



Natural Radioactivity Levels in Pileki Stone and Soil Samples Taken From Pileki Cave in Rize Province

Serdar DİZMAN

Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Sciences and Arts, Department of Physics, 53100, Rize, Türkiye, serdar.dizman@erdogan.edu.tr

Abstract

Natural radioactivity concentrations (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in Pileki stone and soil samples collected from Pileki Cave in Rize province were determined using the high-purity germanium detector (HPGe). In the collected samples, the activity concentrations of the natural radionuclides was found to vary between 29.68 ± 2.71 and 44.50 ± 2.71 Bq/kg for ^{226}Ra , between 31.61 ± 3.08 and 41.52 ± 3.34 Bq/kg for ^{232}Th , and between 598.67 ± 15.03 to 802.96 ± 18.30 Bq/kg for ^{40}K . In order to evaluate the radiological hazard of the natural radioactivity, radium equivalent activity (R_{aeq}), the external hazard index (H_{ex}), the absorbed gamma dose rate (D) and the annual effective dose equivalent (AEDE) were calculated and the results were compared with the recommended values by international organizations. The average annual effective dose equivalent that visitors of Pileki cave will receive on each visit was calculated as 0.085 mSv, which is below the dose value recommended by the international organizations. As a result, this study showed that natural radiation does not have any risk to health of people who have visited to Pileki cave and used bowls made from Pileki stone.

Keywords: Radioactivity, Soil, Pileki Stone, Pileki Cave, Rize.

Rize İlindeki Pileki Mağarası'ndan Alınan Pileki Taşı ve Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Düzeyleri

Özet

Rize ilindeki Pileki mağarasından alınan Pileki taşı ve toprak örneklerinde, doğal radyoaktivite konsantrasyonları (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HPGe) kullanılarak belirlendi. Alınan örneklerdeki doğal radyonüklit konsantrasyonlarının, ^{226}Ra için 29.68 ± 2.71 ile 44.50 ± 2.71 Bq/kg, ^{232}Th için 31.61 ± 3.08 ile 41.52 ± 3.34 Bq/kg ve ^{40}K için 598.67 ± 15.03 ile 802.96 ± 18.30 Bq/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Doğal radyoaktiviteden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri değerlendirebilmek için radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), dış tehlike indeksi (Hex), soğurulan gama doz hızı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) hesaplandı ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerlerle kıyaslandı. Pileki Mağarası ziyaretçilerinin her bir ziyarette alacağı ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 0.085 mSv olarak hesaplandı ve bu değer uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen doz değerinin altında olduğu belirlendi. Sonuç olarak, bu çalışma ile Pileki Mağarası ziyaretçileri ve pileki taşından yapılmış kapları kullanan insanlar için doğal radyasyonun bir sağlık riski oluşturmadığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Toprak, Pileki Taşı, Pileki Mağarası, Rize.

1. Giriş

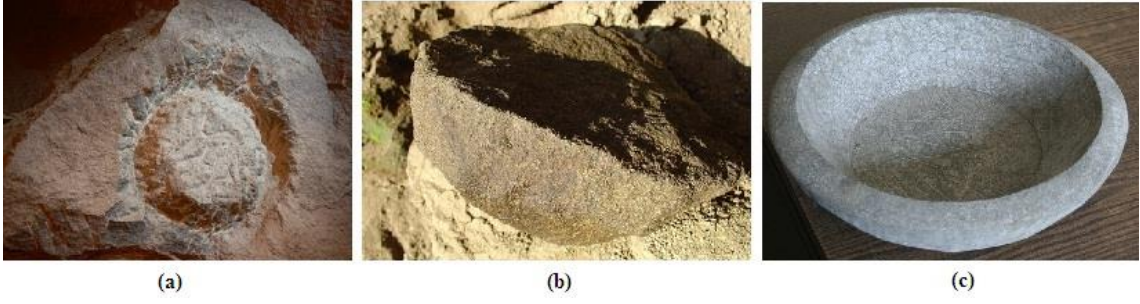
İnsanoğlu, hem doğal hem de yapay kaynaklı background radyasyona devamlı olarak maruz kalmaktadır. Kişi başına yıllık 2.4 mSv'e karşılık gelen doğal background radyasyonu, bir kişinin bir yılda maruz kaldığı toplam radyasyon dozunun yaklaşık %80'ini oluşturur [1]. Taş, kaya ve toprakta bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları, doğal background radyasyonunun ana belirteçlerinden biridir.

Toprak, kaya ve taşlarda doğal radyoaktivite, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden kaynaklanmaktadır. Bu radyonüklitlerin radyolojik etkisi, radon ve ürünlerinin solunması ile akciğer dokusunu ışınlamaları ve vücudun gama ışınlarına maruziyetinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, dış maruziyet dozuna en büyük katkıyı

yapan doğal radyasyon olduğu için doğal kaynaklardan gelen gama radyasyon dozunun değerlendirilmesi oldukça önemlidir [2]. Doğal radyoaktivite ve gama radyasyonu ile ilişkili dış maruziyet öncelikle jeolojik ve coğrafi koşullara bağlı olmakla birlikte dünyadaki her bir bölgede farklı düzeylerde görülür [3].

İnsanlar, yaşadığı ortamın potansiyellerini en üst düzeyde değerlendirerek, kendisi için gerekli olan aletleri yapmış ve kullanmıştır. Bu bağlamda değerlendirilecek maddi kültür eserlerinden biri de “pileki”lerdir. Pileki, işlenebilen, ısıyı ileten, ısınınca çatlamayan, homojen dokulu, su ve havayla temasta bozuşmayan kayalardan elde edilmektedir [4-6]. Kalın tabakalı, homojen elemanlı, kırıksız ve küresel ayrışma özelliğine sahip kayalar tercih edilen düzeylerdir. Tandır gibi işlev görebilen ve gömme ekmek pişirmede yararlanılan pilekiler, 1970'lere kadar Karadeniz Bölgesi'nin kırsal kesimlerinde yaygın olarak kullanılmıştır.

Karadeniz yöresi mutfak kültüründe, küle gömerek ekmek pişirme geleneği çok eskilere dayanmaktadır. Bu mutfak kültüründe, ekmekler ateşin yakıldığı yerde pileki adı verilen ve doğal taştan yapılan bu kaplar içerisinde gömme usulü ile pişirilirdi [4-6]. Pileki taşının litolojisi porfirik dokulu bazalttır [7]. Koyu renkli hamur içinde göreceli iri feldspat kristallerinin saçılı halde olması, bu bazaltın kısmen andezit görüntüsü kazanmasına yol açmıştır [7]. Pilekiler, kayalardan çıkarılan blokların el yordamı ile oyularak ve işlenerek ekmek pişirme kabı şekline dönüştürülmesi ile elde edilir (Şekil 1). Pilekinin üretildiği kayalara Pileki taşı, çıkartılıp işlendiği galerilere Taşhane adı verilmektedir [4]. Pileki mağarası, bu taş hanelerin içinde üretim yapılmış, özgün ve müze niteliğine sahip yapay bir mağaradır [8]. Mağaradaki kayalar, yatay ve düşey galeriler şeklinde işlenmiştir. Pileki mağarası, Karadeniz yöresi eski mutfak kültürünün izlerini taşımasının yanında doğal güzelliği ile de korunması gereken jeolojik miras niteliğindedir [8]. Müzeye dönüştürülerek turizme kazandırılan bu mağarayı yılda 2000 kişi ziyaret etmektedir.



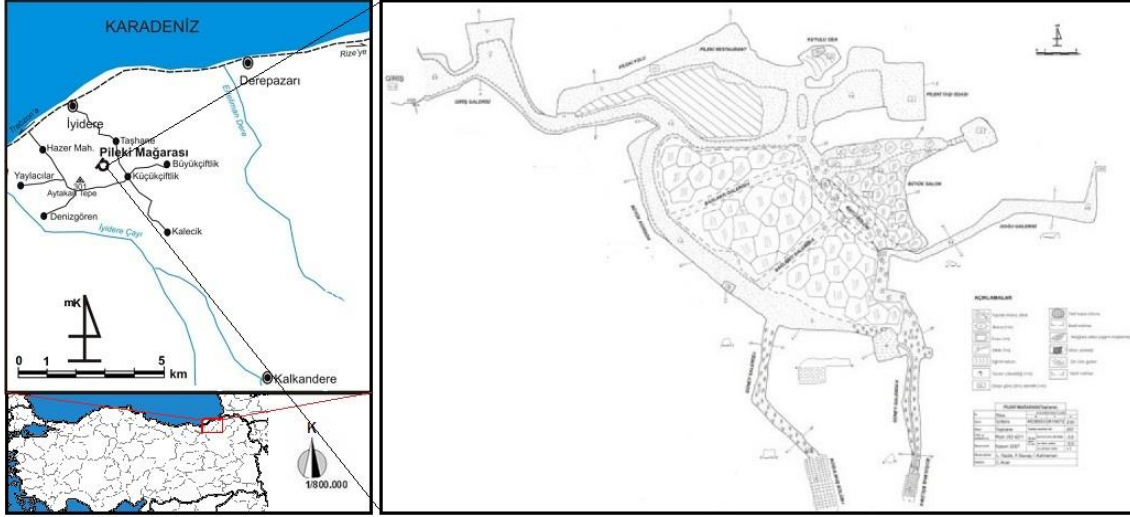
Şekil 1. Pileki Mağarası'nda çevresi işaretlenerek çıkarılmaya hazır pileki taşı (a), Mağara dışına çıkarılmış pileki taşı (b) ve işlenerek kap haline dönüştürülmüş pileki taşı (c).

Bu çalışmanın amacı, Pileki Mağarası'ndan çıkarılan pileki taşı ve toprak örneklerinde, doğal radyoaktivite (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) düzeylerini belirlemektir. Ayrıca, radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}), soğurulan gama doz hızı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerini (AEDE) hesaplamak ve doğal radyoaktivite için bulunan aktivite konsantrasyon değerlerini literatürdeki sonuçlarla kıyaslamaktır. Bunlarla birlikte, Pileki Mağarası ziyaretçileri ve pileki taşından yapılmış kapları kullanan insanlar için radyolojik açıdan herhangi bir risk olup olmadığını belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Bölgesi

Pileki mağarası, Rize il merkezinden 24 km uzaklıkta olup İyidere ilçesinin sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2) [8-9]. Pileki mağarası, $40^{\circ} 59' 23.6''$ Kuzey ile $40^{\circ} 22' 29.9''$ Doğu koordinatlarında bulunmakta olup rakımı 230 metredir [8-9]. 2014 yılında turizme açılan mağarayı yılda yaklaşık 2000 kişi ziyaret etmektedir. Mağaranın uzunluğu yaklaşık 1500 metredir.



Şekil 2. Pileki mağarasının konumu ve krokisi

2.2. Örneklerin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Pileki taşı ve toprak örnekleri, mağara dışından gelmesi muhtemel kontaminasyonları elimine etmek için mağara girişinden yaklaşık 20 m sonra alınmıştır. 2012 yılı Mayıs ayında mağaranın 20 metresinden itibaren 50'şer metre arayla altışar adet toprak ve pileki taşı örneği alınmıştır. Toprak örnekleri 5 cm derinden alınmıştır. Yaklaşık 2 kg alınan örnekler, etiketlenmiş temiz naylon poşetlere konularak laboratuvara ulaştırılmıştır. Pileki taşı ve toprak örnekleri, etüvde 105 °C'de 24 saat boyunca kurutuldu. Kurutulan toprak örnekleri direkt olarak, pileki taşı örnekleri ise halkalı öğütücüde (Zhonghe, ZHM-1T) öğütüldükten sonra parçacık boyutu etkisini azaltmak için 400 (37 µm) meshlik elekten geçirildi. Daha sonra örnekler, hava kaçırmayan polietilen numune kaplarına konularak etiketlendi, tartıldı ve radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletildi. Bu süre sonunda, radyonüklit konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler yüksek saflıkta germanyum dedektöründe (HPGe) 30000 s sayıldı.

2.3. Gama Spektrometresi için Deneysel Metot

Gama spektroskopik ölçümler, 1332 keV'de 1.9 keV rezülüsyona ve %55'lik relatif verime sahip olan Ortec marka yüksek saflıkta koaksiyel Germanyum dedektörü kullanılarak gerçekleştirildi. Dedektörün numune odası, inşaat malzemelerinden ve

kozmetik ışınlardan gelen arkaplan (background) radyasyona karşı 10 cm kurşun blokla zırhlanmıştır.

Dedektörün enerji ve verim kalibrasyonu, aktivitesi bilinen sıvı ^{152}Eu kaynak (Amersham Company, UK) kullanılarak belirlendi. ^{152}Eu sıvı kaynaklar, %3-29 bolluklarda yayınlanma olasılıklarında çok geniş enerji aralığına (122, 244, 344, 411, 443, 779, 964, 1112 ve 1408 keV) sahip olmalarından dolayı enerji ve verim kalibrasyonunun belirlenmesi için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [10,11]. En ideal ölçüm geometrisini elde edebilmek için kaynak ve örneklerin ölçümleri, dedektöre koaksiyel şekilde (eş eksenli) yerleştirilerek gerçekleştirildi. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için sırasıyla ^{226}Ra için ^{214}Pb 'ün 295.2 keV, ^{214}Pb 'ün 352.0 keV ve ^{214}Bi 'ün 609.4 keV enerjilerindeki, ^{232}Th için ^{208}Tl 'in 583.1 keV ve ^{228}Ac 'in 911.1 keV enerjilerindeki piklerin alanları ve ^{40}K için 1460.8 keV enerjisindeki pikin alanı kullanıldı. Örneklerde, radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları (2.1) kullanılarak hesaplandı [12],

$$A(Bq/kg) = \frac{N}{t \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot m} \quad (2.1)$$

Kullanılan dedektör için minimum dedeksiyon aktivitesi (MDL) (2.2) kullanılarak hesaplandı,

$$MDA = 4,66 \frac{\sqrt{B}}{t \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot m} \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2)'deki N net alan, B background alanı, t sayım süresi, ϵ ilgilenilen gama enerjisinde dedektör verimi, γ ilgilenilen gama ışınının yayınlanma olasılığı ve m örnek kütlesidir.

2.4. Radyolojik Etkilerin Hesaplanması

2.4.1. Radyum Eşdeğer Aktivitesi

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının çevrede dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktivitelere radyasyona maruz kalmayı

standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}) tanımlanmıştır ve bu değer (2.3) ile hesaplanır [12],

$$R_{eq} \text{ (Bq/kg)} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.07 C_K . \quad (2.3)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K , sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteLERİDİR.

2.4.2. Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızı, spesifik aktivite konsantrasyonlarının belli dönüşüm faktörleriyle çarpılması ile, yani (2.4) ile hesaplanır [3],

$$D \text{ (nGy/h)} = 0.462 C_{Ra} + 0.621 C_{Th} + 0.0417 C_K . \quad (2.4)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K , sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg birimindeki spesifik aktiviteLERİDİR.

2.4.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Soğurulan doz için dönüşüm (0.7 Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0.2) dikkate alınarak yıllık etkin doz eşdeğeri (2.5) kullanılarak hesaplanır [3],

$$AEDE \text{ (}\mu\text{Sv/y)} = \text{Doz Hızı (D) (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-3} . \quad (2.5)$$

2.4.4. Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

Dış tehlike indeksi, pencere ve kapılar olmaksızın kalın duvarlar varsayılarak Krieger [13] tarafından önerilen model kullanılarak R_a , T_h ve K konsantrasyonları bulunan örnekler için (2.6) kullanılarak hesaplanmaktadır [12],

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \leq 1 . \quad (2.6)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K , sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteLERİDİR.

3. Bulgular

Pileki mağarasından alınan toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için bulunan aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 1’de verilmektedir. Toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın aktivite konsantrasyonları sırasıyla 34.10 – 44.50, 33.16 – 41.08 ve 603.98 – 802.96 Bq/kg aralığında değişmekte olup ortalama değerleri 38.79 ± 3.40 , 36.43 ± 3.35 ve 673.25 ± 15.36 Bq/kg olarak bulunmuştur. Toprakta ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için dünyanın ortalama değeri UNSCEAR [14] tarafından sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq/kg olarak verilmektedir. Bu çalışmada, ^{226}Ra için 38.79 Bq/kg ve ^{232}Th için 36.43 Bq/kg olarak hesaplanan ortalama aktivite konsantrasyon değerleri, dünya ortalamasından düşük ancak ^{40}K için hesaplanan ortalama aktivite konsantrasyon değeri (673.25 Bq/kg) ise dünya ortalamasından yüksek bulunmuştur.

Tablo 1. Pileki mağarası toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyon değerleri

Örnek Kodu	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
MTO-1	44.50 ± 4.06	41.08 ± 3.65	802.96 ± 18.30
MTO-2	38.12 ± 3.14	38.85 ± 3.83	689.54 ± 16.01
MTO-3	34.10 ± 3.65	35.53 ± 3.40	632.67 ± 14.25
MTO-4	39.79 ± 3.22	34.13 ± 3.25	651.38 ± 15.46
MTO-5	36.93 ± 2.95	33.16 ± 2.86	658.95 ± 14.38
MTO-6	39.33 ± 3.38	35.84 ± 3.11	603.98 ± 13.79

MTO: Mağara toprağı örneği

Pileki mağarasından alınan pileki taşı örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için bulunan aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Pileki taşı örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları sırasıyla 29.68 – 42.54, 31.61 – 41.52 ve 598.67 – 723.86 Bq/kg aralığında değişmekte olup ortalama değerleri 38.55 ± 3.56 , 37.02 ± 3.37 ve 686.50 ± 15.47 Bq/kg olarak bulunmuştur. Pileki taşı örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th için bulunan ortalama aktivite konsantrasyon değerleri, dünya ortalamasından (50 Bq/kg) düşük fakat ^{40}K için bulunan ortalama aktivite konsantrasyon değeri ise dünya ortalamasından (500 Bq/kg) yüksek bulunmuştur.

Tablo 2. Pileki taşı örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyon değerleri

Örnek Kodu	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
PTO-1	38.27 ± 3.43	36.91 ± 3.51	716.59 ± 16.44
PTO-2	40.95 ± 3.82	41.52 ± 3.34	703.86 ± 15.65
PTO-3	41.53 ± 3.77	40.11 ± 3.33	723.86 ± 16.12
PTO-4	42.54 ± 3.93	35.81 ± 3.57	683.57 ± 15.05
PTO-5	38.36 ± 3.69	36.19 ± 3.37	692.44 ± 14.53
PTO-6	29.68 ± 2.71	31.61 ± 3.08	598.67 ± 15.03

PTO: Pileki taşı örneği

Pileki mağarasından alınan toprak örnekleri için bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri ile literatürdeki diğer çalışmalarda rapor edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Toprak örnekleri için bu çalışma ve literatürde rapor edilen doğal radyoaktivite konsantrasyonları

Ülke	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	Referans
Türkiye, Rize (Pileki Mağarası)	38.79	36.43	673.25	Bu çalışma
Mısır (Sannur Mağarası)	20.6	22.7	1929.5	[15]
Türkiye, Kırklareli	37	40	667	[16]
Türkiye, Giresun	33	43	733	[17]
Suudi Arabistan	10.09	6.40	111.70	[18]
Kenya	28.7	73.3	255.7	[19]
Pakistan	35	41	615	[20]
Türkiye, Adana	21.7	21.1	297.5	[21]
Dünya Ortalaması	50	50	500	[14]

Taşkın ve arkadaşları [20], Çelik ve arkadaşları [17] ve Tahir ve arkadaşları [20] tarafından yapılan çalışmalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için bulunan aktivite konsantrasyonları ile bu çalışmada bulunan konsantrasyonlar birbirine çok yakın

bulunmuştur. Rafat ve arkadaşlarının [15] Mısır'daki Sannur mağarasında yaptıkları çalışma sonucunda ^{226}Ra ve ^{232}Th için buldukları aktivite konsantrasyonları, bu çalışmada bulunan aktivite konsantrasyonlarından daha düşük fakat ^{40}K için buldukları konsantrasyon değeri ise daha yüksek bulunmuştur. Yine, bu çalışma ile ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için bulunan aktivite konsantrasyonları, Değerlier ve arkadaşları [21] ile Al-Kahtari ve arkadaşlarının [18] bulduğu konsantrasyon değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun yanında, bu çalışma ile Mustapha ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada bulunan aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında, ^{226}Ra ve ^{40}K konsantrasyonları daha yüksek fakat ^{232}Th konsantrasyonu daha düşük bulunmuştur.

Pileki taşı örnekleri için bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri ile bazı taş örnekleri için farklı çalışmalarda rapor edilen aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Türkiye ve farklı ülkelerde bazı taş örnekleri için rapor edilen doğal aktivite konsantrasyonları

Ülke	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	Referans
Türkiye, Rize (Pileki taşı)	38.55	37.02	686.5	Bu çalışma
Mısır (Sannur mağarası taşı)	8.6	8.0	251.9	[15]
Türkiye, Çanakkale (granit)	114	120	1074	[22]
Brezilya (Volkanik taş)	61.75	76.92	1187.50	[23]
Irak (Bazalt)	5.65	21.40	203.34	[24]
Nijerya (Ikogosi-ekiti)	57.9	81.6	1203.1	[25]
Almanya (granit)	76.1	70.0	1465.4	[26]

Bu çalışma ile pileki taşında belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları, Mısır'da bulunan Sannur mağarasından alınan taşın aktivite konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Tablo 4'te görüldüğü üzere, bu çalışma ile bulunan doğal radyoaktivite konsantrasyonları, dünyanın bazı ülkelerindeki (Türkiye, Brezilya, Nijerya ve Almanya) çeşitli taş örneklerinde bulunan konsantrasyonlardan daha düşük fakat Irak'ta bazalt taşında bulunan konsantrasyonlardan daha yüksek bulunmuştur.

Pileki mağarasından alınan toprak ve pileki taşı örneklerinin radyolojik etkilerini belirlemek için hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ve dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerleri Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 4. Pileki taşı ve toprak örnekleri için hesaplanan radyolojik etki değerleri

Örnek Kodu	R_{eq} (Bq/kg)	D (nGy/h)	AEDE (μ Sv/y)	H_{ex}
MTO-1	165.07	79.55	97.56	0.45
MTO-2	146.77	70.49	86.45	0.40
MTO-3	133.63	64.20	78.74	0.36
MTO-4	138.75	66.74	81.85	0.37
MTO-5	135.09	65.13	79.88	0.36
MTO-6	137.09	65.61	80.47	0.37
PTO-1	146.23	70.48	86.44	0.39
PTO-2	154.52	74.05	90.82	0.42
PTO-3	154.62	74.28	91.09	0.42
PTO-4	146.38	70.39	86.33	0.40
PTO-5	143.42	69.07	84.71	0.39
PTO-6	120.97	58.30	71.50	0.33

Radyonüklitlerle ilgili radyasyon tehlikeleri radyum eşdeğer aktivitesinin hesaplanmasıyla tahmin edilir. Radyum eşdeğer aktivitesi üç doğal radyonüklidin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivitelerinin ağırlıklı bir toplamıdır. Radyasyon tehlikesinden kaçınmak için radyum eşdeğer aktivitesi 370 Bq/kg'ı aşan materyallerin kullanılması önerilmemektedir. Toprak ve pileki taşı örneklerinin hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değerleri 120.97 ile 165.07 Bq/kg aralığında değişmekte olup bulunan değerlerin tümü radyum eşdeğer aktivitesinin eşik değeri olan 370 Bq/kg'ın altındadır.

Gama radyasyonunun etkileri genellikle havada soğurulan doz hızına göre ifade edilir. Toprak veya kayalarda radyoaktif izotoplardan kaynaklanan tüm maruziyet hızları, zeminin 1 m yukarısındaki havada soğurulan toplam doz hızına karşılık gelir.

Bu nedenle, toprak ve kayalardaki radyoaktif içerik, dış gama radyasyon riskini veya gama doz hızını tahmin etmek için kullanılabilir. Toprak ve pileki taşı örneklerinin soğurulan gama doz hızı değerleri 58.30 ile 79.55 nGy/h aralığında değişmektedir. Normal background radyasyon bölgeleri için soğurulan gama doz hızının dünya ortalaması UNSCEAR tarafından 55 nGy/h olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile hem toprak hem de pileki taşı örneklerinin tümünün soğurulan gama doz hızı değerleri dünya ortalamasından yüksek bulunmuştur.

Yıllık etkin doz eşdeğerleri, toprak örnekleri için 71.50 ile 97.56 $\mu\text{Sv/y}$, pileki taşı örnekleri için ise 71.50 ile 91.09 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değişmektedir. Toprak ve pileki taşı örnekleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ortalamaları (sırasıyla 84.16 ve 85.15 $\mu\text{Sv/y}$), genel halk için ICRP tarafından önerilen limit değerinden (1000 $\mu\text{Sv/y}$) oldukça düşüktür.

Bu çalışma ile ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitleri için hesaplanan dış radyasyon tehlike indeksleri, toprak örnekleri için 0.36 ile 0.45 (ortalama 0.39) arasında, pileki taşı örnekleri için ise 0.33 ile 0.42 (ortalama 0.39) arasında bulunmuştur. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinden kaynaklanan dış radyasyon tehlikesinin olmadığını söyleyebilmek için dış tehlike indeksi 1'den küçük olmalıdır. Bu çalışmada analiz edilen bütün örnekler için hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri 1'den küçük bulunmuştur.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan dedektörün minimum dedeksiyon aktiviteleri (MDA), ^{226}Ra için 0.37, ^{232}Th için 0.44 ve ^{40}K için 3.51 Bq/kg olarak hesaplandı. Pileki mağarasından alınan örneklerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla toprak örnekleri için 38.79 ± 3.40 , 36.43 ± 3.35 ve 673.25 ± 15.36 Bq/kg, pileki taşı örnekleri için ise 38.55 ± 3.56 , 37.02 ± 3.37 ve 686.50 ± 15.47 Bq/kg olarak bulunmuştur. Hem toprak hem de taş örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th için bulunan değerler, uluslararası kuruluşlar (UNSCEAR) tarafından tavsiye edilen değerler içerisinde olmasına rağmen ^{40}K için bulunan değerler ise uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen değerlerin üstünde bulunmuştur. Pileki taşında ^{226}Ra , ^{232}Th ve

^{40}K için hesaplanan ortalama aktivite konsantrasyonları, ^{226}Ra radyonüklidi hariç toprak örnekleri için bulunan ortalama aktivite konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için belirlenen ortalama konsantrasyon değerleri, dünyanın farklı yerlerinde yapılmış olan çalışmalardaki literatür değerleriyle kıyaslanmıştır. Ölçülen değerlerden radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}), soğurulan gama doz hızı (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) gibi radyolojik etki parametreleri hesaplanmıştır.

Bu çalışma ile elde edilen deneysel veriler, Pileki Mağarası'nın ziyaretçiler üzerinde oluşturacağı radyolojik etkiler hakkında bilgiler sunar. Pileki Mağarası ziyaretçilerinin her bir ziyarette alacağı ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 0.085 mSv olarak hesaplanmıştır ve bu değer uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen doz değerlerinin içerisinde yer almaktadır. Bunun yanında, hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri de uluslararası kuruluşlar tarafından tavsiye edilen doz değerinden daha düşük bulunmuştur. Dolayısıyla, Pileki Mağarası ziyaretçileri ve pileki taşından yapılmış kapları kullanan insanlar için doğal radyasyonun herhangi bir sağlık riski oluşturmadığı söylenebilir.

Kaynaklar

[1] IAEA (International Atomic Energy Agency), Technical Report Series 96-00725, Vienna, Austria, 1996.

[2] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), United Nations, New York, 1988.

[3] UNSCEAR, Report of the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. 1, United Nations, New York, 2000.

[4] Uzun, A., Uzun, S., *Taşhaneden aşhaneye taş pilekiler*, Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, **2**, 149-168, 2001.

[5] Demir, N., www.necatidemir.net/images/demir/bkosem/bileki_pileki.pdf. 2012.

[6] Önal, Ü., *Ekmeğimizi pişirdiğimiz bir araç; pileki*, Bizim Ahıska, Kış 2013, 47-48, 2013.

[7] Kazancı, A., Gürbüz, A., *Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları*, Türkiye Jeoloji Bülteni, **57(1)**, 19-44, 2014.

[8] Şaroğlu, F., Güner, Y., Nazik, L., Aksoy, B., *Pileki mağarası ve jeokültürel değeri*, 1. Uluslararası Jeolojik Sempozyumu ve Güneydoğu Avrupa Ülkeleri Pro GEO Toplantısı, 34-35, 2010.

[9] Nazik, L., Savaş, F., Kahraman, İ., Acar, C., *Pikeli mağarası (Taşhane) İyidere-Rize araştırma raporu*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Raporları, 11012, 2008.

[10] Firestone, R. B., Shirley, V. S., *Table of Isotopes*, 8th Edition, John Wiley, New York, 1998.

[11] Grigorescu, E. L., Razdolescu, A. C., Sahagia, M., Luca, A., Ivan, C., Tanase, G., *Standardization of ¹⁵²Eu*, Applied Radiation and Isotopes, **56**, 435-439, 2002.

[12] Beretka, J., Mathew, P. J., *Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products*, Health Physics, **48**, 87-95, 1985.

[13] Krieger, R., *Radioactivity of construction materials*, Betonwerk Fertigteil Techn., **47**, 468, 1981.

[14] UNSCEAR, Report of the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. 1, United Nations, New York, 1993.

[15] Amin, R., Mansy, M., Eissa, M. F., Eissa, H. M., Shahin, F. M., *Assessment of natural radioactivity and radon exhalation rate in Sannur cave, eastern desert of Egypt*, Journal of Radiological Protection, **28**, 213-222, 2008.

[16] Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., Karahan, G., *Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma*

radioactivity in Kirklareli, Turkey, Journal of Environmental Radioactivity, **100**, 49-53, 2009.

[17] Celik, N., Cevik, U., Celik, A., Kucukomeroglu, B., *Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey*, Journal of Environmental Radioactivity, **99**, 1349-1354, 2008.

[18] Al-Kahtani, S. A., Farouk, M. A. and Al-Zahrani, A. A., *Radioactivity levels in soil of three selected sites at and around Riyadh City*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, **250**, 93-95, 2001.

[19] Mustapha, A. O., Patel, J. P., Rathore, I. V. S., *Assessment of human exposures to natural sources of radiation in Kenya*, Radiation Protection Dosimetry, **82**, 285-292, 1999.

[20] Tahir, S. N. A., Jamil, K., Zaidi, J. H., Arif, M., Ahmed, N., Ahmad, S. A., *Measurements of activity concentrations of naturally occurring radionuclides in soil samples from Punjab province of Pakistan and assessment of radiological hazards*, Radiation Protection Dosimetry, **113**, 421-427, 2005.

[21] Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G., *Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey*, Journal of Environmental Radioactivity, **99**, 1018-1025, 2008.

[22] Canbaz, B., Çam, F., Yaprak, G., Candan, O., *Natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and assessment of radiological hazards in the Kestanbol Granitoid, Turkey*, Radiation Protection Dosimetry, **141**, 192-198, 2010.

[23] Moura, C. L., Artur, A. C., Bonotto, D. M., Guedes, S., Martinell, C. D., *Natural radioactivity and radon exhalation rate in Brazilian igneous rocks*, Applied Radiation and Isotopes, **69**, 1094-1099, 2011.

[24] Ahmed, A. A., Hussein, M. İ., *Natural radioactivity measurements of Basalt Rocks in Sidakan District Northeastern of Kurdistan Region-Iraq*, World Academy of Science, Engineering and Technology, **74**, 132-140, 2011.

[25] Ajayi, O. S., *Distribution of natural radioactivity in rocks from Íkogosi-ekiti, southwestern Nigeria and its radiological implications*, Health Physics, **79(2)**, 192-195, 2000.

[26] Ahmed, N. K., Abbady, A., El Arabi, A. M., Michel, R., El-Kamel, A. H., Abbady, A. G. E., *Comparative study of the natural radioactivity of some selected rocks from Egypt and Germany*, Indian Journal of Pure and Applied Physics, **44**, 209-215, 2006.