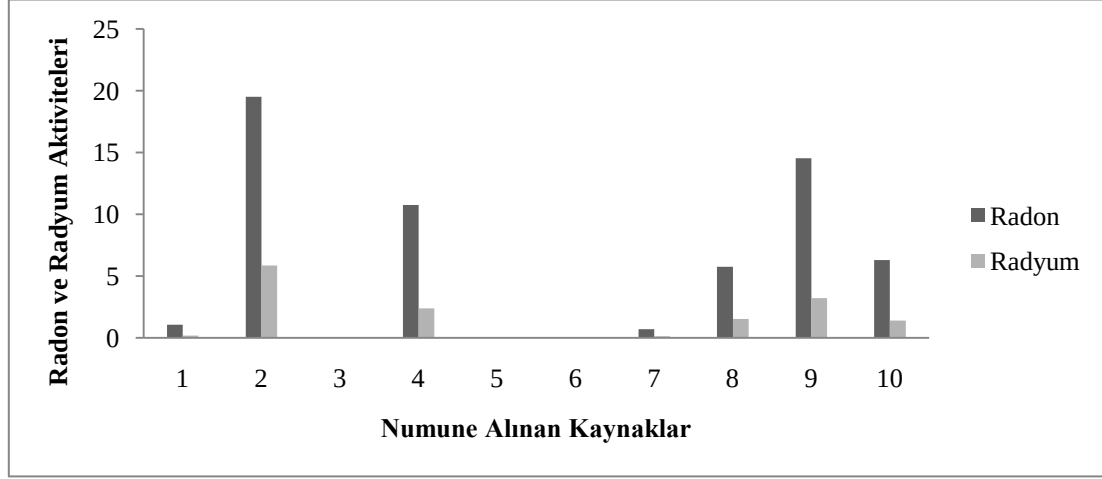
15.09.2008 tarihi itibariyle kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.35’te verilmiştir.



Şekil 4.35 İncelenen Kaynakların 15.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Bu tarihte ölçülen maksimum radon aktivitesi 21,56 Bq/L, minimum radon aktivitesi 0,26 Bq/L olarak ölçülmüştür. 6 Nolu kaynaktaki radon aktivitesi maksimum olup, 10 Nolu kaynaktaki radon aktivitesi minimumdur. 15.09.2008 tarihli numunelerde tespit edilen maksimum radyum aktivitesi 6 Nolu kaynakta 4,47 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 10 Nolu kaynakta 0,19 Bq/L olarak ölçülmüştür.

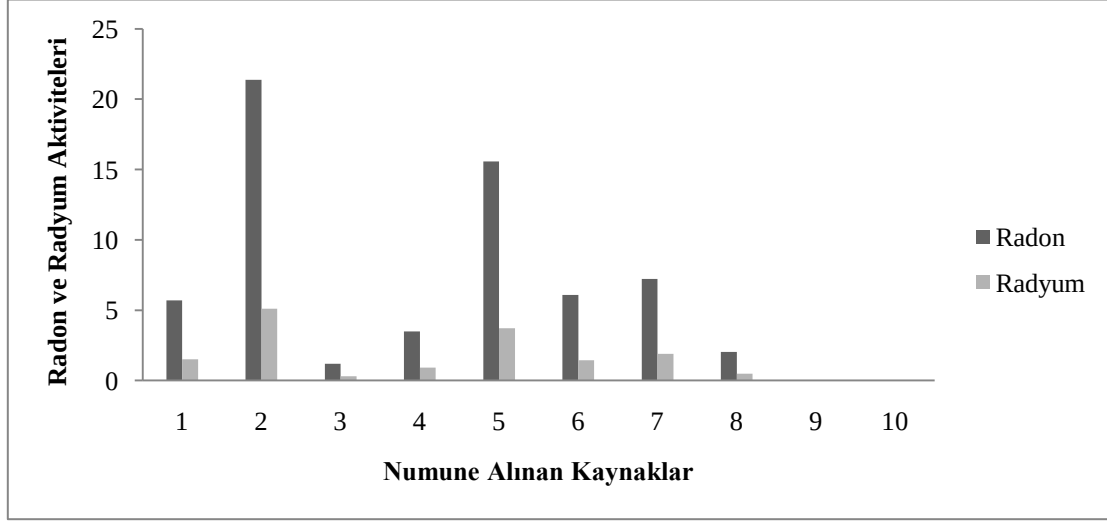
22.09.2008 tarihi itibari ile kaynaklardan alınan numunelerin analizleri sonucu elde edilen radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36 İncelenen Kaynakların 22.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

22.09.2008 tarihinde alınan numunelerde maksimum radon aktivitesi 2 Nolu kaynakta, minimum radon aktivitesi ise 7 Nolu kaynakta ölçülmüştür. Bu tarihte alınan numunelerdeki radon aktiviteleri 0,68 Bq/L-19,50 Bq/L arasında değerler almaktadır. Kaynaklardan 22.09.2008 tarihinde alınan numunelerde, 2 Nolu kaynakta maksimum radyum aktivitesine, 7 Nolu kaynakta ise minimum radyum aktivitesine rastlanmıştır. Radyum aktivitesinin maksimum değeri 5,84 Bq/L, minimum değeri 0,11 Bq/L olarak ölçülmüştür.

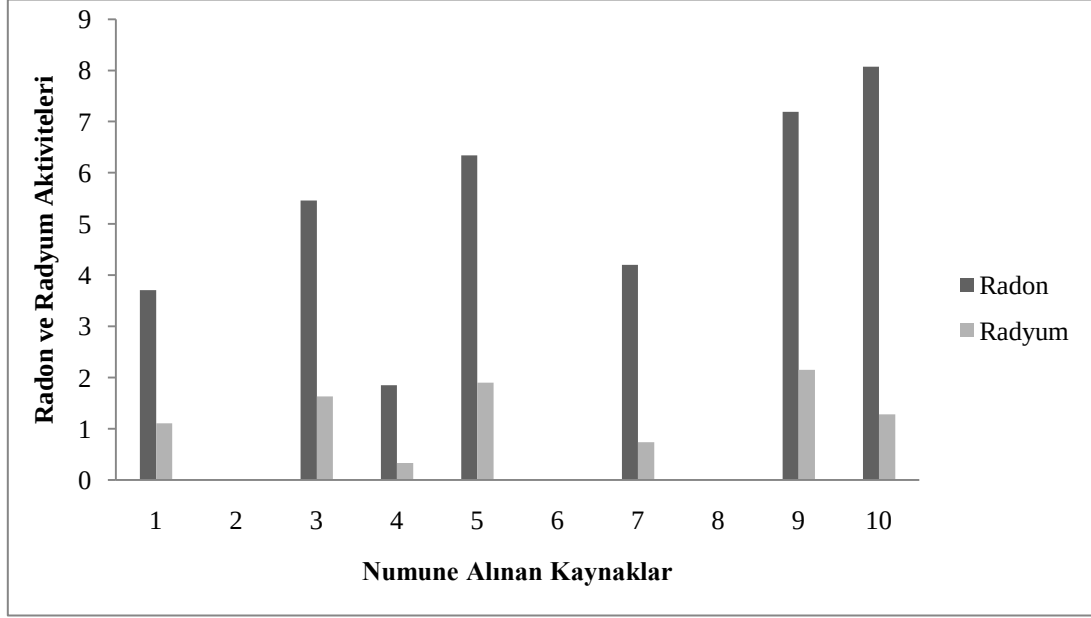
29.09.2008 tarihli numunelerde ölçülen radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37 İncelenen Kaynakların 29.09.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Kaynaklardan 29.09.2008 tarihinde alınan numunelerin radyum ve radon aktiviteleri incelendiğinde, 2 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerinin maksimum, 3 Nolu kaynağın radon ve radyum aktivitelerinin minimum olduğu görülmüştür. Maksimum radon aktivitesi 21,38 Bq/L, minimum radon aktivitesi 1,19 Bq/L olduğu görülmüştür. Radyum aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri ise 5,11 Bq/L, 0,31 Bq/L olarak ölçülmüştür.

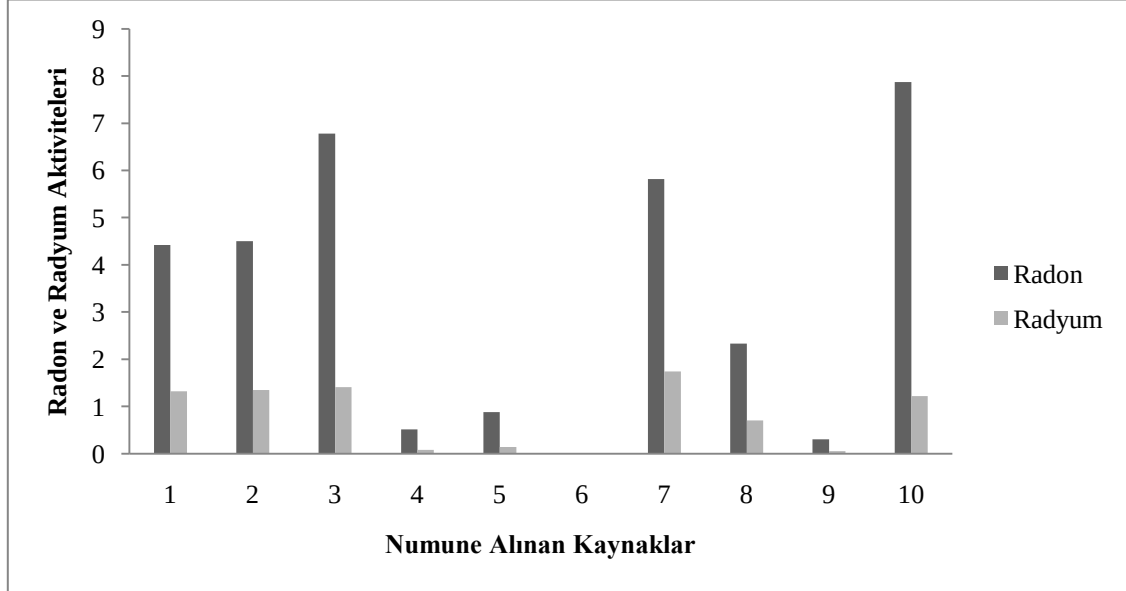
06.10.2008 tarihi itibari ile kaynaklardan alınan numuneler analiz edilmiş olup, kaynakların bu tarihteki radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38 İncelenen Kaynakların 06.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radium Aktiviteleri

Kaynaklardan 06.10.2008 tarihinde alınan numunelerde maksimum radon aktivitesi 10 Nolu kaynakta 8,07 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 4 Nolu kaynakta 1,85 Bq/L olarak ölçülmüştür. 06.10.2008 tarihinde kaynakların radyum aktiviteleri incelendiğinde, radyum aktivitelerinin 0,33 Bq/L-2,15 Bq/L değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

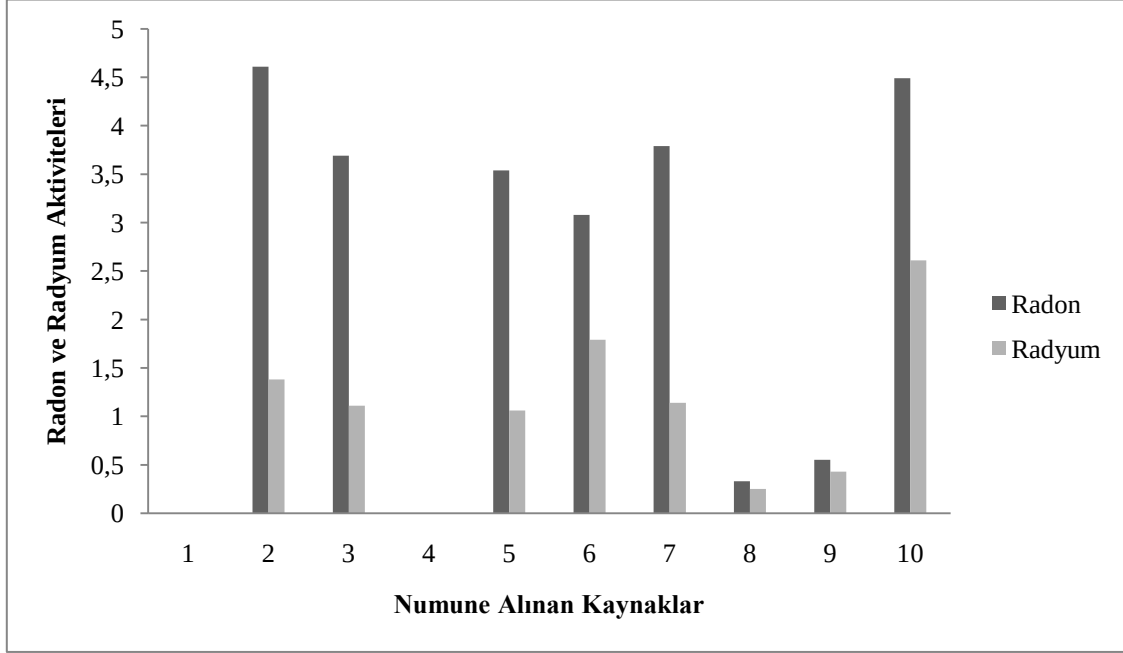
13.10.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.39’da gösterilmiştir.



Şekil 4.39 İncelenen Kaynakların 13.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Bu tarihte kaynaklardan alınan numunelerin maksimum radon aktivitesi 7,87 Bq/L minimum radon aktivitesi 0,30 Bq/L olarak elde edilmiştir. Radon aktivitesinin maksimum değeri 10 Nolu kaynakta, minimum değeri ise 9 Nolu kaynakta çıkmıştır. Aynı tarihte 9 Nolu kaynakta radyum aktivitesi minimum elde edilirken, maksimum radyum aktivitesi 7 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Radyum aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 1,74 Bq/L ile 0,05 Bq/L bulunmuştur.

20.10.2008 tarihinde alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.40'da verilmiştir.

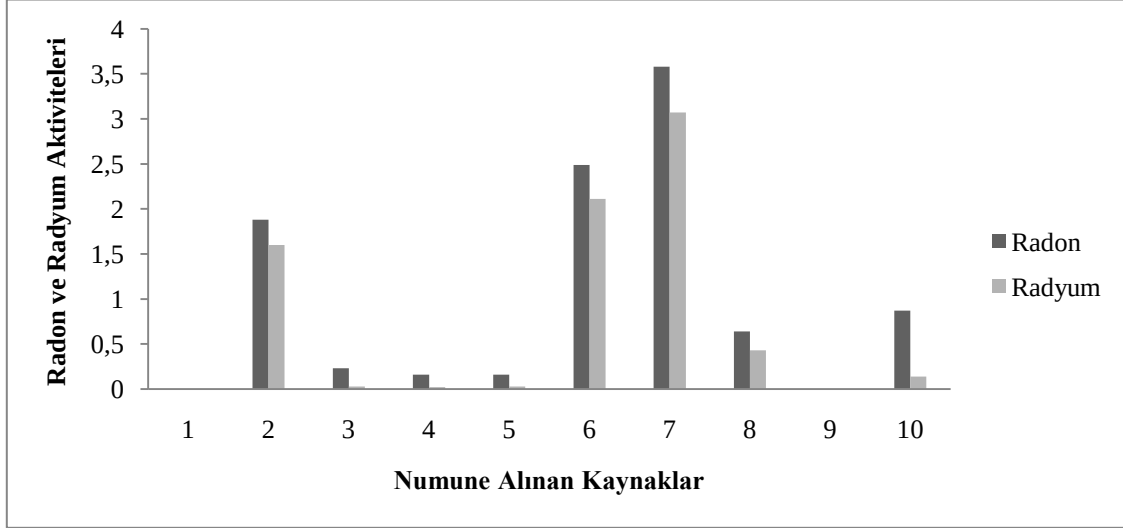


Şekil 4.40 İncelenen Kaynakların 20.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Kaynaklardan 20.10.2008 tarihinde ölçülen radon aktiviteleri 0,33 Bq/L ile 4,61 Bq/L arasında değerler almıştır. Maksimum radon aktivitesi 2 Nolu kaynakta, minimum radon aktivitesi ise 8 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Aynı kaynaklardan 20.10.2008 tarihinde alınan numunelerde radyum aktivitesinin maksimum değeri 10 Nolu kaynakta elde edilirken minimum değeri ise 8 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Maksimum radyum aktivitesi 2,61 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,25 Bq/L elde edilmiştir.



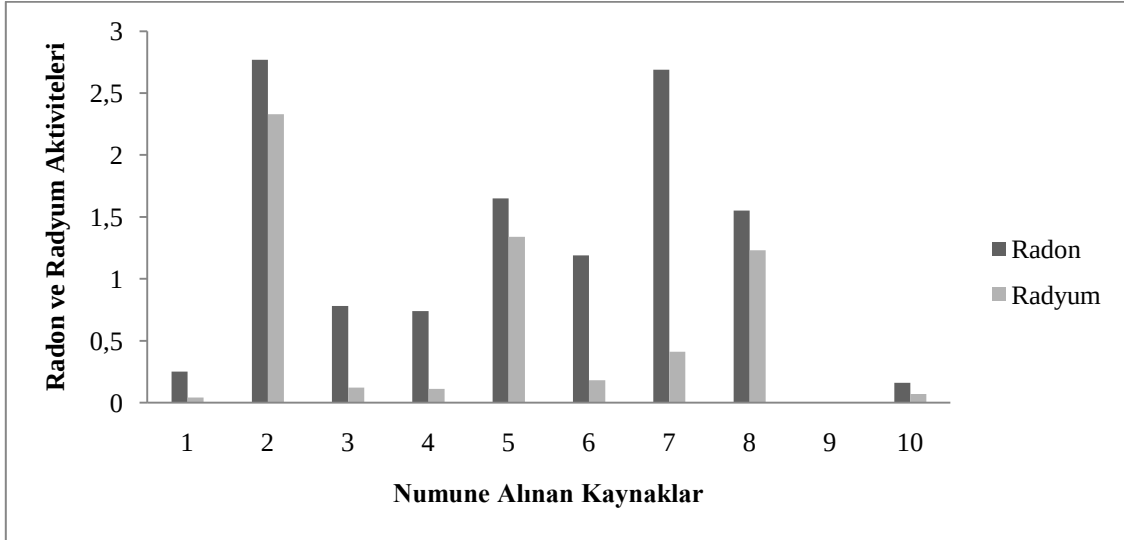
27.10 2008 tarihi itibari ile kaynaklarda alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41 İncelenen Kaynakların 27.10.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

Kaynakların 27.10.2008 tarihinde alınan numunelerindeki maksimum radon ve radyum aktiviteleri 7 Nolu kaynakta, minimum radon aktivitesi 4 ve 5 Nolu kaynaklarda, minimum radyum aktivitesi ise 4 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Radon aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri, 3,58 Bq/L ve 0,16 Bq/l olup, radyum aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 3,07 Bq/L ile 0,02 Bq/L olarak ölçülmüştür.

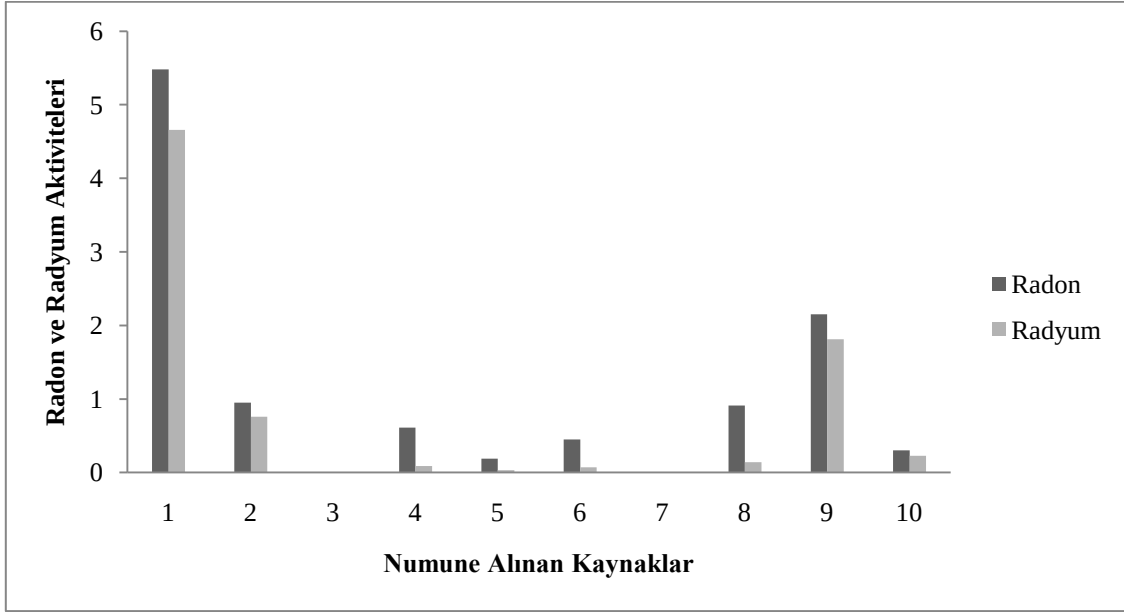
03.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.42'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.42 İncelenen Kaynakların 03.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

03.11.2008 tarihli kaynaklardan alınan numunelerde maksimum radon aktivitesi 2,77 Bq/L olup 2 Nolu kaynakta, minimum radon aktivitesi 0,16 Bq/L olup 10 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Kaynakların 03.11.2008 tarihinde alınan numunelerinde maksimum radyum aktivitesi 2 Nolu kaynakta 2,33 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 1 Nolu kaynakta 0,04 Bq/L olarak ölçülmüştür.

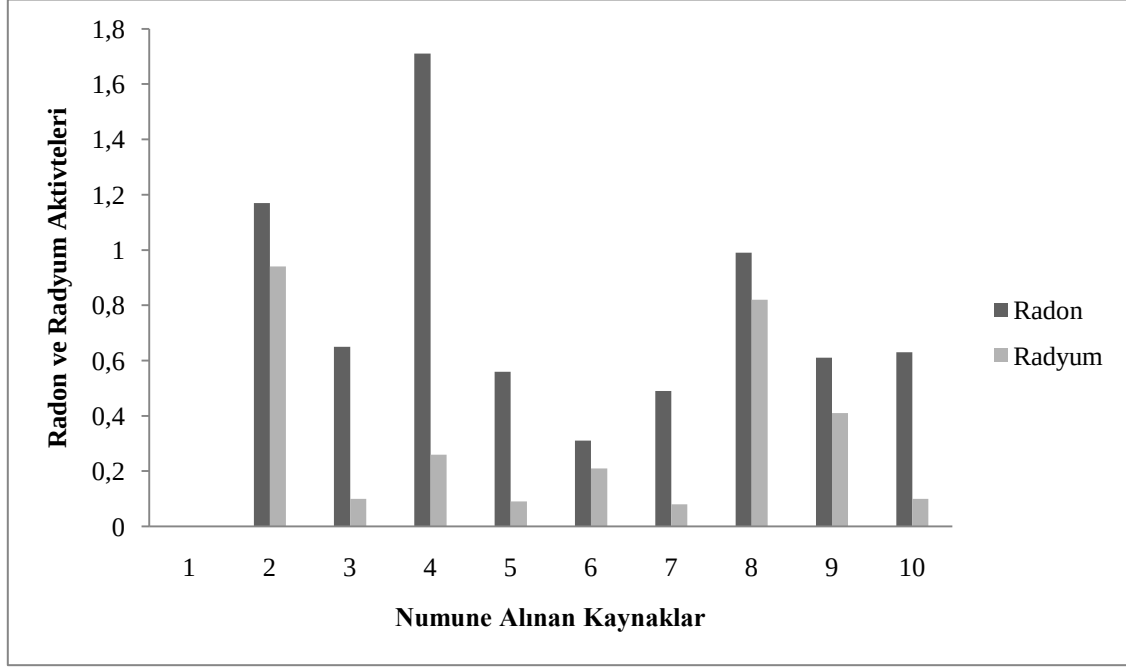
10.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktivitelerinin değişimi Şekil 4.43'te gösterilmiştir.



Şekil 4.43 İncelenen Kaynakların 10.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

10.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin maksimum radon ve radyum aktiviteleri 1 Nolu kaynakta, minimum radon ve radyum aktiviteleri ise 5 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Kaynakların maksimum radon aktivitesi 5,48 Bq/L, minimum radon aktivitesi 0,19 Bq/L olup, radyum aktivitelerinin maksimum ve minimum değerleri 4,66 Bq/L ve 0,03 Bq/L olarak ölçülmüştür.

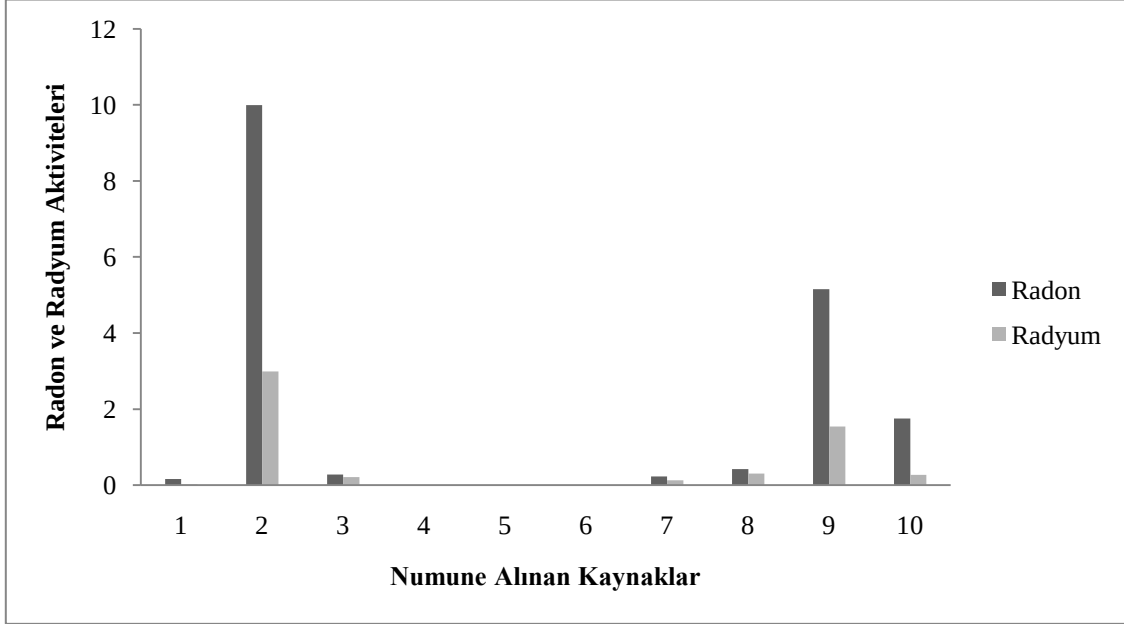
17.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radyum ve radon aktiviteleri Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44 İncelenen Kaynakların 17.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

17.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerde maksimum radon aktivitesi 4 Nolu kaynakta ölçülmüş olup 1,71 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 6 Nolu kaynakta elde edilmiş olup 0,31 Bq/L bulunmuştur. 17.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerde radyum aktiviteleri, maksimum 2 Nolu kaynaktan 0,94 Bq/L, minimum ise 7 Nolu kaynaktan 0,08 Bq/L olarak ölçülmüştür.

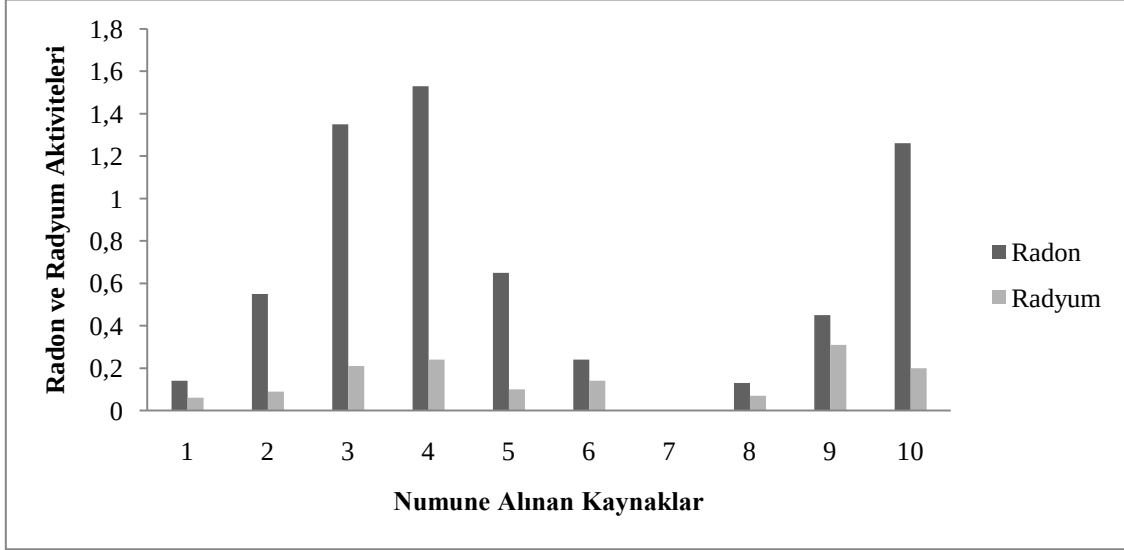
24.11.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.45'te gösterilmiştir.



Şekil 4.45 İncelenen Kaynakların 24.11.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

24.11.2008 tarihinde alınan numunelerin maksimum radon ve radyum aktiviteleri 2 Nolu kaynakta, minimum radon ve radyum aktiviteleri ise 1 Nolu kaynakta ölçülmüştür. Radon aktivitesi maksimum 9,99 Bq/L, minimum 0,16 Bq/L, radyum aktivitesi maksimum 2,99 Bq/L, minimum ise 0,02 Bq/L tespit edilmiştir.

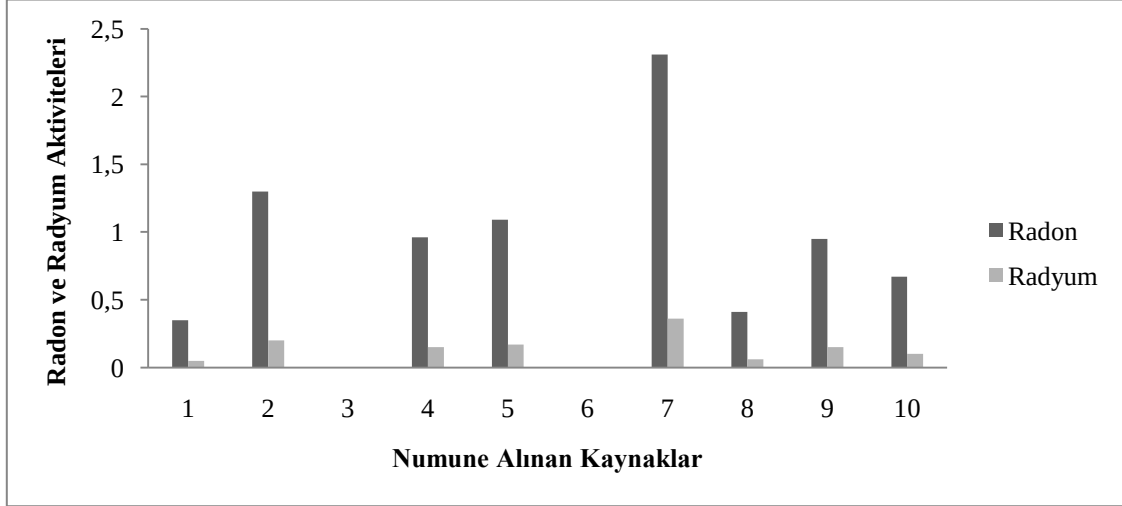
01.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46 İncelenen Kaynakların 01.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

01.12.2008 tarihindeki numunelerin maksimum radon aktivitesi 4 Nolu kaynakta 1,53 Bq/L, maksimum radyum aktivitesi 9 Nolu kaynakta 0,31 Bq/L ölçülmüştür. Aynı tarihteki numunelerin minimum radon aktivitesi 8 Nolu kaynakta bulunmuş olup 0,13 Bq/L ve minimum radyum aktivitesi ise 1 Nolu kaynakta 0,06 Bq/L olarak elde edilmiştir.

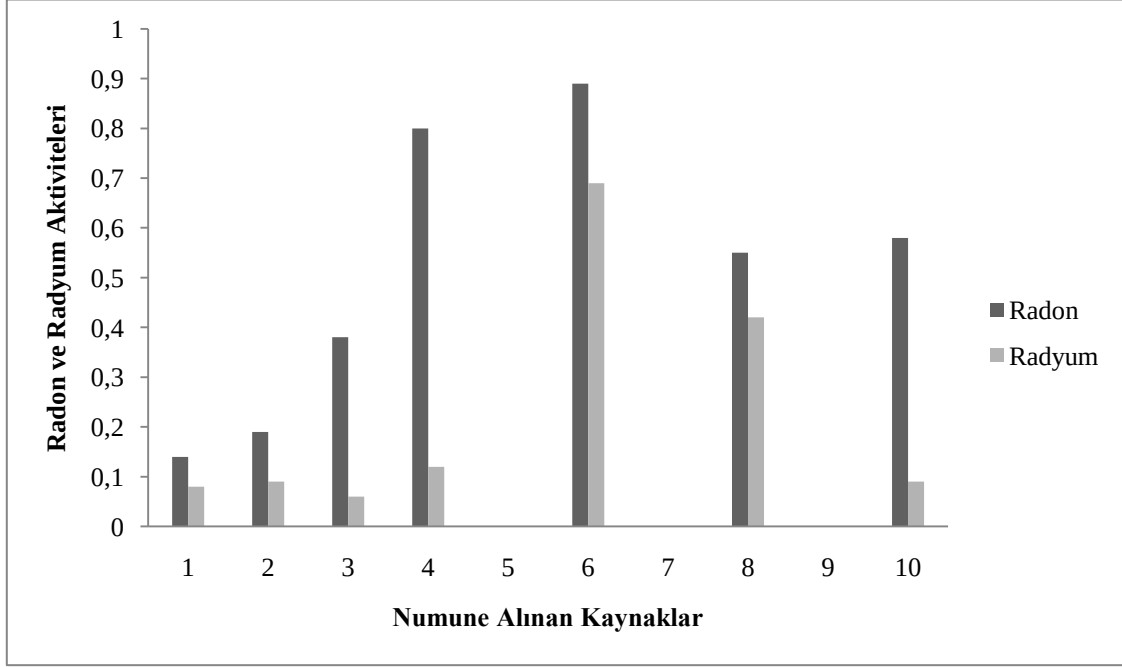
08.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.47’de gösterilmiştir.



Şekil 4.47 İncelenen Kaynakların 08.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

08.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin maksimum radon ve radyum aktiviteleri 7 Nolu kaynakta, minimum radon ve radyum aktiviteleri ise 1 Nolu kaynakta elde edilmiştir. Radon aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 2,31 Bq/L-0,35 Bq/L elde edilirken, radyum aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 0,36 Bq/L-0,05 Bq/L olarak edilmiştir.

15.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri Şekil 4.48’de gösterilmiştir.

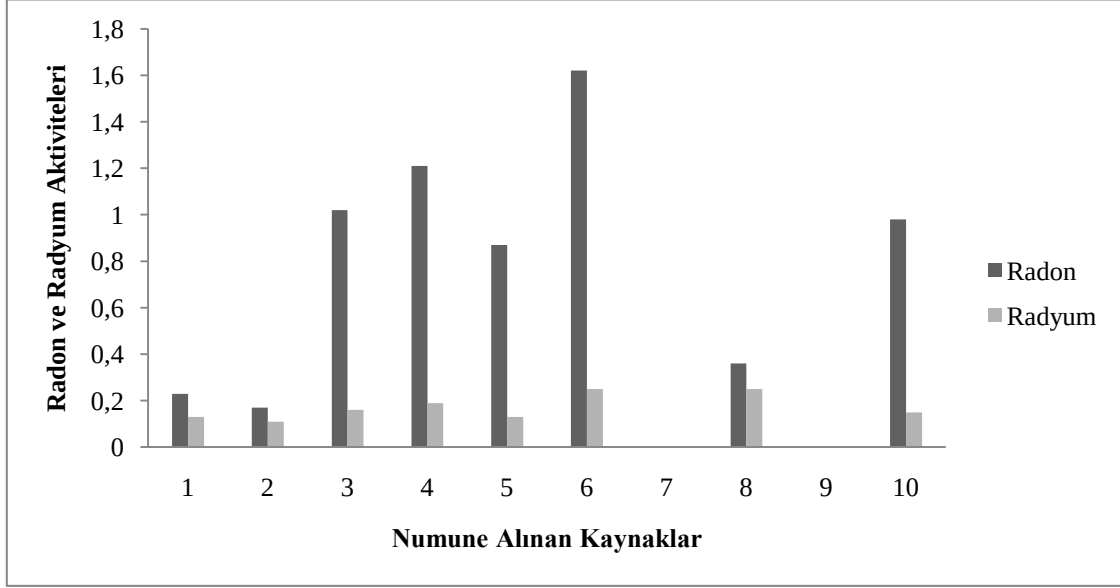


Şekil 4.48 İncelenen Kaynakların 15.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

15.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin maksimum radon aktivitesi 6 Nolu kaynakta 0,89 Bq/L, minimum radon aktivitesi ise 1 Nolu kaynakta 0,14 Bq/L tespit edilmiştir. 15.12.2008 tarihinde alınan numunelerin maksimum radyum aktivitesi 6 Nolu kaynakta 0,69 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 3 Nolu kaynakta 0,06 Bq/L olduğu görülmüştür.



22.12.2008 tarihinde kaynaklardan alınan numunelerin radyum ve radon aktiviteleri Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49 İncelenen Kaynakların 22.12.2008 Tarihi İtibariyle Radon ve Radyum Aktiviteleri

22.12.2008 de alınan numunelerin maksimum radon aktivitesi 6 Nolu, radyum aktivitesinin maksimum değeri ise 6 ve 8 Nolu kaynaklarda, minimum radon ve radyum aktiviteleride 2 Nolu kaynakta ölçülmüştür. Radon aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 1,62 Bq/L-0,17 Bq/L, radyum aktivitesinin maksimum ve minimum değerleri 0,25 Bq/L-0,11 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

### 4.3 Kaynakların Ortalama Radon ve Radyum Aktiviteleri

İncelen kaynaklardan alınan numunelerin ölçümleri sonucunda elde edilen değerler kullanılarak, inceleme periyodu içerisinde kaynakların radon ve radyum aktivitelerinin ortalama değerleri Denklem 3.3 kullanılarak, standart hatalar ise Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

Kaynakların ortalama radon aktivite değerleri Tablo 4.11’de, ortalama radyum aktivite değerleri ise Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçindeki Ortalama Radon Aktiviteleri ve Standart Hataları

| Kaynaklar  | Ortalama Radon Aktivitesi (Bq/L) | Standart Hata |
|------------|----------------------------------|---------------|
| 1. Kaynak  | 2,84                             | 0,85          |
| 2. Kaynak  | 6,45                             | 1,89          |
| 3. Kaynak  | 4,17                             | 0,80          |
| 4. Kaynak  | 3,24                             | 0,90          |
| 5. Kaynak  | 3,17                             | 1,15          |
| 6. Kaynak  | 3,69                             | 1,70          |
| 7. Kaynak  | 3,42                             | 0,69          |
| 8. Kaynak  | 1,19                             | 0,36          |
| 9. Kaynak  | 2,88                             | 1,55          |
| 10. Kaynak | 2,71                             | 0,76          |

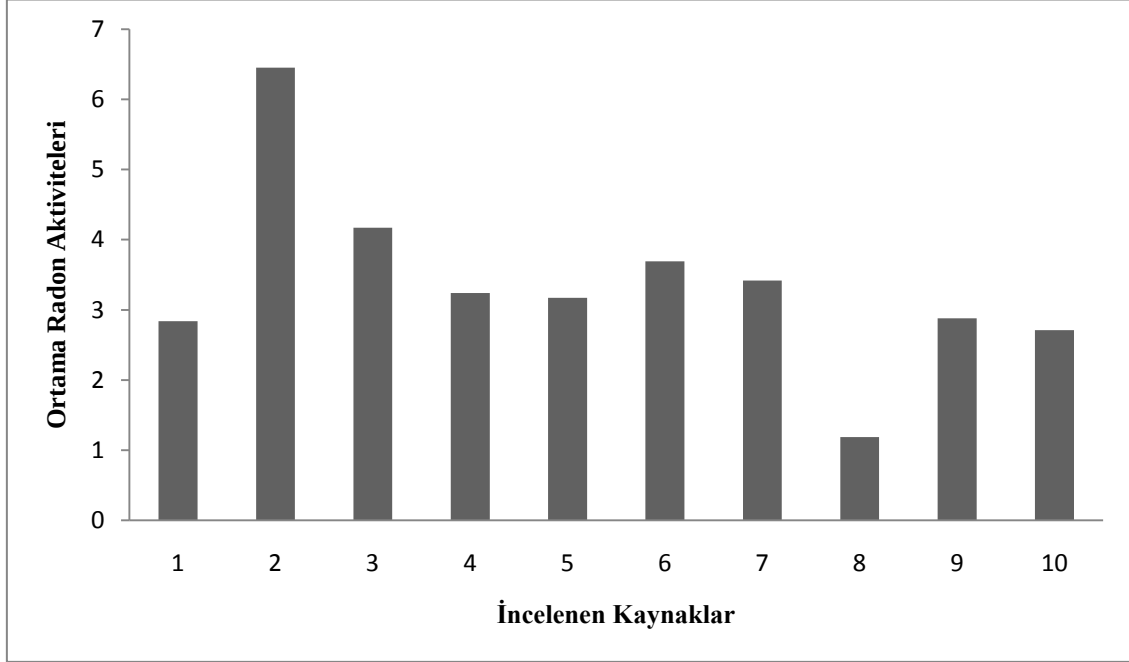
Kaynakların ortalama radon aktiviteleri incelendiğinde, tüm kaynakların ortalama radon aktiviteleri USEPA’nın belirlediği 11 Bq/L üst sınır değerini aşmadığı gözlenmiştir. Kaynaklardan elde edilen sular daha çok içme suyu ihtiyacını karşılamak için şehir şebekesine verildiğinden, elde edilen bu sonuçlar halk sağlığı için önem arz etmektedir. Ortalama radon aktivitesi en büyük olan kaynak 2 Nolu, ortalama radon aktivitesi en küçük olan kaynak ise 8 Nolu kaynak olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.12 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçindeki Ortalama Radyum Aktiviteleri ve Standart Hataları

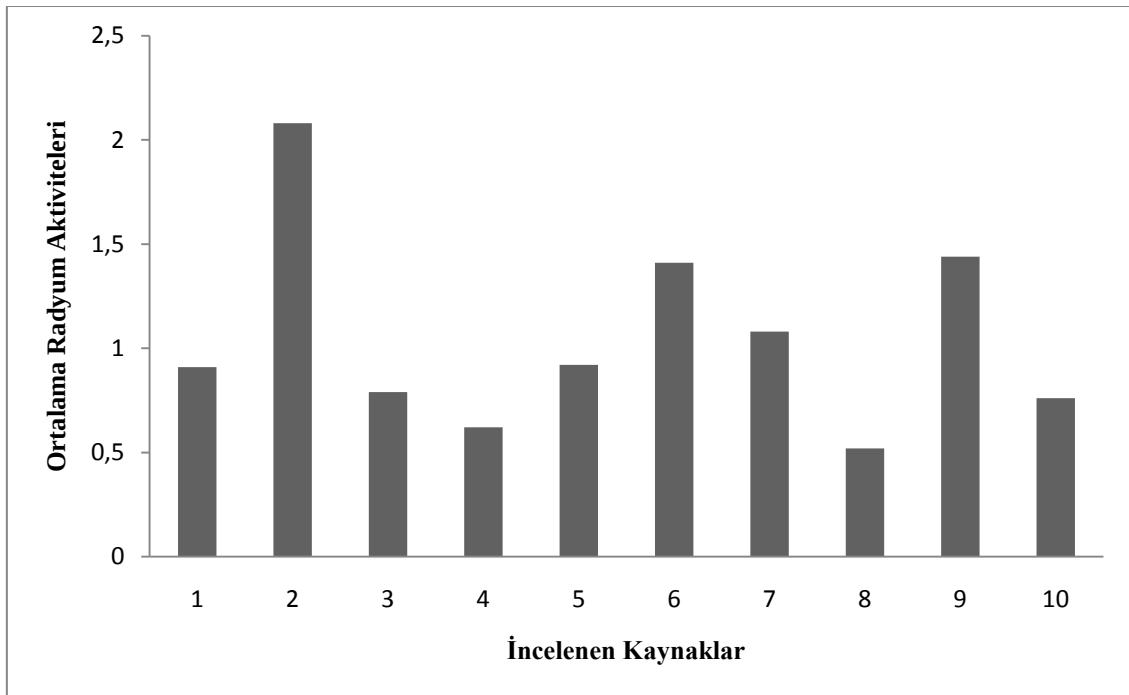
| Kaynaklar  | Ortalama Radyum Aktivitesi (Bq/L) | Standart Hata |
|------------|-----------------------------------|---------------|
| 1. Kaynak  | 0,91                              | 0,32          |
| 2. Kaynak  | 2,08                              | 0,45          |
| 3. Kaynak  | 0,79                              | 0,23          |
| 4. Kaynak  | 0,62                              | 0,17          |
| 5. Kaynak  | 0,92                              | 0,29          |
| 6. Kaynak  | 1,41                              | 0,42          |
| 7. Kaynak  | 1,08                              | 0,25          |
| 8. Kaynak  | 0,52                              | 0,11          |
| 9. Kaynak  | 1,44                              | 0,33          |
| 10. Kaynak | 0,76                              | 0,22          |

Kaynakların numune alım periyodu içindeki ortalama radyum aktiviteleri incelendiğinde ise hemen hemen tüm kaynakların ortalama değerleri, USEPA'nın belirlediği 0,555 Bq/L üst sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. Sadece Toki Konutların da bulunan sondaj kuyusundan elde edilen değer bu üst sınırın altında kalmışsa da bu değerde üst sınır değerine oldukça yakındır. Ortalama radyum aktivitesi en büyük kaynak 2 Nolu, ortalama radyum aktivitesi en küçük olan kaynak ise 8 Nolu kaynaktır.

Kaynakların ortalama radon ve ortalama radyum aktivitelerinin grafikleri ise Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de gösterilmiştir.



Şekil 4.50 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçerisinde Ortalama Radon Aktiviteleri



Şekil 4.51 İncelenen Kaynakların Numune Alım Periyodu İçerisinde Ortalama Radyum Aktiviteleri

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Uşak ilinde bulunan halkın içme ve kullanım suyu ihtiyacını karşılamak için açılmış 10 adet sondaj kuyusu kaynak olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, kaynaklardan 13.08.2008 ile 22.12.2008 tarihleri arasında alınan su numunelerinin radon ve radyum aktivitelerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Su numunelerinin analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Su örneklerinin analizleri sonucunda, kaynakların radon ve radyum aktiviteleri hesaplanmış, bu değerler kullanılarak beş farklı tür grafik elde edilmiştir. Bu grafiklerde, radon ve radyum aktivitelerinin numune alım tarihlerine göre değişimi, radon ve radyum aktiviteleri arasındaki lineer korelasyon ilişkisi, aynı tarihlerde alınan numunelerin radon ve radyum aktiviteleri ile kaynakların ortalama radon ve radyum aktiviteleri gösterilmiştir.

Elde edilen radon ve radyum aktiviteleri, USEPA tarafından içme suları için tavsiye edilen sınır değerleri ile karşılaştırılarak halk sağlığı açısından değerlendirilmiş, ayrıca radon aktivitelerindeki değişim ile bu tarihlerde bölgede meydana gelen depremler karşılaştırılarak, radon aktivitelerindeki değişim ile sismik aktiviteler arasındaki ilişki incelenmiştir.

### 5.1 Radon ve Radyum Aktivitelerinin Halk Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi

13.08.2008 ve 22.12.2008 tarihleri arasında, tespit edilen kaynaklardan alınan su örneklerinin analizleri sonucunda, maksimum radon aktivitesi 21,56 Bq/L, minimum radon aktivitesi 0,05 Bq/L olarak tespit edilmiştir. Su örneklerinde en yüksek radyum aktivitesi 5,84 Bq/L, minimum radyum aktivitesi ise 0,02 Bq/L olarak bulunmuştur. Ayrıca her bir kaynağın belirlenen tarihler arasında ortalama radon ve ortalama radyum aktiviteleri hesaplanmıştır. Kaynakların ortalama radon aktiviteleri 6,45 Bq/L ile 1,19 Bq/L arasında değişmektedir. Ortalama radon aktivitesi en yüksek kaynak 2 Nolu, ortalama radon aktivitesi en düşük kaynak ise 8 Nolu kaynaktır. Kaynakların ortalama

radyum aktiviteleri ise 2,08 Bq/L ile 0,52 Bq/L arasında değiştiği gözlenmektedir. Ortalama radyum aktivitesi en büyük kaynak 2 Nolu, ortalama radyum aktivitesi en küçük kaynak ise 8 Nolu olarak tespit edilmiştir.

USEPA içme suları için  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  aktivitelerinin izin verilebilir üst sınır değerlerini  $^{222}\text{Rn}$  için 11 Bq/L (300 pCi/L),  $^{226}\text{Ra}$  için 0,555 Bq/L (15 pCi/L) olarak belirlemiştir. Kuyulardan alınan su örneklerinde, bazı tarihlerde radon ve radyum aktiviteleri USEPA tarafından tavsiye edilen sınır değerleri aşmıştır. Ancak kaynakların ortalama radon ve ortalama radyum aktiviteleri incelendiğinde, ortalama radon aktiviteleri USEPA tarafından tavsiye edilen sınır değerin altında bulunmuştur. Kaynakların ortalama radyum aktiviteleri ise USEPA tarafından tavsiye edilen sınır değerin üzerinde çıkmıştır. Sadece 8 Nolu kaynağın ortalama radyum aktivitesi belirlenen sınır değeri geçmemiş olsa da bu değer sınır değere oldukça yakın çıkmıştır.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda elde edilen değerler ile bu çalışmada elde edilen değerler yakınlık göstermektedir. Afyon ve çevresinde yapılan bir çalışmada maksimum radon konsantrasyonu 28,82 Bq/L, minimum radon konsantrasyonu ise 0,42 Bq/L, aynı çalışmada maksimum radyum konsantrasyonu 7,16 Bq/L, minimum radyum konsantrasyonu ise 0,07 Bq/L olarak ölçölmüştür (Özdemir 2006). Aynı bölgede yapılan bir başka çalışmada ise radon konsantrasyonun en büyük değeri 44,57 Bq/L en küçük değeri ise 0,085 Bq/L, radyum konsantrasyonun ise en büyük değeri 4,94 Bq/L en küçük değeri ise 0,062 Bq/L olarak tespit edilmiştir (Akkurt 2006). Sandıkçıoğlu'nun aynı bölgede 2004 yılında yaptığı bir başka çalışmada ise kaynakların genel olarak radon konsantrasyonları USEPA tarafından tavsiye değerlerin altında çıkmıştır (Sandıkçıoğlu 2004). İzmir ilinin içme kullanım sularındaki radon ve radyum konsantrasyonlarını belirlemek üzere yapılan bir diğer çalışmada, sondaj kuyularından alınan su örneklerinin ortalama radon konsantrasyonu 2 Bq/L, maksimum radon konsantrasyonu 6 Bq/L olarak ölçölmüştür. Aynı çalışmada kaynakların ortalama radyum konsantrasyonları 0,2 Bq/L, maksimum radyum konsantrasyonu ise 0,8 Bq/L olarak tespit edilmiştir (Saç ve Kumru 2003).

Belirlenen tarihler arasında yapılan bu çalışmada, kaynakların radon ve radyum aktiviteleri incelendiğinde Ekim ayının sonlarında ve devam eden tarihlerde aktivite değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak, mevsimsel ihtiyaca bağlı olarak, kuyulardan Ağustos, Eylül, Ekim aylarında daha çok su çekilmesi ve bunun sonucu olarak sürekli su akışı ve suların daha derinlerden gelmesi gösterilebilir. Yapılan çalışmalar yer altı sularının radyoaktif madde konsantrasyonlarının yüzey sularına göre daha yüksek seviyede olacağını ve bunu doğal radyoizotopların yerin derinliklerine inildikçe artış göstermesinden kaynaklandığını göstermiştir (Lawrence 1994, Yu *et al.* 1994). Radon ve radyum aktivitelerinin belli dönemlerde daha yüksek çıkması, mevsimsel ihtiyaca bağlı olarak kuyulardan daha çok su çekilmesiyle ilişkilendirilmesi Özdemir (Özdemir 2006) tarafından yapılan bir çalışmada da görülmüştür.

Çalışmada, aynı kaynaktan alınan su örneklerinde radon aktivitelerinin radyum aktivitelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Çünkü radyum suda eriyerek yer altı sularına ulaşmadan toprak tarafından emilir. Radon ise toprak ve kayalardan suya karışmaktadır. Yeraltı sularındaki radyumun kaynağı, suların içinden geçtiği tabakalarında bulunan radyoaktif maddeler oluşturmaktadır. Yer altı sularındaki radon gazının kaynağını sularda çözünen radyum tuzları oluşturur. Bazı yer altı suları içerdikleri radyum tuz yoğunluğuna göre çok daha yüksek yoğunluklarda radon gazı içerirler. Bunun nedeni ise yer altı suları kayalardan geçmeleri sırasında çatlaklardan sızan radon gazından kaynaklanmaktadır.

Çalışmada kullanılan kuyuların tamamı halkın içme ve kullanım su ihtiyacını karşılamak için açılmış sondaj kuyularıdır. Ayrıca 1-3-4-5 nolu kaynaklardan elde edilen sular şehir şebekesine verilmektedir. Radon ve bozunum ürünlerinin insan sağlığı açısından önemli riskler taşıması ve canlıların maruz kaldığı doğal radyasyona en büyük katkıyı oluşturması nedeniyle, radon ve radonun kaynağı olan radyum aktivitelerinin ve diğer tüm radyoaktif madde değerlerinin, en önemli ihtiyacımız olan su kaynaklarında sürekli olarak tespit edilip, değerlerinin uluslar arası kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olmasına özen gösterilmelidir.

## 5.2 Radon Aktivitelerindeki Değişim ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişki

Son yıllarda dünyanın birçok bölgesinde, yer altı sularındaki ve toprak gazındaki radon aktivitelerindeki değişimlerle, sismik aktiviteler arasındaki ilişkiyi incelemek için çok sayıda benzer nitelikler taşıyan çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, gerçekleşen birçok depremden önce, depremin gerçekleştiği bölge ve çevresindeki yer altı kaynak sularında ve toprak gazında radon aktivitelerinde belirgin artışlar gözlenmiştir.

Sismik aktiviteler ile radon aktivitesinin değişim ilişkisinin incelenmesiyle ilgili olarak Uşak'ta yapılan bu ilk çalışmada, kaynakların radon aktivitelerindeki artışların gerçekleştiği numune alım tarihleri ile bu tarihlerde bölgede meydana gelen depremler arasında ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla numune alım tarihleri ile radon aktivitelerindeki değişimi gösteren grafikler incelenmiştir.

Kaynakların numune alım periyodu içindeki radon aktivitelerindeki değişimler incelendiğinde, 8 Eylül 2008, 15 Eylül 2008, 22 Eylül 2008 ve 29 Eylül 2008 tarihlerinde kaynakların radon aktiviteleri önemli artışlar göstermiştir. Bu tarihlerde bölgedeki sismik aktiviteler incelendiğinde değişik büyüklüklerde çok sayıda deprem göze çarpmaktadır. Bu depremler kaynaklara yakınlık açısından incelendiğinde, bu depremlerden iki tanesi önem arz etmektedir. Bu depremler; 9.9.2008 Uşak ili Eşme ilçesinde, bir diğeri ise Kütahya ili Dumlupınar ilçesinde 30.09.2008 tarihlerinde meydana gelmiştir (<http://www.korei.boun.edu.tr>).

Kaynakların radon aktivitelerindeki değişimler incelendiğinde 2, 3 ve 9 Nolu kaynaklarda, 08.09.2008 tarihlerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Radon aktivitelerindeki bu artış değerleri, 2 ve 3 Nolu kaynaklarda kaynakların ortalama radon aktivitelerinin yaklaşık üç katı olurken, 9 Nolu kaynakta radon aktivitesindeki artış kaynağın ortalama radon aktivitesinin yaklaşık altı katı kadar artmıştır. 2-3 ve 9 Nolu kaynaklarda radon aktiviteleri maksimum değere ulaştıkları tarihten bir gün sonra yani 09.09.2008 tarihinde Uşak ili Eşme ilçesinde büyüklüğü 2,9 şiddetinde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin meydana geldiği bölgeye en yakın kaynak 9 Nolu



kaynaktır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu depremden önce radon aktivitesindeki en fazla artış bu kaynakta gerçekleşmiştir.

Kaynakların radon aktivitelerindeki değişimler incelendiğinde, 1 Nolu kaynakta 15 ve 29 Eylül, 2 Nolu kaynakta 22 ve 29 Eylül, 4 Nolu kaynakta 22 Eylül, 5 Nolu kaynakta 29 Eylül, 6 Nolu kaynakta 15 Eylül, 7 Nolu kaynakta 15 ve 29 Eylül, 8 Nolu kaynakta 22 Eylül, 9 Nolu kaynakta ise 22 Eylül 2008 tarihlerinde kaynakların radon aktivitelerinde önemli artışlar görülmüştür. Özellikle 2 ve 5 Nolu kaynakların radon aktiviteleri 29 Eylül 2008 tarihinde maksimum değerlere ulaşmıştır. Bölgede bu tarihlerde meydana gelen depremler incelendiğinde Kütahya ili Dumlupınar ilçesinde 30.09.2008 tarihinde büyüklüğü 4,7 şiddetinde bir deprem olduğu tespit edilmiştir. Bu deprem Uşak ili dahil olmak üzere pek çok yerde hissedilmiştir.

09.09.2008 tarihinde Uşak ili Eşme ilçesinde ve 30.09.2008 tarihinde Kütahya'nın Dumlupınar ilçelerinde meydana gelen depremler öncesinde kaynakların radon aktivitelerindeki artışlar, radon aktivitelerindeki önemli değişimlerin depremlerle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. İncelenen kaynakların hemen hemen hepsinde farklı tarihlerde de olsa deprem hareketi ile ilişkilendirilebilecek radon aktivitelerinde artışlar tespit edilmiştir. Ama yine de aradaki ilişkinin kesin olarak söylenebilmesi için bölgede daha uzun süreli çalışmalara ihtiyaç vardır.

Benzer sonuçlar Slovenya'da Zmazek ve arkadaşları (Zmazek *et al.* 2002), Taşkent'te Ulomov ve Mavashev (Ulomov and Mavashev 1971) tarafından yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Ülkemizde konuyla ilgili pek çalışmaya rastlanmaktadır. Baykara ve arkadaşları tarafından Doğu Anadolu Bölgesinde (Baykara vd. 2002), Yaprak ve arkadaşları tarafından Manisa ve Alaşehir bölgesinde (Yaprak vd. 2003), Belin ve arkadaşları tarafından Adapazarı Kuzulukta (Belin vd.2002), Güloğlu tarafından İzmir'de (Güloğlu 2007), yine İzmir ili Bergema ve Çeşme altı bölgelerinde Saç ve Camgöz tarafından (Saç ve Camgöz 2005), Doğanbey fayı üzerinde Saç ve arkadaşları (Saç vd. 2006), Afyon'da Yalım ve arkadaşları (Yalım vd. 2007b) tarafından yapılan çalışmalarda da radon aktivitelerindeki değişimler ile sismik aktiviteler arasında ilişki

olduğu görülmüştür. Bu ilişkiye yapmış olduğum bu çalışmada da rastlanmış ve yukarıdaki çalışmaların sonuçları ile benzerlikler elde edilmiştir.

Sonuç olarak, insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 80’ni doğal ortamlardan kaynaklanmakta ve buna en büyük katkıyı radon ve onun bozunum ürünleri yapmaktadır. Doğal radyasyona en büyük katkıyı yapan radon ve radonun kaynağı olan radyum aktivitelerinin bütün bölgelerde belirlenmesi halk sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Depremlerle radon aktivitelerinin değişimi arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi ve daha kesin sonuçlara ulaşılabilmesi için daha uzun süreli ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Hem sağlık hem de depremle ilişkileri açısından uzun süreli olarak yapılan ölçümler sonucunda, sürekli olarak yüksek değerlerin elde edilmesi durumunda yetkili kurum veya kuruluşlar bilgilendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, A., 2006, “Afyon ve Çevresinde Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Al-Bataina, B.A., Ismail, A.M., Kullab, M.K., Abmurad, K.M., Mustafa, H., 1997, “Radon measurements in different types of natural waters in Jordan”, Radiat. Meas. 28 (1-6), pp. 591-594.
- Alkan, H., Türer, A., Sönmez, M., Yasar, S., 1990, “İstanbul ve İzmir Yörelerinde Bulunan Bazı Yer altı Sularında Radyoaktivite Kirliliklerinin Araştırılması”, İstanbul Tıp Fakültesi Halk Sağlığı A.B.D. 2. Ulusal Halk Sağlığı Kongresi, Serbest Bildiri Özet Formu, İstanbul.
- Al-Masri, M.S., Blackburn, R., 1999, “Radon-222 and related activities in surface waters of the English Lake”, District. Appl. Radiat. Isot. 50, pp. 1137-1143.
- Altaş Y., 1990, Mangan-Fiber Yöntemi ile Sularda Radyum Tayini ve Küçük Menderes Havzasındaki 100 Köyün içme ve Sulama Sularında Uygulanması, Ege Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, proje no:1987/NBE/008.
- Amrani, D., Cherouati, D.E. ve Cherchali, M.E.H., 2000, “Groundwater radon measurements in Algeria”, Journal of Enviromental Radioactivity 51, pp. 173-180.
- Arya, A.P., 1999, “Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Aktif Yayıncılık, Erzurum. Çeviri: Yusuf Şahin.
- Atalay, E., 1990, “İzmir Çevre Köylerinin İçme ve Kullanma Sularında Radyum Konsantrasyonu Ölçümleri”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.

- Bakaç, M., Kumru, N.M., 2000, “Menemen (İZMİR) Ovası Su ve Topraklarında Radyoaktivite Araştırması ve Ağır Metal Kirliliği”, ÇEV-KOR, Cilt:9, Sayı: 35, 26-30.
- Baykara, O., Doğru, M., Canbazoglu, C., Kùlahçı, F., 2002, “Doğu Anadolu Bölgesinde Bazı Diri Fay Hatlarındaki Yer altı Sularının Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”, Türk Fizik Derneęi 21. Fizik Kongresi Özetler Kitabı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Belin, B., Yalçın, T., Suner, F., Bozkurtoğlu, E., Gelir, A., Güven, H., 2002, “Earthquake-Related Chemical and Changes of Thermal Water in Kuzuluk-Adapazarı, Turkey”, Journal of Environmental Radioactivity, 63, 239-249.
- Berkem, A.R., 1974, “Çekirdek Kimyası”, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Canbazoglu, C., 1998, “Elazığ ve Çevresindeki İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Elazığ.
- Choubey V.M., Bartarya S.K., Ramola R.C., 2003, “Radon in groundwater of eastern Doon valley, Outer Himalaya”, Radiation Measurements, 36, pp.401 – 405.
- Damla, N., Çevik, U., Karahan, G., Tıraşoğlu, E., Kobya, A.İ., Çelebi, N., 2005, “Doğu Karadeniz Bölgesi İçme Sularında <sup>222</sup>Rn Analizi”, Ulusal Su Günleri, Trabzon.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Gonzales, J.A., Carretero, J. and Perez, M., 1993, “Ra-226 and Ra-224 in Waters in Spain”, Toxicological and Environmental Chemistry, 39, 71-79.
- Farai, I.P. and Sanni A.O., 1992, “<sup>222</sup>Rn in ground water in Nigeria (a Survey)”, Helth Physics 62, pp. 96-98.

- Ghose, S., Alam, M.N., Islam, M.N., 2000, "Concentrations of Rn 222 , Ra 226 ve Ra 228 in surface sea water of the Bay of Bengal", J. Environ. Radioactivity 47, pp. 291-300.
- Gosing, T.A., Baskaran, M., Holleman D.F., 1990, "Radon in the Human Body from Drinking Water", helth Phys. Vol. 59 No.6, pp.919-920.
- Görür, Ş., 2006, "Çevresel Radyoaktivite İle Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Dış Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Güloğlu, A., 2007, "Çeşme Bölgesi Aktif Fay Hatlarındaki Kaplıcalarda Radon Anomalileri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.
- Hopke, P.K., Borak, T.B., Doull, J., Clevear, J.E., Eckerman, K.F., Gunderson, L.C.S., Harley, N.H., Hess, C.T., Kinner, C.T., Kopecky, K.J., Mckone, T.E., Sextro, R.G., Sim, N.H., Hess, C.T., Kinner, C.T., Kopecky, K.J., Mckone, T.E., Sextro, R.G., Simion, S.L., 2000, "Health risks due to radon in drinking water", Environmental Science Technology, 34, pp. 921-926.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A., Greaves, E.D., 2000, "Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela", J. Environ, Radioactivity 47, pp. 127-133.
- Lawrence, E., 1994, "The Determination of Radon Levels in Water", An Environmental Chemistry Exprement 71,6, pp. 521-523.
- Lima, J.L.N., Bonotto, D.M., 1996, "Etapas analiticas para mensuraao de radonio- 222 e

uso na avaliaao da radioatividade das aguas de”, Aguas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis 10 (2), pp.283–295.

Marques, A.L., Santos, W.dos, Geraldo, L.P., 2004, “Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors”, Instituto de Pesquisas Cientificas (IPECI) UNISANTOS: R. Dr. Carvalho Mendonca 144, CEP 11070-906 Santos (SP), Brazil.

Salonen, L., 1987, “ Natural Radionuclides in Ground Water in Finland”, Presented at the Fourth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Lisbon, Portugal.

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

Saç, M.M., Camgöz, B., 2005, “ İzmir’ de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi ”, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:7, Sayı:3, 47-54.

Saç, M.M., Güloğlu, A., Gençler, F., Camgöz, B., Sözbilir, H., Kumru, M.N., 2006, “Termal Su Kaynaklarındaki Radon Ölçümleri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilere Güncel Bir Örnek: 17- 21 Ekim 2005 İzmir Depremleri”, Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG10) 10. Toplantısı, Poster sunumu.

Saç, M.M., Kumru, M.N., 2003, “İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında <sup>222</sup>Rn ve <sup>226</sup>Ra Konsantrasyonlarının Belirlenmesi”, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.

Sandıkçıoğlu, A.,2004, “Afyon Deprem Fay Hattı Üzerinde Bulunan Kaplıca ve Kuyu Sularındaki Radon Değişiminin Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Sarrou, I., Pashalidis, I., 2003, "Radon levels in Cyprus", Journal of Environmental Radioactivity, 68, 269-277.

Şeker, Ş.S. ve Çerezci, O., 1997, "Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri", Boğaziçi Matbaası, I. Basım, Sayı 607.

Taşkın, H., 2006, "İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması", Yüksek Lisans Tezi, MÜ, SBE, İstanbul.

Türker J., 1994, "Simav ve Emet Köylerinin içme ve Kullanım Sularında Kollektör Yöntemi ile Radyum Tayini", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler, İzmir.

Ulomov, V.I., Mavashev, B.Z., 1971, "Forerunners of the Tashkent earthquake", Izv. Akad. Nauk Uzb. SSR, 188-200.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations sales publication No. E. 88. IX.7, New York.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993, "Sources and Effects of Ionizing Radiation" United Nations, New York, Annex A.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000, "Exposure Due to Natural Radiation Sources", United Nations, New York.

USEPA, 1991, "National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides", Washington DC, US: Government printing Office, EPA/570/9-91/700.

Villalba, L., Colmenero Sujo, L., Montero Cabrera, M.E., Cano Jimenez, A., Rentería Villalobos M., Delgado Mendoza C.J., Jurado Tenorio L.A., Davila Rangel I.,

Herrera Peraza E.F., 2005, “Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico”, *Journal of Environmental Radioactivity* 80, pp. 139- 151.

Yalım, H.A., Akkurt, İ., Özdemir, F.B., Ünal, R., Sandıkçioğlu, A., Akkurt, A., 2007a, “The Measurement of Radon and Radium Concentrations in the Afyonkarahisar area of Turkey”, *Indoor and Built Environment*, 16, 1, 77-81.

Yalım, H.A., Sandıkçioğlu, A., Ünal, R., Orhun, Ö., 2007b, “Measurements of Radon Concentrations in Well Waters Near the Akşehir Fault Zone in Afyonkarahisar, Turkey”, *Radiation Measurements*, 42, 3, 505-508.

Yaprak, G., Candan, O., Gür, F., Batmaz, İ., Camgöz, B., 2003, “Aktif Gediz Grabeninde Yer Alan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı Radon Anomalilerinin İncelenmesi”, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.

Yu, K.N., Guan, Z.J., Stokes, M.J. and Young, E.C.M., 1994, “A Preliminary Study on the Radon Concentrations in Water in Hong Kong and the Associated Health Effects” *Appl. Radiat. Isot.*, 45,7, 809-810.

Yüce, G., Yasin, D.U., Ak, E., Say, T., 2009, “Beylikova-Kaymaz-Frigya Vadisi (Eskişehir) Civarı Su Kaynaklarındaki Radon İçeriğinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı Açısından Risk Değerlendirilmesi”, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı.

Zmazek, B., Zivcic, M., Vaupotic, J., Bıdovec, M., Poljak, M., Kobal, I., 2002, “Soil Radon Monitoring in the Krško Basin, Slovenia”, *Appl. Radiat. Isot.*, 56, 649-657.

### **İnternet Kaynakları**

1-<http://www.koeri.boun.edu.tr> (2010).

2-<http://www.deprem.gov.tr> (2010).

3-<http://www.taek.gov.tr> (2010).



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuncay ERDOĞAN

Doğum Yeri : Uşak

Doğum Tarihi : 10.10.1975

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Uşak Lisesi (1989-1992)

Lisans : Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi (1992-1996)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Alfa Sistem Dershanesi, Uşak (1996-1997)

Ege Bilim Dershanesi, Uşak (1997-2009)

Birey Dershanesi, Uşak (2009,-)