

Gümüşhane İli Çevresinde Toplanan Toprak ve Karayosunu Örneklerinde Doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve Yapay (^{137}Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Selim KAYA^{*1}, Salih Mustafa KARABIDAK¹, Uğur ÇEVİK²
¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane
²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Trabzon

Geliş tarihi/Received 23.09.2014

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 25.12.2014

Kabul tarihi/Accepted 30.12.2014

Özet

Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemektir. Gümüşhane çevresinde toplanan toplam 28 (12 karayosunu, 16 toprak) toprak ve karayosunu örnekleri analiz edilmiştir. Gümüşhane ili çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örnekleri için doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları iyi kalibre edilmiş yüksek çözünürlüklü germanyum dedektörü (HPGE dedektörü) ile belirlenmiştir.

Gümüşhane ilindeki toprak ve karayosunu örneklerinde aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 17,31 ile 141,62 Bqkg⁻¹ arasında, ^{232}Th için 9,70 ile 35,34 Bqkg⁻¹ arasında ve ^{40}K için 236,83 ile 1039,11 Bqkg⁻¹ arasında bulunmuştur. Doğal radyoaktivitenin yanısıra yapay ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu toprak ve karayosunu örneklerinde ölçülmüştür. Toprak örnekleri için ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 7,63 ile 39,44 Bqkg⁻¹ arasında, karayosunu numuneleri için 12,45 ile 196,89 Bqkg⁻¹ arasında bulunmuştur. Elde edilen değerler kullanılarak toprak ve karayosunu için sırasıyla ortalama eşdeğer radyum aktivitesi değerleri (Ra_{eq}) 96 Bqkg⁻¹ ve 157 Bqkg⁻¹ bulunmuştur. Ölçülen örneklerin Ra_{eq} değerleri; eşdeğer gama doz oranı 1,5 mSv.y⁻¹ denk gelen 370 Bqkg⁻¹ limit değerinden çok düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Doğal ve Yapay Radyoaktivite, Toprak ve Karayosunu, Gama Spektrometresi, Aktivite Konsantrasyonu

Determination of Natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and Artificial (^{137}Cs) Radioactivity Concentrations in Soil and Moss Samples Collected from Around Gümüşhane

Abstract

The aim of this study was to determine natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides for soil and moss samples collected from the Gümüşhane province. Various soil and moss samples were collected from locations in Gümüşhane-Turkey. The total number of samples analyzed was 28 whereas 16 samples are soil and 12 samples are moss. The concentrations of natural radionuclides in soil and moss samples around Gümüşhane-Turkey were determined by a well-calibrated high-purity germanium detector (HPGE dedector).

It was found that activity concentrations ranged from 17.31 to 141.62 Bq kg⁻¹ for ^{226}Ra , from 9.70 to 39.44 Bqkg⁻¹ for ^{232}Th and from 236.83 to 1039.11 Bq kg⁻¹ for ^{40}K . Besides naturally occurring

* Selim KAYA, selimkaya@gumushane.edu.tr, Tel: (456) 233 74 25

radionuclides, ^{137}Cs activity concentration was measured in soil and moss samples. It was found that ^{137}Cs activity concentration ranged from 7.63 to 39.44 Bq kg⁻¹ with for soil, and from 12.45 to 196.89 Bq kg⁻¹ for moss samples. Obtained values show that the mean radium equivalent activity (R_{eq}) for soil and moss samples were 96 Bq.kg⁻¹ and 157 Bq.kg⁻¹, respectively. R_{eq} values of the measured samples are lower than the limit value of 370 Bq kg⁻¹ which is equivalent to a gamma dose of 1.5 mSv.y⁻¹.

Keywords: Natural And Artificial Radioactivity, Soil and Moss, Gamma Spectrometer, Activity Concentration

1. Giriş

İnsanoğlu varoluşundan beri sürekli ve kaçınılmaz olarak radyasyon etkisi altında kalmaktadırlar. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmaktadır. Radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutmaktadır. Çünkü insanlar yaşamları boyunca doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan azımsanmayacak oranlarda doz almaktadırlar.

Doğal radyasyona maruz kalma seviyesini belirleyen iki ana katkı vardır. Bunlardan birincisi dünya'nın atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlardır. Diğeri ise çevremizde her yerde bulunup hatta insan vücudunda bile olan dünyanın kabuğunda var olan radyoaktif elementlerdir.

İnsanlar bu kaynaklardan dolayı hem iç ve hem de dış radyasyona maruz kalmaktadırlar. Kozmik ışınlar ile yer kabuğunda, yapı malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara, havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomların solunum ve sindirim yoluyla vücuda girerek iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Doğal radyasyona en büyük katkı tabiatta doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ile bunların bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{235}U , ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Kozmik ışınların doğal radyasyona katkısı yükseklikle değişmekte ve deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça

belirli enlem değerlerinde sabit alınmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin değerlendirilmesidir. Bunun içinde, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklitlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirinin tayin edilmesi gerekmektedir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklitler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin de belirlenmesi gerekmektedir. Ancak böyle bir araştırmadan sonra bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşamaya uygun olup olmadığına karar verilebilir.

Literatürde doğal radyasyon düzeylerini belirlemeye yönelik yapılmış bir çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Ülkemizde doğal radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalara örnek vermek gerekirse; İstanbul ilinin toprağında bulunan doğal radyonüklidlerin 0-10 cm derinlikteki konsantrasyonları ^{232}Th için 37 Bq/kg, ^{40}K için ise 342 Bq/kg olarak tespit edilmiştir (Karahan ve Bayülken, 2000). Kocaeli'nde 27 farklı bölgeden alınan toprak örneklerinde doğal radyoaktivite değerleri belirlenmiş ve ^{137}Cs , ^{238}U , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th için aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 2-25 Bq/kg, 11-49 Bq/kg, 161-964 Bq/kg, 10-58 Bq/kg ve 11-65 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği bulunmuştur (Karakelle vd., 2002). Manisa'da toprak örneklerindeki radionüklit doz oranları ile evlerdeki radon ölçümleri

yapılmıştır. Toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama değerler sırasıyla 28,5 Bq/kg, 27 Bq/kg ve 340 Bq/kg olarak bulunmuştur (Ereeş vd., 2006). Gaziantep'te toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 25,2, 23,7, 289,2 ve 8,02 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Osmanlıoğlu vd., 2007).

Trabzon ilinde yapılan çalışmada toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 43, 35, 438 ve 21 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Kurnaz, 2009). Rize Fırtına vadisi bölgesinden alınan toprak numunelerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 50, 42, 643 ve 85 Bq/kg olarak bulunmuştur (Kurnaz vd., 2007). Artvin bölgesinde yapılan çalışmada ise ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 23, 20, 357 ve 54 Bq/kg olarak bulunmuştur (Yeşilbağ, 2008).

Dünyada yapılmış olan çalışmalara örnek vermek gerekirse; Çin'in çeşitli bölgelerinde karasal gama radyasyonunu belirlemeye yönelik yapılan bir çalışmada toprakta, ev içi, ev dışı ve yol üzerlerinde ölçümler alınmış, ayrıca ev içi radon seviyesi de belirlenmiştir. Toprak için ortalama ^{238}U konsantrasyonu 39,75 Bq/kg, ^{232}Th için 46,85 Bq/kg ve ^{40}K için 567 Bq/kg olarak bulunmuştur. (Ziqiang vd., 1988). Nil Deltası ve Mısır'ın orta bölgesi topraklarından, 162 numune içindeki doğal radyonüklit konsantrasyonları yüksek saflıkta Ge spektrometrede ölçülerek ortalama aktivite konsantrasyonları; ^{238}U için 16,6 Bq/kg, ^{226}Ra için 18,1 Bq/kg ve ^{40}K için 316 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Ibrahiem, 1993). Mısır'ın güneyinde ise 6 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit seviyeleri belirlenmiş olup, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla 5-24 Bq/kg, 2-10 Bq/kg ve 293-660 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Sroor vd., 2001). Mısır'ın değişik bölgelerindeki granit örneklerinde aktivite konsantrasyonlarını da belirlenmiş ve tüm çalışma bölgeleri için radyum eşdeğeri, toplam absorbe olmuş doz, tehlike indeksleri

hesaplanmıştır (Arafa, 2004). Nijerya'da yerinde ölçümler alarak 32 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit konsantrasyonlarını belirlenmiş olup ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla ortalama aktivite konsantrasyonları 16,2 Bq/kg, 24,4 Bq/kg ve 34,8 Bq/kg olarak tayin edilmiştir. Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K sebebiyle havadaki dış gama doz oranları sırasıyla 6,9, 16,3 ve 1,5 nGy/s olarak bulunmuştur (Arogunjo vd., 2004).

Karayosunları ağır metal kirliliğinin hassas biyoindikatörleri olarak kullanılmışlardır. Bu bitkiler ağır metallerin büyük bir kısmını dokularında biriktirirler. (Grodzinska 1982, Uyar vd., 2007). Toprak ve karayosunları örneklerinin radyonüklidlerin konsantrasyonları ölçülmesi önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemektir.

2. Materyal ve Metotlar

Yapılan arazi çalışmaları ile Gümüşhane ili ve çevresinden toplam 28 (12 karayosunu, 16 toprak) toprak ve karayosunu örnekleri 2010 yılı Haziran ayında toplanmıştır. Toprak numunelerinin toplanması yüzeyden 15-20 cm derinliğe inilerek yapılmıştır. Şekil-1'de toprak ve karayosunu numunelerin toplandığı noktaların uydudan görünümü verilmiştir.

Toplanan numuneler öncelikle sınıflandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra, numunelerin öğütme ve eleme işlemleri yapılmıştır. Toprak örnekleri homojen olması için 80 Mesh'lik elekten geçirilerek neminin alınması için 80 oC' sıcaklıktaki bir etüve konulmuştur. Etüvde bir kaç gün kaldıktan sonra deney geometrisine uygun biçimde hazırlanan, çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Laboratuvarında karayosunu örnekleri makroskobik ve mikroskobik çalışmalara tabi tutularak çeşitli flora eserleri yardımıyla teşhisleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil-1. Toprak ve karayosunu numunelerin toplandığı noktaların uydudan görünümü

Gümüşhane çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örnekleri analiz edilmiştir. Laboratuvarında teşhisleri gerçekleştirilen karayosunu türleri direk güneş ışığı almayan gölge bir yerde bir ay süreyle kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler yıkanmadan bütün yabancı maddelerden temizlenmiş ve 105 °C'lik inkübatör'de 24 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulmuş karayosunu numuneleri steril bir şekilde öğütülerek toz haline getirilmiştir.

Gamma spektroskopik ölçümler K.T.Ü. Fizik bölümünde bulunan 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge detektörü kullanılarak yapılmıştır. Bekleme süresi dolan örneklerin çok kanallı gama detektörü ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen spektrumlar Genie-2000 programı yardımıyla radyonüklit konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca ölçümlerin tamamlanmasının ardından örneklerden elde edilen spektrumların bilgisayar ortamında analizlerinin yapılarak aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Alınan spektrumlardaki ^{238}U bozunma ürünü olan ^{226}Ra (186,21 keV), ^{214}Pb (351,9 keV), ^{214}Bi (609,3 keV), ^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan ^{208}Tl (583,2 keV) ve

^{228}Ac (911,2 keV), ^{40}K (1460,8 keV) ve ^{137}Cs (661,6 keV) pikleri dikkate alınmış ve her bir pik için ilgili alan (ROI) bölgeleri seçilmiştir. Yine her bir pik için piklerin alanları, en büyük alan ve en küçük hatayı verecek şekilde işaretlenmiştir.

Standart nokta kaynaklar kullanılarak verim kalibrasyonu belirlenmiştir. Bu kaynaklar Cs, Co, Cs, Ba, Sr kaynaklarıdır. Bu kaynakların koincidans (coincidence) etkisi ihmal edilmiş olması için detektöre 15 cm mesafede konulmuştur. Yapılan enerji kalibrasyonundan yararlanılarak, çıkan bu piklerin hangi enerji değerlerine karşılık geldiği belirlenmiş olup bu enerjilere karşılık gelen radyoizotoplar tespit edilmiştir.

Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimini de hesaba katarak,

$$Aktivite = \frac{Net\ Alan}{Sayım\ süresi \times Numune\ miktarı \times Bolluk \times Verim} (Bqkg^{-1}) \quad (1)$$

ifadesinden yararlanılmıştır. Ortalama eşdeğer radyum aktivitesi (Ra_{eq}) değeri ise;

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.07C_K \quad (2)$$

ifadesinden bulunmuştur (UNSCEAR, 2000).

Burada C konsantrasyonu göstermektedir. Ayrıca Topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa, yerden bir metre yükseklikte soğurulan doz hızı belirlenebilmektedir. Bu çalışma için toprak örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak, toprak örneklerindeki gama dozu D(nGy/h) değerleri aşağıdaki eşitlikten (UNSCEAR, 2000) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$D(nGy/s) = (0.462 \times {}^{238}U) + (0.604 \times {}^{232}Th) + (0.0417 \times {}^{40}K) \quad (3)$$

Bulunan gama dozları kullanılarak ise yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan alacağı doz miktarı bulunabilmektedir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000).

$$AEDE (\mu Sv / y) = \text{Soğurulan gama dozu} \times \text{Çevresel gama dozu dönüşüm faktörü} \times \text{Meşguliyet faktörü} \times \text{Zaman} \quad (4)$$

Bu eşitlikte Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü 0,7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir. Bu değer hem ev içinde hem de ev dışında yapılan ölçümlerde değişmemektedir. Bu eşitlikte bilinmesi gereken diğer bir faktör, Meşguliyet Faktörü yani insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Yapılan hesaplarda, insanların zamanlarının % 20'sini açık alanlarda ve % 80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınmıştır. (Meşguliyet faktörü ev içi için 0,8 ve ev dışı için ise 0,2 olarak alınır). Zaman ise, bir yıldaki saat sayısıdır (8760 s/y).

3. Sonuçlar ve Tartışma

Gümüşhane çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$ ve ${}^{40}\text{K}$) ve yapay (${}^{137}\text{Cs}$) radyoaktivite konsantrasyonları HPGE dedektörü kullanılarak bulunmuştur. Gümüşhane ilindeki toprak ve karayosunu örneklerinde

aktivite konsantrasyonları Tablo-1 de verilmiştir. Bu tabloda ${}^{137}\text{Cs}$ aktivite konsantrasyonları bazı değerler için ölçülememiştir. Dedeksiyon limit değeri 0,1 bq/kg olarak belirlenmiştir.

Gümüşhane ilindeki toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonları ${}^{226}\text{Ra}$ için 17,3 ile 48,3 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 26,1 Bqkg⁻¹) arasında, ${}^{232}\text{Th}$ için 9,70 ile 32,5 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 23,9 Bqkg⁻¹) arasında, ${}^{40}\text{K}$ için 236,8 ile 889,6 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 519,9 Bqkg⁻¹) arasında ve ${}^{137}\text{Cs}$ için 7,63 ile 39,4 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 18,6 Bqkg⁻¹) arasında bulunmuştur.

Trabzon ilinde yapılan çalışmada toprak örneklerinde ${}^{238}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ ve ${}^{137}\text{Cs}$ için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 43, 35, 438 ve 21 Bq/kg olarak belirlenmiştir. (Kurnaz, 2009). Rize fırtına vadisi bölgesinden alınan toprak numunelerinde ${}^{238}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ ve ${}^{137}\text{Cs}$ için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 50, 42, 643 ve 85 Bq/kg olarak bulunmuştur (Kurnaz vd., 2007).

Artvin bölgesinde yapılan çalışmada ise ${}^{238}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ ve ${}^{137}\text{Cs}$ için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 23, 20, 357 ve 54 Bq/kg olarak bulunmuştur (Yeşilbağ, 2008).

Yakın illerde yapılan araştırmalar ile bir kıyaslama yapıldığında ${}^{137}\text{Cs}$ oranının Trabzon, Rize ve Artvin bölgesine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Karayosunu örneklerinde aktivite konsantrasyonları ${}^{226}\text{Ra}$ için 50,7 ile 141,6 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 76,6 Bqkg⁻¹) arasında ${}^{232}\text{Th}$ için 14,2 ile 35,3 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 24,8 Bqkg⁻¹) arasında, ${}^{40}\text{K}$ için 353,6, ile 1039,1 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 643,7 Bqkg⁻¹) arasında ve ${}^{137}\text{Cs}$ için 12,45 ile 196,9 Bqkg⁻¹ (ortalama değer 54,7 Bqkg⁻¹) arasında bulunmuştur. Literatürde ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$ ve ${}^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonu için dünya ortalama değerleri sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg olarak verilmektedir (UNSCEAR, 2000).

Tablo-1. Toprak ve karayosunu örneklerinde aktivite konsantrasyonları.

Örnekler	Tür	²²⁶ Ra (Bq.Kg ⁻¹)	²³² Th (Bq.Kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq.Kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq.Kg ⁻¹)
Gümüşhane	<i>Syntrichia intermedia</i> Brid	58,75±2,88	18,65±1,15	35,01±4,35	445,70±9,24
Tekke	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	59,95±2,91	19,185±2,23	19,4±2,74	489,9±9,87
Akçakale	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	57,95±2,86	19,95±3,15	56,78±8,44	787,15±15,83
Bağlarbaşı	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	50,735±2,56	35,34±2,82	16,24±2,85	874,25±15,23
Hacıemin	<i>Tortula muralis</i> var. <i>muralis</i>	102,51±5,04	29,79±2,78	76,36±7,28	1039,11±19,22
Mescitli-	<i>Trichostomum tenuirostre</i> var. <i>tenuirostre</i>	89,775±4,50	14,25±1,23	196,89±17,6	578,65±11,57
İkisu-1	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	68,61±3,40	20,05±1,48	27,19±3,77	353,58±6,83
İkisu-2	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	71,615±3,55	28,73±2,51	19,51±2,93	604,56±12,25
Torul-1	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	72,375±3,65	32,40±2,81	12,45±2,46	431,29±8,67
Torul-2	<i>Hypnum cupressiforme</i>	141,62±5,75	33,17±2,83	94,83±11,16	778,95±15,56
Kürtün	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	60,9±3,15	25,525±2,35	37,02±4,15	457,83±8,75
Zigana	<i>Syntrichia ruralis</i> var. <i>ruralis</i>	85,01±3,68	21,535±2,05	65,47±5,36	883,87±16,43
Gümüşhane	Toprak	22,39±1,15	18,65±1,52	Ölçülemedi	319,63±16,37
Tekke-1	Toprak	29,71±1,28	32,205±2,81	18,51±2,86	463,32±9,44
Tekke-2	Toprak	25,28±1,23	31,415±2,73	Ölçülemedi	419,62±8,23
Akçakale-1	Toprak	28,3±1,26	27,425±2,41	Ölçülemedi	489,45±9,89
Akçakale-2	Toprak	29±1,27	26,835±2,38	Ölçülemedi	503,08±10,52
Bağlarbaşı	Toprak	35,15±1,51	26,11±2,65	Ölçülemedi	436,57±8,67
Hacıemin	Toprak	48,29±2,48	32,52±2,65	39,44±8,57	377,23±7,42
Mescitli-1	Toprak	22,735±1,17	26,085±2,56	Ölçülemedi	236,83±7,53
Mescitli-2	Toprak	29,66±1,30	9,7±1,15	7,63±1,26	378,83±7,56
İkisu	Toprak	21,66±1,22	21,82±1,97	Ölçülemedi	538,47±10,82
Torul-1	Toprak	17,31±1,16	18,32±1,33	Ölçülemedi	486,67±9,71
Torul-2	Toprak	22,65±1,23	29,675±2,81	Ölçülemedi	762,53±15,2
Kürtün-1	Toprak	23,30±1,22	20,515±1,90	8,78±1,25	563,4±10,22
Kürtün-2	Toprak	25,67±1,24	26,12±2,34	Ölçülemedi	864,56±16,45
Zigana-1	Toprak	19,4±1,18	16,97±1,45	Ölçülemedi	586,43±11,34
Zigana-2	Toprak	23,4±1,22	23,83±1,95	Ölçülemedi	889,65±17,63

Gümüşhane çevresinden alınan toprak örneklerinin ortalama değerleri bu literatür bilgisi ile kıyaslandığında, ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalamasından küçük fakat ^{40}K aktivite konsantrasyonunun dünya ortalamasından büyük olduğu sonucuna varılmaktadır. Karayosunu örneklerinin ortalama değerleri bu literatür bilgisi ile kıyaslandığında, ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalamasından büyük fakat ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun dünya ortalamasından küçük olduğu sonucuna varılmaktadır. Gümüşhane ilindeki toprak örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonunun dünya ortalamasından büyük olmasının kayaç yapısından kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Elde edilen değerler kullanılarak toprak ve karayosunu için sırasıyla ortalama eşdeğer radyum aktivitesi değeri (R_{aeq}) 96 Bqkg^{-1} ve 157 Bqkg^{-1} bulunmuştur. Karayosunu ve toprak örneklerindeki ortalama gama dozu $D(\text{nGy/h})$ değerleri sırasıyla 77 nGy/h ve 48 nGy/h bulunmuştur. Bulunan gama dozları kullanılarak ise yıllık etkin doz ortalama eşdeğeri AEDE ($\mu\text{Sv/y}$) karayosunu ve toprak numuneleri için sırasıyla $94 (\mu\text{Sv/y})$ ve $59(\mu\text{Sv/y})$ olarak elde edilmiştir.

Ölçülen örneklerin R_{aeq} değerleri; eşdeğer gama doz oranı $1,5 \text{ mSv.y}^{-1}$ denk gelen 370 Bqkg^{-1} limit değerinden çok düşüktür. Dolayısıyla insan sağlığı açısından radyoaktif ışınlanmaya bağlı herhangi bir tehlike görülmemektedir. Şekil-2'de toprak örneklerindeki aktivite konsantrasyonu verilmiştir.

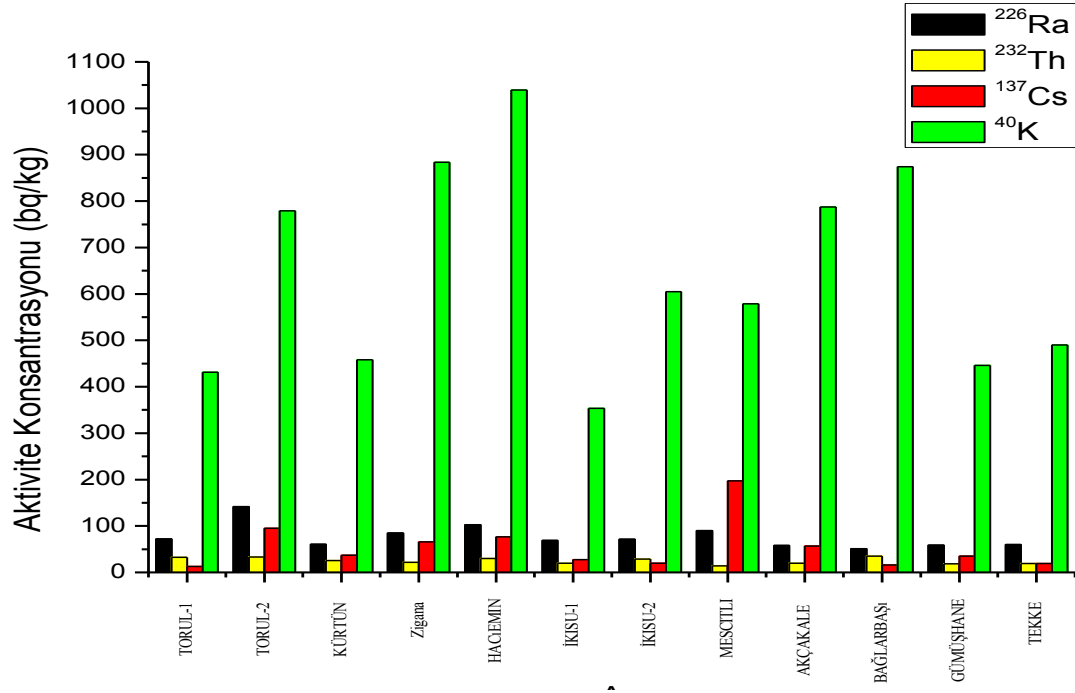
Alınan toprak örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, bu 16 örneğin 6 tanesinde ^{232}Th aktivitesinin ^{226}Ra 'den fazla çıktığı görülmüştür. Toprak numunelerinde en büyük ^{226}Ra konsantrasyonunu $48,3 \text{ Bq/kg}$ değeri ve en

büyük ^{232}Th konsantrasyonunun $32,5 \text{ Bq/kg}$ değeri Hacıemin bölgesinden alınan toprak örneğinde olduğu tespit edilmiştir.

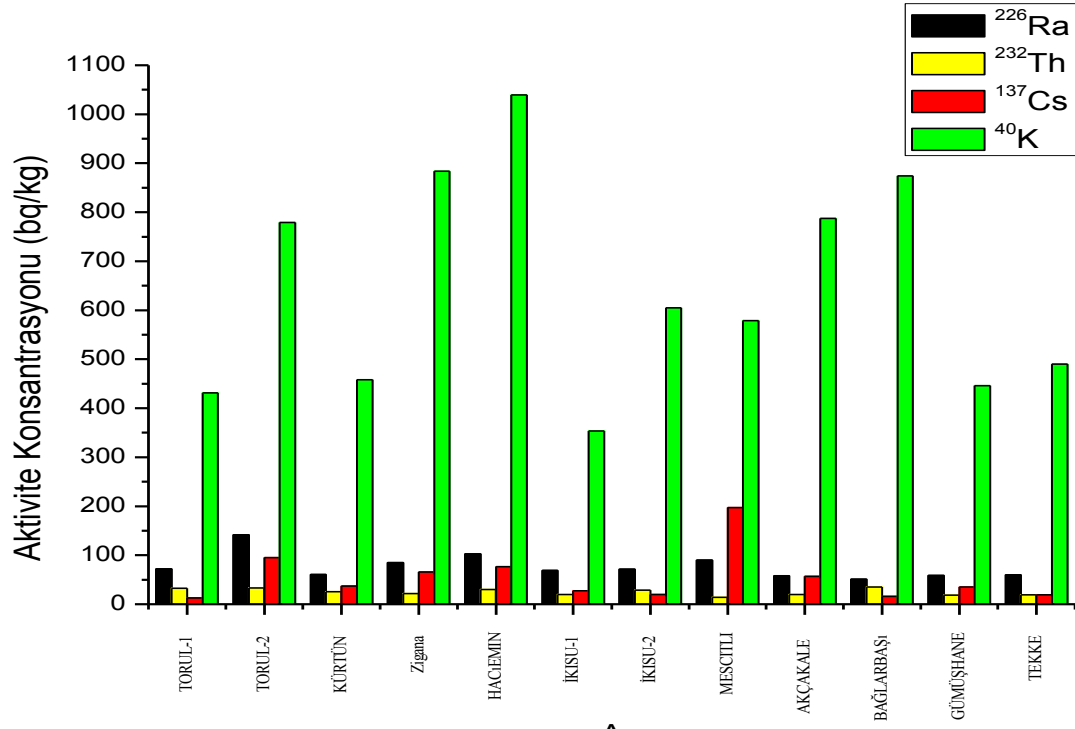
Toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{40}K konsantrasyonu açısından en düşük konsantrasyonun $236,8 \text{ Bq/kg}$ değeri Mescitli-1 bölgesinde ve en yüksek konsantrasyonun $889,6 \text{ Bq/kg}$ değeri ile Zigana-2 noktasında bulunduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin bazılarında fisyon ürünü olan ve tabiatta doğal olarak bulunmayan ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. ^{137}Cs konsantrasyonunun ortalama değeri $18,6 \text{ Bq/kg}$ olarak bulunmuştur. En yüksek konsantrasyona ise Hacıemin bölgesinden alınan toprak örneğinde rastlanılmış olup değeri $39,4 \text{ Bq/kg}$ olarak ölçülmüştür. Şekil-3'de karayosunu örneklerindeki aktivite konsantrasyonu verilmiştir.

Karayosunu numunelerinde en büyük ^{226}Ra konsantrasyonunu $141,6 \text{ Bq/kg}$ değeri Torul-2 örneğinde, en büyük ^{232}Th konsantrasyonu $35,3 \text{ Bq/kg}$ değeri Bağlarbaşı bölgesinden alınan toprak örneğinde olduğu tespit edilmiştir.

Karayosunu örneklerinde ^{40}K konsantrasyonu açısından en düşük konsantrasyonun $353, \text{ Bq/kg}$ değeri İkisü-1 örneğinde ve en yüksek konsantrasyonun $1039,1 \text{ Bq/kg}$ değeri ile Hacıemin noktasındaki örnekte bulunduğu görülmektedir. Karayosunu örneklerinin tamamında tabiatta doğal olarak bulunmayan ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. ^{137}Cs konsantrasyonunun ortalama değeri $54,7 \text{ Bq/kg}$ olarak bulunmuştur. En yüksek konsantrasyona ise Mescitli bölgesinden alınan örnekte rastlanılmış olup değeri $196,9 \text{ Bq/kg}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil-2. Toprak örneklerindeki aktivite konsantrasyonunun şekilsel gösterimi



Şekil-3. Karayosunu örneklerindeki aktivite konsantrasyonunun şekilsel gösterimi

Kaynaklar

- Arafa, W., 2004. Specific activity and hazards of granite samples collected from the Eastern Desert of Egypt. Journal of Environmental Radioactivity, 75, 3, 315-327.
- Arogunjo, A.M., Farai, I.P. ve Fuwape, I.A., 2004. Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta Region of Nigeria. Radiation Protection Dosimetry, 108, 1, 73-77.
- Cevik U., Damla N., Koz B. ve Kaya, S., 2008. "Radiological characterization around Afsin-Elbistan coal-fired power plant in Turkey". Energy & Fuels, 22 (1), 428-432.
- Erees, F.S., Akozcan, S., Parlak, Y. ve Cam, S., 2006. Assessment of dose rates around Manisa. Radiation Measurements, 41, 5, 598-601.
- Frey, W., Fram, J.P., Fischer, E. ve Lobin, W., 1995. Die Moos und Farnpflanzen Europas, Stuttgart, Jena, New York.
- Grodzinska, K., 1982. Monitoring of Air Pollutants by Mosses and Tree bark. In: Steubing, L., Jager, H. Eds.), Monitoring of Air Pollutants by Plants-Methods and Problems. Proceedings of the International Workshop, Osnabruck, 24-25. IX. 1981. Dr. W. Junk Publ, The Hague, pp. 33-42.
- Grodzinska, K., ve Szarek-Lukaszewska, G., 2001. Response of Mosses to the Heavy Metal Deposition in Poland-an overview. Environmental Pollution, 114, 443-451.
- Ibrahiem, N.M., 1993. Measurement of Radioactivity Levels in Soil in the Nile Delta and Middle Egypt. Health Physics, 64, 6, 620-627.
- Karahan, G. ve Bayulken, A., 2000. Assessment of Gamma Dose Rates Around İstanbul. Journal of Environmental Radioactivity, 47, 2, 213-221.
- Karakelle, B., Öztürk, N., Kose, A., Varinlioğlu, A., Erkol, A.Y. ve Yılmaz, F., 2002. Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 3, 649-651.
- Koz, B., Çevik, U., Bulut, V.N., Kaya, S., Gundogdu, A. ve Çelik, N., 2013. Heavy Metal Analysis By Moss Species in the Black Sea Region of Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 22, 4b, 1287-1295.
- Kurnaz, A., Kucukomeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Kormaz, F., Karahan, G. ve Cevik, U., 2007. Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize,Turkey). Applied Radiation and Isotopes, 65, 11, 1281-1289.
- Kurnaz, A., 2009. Trabzon İlinin Ve Şebinkarahisar İlçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Osmanlıoğlu, A.E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 124, 4, 407-410.
- Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., James, P.W. ve Moore, D.M., 1993. The Lichen Flora of Great Britain and Ireland, Natural History Museum and British Lichen Society, London, pp. 710.

- Smith, A.J.E., 2004. The Moss Flora of Britain and Ireland, Cambridge University Press, London.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Ahmed, F. ve Abdel-Haleem, A.S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. Applied Radiation and Isotopes, 55, 6, 873-879.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York, USA.
- Uyar, G., Oren, M. and Đnce, M., 2007. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Duzce Province by Using Mosses as Biomonitor. Fresenius Environmental Bulletin, 16, 145-153.
- Yeşilbağ, Y.O., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev Đci Radon Konsantrasyonu ve Cevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ziqiang, P., Yin, Y. ve Mingqiang, G., 1988. Natural Radiation and Radioactivity in China. Radiation Protection Dosimetry, 24, 1/4, 29-38.