

154496

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKİRDAĞ'IN ÇEVRESEL DOĞAL  
RADYOAKTİVİTESİNİN TAYİNİ**

Fizikçi Erol KAM

FBE Fizik Anabilim Dalında Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Yasemin

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yasemin YARAR

Prof. Dr. Metin Subaşı

*Metin Subaşı*

İSTANBUL, 2004

*Prof. Dr. H. Mehmet Bayraktar*

## İÇİNDEKİLER

|                                                     | Sayfa |
|-----------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....                                  | v     |
| KISALTMA LİSTESİ.....                               | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                  | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                | xiii  |
| ÖNSÖZ .....                                         | ix    |
| ÖZET .....                                          | x     |
| ABSTRACT.....                                       | xi    |
| 1. GİRİŞ.....                                       | 1     |
| 2. TEORİK BİLGİLER.....                             | 5     |
| 2.1 Doğal Radyasyon.....                            | 5     |
| 2.2 Kozmik Radyasyonlar.....                        | 7     |
| 2.3 Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Radyoaktivite.....    | 9     |
| 2.4 Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları .....       | 10    |
| 2.5 Ev İçi Gama Radyasyonları.....                  | 11    |
| 2.6 Topraktaki Doğal Radyoaktivite.....             | 12    |
| 2.7 Sullardaki Doğal Radyoaktivite.....             | 15    |
| 2.8 Radon .....                                     | 18    |
| 2.8.1.1 Uranyum-238.....                            | 19    |
| 2.8.1.2 Toryum-232.....                             | 19    |
| 2.8.1.3 Radyum-226.....                             | 20    |
| 2.8.2 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri..... | 21    |
| 2.8.3 Ev-İçi Radon Konsantrasyonu Limitleri.....    | 22    |

|         |                                                                                           |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8.4   | Doğal Gazda Radon ..                                                                      | 23 |
| 2.8.5   | Deprem-Radon İlişkisi .....                                                               | 23 |
| 2.8.6   | Deprem Araştırmalarında Radon Ölçüm Sistemi .....                                         | 24 |
| 2.9     | Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntem ve Cihazlar .....                                      | 25 |
| 2.9.1   | Gamma Sintilasyon Detektörü .....                                                         | 25 |
| 2.9.1.1 | Sintilasyon Detektörleri.....                                                             | 25 |
| 2.9.2   | Gama Spektrometrik Analizleri .....                                                       | 26 |
| 2.9.2.1 | Çok Kanallı Analizör Sistemi.....                                                         | 27 |
| 2.9.3   | Alfa ve Beta Sayım Sistemleri .....                                                       | 29 |
| 3.      | DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                                                                 | 32 |
| 3.1     | Ölçüm Sahası .....                                                                        | 32 |
| 3.2     | Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Gama Radyasyon Ölçümleri.....                                  | 32 |
| 3.2.1   | Tekirdağ İl Merkezinde Ev-İçi ve Ev-Dışı Havadaki Gama Doz Hızlarının Belirlenmesi .....  | 42 |
| 3.2.2   | Gama Dış Işınlama Doz Hızlarının Hesaplanması.....                                        | 47 |
| 3.3     | Tekirdağ İli Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivitelerin Belirlenmesi.....               | 48 |
| 3.3.1   | Örnek Alma ve Hazırlama .....                                                             | 48 |
| 3.3.2   | Tekirdağ Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi.....                              | 48 |
| 3.3.3   | Cs-137'nin Tayini .....                                                                   | 49 |
| 3.4     | Tekirdağ İlinin İçme ve Kaynak Sularındaki Doğal Radyoaktivitenin Tayini.....             | 62 |
| 3.5     | Tekirdağ Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü.....                                 | 66 |
| 3.5.1   | Radon Kalibrasyon Odası.....                                                              | 68 |
| 3.5.2   | Ev içi Radon Gazının Solunumu ile Alınan Yıllık Etkin Eşdeğer Dozların Hesaplanması ..... | 69 |
| 4.      | SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....                                                                 | 78 |
| 4.1     | Çevresel Gama Radyasyon Doz Hızlarının Değerlendirilmesi.....                             | 78 |
| 4.2     | Toprakta Belirlenen Radyoaktivite Seviyeleri.....                                         | 86 |
| 4.3     | Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyeleri .....                                         | 94 |
| 4.4     | Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi.....                         | 95 |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KAYNAKLAR .....                                                                                  | 98  |
| EKLER.....                                                                                       | 103 |
| <b>Ek 1</b> $^{238}\text{U}$ Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri.....                       | 104 |
| <b>Ek 2</b> $^{40}\text{K}$ ve $^{232}\text{Th}$ Radyoaktif bozunma serilerinin özellikleri..... | 107 |
| <b>Ek 3</b> Tekirdağ İlının Özellikleri.....                                                     | 109 |
| <b>EK 4</b> Evlerde Radon Araştırması Bilgi Formu.....                                           | 111 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                    | 113 |



## SİMGE LİSTESİ

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| eV       | Elektron volt               |
| $\alpha$ | Alfa parçacığı              |
| $\beta$  | Beta parçacığı              |
| $\gamma$ | Gama ışını                  |
| Gy       | Gray, soğurulmuş doz birimi |
| Sv       | Sievert, eşdeğer doz birimi |



## KISALTMA LİSTESİ

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| ÇNAEM   | Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi                            |
| EPA     | United States Environmental Protection Agency                          |
| EEC     | Equilibrium Equivalent Concentration                                   |
| HPGe    | Yüksek Safılıkta Germanyum Detektörü                                   |
| IAEA    | International Atomic Energy Agency                                     |
| ICRU    | International Commission on Radiation Units and Measurements           |
| ICRP    | International Commission on Radiological Protection                    |
| NCRP    | National Council on Radiation Protection and Measurements              |
| TAEK    | Türkiye Atom Enerjisi Kurumu                                           |
| TSE     | Türk Standartlar Enstitüsü                                             |
| UNSCEAR | United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation |
| W H O   | World Health Organization                                              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                  |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1  | Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri..... | 2  |
| Şekil 1.2  | Çevremizdeki Rus yapımı nükleer santraller.....                                                  | 4  |
| Şekil 2.1  | Çeşitli ülkelerde doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozlar.....                       | 6  |
| Şekil 2.2  | Sintilasyon detektörlü cihaz blok şeması.....                                                    | 25 |
| Şekil 2.3  | Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği.....                      | 27 |
| Şekil 2.4  | Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek.....                                                | 30 |
| Şekil 3.1  | Tekirdağ ilinde ölçüm yapılan noktaları gösteren harita.....                                     | 33 |
| Şekil 3.2  | Tekirdağ'da ölçülen gama radyasyonları izo-doz haritası.....                                     | 41 |
| Şekil 3.3  | Toprak örneği gama spektrumu.....                                                                | 54 |
| Şekil 3.4  | Tekirdağ toprağındaki Ra-226'nın dağılımı.....                                                   | 55 |
| Şekil 3.5  | Tekirdağ toprağındaki Pb-214'ün dağılımı.....                                                    | 56 |
| Şekil 3.6  | Tekirdağ toprağındaki Bi-214'ün dağılımı.....                                                    | 57 |
| Şekil 3.7  | Tekirdağ Toprağındaki Ac-228'in Dağılımı.....                                                    | 58 |
| Şekil 3.8  | Tekirdağ Toprağındaki Tl-208'in Dağılımı.....                                                    | 59 |
| Şekil 3.9  | Tekirdağ Toprağındaki K-40'ın Dağılımı.....                                                      | 60 |
| Şekil 3.10 | Tekirdağ Toprağındaki Cs-137'nin Dağılımı.....                                                   | 61 |
| Şekil 3.11 | Radon difüzyon kapları.....                                                                      | 67 |
| Şekil 3.12 | CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri.....                                                  | 67 |
| Şekil 3.13 | Radon kalibrasyon odası.....                                                                     | 68 |
| Şekil 3.14 | Tekirdağ ili ve çevresindeki oturma ve yatak odalarında ölçülen radon konsantrasyonları.....     | 74 |
| Şekil 3.15 | Tekirdağ ili ev içi ortalama radon konsantrasyonları.....                                        | 75 |
| Şekil 4.1  | Tekirdağ bölgesi dış gama ölçüm değerleri (nGy/h).....                                           | 79 |
| Şekil 4.2  | Tekirdağ toprağı U-238 izo-aktivite haritası.....                                                | 90 |
| Şekil 4.3  | Tekirdağ toprağı Th-232 izo-aktivite haritası.....                                               | 91 |
| Şekil 4.4  | Tekirdağ toprağı K-40 izo aktivite haritası.....                                                 | 92 |
| Şekil 4.5  | Tekirdağ toprağı Cs-137 izo-aktivite haritası.....                                               | 93 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|              |                                                                                                                                                                 |     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1  | Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan $\gamma$ radyasyon doz şiddetleri .....                                                            | 12  |
| Çizelge 2.2  | $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğurulan doz şiddetleri..... | 13  |
| Çizelge 2.3  | Bir hacimdeki ( $7,894 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) doğal radyoaktivite.....                                                                                      | 14  |
| Çizelge 2.4  | Kaynak Çeşitlerine Göre Suların Kullanım Oranları .....                                                                                                         | 16  |
| Çizelge 2.5  | Radon izotoplarına ilişkin özellikler.....                                                                                                                      | 19  |
| Çizelge 2.6  | Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu .....                                                                                                       | 20  |
| Çizelge 2.7  | $^{222}\text{Rn}$ ve bozunma ürünlerinin özellikleri.....                                                                                                       | 21  |
| Çizelge 2.8  | Radon Konsantrasyon Limitleri ( $\text{Bq/m}^3$ ).....                                                                                                          | 22  |
| Çizelge 2.9  | Farklı ülkeler için ev içi ortalama radon konsantrasyonları ( $\text{Bq/m}^3$ ).....                                                                            | 23  |
| Çizelge 2.10 | SPA-6 Detektörünün özellikleri .....                                                                                                                            | 26  |
| Çizelge 3.1  | Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri.....                                                          | 34  |
| Çizelge 3.2  | Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı ( $\text{nGy/h}$ ).....                                                      | 43  |
| Çizelge 3.3  | 1986 yılı Karadeniz toprak örnekleri sayım sonuçları.....                                                                                                       | 51  |
| Çizelge 3.4  | Tekirdağ ili toprak örneklerinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin 0-10 cm derinlikteki aktivite konsantrasyonları ( $\text{Bq/kg}$ ) .....                      | 52  |
| Çizelge 3.5  | Tekirdağ sularının cinsi, miktarı ve net tortu değerleri.....                                                                                                   | 63  |
| Çizelge 3.6  | Tekirdağ ili içme sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....                                                                          | 65  |
| Çizelge 3.7  | Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları.....                                                                                                                | 69  |
| Çizelge 4.1  | Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları.....                                                                                           | 82  |
| Çizelge 4.2  | Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları.....                                                                                           | 85  |
| Çizelge 4.3  | Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri.....                                                                                    | 88  |
| Çizelge 4.4  | İçme suları için saptanan radyoaktivite limitleri.....                                                                                                          | 94  |
| Çizelge 4.5  | Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri.....                                                                                   | 96  |
| Çizelge Ek 1 | $^{238}\text{U}$ Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri.....                                                                                                  | 106 |
| Çizelge Ek 2 | $^{40}\text{K}$ ve $^{232}\text{Th}$ Radyoaktif bozunma serilerinin özellikleri.....                                                                            | 109 |

## ÖNSÖZ

“Tekirdağ’ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini” adlı bu tez çalışmasının deneysel aşamaları Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenen, her konuda bana yol gösteren ve yardımcı olan, Sayın Doç Dr. Yasemin YARAR’a içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgilerini esirgemeyen;

ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölüm Başkanı Sayın Dr. Nilgün ÇELEBİ’ye

Radyasyon Uzmanı Sayın Dr. Gürsel KARAHAN’a

Nükleer Fizik Uzmanı Sayın Yüksek Müh. Cevdet ÖZÜAĞ’a ve Sağlık Fiziği Bölümü’nde çalışan tüm elemanlara en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Örneklerin alınmasında bana yardımcı olan ve özellikle de Cr-39 detektörlerinin dağıtılması sırasında, aileleri ikna eden eşime sonsuz teşekkür ederim.

Erol KAM

## ÖZET

Bu çalışmada Tekirdağ ilinin çevresel doğal radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla Tekirdağ ilinin değişik noktalarından alınan toprak ve su örneklerinin radyoaktif çekirdek konsantrasyonları, gama ışınlama doz hızları ve ev içi radon konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Gama ışınlama doz hızları Eberline Smart, taşınabilir bir sintilasyon detektörü kullanılarak gerçekleştirilmiş, il genelinde her 12 km'de bir, yerden 1 m yükseklikte, toplam 169 noktada gama dış ışınlama doz hızları ölçülmüştür. Gama ölçümleri, Tekirdağ il merkezinde birçok noktada da yinelenerek hem ev içinde hem de ev dışında ışınlama doz hızları belirlenmiştir.

Tekirdağ il sınırları içerisinde 40 farklı yerleşim alanında, yüzeyden 10 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik analizi HPGe detektörü kullanılarak yapılmıştır.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serilerinin bozunma ürünleri ile  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarının radyoaktivite konsantrasyonları saptanmıştır.

Tekirdağ ilinin belirlenen yörelerinden alınan içme suyu örneklerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri, Berthold, gaz-akışlı LB770- PC 10 orantılı sayıcı kullanılarak tespit edilmiştir. İçme sularında elde edilen toplam alfa ve beta aktivite değerleri, Kayı, Ulaş ve Çorlu dışında, Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için belirtmiş olduğu sınır değerlerin altında elde edilmiş, radyasyon güvenliği açısından içilebilir düzeyde bulunmuştur.

Tekirdağ ilinde ev içi radon konsantrasyonları, pasif CR-39 nükleer iz detektörleri kullanılarak tespit edilmiştir. Bu amaçla 84 eve, oturma ve yatak odalarına yerleştirilmek üzere toplam 110 adet detektör dağıtılmış ve 100 günlük bekleme süresi sonunda toplanarak yapılan değerlendirme sonucunda, ev içi ortalama radon konsantrasyonu  $87 \pm 40 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Ayrıca çalışmada elde edilen gama ışınlama doz hızlarından ve radon solunumundan kaynaklanan eşdeğer dozlar hesaplanmış ve sonuçlar radyasyon güvenliği açısından tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Doğal radyoaktivite, gama ışınlama dozu, toplam alfa, toplam beta, radon konsantrasyonu.

## ABSTRACT

In this study, the environmental natural radionuclide concentrations of Tekirdağ have been measured. For this purpose, the radioactivity concentrations of soil and water samples collected from different points of Tekirdağ, gamma exposure dose rates and indoor radon concentrations were determined.

Gamma exposure dose rates were measured by using the Eberline Smart Portable scintillation detector. External gamma dose rates at 1 m height from the ground were determined at 169 points, taken at every 12 km, in Tekirdağ. In addition to that, indoor and outdoor gamma measurements were repeated at many points in Tekirdağ center.

Gamma spectrometric analysis of soil samples collected from 40 points of Tekirdağ was performed by using an HPGe detector. The radioactivity concentrations of the decay products of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  series,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  were determined.

Gross alpha and beta radioactivity of the water samples taken from municipal supplies, springs, wells and fountains were performed by using the Berthold, LB770-PC 10, a gas-flow proportional counter. The activity values of water samples, except those of Kayı, Ulaş and Çorlu, are lower than the reference value given by World Health Organization and they are in potable quality from the radiological safety point of view.

Indoor radon concentrations were measured by using passive, CR-39 nuclear track detectors, installed in the living room and the bedroom of the dwellings. Totally 110 detectors were placed to the 84 dwellings in Tekirdağ. After a monitoring period of 100 days, detectors were collected. As a result of the evaluation, the average indoor radon concentration was obtained as  $87 \pm 40 \text{ Bq/m}^3$ .

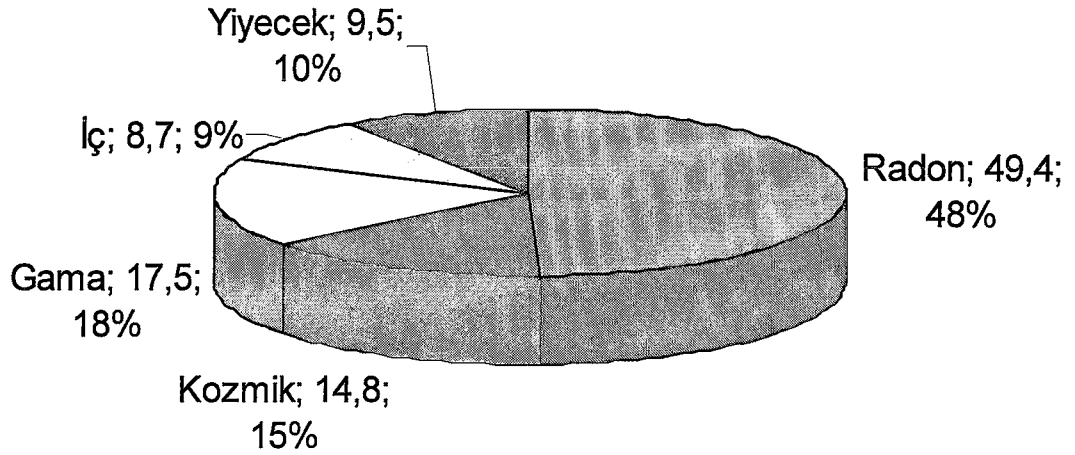
Finally, annual effective dose equivalents caused by exposure gamma dose rates and radon inhalations were calculated and the results were discussed from the radiological protection point of view.

**Key words:** Natural radioactivity, gamma exposure dose rate, gross alpha, gross beta, radon concentration.

## 1.GİRİŞ

İnsanlar ve diğer canlılar yaşamları süresince uzaydan gelen ve yeryüzünden yayınlanan radyasyonlar nedeniyle iyonlaştırıcı bir radyasyon ortamı içinde yaşamaktadırlar. Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yatakları karasal kökenli radyoaktivitenin kaynağını teşkil etmektedirler. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0–25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. İçinde yaşadığımız dünyada her şey az miktarda da olsa radyoaktif atomları içermektedir; yerkabuğu, solunan hava, gıdalar ve güneş sistemi doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Çevresel doğal radyoaktivite dünyanın yapısında bulunan ve çok uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklerden (Uranyum, Toryum ve Radyum gibi) kaynaklanır veya kozmik radyasyonların etkileşimi sonucunda ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  gibi) oluşur. Dünya, daima dış uzaydan gelen kozmik radyasyonların etkisindedir. İnsanoğlunun yıllık olarak aldığı radyasyon dozunun ortalama %82'si doğal kaynaklardan ileri gelmektedir. Öte yandan, insanlar yapay olarak kendileri tarafından üretilen radyoaktif maddelerin endüstriyel ya da tıbbi amaçlı uygulamalarında radyasyon dozu almaktadır. Yanı sıra, nükleer denemeler ve nükleer reaktörlerin kazaları sonucunda atmosfere yayılan radyoaktif maddeler, kuru serpinti ve yağışlarla toprağa, su ve bitki örtüsüne bulaşmaktadır. Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, birbirlerine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir. Doğal radyasyon kaynaklarından ileri gelen yıllık doz değerleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

Doğal radyasyonun bir kısmını oluşturan kozmik ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçerken soğurulurlar ve sadece küçük bir miktar yerküreye ulaşır. Kozmik ışınlara maruz kalma yüksekliğe göre değişmektedir. Bu nedenle uçak pilotları ve tayfaları, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv/yıl'dır (IAEA, 1996).



**Şekil 1.1** Doğal radyasyon kaynaklarından kaynaklanan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

Sulardaki radyoaktivite iki şekilde meydana gelmektedir: Birincisi, suların, geçtikleri bölgelerdeki kaya veya toprak ile teması sonucu bunlarda bulunan radyoizotopları çözerek bünyelerine almaları veya yağmur suları tarafından çözülerek içme sularına taşınması, ikincisi ise atıklar veya kazalar sonucunda radyoizotopların suya karışmasıdır. Yeraltı suları, diğer ismi ile derin dolaşımli sular, alt tabakalarda fazlaca bulunan volkanik ve granit kayalarıyla etkileşirler. Bu yüzden yeraltı suları yüzey sularına göre daha fazla aktiftirler (Gelir, 2001).

Radon, eser miktarda uranyum içeren toprak, kum, kaya ve bunlardan yapılan yapı malzemeleri ve yapay gübreler gibi daha birçok maddelerden yayınlanan, doğal bir radyoaktif gaz olup çok küçük konsantrasyonlarda olmak üzere hemen her yerde bulunmaktadır. Bu nedenle radon ve radonun bozunma ürünleri olan radyoaktif katı taneciklerin solunması, insanların maruz kaldıkları iç radyasyon dozlarının başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, yüksek konsantrasyonlarda radon gazı ve bozunma ürünlerine uzun süre maruz kalınmasının insanlarda akciğer kanser riskini arttırdığını ortaya koymaktadır. Özellikle enerji tasarrufu amacıyla evlerde ısı yalıtımı için hava dolaşımının azaltılmasının solunan hava içindeki radon konsantrasyonunu normalin çok üstüne çıkarmasından dolayı akciğer kanseri riski de aynı oranda artmaktadır. Bu nedenle birçok ülkede ev içi havasındaki radon konsantrasyonunun ölçülmesi için geniş çapta araştırma

programları düzenlenmiştir. Bu ölçümler yüksek konsantrasyonda radon içeren evlerde yaşayan insanları akciğer kanserinden koruma amacını taşımaktadır.

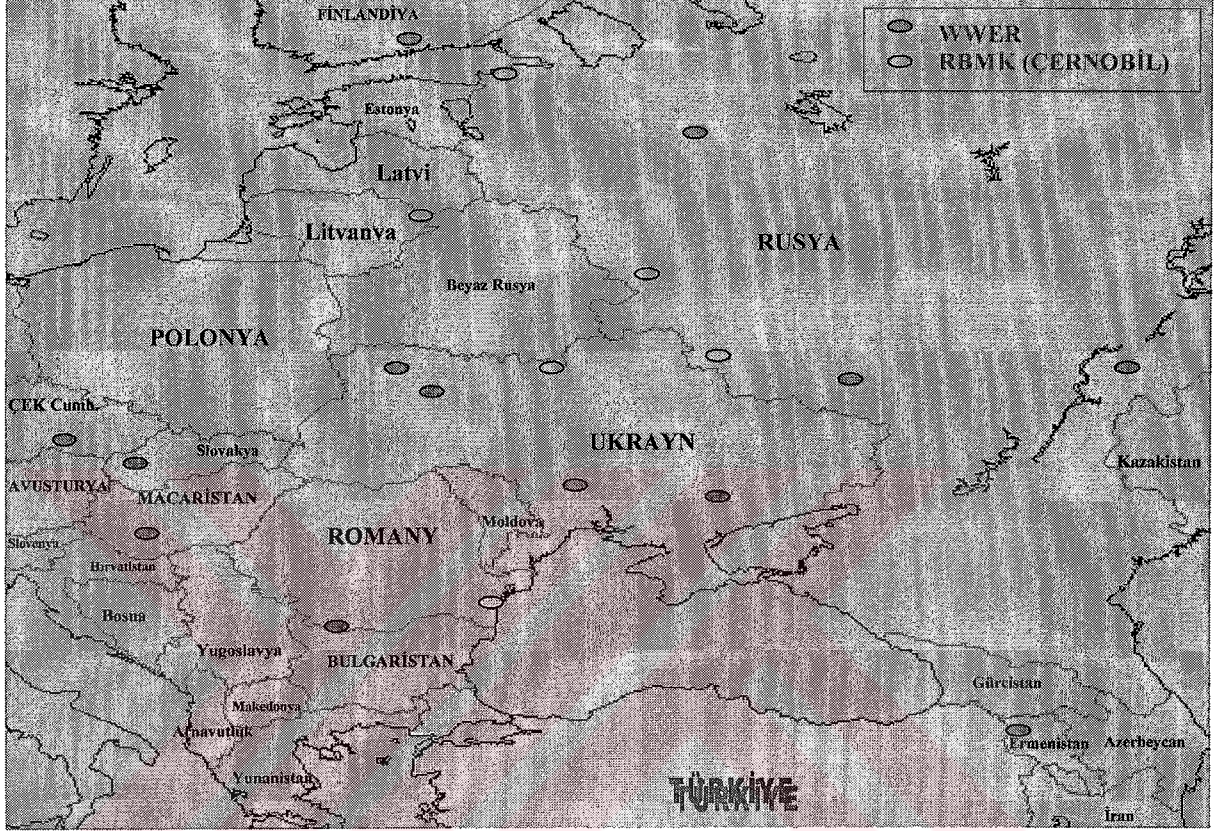
Evlerin yapıldığı arazide bulunan doğal uranyumun miktarı ve uranyum serisinin bir bozunma ürünü olan radonun ev tabanında bulunan aralıklardan eve sızması, evdeki yapı malzemesinden kaynaklanan radonun havaya karışması, ev içi radon konsantrasyonunun artmasının önemli etkenleridir. Ev içi gama radyasyonunun önemli bir kısmı bina yapısında kullanılan malzemeden kaynaklanır. Birçok ülkede, iç ve dış doğal radyasyon etkilerini en aza indirmek amacıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır. UNSCEAR 1993 raporunda dünya insanların maksimum alacakları ortalama yıllık ev içi gama ışınlamaları 1,2 mSv olarak belirtilmiştir.

Evlerde radonun solunması ile alınan dozlar, diğer doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlardan çok fazla olmaktadır. Radon konsantrasyonu coğrafik yerleşime, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağımlı olarak değişiklikler göstermektedir. Uranyum madencileri üzerinde yapılan araştırmaların radonun akciğer kanseri için ana sebep olduğunu ortaya koymasıyla, radona maruz kalma sınırlandırılmıştır. Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan, evlerde radon gazı seviyeleri ile radonun mevsimsel ve bölgesel değişimleri bilinmemektedir. 1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Bölümünce başlatılan, “Türkiye’de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi” kapsamında radon ölçüm çalışmaları tamamlanamamış olup, çalışmalar halen sürdürülmektedir.

Bilindiği gibi alınan radyasyon dozu arttıkça kanser olma riski de artmaktadır. Kanser riskinin azaltılması veya kontrol altında tutulabilmesi için insanların maruz kaldıkları radyasyonun sınırlandırılması ve dozun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, sunulan bu çalışmada Tekirdağ ilinde çevresel doğal radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Tekirdağ ilinin doğal gama ışınlama doz hızları, ev-içi radon konsantrasyonları, sularda toplam alfa ve beta radyoaktivitesi ve toprak örneklerinin içerdiği doğal radyoaktif çekirdekler ile  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyonları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Tekirdağ ili, gerek jeolojik konumu itibarıyla dikkat çekici bir bölge, gerekse Çernobil nükleer reaktör kazasından sonra radyasyona maruz kalan bir ilimiz olması nedeniyle incelemeye alınmıştır. Türkiye, özellikle de komşu ülkelerde kurulu reaktörler

(Şekil 1.2) nedeniyle radyoaktif kirliliğe maruz kalma riski ile karşı karşıyadır. Bu nedenle Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından, radyasyon güvenliğinin tespiti için, “Türkiye illeri doğal fon haritası çıkartılması projesi” başlatılmıştır. Sunulan bu çalışma da sözkonusu bu proje kapsamındadır.



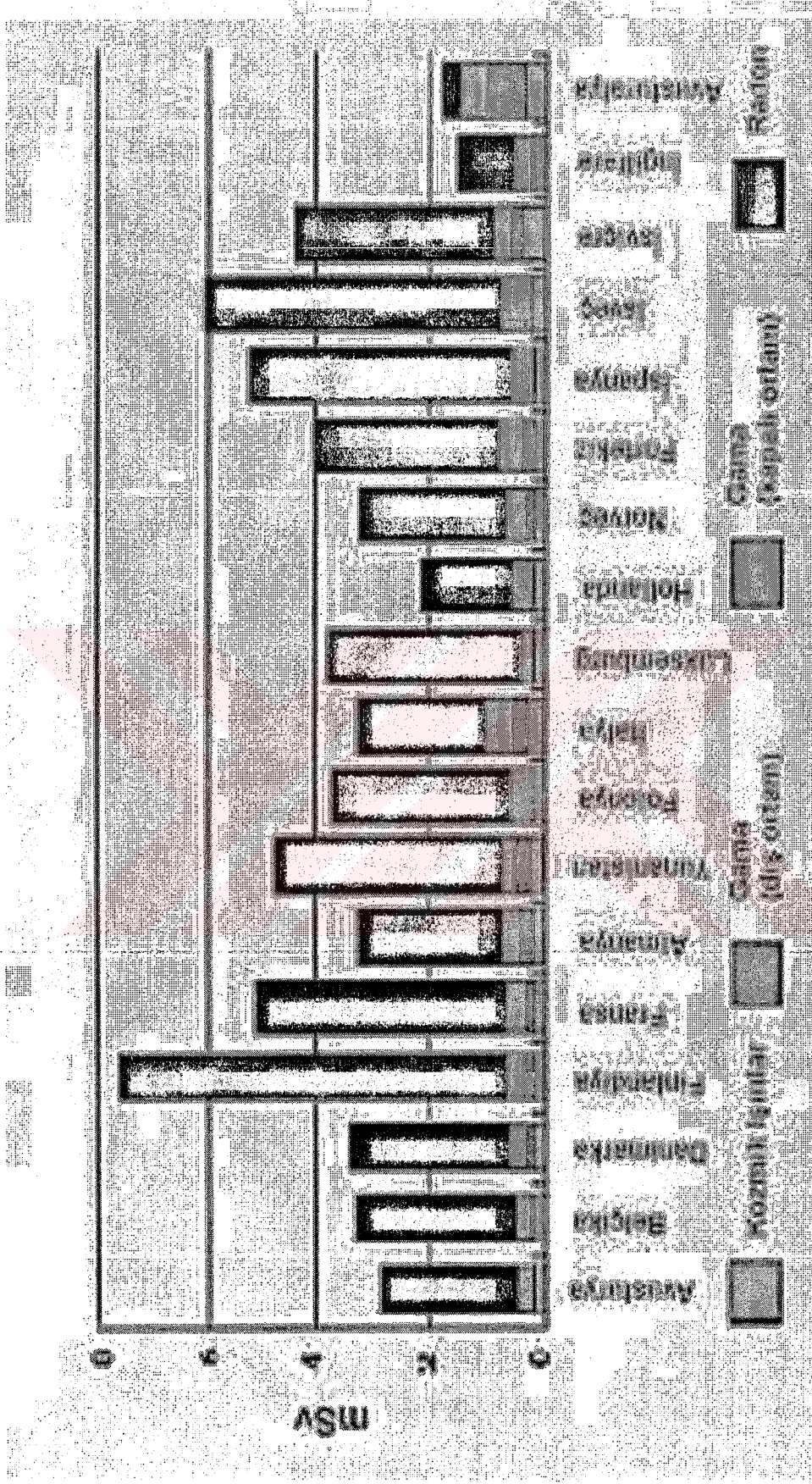
**Şekil 1.2** Çevremizdeki Rus yapımı nükleer santraller.

## 2. TEORİK BİLGİLER

### 2.1 Doğal Radyasyon

19. yüzyılın başlarında X-ışınlarının keşfi ile insanlar iyonlaştırıcı radyasyonlarla tanışmışlardır. Madde içinden kolayca geçebilen ve gözle görülmeyen bu ışınlara radyasyon denir. Diğer bir deyişle radyasyon, enerjinin, dalga veya parçacıklar halinde uzaya veya bir ortama yayılması olayıdır. Doğada bulunan çekirdeklerin bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararlı değildir. Bir çekirdeğin kararlılığını nötron ve proton oranları, düzenlenişleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları kuvvetler belirler. Bir kararsız çekirdek kendiliğinden bir başka element çekirdeğine dönüşürken radyasyon yayar. Radyasyonlar, parçacık ve dalga tipi radyasyonlar olarak iki şekilde sınıflandırılır. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon ise kütsesiz, elektromagnetik enerji paketçikleridir. Görünür ışık, dalga tipi radyasyonun bir örneğidir.

İnsan, vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden, özellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden dolayısıyla belli bir radyasyon dozuna maruz kalır. Doğal radyoizotoplar, vücuda, sindirim veya solunum yoluyla alınırlar. Vücuda sindirim yoluyla alınan radyoizotopların başında  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ 'nın bozunma ürünleri ve çok az oranlarda  $^{14}\text{C}$  ve  $^3\text{H}$  gelir. Potasyum, doğada, diğer radyoizotoplardan daha fazla oranla bulunmaktadır. Potasyum vücutta yaşamsal öneme sahip bir elementtir. 70 kilogram ağırlığındaki yetişkin bir insanda 140 milligram potasyum bulunur (UNSCEAR, 1988). Vücudun çeşitli organ ve dokularında bulunan potasyumun dağılımı kullanılarak bu organ ve dokulardaki  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonlarına karşılık gelen soğurulan doz şiddetleri hesaplandığında, kırmızı kemik iliğinin 270  $\mu\text{Gy}$  ile yıllık en yüksek soğurulan dozu, tiroidin ise 100  $\mu\text{Gy}$  ile en düşük soğurulan dozu almakta olduğu görülür. Yıllık etkin doz eşdeğeri ise 180  $\mu\text{Sv}$  olarak değerlendirilmektedir (ANDRASI, 1979). Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kalınan iç radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır (IAEA, 1996). Kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Değişik ülkelerde doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozlar Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Çeşitli ülkelerde doğal radyasyon kaynaklarından alınan yıllık dozlar ([www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr))

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin ( $^{226}\text{Ra}$ ) bozunması sırasında salınan “radon gazı”dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak, radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içerisinde, dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilmektedir. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl’dır (IAEA, 1996).

Doğal radyoaktif elementler genel olarak, kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Ayrıca, uzaydan gelen kozmik ışınların dünya atmosferinde bulunan gazlar ve yer kabuğu orijinli bazı radyoaktif çekirdeklerle reaksiyona girmeleri sonucu üretilen bazı radyoaktif izotoplar da vardır. Bunların en önemlileri  $^{14}\text{C}$  ve  $^3\text{H}$ ’tür. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar.

Uranyum serisi ( $^{238}\text{U}$  kaynaklı)  
 Toryum serisi ( $^{232}\text{Th}$  kaynaklı)  
 Aktinyum serisi ( $^{235}\text{U}$  kaynaklı)

$^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ ’un bozunma serileri Ek 1’de verilmektedir. Ayrıca, doğal seriler içerisinde yer almayan, dördüncü bir bozunma serisi olan neptünyum serisinin başlangıç elemanı  $^{241}\text{Pu}$ ’dır ve bir zamanlar mevcut olduğu zannedilmektedir.  $^{241}\text{Pu}$ ’in yarı ömrü 14 yıldır. Bu seride bulunan diğer elementlerin ömürlerinin çok kısa olduğu bilinmektedir. Neptünyum ailesinin halen doğal olarak varolan tek elementi  $^{209}\text{Bi}$  olup yarı ömrü  $2,7 \times 10^{17}$  yıldır. Yine bir zamanlar tabiatta mevcut olan ve yarı ömürleri çok kısa olan transuranik elementler bugün reaktörlerde nötronların  $^{238}\text{U}$  ile reaksiyona girmeleri sonucu üretilebilmektedirler.

## 2.2 Kozmik Radyasyonlar

Dünya varoluşundan beri sürekli olarak uzaydan gelen yüksek enerjili tanecikler tarafından devamlı bombardıman edilmektedir. Bu çekirdeklerin bir çoğu güneşten, bir kısmı da uzayın derinliklerinden ve hatta galaksilerin ötesinden gelmektedirler. Bu çekirdekler atmosferimizin içinde bulunan atomlarla etkileşmeye girerek “kozmogenik radyonüklitler” denilen yeni

radyonüklitler oluşturur. Kozmogenik radyonüklitlerin en önemlileri  $^3\text{H}$  ve  $^{14}\text{C}$ 'dir. Kozmik ışınların etkileşimi sonucu oluşan ikincil tanecikler ve gama radyasyonu dünyaya sürekli şekilde taşınmaktadır. Deniz seviyesinden daha yüksekte yaşayanlar daha yüksek miktarlarda kozmik ışınlara maruz kalırlar. Kayak yapanlar, dağcılar ve uçak yolculuğu yapanlar ile uçak personeli deniz kenarından yaşayanlara nazaran çok daha yüksek miktarlarda kozmik radyasyonlara maruz kalmaktadır (George, 1970, Özenç, 1990).

Süpernova patlamaları kozmik ışınların en önemli kaynağıdır. Yıldızlararası uzayda süpernova patlamalarının oluşturduğu şok dalgalarının etkisi ile hızlandırılan kozmik ışınlar rölativistik enerjilere ulaşabilmektedir. Kozmik ışınların şok dalgaları boyunca olan diffüzyonları ve şok dalgalarının sınırlı yaşama süresi nedeni ile galaktik kozmik ışınlar  $\sim 10^{15}$  eV olarak tahmin edilen belirli bir enerji değerine kadar hızlandırılabilirler (Özenç, 1990).

Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine girdiklerinde atmosferde bulunan bazı elementlerin çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucu başka ışınlar üretilir. Uzaydan gelen bu ışınlara "birincil ışınlar", atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen partiküllere de "ikincil ışınlar" denir. Galaktik radyasyonların %87'sini fotonlar, %11'ini alfa partikülleri, %1'ini bazı ağır çekirdekler ve %1'ini de yaklaşık  $10^{20}$  eV'luk enerjiye sahip elektronlar oluşturmaktadır. Galaktik kozmik radyasyonların, sadece yıldızlardan ve süper novaların patlamaları sonucu uzaya fırlatılan partiküllerden geldiği görüşünü savunanlar da vardır. Fakat bu görüş genel kabül görmemektedir. Kozmik ışın partikül enerjileri çoğunlukla  $10^2$  ile  $10^5$  MeV arasında değişmektedirler. Daha yüksek enerjilere sahip olanları da vardır. Bu enerji aralığı, solar sistem içindeki magnetik alanların değişiminden etkilenir. Ağır iyonlar, yüksek relatif verime ve yüksek atom numaralarına sahip oldukları için ışınlamalarda önemli yer tutarlar (Lune, 1989). Solar sistem içindeki kozmik radyasyonların şiddeti zamanla değişmektedirler. Bunun sebebi gezegenler arası ortam ve güneşte meydana gelen patlamaların sebep olduğu magnetik alanlardaki karışıklıklardır. Güneşteki büyük patlamalar 11 yıllık periyotlarla olmaktadır. Dünya etrafında bulunan jeomagnetik alan, uzaydaki farklı kaynaklardan gelen 0-16 GeV arasındaki enerjilere sahip partiküllerin atmosfere girmelerini engellemektedir (Karahan, 1997).

Kozmik ışın elektron ve pozitronları, birincil kozmik radyasyonunun ancak küçük bir bölümünü oluşturmalarına rağmen, yıldızlararası ve galaktik uzaydaki olgular hakkındaki

bilgilerimizin asıl kaynağını oluşturlar. Bunun nedeni, kozmik ışın elektronlarının kozmik ışın nükleonlarına göre yıldızlararası uzayda daha aktif olan davranışlarıdır (Webber, 1983).

Hidrojen ve Helyum doğada en çok rastlanan elementlerdir. Bu iki elementin miktarı doğadaki toplam madde miktarının %97'sini oluşturur. Hidrojen Helyum oranı her yerde yaklaşık olarak 10'dur. Lityum, Berilyum, Bor gibi elementler, komşu elementler olan Karbon, Nitrojen ve oksijene göre çok daha az miktarda bulunurlar. Hidrojen ve Helyum elementlerinden sonra en çok bulunan elementler  $\alpha$ -parçacıklarından oluşan Karbon ve Oksijendir (Audouze vd., 1978).

### 2.3 Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Radyoaktivite

Nükleer denemeler, kozmik etkileşmeler, nükleer kazalar, doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller yüzeğe yakın atmosferdeki radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. İnsanların üretimi sonucu ortaya çıkan hava kirlilikleri, toz fırtınaları, orman yangınları ve volkanik patlamalar ile atmosfere bırakılan toz ve küller atmosferdeki kirlenmeyi artırmaktadır. Nükleer patlamalar sonucunda fisyon ürünleri, kalıntı fisil malzeme ve aktivasyon ürünleri yüksek ısıda atmosfere karışırlar. Yeryüzüne yakın patlamalarda bu karışıma toprak ve kaya parçaları da katılır. Karışım havada yükselirken soğuma nedeniyle katılarak çok çeşitli boyutta radyoaktif partiküller oluşur. Bu partiküllerden geniş çapta olanları birkaç yüz kilometre uzaklığa kadar olan alan içine yağarak bölgesel serpinti (fallout) meydana getirirler. Küçük çaptaki parçacıklar aşağı troposfer tabakasına girerek yer yüzünde geniş çapta radyoaktif kirlenmeye neden olurlar (Köksal, 1999).

İkinci dünya savaşından hemen sonra nükleer enerji alanında meydana gelen hızlı gelişmeler ve buna paralel olarak başlayan nükleer silahlanma yarışı ve halen yapılmakta olan nükleer denemeler atmosfere çok miktarda radyoaktif toz ve parçacıkların atılmasına neden olmaktadır. Bu tür denemeler özellikle atmosferde, 30 km'den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmelere sebep olmaktadır (Eisenbud, 1964). Atmosfere bırakılan radyoaktif kirlilikler, bazı atmosferik şartlarda kirlenmiş havanın yere çok yakınlaşmasına ve insanlar tarafından teneffüs edilmelerine ve dolayısıyla radyasyona maruz kalmalarına sebebiyet vermektedir. Yine yüksek aktiviteli radyoaktif partiküller zamanla yere düşmekte ve böylece bitkilerin de kirlenmelerine yol açmaktadır. İnsanların bu bitkileri vücutlarına almaları durumundan sağlık açısından başka bir risk meydana gelmektedir. Atmosfere atılan kara kökenli bu toz ve partiküllerin çoğu doğal radyoaktif madde içermektedir. Özellikle,

volkanik patlamalarla yer kabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küllerde, rüzgar ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlarda ve termik santrallarda yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir. Bunlar, yüzeye yakın atmosferin radyoaktivite yönünden de kirlenmesine neden olmaktadır (Karahana, 1997). Atmosferde bulunan radyoaktif maddeler radyoaktif yağışlarla yere düştüklerinde bitki yaprakları tarafından da tutulurlar. Bitkilerin, hayvanlar tarafından tüketilmesiyle de bu radyoaktif maddeler dolaylı olarak insan vücuduna girerler. Bu da insan sağlığı için başka bir risk oluşturmaktadır.

#### 2.4 Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları

Çevresel radyasyonların canlılar üzerindeki etkileri genellikle dış ışınlamalarla olmakla beraber iç ışınlamalarla da olmaktadır. Uranyum, toryum ve  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyoaktif çekirdeklerin birim kütle başına aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Bir radyoaktif çekirdeğin birim kütle başına aktivite konsantrasyonu, yer seviyesinden 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir (Beck, 1982). Dış gama ışınlamaları, kütle aktivite konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla havada ölçülen soğurulmuş radyasyon dozu, radyoaktif çekirdeklerin topraktaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Dış ışınlama hesapları topraktaki radyoaktif çekirdeklerin bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi durumuna göre yapılmaktadır (Karahana, 1997).

Bilindiği gibi, dünyanın kendisi de bir radyasyon kaynağıdır. Yere ait radyasyon, yer kabuğundaki kayalardan gelir. Granit, kumtaşı ve kireçtaşı gibi bazı kayalar uranyum, toryum ve bunların bozunma ürünleri ile Potasyum-40 gibi doğal radyoaktif maddeleri içerir. Bu kayalardan oluşan toprakta da aynı doğal maddeler bulunur. Topraktan yapılan binalar da ana kayalar kadar radyoaktiftir.

Tuğla ve beton gibi malzemeden yapılmış diğer binalar da keza hafif radyoaktiftir. Bütün bunlardan dolayı maruz kalınan radyasyon dozu, yerin jeolojik yapısına ve oturulan evin yapısında kullanılan inşaat malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kayalarda, toprakta ve inşaat malzemelerinde bulunan uranyum ve toryumun bozunması ile radon ve toron radyoaktif gazları meydana gelmektedir. Radon, toron'a nazaran çok daha tehlikelidir. Çünkü radonun torona göre yarıömrü daha fazladır. Akciğer kanserine yakalanma riskini arttırmaktadır. Oluşan bu gazlar açık havaya sızarak dağılırlar. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan bu gazlar bina dışına kaçamazsa bina içindeki konsantrasyonları artacaktır.

Bundan sakınmalı veya iyi bir havalandırma ile bu birikim en alt düzeyde tutulmalıdır. Kötü havalandırılmalı ve çok iyi yalıtılmış binalar radon tehlikesi bakımından oldukça kötüdür.

Radon ve toron bir seri bozunma ile sonuçta radyoaktif olmayan maddelere dönüşürler. Bu seri bozunum esnasında meydana gelen radyoaktif maddeler havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak solunum yoluyla akciğerlerin iç yüzeylerine girerler ve bu katı radyoaktif maddeler vücut içerisinde radyoaktif bozunuma devam ederler. Bu bozunum esnasında oluşan bir kısım radyoaktif maddeler alfa, bir kısmı da beta ve gama ışını yayarlar. Bu durum, vücutun dıştan ısıtılmasına nazaran çok daha tehlikelidir. Kömür madenleri gibi yeraltında çalışanlar, yüksek düzeyde radon ve toron'dan dolayı daha fazla radyasyon dozuna maruz kalırlar. Bu da yaklaşık 1.2 mSv'lik bir ilave doz demektir ([www.taek.gov.tr/rgs](http://www.taek.gov.tr/rgs)).

Yenilen, içilen her şey biraz radyoaktiftir. Toprakta ve suda bulunan doğal radyoaktif maddeler su ile birlikte bitkilere geçer. Bu bitkileri tüketen hayvanlarda bir miktar radyoaktif hale gelir. İnsan vücudu da, beslenme zincirinde bulunan besinler kanalıyla bir miktar radyoaktivite içerir.

## 2.5 Ev İçi Gama Radyasyonları

Bilindiği gibi insanlar zamanlarının çoğunu kapalı mekanlarda geçirirler, bu yüzden ev içi radyasyon seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ev içi gama ışınları temel olarak, bina yapılarında kullanılan malzemelerin içerdiği radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır. Bina yapımında kullanılan taş, tuğla, beton ve diğer malzemeler ev içi radyasyon seviyelerini önemli ölçüde etkiler. Eğer bina ahşaptan yapılmış ise ev içi gama radyasyon doz değerleri, ev dışı ortamla hemen hemen aynı değeri göstermektedir (UNSCEAR, 1988).

Ev içi gama radyasyonu ölçümlerinde duvar kalınlıkları, oda veya ev büyüklükleri, kapı ve pencere boyutları ve kullanılan malzemenin neden yapıldığı da ev içi ortamda ölçülen soğurulmuş dozu etkilemektedir. Ev içi hava ortamında ölçülen soğurulmuş dozu genele yaymak için farklı malzemelerden yapılmış meskenlerin bağıl olarak sayılarının tespit edilmesi gereklidir (Benson vd., 1970).

## 2.6 Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Topraktaki radyoaktif çekirdek konsantrasyonunun büyük bir kısmı radyoaktif kaya oluşumlarından kaynaklanmaktadır. Volkanik kayaların aktivite konsantrasyonları genellikle tortul kayalarından daha yüksektir. Tortul kayaların aktivite konsantrasyonlarının da fosfat kayalarından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ortalama olarak aktivite konsantrasyonu,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi elementlerin yüksek yoğunlukta bulunduğu topraklarda görülmektedir. Ortalama dış gama ışınlarının yerden 1 m yükseklikte ölçülen doz hızı  $4,4 \times 10^{-8}$  Gy/h ve buna bağlı olarak bu değere  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktiviteleri dolayısıyla yapılan katkı oranları sırasıyla, yaklaşık olarak, %35, %25 ve %40 olarak tahmin edilmektedir (UNSCEAR, 1988).

Dünya yaklaşık 4.6 milyar yıl önce oluştuğunda, yapısında bir çok radyoaktif maddeler bulunmaktaydı. Bu zamana dek kısa ömürlü izotoplar bozunup yok olmuşlardır. Ancak uzun ömürlü radyoizotoplar (100 milyon yıl veya daha fazla) halen mevcuttur. Doğal radyoaktif çekirdekler özellikle granit, volkanik, fosfat ve tuz kayalarında yüksek yoğunlukta bulunmaktadır. Bunun yanında en düşük radyoaktivite konsantrasyonu kireç kayalarında bulunmaktadır. Başkalaşım kayaları ise oluştukları kayaların konsantrasyonuna sahiptirler. Çizelge 2.1'de kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan gama radyasyon doz oranları verilmektedir. Öte yandan topraktaki radyoaktiviteyi tarımda verimi arttırmak için kullanılan ve içeriğinde  $^{32}\text{P}$  gibi radyoaktif elementler bulunduran suni gübreler de arttırmaktadır (NCRP, 1975).

**Çizelge 2.1** Kayalarda radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan  $\gamma$  radyasyon doz şiddetleri (NCRP, 1977)

| Kaya Tipi      | Doz şiddeti ( $\text{mSv saat}^{-1}$ ) |                  |                   |                 |
|----------------|----------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
|                | $^{226}\text{Ra}$                      | $^{238}\text{U}$ | $^{232}\text{Th}$ | $^{40}\text{K}$ |
| Volkanik       | 2.4                                    | 2.6              | 3.7               | 3.5             |
| Tortul Kayalar |                                        |                  |                   |                 |
| Kumtaşı        | 1.3                                    | 0.7              | 1.8               | 1.5             |
| Tabaklı        | 2.0                                    | 0.7              | 3.1               | 3.6             |
| Kalkerli       | 0.7                                    | 0.8              | 0.4               | 0.4             |

Topraktaki radyoaktiviteye sebep olan üç önemli doğal radyoizotoplar  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  dir.  $^{40}\text{K}$  hariç bütün doğal radyoaktif elementler bu üç aileden birinin üyesi olmaktadır. Her üç radyoaktif ailede ortak olarak birçok uzun ömürlü üye, bir gaz üye bulunmakta ve her üç aile de bir kararlı kurşun izotopu ile sona ermektedir (Smith, 1961).

Karasal ölçümlerde, yeryüzünden 1 m yükseklikte  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'un ortalama aktivite kütle konsantrasyonlarına karşılık gelen soğurulmuş doz şiddetleri Çizelge 2.2'de verilmiştir (UNSCEAR, 1988).

**Çizelge 2.2**  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğurulan doz şiddetleri (Myrick vd., 1983)

| <b>Radyonüklit</b> | <b>Ortalama Aktivite<br/>Kütle Konsantrasyonu<br/>(Bq.kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>Havada<br/>Soğurulan doz<br/>Şiddeti (nGy h<sup>-1</sup>)</b> |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| $^{40}\text{K}$    | 370 (100-700)                                                              | 16 (4 –30)                                                       |
| $^{238}\text{U}$   | 25 (10-50)                                                                 | 11 (4-21)                                                        |
| $^{232}\text{Th}$  | 25 (7-50)                                                                  | 17 (5-33)                                                        |

Bir hacimlik ( $7,894 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) topraktan bulunan doğal tipik radyoaktivite değerleri Çizelge 2.3 te verilmiştir. Burada belirtilmesi gereken önemli bir husus, aktivite seviyelerinin toprağın cinsine kuvvetle bağlı olmasıdır.

Radyoaktivitenin toprakta kalma ve diğer ortamlara geçme süreleri, toprağın jeolojik fiziksel ve kimyasal yapısına, yörenin meteorolojik şartlarına bağlı olmakla birlikte toprağa ulaşan radyoaktif çekirdeğin kimyasal oluşumu ile de ilgilidir (OECD, 1979).

Toprakta bulunan mikro organizmaların bazı radyonüklitleri yok ettikleri, bu radyonüklitlerin mikrobial hücre zarlarından geçerken kompleks yaptıkları, bu nedenle de daha kolay çözünür hale geldikleri ve dolayısıyla radyonüklitlerin başka ortamlara taşınmalarını kolaylaştırdıkları saptanmıştır (Cougherty, 1985). Radyoaktivitenin topraktaki taşınımında arazi üzerindeki bitki örtüsünün rolünü araştıran çalışmalar, Çernobil kazasından sonra serpinti ile toprağa ulaşan radyoaktivitenin, çalılık arazide çıplak araziden daha fazla biriktiğini göstermiştir (Bunz vd, 1988). Bugüne kadar açıkta yapılan nükleer silah denemelerinde fallout ile Kuzey

Yarımkürede de  $m^2$ 'ye 70.000 mCi kadar Cs-137 düştüğü saptanmıştır (Farber, 1990). Almanya'da yapılan bir araştırmada, 1984 yılına kadar nükleer silah denemelerinden serpinti ile toprağa ulaşan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ormanlık arazideki birikiminin meralardan dokuz kat daha fazla olduğu gözlenmiştir (Bunz vd, 1988). Çernobil'den sonra  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin topraktaki dikey ilerleme hızlarının 0.2-0.3 cm/saat olduğu saptanmıştır (Schimmack, 1989).

**Çizelge 2.3** Bir hacimdeki ( $7,894 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) doğal radyoaktivite (Brodsky, 1978)

| Nüklit   | Aktivite için kullanılan hesaplar       | Nüklit Kütlesi | Bir hacimlik toprakta bulunan aktivite. |
|----------|-----------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|
| Uranyum  | 0.7 pCi/g (25Bq/kg)                     | 2.200 kg       | 0.8 Curies (31 GBq)                     |
| Toryum   | 1.1 pCi/g (40Bq/kg)                     | 12.000 kg      | 1.4 Curies (52GBq)                      |
| Potasyum | 11 pCi/g(400 Bq/kg)                     | 2000 kg        | 13 Curies (500GBq)                      |
| Radyum   | 1.3 pCi/g (48 Bq/kg)                    | 1.7 g          | 1.7 Curies (63 GBq)                     |
| Radon    | 0.17 pCi/g (10kBq/m <sup>3</sup> ) soil |                |                                         |
|          |                                         | Toplam         | >17Curies (>653 GBq)                    |

Toprak ve kayalar içinde değişik oranlarda toryum ve uranyum ile bunların bozunma ürünleri bulunur. Bazı granit ve volkanik kayalarda bulunan yüksek konsantrasyondaki radyum en önemli radon kaynaklarındandır. Toprak, aynı zamanda, uranyum ve fosfat madenlerindeki işlemlere bağlı olarak da kirlenmiş olabilir. Radonun ev içine girmesinde en büyük etken ise basınca bağlı akımın olmasıdır. Bu akımın oluşması, toprak ile kapalı alan arasındaki basınç farkı, toprak ile ilişkide bulunan ev yüzeyinin sağlamlığı, topraktan salınan radonun miktarı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Ennemoser, 1995).

Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar bu kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonlarının oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. ABD'nin Coloroda bölgesinde havada ölçülmüş gama radyasyon dozu 80-160 nGy/saat, Brezilya'da 50-1580 nGy/saat,

İtalya'da 70-500 nGy/saat, İsveç'te 20-4000 nGy/saat, Hindistan'da 20-1100 nGy/saat civarındadır (UNSCEAR, 1988). Gama radyasyon doz değerlerinden anlaşılacağı gibi, bu ülkelerde doğal radyasyon seviyeleri diğer ülkelere göre daha yüksektir. Bu ülkelerde yaşayan insanların doğal kaynaklardan aldıkları yıllık radyasyon dozları da diğer ülkelerde yaşayan insanlara nazaran çok daha fazladır.

Toprakta mevcut olan radyoaktivite biyokimyasal proseslerle biraz değişir. Bitki-kök sistemlerindeki gelişme bir taraftan topraktaki doğal dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan almaktadır. Hümik asit (toprakta bulunan bir çeşit asit) kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyonüklitlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri, kayalardaki radyonüklid konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır (NCRP, 1975). Toprak içinde bulunan doğal radyonüklitler, toprak içindeki oranlarına göre ortam veya çevre doğal radyasyonunun temel seviyesini değiştirirler ve o oranlarda da insanların doğal radyasyonlara maruz kalmalarına sebep olurlar (Karahan, 1997).

## 2.7 Sulardaki Radyoaktivite

Canlıların, her türlü gereksinimleri için kullandıkları su molekülü, genel formülü  $H_2O$  olan hidrojen ve oksijen elementlerinden oluşmuştur. Su içinde, katyon (pozitif yüklü iyon) ve anyon (negatif yüklü iyon) olarak erimiş tuz bulunmaktadır. En yaygın erimiş katyonlar, sodyum ( $Na^+$ ), kalsiyum ( $Ca^{+2}$ ), magnezyum ( $Mg^{+2}$ ) ve potasyum ( $K^+$ )'dır. Klorür( $Cl^-$ ), bikarbonat ( $HCO_3$ ) ve sülfat yaygın olarak bilinen anyonlardır.

Oluşum ve içeriğinde bulunan maddelere göre doğal sular; yağmur, kar v.b. meteor suları, yeraltı suları, nehir, göl, deniz gibi yeryüzü suları, kaynak suları olarak sınıflandırılabilir. Yağmur ve kar suyu gibi meteorolojik sular, doğal sular içinde en temiz olanıdır. Ancak bunlar da başlıca havayı oluşturan gazları, hidrolojik çevrim sırasında yolu üzerinde rastladıkları bütün maddeleri, gaz ise çözünürlükleri oranında diğer maddeleri de çözelti veya karışık halde sürüklerler. Şehir ve sanayi bölgeleri yakınına düşen yağmur ve özellikle kar sularında  $SO_2$  ve sülfat asidi bulunur. Bu nedenle, yağmur ve kar suları, radyoaktif ve kimyasal kirlilik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir

(Gonzalaes, 1989). Suların kullanım oranları yüzde olarak Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere için Çizelge 2.4'te verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

**Çizelge 2.4** Kaynak çeşitlerine göre suların kullanım oranları (UNSCEAR, 1993)

| Kaynak Çeşidi | Kullanım Oranı (%) |           |
|---------------|--------------------|-----------|
|               | A.B.D.             | İngiltere |
| Yüzey suyu    | 50                 | 66        |
| Yeraltı suyu  | 32                 | 34        |
| Kuyu suyu     | 18                 | 1         |

Su, yeryüzünün dörtte üçünü oluşturmaktadır, insan vücudunun da dörtte üçünü su oluşturur. Su yaşamın temeli olup, canlıların tüm bedensel işlevleriyle de doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla insan sağlığı açısından özellikle içme sularının radyoaktivite değerlerinin tespiti son derece önemlidir.

Sulardaki radyoaktivite önemli ölçüde su yataklarındaki doğal radyoizotopların, radyoaktif yağışlardan, nükleer ve radyolojik kuruluşlardan kaynaklanmaktadır. Bu radyoaktivite düzeyi bazen sağlık açısından tehlike oluşturabilecek boyutlara varmaktadır (ICRP, 1977).

Geçmiş yıllarda havada yapılan nükleer silah denemeleri nedeniyle atmosfer ve stratosfere yerleşen  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  gibi radyoaktif fisyon ürünleri ile kirlenmiş olan bulutların, radyoaktif serpinti halinde zamanla yeryüzüne inerek, çevrenin ve özellikle yüzey sularının kirlenmesine yol açtığı bilinmektedir. Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar 1970 yılından itibaren azalmaya başlamıştır. Nükleer ve radyolojik kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınması ve bunların denetimsiz olarak çevreye verilmesi veya kaza durumlarında radyoaktif sızıntı meydana gelmesi, çevre kirliliğine neden olmakta, içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır.

Sularda birçok radyoaktif element bulunmaktadır. Ancak bu radyoaktif elementlerin çoğu radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda bulunmamaktadır. Suların doğal radyoaktiviteleri, içinden geçtikleri veya temas halinde bulundukları radyoaktif kütleler veya minerallerden ileri gelmektedir (Eisenbud, 1963).

Genellikle volkanik kütleler içinden geçip gelen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden gelen sulara nazaran daha yüksektir. Sularda en fazla uranyum serisi elementleri bulunmaktadır.  $^{40}\text{K}$  dışında suyun doğal radyoaktivitesinin hemen hemen tümünü uranyum ailesi elementleri olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  ile  $^{222}\text{Rn}$ 'un kısa ömürlü bozulma ürünleri oluşturmaktadır.  $^{226}\text{Ra}$ 'un bozulması ile oluşan ve yarı ömrü 3.82 gün olan radyoaktif  $^{222}\text{Rn}$  gazı, daha ziyade yer altı sularında olmak üzere, sularda çok yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Finlandiya'nın Helsinki bölgesinde bulunan bazı sondaj kuyularının  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonları 0.22 kBq/l ile 44.4 kBq/l arasında ölçülmüştür (Asikainen, 1980).

Radon'un asal bir gaz olması ve su yüzeyinden kolayca havaya kaçması nedeniyle, yüzeysel sularda  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonları, insan sağlığı bakımından önem taşımayacak derecede düşük düzeylerde bulunmaktadır. Radyasyon sağlığı bakımından  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  radyoaktivite konsantrasyonları önemli addedilmektedir. Kimyasal toksitesinden dolayı sularda yüksek konsantrasyonlarda uranyum bulunması insan sağlığı için zararlı olmaktadır.

Literatüre göre aktinyum serisi elementleri sularda ölçülebilecek konsantrasyonlarda bulunmamaktadır. Buna karşılık toryum serisi elementleri çok düşük konsantrasyonlarda bulunabilmektedir (Smith, 1961).

Radyoizotopların temel hareket mekanizmasını sağlayan hidrosfer, temel seviye radyasyonunun belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoizotopları çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri sulardaki doğal radyoaktiviteyi arttırmaktadır. Yüzey sularında akış hızlarının çok güçlü olması, içinde asılı bulunan partiküllerdeki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyonüklitleri kil minerallerinin taşınmasını sağlamaktadır (Sayre, 1969). Akan sulardan çıkan radonun ortamdaki konsantrasyonu, atmosfere dağılırken, mesafe ile logaritmik olarak azalır (Rogers, 1958). Yer altı sularında suyun akışı güçlü değildir. Bu sular içinde asılı kalan partiküller filtre edilebilirler (Erikson, 1962).

Günümüzde nükleer tesislerin normal çalışma durumunda, radyoaktif atıklar için tatminkar önlemler alınmasına rağmen bir kaza durumunda çok geniş boyutlarda radyoaktif kirlenme meydana gelebilmektedir. Çernobil nükleer reaktör kazası, sadece kazanın meydana geldiği çevrede değil, uluslararası boyutlarda hatta bütün kuzey yarımkürede radyoaktif kirlenmeye yol açmıştır.

Sularda bulunan radyoizotopların ve iyonlaştırıcı radyasyonun ölçümü çevre açısından ayrı bir önem arz etmektedir. Bu ölçümler; doğal radyasyon ve insan faaliyetlerinin neden olduğu yapay radyasyonun tayini, ülkelerin yönetmelik sınırlamalarına uygunluğunun tespiti, çevresel doğal radyasyonun bileşimi ve insanların neden olduğu radyoizotopların çevresel ortamlardaki transferi ve tutulması çalışmaları için yapılması gerekli ölçümlerdir.

Çevresel radyoaktivite genellikle düşük seviyelerde olduğundan ölçüm tekniklerinin hassas ve güvenilir olması gerekmektedir. Ayrıca ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumu, çevresel radyasyon alanları ve radyoizotopların dağılımının bilinmesi ile mümkün olacaktır. Bunlar, doğada bulunan radyoizotopların bozunum özellikleri, çevre ile etkileşimi ve radyasyon transport fiziği gibi bilgileri içermektedir (NCRP, 1976). Sularda radyoaktivite tayininde, doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlere göre daha kısa olması nedeniyle, çoğu kez gama tayini yapılmamaktadır. Buna karşın, alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeniyle, sular için üzerinde önemle durulan bir konu durumundadır. Nitekim, standartlarda da alfa ve beta radyoaktivite seviyelerine ilişkin limitler belirlenmiştir (TS 266, 1988).

Bu bağlamda, çevresel bakımdan, suların radyoaktif kirliliğinin saptanmasında ilk olarak alfa ve beta radyoaktivite ölçümlerinin yapılması gerekli olmaktadır. Bu kirliliğin kaynağını bulmak, çevre sağlığı açısından kirliliğin önemli olduğu yerlerde ayrıntılı ve hassas ölçümler yapmak ve radyoizotop analizi yapılması diğer önemli konuları oluşturmaktadır.

## 2.8 Radon

Radon, doğal radyasyon kaynaklarından olan 4.5 milyar yarı yıl yarı ömre sahip Uranyum-238 ailesinin bir elemanı olup, bu serideki tek radyoaktif gazdır. Yarı ömrü 3.8 gündür. Radon, yarı ömrü 1600 yıl olan Radium-226'nın alfa yayınlayarak bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Radonun bozunması ile alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) yayınlayan, kısa yarıömürlü radon ürünleri olan  $^{218}\text{Po}(\text{RaA})$ ,  $^{214}(\text{RaB})$ ,  $^{214}\text{Po}(\text{RaC})$  meydana gelir. Radon elementi, uranyum, toryum ve aktino-uranyum doğal radyoaktif serilerinin her birinde yer alan bir bozunma ürünüdür ve ait olduğu serinin başlangıç elementinin adından uyarlanan radon, toron ve aktinon isimleri ile anılmaktadır. Radon izotoplarının özellikleri ilişkin bilgi Çizelge 2.5' te verilmiştir.

**Çizelge 2.5** Radon izotoplarına ilişkin özellikleri (CLS, 1999)

| Serinin Başlangıç Elementi | Ana Element | Ürün Element | Adı     | Yarı ömrü   |
|----------------------------|-------------|--------------|---------|-------------|
| U-238                      | Ra-226      | Rn-222       | Radon   | 3.82 gün    |
| Th-232                     | Ra-224      | Rn-220       | Toron   | 55.6 saniye |
| U-235                      | Ra-223      | Rn-219       | Aktinon | 3.96 saniye |

Radon binalara; toprak, binanın civarı veya altındaki kayalar, bina malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan girer. Radonun binalara girişi, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla ya da binanın altındaki topraktan, yayılma yoluyla olmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde kısaca radon kaynakları olan bazı ana elementler kısaca açıklanmıştır.

#### 2.8.1.1 Uranyum-238

Uranyum-238, 14 bozunma ürünü olan uranyum serisinin başlangıç elementidir. Uranyum tüm kayalarda ve topraklarda bulunmaktadır. Çizelge 2.6'da toprak ve kaya çeşitlerinin tipik radyoaktivite konsantrasyonları verilmektedir. Florida'nın fosfat kayaları (120 ppm), ticari uranyum kaynağı olarak kullanılmaktadır. Sularda uranyumun bulunması onunla temas halinde olan toprak veya kayalardan gelmektedir. Atmosferde, uranyum kaynağının varlığı topraktan gelen toz parçacıklarının havada asılı kalmasından kaynaklanmaktadır (NCRP, 1977). Uranyumun varlığı radon gazlarının bir habercisidir.

#### 2.8.1.2 Toryum-232

Toryum 232, 12 bozunma ürünü olan toryum serisinin başlangıç elementidir.  $^{232}\text{Th}$  serisi,  $^{238}\text{U}$  serisi ile benzer bir bozunma zincirine sahiptir. Her iki bozunma serisi de aynı elementleri (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) ve aynı orantıda  $\alpha$ -parçacığı yayınlar.  $^{232}\text{Th}$  ile  $^{238}\text{U}$  serileri arasındaki temel fark ise  $^{232}\text{Th}$ 'nin yarılanma ömrünün daha büyük olmasıdır.  $^{232}\text{Th}$  serisinin topraktaki radyoaktivite konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu ile yaklaşık olarak aynı değerde olup dünya ortalaması 25-30 Bq/kg civarında değişmektedir (UNSCEAR, 1982).

**Çizelge 2.6** Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (NCRP, 1977)

| Kaya Tipleri                 | Uranyum Konsantrasyonu (ppm) |
|------------------------------|------------------------------|
| Volkanik Kayalar             | 3,0                          |
| Fosfat Kayalar(Florida)      | 120,0                        |
| Fosfat Kayalar(Kuzey Afrika) | 20-30                        |
| Granit                       | 4,0                          |
| Kireçtaşı                    | 1,3                          |
| Tortul Kayalar               | 1,2                          |

### 2.8.1.2 Radyum-226

Radyum-226 bir  $\alpha$ -yayınlayıcısı olup, yarı ömrü 1600 yıldır. Radyum ve ürünleri insanların dış ve iç ışınlanmalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerindendir. Radyum vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli ışınlamaktadır (Lucas, 1991). Radyum da uranyum serisinin bir bozunma ürünü olduğundan toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmakta ve oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. Radyum, uzun yarı ömürlü olması nedeniyle,  $^{222}\text{Rn}$  oluşumunda bir üreteç görevi yapar ve genellikle radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur  $^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$  ise uzun yarı ömrüyle bu bozunma zincirini etkin bir şekilde korur. Yüksek konsantrasyonlu radon ve bozunma ürünlerinin uzun süre solunması ve yutulması, önemli bir sağlık riski oluşturabilmektedir (Thomas, 1985).

Radyum radyoaktif bozunma sonucunda yarı ömrü 3.8 gün olan radyoaktif radon gazına dönüşür (Çizelge 2.7). Radonun bozunması ile alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) yayınlayan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri olan  $^{218}\text{Po}(\text{RaA})$ ,  $^{214}\text{Pb}(\text{RaB})$ ,  $^{214}\text{Bi}(\text{RaC})$ , ve  $^{214}\text{Po}(\text{RaC}')$  meydana gelir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan  $^{218}\text{Po}(\text{RaA})$  atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğiliminde olduğundan  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Po}$  atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa yapışmış haldedirler. Radonun bozunma ürünlerinin, genellikle akciğer mukozasına yerleşerek akciğer kanseri riskini arttırdığı bilinmektedir. Radon ve ürünlerinin yarattığı tehlikeye genellikle uranyum madenlerinde rastlanır. Uranyum madenlerinde çalışan işçilerin akciğer kanserine yakalanma olasılıkları yüksektir (CBEIR, 1990).

Radyum toprakta bozunduğu zaman oluşan radon, önce toprak partiküllerinden hava dolu gözeneklere kaçar ve bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder. Radon gazının atmosfere geçebilmesi, maddenin gözenekleri arasında yayılması ile mümkündür. Bazı radon atomları, kapalı gözeneklerin içine girerler ve buralardan kaçamazlar (Meggitt, 1983).

**Çizelge 2.7**  $^{222}\text{Rn}$  ve bozunma ürünlerinin özellikleri (CBEIR, 1990).

| İzotopik Gösterimi       | Radyasyon Tipi  | Yarı Ömrü            | Bozunma Sabiti( $\text{dak}^{-1}$ ) |
|--------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------------|
| $^{222}\text{Rn}$ (Rn)   | $\alpha$        | 3,82 gün             | $1,26 \times 10^{-4}$               |
| $^{218}\text{Po}$ (RaA)  | $\alpha$        | 3,05 dak             | $2,27 \times 10^{-1}$               |
| $^{214}\text{Pb}$ (RaB)  | $\beta, \gamma$ | 26,8 dak             | $2,59 \times 10^{-2}$               |
| $^{214}\text{Bi}$ (RaC)  | $\beta, \gamma$ | 19,7 dak             | $3,52 \times 10^{-2}$               |
| $^{214}\text{Po}$ (RaC') | $\alpha$        | $1,6 \times 10^{-4}$ | $2,77 \times 10^{-5}$               |
| $^{210}\text{Pb}$ (RaD)  | $\beta$         | 22 yıl               | -                                   |

### 2.8.2 Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Solunan radon gazı, radyoaktif bozunmaya uğradığında, akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur.

Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Hem sigara içen hem de yüksek dozda radona maruz kalan kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski de azaltılmış olacaktır (Yücel vd., TAEK).

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden ise 15.000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış

herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (EPA, 1992).

Çizelge 2.8’de çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. Çizelge 2.9’da ise evlerde ölçülen ortalama radon konsantrasyonları verilmektedir (UNSCEAR, 2000).

**Çizelge 2.8 Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m<sup>3</sup>)**

|                   |     |                   |     |                |     |
|-------------------|-----|-------------------|-----|----------------|-----|
| <b>A.B.D.</b>     | 150 | <b>Hindistan</b>  | 150 | <b>Norveç</b>  | 200 |
| <b>Almanya</b>    | 250 | <b>İngiltere</b>  | 200 | <b>Rusya</b>   | 200 |
| <b>Avustralya</b> | 200 | <b>İrlanda</b>    | 200 | <b>Türkiye</b> | 400 |
| <b>Çin</b>        | 200 | <b>İsveç</b>      | 200 | <b>AB*</b>     | 400 |
| <b>Danimarka</b>  | 400 | <b>Kanada</b>     | 800 | <b>ICRP**</b>  | 400 |
| <b>Fransa</b>     | 400 | <b>Lüksemburg</b> | 250 | <b>WHO***</b>  | 100 |

\*Avrupa Birliği

\*\*Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

\*\*\*Dünya Sağlık Örgütü

### 2.8.3 Ev-İçi Radon Konsantrasyonu Limitleri

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %90’ını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar (Yücel vd., TAEK).

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünür. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000’de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini artırıcı etmenlerden birisidir (Yücel vd., TAEK).

**Çizelge 2.9** Farklı ülkeler için ev içi ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m<sup>3</sup>)

|                   |     |                  |     |                   |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|-------------------|-----|
| <b>ABD</b>        | 46  | <b>Fransa</b>    | 62  | <b>Macaristan</b> | 107 |
| <b>Almanya</b>    | 50  | <b>Hindistan</b> | 57  | <b>Mısır</b>      | 9   |
| <b>Arjantin</b>   | 37  | <b>Hollanda</b>  | 23  | <b>Norveç</b>     | 73  |
| <b>Avustralya</b> | 11  | <b>İngiltere</b> | 20  | <b>Polonya</b>    | 41  |
| <b>Belçika</b>    | 48  | <b>İran</b>      | 82  | <b>Portekiz</b>   | 62  |
| <b>Cezayir</b>    | 30  | <b>İspanya</b>   | 86  | <b>Romanya</b>    | 45  |
| <b>Çek Cum.</b>   | 140 | <b>İsveç</b>     | 108 | <b>Slovakya</b>   | 87  |
| <b>Çin</b>        | 24  | <b>İsviçre</b>   | 70  | <b>Suriye</b>     | 44  |
| <b>Danimarka</b>  | 53  | <b>İtalya</b>    | 75  | <b>Tayland</b>    | 23  |
| <b>Ermenistan</b> | 104 | <b>Japonya</b>   | 16  | <b>Türkiye</b>    | 52  |
| <b>Finlandiya</b> | 120 | <b>Kanada</b>    | 34  | <b>Yunanistan</b> | 73  |

#### 2.8.4 Doğal Gazda Radon

Doğal gazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğal gazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, algılanamayan seviyelerden, 50 kBq/m<sup>3</sup> seviyesine kadar değişik değerler vermektedir (Wilkins, 1980). Doğal gazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve hidrokarbonlardan ayırıştırma işlemleri içerir. Bu hidrokarbonların bazıları yakıt olarak kullanılırken, bazıları sivilaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak, basınç altında şişelenerek satılmaktadır. Doğal gazın üretimi ve depolanması esnasında doğal gazın bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Doğal gaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında da radon gazı ortaya çıkarak, ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilir (Çelebi, 1995).

#### 2.8.5 Deprem-Radon İlişkisi

Depremi olacağını önceden bilmemek depremde mal ve can kaybının çok fazla olmasının önemli nedenlerinden biridir. Depremlerin önceden saptanması konusunda yapılan çalışmalar da iki temel öncü metot ortaya konmuştur. Birincisi depremlerin istatistiksel analizleri, ikincisi ise jeofiziksel öncüler olarak bilinir. Radon salınımları jeofiziksel öncüler arasında yer alır (Asada, 1982). Rusya'da, Japonya'da ve Çin'de yapılan çalışmalar radon gazı ile sismik aktiviteler arasında direkt bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle meydana gelen genleşmeler sonucu, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da, sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Deprem araştırmalarına yönelik çalışmaların özellikle çevredeki kuyu ve kaynak sularında yapılması çok daha doğru sonuçlar vermektedir. Çin’de ve 1966 Taşkent depreminde yapılan yer altı sularındaki radon değişim gözlemleri sonucu Japonya’da yer altı sularında sürekli monitoring sistemi geliştirilmiştir. Tokyo Üniversitesi ve Japon Jeoloji araştırma Birimi depremi önceden saptamak için bir network ağı kurmuşlardır (Igarashi, 1992).

#### **2.8.6 Deprem Araştırmalarında Radon Ölçüm Sistemi**

Radon ölçümleri fay hattı üzerindeki toprakta veya fay hattı üzerinde bulunan kuyu sularında yapılmalıdır. Sularda radon konsantrasyonundaki değişimleri izleyebilmek için Kaliforniya’da Berkeley Laboratuvarında radonun bozunma ürünlerinden  $^{214}\text{Pb}$  ve  $^{214}\text{Bi}$ ’un yaydığı gama ışınlarını ölçebilmek için bir gama spektrometrik sistem geliştirilmiştir. Fakat sistemin pahalı ve arazi uygulamaları için pratik olmaması nedeniyle son yıllarda alfa ışınlarına duyarlı plastik detektörler geliştirilmiştir. Cr-39 (Allil diglikol karbonat) ve LR-115 (selüloz nitrat) olarak adlandırılan plastik film detektörler, radondan gelen alfa izlerinden etkilenmektedirler. Oluşan izler nükleer iz kazıma tekniği ile mikroskopta görünür hale getirilerek sayılmakta ve radon konsantrasyonları hesaplanmaktadır.

Pasif radon dedektörleri ve nükleer iz kazıma yöntemi 1975 yılında ABD’nin Kaliforniya eyaletindeki San Andreas ve Calaveras faylarının 60 km’lik aktif bölgesi boyunca 20 kuru delik içine yerleştirilerek depremlerin önceden saptanmasında yararlı olacak ön değişiklikleri ölçmede kullanılmaya başlanmıştır. Japonya’da 1989 yılında geliştirilmiş bir radon monitoring sistemi kullanılmaktadır. Yüksek enerji çözünürlüğü olan yarı iletken alfa parçacık dedektörü (PIN fotodiyot) bir network ağı ile bağlanmıştır. Sistem 60 kuyu içinde 17 m derinlikte radon değişimlerini kaydetmektedir (Çelebi, 2000).

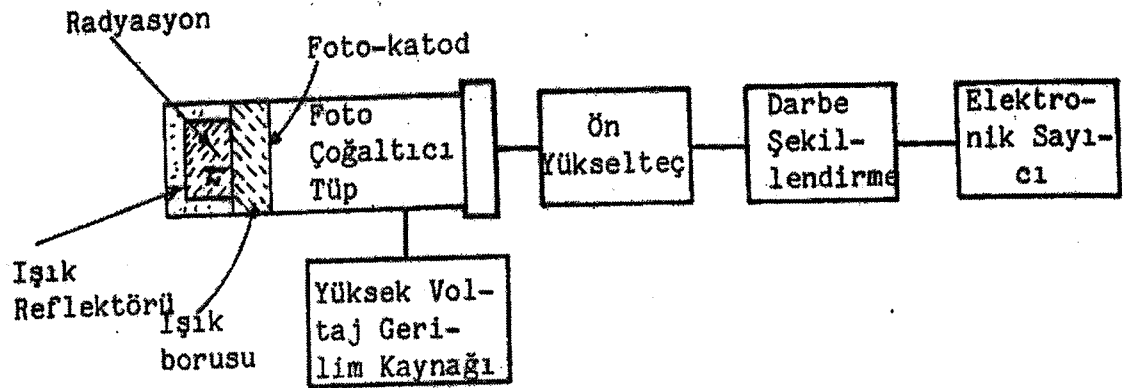
## 2.9 Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntem ve Cihazlar

### 2.9.1 Gamma Sintilasyon Detektörü

Bu çalışmada, dış gama radyasyon seviyelerinin belirlenmesi için Eberline Smart Portable (ESP-2) model, taşınabilir mikro bilgisayarlı ve ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon detektörü bağlanmış bir cihaz kullanılmıştır. ESP-2, radyasyon ölçümleri için özel hazırlanmış, ölçülen bilgileri kaydeden ve daha sonra bağlantılandırılmış bir yazıcıya kaydedilmiş olan bilgileri aktarabilen bir cihazdır. SPA-6 dedektörü ile ESP-2 kaydedici mikrobilgisayarlı cihazı Alman Thermo Eberline firmasının yapımıdır. SPA-6 dedektörünün özellikleri Çizelge 2.10'da verilmiştir. SPA-6 detektörü doğal gama radyasyonlarının ölçümleri ile birlikte serpinti ile yere inen düşük aktiviteli radyonüklitlerden yayınlanan radyasyonların algılanmalarında da oldukça duyarlıdır.

#### 2.9.1.1 Sintilasyon Detektörleri

Sintilasyon detektörleri, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve bunun hemen arkasına bağlanmış foton çoğaltıcı bir tüpten oluşur. (Şekil. 2.2) İyonlaştırıcı radyasyonun sintilasyon (pırıldama) fosforu denilen katı, sıvı veya gaz halindeki bazı maddelerle etkileşmesi sonucunda iyonlaşma ve uyarılma meydana gelir. Elektronlara verilen enerji onu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayınlanır. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foton çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, gerilim darbesi haline getirilir. Meydana gelen darbenin genliği radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu detektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır.



Şekil 2.2 Sintilasyon detektörlü cihaz blok şeması

Sintilasyon fosforları, sıvı veya kristal şeklinde olabilirler ise de halen radyasyon kontrol işlerinde sadece kristal olanlar kullanılmaktadır. Alfa ışınlarının dedeksiyonunda genellikle gümüşle aktive edilmiş çinko sülfürü (ZnS) ekranlarından yararlanılmaktadır. Beta radyasyonun dedeksiyonunda ise alfaları tutmak üzere ince bir metal varakla kaplanmış antrasen kristalleri tercih edilmektedir. X veya gama ışınları için genellikle talyumla aktive edilmiş sodyum iyodür (NaI) kristalleri kullanılır (Göksel, 1973).

**Çizelge 2.10** SPA-6 Dedektörünün özellikleri (www.bertholdtech.com)

|                        |                                                         |
|------------------------|---------------------------------------------------------|
| Kullanımı              | Orta duyarlı gama ölçümler                              |
| Dedektör Tipi          | 50 mm çapında ve 60 mm kalınlığında plastik sintilator. |
| Çalışma Voltajı        | 1,000 V nominal                                         |
| Ölöl Zaman             | 12 µs nominal                                           |
| Background Duyarlılığı | ~600 kcpm/mR/h ( <sup>137</sup> Cs)                     |
| Enerji Alanı           | 40 keV ile 1.3 MeV arası                                |
| Çalışma Biçimi         | -30 °C ile 60 °C arası                                  |
| Fiziksel Yapısı        | Alüminyum Kaplama                                       |
| Bağlantı               | MHV                                                     |
| Hacmi                  | 6.6x25.1 cm                                             |
| Ağırlığı               | 800gr                                                   |

### 2.9.2 Gama Spektrometrik Analizler

Tipik bir gama spektrometre sistemi, Şekil 2.3'te görüldüğü gibi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı-iletken bir detektör (D), beraberinde ön-yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi ile, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), örneksel-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör(MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcıdan oluşur. Gama ışınlarının detektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan darbeler detektörün bağlı olduğu elektronik modüllerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Gama spektrometresi çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan tekniktir, çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir. Gama spektrometresinin bazı üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

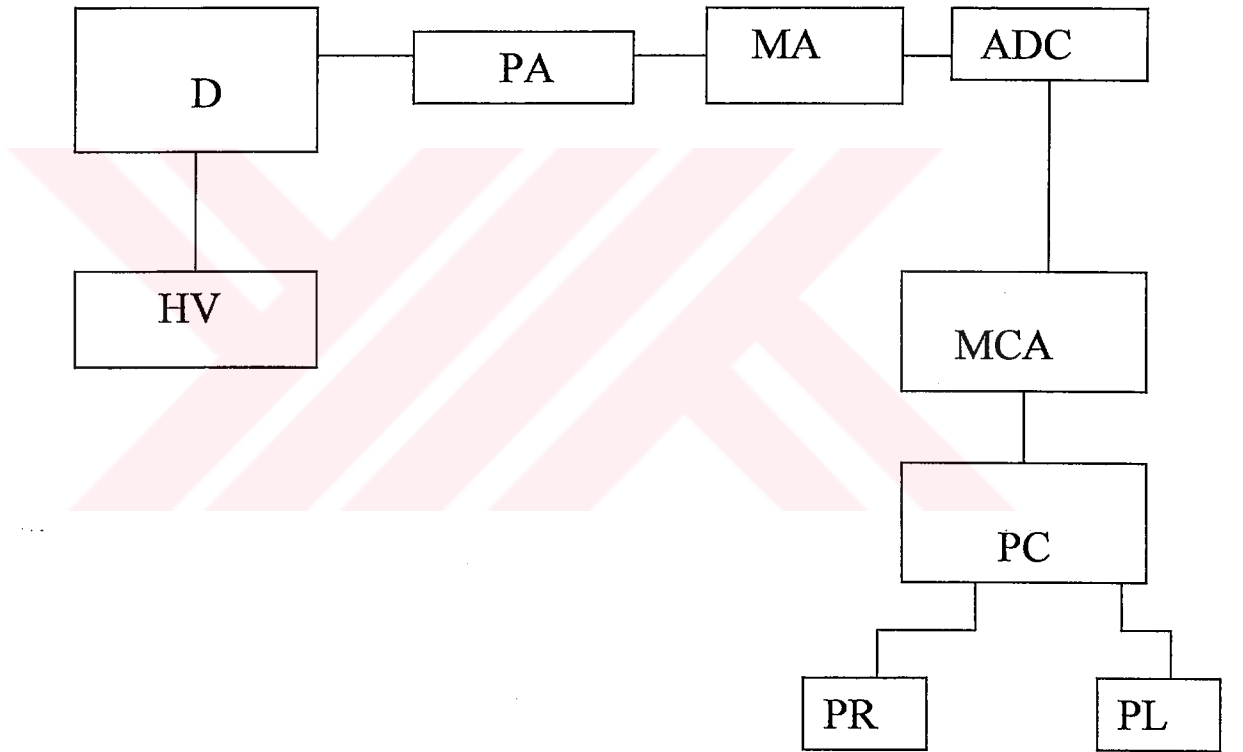
1-Aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekler tek tek ve aynı anda analiz edilebilir.

2-Malzeme, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmedikinden örnek hazırlanması kolay ve hızlıdır.

3-Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, bilgi işlemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir.

4-Düşük tayin sınırı nedeniyle özellikle çevre örnekleri analizinde kullanılırlar (Tsoulfanidis, 1983).

Bu çalışmada gama spektrometrik ölçümlerde bir HPGe detektörü kullanılmıştır. Bu detektör CANBERRA firmasının bir ürünüdür.



**Şekil 2.3** Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği.

#### 2.9.2.1 Çok Kanallı Analizör Sistemi

**Çok kanallı analizör:** Yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü (MCA) ile analiz edilir. 1k-16k aralığında olması tercih edilir. MCA'yı çalıştıracak bilgisayar bağlantısı ve yazılım programının bulunması uygun olur.

**Sayısal-örneksel dönüştürücü** : Bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren sayısal-örneksel dönüştürücü, ADC (Analog to Digital Converter) birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü(volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür. 1k-8k aralığında olması tercih edilir.

**Kaydedici** : MCA'dan veya MCA bağlantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için yazıcı veya grafik çizici kullanılır.

Topraktaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafı kurşunla zırhlanmış yüksek ayırma gücündeki germanyum detektörü ile buna bağlı çok kanallı analizör ve ilgili elektronik birimlerden oluşmuş bir gama ölçüm sisteminde yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler uygun yazılım programlı bilgisayar sistemi ile otomatik olarak yapılmıştır.

**Detektör sistemi** : HPGe dikey eksenli, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, detektör etrafına 1 litrelik Marinelli kaplarının sığabileceği ve 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşun zırhlama yapılmıştır.

Bu yöntemde, 40 keV enerji aralığında gama ışını yayınlayan radyoizotoplar herhangi bir ön işlem uygulanmaksızın, genellikle örnek matrisinden (hava, su, toprak, sediment, bitki, bitkisel ve hayvansal gıdalar vb. gibi birçok çevre ve biyolojik örnek) ayrılmalarına gerek kalmaksızın doğrudan gama spektrometresi ile tayin edilir. Bununla beraber, daha deriştirmek veya uygun geometriye getirmek için sıvı örnekler buharlaştırılabilir, katı örnekler külleştirilebilir (Gilmore, 1988).

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkta preslenmiş diskler olabilir. Örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini arttırmak amacıyla detektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresi; ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenen tayin duyarlığına bağlıdır. Kullanılan geometri için detektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal düzey spektrumlarının

da hazır olması gereklidir. Cs-137 ve Co-60 gibi radyoaktif standartlar kullanılarak gama spektrometresinin kalibrasyonunu belirli aralıklarla yapılır.

### 2.9.3 Alfa ve Beta Sayım Sistemleri

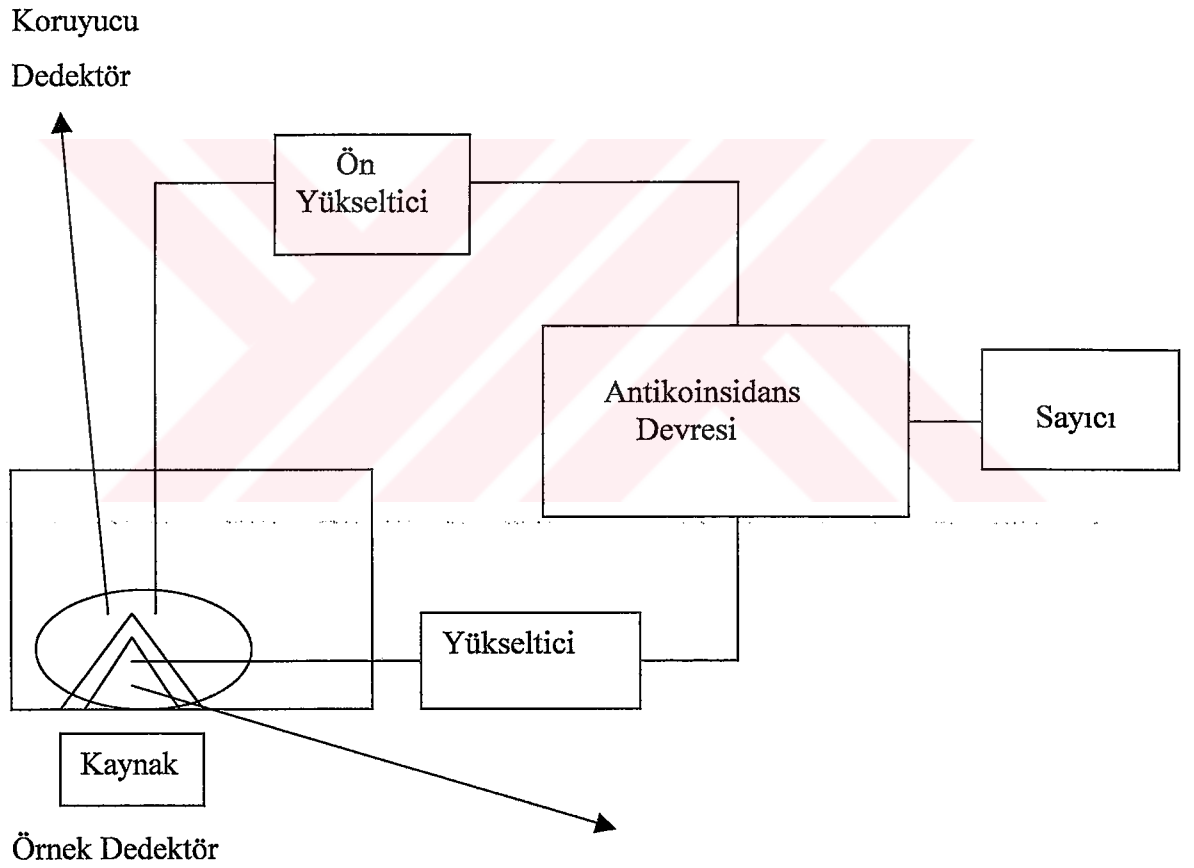
Çevresel radyoaktivite ölçümlerinde, toplam veya gross radyoaktivite ölçümlerine ilişkin olarak gelişmiş alternatif yöntemler olmasına karşın, yıllardır gaz akışlı orantılı detektörlerden faydalanılmaktadır. Bir başka deyişle gaz akışlı orantılı sayıcılar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları ve sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli önbilgiyi sağlamalarıdır. (NCRP, 1976). Bu çalışmada da gaz akışlı orantılı sayıcılar kullanılmıştır. Şekil 2.4'te gaz akışlı orantılı bir sayıcının çalışma düzeneği gösterilmektedir. Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir.

Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların dedeksiyonunda uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak antikoincidens(engelleme) devresi kullanılmakla mümkündür.

İçteki iyon odası “örnek detektör” ve bunu saran daha büyük iyon odası ise “koruyucu (guard) detektör” ismini almaktadır. Sayım esnasında her iki detektörden Geiger gazı geçirilmektedir. Her iki detektör arası örnekten gelecek radyasyonun geçemeyeceği şekilde ekranlanmıştır. Böylece örnekten gelecek radyasyon sadece örnek detektörde iyonizasyon meydana getirir. Fakat kozmik ışınlar gibi yüksek enerjili ışınlar her iki detektörde aynı anda iyonizasyon meydana getirebilir. Bilindiği gibi antikoincidens devreleri iki girişi ve tek çıkışı olan devrelerdir. Bu devrelerdeki iki girişin her ikisine de darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmektedir. Fakat buna karşın, girişlerinden yalnız birine bir darbe geldiğinde çıkışta bir darbe meydana gelmemektedir. Burada sadece örnek detektörde meydana gelen iyonizasyon sayılacak ve her iki dedektörde birden meydana getirilen iyonizasyon sayılmayacaktır. Böylece çevreden gelen radyasyon algılanmayıp ve bu sayım sistemlerinin background'u dakikada birden küçüktür.

Deteksiyon ortamında en çok kullanılan gazlar argon, ksenon, izobütan, helyum ve metandır. Bir tüp, bu gazlardan biri veya ikisinin karışımı ile doldurulup içine iki elektrot konulur. Gaz içinde meydana gelen elektrik akımı laboratuvar sayım cihazının elektrik devresinde algılanır.

Su örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite ölçümleri, belirlenen alan ve kalınlıkta hazırlanıp, katı hale getirilerek sayım planşetlerine aktarılan su örneklerinin sayımı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey suları, yeraltı suları, içme suları gibi değişik kaynaklardan alınan su örnekleri buharlaştırıldıktan sonra kalan rezidü (katı bakiye) miktarı dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır.



**Şekil 2.4** Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek.

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standardının seçimi burada önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda standart çekirdek içeren kalibrasyon kaynaklarının; sayılacak örneklerin alanı,

yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sayımları için sayım cihazı olarak ince pencere, çok iyi zırhlanmış, gaz akışlı, antikoincidans, orantılı sayıcı kullanılması uygun olmaktadır. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla çok düşük doğal sayım seviyesine (background) ve yüksek duyarlık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır (Alkan, 1987).

Her sayıcının içinde örnek olmaksızın verdiği çevresel, kozmik ve sayıcının yapıldığı malzemeden kaynaklanan doğal sayım (background) değeri vardır. Sayıcının yapımında uygun malzeme seçimi ve zırhlanması boş sayımın önemli oranda düşmesine neden olmaktadır.

Sudaki toplam alfa radyoaktivitesi değerlendirilmeleri yapılırken, su örneğinde çözünmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Buharlaştırma sonucu elde edilen rezidü miktarı fazla ise self-absorbsiyon da yüksek olacaktır. Radyasyonun örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekir. Ancak belirli bir kütleye sahip olan örnekler, yayınlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak “self-absorbsiyon” denilen olay meydana gelmektedir. Artan rezidü miktarı radyasyonun self-absorbsiyon etkisini artırıp daha az sayıda parçacığın detektöre ulaşmasına neden olmaktadır.

Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standart aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gereklidir. Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani  $4\pi$  geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilir. En yüksek verim, örneğin sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Ölçüm Sahası

Bu çalışmada ölçüm sahası olarak Tekirdağ ili seçilmiş ve Tekirdağ il sınırları içerisinde doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmalarda ev içi ve ev dışı gama ışınlama doz hızları, toprak ve su örneklerinin içerdiği radyoaktif çekirdek konsantrasyonları ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalar Şekil 3.1 verilen Tekirdağ il haritasında gösterilmiştir. Öte yandan Tekirdağ ilinin coğrafik özellikleri ve jeolojik yapısı Ek 1’de verilmiştir.

#### 3.2 Tekirdağ İlinin Çevresel Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Belirlenmesi

Bu bölümde Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde gerçekleştirilen gama ışınlama doz hızlarının ölçümlerine ilişkin bilgi ve veriler yer almaktadır. İl genelinde, ilgili literatürde yer aldığı şekilde, her 12 km’de bir olmak üzere, toplam 169 noktada ölçüm yapılmıştır. Ölçümler, Eberline Smart Portable (ESP-2) model, ucuna SPA-6 model plastik sintilasyon algılayıcısı bağlanmış, bir taşınabilir cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde gama ışınlama doz hızları  $\mu\text{R/h}$  olarak elde edilmektedir. Cihaz ile ilgili ayrıntılar Bölüm 2.9.1’ de verilmiştir.

Açık havada, toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikte, 1 saat süreyle gerçekleştirilen ölçümler sonucu  $\mu\text{R/h}$  olarak elde edilen gama ışınlama doz hızı değerleri  $\text{nGy/h}$ ’e dönüştürülerek, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı yerleşim birimlerinin gama izo-doz haritası Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.1** Tekirdağ ilinde ölçüm yapılan noktaları gösteren harita.

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri

| <b>Yer adı</b>       | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada ölçülen soğurulmuş doz hızları (nGy/h)</b> |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Kumbağ               | 43,4                                                                        |
| Barbaros             | 36,4                                                                        |
| Naip                 | 43,0                                                                        |
| Çanakçı              | 42,4                                                                        |
| Yukarıkılıçlı        | 45,0                                                                        |
| İnecik               | 44,0                                                                        |
| Nusratlı             | 51,9                                                                        |
| Güvençli             | 34,6                                                                        |
| Yazır                | 35,5                                                                        |
| Tekirdağ(merkez)     | 44,2                                                                        |
| Tekirdağ(muratlı cd) | 41,0                                                                        |
| Çorlu(giriş)         | 48,2                                                                        |
| Çorlu(çıkış)         | 51,7                                                                        |
| Kızılpınar           | 46,2                                                                        |
| Çerkezköy            | 56,2                                                                        |
| Veliköy              | 44,8                                                                        |
| Pınarca              | 47,3                                                                        |
| Sefaalan             | 44,0                                                                        |
| Sultanköy            | 42,0                                                                        |
| Türkmenli            | 37,6                                                                        |
| Yakuplu              | 43,9                                                                        |
| Türkgücü             | 44,5                                                                        |
| MarmaraEreğlisi      | 47,2                                                                        |
| Yeniçiftlik          | 41,2                                                                        |
| Osmanlı Köyü         | 41,3                                                                        |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

| <b>Yer adı</b>   | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Gazioğlu         | 44,9                                                                                |
| Köseilyas        | 46,5                                                                                |
| Kayı             | 47,3                                                                                |
| Velimeşe         | 51,7                                                                                |
| Yulaflıköy       | 43,2                                                                                |
| Sarılar          | 40,2                                                                                |
| Vakıflar         | 41,8                                                                                |
| Yenice           | 42,4                                                                                |
| Tekirdağ(Yüzyıl) | 53,2                                                                                |
| Yörük            | 43,5                                                                                |
| Yenidibek        | 38,4                                                                                |
| Işıklar          | 42,8                                                                                |
| Karaçalı         | 43,0                                                                                |
| Semetli          | 44,6                                                                                |
| Araphacı         | 41,4                                                                                |
| Beyoğlu          | 41,5                                                                                |
| Esendik          | 43,0                                                                                |
| Sağlamtaş        | 43,7                                                                                |
| Emirali          | 43,6                                                                                |
| İsaklı           | 42,6                                                                                |
| Çimendere        | 46,7                                                                                |
| Bulgur           | 39,6                                                                                |
| Sofu             | 41,7                                                                                |
| Uluman           | 44,9                                                                                |
| Yayaköy          | 38,5                                                                                |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

| <b>Yer adı</b> | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Yayaağaç       | 41,3                                                                                |
| Gölcük         | 40,1                                                                                |
| Uçakbaş        | 48,3                                                                                |
| Palamut        | 39,7                                                                                |
| Yörgüç         | 45,0                                                                                |
| Çengelli       | 30,3                                                                                |
| Tepeköy        | 32,0                                                                                |
| Kalamış        | 35,3                                                                                |
| Mürefte        | 45,8                                                                                |
| Eriklice       | 47,8                                                                                |
| Şarköy         | 46,0                                                                                |
| Yeniköy        | 37,2                                                                                |
| Güzelköy       | 41,5                                                                                |
| Balabancık     | 36,9                                                                                |
| Aksakal        | 41,0                                                                                |
| Kavakçeşme     | 41,2                                                                                |
| Ballı          | 41,7                                                                                |
| Ahievren       | 42,2                                                                                |
| Dereköy        | 42,8                                                                                |
| Hereke         | 43,5                                                                                |
| Mahramlı       | 41,5                                                                                |
| Yenice(Şarköy) | 41,0                                                                                |
| Gaziköy        | 44,7                                                                                |
| Hoşköy         | 42,4                                                                                |
| Yağcı          | 40,2                                                                                |
| Bıyıkali       | 42,0                                                                                |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

| <b>Yer adı</b>  | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Banarlı Köyü    | 39,1                                                                                |
| Karabezirgan    | 38,0                                                                                |
| Karacamurat     | 40,7                                                                                |
| Ortaca          | 39,7                                                                                |
| Yürükler        | 42,5                                                                                |
| Kandamış        | 38,2                                                                                |
| Çeneköyü        | 40,4                                                                                |
| Hayrabolu       | 42,4                                                                                |
| Çerkezmüsellim  | 45,3                                                                                |
| Faraşköyü       | 41,0                                                                                |
| Öreyköy         | 42,0                                                                                |
| Cambazdere      | 41,4                                                                                |
| Yoğunbağ        | 49,5                                                                                |
| Aydınlar        | 42,2                                                                                |
| Susuzmüsellim   | 40,5                                                                                |
| Delibedir       | 43,8                                                                                |
| Hacılı          | 42,6                                                                                |
| Çıkrıkçı        | 39,5                                                                                |
| Karababa        | 43,0                                                                                |
| Subaşı          | 44,6                                                                                |
| Mestanlar       | 42,9                                                                                |
| Şahin           | 46,1                                                                                |
| Hemit           | 47,1                                                                                |
| Kapaklı Beldesi | 49,1                                                                                |
| Karaağaç        | 48,0                                                                                |
| Yanıkagıl       | 53,8                                                                                |
| Göngörmez       | 54,2                                                                                |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

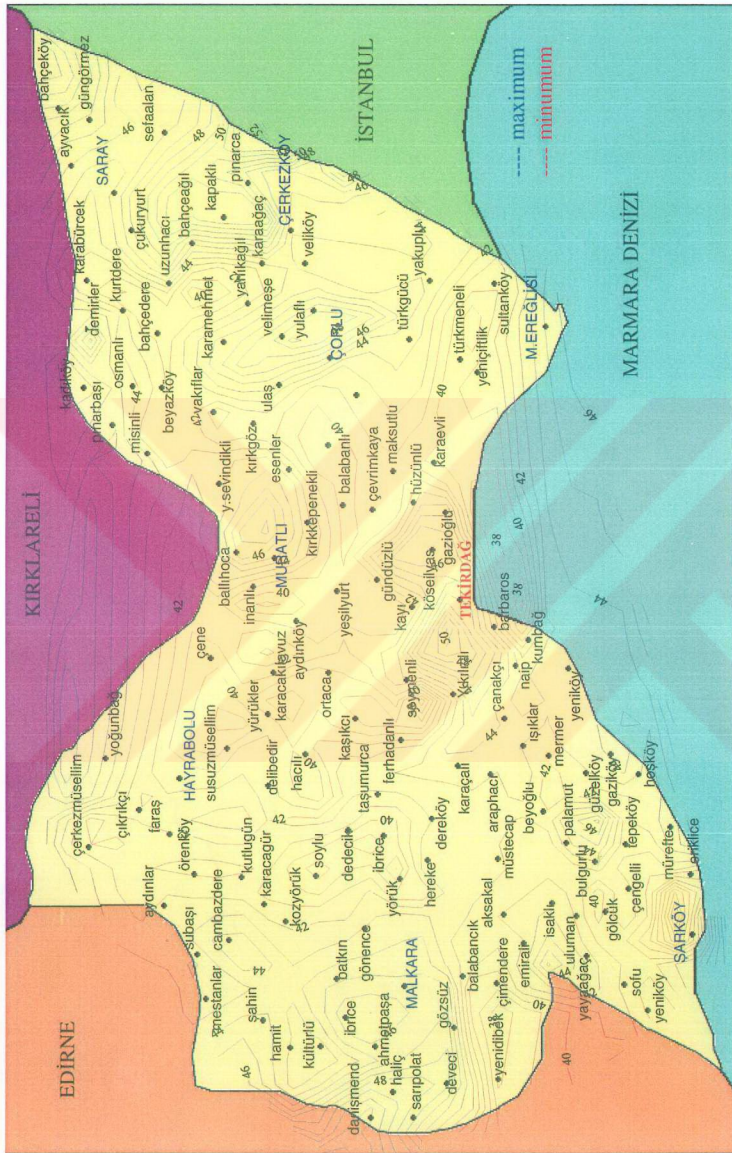
| <b>Yer adı</b> | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kültürlü       | 43,2                                                                                |
| Ahmetpaşa      | 51,7                                                                                |
| Danişment      | 54,3                                                                                |
| Haliç          | 49,4                                                                                |
| Sarıpolat      | 52,0                                                                                |
| Umurbey        | 40,6                                                                                |
| Karacagür      | 45,5                                                                                |
| Kozyörük       | 43,0                                                                                |
| Batkın         | 42,0                                                                                |
| İbrice         | 41,0                                                                                |
| Malkara        | 45,2                                                                                |
| Alaybey        | 45,4                                                                                |
| Kermeyen       | 37,2                                                                                |
| Karamurat      | 42,2                                                                                |
| Evrenbey       | 43,0                                                                                |
| Gönence        | 47,6                                                                                |
| İbribey        | 41,8                                                                                |
| Soylu          | 38,4                                                                                |
| Dedecik        | 37,5                                                                                |
| Karansılı      | 41,1                                                                                |
| Taşumurca      | 42,5                                                                                |
| Kaşıkcı        | 43,1                                                                                |
| Kazandere      | 38,4                                                                                |
| Ferhadanlı     | 37,6                                                                                |
| Seymenli       | 43,0                                                                                |
| Karacakılavuz  | 44,2                                                                                |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

| <b>Yer adı</b>   | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Deveci           | 43,2                                                                                |
| Gözsüz           | 47,8                                                                                |
| Kılavuzlu        | 40,2                                                                                |
| Gündüzlü         | 39,8                                                                                |
| Yeşilsırt        | 41,0                                                                                |
| Aydıncıköy       | 38,0                                                                                |
| Muratlı          | 49,3                                                                                |
| İnanlı           | 45,0                                                                                |
| Ballıhoca        | 42,5                                                                                |
| Yukarısevindikli | 43,4                                                                                |
| Misinli          | 42,3                                                                                |
| İğneler          | 46,7                                                                                |
| Pınarbaşı        | 42,8                                                                                |
| Kadıköy          | 44,1                                                                                |
| Demirler         | 42,6                                                                                |
| Karabürcek       | 45,2                                                                                |
| Ahimehmet        | 41,9                                                                                |
| Beyazköy         | 43,9                                                                                |
| Göçerler         | 40,7                                                                                |
| Bahçedere        | 40,1                                                                                |
| Osmanlı(saray)   | 49,8                                                                                |
| Kurtdere         | 42,8                                                                                |
| Bahçeköy         | 50,4                                                                                |
| Çukuryurt        | 43,5                                                                                |
| Saray            | 47,1                                                                                |
| Büyükyoncalı     | 45,6                                                                                |

**Çizelge 3.1** Tekirdağ ili, ilçeleri ve köylerinde açık havada ölçülen  
soğurulmuş doğal gama doz hızı değerleri (devam)

| <b>Yer adı</b>  | <b>Yerden 1 m yükseklikte havada<br/>ölçülen soğurulmuş doz<br/>hızları (nGy/h)</b> |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ayvacık         | 49,5                                                                                |
| Bahçeagıl       | 53,1                                                                                |
| Uzunhacı        | 47,5                                                                                |
| Karamehmet      | 38,6                                                                                |
| Ulaş            | 48,2                                                                                |
| Kırkgöz         | 39,5                                                                                |
| Esenler         | 41,3                                                                                |
| Kırkkepenekli   | 46,2                                                                                |
| Balabanlı       | 38,4                                                                                |
| Çevrimkaya      | 40,9                                                                                |
| Husunlu         | 40,1                                                                                |
| Karaevli        | 39,8                                                                                |
| Maksutlu        | 41,4                                                                                |
| Hanoğlu         | 40,7                                                                                |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>43,27 nGy/h</b>                                                                  |



### Şekil 3.2 Tekirdağ'da ölçülen gama radyasyonları izo-doz haritası

### **3.2.1 Tekirdağ İl Merkezinde Ev-İçi ve Ev-Dışı Havadaki Gama Doz Hızlarının Belirlenmesi**

Bu bölümde, Tekirdağ il merkezindeki evlerde, açık havada ve halkın yoğun olarak gittiği parklarda gerçekleştirilen gama ışınlama doz ölçümleri yer almaktadır. Şehir merkezindeki gama ölçümleri, asfalt, toprak ve ev içi olmak üzere üç başlık altında toplanarak Çizelge 3.2’de verilmiştir



**Çizelge 3.2** Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı (nGy/h)

| Yer adı                   | Bina içi | Asfalt | Toprak |
|---------------------------|----------|--------|--------|
| <b>Ertuğrul Mahallesi</b> |          |        |        |
| Zemin Kat                 | 58,5     |        |        |
| 1.Kat                     | 56,0     |        |        |
| 2.Kat                     | 55,9     |        |        |
| 3.Kat                     | 53,6     |        |        |
| 4.Kat                     | 54,8     |        |        |
| 5.Kat                     | 54,2     |        |        |
| İki Katlı Ev              | 53,3     |        |        |
| 1.Kat                     | 39,3     |        |        |
| Hükümet Caddesi           |          | 55,5   |        |
| Asfalt                    |          | 57,1   |        |
| <b>Peştamal Caddesi</b>   |          |        |        |
| Bodrum Kat                | 56,3     |        |        |
| Zemin Kat                 | 52,5     |        |        |
| 1.Kat                     | 55,0     |        |        |
| Peştamal Cad.             |          | 39,2   |        |
| İnönü İ.Ö.Okulu Bahçesi   |          | 50,1   |        |
| N Kemal Lisesi Bahçesi    |          | 57,1   |        |
| Cengiz Topel Meydanı      |          | 52,7   |        |
| Muratlı Caddesi           |          | 50,5   |        |
| <b>Aydoğdu Mahallesi.</b> |          | 51,1   | 43,2   |
| Giriş Kat                 | 36,0     |        |        |
| 1.Kat                     | 48,6     |        |        |
| 2.Kat                     | 54,4     |        |        |
| 3.Kat                     | 55,9     |        |        |
| Tek katlı ev              | 44,3     |        |        |
| Zemin kat                 | 55,2     |        |        |
| 1. Kat                    | 53,1     |        |        |
| 2.Kat                     | 54,8     |        |        |
| 3.Kat                     | 50,5     |        |        |

**Çizelge 3.2** Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı  
(nGy/h) (devam)

| Yer adı                     | Bina içi | Asfalt | Toprak |
|-----------------------------|----------|--------|--------|
| 4.Kat                       | 48,1     |        |        |
| Şehitlik                    |          | 59,8   |        |
| Cabi Bayırı                 |          | 54,1   |        |
| Tuğlacılar Lisesi Bahçesi   |          | 53,9   |        |
| Çınarlı Mah.                |          | 54,4   |        |
| Karadeniz Mah.              |          | 62,4   |        |
| Camialtı Mah.               |          | 49,6   |        |
| T.dağ Askerlik Şübesi       |          | 43,6   |        |
| <b>Zafer Mahhallesi</b>     |          |        |        |
| Zafer Mah.                  |          | 40,8   |        |
| Giriş Kat                   | 37,0     |        |        |
| 1.Kat                       | 37,7     |        |        |
| 2.Kat                       | 39,2     |        |        |
| 3.Kat                       | 46,1     |        |        |
| 4.Kat                       | 36,8     |        |        |
| 5.Kat                       | 37,3     |        |        |
| 6.Kat                       | 44,0     |        |        |
| Göçmen Evleri               |          | 40,0   | 30,9   |
| Adil Bey Çıkmazı            |          | 48,9   |        |
| Kazımpaşa Sk.               |          | 38,3   |        |
| <b>Softuoğlu mahallesi</b>  |          | 44,6   | 36,7   |
| 1.Kat                       | 52,2     |        |        |
| 2.Kat                       | 51,9     |        |        |
| 3.Kat                       | 47,1     |        |        |
| 4.Kat                       | 50,2     |        |        |
| 5.Kat                       | 45,7     |        |        |
| Ahşap Ev                    | 39,3     |        |        |
| <b>Orta Camii Mahallesi</b> |          | 34,5   | 40,3   |
| Çekirdek Bayırı             |          | 41,7   |        |
| Yunus Bey Caddesi           |          | 46,5   |        |

**Çizelge 3.2** Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı  
(nGy/h) (devam)

| Yer adı                      | Bina içi | Asfalt | Toprak |
|------------------------------|----------|--------|--------|
| Tek Katlı Ev                 | 59,7     |        |        |
| Cafer Tayyar İ.Ö.O.          | 30,5     | 33,9   |        |
| Orta Camii                   | 41,4     |        |        |
| Sağlık Yüksek Okulu          | 40,5     | 39,5   |        |
| Devlet Hastanesi             |          | 32,1   | 33,9   |
| D.Hastanesi Bodrum Kat       | 56,1     |        |        |
| D.Hastanesi Giriş Kat        | 34,3     |        |        |
| D.Hastanesi 1.Kat            | 63,6     |        |        |
| D.Hastanesi 2.Kat            | 68,8     |        |        |
| <b>Gündoğdu Mahallesi</b>    |          | 40,5   |        |
| Ülker Sk.                    |          | 41,4   |        |
| Bodrum Kat                   | 60,6     |        |        |
| Zemin Kat                    | 46,8     |        |        |
| 1.Kat                        | 43,1     |        |        |
| 2.Kat                        | 41,6     |        |        |
| 3.Kat                        | 45,2     |        |        |
| <b>Çiftlikönü Mahallesi</b>  |          | 41,4   |        |
| 1.Kat                        | 57,8     |        |        |
| 2.Kat                        | 57,6     |        |        |
| 3.Kat                        | 55,3     |        |        |
| 4.Kat                        | 49,4     |        |        |
| K.Karabekir Cad.             |          | 37,7   |        |
| Villa tipi ev                | 49,7     |        |        |
| Tek Katlı Ev                 | 39,7     |        |        |
| <b>Yüzüncü Yıl Mahallesi</b> |          | 39,3   | 43,2   |
| O:M.Lisesi Uygulama Oteli    |          |        |        |
| Bodrum Kat                   | 53,4     |        |        |
| 1.Kat                        | 53,2     |        |        |
| 2.Kat                        | 57,1     |        |        |

**Çizelge 3.2** Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı (nGy/h) (devam)

| Yer adı                      | Bina içi | Asfalt | Toprak |
|------------------------------|----------|--------|--------|
| 3.Kat                        | 58,6     |        |        |
| 4.Kat                        | 57,0     |        |        |
| <b>Ertuğrul Mahallesi -2</b> |          | 32,2   | 35,2   |
| Taş Merdivenler              |          | 48,4   |        |
| Zübeyde Hanım Parkı          |          |        | 31,5   |
| T.Dağ Belediyesi (Giriş)     | 47,7     |        |        |
| 1.Kat                        | 59,0     |        |        |
| 2.Kat                        | 56,8     |        |        |
| 3.Kat                        | 56,0     |        |        |
| Özel İdare İl Müdürü(Giriş)  | 56,4     |        |        |
| 1.Kat                        | 62,0     |        |        |
| 2.Kat                        | 62,3     |        |        |
| 3.Kat                        | 49,9     |        |        |
| 4.Kat                        | 57,3     |        |        |
| 5.Kat                        | 68,8     |        |        |
| Gençlik İl Spor Müd.(önü)    |          | 42,8   |        |
| GİS Müd. (Zemin kat)         | 45,1     |        |        |
| GİS Müd.(1. Kat)             | 30,4     |        |        |
| Sahil Yolu                   |          | 27,6   | 30,8   |
| Sahil Kumsal alan            |          |        | 23,9   |
| Barış ve Özgürlük Parkı      |          | 45,4   | 30,6   |
| Sahil Havuzlar               |          | 20,3   |        |
| Luna Park                    |          | 33,1   |        |
| Açık Hava Tiyatrosu          |          | 38,6   |        |
| Dereagzı                     |          |        | 36,1   |
| Şehirlerarası Otagar         |          | 30,4   |        |
| İtfaiye Önü                  |          | 29,6   |        |
| Yetiştirme Yurdu (Bahçe)     |          | 40,4   |        |
| Zemin Kat                    | 37,2     |        |        |
| 1.Kat                        | 60,2     |        |        |

**Çizelge 3.2** Tekirdağ il merkezinde gerçekleştirilen ev içi ve ev-dışı soğurulmuş gama doz hızı (nGy/h) (devam)

| Yer adı         | Bina içi        | Asfalt          | Toprak          |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2.Kat           | 32,7            |                 |                 |
| Sahil(1.Kat)    | 50,1            |                 |                 |
| Sahil(2.Kat)    | 45,8            |                 |                 |
| Sahil(3.Kat)    | 42,6            |                 |                 |
| <b>Ortalama</b> | <b>50 nGy/h</b> | <b>43 nGy/h</b> | <b>35 nGy/h</b> |

### 3.2.2 Gama Dış Işınlama Doz Hızlarının Hesaplanması

Gama dış ışınlama doz hızlarının eşdeğer doz karşılıklarının hesaplanması UNSCEAR, 1993 de verilen modele göre yapılmıştır. Bu modelde soğurulmuş dozu eşdeğer doza çevirme katsayısı 0.7 Sv/Gy olarak alınmaktadır. Ev içi meşguliyet faktörü için 0.80 ve ev dışı meşguliyet faktörü için 0.20 değerleri kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmada, Tekirdağ'ın iklim koşulları ve yaşamsal alışkanlıkları dikkate alınarak, halkın dışarıda daha fazla zaman geçirdiği düşüncesinden hareketle, ev içi meşguliyet faktörü 0.70 ve ev dışı meşguliyet faktörü 0.30 olarak alınmıştır. Eşdeğer doz hesaplamalarında iç ve dış gama ışınlama doz hızlarının aritmetik ortalaması olan değerler, soğurulmuş doz değerlerine çevrilerek kullanılmıştır.

Tekirdağ ili bina içi ve bina dışı gama ışınlama doz hızlarından kaynaklanan eşdeğer dozlar şu şekilde hesaplanmıştır:

Tekirdağ il merkezinde kapalı alanlar için yıllık etkin eşdeğer doz:

$$= \text{Ev-içi ortalama gama soğurulmuş doz hızı} \times \text{Ev içi Meşguliyet Faktörü} \times \text{Dönüştürme faktörü} \times 8760(\text{saat}) = 50.10^{-9} \text{ Gy/h} \times 0.70 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 8760(\text{saat/yıl}) = 214.6 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tekirdağ il genelinde açık alanlar için yıllık etkin eşdeğer doz,

$$= \text{Ev dışı ortalama gama soğurulmuş doz hızı} \times \text{Ev dışı Meşguliyet Faktörü} \times \text{Dönüştürme faktörü} \times 8760(\text{saat}) = 40.10^{-9} \text{ Gy/h} \times 0.30 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 8760(\text{saat/yıl}) = 73.6 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Toplam gama dış ışınlama yıllık etkin eşdeğer doz= 214.6 + 73.6=0.288 mSv olarak elde edilmektedir.

### 3.3 Tekirdağ İli Toprak Örneklerinin Doğal Radyoaktivitelerin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Tekirdağ ilinin toprak örneklerinin içerdikleri doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, 40 değişik yerleşim biriminden toprak örnekleri alınarak gama spektrometrik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serilerinin elemanlarının ve K-40 radyoizotopunun aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca, doğada doğal olarak bulunmayan, nükleer denemeler veya kazalar sonucu çevreye yayılan bir fisyon ürünü olan,  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyonu da tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri, Canberra, 85 serisi (4096 kanallı) gama spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm cihazı, ayrıntılı olarak Bölüm 2.9.2’de tanıtılmıştır.

#### 3.3.1 Örnek Alma ve Hazırlama

Toprak örnekleri genelde toprağın yapısına bağlı olarak, mümkün olduğu kadar ekim yeri olmayan arazilerden, 10 cm derinliğe kadar inebilen 25 cm çapında toprak alma aletiyle temin edilmiştir. Toprak örnekleri alınırken özellikle yerleşim alanlarına yakın, açık ve düz alanlar seçilerek bu alanların su geçirgenliğinin iyi olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca toprak yüzeyinin sel ve yağmur suyu ile zarar görmemiş, vadi eteklerinden uzak alanlarından örneklerin alınmasına dikkat edilmiştir. Alınan toprak örnekleri, içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra temiz poşetlere konularak getirilmiş, serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Her örnek kurutulduktan sonra iyice öğütülmüş, 2 mm gözenekli eleklerden geçirilerek darası alınmış marinelli sayım kaplarına konulmuştur. Daha sonra tüm toprak örneklerinin ağırlıkları alınarak kaydedilmiş, her kabın ağzı, dışardan hava girmeyecek şekilde kapatılmıştır. Örnekler, toprak içinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin dengeye gelmeleri için bir ay süreyle bekletilmişlerdir.

#### 3.3.2 Tekirdağ Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi

Kurutulmak üzere bir süre bekletilen toprak örnekleri bu süreç sonunda gama spektrometresi cihazına konularak 50.000 saniye sayılmıştır. Sayım işlemi her radyoizotopun yayınladığı fotoelektrik pik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinin kurutma esnasında oluşan radyoaktivite kayıpları, ihmal edilebilecek düzeyde küçük olmaları nedeniyle, hesaplamalara dahil edilmemişlerdir. İncelemeler sonucunda elde edilen aktivite konsantrasyonları, ilgili pik değerleri de belirtilerek, Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Toprak örneklerinin enerji spektrumu Şekil 3.3’te verilmektedir.  $^{226}\text{Ra}$ ’nın 186 keV’da %36 bollukta bir piki vardır (L’annunziata, 1998). Ra-226, uranyum-238 serisinin bir bozunma

ürünüdür ve yarı ömrü 1600 yıldır. Ra-226'nın toprak örneklerindeki dağılımı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

$^{214}\text{Pb}$ 'de U-238'in bozunma ürünü olup, %36 bollukta 351 keV enerji pikinde tespit edilmektedir (L'annunziata, 1998). Fiziksel yarı ömrü 26,8 dakikadır. Bu radyoizotopun bölgelere göre dağılımı Şekil 3.5'te verilmiştir.

$^{214}\text{Bi}$ ,  $^{238}\text{U}$  serisinin bir bozunma ürünü olup yarı ömrü 20 dakikadır.  $^{214}\text{Bi}$  enerji piki, %45 bollukla 609 keV'de bulunur (L'annunziata, 1998). Toprak örneklerinin  $^{214}\text{Bi}$  konsantrasyonu Şekil 3.6'da verilmiştir.

$^{228}\text{Ac}$ , toryum serisinin bir bozunma ürünü olup, yarı ömrü 6 saattir. Farklı enerjilerde birçok piki vardır. 338 keV, 911 keV, 964 keV'deki pikleri %5'in üzerinde bolluğa sahip olup, bollukları sırasıyla %12, %29, %6 ve %17'dir (L'annunziata, 1998). Bu çalışmada bolluğu en fazla olan 911 keV'deki enerji pikinden yararlanılmıştır.  $^{228}\text{Ac}$ 'in konsantrasyon dağılımı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

$^{208}\text{Tl}$ ,  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serisinin bir bozunma ürünüdür ve yarılanma ömrü 3 dakikadır. Farklı enerjilerde birçok piki olmasına rağmen, çalışmada bolluğu (%30,7) yüksek olan 583 keV'deki pikinden yararlanılmıştır. Toprak alınan bölgelerin  $^{208}\text{Tl}$  radyoaktivite konsantrasyon dağılımları Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

$^{40}\text{K}$ , yarı ömrü  $1,28 \times 10^9$  yıldır.  $^{40}\text{K}$  doğada tek başına bulunur, herhangi bir bozunum serisi yoktur. Toprakta bol miktarda bulunduğu için doğal gama radyasyon dozuna en fazla katkıda bulunan doğal radyoaktif elementtir. Öte yandan insan vücudunda yaşamsal bir öneme sahiptir.  $^{40}\text{K}$ , 1460 keV enerji pikinde %11 bollukta bulunmaktadır (L'annunziata, 1998). Şekil 3.9'da, alınan toprak örneklerindeki  $^{40}\text{K}$ 'ın dağılımı gösterilmiştir.

### 3.3.3 Cs-137'nin Tayini

$^{137}\text{Cs}$ , fisyon ürünü olduğu için tabiatta doğal olarak bulunmamakta, nükleer denemeler ya da reaktör kazaları sonucunda ortaya çıkmaktadır.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin yarı ömrü 30,2 yıldır. 661 keV'de %85 bollukta bir piki vardır (L'annunziata, 1998). Tekirdağ toprak örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonunun dağılımı Şekil 3.10'da verilmiştir.

Çernobil reaktör kazası sonrasında gerçekleştirilen ölçümler Türkiye'nin Trakya ve Karadeniz bölgesinin radyoaktif kirlenmeye maruz kaldığını göstermiştir. Trakya bölgesinde yapılan toprak analizlerinde, topraktaki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu Edirne'de 324 Bq/kg ve Tekirdağ'ın Saray ilçesinde ise 45 Bq/kg olarak saptanmıştır. Doğu Karadeniz bölgesinden alınan toprak örneklerindeki analiz sonuçları ise Çizelge 3.3 gösterilmiştir. Fisyon ürünlerinin birbirlerine yakın bölgelerde farklılık göstermesinin sebebinin o günkü meteorolojik şartlar (rüzgar ve radyoaktif bulutlar) olduğu tahmin edilmektedir.

Havadan (fallout) gelen radyoaktivitenin büyük bir kısmının toprakta biriktiği bilinmektedir. Topraktaki radyoaktivitenin insanlara ulaşması iki yolla olur: Birincisi; yüzey toprağına karışmış olan radyoaktivitenin, toprak taneciklerinin havaya dağılması ve oradan solunum yoluyla insana ulaşmasıdır. Bu taneciklerden 10  $\mu$ 'dan küçük olanlarının solunum organlarına ulaştığı saptanmıştır. İkinci yol toprakta bulunan doğal ve yapay radyoizotopların toprak-bitki-hayvan gıda zinciri ile insana ulaşmasıdır (Portakal, 1991).

**Çizelge 3.3** 1986 yılı Karadeniz toprak örnekleri sayım sonuçları (Portakal, 1991)

| Yer Adı | $^{137}\text{Cs}$ Aktivitesi (Bq/kg) | Yer Adı  | $^{137}\text{Cs}$ Aktivitesi (Bq/kg) |
|---------|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| Arhavi  | 259.48±2.30                          | Perşembe | 37.09±2.87                           |
| Sürmene | 22.37±1.33                           | Fındıklı | 109.97±3.05                          |
| Ünye    | 150.55±4.89                          | Eynesil  | 31.75±2.18                           |
| Pazar   | 121.53±4.09                          | Maçka    | 83.15±3.35                           |
| Borçka  | 34.15±1.84                           | Dereli   | 28.64±2.30                           |
| Fatsa   | 129.41±2.86                          | Arhavi   | 248.78±7.96                          |
| Sürmene | 24.80±2.39                           | Görele   | 65.69±2.82                           |

**Çizelge 3.4** Tekirdağ ili toprak örneklerinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin 0-10 cm aktivite derinlikteki konsantrasyonları (Bq/kg)

| Yer adı       | Aktivite Konsantrasyonları (Bq/Kg) |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                                  |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|               | U-238                              |                                  |                                  | Th-232                           |                                  |                                 | <sup>137</sup> Cs<br>(661,7 keV) |
|               | <sup>226</sup> Ra<br>(186 keV)     | <sup>214</sup> Pb<br>(351,8 keV) | <sup>214</sup> Bi<br>(609,3 keV) | <sup>208</sup> Tl<br>(583,8 keV) | <sup>228</sup> Ac<br>(911,0 keV) | <sup>40</sup> K<br>(1460,8 keV) |                                  |
| Tekirdağ(mer) | 28,51±2,28                         | 19,62±0,59                       | 18,01±0,72                       | 28,85±0,87                       | 28,60±1,14                       | 476,82±9,54                     | 3,67±0,18                        |
| Naip Köyü     | 23,51±0,24                         | 17,90±0,89                       | 18,52±1,11                       | 32,53±1,63                       | 32,12±1,93                       | 480,73±14,42                    | 15,16±0,45                       |
| Barbaros      | 25,86±1,3                          | 15,81±0,31                       | 15,03±0,45                       | 22,80±0,46                       | 20,03±0,60                       | 365,28±3,65                     | 1,17±0,01                        |
| İnceik        | 57,03±3,42                         | 37,68±0,75                       | 34,32±1,03                       | 51,21±1,54                       | 50,57±2,02                       | 694,72±13,89                    | 3,96±0,24                        |
| Güvençli      | 31,08±2,18                         | 21,63±0,65                       | 18,59±0,56                       | 21,32±0,21                       | 19,21±0,96                       | 341,73±6,83                     | 1,52±0,06                        |
| Çorlu         | 11,47±0,69                         | 11,80±0,23                       | 10,16±0,20                       | 19,59±0,39                       | 16,16±0,48                       | 358,17±3,58                     | 1,79±0,10                        |
| Çerkezköy     | 97,89±2,94                         | 66,95±0,67                       | 61,18±0,61                       | 112,57±1,13                      | 110,50±1,11                      | 1466,22±14,66                   | 21,95±0,44                       |
| Sultanköy     | 30,00±2,1                          | 51,32±1,03                       | 18,10±0,72                       | 29,36±0,88                       | 25,42±1,02                       | 388,42±7,77                     | 0,54±0,02                        |
| Velimeşe      | 24,07±3,37                         | 30,05±0,90                       | 28,99±1,16                       | 45,29±1,36                       | 39,43±1,97                       | 764,07±15,28                    | 2,75±0,22                        |
| M.Ereğlisi    | 63,29±2,53                         | 43,45±0,87                       | 41,21±0,82                       | 69,79±1,40                       | 67,22±1,34                       | 1001,73±10,01                   | 10,98±0,22                       |
| Ballı         | 33,10±1,66                         | 20,63±0,41                       | 18,82±0,56                       | 32,95±0,66                       | 29,81±0,30                       | 456,90±4,57                     | 3,55±0,14                        |
| Gölcük        | 17,81±1,25                         | 17,69±0,35                       | 15,79±0,47                       | 22,85±0,69                       | 19,83±0,59                       | 297,89±5,96                     | 1,48±0,01                        |
| Yeniçiftlik   | 58,36±3,50                         | 40,23±0,80                       | 37,54±0,75                       | 51,73±1,55                       | 47,48±1,42                       | 837,78±8,38                     | 5,76±0,29                        |
| Şarköy        | 30,73±1,54                         | 23,48±0,47                       | 20,23±0,40                       | 24,42±0,73                       | 22,79±0,68                       | 596,33±5,96                     | 1,29±0,01                        |
| Balabancık    | 25,88±1,55                         | 21,94±0,44                       | 20,01±0,40                       | 30,90±0,62                       | 30,54±0,92                       | 386,28±3,86                     | 7,10±0,21                        |

Çizelge 3.4 Tekirdağ ili toprak örneklerinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin 0-10 cm aktivite derinlikteki konsantrasyonları (Bq/kg)

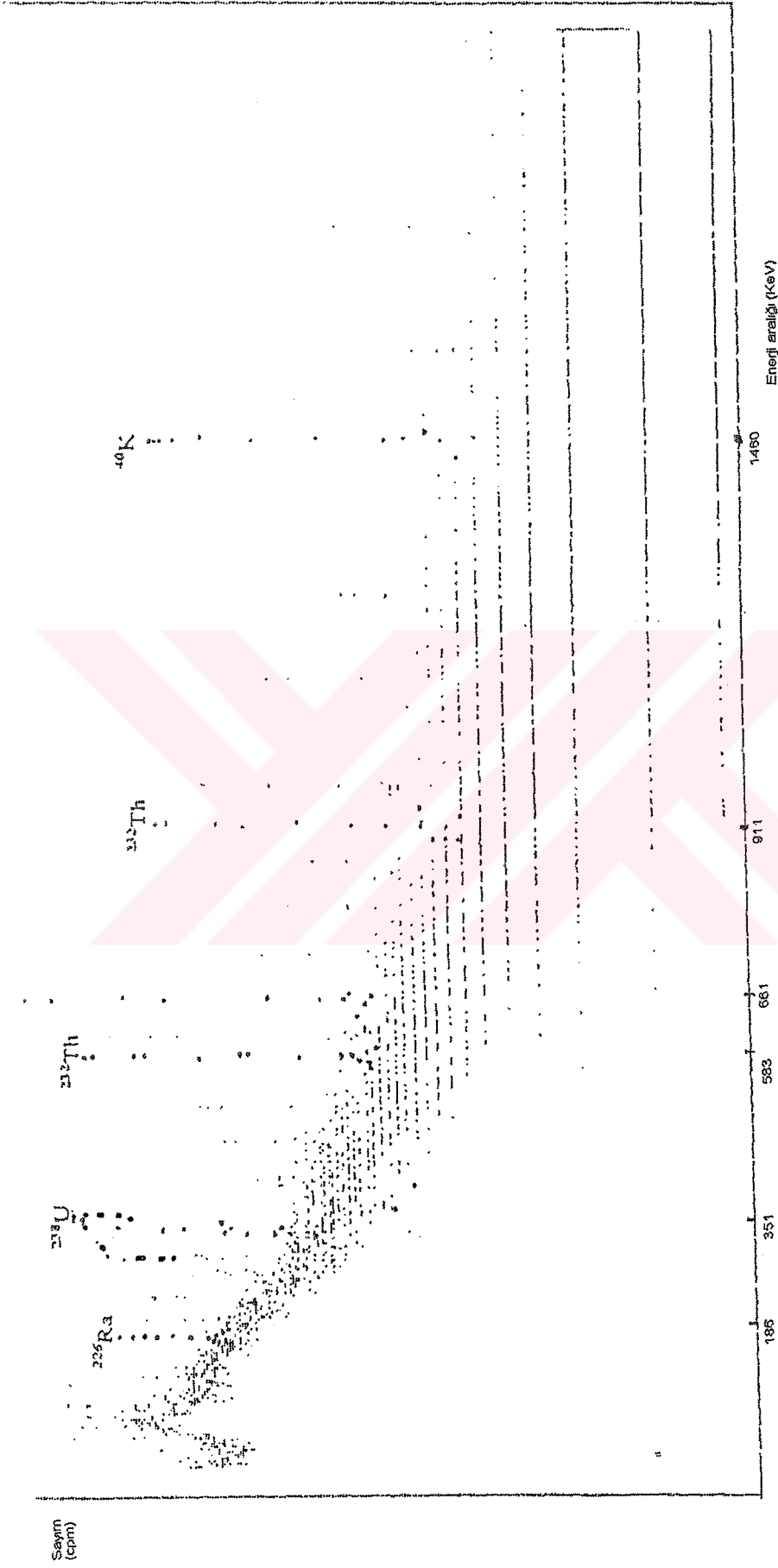
(devam)

| Yer adı       | Aktivite Konsantrasyonları (Bq/Kg) |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                   |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|               | U-238                              |                                  |                                  | Th-232                           |                                  |                                 | <sup>137</sup> Cs |
|               | <sup>226</sup> Ra<br>(186 keV)     | <sup>214</sup> Pb<br>(351,8 keV) | <sup>214</sup> Bi<br>(609,3 keV) | <sup>208</sup> Tl<br>(583,8 keV) | <sup>228</sup> Ac<br>(911,0 keV) | <sup>40</sup> K<br>(1460,8 keV) |                   |
| Yörük         | 26,93±1,35                         | 20,25±0,41                       | 16,01±0,48                       | 32,85±0,66                       | 31,16±0,93                       | 480,76±4,80                     | 1,22±0,01         |
| Sağlamtaş     | 29,13±1,75                         | 20,18±0,40                       | 18,80±0,56                       | 32,84±0,66                       | 30,28±0,91                       | 462,66±4,63                     | 29,70±0,30        |
| Müreffe       | 20,88±1,04                         | 20,61±0,41                       | 17,79±0,36                       | 17,24±0,52                       | 15,27±0,61                       | 242,51±4,85                     | 1,62±0,15         |
| Yağcı         | 32,00±2,56                         | 20,22±0,61                       | 19,26±0,77                       | 35,95±1,08                       | 32,52±1,30                       | 403,26±8,06                     | 2,88±0,17         |
| Seymenli      | 32,30±0,65                         | 24,00±0,48                       | 22,13±0,44                       | 34,19±0,68                       | 32,31±0,97                       | 416,20±4,16                     | 6,01±0,18         |
| Batkın        | 24,84±0,00                         | 22,33±0,67                       | 20,14±0,60                       | 34,64±1,04                       | 30,50±1,22                       | 402,76±8,06                     | 2,21±0,13         |
| Karamurat     | 38,64±1,16                         | 27,90±0,28                       | 24,65±0,49                       | 54,64±0,55                       | 50,59±1,01                       | 475,66±4,76                     | 1,01±0,14         |
| Malkara       | 70,98±3,55                         | 43,16±0,86                       | 40,25±0,81                       | 72,07±1,44                       | 69,17±2,08                       | 1015,41±10,15                   | 1,31±0,30         |
| Susuzmüsellim | 18,90±1,32                         | 18,69±0,37                       | 17,48±0,52                       | 24,68±0,74                       | 20,64±0,83                       | 327,88±6,56                     | 0,46±0,03         |
| Kaşıkcı       | 60,51±3,03                         | 30,90±0,62                       | 28,28±0,85                       | 53,81±1,08                       | 49,33±1,48                       | 979,02±9,79                     | 3,37±0,20         |
| Çerkez.Müs.   | 6,78±0,07                          | 8,70±0,35                        | 7,91±0,32                        | 19,48±0,78                       | 18,53±0,74                       | 348,92±3,49                     | 1,64±0,15         |
| Karacakılavuz | 7,62±0,69                          | 9,28±0,28                        | 7,50±0,30                        | 17,48±0,52                       | 14,79±0,59                       | 195,69±1,96                     | 5,75±0,23         |
| Muratlı       | 30,06±1,20                         | 22,66±0,23                       | 20,29±0,41                       | 39,28±0,39                       | 36,15±0,72                       | 501,76±5,02                     | 0,11±0,00         |
| Saray         | 31,74±1,59                         | 9,49±0,47                        | 24,15±0,48                       | 29,73±0,59                       | 26,24±0,79                       | 549,07±5,49                     | 14,88±0,30        |
| Yeşilsirt     | 20,27±0,41                         | 17,55±0,35                       | 14,99±0,30                       | 24,97±0,50                       | 24,80±0,50                       | 335,25±3,35                     | 5,78±0,17         |

**Çizelge 3.4** Tekirdağ ili toprak örneklerinde bulunan radyoaktif çekirdeklerin 0-10 cm aktivite derinlikteki konsantrasyonları (Bq/kg)

(devam)

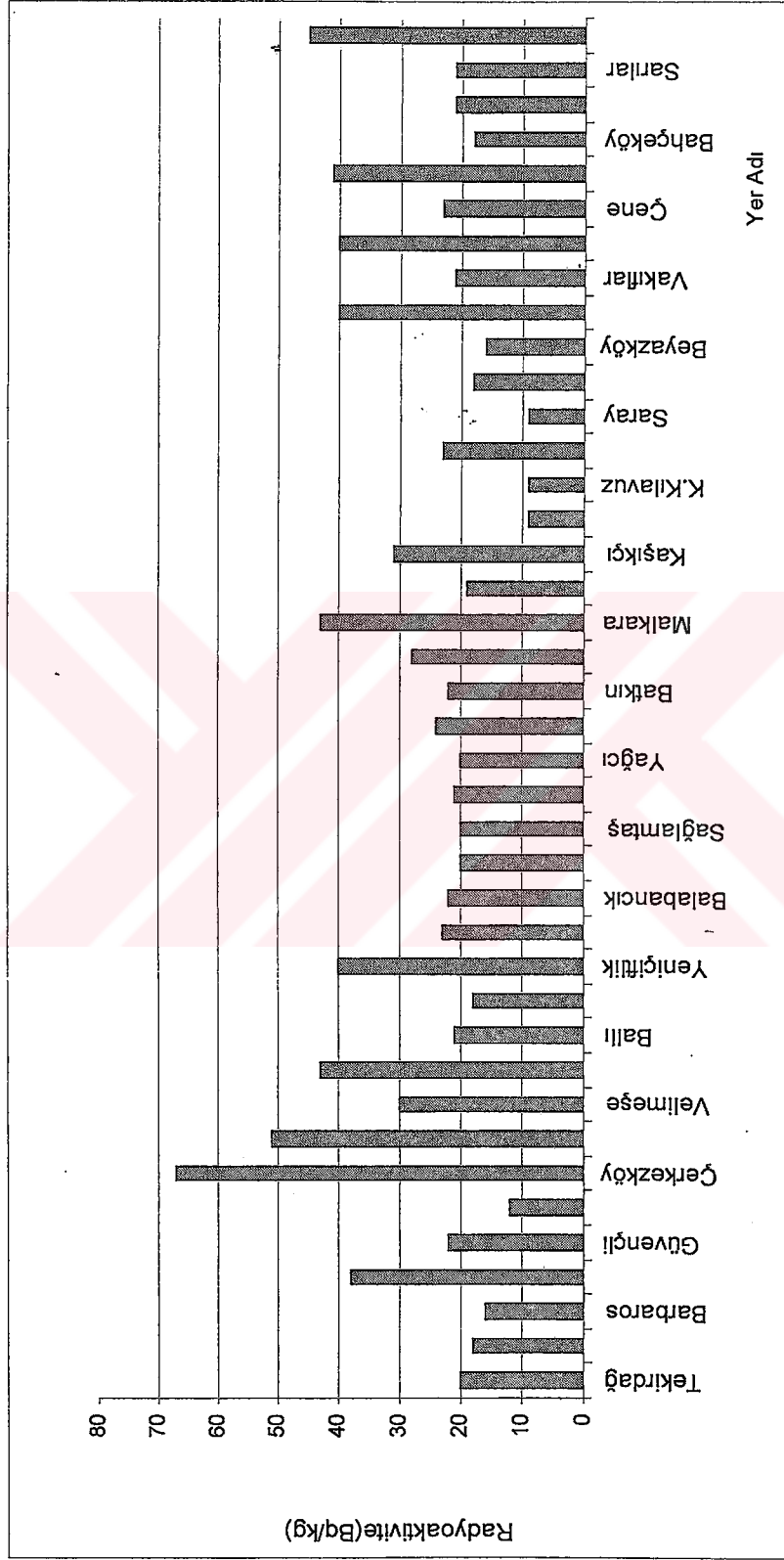
| Yer adı   | Aktivite Konsantrasyonları (Bq/Kg) |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                                  |
|-----------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|           | U-238                              |                                  |                                  | Th-232                           |                                  |                                 | <sup>137</sup> Cs<br>(661,7 keV) |
|           | <sup>226</sup> Ra<br>(186 keV)     | <sup>214</sup> Pb<br>(351,8 keV) | <sup>214</sup> Bi<br>(609,3 keV) | <sup>208</sup> Tl<br>(583,8 keV) | <sup>228</sup> Ac<br>(911,0 keV) | <sup>40</sup> K<br>(1460,8 keV) |                                  |
| Beyazköy  | 21,89±1,97                         | 16,01±0,48                       | 15,45±0,62                       | 29,82±0,89                       | 24,87±0,99                       | 435,08±4,35                     | 2,60±0,13                        |
| Bahçeagıl | 64,52±3,87                         | 39,92±1,20                       | 38,53±1,16                       | 74,96±1,50                       | 69,15±2,07                       | 1372,93±13,73                   | 9,92±0,40                        |
| Vakıflar  | 29,76±1,79                         | 20,76±0,42                       | 20,11±0,40                       | 34,35±0,68                       | 31,64±0,95                       | 456,99±4,57                     | 6,90±0,21                        |
| Hayrabolu | 65,55±1,31                         | 40,43±0,40                       | 37,24±0,74                       | 62,72±0,63                       | 59,71±1,19                       | 817,20±8,17                     | 1,94±0,12                        |
| Çene      | 30,79±1,23                         | 23,07±0,46                       | 19,97±0,40                       | 35,93±0,72                       | 33,06±0,66                       | 475,36±4,75                     | 6,38±0,19                        |
| Gaziköy   | 68,01±2,04                         | 41,21±0,82                       | 36,37±0,73                       | 68,57±1,37                       | 67,87±1,36                       | 909,79±9,10                     | 4,30±0,17                        |
| Bahçeköy  | 24,60±0,98                         | 17,97±0,36                       | 16,67±0,33                       | 33,01±0,66                       | 30,53±0,61                       | 438,88±4,39                     | 4,23±0,17                        |
| Danişment | 27,59±4,14                         | 21,39±1,28                       | 21,89±1,31                       | 33,34±2,00                       | 29,59±2,37                       | 562,51±16,87                    | 6,90±0,41                        |
| Sarılar   | 33,71±1,74                         | 21,34±0,45                       | 21,04±0,49                       | 39,21±0,78                       | 35,73±0,92                       | 491,01±6,04                     | 0,34±0,02                        |
| Şahin     | 75,19±2,61                         | 44,67±0,71                       | 41,42±0,97                       | 75,76±1,18                       | 74,69±1,46                       | 1131,28±9,62                    | 2,89±0,15                        |
| Ortalama  | 36,29                              | 26,07                            | 23,62                            | 40,19                            | 37,47                            | 578,52                          | 5,17                             |



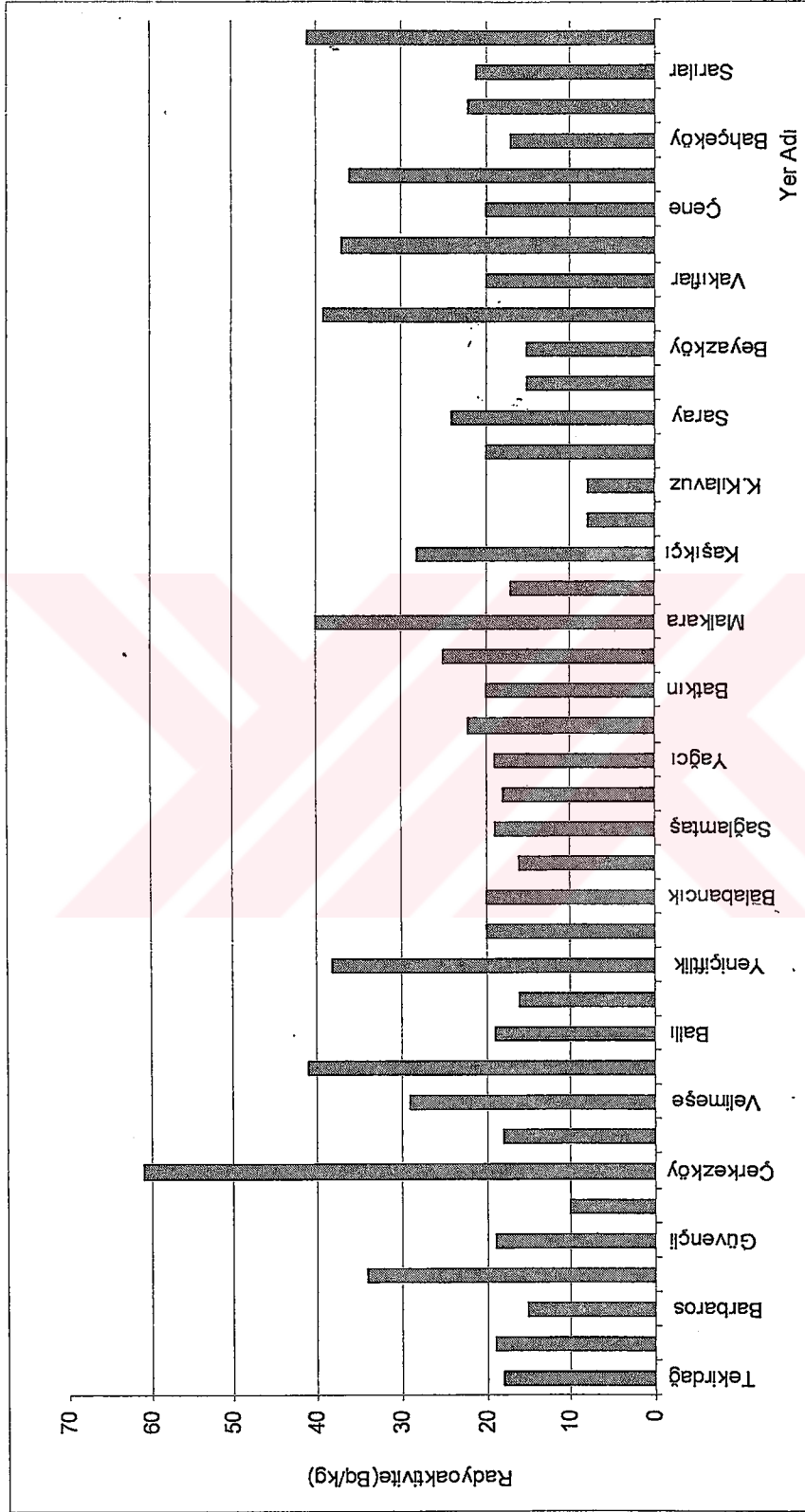
Şekil 3.3 Toprak örneği gama spektrumu.



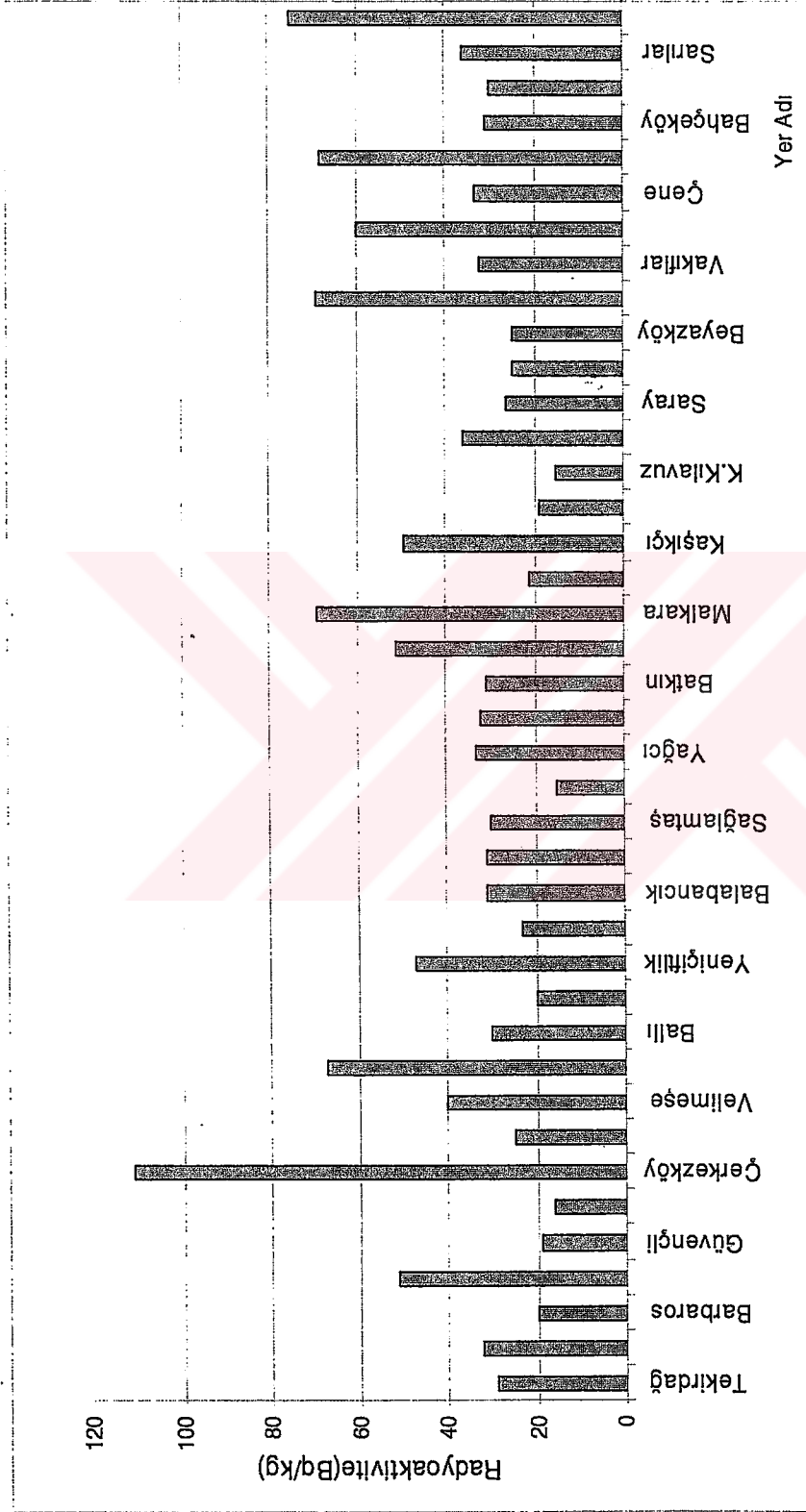
Şekil 3.4 Tekirdağ toprağındaki Ra-226'nın dağılımı.



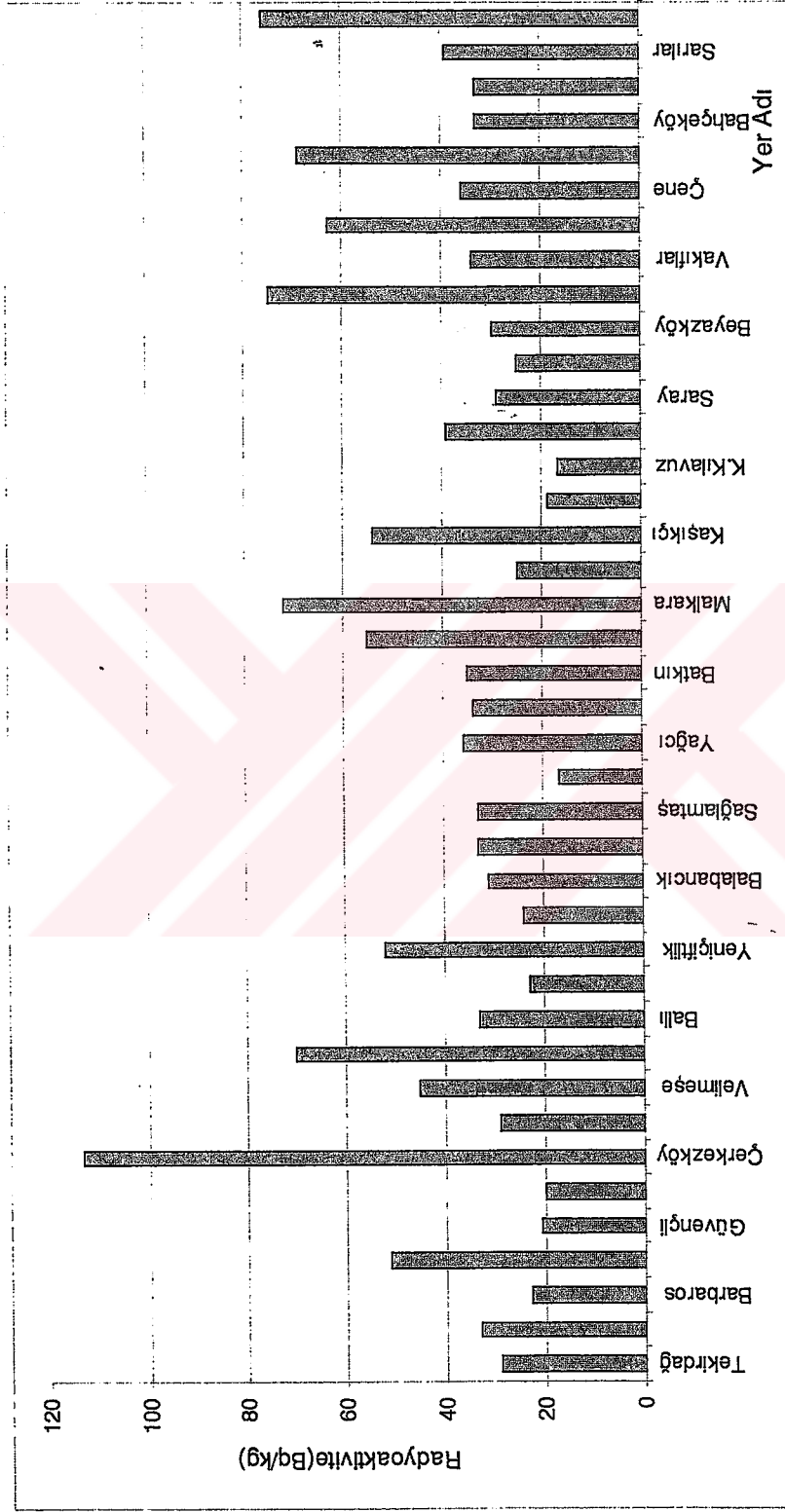
Şekil 3.5 Tekirdağ toprağındaki Pb-214'ün dağılımı.



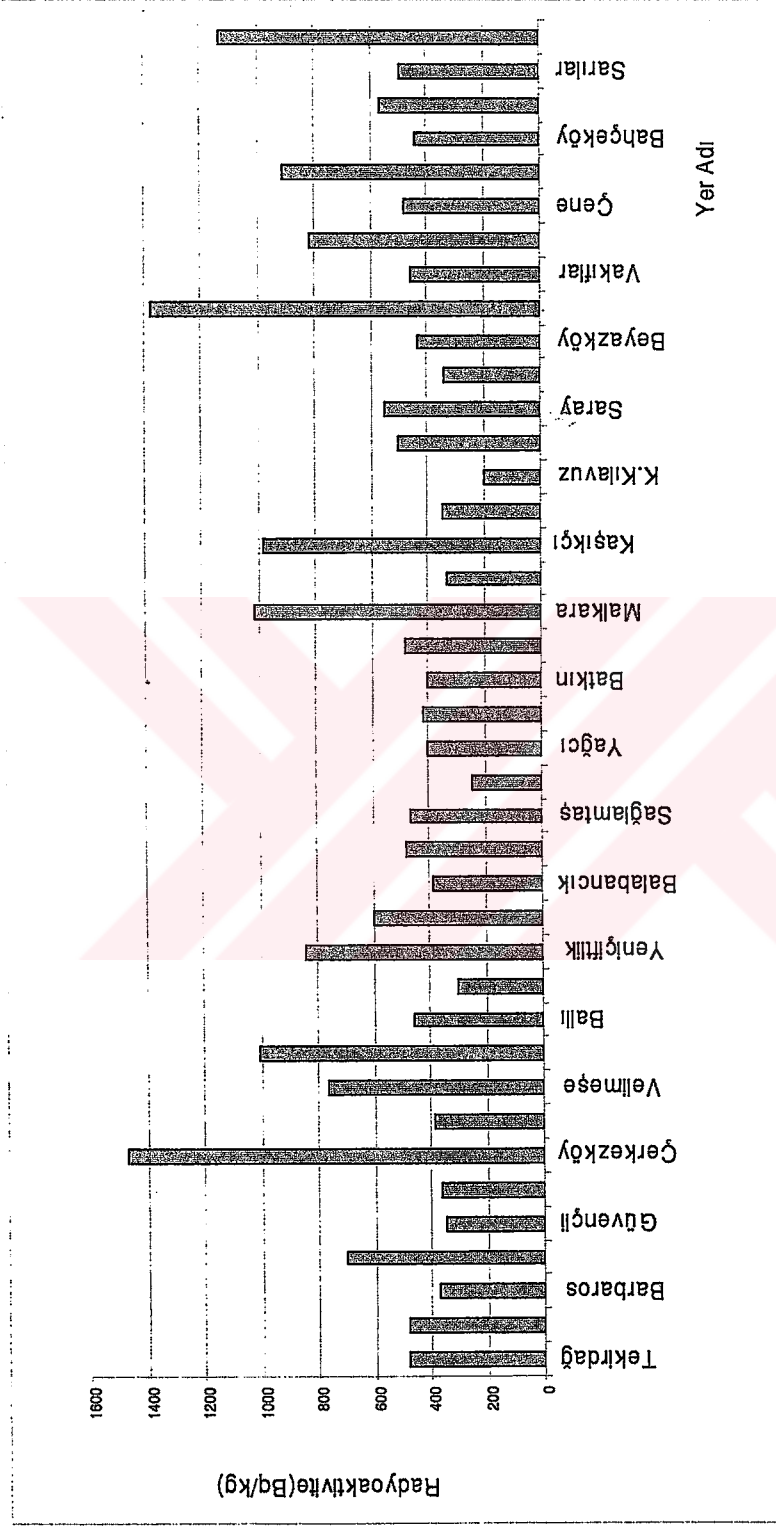
Şekil 3.6 Tekirdağ toprağındaki Bi-214'ün dağılımı.



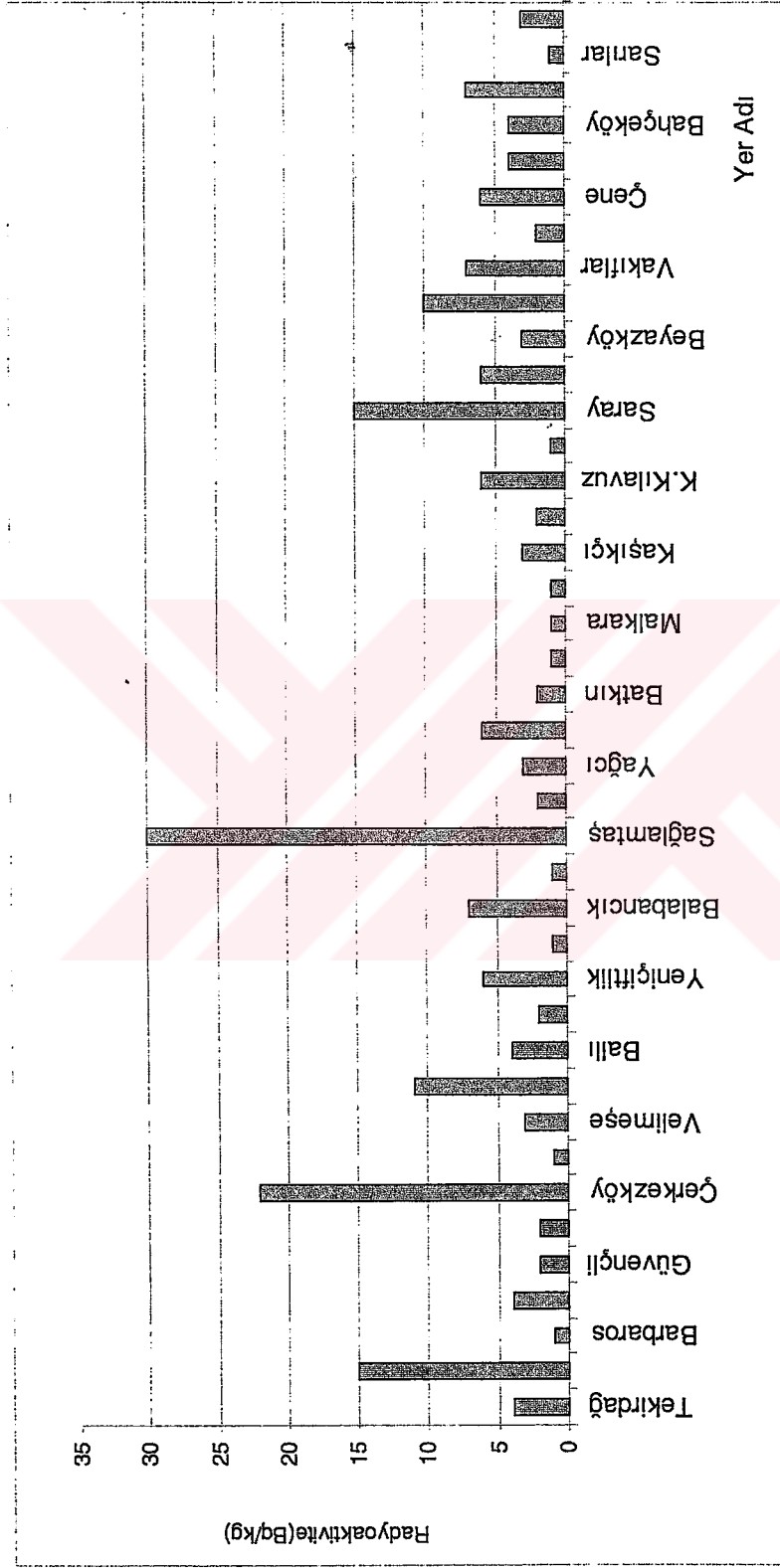
Şekil 3.7 Tekirdağ toprağındaki Ac-228'in dağılımı.



Şekil 3.8 Tekirdağ toprağındaki Tl-208'in dağılımı.



Şekil 3.9 Tekirdağ toprağındaki K-40'ın dağılımı.



Şekil 3.10 Tekirdağ toprağındaki Cs-137'nin dağılımı.

### 3.4 Tekirdağ İlinin İçme ve Kaynak Sularındaki Doğal Radyoaktivitenin Tayini

Sularda radyoaktivite tayininde doğal kaynaklardaki gama aktif elementlerin yarı ömürlerinin alfa ve beta aktif elementlere göre daha kısa olması nedeniyle, çoğu kez gama aktivitesinin tayini yoluna gidilmemektedir. Buna karşın alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikesi açısından önemli olmaları nedeniyle sular için üzerinde önemle durulan bir konu durumundadır. Nitekim, standartlarda da alfa ve beta radyoaktivite seviyelerine ilişkin limitler belirlenmiştir (TS 226, 1988). Bu bağlamda, çevresel bakımdan, suların radyoaktif kirliliğinin saptanmasında ilk adım, bu suların toplam alfa ve beta aktivitelerini ölçmektir.

Su analizleri için, Tekirdağ il sınırları içerisinde yer alan ilçe, belde ve nüfusu kalabalık olan köylerdeki su kaynaklarından 500 cm<sup>3</sup> su örnekleri alınmış, alınan su örnekleri kaynama noktasının altında bir sıcaklıkta 100-110 cm<sup>3</sup> kalıncaya kadar buharlaştırılmıştır. Su örnekleri, daha sonra, darası alınmış 20 cm<sup>3</sup>'lük paslanmaz çelik planşetlere azar azar taşmayacak şekilde aktarılmıştır. Su bitirilinceye kadar bu işleme devam edilmiştir. Kabin çeperlerine yapışabilecek herhangi bir maddeye karşı beher, az miktarda HCl ve cam çubuk yardımıyla kazınıp çalkalanmış ve arta kalan tortu planşete aktarılmıştır. Planşet, içerisinde sadece tortu kalıncaya kadar ısıtılmıştır. Daha sonra kalan tortular tartılarak her örnek için ne kadar tortu kaldığı bulunmuştur. Değerler Çizelge 3.5'te verilmiştir. Ölçüm sırasında tortu kaybindan kaynaklanabilecek hatayı minimuma indirmek için planşetin çeperlerine yapışan tortu bir spatül yardımıyla kazınarak planşetin içerisine konmuştur. Planşetler ortam sıcaklığına gelinceye kadar desikatörde saklanmıştır.

Su analizleri ÇNAEM, Sağlık Fiziği laboratuvarlarında bulunan LB770-PC 10 kanallı düşük temel planşet radyasyon sayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Cihazla ilgili ayrıntılar Bölüm 2.3. da verilmiştir. ÇNAEM, Sağlık Fiziği Bölümü çalışanları tarafından geliştirilen bir yöntemle, alfa sayımı için planşetin içindeki tortu miktarının 400 mg'ın altında olması gerektiği saptanmıştır. Bunun nedeni alfalardaki self-absorpsiyonun fazla olması ve 400 mg'ın üzerinde sayımın sabitleşmesidir. Beta sayımı için self-absorpsiyon faktöründen dolayı tortu miktarı 2000 mg dan yukarı olmamalıdır. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha girgin oldukları için tortu miktarı da alfadan yaklaşık beş kat fazla olabilmektedir. Tekirdağ ili içme sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Tekirdağ sularının cinsi, miktarı ve net tortu değerleri

| Örnek Adı          | Suyun Cinsi | Alınan<br>Miktar | Planşet<br>Darası (mg) | Daralı<br>Rezidü (mg) | Net Rezidü<br>(mg) |
|--------------------|-------------|------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| Tekirdağ (Sahil)   | İçme Suyu   | 500ml            | 13,778                 | 13,887                | 149                |
| K.Kılavuz Kuyu     | İçme Suyu   | 500ml            | 13,656                 | 13,839                | 183                |
| Kayı (Constantin ) | Köy Çeşmesi | 500ml            | 13,792                 | 14,007                | 215                |
| T.Dağ Bağlarıçı    | Kaynak Suyu | 500ml            | 13,648                 | 13,978                | 330                |
| Köseilyas          | İçme Suyu   | 500ml            | 13,791                 | 14,063                | 342                |
| Tekirdağ (Ç.Önü)   | İçme Suyu   | 500ml            | 13,757                 | 13,823                | 66                 |
| Banarlı            | İçme Suyu   | 500ml            | 13,485                 | 13,722                | 237                |
| Malkara            | İçme Suyu   | 500ml            | 13,635                 | 13,781                | 146                |
| Osman Gazi         | Kaynak Suyu | 500ml            | 13,524                 | 13,763                | 239                |
| Tekirdağ Merkez    | İçme Suyu   | 500ml            | 13,667                 | 13,721                | 54                 |
| Faraş              | İçme Suyu   | 500ml            | 13,718                 | 13,813                | 95                 |
| Tatarlı            | Kaynak Suyu | 500ml            | 13,743                 | 13,954                | 211                |
| Yayaköy            | Kuyu Suyu   | 500ml            | 13,627                 | 14,039                | 412                |
| Bıyıklı            | Kaynak Suyu | 500ml            | 13,521                 | 13,872                | 351                |
| Çerkezköy          | Kuyu Suyu   | 500ml            | 13,468                 | 13,697                | 229                |
| Çerkezköy          | İçme Suyu   | 500ml            | 13,617                 | 13,714                | 97                 |
| Misinli            | İçme Suyu   | 500ml            | 13,746                 | 13,994                | 248                |
| Şarköy             | Maden Suyu  | 500ml            | 13,627                 | 13,708                | 81                 |
| Muratlı            | İçme Suyu   | 500ml            | 13,637                 | 13,835                | 198                |
| Turkuaz(Çorlu)     | Kaynak Suyu | 500ml            | 13,780                 | 13,821                | 41                 |
| Marmaracık Beldesi | İçme Suyu   | 500ml            | 13,661                 | 13,838                | 0,177              |
| Yenice (Çorlu)     | İçme Suyu   | 500ml            | 13,775                 | 13,839                | 0,064              |
| Barbaros           | İçme Suyu   | 500ml            | 13,620                 | 13,960                | 340                |
| Veli Köy           | İçme Suyu   | 500ml            | 13,751                 | 13,905                | 184                |
| Hayrabolu          | İçme Suyu   | 500ml            | 13,492                 | 13,595                | 103                |
| Ulaş               | İçme Suyu   | 500ml            | 13,773                 | 13,896                | 123                |

**Çizelge 3.5** Tekirdağ sularının cinsi, miktarı ve net tortu değerleri (devam)

| <b>Örnek Adı</b> | <b>Suyun Cinsi</b> | <b>Alınan<br/>Miktar</b> | <b>Planşet<br/>Darası(mg)</b> | <b>Rezidü<br/>Darası(mg)</b> | <b>Net<br/>Rezidü(mg)</b> |
|------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Yulaflı          | İçme Suyu          | 500ml                    | 13,628                        | 13,714                       | 86                        |
| İnanlı           | İçme Suyu          | 500ml                    | 13,692                        | 13,864                       | 172                       |
| Kırkkepenekli    | İçme Suyu          | 500ml                    | 13,476                        | 13,912                       | 436                       |
| Saray            | İçme Suyu          | 500ml                    | 13,718                        | 13,839                       | 121                       |
| M.Ereğlisi       | Termal Suyu        | 500ml                    | 13,681                        | 13,976                       | 0,295                     |
| M.Ereğlisi       | İçme Suyu          | 500ml                    | 13,694                        | 13,791                       | 0,097                     |

**Çizelge 3.6** Tekirdağ ili içme sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları

| <b>Örnek Adı</b>        | <b>Toplam Alfa Aktivitesi<br/>(Bq/l)</b> | <b>Toplam Beta Aktivitesi<br/>(Bq/l)</b> |
|-------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Tekirdağ (Sahil)        | 0,0819±0,0039                            | 0,0597±0,0036                            |
| K.Kılavuz Kuyu          | 0,0278±0,0030                            | 0,0659±0,0034                            |
| Kayı (Constantin Çeş.)  | 0,1392±0,0059                            | 0,1242±0,0055                            |
| T.Dağ Bağlariçi         | 0,0304±0,0029                            | 0,0409±0,0047                            |
| Köseilyas               | 0,0219±0,0026                            | 0,0491±0,0039                            |
| Tekirdağ (Çiftlik Öntü) | 0,0789±0,0049                            | 0,0479±0,0046                            |
| Banarlı                 | 0,0423±0,0038                            | 0,0902±0,0045                            |
| Malkara                 | 0,0252±0,0025                            | 0,0282±0,0031                            |
| Osman Gazi              | 0,0305±0,0037                            | 0,0439±0,0044                            |
| Tekirdağ Merkez         | 0,0449±0,0033                            | 0,0362±0,0036                            |
| Faraş                   | 0,0332±0,0034                            | 0,1973±0,0047                            |
| Tatarlı                 | 0,0124±0,0020                            | 0,0522±0,0021                            |
| Yayaköy                 | 0,0066±0,0012                            | 0,0246±0,0017                            |
| Bıyıklı                 | 0,0529±0,0049                            | 0,0948±0,0036                            |
| Çerkezköy               | 0,049±0,0010                             | 0,1100±0,003                             |
| Çerkezköy(Kuyu)         | 0,0250±0,0067                            | 0,6040±0,0061                            |
| Misinli                 | 0,0510±0,0073                            | 0,0903±0,0069                            |
| Şarköy                  | 0,0331±0,006                             | 0,3001±0,0100                            |
| Muratlı                 | 0,0221±0,0028                            | 0,0695±0,0028                            |
| Çorlu (Turkuaz)         | 0,0070±0,0041                            | 0,0190±0,00030                           |
| Marmaracık Beldesi      | 0,0654±0,0049                            | 0,1336±0,0075                            |
| Yenice (Çorlu)          | 0,1011±0,0065                            | 0,1220±0,0059                            |
| Barbaros                | 0,0115±0,0026                            | 0,0218±0,0032                            |
| Veli Köy                | 0,0483±0,0071                            | 0,1171±0,0074                            |
| Hayrabolu               | 0,0520±0,0007                            | 0,072±0,0006                             |

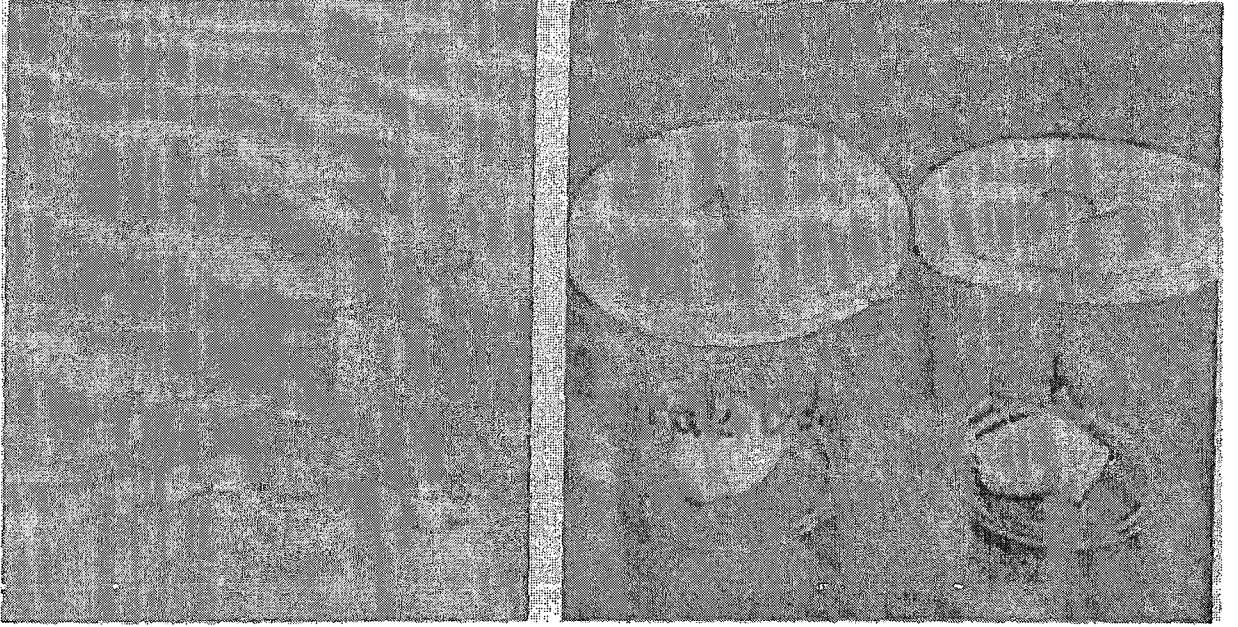
**Çizelge 3.6** Tekirdağ ili içme sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları  
(devam)

| Örnek Adı               | Toplam Alfa Aktivitesi<br>(Bq/l) | Toplam Beta Aktivitesi<br>(Bq/l) |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Ulaş                    | 0,1010±0,0040                    | 0,1280±0,0041                    |
| Çorlu(Çırakçı Bayırı)   | 0,1122±0,0037                    | 0,2174±0,0040                    |
| İnanlı                  | 0,0324±0,0040                    | 0,061±0,0030                     |
| Kırkkepenekli           | 0,0037±0,0025                    | 0,0658±0,0029                    |
| Saray                   | 0,0014±3,1306                    | 0,0611±0,0032                    |
| M. Ereğlisi (Termal Su) | 0,0192±0,0103                    | 0,0220±0,0084                    |
| Marmara Ereğlisi        | 0,0287±0,0049                    | 0,0608±0,0054                    |

### 3.5 Tekirdağ Evlerinde Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü

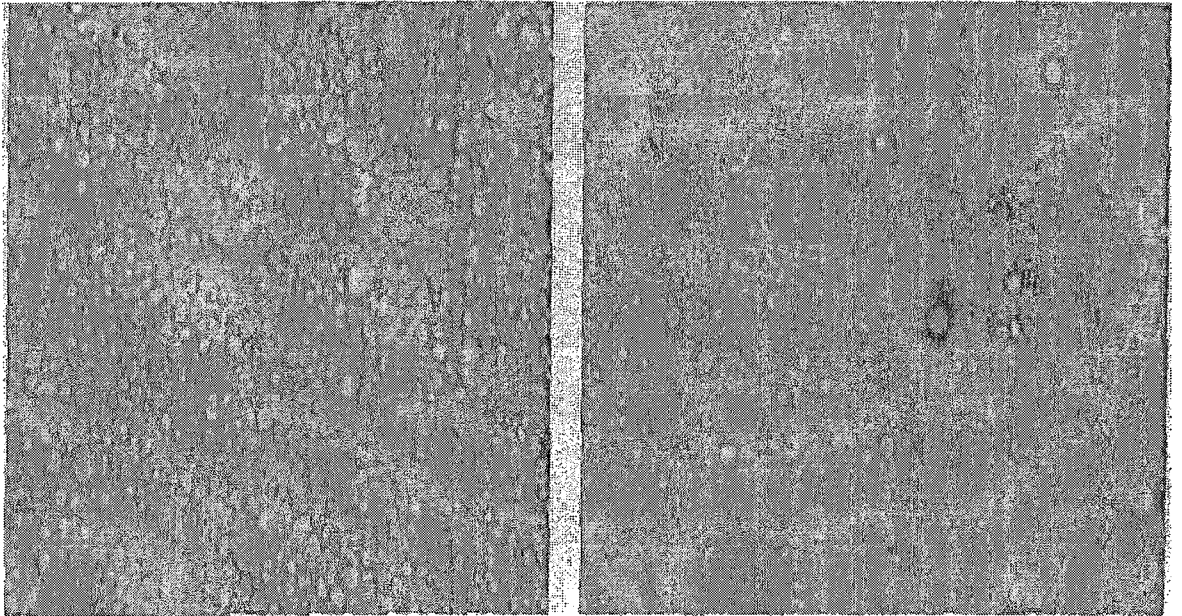
Bu çalışmada, ev-içi radon konsantrasyonlarının ölçümleri pasif yöntemle, CR-39 plastik dedektörlerin kullanımı ile yapılmıştır. Pasif nükleer iz dedektörü olarak olarak, doğal fon alfa ışın izlerinin düşük olması nedeniyle, ticari adı Cr-39 olan alil diglikol karbonat plastik dedektörler tercih edilmiştir. Dedektör malzemesi İngiltere’de bulunan Pershol Firmasından ithal edilmiştir. Plastik malzeme, A4 dosya kağıdı büyüklüğünde, 0.25 cm kalınlığında kesilmiş olarak temin edilmiştir. Dedektörler 20x20x0.25 mm boyutlarında kesilerek, 4 cm yüksekliğinde olan ve Şekil 3.11’de görülen plastik, difüzyon kabı içine yerleştirilmiş ve kap, difüzyon kabı içerisine toz ve radonun katı ürünlerinin girmemesi için, plastik bir kapakla kapatılmıştır. Radon ve bozunma ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri difüzyon kaplarının içine girerek dedektörle etkileşmekte ve dedektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşturmaktadır.

Tekirdağ ilinde seçilen 84 eve, toplam 110 adet Cr-39 dedektörü dağıtılmıştır. Detektör dağıtılan her evde, ev hakkında daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak için on sorudan oluşan bir “Bilgi Formu” doldurulmuştur. Bilgi formlarının bir örneği Ek 5.3 de yer almaktadır. Dedektörler, Mart - Haziran, 2003 tarihleri arasında yaklaşık 90 ile 100 gün sürelerle evlerde bekletilmiştir.



**Şekil 3.11** Radon difüzyon kapları.

90 günlük gözlem süresi sonunda toplanan dedektörler üzerindeki alfa izlerinin görülebilir hale getirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine başvurulmuştur. Bu işlem esnasında dedektörler %30 NaOH çözeltisinde, 70 °C sıcaklıkta, bir ettiv içinde 17 saat tutulmuşlardır. Daha sonra saf su ile iyice yıkanan dedektörler üzerinde oluşan alfa izleri, 500 büyütmeli bir mikroskopla rahatça gözlenerek sayılmıştır. Şekil 3.12’de bu izlerin bir örneği gösterilmiştir.



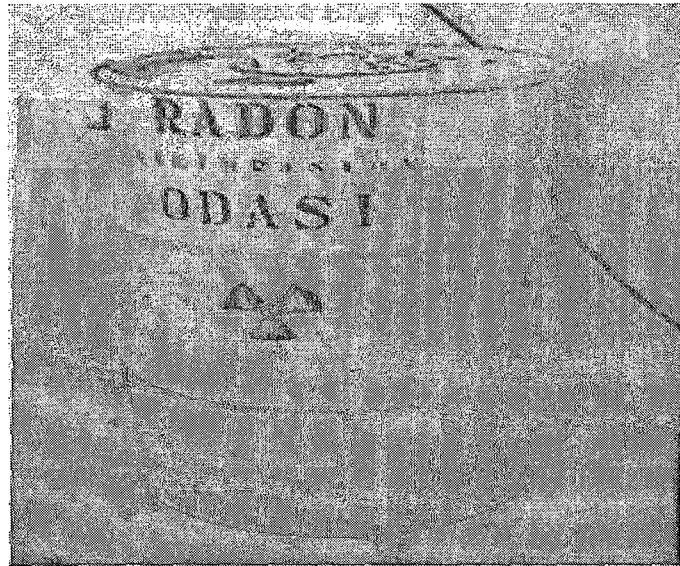
**Şekil 3.12** CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri.

### 3.5.1 Radon Kalibrasyon Odası

Pasif radon dozimetrelerini radon gazı konsantrasyonu cinsinden değerlendirebilmek için radon konsantrasyonu bilinen bir ortama ihtiyaç vardır. Bu nedenle ÇNAEM, Sağlık Fiziki Bölümünde bulunan bir radon kalibrasyon odasından yararlanılmıştır. Şekil 3.13'te gösterilen bu kalibrasyon odası, tabanına, aktivitesi bilinen bir  $^{226}\text{Ra}$  kaynağı yerleştirilmiş 225 litrelik bir bidondan oluşmaktadır. Bu bidonun ağzı, sızdırmazlık sağlanacak şekilde bir kapakla kapatılmıştır. Bidonun içerisinde, dedektörlerin konulacağı raflar bulunmaktadır. Radon kalibrasyon odasının konsantrasyonu  $3.2 \pm 0.04 \text{ kBq/m}^3$  dir (Çelebi, 2000).

Kalibrasyon için 10 tane dedektör hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dedektörler ikili gruplar halinde 1 ile 5 gün süreler ile radon kalibrasyon odasına konulup ışılandıktan sonra alınarak kimyasal iz kazıma (etching) işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlemler sonucunda, CR-39 dedektörlerindeki iz sayılarına karşı gelen radon konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılacak olan kalibrasyon faktörü  $8.5 \text{ (kBq/m}^3\text{)}/(\text{izsayısı/saat})$  olarak bulunmuştur.

Evlere dağıtılan toplam 110 dedektörden 34 tanesi, hasar görmeleri ya da iade edilmemeleri nedeniyle değerlendirilememiştir. Hasarsız olarak elde edilen ve iz sayıları belirlenen 92 dedektörün iz sayılara karşı gelen radon konsantrasyonu, kalibrasyon faktörü kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.7'de verilmiştir. Dedektör dağıtılan evlerin oturma ve yatak ve oturma odalarındaki radon konsantrasyonları Şekil 3.14'te kıyaslanmıştır. Ayrıca Tekirdağ ili ortalama ev içi radon konsantrasyon dağılımı ise Şekil 3.15'te grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 3.13 Radon kalibrasyon odası

Çizelge 3.7 Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları

Radon konsantrasyonu (Bq.m<sup>-3</sup>)

| Yer Adı     | Dedektör no | Bina Yapısı | Kat Numarası | Oturma Odası | Yatak Odası | Ortalama Radon Konsantrasyonu |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Çitlikönü   | 1           | Betonarme   | 1            | 67           | 71          | 69                            |
| "           | 2           | "           | 4            | 55           | 85          | 70                            |
| "           | 3           | "           | 4            | 52           | --          | 52                            |
| "           | 4           | "           | 2            | --           | 51          | 51                            |
| "           | 5           | "           | 0*           | --           | 133         | 133                           |
| "           | 6           | "           | 1            | 79           | --          | 79                            |
| "           | 7           | "           | 1            | --           | 98          | 98                            |
| "           | 8           | "           | 1            | 86           | --          | 86                            |
| "           | 9           | "           | 4            | --           | 75          | 75                            |
| "           | 10          | "           | 0            | 94           | --          | 94                            |
| "           | 11          | "           | 0            | 46           | --          | 46                            |
| "           | 12          | "           | 2            | --           | 121         | 121                           |
| "           | 13          | "           | 4            | 78           | --          | 78                            |
| "           | 14          | "           | 2            | 73           | --          | 73                            |
| "           | 15          | "           | 3            | 60           | 88          | 74                            |
| Peşamal Cd. | 16          | "           | 5            | 74           | 62          | 68                            |
| "           | 17          | "           | 2            | --           | 83          | 83                            |

Çizelge 3.7 Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları (devam)

| Yer Adı  | Dedektör no | Bina Yapısı | Kat Numarası | Oturma Odası | Yatak Odası | Ortalama Radon Konsantrasyonu |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Göçmen   | 18          | "           | 1            | 68           | 97          | 83                            |
| "        | 19          | "           | 3            | 75           | --          | 75                            |
| "        | 20          | "           | 0            | 110          | 94          | 102                           |
| Gündoğdu | 21          | "           | 0            | 60           | 151         | 106                           |
| "        | 22          | "           | 3            | --           | 57          | 57                            |
| "        | 23          | "           | 0            | 60           | --          | 60                            |
| "        | 24          | "           | 1            | 26           | --          | 26                            |
| "        | 25          | "           | 3            | 139          | --          | 139                           |
| "        | 26          | "           | 2            | --           | 65          | 65                            |
| Ertuğrul | 27          | "           | 3            | --           | 157         | 157                           |
| "        | 28          | "           | 0            | 53           | --          | 53                            |
| "        | 29          | "           | 3            | --           | 114         | 114                           |
| Zafer    | 30          | "           | 2            | 77           | --          | 77                            |
| "        | 31          | "           | 4            | 66           | 108         | 87                            |
| Aydoğdu  | 32          | "           | 3            | 100          | 129         | 115                           |
| "        | 33          | "           | 3            | 64           | --          | 64                            |
| Çınarlı  | 34          | "           | 4            | 47           | --          | 47                            |
| "        | 35          | "           | 3            | 136          | --          | 136                           |

Çizelge 3.7 Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları (devam)

| Yer Adı   | Dedektör no | Bina Yapısı | Kat Numarası | Oturma Odası | Yatak Odası | Ortalama Radon Konsantrasyonu |
|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Dereağzı  | 36          | “           | 2            | 56           | 78          | 67                            |
| “         | 37          | “           | 2            | 49           | 74          | 62                            |
| “         | 38          | “           | 3            | --           | 68          | 68                            |
| Softuoğlu | 39          | “           | 3            | 62           | 53          | 58                            |
| “         | 40          | “           | 2            | 66           | --          | 66                            |
| “         | 41          | “           | 2            | 102          | --          | 102                           |
| “         | 42          | “           | 3            | 94           | 134         | 114                           |
| Orta Cami | 43          | “           | 2            | --           | 53          | 53                            |
| “         | 44          | “           | 3            | --           | 67          | 67                            |
| “         | 45          | “           | 2            | --           | 72          | 72                            |
| “         | 46          | “           | 2            | 80           | --          | 80                            |
| “         | 47          | “           | 2            | --           | 11          | 11                            |
| “         | 48          | “           | 0            | 58           | --          | 58                            |
| “         | 49          | “           | 1            | --           | 96          | 96                            |
| “         | 50          | “           | 3            | 67           | 44          | 56                            |
| Y.Yıl     | 51          | “           | 2            | 45           | 62          | 54                            |
| “         | 52          | “           | 4            | --           | 77          | 77                            |
| “         | 53          | “           | 4            | 153          | --          | 153                           |

Çizelge 3.7 Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları (devam)

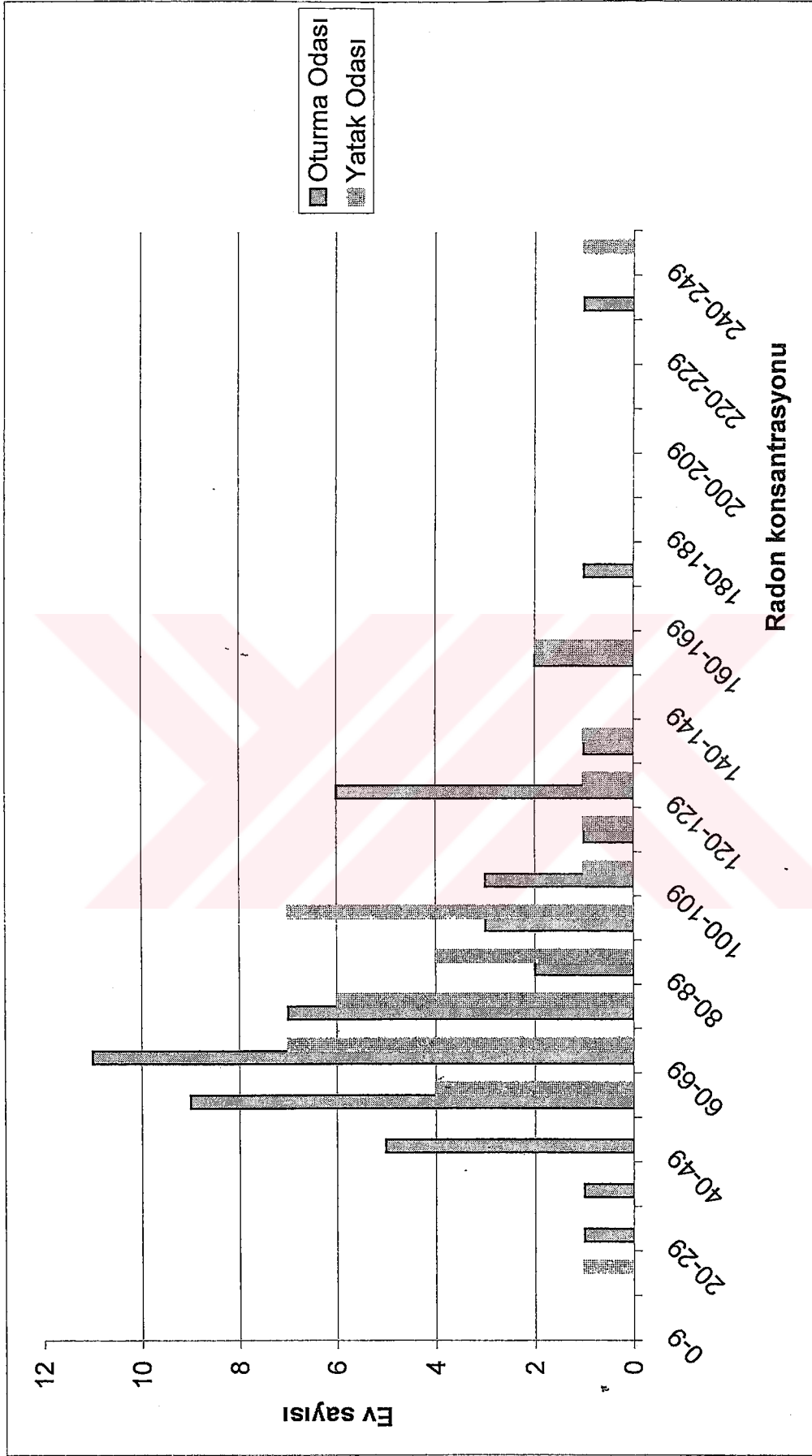
| Yer Adı   | Dedektör no | Bina Yapısı | Kat Numarası | Oturma Odası | Yatak Odası | Ortalama Radon Konsantrasyonu |
|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Barbaros  | 54          | "           | 0            | 125          | --          | 125                           |
| "         | 55          | "           | 0            | 120          | 175         | 148                           |
| "         | 56          | "           | 0            | 53           | --          | 53                            |
| "         | 57          | "           | -1**         | --           | 235         | 235                           |
| "         | 58          | "           | 0            | 126          | --          | 126                           |
| Köseilyas | 59          | "           | 0            | 158          | --          | 158                           |
| "         | 60          | "           | 0            | 51           | --          | 51                            |
| "         | 61          | "           | 0            | --           | 83          | 83                            |
| "         | 62          | "           | 0            | --           | 98          | 98                            |
| "         | 63          | "           | 0            | --           | 95          | 95                            |
| "         | 64          | "           | 0            | --           | 88          | 88                            |
| Banarlı   | 65          | "           | 0            | --           | 99          | 99                            |
| "         | 66          | "           | 0            | 53           | --          | 53                            |
| "         | 67          | "           | 0            | 59           | --          | 59                            |
| "         | 68          | "           | 0            | 31           | --          | 31                            |
| "         | 69          | "           | 0            | 77           | --          | 77                            |
| "         | 70          | "           | 0            | --           | 247         | 247                           |

Çizelge 3.7 Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyonları (devam)

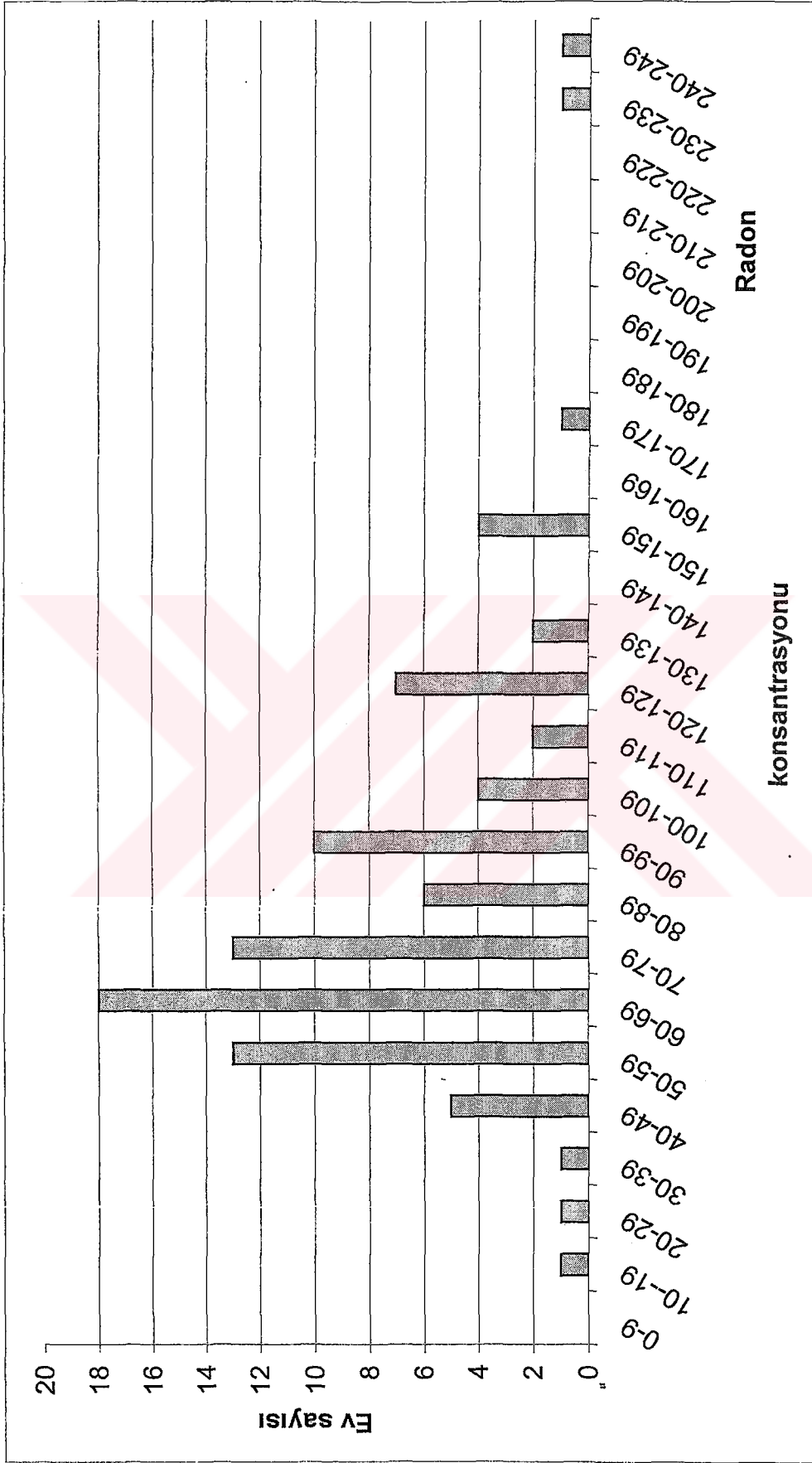
| Yer Adı         | Dedektör no | Bina Yapısı | Kat Numarası | Oturma Odası | Yatak Odası  | Ortalama Radon Konsantrasyonu |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|
| İnceik          | 71          | “           | 0            | --           | 65           | 65                            |
| “               | 72          | “           | 0            | 127          | --           | 127                           |
| “               | 73          | “           | 0            | 129          | --           | 129                           |
| “               | 74          | “           | 0            | 107          | --           | 107                           |
| Muratlı Cd.     | 75          | “           | 5            | --           | 67           | 67                            |
| “               | 76          | “           | 6            | 68           | --           | 68                            |
| <b>Ortalama</b> |             |             |              | <b>77,6</b>  | <b>94,76</b> | <b>87,05</b>                  |

\* Giriş kat

\*\* Bodrum kat



Şekil 3.14 Tekirdağ ili oturma ve yatak odalarında ölçülen radon konsantrasyonları.



Şekil 3.15 Tekirdağ ili ev içi ortalama radon konsantrasyonları.

### 3.5.2 Ev içi Radon Gazının Solunumu ile Alınan Yıllık Etkin Eşdeğer Dozların Hesaplanması

Radon konsantrasyonlarının eşdeğer doz karşılıklarının hesaplanması UNSCEAR, 1993 de verilen modele göre yapılmıştır. Bu modelde ev içi meşguliyet faktörü 0.80 olarak alınmaktadır. Fakat bu çalışmada, Tekirdağ'ın iklim koşulları ve yaşamsal alışkanlıkları dikkate alınarak halkın dışarıda daha fazla zaman geçirdiği düşüncesinden hareketle, ev içi meşguliyet faktörü 0.70 olarak alınmıştır

Radon ve bozunma ürünlerinin yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için denge eşdeğer radon konsantrasyonu (EEC) değerinin belirlenmesi gerekir. F denge faktörü, denge eşdeğer radon konsantrasyonunun, havadaki radon radyoaktivite konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır. Bu değer, F denge faktörü eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir. F değeri, UNSCEAR 1993 raporunda, ev içi ısıtılmalar için 0.4, dış hava için 0.8 olarak verilmektedir. Denge eşdeğer konsantrasyonunu etkin doza çevirme katsayısı; 1 Bq.h/m<sup>3</sup> (EEC) denge eşdeğer radon konsantrasyonunun solunması ile alınan etkin doz, ev içi ve dış hava için 9 nSv olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 1993).

Tekirdağ ili ev içi radon konsantrasyon değerleri 11-247 Bq/m<sup>3</sup> değerleri arasında değişmektedir. Eşdeğer doz hesaplamalarında ise ev-içi radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması olan 87 Bq/m<sup>3</sup> değeri kullanılmıştır.

Ev içi radon solunumu ile alınan yıllık etkin eşdeğer doz, YEED, hesaplamaları aşağıda verildiği gibi yapılmıştır:

$$\begin{aligned} \text{Ev içinde EEC radon konsantrasyonu} &= \text{Ortalama radon konsantrasyonu} \times \text{Denge faktörü} \\ &= 87 \text{ Bq/m}^3 \times 0.4 = 34.8 \text{ Bq/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{YEED} &= \text{EECx Ev içi Meşguliyet Faktörü} \times \text{Dönüştürme faktörü} \times 8760(\text{saat}) \\ &= 34.8 \text{ Bq/m}^3 \times 0.70 \times 9 \times 10^{-9}(\text{Sv/saat})/(\text{Bq/m}^3) \times 8760(\text{saat/yıl}) \\ &= 1.92 \text{ mSv/yıl} \end{aligned}$$

Solunumla dokuya nüfuz ederek çözünen radondan ileri gelen eşdeğer doz ise şu şekilde hesap edilmektedir:

$$\begin{aligned} & \text{Ortalama Radon Konsantrasyonu} \times \text{Ev İçi Meşguliyet Faktörü} \times 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ mSv/yıl} \\ &= 87 \text{ Bq/m}^3 \times 0.70 \times 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ mSv/yıl} \\ &= 0.091 \text{ mSv/yıl} \end{aligned}$$

Yıllık yıllık etkin eşdeğer doz =  $1.92 \text{ mSv/yıl} + 0.091 \text{ mSv/yıl} = 2.011 \text{ mSv/yıl}$  olarak elde edilmiştir.

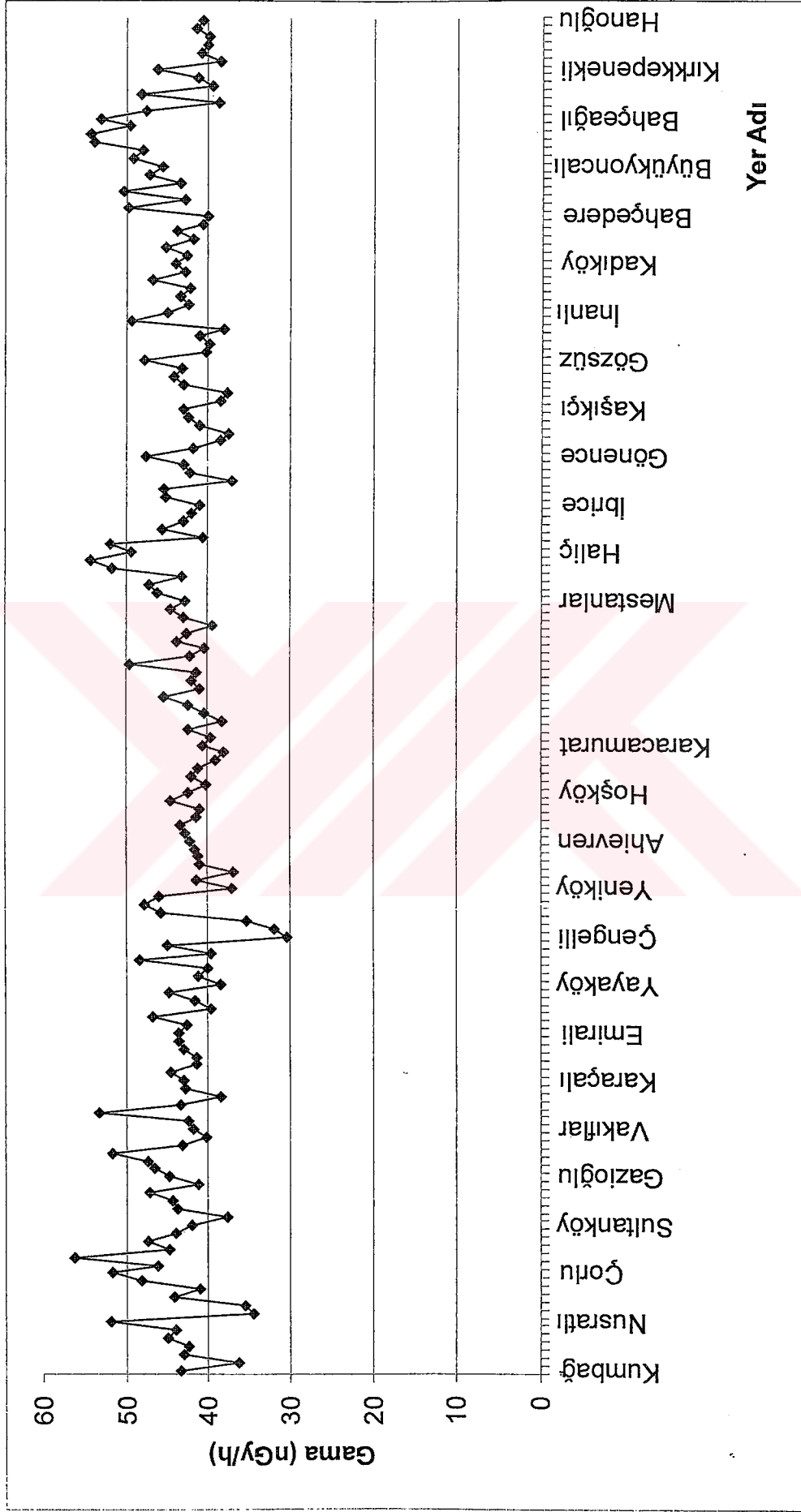


#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Tekirdağ ilinde iç ve dış gama doz hızları, toprak ve su örneklerinde doğal radyoaktivite seviyeleri ve ev içi radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu bölümde, ayrıntıları 3. Bölümde verilen deneysel veriler ayrı başlıklar halinde, dünya ortalamaları ile karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

##### 4.1 Çevresel Gama Radyasyon Doz Hızlarının Değerlendirilmesi

Çevresel gama radyasyonu bölgeden bölgeye, hatta birbirine yakın bölgeler arasında değişiklikler göstermektedir. Bütün toprak ve kaya kalıntılarında uranyum ve toryum gibi doğal radyoaktif elementler mevcuttur. Özellikle son on yılda bir çok ülkede havada yerden 1 m yükseklikte gama radyasyon ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ilgili kaynaklarda yer almaktadır. Çizelge 4.1’de dünya ölçeğinde, karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları yer almaktadır. Dünya nüfusunun yoğun olduğu bölgelerde yapılan ölçümlerin ortalaması yaklaşık olarak 59 nGy/saat’tir Havada ölçülen soğurulmuş gama doz değerleri genel olarak 10 ile 200 nGy/saat olarak tespit edilmiştir (UNSCEAR, 2000). Çevresel doğal gama radyasyonları, ana kaynaklarının kara ve uzay kökenli olmaları sebebiyle, bölgenin toprak yapısında bulunan radyoizotopların konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Tekirdağ, rakımı deniz seviyesinde olup, düz bir araziye sahiptir. Bu bölgede gama radyasyon ölçümleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Tekirdağ’ın çevresel gama radyasyon değerlerinin ortalaması 43 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Bu değer dünya ortalamasının altındadır. Sahil boyunca alınan ölçümler genel olarak iç kısımlardan daha küçük çıkmaktadır. Şekil 4.1’de Tekirdağ il sınırları içinde toprak üzerinde havada alınan gama radyasyon ölçümlerinin grafiği verilmektedir. Şekil 4.1’den de anlaşıldığı gibi, gama radyasyon doz değerleri 40 nGy/saat civarında yoğunlaşmaktadır. Ölçümler, Çerkezköy, Çorlu, Yanıkağıl, Danişment, Tekirdağ Yüzüncü Yıl, Nusratlı, Velimeşe, Ahmetpaşa, Sarıpolat, Bahçeköy, Güngörmez, Bahçeağıl yerleşim birimlerinde yüksek çıkmıştır. En düşük gama ölçüm değerleri ise Barbaros, Güvençli, Yazır, Türkmenli, Yenidibek, Yayaköy, Çengelli, Tepeköy, Kalamış, Yeniköy, Balabancık, Karabezirgan, Kandamış, Kermeyen, Soylu, Dedecik, Kazandere, Ferhadanlı, Aydıncöy, Balabanlı yerleşim birimlerinde elde edilmiştir. Ölçüm yapılan diğer yerlere ait değerler ise ortalama civarında dağılmaktadır.



Şekil 4.1 Tekirdağ bölgesi dış gama ölçüm değerleri (nGy/h).

Tekirdağ şehir merkezinde ev dışı gama radyasyon ölçümleri, Tekirdağ halkının sürekli kullandığı sokak, alan, yol ve caddeler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca il merkezinde ev içi gama radyasyon doz hızları da tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, birbirlerine çok yakın evlerde, hatta aynı binadaki evlerde ölçülen gama radyasyon değerleri birbirleri ile farklılık göstermiştir. Bunun nedeni, bina malzemesi içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ev içi gama radyasyon ölçüm değerleri ortalaması 50 nGy/saat, ev dışında toprak üzerinde ölçülen değerlerin ortalaması 35 nGy/saat, asfalt üzerindeki ortalama ise 43 nGy/saat olarak tespit edilmiştir. Bu üç nokta arasındaki radyoaktivite farkı da, bina ve yol yapımında kullanılan malzemeler arasındaki bileşim farkından ileri gelmektedir. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi, Tekirdağ sahilinde ölçülen değerler, diğer noktalarda elde edilen değerlerden daha düşük olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bodrum katlarında, genellikle gama değerleri daha yüksek çıkmaktadır ve binalarda birinci kattan itibaren yüksek katlara çıkıldıkça gama doz değerleri düşmektedir. Ahşap ev içinde ölçülen gama radyasyon değerleri ile aynı çevrede toprak üzerinde ölçülen gama değerleri birbirine çok yakındır.

Yapılan araştırmalara göre mesken içindeki havadaki gama doz oranları dış ortamla farklıdır. Rapor değerleri Çizelge 4.2’de listelenmiştir. Bu bilgiler dünya nüfusunun %47’ini kapsamaktadır. Bu ölçümlerin ortalama değeri 84 nGy/saat’tir (UNSCEAR, 2000). Tekirdağ evlerinde ölçülen değerler, dünya ortalamasının altındadır.

Dünya ölçeğinde araştırılan bölgelerdeki insanların maruz kaldığı ev içi (in door) gama radyasyonları ortalaması 20 ile 200 nGy/saat’tir. Ev içi gama radyasyonlarına en az maruz kalan ülkeler Yeni Zelanda, İzlanda ve Amerika Birleşik Devletleridir. Bu ülkelerin yıllık olarak aldıkları ev içi gama radyasyon doz değerleri ortalama 40 nGy/saat’tir. Bu ülkelerdeki ev içi (in door) gama radyasyon doz değerlerinin az oluşunun en önemli etkeni, bu ülkelerdeki ahşap evlerin sayıca çok oluşlarından kaynaklanmaktadır. Kapalı alanların yapısında kullanılan malzemeler dış radyasyon kaynaklarına karşı zırhlama görevi görmekle birlikte, aynı zamanda radyasyon yayınlayan doğal radyonüklitleri de içerirler. Ahşaptan yapılmış evlerde ev içi gama ışınlamaları ihmal edilebilecek kadar azdır. Ağaçtan yapılmış evlerde dış gama radyasyonlarına karşı daha zayıf bir zırhlama gerçekleşebildiği için bu tip evlerdeki iç ve dış gama radyasyon ölçümleri birbirine yakındır. Diğer taraftan ev içi (in door) gama ışınlamalarının yüksek olduğu ülkeler ise; başta Macaristan olmak üzere Malezya, Çin, Arnavutluk, Portekiz, Avustralya, İtalya, İspanya, İsveç ve İran’dır. Bu ülkeler, ortalama yıllık 95 ile 115 nGy/saat radyasyon dozuna maruz kalırlar. Buradaki değerlerin yüksekliği

tamamen inşaat yapımında kullanılan taş, tuğla ve beton gibi radyonüklit içeren malzemelerden kaynaklanmaktadır. Betonarmeden yapılmış evlerde, dış gama radyasyonlarına karşı korunma ahşap evlere nazaran çok daha iyidir. Bu tip binalarda da i ışınlamalar dış ışınlamalardan fazladır. (UNSCEAR, 2000).



**Çizelge 4.1** Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları  
(UNSCEAR, 2000)

| Bölge ve Ülke Adı    | 1996'daki Nüfus Yoğunlukları( $10^6$ ) | Ortalama (nGy/h) | Değer Aralığı (nGy/h) |
|----------------------|----------------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Afrika</b>        |                                        |                  |                       |
| Cezayir              | 28,78                                  | 70               | 20-133                |
| Mısır                | 63,27                                  | 32               | 8-93                  |
| Namibya              | 1,58                                   |                  |                       |
| Sudan                | 27,29                                  | 53               | 26-690                |
| <b>Kuzey Amerika</b> |                                        |                  |                       |
| Kanada               | 29,68                                  | 63               | 43-101                |
| Küba                 | 11,02                                  | 42               | 26-53                 |
| Meksika              | 92,72                                  | 78               | 42-140                |
| USA                  | 269,4                                  | 47               | 14-118                |
| <b>Güney Amerika</b> |                                        |                  |                       |
| Şili                 | 14,42                                  | 51               | 21-83                 |
| Paraguay             | 4,96                                   | 46               | 38-53                 |
| <b>Doğu Asya</b>     |                                        |                  |                       |
| Brunei               | 0,30                                   | 33               | 3-70                  |
| Çin                  | 1232                                   | 62               | 2-340                 |
| Tayvan               | 20                                     | 57               | 17-87                 |
| Hong-Kong            | 6,19                                   | 87               | 51-120                |
| Hindistan            | 944,6                                  | 56               | 20-1100               |
| Endonezya            | 200,45                                 | 55               | 47-63                 |
| Japonya              | 125,4                                  | 53               | 21-77                 |
| Kazakistan           | 16,82                                  | 63               | 10-250                |
| Kore Cumhuriyeti     | 45,31                                  | 79               | 18-200                |
| Malezya              | 20,58                                  | 92               | 55-130                |
| Filipin              | 69,28                                  | 56               | 31-120                |
| Tayland              | 58,70                                  | 77               | 2-100                 |
| <b>Batı Asya</b>     |                                        |                  |                       |
| İran                 | 69,98                                  | 71               | 36-130                |
| Suriye               | 14,57                                  | 59               | 52-67                 |

**Çizelge 4.1** Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları  
(devam)

| Bölge ve Ülke Adı   | 1996'daki Nüfus Yoğunlukları( $10^6$ ) | Ortalama (nGy/h) | Değer Aralığı (nGy/h) |
|---------------------|----------------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Kuzey Avrupa</b> |                                        |                  |                       |
| Danimarka           | 5,24                                   | 52               | 35-70                 |
| Estonya             | 1,47                                   | 59               | 14-230                |
| Finlandiya          | 5,13                                   | 71               | 45-139                |
| İzlanda             | 0,27                                   | 28               | 11-83                 |
| Litvanya            | 3,73                                   | 58               | 36-85                 |
| Norveç              | 4,35                                   | 73               | 20-1200               |
| İsveç               | 8,82                                   | 56               | 40-500                |
| <b>Batı Avrupa</b>  |                                        |                  |                       |
| Avusturya           | 8,11                                   | 43               | 20-150                |
| Belçika             | 10,16                                  | 43               | 13-80                 |
| Fransa              | 58,33                                  | 68               | 10-250                |
| Almanya             | 81,92                                  | 50               | 4-350                 |
| İrlanda             | 3,55                                   | 42               | 1-180                 |
| Lüksemburg          | 0,41                                   | 49               | 14-73                 |
| Hollanda            | 15,58                                  | 32               | 10-60                 |
| İsviçre             | 7,22                                   | 45               | 15-120                |
| Britanya            | 58,14                                  | 34               | 8-89                  |
| <b>Doğu Avrupa</b>  |                                        |                  |                       |
| Bulgaristan         | 8,47                                   | 70               | 48-96                 |
| Macaristan          | 10,05                                  | 61               | 15-130                |
| Polonya             | 38,60                                  | 45               | 18-97                 |
| Romanya             | 22,66                                  | 59               | 21-122                |
| Rusya Fed.          | 148,1                                  | 65               | 12-102                |
| Slovakya            | 5,35                                   | 67               | 24-154                |
| <b>Güney Avrupa</b> |                                        |                  |                       |
| Arnavutluk          | 3,40                                   | 71               | 20-350                |
| Kıbrıs              | 0,76                                   | 18               | 9-52                  |
| Yunanistan          | 10,49                                  | 56               | 30-109                |

**Çizelge 4.1** Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları (devam)

| <b>Bölge ve Ülke Adı</b>                      | <b>1996'daki Nüfus Yoğunlukları(<math>10^6</math>)</b> | <b>Ortalama (nGy/h)</b> | <b>Değer Aralığı (nGy/h)</b> |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| <b>Güney Avrupa</b>                           |                                                        |                         |                              |
| İtalya                                        | 57,23                                                  | 74                      | 3-228                        |
| Portekiz                                      | 9,81                                                   | 84                      | 4-230                        |
| Slovenya                                      | 1,92                                                   | 56                      | 4-147                        |
| İspanya                                       | 39,67                                                  | 76                      | 40-120                       |
| <b>Okyanus</b>                                |                                                        |                         |                              |
| Avusturalya                                   | 18,06                                                  | 93                      |                              |
| Dünya insanının ortalama olarak aldıkları doz |                                                        | 59                      |                              |

**Çizelge 4.2** Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları (UNSCEAR, 2000)

| Bölge ve Ülke Adı | 1996'daki Nüfus Yoğunlukları( $10^6$ ) | Ev içi havadaki soğurulmuş doz (nGy/h) | Değer Aralığı (nGy/h) |
|-------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| Cezayir           | 28,78                                  |                                        | 14-2100               |
| USA               | 269,4                                  | 38                                     | 12-160                |
| Şili              | 14,42                                  |                                        |                       |
| Çin               | 1232                                   | 99                                     | 11-420                |
| Hong-Kong         | 6,19                                   | 200                                    | 140-270               |
| Japonya           | 944,6                                  | 53                                     | 21-77                 |
| Kazakistan        | 16,82                                  | 70                                     | 20-100                |
| Malezya           | 20,58                                  | 96                                     | 65-130                |
| İran              | 69,98                                  | 115                                    | 70-165                |
| Danimarka         | 5,24                                   | 54                                     | 19-260                |
| Finlandiya        | 5,13                                   | 73                                     | 22-184                |
| İzlanda           | 0,27                                   | 23                                     | 14-32                 |
| Litvanya          | 3,73                                   | 85                                     | 34-195                |
| Norveç            | 4,35                                   | 79                                     | 20-1250               |
| İsveç             | 8,82                                   | 110                                    | 20-2000               |
| Belçika           | 10,16                                  | 60                                     | 32-90                 |
| Fransa            | 58,33                                  | 75                                     |                       |
| Almanya           | 81,92                                  | 70                                     | 13-290                |
| İrlanda           | 3,55                                   | 62                                     | 10-140                |
| Hollanda          | 15,58                                  | 64                                     | 30-100                |
| İsviçre           | 7,22                                   | 62                                     | 20-200                |
| Britanya          | 58,14                                  | 60                                     |                       |
| Bulgaristan       | 8,47                                   | 75                                     | 57-93                 |
| Macaristan        | 10,05                                  | 95                                     | 11-236                |
| Polonya           | 38,60                                  | 67                                     | 28-167                |
| Romanya           | 22,66                                  | 83                                     | 30-170                |
| Rusya Fed.        | 148,1                                  | 74                                     | 24-147                |
| Slovakya          | 5,35                                   | 79                                     | 36-180                |

**Çizelge 4.2** Karasal gama radyasyonundan kaynaklanan dış ışınlama doz hızları (devam)

| Bölge ve Ülke Adı                           | 1996'daki Nüfus Yoğunlukları( $10^6$ ) | Ortalama (nGy/h) | Değer Aralığı (nGy/h) |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Arnavutluk                                  | 3,40                                   | 100              | 20-300                |
| Yunanistan                                  | 10,49                                  | 67               | 36-131                |
| İtalya                                      | 57,23                                  | 105              | 0-700                 |
| Portekiz                                    | 9,81                                   | 101              | 4-280                 |
| Slovenya                                    | 1,92                                   | 75               | 40-250                |
| İspanya                                     | 39,67                                  | 110              | 57-180                |
| Avustralya                                  | 18,06                                  | 103              |                       |
| Yeni Zelanda                                | 3,6                                    | 20               | 1-73                  |
| Dünya İnsanın Ortalama olarak aldıkları Doz |                                        | 84               |                       |

#### 4.2 Toprakta Belirlenen Radyoaktivite Seviyeleri

Çizelge 3.3'te Tekirdağ toprak örneklerinde tespit edilen radyoizotopların aktivite konsantrasyon değerleri görülmektedir.

Çalışmada  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  serisinin diğer bozunma ürünleri olan,  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Pb}$ 'ün konsantrasyonlarından daha yüksek olarak elde edilmiştir. Öte yandan  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Pb}$ 'ün konsantrasyon değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  radyoizotoplarının Tekirdağ toprağındaki konsantrasyon ortalamaları sırasıyla, 36,29 Bq/kg, 26,07 Bq/kg, 23,62 Bq/kg'dır. Şekil 4.2'de Tekirdağ toprağı U-238 izo-aktivite haritası gösterilmektedir. Dünyanın değişik bölgelerinde incelenen toprak örneklerindeki spektrometrik analiz sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Bu çalışmada uranyum serisi ürünleri olan  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{214}\text{Pb}$ 'un ortalama değerleri ile dünya ortalama değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Tekirdağ toprağındaki  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunma ürünlerinin konsantrasyon değerleri,  $^{238}\text{U}$ 'in konsantrasyon değerlerinden daha yüksektir.  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunma ürünleri olan  $^{208}\text{Tl}$  ve  $^{228}\text{Ac}$ 'un ortalama konsantrasyon değerleri dünya ortalamasının biraz üzerindedir. Şekil 4.3'te Tekirdağ toprağı Th-232 izo-aktivite haritası verilmiştir.

Dünya ölçeğinde yapılan ölçümlerde toprakta doğal olarak bulunan  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarından önemli ölçüde yüksek olarak elde edilmiştir (UNSCEAR, 1982). Tekirdağ toprak örneklerinden de görülebileceği gibi,  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu diğer radyoizotop konsantrasyonlarından oldukça yüksektir. Tekirdağ toprak örneklerinde  $^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu 579 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu değer,  $^{40}\text{K}$  için UNSCEAR 1982 ve 2000 raporlarında verilen, sırasıyla, 370 Bq/kg ve 400 Bq/kg dünya ortalama değerlerinden yüksektir. Tekirdağ toprağı K-40 izo aktivite haritası Şekil 4.4'te verilmiştir.

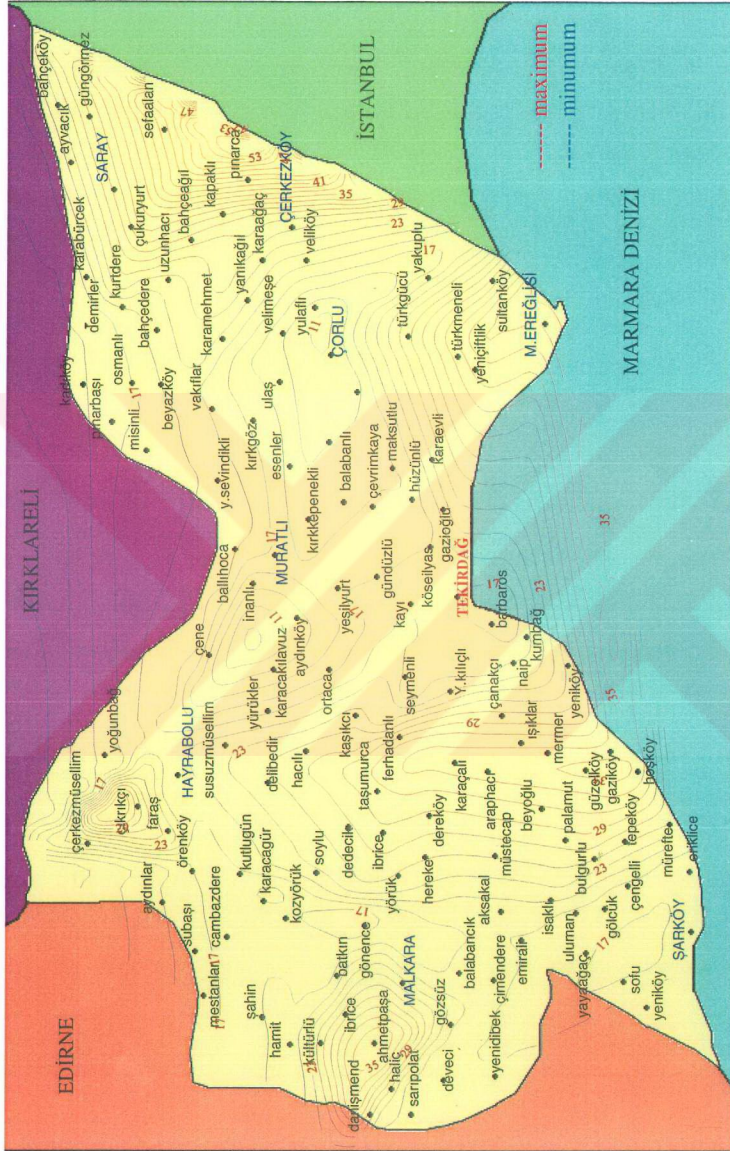
$^{137}\text{Cs}$  nükleer denemeler veya nükleer santrallerde meydana gelen kazalar sonucu atmosfere atılmaktadır. Havadan (fallout) gelen radyoaktivitenin önemli bir kısmının toprakta biriktiği bilinmektedir (OECD, 1979). Bilindiği gibi 1986 yılında Rusya'nın Çernobil yerleşim bölgesinde meydana gelen reaktör kazası nedeniyle, birçok ülke gibi, Türkiye de, Çernobil'den yayılan radyoaktif maddelerin meydana getirdiği kirlilikten etkilenmiştir. Ülkemizde kazanın etkileri Karadeniz kıyıları ve Trakya bölgesinde net bir şekilde tespit edilmiştir. O dönemde Tekirdağ'ın Saray ilçesinde ölçülen  $^{137}\text{Cs}$ 'nin konsantrasyonu 45 Bq/kg olarak elde edilmiştir (TAEK, 1988). Bu çalışmada ise  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değeri 14.88 Bq/kg olarak ölçülmüştür.  $^{137}\text{Cs}$ 'den en fazla etkilenen bölgeler Sağlamtaş, Çerkezköy, Naip ve Saray yerleşim bölgeleridir. Tüm yerleşim birimlerinden alınan toprak örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonlarının ortalaması 5,17 Bq/kg'dir. Şekil 4.5'te Tekirdağ toprağı Cs-137 izo-aktivite haritası gösterilmektedir.

**Çizelge 4.3** Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri  
(UNSCEAR 2000)

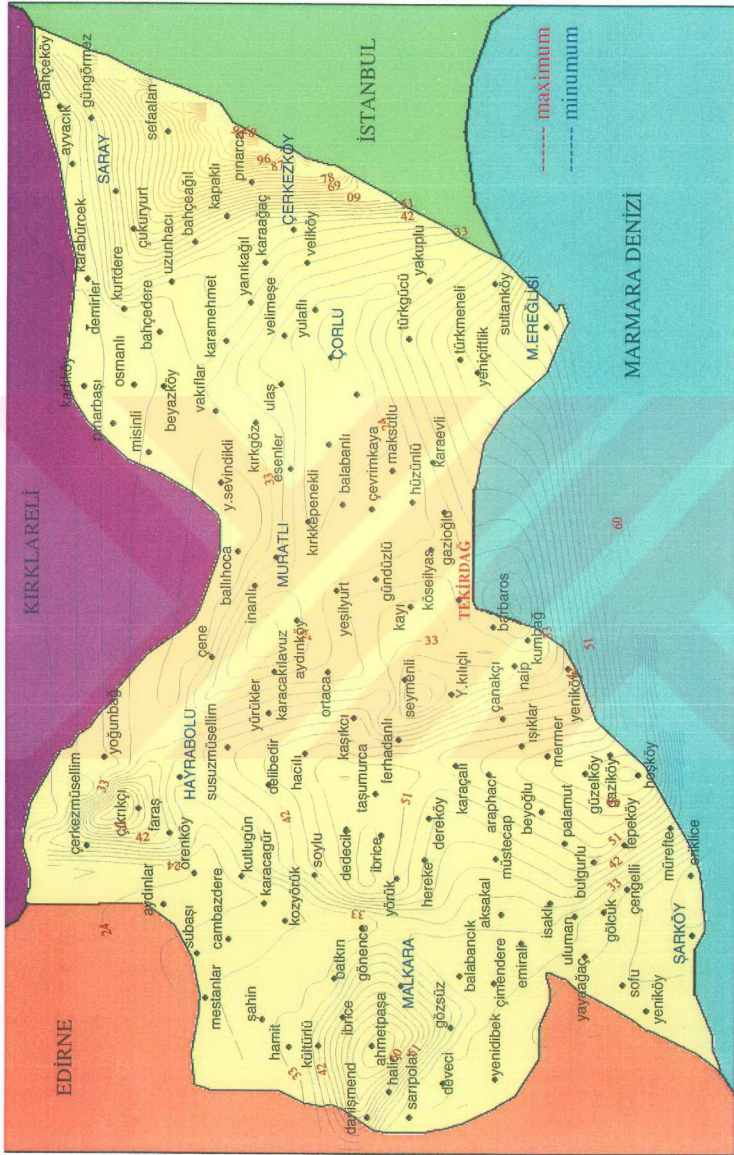
| Ülke Adı    | Nüfus Yoğunluğu,<br>1996 (Milyon) | Topraktaki konsantrasyon(Bq/kg) |                  |                   |                   |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|             |                                   | <sup>40</sup> K                 | <sup>238</sup> U | <sup>226</sup> Ra | <sup>232</sup> Th |
| Cezayir     | 28,78                             | 370                             | 30               | 50                | 25                |
| Mısır       | 63,27                             | 320                             | 37               | 17                | 18                |
| Kostarika   | 3,50                              | 140                             | 46               | 46                | 11                |
| U.S.A       | 269,4                             | 370                             | 35               | 40                | 35                |
| Arjantin    | 35,22                             | 650                             |                  |                   |                   |
| Bangladeş   | 120,1                             | 350                             |                  | 34                |                   |
| Çin         | 1232                              | 440                             | 33               | 32                | 41                |
| Hong Kong   | 6,19                              | 530                             | 84               | 59                | 95                |
| Hindistan   | 944,6                             | 400                             | 29               | 29                | 64                |
| Japonya     | 125,4                             | 310                             | 29               | 33                | 28                |
| Kazakistan  | 16,82                             | 300                             | 37               | 35                | 60                |
| Kore Cum.   | 45,31                             | 670                             |                  |                   |                   |
| Malezya     | 20,58                             | 310                             | 66               | 67                | 82                |
| Tayland     | 58,70                             | 230                             | 114              | 48                | 51                |
| Ermenistan  | 3,64                              | 360                             | 46               | 51                | 30                |
| İran        | 69,98                             | 640                             |                  | 28                | 22                |
| Suriye      | 14,57                             | 270                             | 23               | 20                | 20                |
| Danimarka   | 5,24                              | 460                             |                  | 17                | 19                |
| Estonya     | 1,47                              | 510                             |                  | 35                | 27                |
| Litvanya    | 3,73                              | 600                             | 16               |                   | 25                |
| Hollanda    | 15,58                             |                                 |                  | 23                |                   |
| İsviçre     | 7,22                              | 370                             | 40               | 40                | 25                |
| Britanya    | 58,14                             |                                 |                  | 37                |                   |
| Bulgaristan | 8,47                              | 400                             | 40               | 45                | 30                |
| Macaristan  | 10,05                             | 370                             | 29               | 33                | 28                |
| Polonya     | 38,60                             | 410                             | 26               | 26                | 21                |
| Romanya     | 22,66                             | 490                             | 32               | 32                | 38                |
| Rusya       | 148,1                             | 520                             | 19               | 27                | 30                |

**Çizelge 4.3** Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen topraktaki radyonüklid içerikleri (devam)

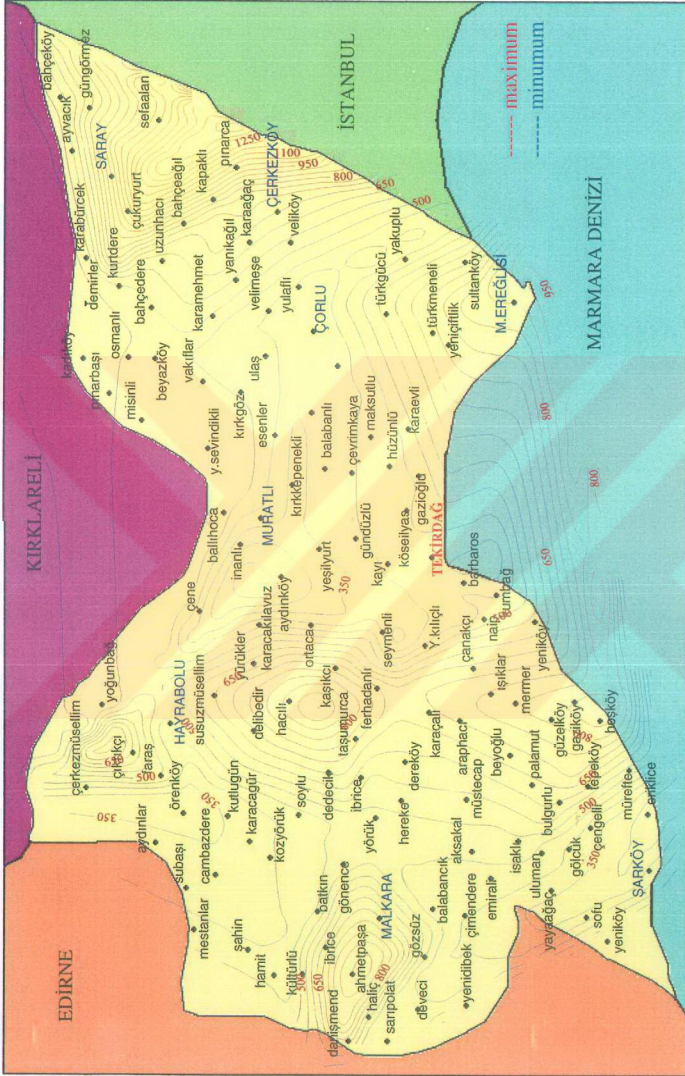
| Ülke Adı           | Nüfus Yoğunluğu,<br>1996. (Milyon) | Topraktaki Konsantrasyon(Bq/kg) |                  |                   |                   |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                    |                                    | <sup>40</sup> K                 | <sup>238</sup> U | <sup>226</sup> Ra | <sup>232</sup> Th |
| Slovakya           | 5,35                               | 520                             | 32               | 32                | 38                |
| Arnavutluk         | 3,40                               | 360                             | 23               |                   | 24                |
| Hırvatistan        | 4,50                               | 490                             | 110              | 54                | 45                |
| Kıbrıs             | 0,76                               | 140                             |                  | 17                |                   |
| Yunanistan         | 10,49                              | 360                             | 25               | 25                | 21                |
| Portekiz           | 9,81                               | 840                             | 49               | 44                | 51                |
| Slovenya           | 1,92                               | 370                             |                  | 41                | 35                |
| İspanya            | 39,67                              | 470                             |                  | 32                | 33                |
| Norveç             | 4,35                               | 850                             | 50               | 50                | 45                |
| İsveç              | 8,82                               | 780                             |                  | 42                | 42                |
| Belçika            | 10,16                              | 380                             |                  | 26                | 27                |
| Almanya            | 81,92                              | 40-1340                         | 11-330           | 5-200             | 7-134             |
| İrlanda            | 3,55                               | 350                             | 37               | 60                | 26                |
| Lüksemburg         | 0,41                               | 620                             |                  | 35                | 50                |
| <b>Ortalamalar</b> |                                    | <b>400</b>                      | <b>35</b>        | <b>35</b>         | <b>30</b>         |
| <b>Tekirdağ</b>    |                                    | <b>579</b>                      | <b>25</b>        | <b>36</b>         | <b>39</b>         |



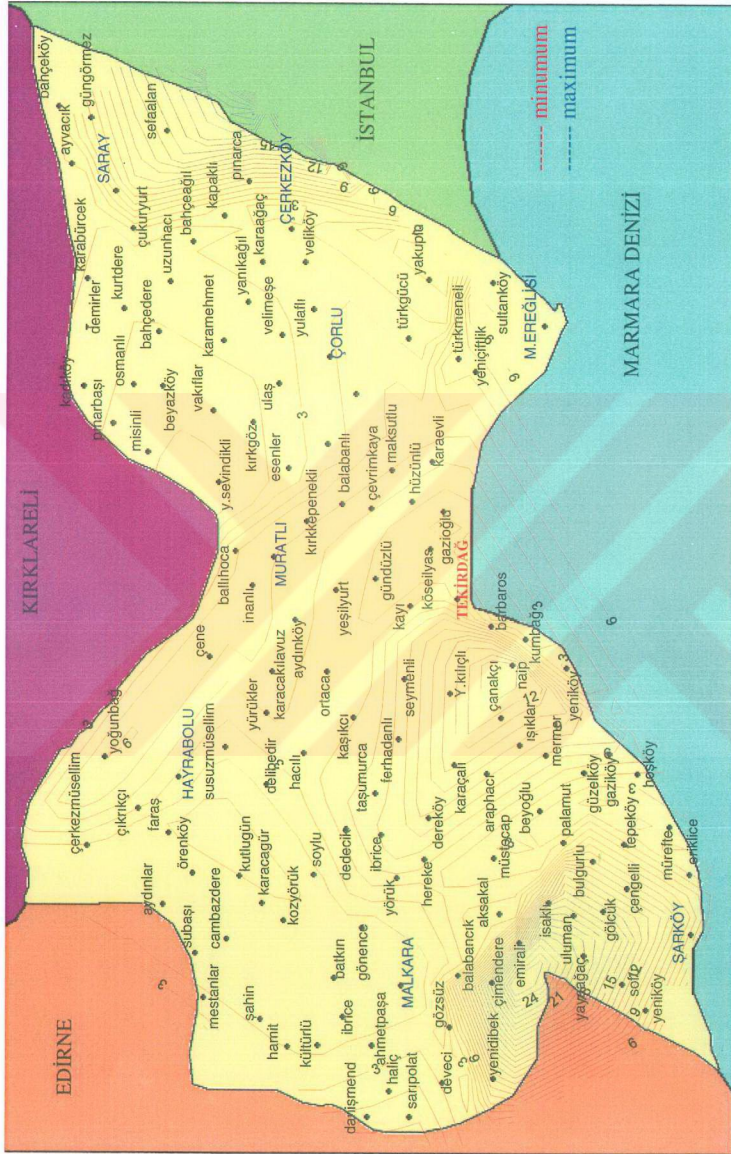
Şekil 4.2 Tekirdağ topografisi U-238 izo-aktivite haritası.



Şekil 4.3 Tekirdağ topografisi Th-232 izo-aktivite haritası.



Şekil 4.4 Tekirdağ topağı K-40 izo aktivite haritası.



**Şekil 4.5** Tekirdağ toprağı Cs-137 izo-aktivite haritası.

#### 4.3 Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyeleri

Radyoaktivite ölçümleri önceleri, sınırlı sayıda insanların yararlandığı kaplıca sularında yapılmıştır. Radyasyonun canlılar üzerindeki biyolojik etkileri alanında yapılan çalışmalardan elde edilen yeni bilgiler ışığında Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi, ICRP tarafından radyasyondan korunma konusuna yeni boyutlar getirilmiştir (ICRP, 1977). Bu doğrultuda, radyasyonun stokastik etkileri için bir eşik dozu bulunmadığı ve büyük toplum gruplarının, küçük de olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının, toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği görüşü kabul edilmiştir. Dolayısıyla insanların maruz kalabileceği küçük dozların bilinmesi amacıyla yönelik olarak içme sularındaki radyoaktivite ölçümü çalışmaları da yoğunluk kazanmıştır (Asikainen vd., 1980).

Dünya Sağlık Örgütü, (WHO) ve ABD Çevre Korunma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen içme suları için radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0,1 Bq/l ve toplam beta için 1 Bq/l olarak kabul edilmiştir. İçme suları için WHO ve EPA'nın bu tavsiyeleri Türk Standartlar Enstitüsü (TSE)'nin 1984 yılında yayınladığı TS-226 raporunda ve İSKİ'nin 1984 yılında yayınlanan içme suyu standardına da uygun bulunmuş ve içme suyu için tavsiye edilen radyoaktivite sınırları (Çizelge 4.4) aynen kabul edilmiştir. (TSE, 1979 , Resmi Gazete, 1984). Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun, ömür boyu tüketilmesi durumunda insanın alacağı radyasyon dozunun sağlık yönünde herhangi bir hasarın oluşturmayacağı fikrinden hareketle tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.4 İçme suları için saptanan radyoaktivite limitleri (Resmi Gazete, 1984)**

| Radyoaktivite | Dünya Sağlık Örgütü(WHO) |              |              | EPA          | TSE          | İSKİ         |
|---------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | TEÜL<br>1984             | TEÜL<br>1971 | MEÜL<br>1971 | MEÜL<br>1976 | MEÜL<br>1984 | MEÜL<br>1984 |
| Toplam Alfa   | 0,1 Bq/l                 | 0,11 Bq/l    | 0,37 Bq/l    | 0,55 Bq/l    | 0,1 Bq/l     | 0,1 Bq/l     |
| Toplam Beta   | 1,0 Bq/l                 | 1,10 Bq/l    | 3,70 Bq/l    | --           | 1,0 Bq/l     | 1,0 Bq/l     |

EPA : A.B.D. Çevre Korunma Ajansı

TSE : Türk Standartlar Enstitüsü

TEÜL : Tavsiye Edilen Üst Limit

MEÜL : Müsaade Edilen Üst Limit

Çizelge 3.6'da Tekirdağ ili ve çevresindeki yerleşim birimlerinde alınan içme su örneklerindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite miktarlarının dağılımı görülmektedir. Burada genel olarak içme suları tavsiye edilen değerlerin altında tespit edilmiştir. Ancak, Kayı, Yenice, Ulaş ve Çorlu (Çırakçı Bayırı) da alınan içme su örneklerinde toplam alfa, WHO'nün tavsiye değerlerinin çok az üzerinde çıkmıştır. Söz konusu sular yüzeysel sular olup, tarımda kullanılan yapay gübrelerden dolayı radyoaktif kirlilik oranlarının yükseldiği düşünülmektedir. Toplam beta aktivitesinin ise tavsiye edilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.4 Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı eşdeğer doza en büyük katkısı radon solunumu yapmaktır.  $^{222}\text{Rn}$ 'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için, radon konsantrasyonu yerkabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Türkiye'de evlerde gerçekleştirilen radon ölçümlerine ait bazı ortalama değerler şu şekilde elde edilmiştir: İstanbul : 73 Bq/m<sup>3</sup> (Köksal vd., 1993), Şanlıurfa : 73 Bq/m<sup>3</sup>, Erzurum: 85 Bq/m<sup>3</sup> (Özçınar vd.,1996), Kestanel, Çanakkale : 160 Bq/m<sup>3</sup> (Çelebi vd., 1997), Antalya : 29 Bq/m<sup>3</sup> (Çelebi, 2000). UNSCEAR 1988 raporunda evlerde radon konsantrasyonu, tüm dünya aritmetik ortalaması 40±25 Bq/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

Tekirdağ evlerinde radon konsantrasyon ölçümleri 11-247 Bq/m<sup>3</sup> aralığında elde edilmiştir. Tekirdağ evlerinin ortalama radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması 87 Bq/m<sup>3</sup>'tür. Çizelge 3.8'de görüldüğü gibi yatak odalarındaki radon konsantrasyonu, oturma odalarından daha yüksektir. Genel olarak oturma odalarının havalandırılma koşullarının yatak odalarına kıyasla daha iyi olmalarından dolayı böyle bir sonucun elde edilmesi şaşırtıcı olmamaktadır.

Ölçümlerde, toprak seviyesine yakın veya altında olan evlerde radon aktivitesi daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Barbaros ile İncik Beldelerinde ölçülen radon konsantrasyonun yüksek çıkmasının en önemli sebebi genel olarak evlerin toprak seviyesine olan yakınlıklarından dolayıdır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK tarafından önerilen radon konsantrasyonunun yıllık müsaade edilen değeri 400 Bq/m<sup>3</sup>'dir. Çizelge 2.8'de, çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. Buradan da gözlenebileceği radon konsantrasyon limit değerleri olarak, ICRP tarafından 400 Bq/m<sup>3</sup>, Avrupa Birliği tarafından 400 Bq/m<sup>3</sup> ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

tarafından  $100 \text{ Bq/m}^3$  değeri önerilmiştir. Bu durumda Tekirdağ evlerinde ölçülen radon konsantrasyonu TAEK ve WHO tarafından izin verilen değerleri aşmamıştır.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP)'nin 1977 ve 1990 yıllarında yayınladığı tavsiye raporlarında, radyasyonun stokastik etkileri (kanser oluşumu ve genetik etkiler) için bir eşik dozun bulunmadığı, doz ve etki arasında lineer bir bağıntı olduğu kabul edilerek, müsaade edilen doz sınırları çok küçük düzeylere indirilmiş ve gereksiz olarak hiçbir radyasyon dozuna maruz kalınmaması önerilmiştir (Evans, 1969). İnsanların özellikle büyük toplum gruplarının, küçük olsa dahi sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği görüşü, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi tarafından yayınlanan UNSCEAR raporları ile de desteklenmiştir (Fabrikant, 1990). Yapılan epidemiyolojik ve istatistik çalışmalardan, toplumda görülen kanser vakalarının belirli bir oranının iyonlaştırıcı radyasyonlardan meydana gelebileceği ileri sürülmüştür (ICRP, 1993). Özellikle akciğer kanser vakalarının %20 kadarı havadaki radyoaktif  $^{222}\text{Rn}$  gazı ve bunun bozunma ürünlerinin solunumu sonucu akciğer bronşlarının aldığı doza bağlanmaktadır.

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde ve işte Radon-222'ye karşı korunma" konusunda 65 nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir. Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için  $200\text{--}600 \text{ Bq/m}^3$  (evde geçirilecek süre 7000 saat ve denge faktörü 0.4 alınarak), iş yerlerinde ise  $500\text{--}1500 \text{ Bq/m}^3$  arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (Çizelge 4.5).

**Çizelge 4.5** Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri

[ICRP, 65]

| Eylem seviyesi<br>(Etkin doz)                            | 3 mSv/yıl            | 10 mSv/yıl            |
|----------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Evler için Eylem seviyesi<br>(Radon konsantrasyonu)      | $200 \text{ Bq/m}^3$ | $600 \text{ Bq/m}^3$  |
| İş Yerleri için Eylem Seviyesi<br>(Radon Konsantrasyonu) | $500 \text{ Bq/m}^3$ | $1500 \text{ Bq/m}^3$ |

Bu çalışmada radon gazına maruziyet sonucunda alınan yıllık etkin eşdeğer doz 2.011 mSv olarak tespit edilmiştir. Bölgede yaşayan bir kişinin gama dış ışınlama nedeniyle alacağı yıllık doz 0.288 mSv olarak hesaplanmıştır. Bu değer radon solunumundan kaynaklanan yıllık etkin doza büyük bir katkı yapmamaktadır. Tekirdağ halkının radondan aldığı doz ile kanser olma riski  $1.46 \times 10^{-4}$ 'tir. Bu değer verilen referans değerler ile kıyaslandığında Tekirdağ ilinde halkın yaşadığı çevredeki doğal radyoaktivitede açısından fazladan bir riske maruz kalmadığı anlaşılmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Alkan, H., (1988), İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Radyoaktivite ve Eser Element Kirliliklerinin Araştırılması.
- Alkan, H., Yaşar, S., Göksel, S. A., (1987) Radioactive Mineral Waters of Turkey, XXII. International Congress of Hydrothermal Techniques, İstanbul.
- Andrasi, A., Belezney, E., (1979) Natural Potassium Content and Internal Radiation Burden from Potassium-40. Health Physics. 37:591-592.
- Asada, T., (1982), Earthquake Prediction Techniques: Their Application in Japan. Japan University of Tokyo Press, Çeviri : Dr. Nilgün Çelebi
- Asikainen, M., Kahlos, H., (1980) International Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland. Health Physics, Vol. 39.
- Aslan, H., (2000), Tekirdağ'da Tarım, Tekirdağ Ziraat Odaları İl Koordinasyon Kurulu.
- Audouze, J. and Vauclair, S., (1978), "An Introduction to Nuclear Astrophysics", D.Reidel Publishing Company.
- Ayotte, P., and Friends, (1998), Indoor Exposure to  $^{222}\text{Rn}$ : A Public Health Perspective. Health Physics, 75:297-302.
- Beck, H. L., (1982), The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-p2 The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, p.(101-104).
- Benson, F. B., Henderson, J. J., and Caldwell, D. E., (1970), A Literature Review, EPA Report AP-112, Indoor-Outdoor Air Pollution Relationship.
- Bolt, A., (1988) "Earthquakes" New York: W.H.Free Man and Company.
- Brodsky, A., (1978), Radiation Measurement and Protection. CRC Pres.
- Bunz, K., and W. Kracke, J., (1988) Environment. Radioactivity, 8,1-14.
- Commission on Life Sciences (CLS). (1999), Evaluation of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials, National Academies Press, Washington, D.C.
- Çelebi, Nilgün., Taşdelen, Müslüm., Güner Kopuz, (1999), "Radon Konsantrasyonları Ölçümleri" ÇNAEM.
- Çelebi, N., (1995), "Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi", Doktora Tezi, s:21-22.
- Çelebi, N., ALKAN, H., (1997), Evaluation of Natural Radiation in the Kestanol Spa Region. Radiation Protection Dosimetry Vol.69, No. 3, 227-230.

Çelebi, N., Taşdelen, M., Kopuz, G., Uluğ, A., (2000), Antalya Evlerinde Radon Konsantrasyon Ölçümleri, 2000- GAP-Çevre Kongresi, Vol.2,1053-1058.

CBEIR (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation), (1990), Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Washington, D.C.

Cougherty, P.J.et al., (1985) Radionüklide Distribution and Transport in Terrestrial and Aquatic Ecosystems vol. VI , Rotterdam-Boston: A. A. Balkema Publishers 165-170.

Eberline, (1980), Thermo Eberline Manuel Book, EPA-600/4-80-032.

Eisenbud, M., (1987), Environmental Radioactivity, Third Edition, ISBN. Akademik Press, Inc., London.

Eisenbud M., (1963), Environmental Radioactivity. New York, Mc Graw-Hill Book Company.

Eisenbud, C.W., Petrow, (1964), Radioactivity in The Atmospheric Effluents of Power Plants That Use Fossil Fuels, Science 144, 288.

Ennemoser O. Oberdorfer E., (1995), Mitigation of Indoor Radon in an Area with Unusually High Radon Concentrations. Health Physics. 69, p: 227.

EPA, A Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K92-001, (1992)

Erikson, E., (1962), Radioactivity in Hydrology, Academic Press Inc., New York, p.47.

Evans, R.D. (1969) Engineers' Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters. Health Physics.17:229-256.

Fabrikant, I. J., (1990), Radon and Lung Cancer: The BEIR IV Report. Health Physics. 59:89-97.

Farber, S., (1990), Health Physics 18 : 2-5.

Gelir, A., (2001), İçme Suyundaki Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve Yıllık Doz Eşdeğerinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE.

Ginzburg, V. L., (1987), "Astrophysical Aspects of Cosmic Ray Conference, Moscow USSR (August 2-15.

Ginzburg, V. L. and Syrovatski, S.I., (1964), The Origin of Cosmic-Rays, Pergamon Pres.

Gonzalaes and friends., (1998); IAEA Tec. Report Series No.295.

Göksel, Selahattin A., (1973), Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü Genel yayınlar no.9.

Igarashi, E. P., Wanty, R. B., Nyberg, P., (1992) Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan. Science, 269,60-64.

International Atomic Energy Agency, Radiation Safety,” IAEA Division of Public Information, 96-00725, (1996).

International Commission on Radiological Protection, (1993), Protection Against Radon –222 at Home and at Work. Annals of the ICRP, ICRP Publication, No.65, Pergamon, Oxford.

International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication., (1977), No.26 (Oxford Pergamon Press).

Karahan, G., (1997), “İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini”, Doktora Tezi, İTÜ, NEE.

Köksal, E. M., Göksel, S. A., (Mayıs-1999) Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri, Boğaziçi Üniversitesi, 251.

Köksal, M., Çelebi, N., Özçınar, B., (1993): “Indoor Radon Concentration İn İstanbul houses” Health Physics. 65: 87-88.

L’Annunziata, M.,F., (1998), Handbook of radioactivity analysis, Academic Pres, San Diego.

Lucas, H. F., (1991), Radium-226 Whole-Body Gama Counting and Radon-22 Breath Analysis. Health Physics,60:163-167.

Lune, N., (1989) “The Abundances in the Cosmic Radiation,” American Institute of Physics, New York.

Meggitt, G.,C., (1983), Radon and Thoron in Buildings. Radiat. Prot.Dosim.5:5-17.

Myrick, T. E., Berven, B. A., Haywood, F. F., (1983), Determination of Concentration of Selected Radionuclides in Surface Soil in the U.S. Health Physics.45:631-642.

National Council on Radiation Protection and Measurements. (1977), Environmental Radiation Measurement, NCRP Report No.50, ISBN.0-913392-32-4

NCRP Report 45, National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S., Soil Radioactivity, (1975).

NCRP Report 82, National Council Radiation Protection, Nat No.50, (1976).

NCRP Report No.50, National Council Radiation Protection, (1976).

Neher, H. V., (1938) Cosmic-Ray Particles That Changed 1954 to 1958 to 1965, J. Geophysics, Ref. 72.

Nero, A. V., Nazaroff, W. W. (1984) Characterizing the Source of Radon Indoors. Radiation Protection Dosimetry, 7:23-29.

OECD Nuclear Energy, Report of a Group of Expert (1979), No.48761, p.35.

Özçınar, B., Köksal, E. M., Akar, B., Kopuz, G., Büyükkasap, E., Çetin, A., Küçükönder, A., Ünlü, Y., (1996), Erzurum ve Şanlıurfa İllerinde Radon Gazı Radyoaktivite Konsantrasyonları.7.Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknoloji Kongresi, 538—543.

Özenç, A.Önder, (1990), Kozmik Işınlr, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ-FBE.

Portakal, S., Varinlioğlu A., Köse, A., (1991), Doğu Karadeniz Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Ananlizi, Radyobioloji Bölümü, ÇNAEM, TAEK.

Press, F., (1975) Earthquake Prediction. Scientific American, 232,14-23.

T.C Resmi Gazete, (1984), İçme ve Kullanma Suyu Temin Edilen Kaynaklardaki Hamsu Standart Parametreleri. Ankara, Sayı: 18340, 13 Mart 1984.

Stephen A. McGuire, Carol A.Peabody, (1986) “Working Safely in Gama Radiography, Training Manuel for Industrial Radiographers”, U.S Nuclearegulatory Commission.

Smith B.W., W.N Higgins J.F. and Terrill J.G.,(1961), Natural Radyoaktivite in ground 75.

Schimmack, W., K.Bunzl and L.Zelles, (1989), Geoderma, 211-218.

Sayre, W. W., Guy, H. P. and Chamberlan, A.R., (1969) Uptake and Transport of Radionüclides by Stream Sediments,U.S.Geology Survey Professional Paper 433-A.

TS 266, 1984; Türk Çevre Mevzuatı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (1988)

Thomas, DC., Mcneill, KG., Dougherty, C., (1985): Estimates of Life-time Lung Cancer Risks Resulting from Rn Progeny Exposure. Health Physics, 49, 825-846.

TAEK, Radyasyon Güvenliği Yönetmenliği, 24-03-2000, Sayı: 23999, Madde 37.

Türk Standartlar Enstitüsü, (1979), İçme Suları. TS 226/1965, UDK 663-7:543, III. Baskı

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1977) Report to the General Assembly, p : 42-43.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1982), Report to the General Assembly, p:88-89.

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

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation(UNSCEAR, 1993), Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2000), Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources, United Nations, New York

Webber, W.R., (1983), “Cosmic Ray Electrons and Pozitrons” from Composition and Origin of Cosmic Rays, D.Reidel Publishing Company.

Weeks, Trevor C., (1969), “High Energy Astrophysics,” Butler and Taner.

Wilkins, B. T., (1980), The Assasement of Radon and its Daughters in North Sea Gas used in the United Kingdom. Radiation Protection, 1143-1146.

#### **İNTERNET KAYNAKLARI**

[1] Bertholdtech Network's Page, [www.bertholdtech.com](http://www.bertholdtech.com)

[2] Triumph, [www.triumf.ca/safety](http://www.triumf.ca/safety)

[3] [www.taek.gov.tr/rgs](http://www.taek.gov.tr/rgs)



**EKLER**

- Ek 1**  $^{238}\text{U}$  Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri.
- Ek 2**  $^{40}\text{K}$  ve  $^{232}\text{Th}$  Radyoaktif bozunma serisinin özellikleri.
- Ek 3** Tekirdağ İlinin Özellikleri
- EK 4** Evlerde Radon Araştırması Bilgi Formu.



Çizelge Ek 1.  $^{238}\text{U}$  Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri.(UNSCEAR, 1977)

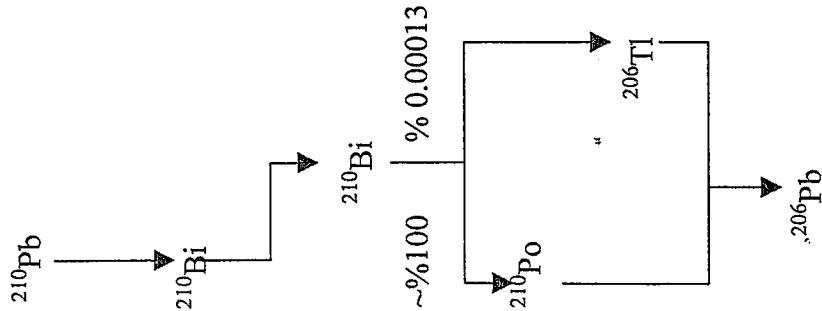
| Nüklit                    | Tarihsel adı           | Yarılanma ömrü        | Büyük radyasyon enerjileri(MeV) ve Yoğunlukları |             |               |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-------------|---------------|
|                           |                        |                       | $\alpha$                                        | $\beta$     | $\gamma$      |
| $^{238}\text{U}$          | Uranyum I              | $4.51 \cdot 10^9$ yıl | 4.15 (%25)                                      | --          | --            |
| $^{234}\text{Th}$         | Uranyum X <sub>1</sub> | 24.1 gün              | --                                              | 0.103 (%21) | 0.063 (%3.5)  |
| $^{234\text{m}}\text{Pa}$ | Uranyum X <sub>2</sub> | 1.17 dakika           | --                                              | 0.193 (%79) | 0.093 (%4)    |
|                           | Uranyum Z              | 6.75 saat             | --                                              | 0.53 (%66)  | 0.100 (%50)   |
|                           | Uranyum II             | $2.47 \cdot 10^5$ yıl | 4.72 (%28)                                      | --          | 0.70 (%24)    |
|                           | Ionium                 | $8.0 \cdot 10^4$ yıl  | 4.77 (%72)                                      | --          | 0.90 (%70)    |
| $^{234}\text{U}$          |                        |                       | 4.62 (%24)                                      | --          | 0.053(%0.2)   |
| $^{230}\text{Th}$         |                        |                       | 4.68 (%76)                                      | --          | 0.068 (%0.6)  |
| $^{226}\text{Ra}$         | Radyum                 | 1602 yıl              | 4.60 (%6)                                       | --          | 0.142 (%0.07) |
|                           |                        |                       |                                                 | --          | 0.186 (%4)    |

Çizelge Ek 1  $^{238}\text{U}$  Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri(devam)

| Nüklit            | Tarihsel adı | Yarılama ömrü     | Büyük radyasyon enerjileri(MeV) ve Yoğunlukları |                                       |                                           |
|-------------------|--------------|-------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
|                   |              |                   | $\alpha$                                        | $\beta$                               | $\gamma$                                  |
| $^{222}\text{Rn}$ | Radon        | 3.823 gün         | 5.49 (%100)                                     | --                                    | 0.510 (%0.07)                             |
| $^{216}\text{Po}$ | Radyum A     | 3.05 dakika       | 6.00 (~%100)                                    | 0.33 (~%0.019)                        | --                                        |
| $^{214}\text{Pb}$ | Radyum B     | 26.8 dakika       | --                                              | 0.65 (%50)<br>0.71 (%40)<br>0.98 (%6) | 0.295 (%19)<br>0.352 (%36)                |
| $^{218}\text{At}$ | Astatin      | ~2s               | 6.65 (%6)                                       | ? (~%0.1)                             | --                                        |
| $^{214}\text{Bi}$ | Radyum C     | 19.7 dakika       | 5.45 (%0.012)                                   | 1.0 (%23)                             | 0.609 (%47)                               |
| $^{214}\text{Po}$ | Radyum C'    | 164 $\mu\text{s}$ | 7.69 (%100)                                     | --                                    | 0.799 (%0.014)                            |
| $^{210}\text{Tl}$ | Radyum C''   | 1.3 dakika        | --                                              | 1.3 (%25)<br>1.9 (%56)<br>2.3 (%19)   | 0.296 (%80)<br>0.795 (%100)<br>1.31 (%21) |

Çizelge Ek 1  $^{238}\text{U}$  Serisinin radyoaktif bozunma özellikleri (devam)

| Nüklit            | Tarihsel adı | Yarılama ömrü | Büyük radyasyon enerjileri(MeV) ve Yoğunlukları  |                            |                  |
|-------------------|--------------|---------------|--------------------------------------------------|----------------------------|------------------|
|                   |              |               | $\alpha$                                         | $\beta$                    | $\gamma$         |
| $^{210}\text{Pb}$ |              |               |                                                  |                            |                  |
| $^{210}\text{Bi}$ | RadyumD      | 21 yıl        | 3.72 (%2 $10^{-6}$ )                             | 0.016 (%85)<br>0.061 (%15) | 0.047 (%4)<br>-- |
| $^{210}\text{Po}$ | Radyum E     | 5.01 gün      | 4.65 ( $7 \cdot 10^{-5}$ )<br>4.69 ( $10^{-5}$ ) | 1.161 (~%100)<br>--        | --<br>--         |
| $^{210}\text{Bi}$ |              |               |                                                  |                            |                  |
| $^{210}\text{Po}$ | Radyum F     | 138.4 gün     | 5.305 (%100)                                     | --                         | 0.803 (%0.0011)  |
| $^{206}\text{Tl}$ | Radyum E''   | 4.19 dakika   | --                                               | 1.571 (%100)               | --               |
| $^{206}\text{Pb}$ | Radyum G     | Stabile       | --                                               | --                         | --               |

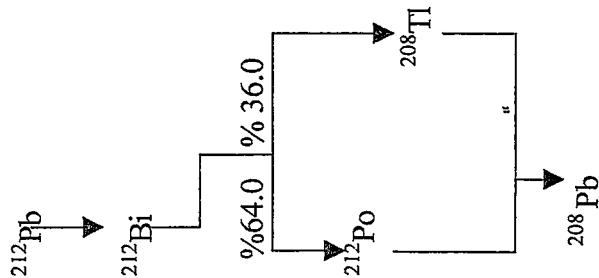


Çizelge Ek 2  $^{40}\text{K}$  ve  $^{232}\text{Th}$  Radyoaktif bozunma serisinin özellikleri

| Nüklit                                                                                                                                            | Tarihsel adı  | Yarılanma ömrü  | Büyük radyasyon enerjileri(MeV) ve Yoğunlukları |              |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                                                                                                   |               |                 | $\alpha$                                        | $\beta$      | $\gamma$     |
| $^{40}\text{K}$<br>$\begin{array}{c} \text{\tiny 10.7\%} \downarrow \text{\tiny 89.3\%} \\ \text{\tiny 40Ar} \quad \text{\tiny 40Ca} \end{array}$ |               | 1.26 $10^9$ yıl | --                                              | 1.32 (%89)   | 1.46 (%11)   |
|                                                                                                                                                   |               | Kararlı         | --                                              |              |              |
| $^{232}\text{Th}$                                                                                                                                 | Toryum        | 1.41 $10^{10}$  | 3.95 (%24)                                      | --           | --           |
| $^{228}\text{Ra}$                                                                                                                                 | Mesotoryum I  | 5.8 yıl         | 4.01 (%76)                                      | 0.055 (%100) | --           |
| $^{228}\text{Ac}$                                                                                                                                 | Mesotoryum II | 6.13 saat       | --                                              | 1.18 (%35)   | 0.34 (%15)   |
| $^{228}\text{Th}$                                                                                                                                 | Radyotoryum   | 1.910 yıl       | 5.34 (%28)                                      | 1.75 (%12)   | 0.908 (%25)  |
| $^{224}\text{Ra}$                                                                                                                                 | Toryum X      | 3.64 gün        | 5.43 (%71)                                      | 2.09 (%12)   | 0.96(%20)    |
| $^{220}\text{Rn}$                                                                                                                                 | Toron (Tn)    | 55 s            | 5.45 (%6)                                       | --           | 0.084 (%1.6) |
| $^{216}\text{Po}$                                                                                                                                 | Toryum A      | 0.15 s          | 5.68 (%94)                                      | --           | 0.214 (%0.3) |
|                                                                                                                                                   |               |                 | 6.29 (%100)                                     | --           | 0.241 (%3.7) |
|                                                                                                                                                   |               |                 | 6.78 (%100)                                     | --           | 0.55 (0.07)  |
|                                                                                                                                                   |               |                 |                                                 | --           | --           |

**Çizelge Ek 2**  $^{40}\text{K}$  ve  $^{232}\text{Th}$  Radyoaktif bozunma serisinin özellikleri (devam)

| Nüklit            | Tarihsel adı | Yarılama ömrü | Büyük radyasyon enerjileri(MeV) ve Yoğunlukları |             |              |
|-------------------|--------------|---------------|-------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                   |              |               | $\alpha$                                        | $\beta$     | $\gamma$     |
| $^{212}\text{Pb}$ | Toryum B     | 10.64         | --                                              | 0.346 (%81) | 0.239 (%47)  |
| $^{212}\text{Bi}$ | Toryum C     | 60.6 dakika   | 6.05 (%25)                                      | 0.586 (%14) | 0.300 (%3.2) |
|                   |              |               | 6.09 (%10)                                      | 1.55 (%5)   | 0.040 (%2)   |
|                   |              |               |                                                 | 2.26 (%55)  | 0.727 (%7)   |
|                   |              |               |                                                 |             | 1.620 (%1,8) |
|                   | Toryum C2    |               |                                                 |             |              |
|                   | Toryum C''   | 3.10 dakika   | --                                              | 1.28 (%25)  | 0.511 (%25)  |
|                   |              |               |                                                 | 1.52 (%21)  | 0.583 (%86)  |
|                   |              |               |                                                 | 1.80 (%50)  | 0.860(%12)   |
|                   | Toryum D     | Stabile       | --                                              | --          | --           |



## Ek 3 Tekirdağ İlinin Özellikleri

### 1 Tekirdağ İlinin Özellikleri

Tekirdağ Türkiye'nin Kuzeybatısında, Marmara Denizinin kuzeyinde tamamı Trakya topraklarında yer alan üç ilden biri, ayrıca Türkiye'de iki denize kıyısı olan altı ilden biridir. Tekirdağ 41° 34' 52" - 40° 52' 53" - 41° 35' 28" – 40° 32' 23" kuzey enlemleri ile 28° 09' 14" - 26° 42' 42" – 28° 08' 34" – 26° 54' 24" doğu boylamları arasındadır. 6.313 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip ilin denizden yüksekliği 0-200 m arasındadır.

İl doğudan İstanbul'un Silivri ve Çatalca, kuzeyden Kırklareli'nin Vize, Lüleburgaz, Babaeski ve Pehlivanköy, güneyden Marmara Denizi ve Çanakkale'nin Gelibolu ilçesiyle ile çevrilidir. Kuzeydoğudan Karadeniz'e 1,5 km'lik bir kıyısı vardır.

Ergene Havzasının güney kesimindeki en büyük kent olan Tekirdağ, Güney Ergene yöresinden ve kuzeyden gelen yolların Marmara denizine ulaştıkları yerde, geniş bir körfezin kıyısına kurulmuştur. İl merkezi kısmen vadi yamaçlarında, kısmen yalıyarlar üzerinde birbirini izleyen üç basamak üzerine yayılır. Vilayet konağının bulunduğu İlk basamakta yükselti 12 m, çarşının bulunduğu basamakta 25 m. ve kuzeyde Tuğlacılar Lisesinin bulunduğu basamakta 45 m.'dir.

### 2 JEOLJİK YAPI

Tekirdağ'ın jeolojik yapısı oldukça gençtir. I. zamanda il alanı denizlerle kaplıdır. Bu arada aşınmalar nedeniyle denizlerin dibinde karasal kökenli tortular oluşmuştur. II. zamanda Alp kıvrımlarının etkisiyle Kuzey Anadolu dağları ile birlikte Tekir Dağları oluşmuştur. Daha önceden oluşmuş olan eski temel ve tortul tabakalar da yer yer kırılmış, kıvrılmıştır. III. Zamanın sonunda neojende, Tekir Dağı yeniden alçalmış ve düzleşmiştir. Bu dönemde Ganos ve Kuru dağının kuzeyinde uzanan platoda gre ve marnlar birikmiştir.

İl, günümüzdeki görüntüsünü IV. zamanda almıştır. Anadolu ve Trakya yükselirken, Ege Marmara ve Karadeniz havzaları alçalmıştır. Topraklar genel olarak kil içeren ve çimentolaşmış grelerden oluşur.

Tekirdağ ve yakın çevresinde gözlenen formasyonlar hakkında kısa bilgiler; oluşum yaşı yaşlıdan gence doğru aşağıda verilmiştir. Formasyon terimi; farklı jeolojik özellikleri ve arazideki görünümünün farklı olması nedeniyle birbirinden ayırt edilebilen kayaç gruplarını tanımlamaktadır.

Tekirdağ ili topraklarının dekarında 40 kg'dan fazla potasyum bulunan alanların oranı %62.9'dur. Yeter miktarda potasyum bulunan toprakların da dahil edilmesiyle bu oran %80.3'e ulaşmaktadır. Potasyumca fakir toprakların oranı ise %4.8'dir. (Aslan, 2000)

Fosfor, azot ve potasyum ile birlikte bitkilerin en fazla gereksinim duyduğu bitki besin elementlerindendir. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünce yapılan araştırmalara göre, Tekirdağ il topraklarının %56.3'ü çok yüksek düzeyde fosfor bulunmaktadır. Bu nedenle tarımsal üretim için fosforlu gübreye fazla ihtiyaç duyulmamaktadır.

1- YENİKÖY KARIŞIĞI: Serpantinit, mavi şisit, diyorit, porfirik alteredasit, fillit, grafit, şist, klorit, şist, metadolerit, spilit, metaçört ve rekristalize kireçtaşı bloklarından oluşmuştur.

2- LÖRT FORMASYONU: Kırmızımsı yeşil, yeşilimsi kül renkli, ince ve orta tabakalı kireç taşı özelliğindedir. Üst kesimleri yer yer kuvars kumlu kireç taşı şeklindedir.

3- KARAAĞAÇ LİMANI FORMASYONU : Birbirleriyle yanal ve düşey geçişli mil taşı, kil taşı, kum taşı ardalanmasıyla bunların arasında yer alan çakıl taşı mercceklerinden oluşmaktadır.

4- KOYUN LİMANI FORMASYONU : Tabanda gri, açık gri, üste doğru siyah, killi, siltli, masif çamurtaşı ile başlar; üste doğru kumtaşı ve çamurtaşına geçer.

5- FIÇITEPE FORMASYONU : Genel olarak üste doğru tane boyu küçülen çakıltası – kumtaşı ile bunlarla ardalanmalı çamurtaşı ve çok ince taneli kumtaşından oluşur.

6- SOĞUCAK KİREÇTAŞI FORMASYONU : Beyaz grimsi beyaz, yer yer sarımsı beyaz, kumlu ve killi seviyeli, erime boşluklu kireçtaşı ve karbonatlardan oluşur.

7- GAZİKÖY FORMASYONU : Yer yer çok ince taneli kum taşı ve tuf katkılı şeylerden oluşmaktadır.

8- KORUDAĞ FORMASYONU : Kumtaşı – kiltası ardalanmasıyla, bunlar arasında yer alan çakıltılarından oluşur.

9- KEŞAN FORMASYONU : Kumtaşı – kiltası ardalanmasıyla, bunların arasında yer alan merccek şeklinde çakıltası ve volkanik kayalardan oluşmaktadır.

10- YENİMUHACIR FORMASYONU : Kiltası ve çamurtaşının egemen olduğu ve içerisinde yer yer kumtaşının bulunduğu tortul kayalardan oluşur.

11- DANIŞMEN FORMASYONU : Kiltası, silttaşı ve marn kayalarından oluşur.

12- ERGENE FORMASYONU : Beyaz, sarımsı beyaz, gevşek tutturulmuş çakıl – kum, renkli kil, çakıl ve killi çamurtaşından oluşur.

13- TRAKYA FORMASYONU : Çakıltası – kumtaşı ve miltaşından oluşur.

**EK 4. EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI****BİLGİ FORMU**

Araştırma Yapılan Dedektör No :  
 Görüşmenin Yapıldığı Tarih :  
 Görüşme Yapılan Kişinin Adı-Soyadı :  
 Görüşme Yapılan Kişinin Adresi ve Tel No:

Radon Dedektörünün Eve Konuş Tarihi :  
 Dedektörün Alınış Tarihi :

1-Evin Tipi :

- a-) Apartman
- b-) Müstakil
- c-) Bunlardan başka

2- Evin yapıldığı tarih(yıl)

3-Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemeleri

Taban : a-) Toprak+ Sap beton b-) Beton c-) Ahşap

Tavan : a-)Beton b-)Ahşap

Duvarlar : a-) Beton b-)Tuğla c-)Ahşap d-)Taş e-)Bunlardan başka

4-Oturma ve yatak odasının hangi katta olduğunu belirtiniz

a-)Bodrum b-)Giriş kat c-) I.Kat d-) II.Kat e-) III.Kat

f-) IV. Kat g-) V. Kat h-)Diğer

**5-Pencerelerin Durumu**

- a-) Pencereler tek camlı ve ısı yalıtımı iyi
- b-)Pencereler tek camlı iyi yalıtımı zayıf
- c-)Pencereler çift camlı ısı yalıtımı iyi

**6- Havalandırma Sistemi**

- a-) Doğal havalandırma
- b-)Cihaz ile havalandırma

**7-Evde kaç kişi yaşıyor ve bunların yaşları****8-Akciğer kanseri olan kişi veya bu hastalıktan ölen kişi var mı?**

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 04.05.1977

Doğum yeri Van

Lise 1991-1994 Tekirdağ

Lisans 1995-1999 Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak.  
Fizik Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

**Çalıştığı kurumlar**

1999-2004 Milli Eğitim Bakanlığı, Öğretmen

2004-Devam ediyor Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi  
Sağlık Fiziği Bölümü

