www.dergipark.gov.tr
ISSN:2148-3736
El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi
Cilt: 7, No: 3, 2020 (1122-1130)

El-Cezerî Journal of Science and Engineering
Vol: 7, No: 3, 2020 (1122-1130)
DOI :10.31202/ecjse.735215

ECJSE

Makale / Research Paper

# Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması

**Selim SARI[1a], Serdar DİZMAN[2b*]**

[1]Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 53100, Rize/TÜRKİYE
[2]Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 53100, Rize/TÜRKİYE
serdar.dizman@erdogan.edu.tr

**Received/Geliş:** 10.05.2020 **Accepted/Kabul:** 29.06.2020

**Öz**: Doğada yaşayan tüm canlılar sürekli olarak doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. Bu nedenle, yaşam alanları ve ziyaret edilen bölgelerdeki radyoaktivite düzeylerinin izlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Rize ili İkizdere ilçesine bağlı İkizdere-İspir karayolu üzerinde bulunan Ovit Dağbaşı Gölü çevresinden alınan toprak örneklerinde doğal ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K) ve yapay ($^{137}$Cs) radyoaktivite konsantrasyonları yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HPGe) kullanılarak belirlendi. Toprak örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoizotop konsantrasyonları sırasıyla 18,37-30,52 Bq/kg, 17,36-27,06 Bq/kg, 248,46-369,38 Bq/kg ve 7,08-17,63 Bq/kg aralığında değişmektedir. Ortalama radyoaktivite konsantrasyonları ise $^{226}$Ra için 23,86±2,31 Bq/kg, $^{232}$Th için 20,98±1,87 Bq/kg, $^{40}$K için 300,91±12,88 Bq/kg ve $^{137}$Cs için 10,61±0,66 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca, doğal radyoaktiviteden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri değerlendirebilmek için radyum eşdeğer aktivitesi ($Ra_{eq}$), dış tehlike indeksi ($H_{ex}$), soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ve yaşam boyu kanser risk oranı (LCR) hesaplandı. Hesaplanan bu radyolojik parametre değerleri uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerlerle kıyaslandı ve önerilen değerlerden daha düşük oldukları belirlendi. Sonuç olarak, yapılan çalışma ile Ovit Dağbaşı Gölü ziyaretçileri için ölçülen radyoizotoplar açısından radyasyonun bir sağlık riski oluşturmayacağı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyoaktivite; Toprak; Ovit Dağbaşı Gölü; Rize

# Investigation of Radioactivity and Radiological Effects in Soil Samples Taken from Ovit Dağbaşı Lake

**Abstract:** All living creatures in nature are constantly exposed to ionizing radiation, which is emitted from natural and artificial radiation sources. For this reason, it is important to monitor the levels of radioactivity in living spaces and visited areas. In this study, natural ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K) and artificial ($^{137}$Cs) radioactivity concentrations were determined using the high purity germanium detector (HPGe) in the soil samples taken from Ovit Dağbaşı Lake located on İkizdere-İspir highway in İkizdere district of Rize province. Radioisotope concentrations of $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K and $^{137}$Cs in soil samples are 18.37-30.52 Bq/kg, 17.36-27.06 Bq/kg, 248.46-369.38 Bq/kg and 7.08-17.63 Bq/kg, respectively. Mean radioactivity concentrations were found as 23.86±2.31 Bq/kg for $^{226}$Ra, 20.98±1.87 Bq/kg for $^{232}$Th, 300.91±12.88 Bq/kg for $^{40}$K, and 10.61±0.66 Bq/kg for $^{137}$Cs. In addition, radium equivalent activity ($Ra_{eq}$), external hazard index ($H_{ex}$), absorbed gamma dose rate (D), annual effective dose equivalent (AEDE) and lifetime cancer risk rate (LCR) were calculated to assess radiological hazards caused by the natural radioactivity. These calculated radiological parameter values were compared with the values recommended by international organizations and were found to be lower than the recommended values. In conclusion, it has been determined that radiation does not pose a health risk in terms of the radioisotopes measured for visitors of Ovit Dağbaşı Lake.

**Keywords:** Radioactivity; Soil; Ovit Dağbaşı Lake; Rize

*Bu makaleye atıf yapmak için*
*Sarı, S., Dizman, S., "Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması"* El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1122-1130.

*How to cite this article*
*Sari, S., Dizman, S.,* "*Investigation of Radioactivity and Radiological Effects in Soil Samples Taken from Ovit Dağbaşı Lake*" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1122-1130.
ORCID:[a] 0000-0003-4914-3339, [b] 0000-0002-6511-9526

## 1. Giriş

Doğada yaşayan bütün canlılar radyasyona maruz kalmaktadır. Doğamızda bulunan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Doğal radyasyonlar uzaydan gelen kozmik ışınlardan, kayalardan, topraktan, sular ve havada bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin radyoaktif bozunuma uğramaları sonucunda yayınlanan ışınlardan kaynaklanmaktadır ve çevreye bu doğal kaynaklardan yayılmaktadırlar. İnsan, içinde yaşadığı doğal çevrede bulunan bu kaynaklardan yayınlanan farklı tür radyasyonlara belirli ölçülerde sürekli maruz kalmaktadır [1,2].

Radyasyon dozu değerlendirilmelerinde, doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutarlar. Çünkü insanlar hayatları boyunca doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan belli oranlarda doz almaktadırlar. Yıllar boyunca alınan bu radyasyon, bir süre sonra vücutta zararlı etkiler gösterebilmektedir.

Çevresel radyasyon ölçümlerinin temel amacı, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve ayrıca oluşturacağı riskin değerlendirilmesidir. Bunun belirlenebilmesi için de, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklitlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki etkisinin de tayin edilmesi gerekir. Ayrıca, çevresel ortamda bulunan radyonüklitler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin de belirlenmesi gerekir. Ancak, böyle araştırmalardan sonra bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşamaya uygun olup olmadığına karar verilebilir [3].

Bu çalışmanın amacı, Rize ili İkizdere ilçesine bağlı İkizdere-İspir karayolu üzerinde bulunan Ovit Dağbaşı Gölü çevresinden alınan toprak örneklerinde doğal ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K) ve yapay ($^{137}$Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemekle birlikte, radyum eşdeğer aktivitesi ($Ra_{eq}$), dış tehlike indeksi ($H_{ex}$), soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ve yaşam boyu kanser risk oranını (LCR) hesaplamak ve bulunan sonuçların uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen değerlerle kıyaslamasını yapmaktır. Bunlarla birlikte, Ovit Dağbaşı Gölünü ziyaret eden insanlar için radyolojik açıdan herhangi bir risk olup olmadığını belirlemektir.

## 2. Literatür Özeti

Toprak örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla hem Türkiye'de hem de dünya genelinde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Gümüşhane ilinden alınan toprak örneklerinde aktivite konsantrasyonlarının $^{226}$Ra için 17,3 ile 48,3 Bq/kg (ortalama 26,1 Bq/kg) aralığında, $^{232}$Th için 9,70 ile 32,5 Bq/kg (ortalama 23,9 Bq/kg ) aralığında, $^{40}$K için 236,8 ile 889,6 Bq/kg (ortalama 519,9 Bq/kg ) aralığında ve $^{137}$Cs için 7,63 ile 39,4 Bq/kg (ortalama değer 18,6 Bq/kg ) aralığında değiştiği bulunmuştur [4].

Eroğlu ve Kabadayı tarafından Samsun ilinde yapılan bir çalışmada, Altınkaya Baraj gölünden alınan sediment örneklerinde doğal radyoaktivite düzeyleri belirlenmiş ve $^{226}$Ra, $^{232}$Th ve $^{40}$K'ın ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 19,5±1,7 Bq/kg, 27,7±1,9 Bq/kg ve 460±17 Bq/kg olduğu belirtilmiştir [5].

Rize ili Ardeşen ilçesi Fırtına vadisi bölgesinde yapılan bir çalışmada, bölgeden alınan toprak örneklerinde $^{238}$U, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoizotoplarının ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 50, 42, 643 ve 85 Bq/kg olarak rapor edilmiştir [6].

Artvin ilindeki Borçka Barajı Gölünden alınan sediment örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlendiği bir çalışmada $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 4,79-21,46 Bq/kg, 9,36-20,65 Bq/kg, 238,01-721,26 Bq/kg ve 0,79-6,81 Bq/kg aralığında değiştiği belirtilmiştir [7].

Dizman ve arkadaşları, Bolu ilinden içlerinde göl çevresinden alınan örneklerinde bulunduğu topraklarda $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemişler ve bu radyoizotoplar için sırasıyla ortalama aktivite konsantrasyonlarını 18,2±0,9 Bq/kg, 17,3±1,3 Bq/kg, 258,3±7,9 Bq/kg ve 7,5±0,5 Bq/kg olarak bulmuşlardır [8].

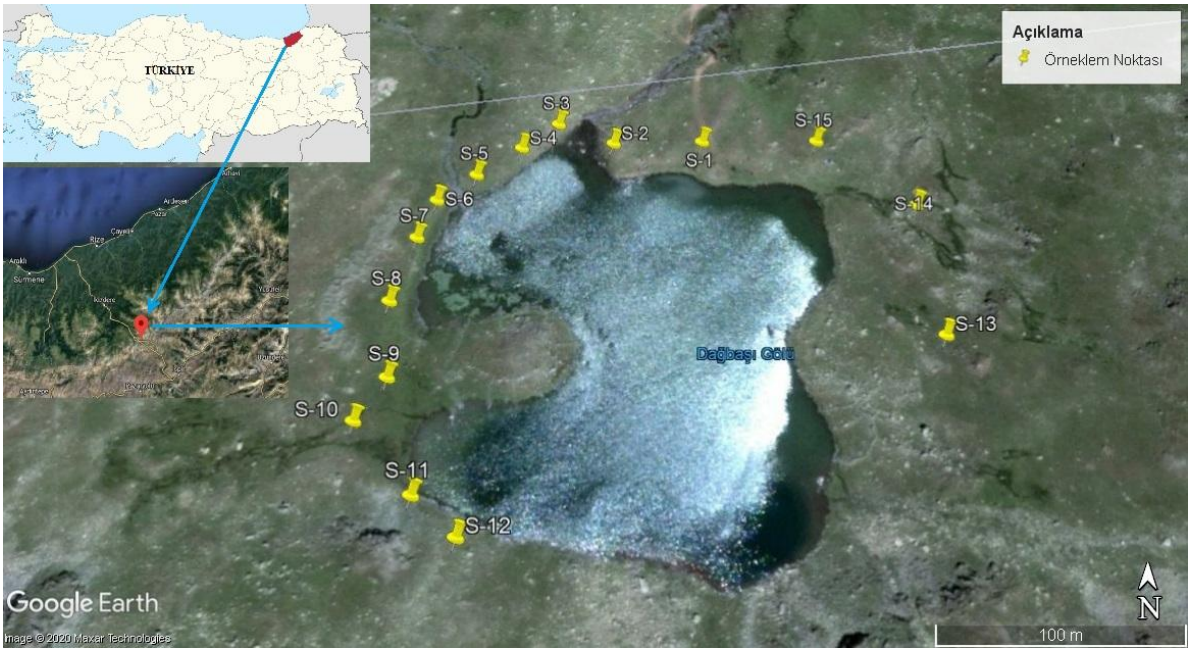
Mısır'da bulunan Qarun Gölünden alınan yüzey toprak örneklerinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada $^{226}$Ra, $^{232}$Th ve $^{40}$K radyoizotoplarının ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 15,92 Bq/kg, 15,22 Bq/kg ve 1644,66 Bq/kg olarak belirlenmiştir [9]. Yine Mısır'da yapılan bir çalışmada, Burullus Gölünün kıyısından alınan sediment örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiş ve bu radyoizotoplar için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 11,9±1,3 Bq/kg, 12,8±1,7 Bq/kg, 260,8±9,2 Bq/kg ve 1,3±0,5 Bq/kg olarak bulunmuştur [10].

Isinkaye ve Emelue, Nijerya'da bulunan Oguta Gölünden aldıkları sediment örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th ve $^{40}$K'ın ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 47,89±18,67 Bq/kg, 55,37±32,74 Bq/kg ve 1023±474 Bq/kg olarak belirlemişlerdir [11].

## 3. Materyal ve Metot

### 3.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi, Rize ili İkizdere ilçesine bağlı İkizdere-İspir karayolu üzerinde bulunan ve rakımı 2733 metre olan Ovit Dağbaşı Gölü'dür (Şekil 1). Ovit Dağbaşı Gölü, yükselti etkilerinden buzullaşmaya maruz kalınması nedeniyle meydana gelen bir sirk (buzyalağı) gölüdür. Ovit Dağbaşı Gölü, Ovit Yayla yerleşmesine en yakın olan ve kolayca ulaşılabilen bir göl olduğu için bölgenin en bilinen ve en çok ziyaretçi alan gölüdür [12].




**Şekil 1.** Çalışma bölgesi ve örneklem noktaları

### 3.2. Örneklerin Toplanması ve Analize Hazırlanması

2019 yılında Ovit Dağbaşı Gölü'nün sadece güney tarafı hariç (güney tarafı kayalık olduğundan örnekleme yapılamamıştır) çevresinden aralıklarla 15 ayrı noktadan ve 5-10 cm derinlikten olmak üzere her bir örneklem noktasından yaklaşık 1 kg toprak örneği temiz naylon poşetlerle alındı ve etiketlendi. Ayrıca, her bir örneklem noktasının koordinatı GPS cihazı (Magellan Explorist 510) ile kaydedildi. Göl çevresinden alınan örnek noktalarının konumu Şekil 1'de gösterilmektedir. Daha sonra laboratuvara getirilen örnekler, içlerinde bulunması muhtemel taş, odun parçaları, bitki kökleri gibi yabancı maddelerden ayıklanarak bir süre oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve sonrasında 105 $^{0}$C'ye ayarlı etüvde kurutulmuştur. Kurutulan toprak örnekleri daha sonra agatta öğütüldü ve parçacık boyutu etkisini azaltmak için 400 (37 μm) meshlik elekten geçirildi. Sonrasında darası alınmış marinelli sayım kaplarına konuldu ve ağırlıkları tartılarak etiketlendi. Hazırlanan örnek kapları, ağızları hava geçirmeyecek şekilde parafilmle sıkıca kapatılarak içerisinde bulunan radyoaktif bozunma ürünlerinin dengeye gelmesini sağlamak amacıyla yaklaşık bir ay süre ile bekletildi. Bu sürenin sonunda her bir örnek gama spektrometre cihazına konularak 50.000 s sayıldı.

### 3.3. Radyoaktivitenin Belirlenmesi

İncelenen toprak örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları 1332 keV'de 1,9 keV rezülüsyona ve %55'lik relatif verime sahip olan Ortec marka yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HPGe) kullanılarak gerçekleştirildi. Dedektörün numune odası, kozmik ışınlardan ve inşaat malzemelerinden yayınlanan arkaplan radyasyona karşı 10 cm kurşun blokla zırhlanmıştır. HPGe dedektörünün enerji ve verim kalibrasyonu, aktivitesi bilinen sıvı Eu-152 kaynak (Amersham Company, UK) kullanılarak gerçekleştirildi. Eu-152 radyoaktif kaynaklar, %3-29 bolluklarda yayınlanma olasılıklarında geniş bir enerji aralığına (122, 244, 344, 411, 443, 779, 964, 1112 ve 1408 keV) sahip olmalarından dolayı enerji ve verim kalibrasyonlarının gerçekleştirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar [13]. En ideal ölçüm geometrisini elde edebilmek için kaynak ve örneklerin ölçümleri dedektöre eş eksenli (koaksiyel) bir şekilde yerleştirilerek gerçekleştirildi. $^{226}$Ra ve $^{232}$Th radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için sırasıyla $^{226}$Ra için $^{214}$Pb'ün 295.2 keV ve 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 kullanıldı. $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde ise sırasıyla 1460.8 keV ve 661,6 keV enerjilerindeki piklerin alanları kullanıldı. Toprak örneklerinde radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Denklem 1 kullanılarak belirlendi.

$$A(Bq/kg) = \frac{N}{\varepsilon . I . t . m} \quad (1)$$

Burada, N ilgilenilen gama enerjisinin net alanı, Ɛ ilgilenilen gama enerjisinde dedektör verimi, I ilgilenilen gama ışınının yayınlanma olasılığı, t sayım süresi (s) ve m örnek kütlesidir (kg). Kullanılan dedektör sisteminde ilgili radyoizotoplar için minimum ölçülebilir aktivite (MDA) değerleri Denklem 2 kullanılarak hesaplandı [14].

$$MDA(Bq/kg) = \frac{1{,}645\sqrt{B}}{\varepsilon . I . t . m} \quad (2)$$

Burada, B ilgili gama enerjisinin background alanı, Ɛ ilgilenilen gama enerjisinde dedektör verimi, I ilgilenilen gama ışınının yayınlanma olasılığı, t sayım süresi (s) ve m örnek kütlesidir (kg).

### 3.3. Radyolojik Etkilerin Değerlendirilmesi

#### 3.3.1. Radyum Eşdeğer Aktivitesi ($Ra_{eq}$)

$^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ radyoizotoplarının çevrede dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktivitelerden radyasyona maruz kalmayı standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi ($Ra_{eq}$) tanımlanmıştır ve bu değer Denklem 3 ile hesaplanır [15].

$$Ra_{eq}\ (Bq/kg) = C_{Ra} + 1{,}43\ C_{Th} + 0{,}07\ C_K \quad (3)$$

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

### 3.3.2. Dış Tehlike İndeksi ($H_{ex}$)

Dış tehlike indeksi, pencere ve kapılar olmaksızın kalın duvarlar varsayılarak Krieger [16] tarafından önerilen model kullanılarak Ra, Th ve K konsantrasyonları bulunan örnekler için Denklem 4 kullanılarak hesaplanmaktadır [15].

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \leq 1 \quad (4)$$

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

### 3.3.3 Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızı, spesifik aktivite konsantrasyonlarının belli dönüşüm faktörleriyle çarpılması ile hesaplanır (Denklem 5) [17].

$$D\ (nGy/h) = 0{,}462\ C_{Ra} + 0{,}621\ C_{Th} + 0{,}0417\ C_K \quad (5)$$

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

### 3.3.4 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 Denklem 6 kullanılarak hesaplanır [17].

$$AEDE\ (\mu Sv/y) = Doz\ Hızı\ (D)\ (nGy/h) \times 8760\ h \times 0{,}2 \times 0{,}7\ Sv/Gy \times 10^{-3} \quad (6)$$

### 3.3.5. Yaşam Boyu Kanser Riski (LCR)

Yaşam boyu kanser riski, bir insanın yaşamı boyunca belirli bir maruziyet düzeyinde kanser gelişme olasılığını gösterir ve Denklem 7 ile hesaplanır [18].

$$LCR = AEDE \times YS \times RF \quad (7)$$

Burada YS yaşam süresi (70 yıl) ve RF risk faktörüdür ($Sv^{-1}$). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi stokastik etkiler olarak toplum için 0,05 değerini kullanmaktadır [19].

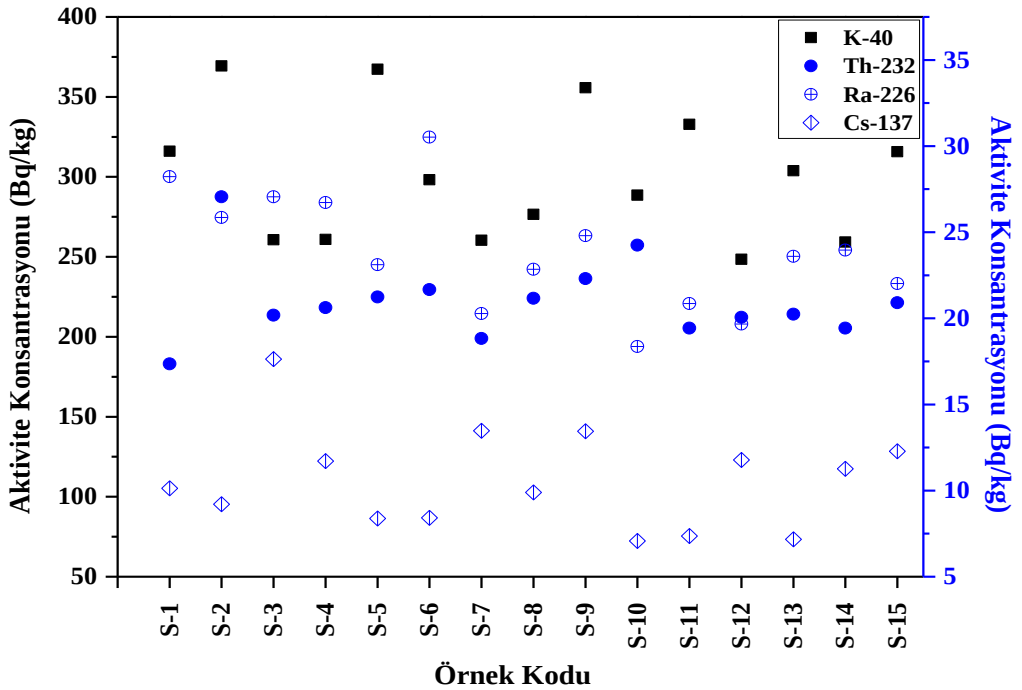
## 4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan dedektör için minimum ölçülebilir aktivite (MDA) değerleri $^{226}Ra$ için 0,37 Bq/kg, $^{232}Th$ için 0,44 Bq/kg, $^{40}K$ için 3,51 Bq/kg ve $^{137}Cs$ için 0,15 Bq/kg olarak hesaplandı. Toprak örneklerinin alındığı örneklem noktalarının GPS koordinatları ile $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ ve $^{137}Cs$ radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları Tablo 1'de verilmektedir. $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ ve $^{137}Cs$'nin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 18,37-30,52 Bq/kg, 17,36-27,06 Bq/kg, 248,46-369,38

Bq/kg ve 7,08-17,63 Bq/kg aralığında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyonları $^{226}$Ra için 23,86±2,31 Bq/kg, $^{232}$Th için 20,98±1,87 Bq/kg, $^{40}$K için 300,91±12,88 Bq/kg ve $^{137}$Cs için 10,61±0,66 Bq/kg olarak bulunmuştur. İncelenen toprak örneklerinde belirlenen radyoaktivite konsantrasyonları grafiksel olarak Şekil 2'de ayrıca gösterilmektedir. UNSCEAR [16] tarafından topraklarda $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoizotopları için dünya ortalamaları sırasıyla 35, 45, 420 ve 18,2 Bq/kg olarak verilmektedir. Toprak örnekleri için bulunan tüm aktivite konsantrasyonları dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.

**Tablo 1.** Toprak örneklerinin alındığı koordinatlar ve örneklerde bulunan aktivite konsantrasyonları

| Örnek Kodu | GPS Koordinatları | | Aktivite Konsantrasyonu (Bq/kg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Enlem | Boylam | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{137}$Cs | $^{40}$K |
| S-1 | 40°37'11.58" | 40°46'47.08" | 28,23±1,55 | 17,36±1,07 | 10,13± 0,65 | 316,00±11,59 |
| S-2 | 40°37'11.54" | 40°46'45.17" | 25,86±1,70 | 27,06±1,73 | 9,21±0,59 | 369,38±13,97 |
| S-3 | 40°37'11.93" | 40°46'43.98" | 27,06±3,39 | 20,18±3,51 | 17,63±1,06 | 260,67±16,91 |
| S-4 | 40°37'11.44" | 40°46'43.20" | 26,72±3,15 | 20,62±1,71 | 11,71±0,75 | 260,92±12,21 |
| S-5 | 40°37'10.90" | 40°46'42.27" | 23,12±2,28 | 21,24±1,86 | 8,38±0,54 | 367,29±13,07 |
| S-6 | 40°37'10.40" | 40°46'41.48" | 30,52±1,61 | 21,67±1,84 | 8,42±0,51 | 298,16±13,47 |
| S-7 | 40°37'9.70" | 40°46'41.14" | 20,28±2,49 | 18,83±1,95 | 13,47±0,86 | 260,37±11,27 |
| S-8 | 40°37'8.57" | 40°46'40.72" | 22,85±1,77 | 21,16±1,69 | 9,89±0,63 | 276,58±10,98 |
| S-9 | 40°37'7.31" | 40°46'40.84" | 24,80±2,48 | 22,31±2,28 | 13,44±0,81 | 355,74±14,07 |
| S-10 | 40°37'6.63" | 40°46'40.30" | 18,37±1,39 | 24,25±1,26 | 7,08±0,45 | 288,55±9,86 |
| S-11 | 40°37'5.54" | 40°46'41.50" | 20,86±2,57 | 19,43±1,99 | 7,36±0,47 | 332,81±15,74 |
| S-12 | 40°37'4.96" | 40°46'42.36" | 19,67±2,27 | 20,06±1,48 | 11,78±0,71 | 248,46±10,79 |
| S-13 | 40°37'11.60" | 40°46'49.54" | 23,60±2,35 | 20,24±1,90 | 7,17±0,46 | 303,83±13,06 |
| S-14 | 40°37'10.35" | 40°46'51.47" | 23,96±2,94 | 19,43±1,70 | 11,26±0,72 | 259,27±12,41 |
| S-15 | 40°37'8.04" | 40°46'51.62" | 22,02±2,78 | 20,91±2,09 | 12,28±0,74 | 315,68±13,72 |




**Şekil 2.** Toprak örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

$^{137}$Cs izotopu doğal olmayıp yapay bir izotoptur. Dolayısıyla, çalışma bölgesinde $^{137}$Cs izotopunun belirlenmiş olması, nükleer denemelerin etkilerinin yanında ülkemize yakın olan Çernobil Nükleer Santralinde meydana gelen reaktör kazasının etkilerinin azda olsa halen devam ettiğini göstermektedir.

Şekil 2'den de görüldüğü üzere toprak örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs aktivite konsantrasyonlarının homojen dağılım gösterdiği söylenebilir.

Toprak örneklerinin radyolojik etkilerini belirlemek için hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi ($Ra_{eq}$), dış tehlike indeksi ($H_{ex}$), soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ve yaşam boyu kanser risk oranı (LCR) değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2**. Toprak örnekleri için hesaplanan radyolojik etki değerleri

| Örnek Kodu | $Ra_{eq}$ (Bq/kg) | $H_{ex}$ | D (nGy/h) | AEDE (μSv/y) | LCR ($x10^{-4}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| S-1 | 77,39 | 0,21 | 37,13 | 45,54 | 1,59 |
| S-2 | 93,00 | 0,25 | 44,84 | 54,99 | 1,92 |
| S-3 | 75,99 | 0,21 | 36,12 | 44,30 | 1,55 |
| S-4 | 76,30 | 0,21 | 36,28 | 44,49 | 1,56 |
| S-5 | 81,77 | 0,22 | 39,73 | 48,72 | 1,71 |
| S-6 | 84,47 | 0,23 | 40,20 | 49,30 | 1,73 |
| S-7 | 67,26 | 0,18 | 32,32 | 39,64 | 1,39 |
| S-8 | 74,41 | 0,20 | 35,66 | 43,73 | 1,53 |
| S-9 | 84,10 | 0,23 | 40,66 | 49,86 | 1,75 |
| S-10 | 75,27 | 0,20 | 36,31 | 44,52 | 1,56 |
| S-11 | 74,27 | 0,20 | 36,08 | 44,25 | 1,55 |
| S-12 | 67,49 | 0,18 | 32,36 | 39,69 | 1,39 |
| S-13 | 75,94 | 0,21 | 36,54 | 44,81 | 1,57 |
| S-14 | 71,71 | 0,19 | 34,24 | 41,99 | 1,47 |
| S-15 | 76,23 | 0,21 | 36,82 | 45,16 | 1,58 |

Radyoizotoplarla ilgili radyasyon tehlikeleri radyum eşdeğer aktivitesinin hesaplanmasıyla tahmin edilir. Radyum eşdeğer aktivitesi üç doğal radyoizotop ($^{226}$Ra, $^{232}$Th ve $^{40}$K ) aktivitelerinin ağırlıklı bir toplamıdır. Toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değerleri 67,26 ile 93,00 Bq/kg aralığında değişmekte olup (Tablo 2) ortalama değer 70,04 Bq/kg'dır. Toprak örnekleri için bulunan tüm radyum eşdeğer aktivite değerleri, eşik değer olan 370 Bq/kg'ın altındadır [17].

Tablo 2'de görüldüğü üzere, hesaplanan dış radyasyon tehlike indekslerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 0,18 (S-7) ve 0,25 (S-2) olarak bulunmuştur. Doğal radyasyondan kaynaklanan dış radyasyon tehlikesinin olmadığını söyleyebilmek için dış tehlike indeksi 1'den küçük olmalıdır. İncelenen tüm örnekler için hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri 1'den küçük bulunmuştur. Bu sonuçlar, çalışma alanında doğal radyasyonun zararlı etkiye neden olmayacağını göstermektedir.

Gama radyasyonunun etkileri genellikle havada soğrulan gama doz hızına göre ifade edilir. Toprak veya kayaçlarda radyoaktif izotoplardan kaynaklanan tüm maruziyet hızları, zeminin 1 m yukarısındaki havada soğurulan toplam doz hızına karşılık gelir. Bu çalışmada incelenen toprak örnekleri için hesaplanan soğurulan gama doz hızı değerlerinin 32,32 ile 44,84 nGy/h aralığında değiştiği bulundu. UNSCEAR [17] tarafından normal arkaplan radyasyon bölgeleri için soğurulan gama doz hızının dünya ortalaması 55 nGy/h olarak belirlenmiştir. Tablo 2'den de görüleceği üzere,

toprak örneklerinin tümünün soğurulan gama doz hızı değerleri dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.

Toprak örnekleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri 39,64 ile 54,99 µSv/y aralığında değişmektedir (Tablo 2). Ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise 45,40 µSv/y'dır. Bu değer, genel halk için Avrupa Komisyonu'nun (EC) önerdiği 1 mSv/y (1000 µSv/y) değerinden oldukça düşüktür [20]. Dolayısıyla, Ovit Dağbaşı Gölünü ziyaret eden halk için radyolojik olarak herhangi bir risk olmadığı söylenebilir.

İncelenen toprak örneklerine bağlı olarak hesaplanan yaşam boyu kanser risk oranı (LCR) değerleri Tablo 2'nin 6. sütununda verilmektedir. LCR değerlerinin değişim aralığı $1{,}39 \times 10^{-4}$ - $1{,}92 \times 10^{-4}$ olmakla birlikte ortalama değeri $1{,}59 \times 10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır. Yaşam boyu kanser riski için dünya ortalaması $2{,}9 \times 10^{-4}$ olarak verilmektedir [17]. Bu çalışmada, toprak örnekleri için hesaplanan ortalama LCR değeri dünya ortalamasından yaklaşık 2 kat daha düşük bulunmuştur.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Radyasyonla ilgili sağlık risklerini değerlendirmek için arkaplan radyasyon düzeylerinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, Ovit Dağbaşı Gölü çevresinden alınan toprak örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite düzeyleri yüksek saflıkta germanyum dedektörü ile belirlendi. Alınan toprak örneklerinde $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K ve $^{137}$Cs radyoizotoplarının ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 23,86 ± 2,31 Bq/kg, 20,98 ± 1,87 Bq/kg, 300,91 ± 12,88 Bq/kg ve 10,61 ± 0,66 Bq/kg olarak bulundu. Bu aktivite değerleri uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerin altındadır. Elde edilen aktivite değerlerinden radyum eşdeğer aktivitesi, dış tehlike indeksi, soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser risk oranı değerleri hesaplandı. Hesaplanan bu radyolojik parametrelerin tüm değerleri de tavsiye edilen limit değerlerin altında bulunmuştur. Sonuç olarak, Ovit Dağbaşı Gölü çevresinde radyolojik olarak herhangi bir risk olmadığı söylenebilir. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen veriler gelecekteki olası değişiklikleri değerlendirmek için kullanılabilir.

## Kaynaklar

[1]. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Exposure from Natural Sources of Radiation of Radiation. Report to the General Assembly. United Nations, 1993.

[2]. Polat, M., Sarıtaş, D., "Examination of High School Teachers' Radon Awareness in Terms of Some Variables", El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2), 165-176.

[3]. Otansev, P., Taşkın, H., Başsarı, A., Varinlioğlu, A., "Distribution and environmental impacts of heavy metals and radioactivity in sediment and seawater samples of the Marmara Sea", Chemosphere, 2016, 154, 266–275.

[4]. Kaya, S., Karabidak, S.M. ve Çevik, U., "Gümüşhane ili çevresinden toplanan toprak ve karayosunu radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2015, 5, 24–33.

[5]. Eroğlu, H., Kabadayi, Ö., "Natural radioactivity levels in lake sediment samples", Radiation Protection Dosimetry, 2013, 156, 331–335.

[6]. Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U., "Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey)", Applied Radiation and Isotopes, 2007, 65, 1281–1289.

[7]. Sirin, M., "Evaluation of radioactive pollution in sediment samples of Borçka Dam Lake, Turkey", Cumhuriyet Science Journal, 2019, 40, 624-639.

[8]. Dizman, S., Görür, F.K., Keser, R., Görür, O., "The assessment of radioactivity and radiological hazards in soils of Bolu province, Turkey", Environmental Forensics, 2019, 20, 211–218.
[9]. Darwish, S.M., El-Bahi, S.M., Sroor, A.T., Arhoma, N.F., "Natural radioactivity assessment and radiological hazards in soils from Qarun Lake and Wadi El Rayan in Faiyum, Egypt", Open Journal of Soil Science, 2013, 3, 289–296.
[10]. Diab, H.M., Ramadan, A.B., Monged, M.H.E., "Assessment of natural radioactivity and heavy metals in Burullus Lake, Egypt", International Journal of Low Radiation, 2006, 3, 273–283.
[11]. Isinkaye, M.O., Emelue, H.U., "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2015, 8, 459–469.
[12]. https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/rize/gezilecekyer/ovit-dagbasi-golu, 2020.
[13]. Grigorescu, E.L., Cristina Razdolescu, A., Sahagia, M., Luca, A., Ivan, C., Tanase, G., "Standardization of Eu-152", Applied Radiation and Isotopes, 2002, 56, 435–439.
[14]. Currie, L.A., "Limits for qualitative detection and quantitative determination", Analytical Chemistry, 1968, 40, 586–593.
[15]. Beretka, J., Mathew, P.J., "Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products", Health Physics, 1985, 48(1), 87-95.
[16]. Krieger, R., "Radioactivity of construction materials", Betonwerk Fertigteil Techn., 1981, 47(8), 468-473.
[17]. UNSCEAR, "Sources, effects and risks of ionizing radiation", Report of the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. 1, United Nations, New York, 2000.
[18]. Dizman, S., Görür, F.K., Keser, R., "Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey", International Journal of Radiation Research, 2016, 14, 237–244.
[19]. ICRP (International Commission on Radiological Protection), "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 103, Ottowa, 2007.
[20]. EC (European Commission), "Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials", Radiation Protection, 1999, 11, 21–16.