

## Türkiye'nin Trakya Bölgesi'ndeki Sınır Kapıları Yakınlarından Alınan Toprak Örneklerindeki Radyonüklid Miktarının Ölçülmesi ve Doz Hesaplanması: Dereköy ve Pazarkule Örneği

M. Beste ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 13.05.2024, Kabul: 27.06.2024, Yayınlanma: 30.06.2024

### ÖZ

İnsanlar dünyanın var oluşundan beri radyoaktivitenin etkisi altındadır. İnsanların maruz kaldıkları en yaygın radyasyon kaynakları dünya atmosferindeki kozmik ışınların etkileşimi ve yer kabuğundaki uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan doğal radyoaktivitedir. Topraktaki doğal radyoaktivite U, Th serileri ve <sup>40</sup>K'dan kaynaklanmaktadır. Doğal olarak oluşan radyoaktif çekirdeklere ilaveten birçok radyoaktif çekirdek nükleer silah denemeleri, nükleer güç reaktörleri, araştırma reaktörleri ve nükleer yakıt üretimi gibi yapay yollarla çevreye yayılmaktadır. Bu çalışmada, Dereköy ve Pazarkule sınır kapılarından alınan toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Toprak örneklerindeki radyoaktivite düzeyleri HPGe gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüş olup, <sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U), <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları hesaplanarak belirlenmiştir. Toprak örnekleri için, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs ortalama radyoaktivite değerleri sırasıyla; 37,63; 56,07; 794,47 ve 6,23 Bq kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Toprak örnekleri için radium eşdeğer aktivitesi hesaplanmış ve ortalama değer 178,99 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Ortalama soğurulan doz değeri 84,38 nGy.h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Bölge için ayrıca yıllık etkin doz hızı hesaplanmış olup, bu değer 40,38-124,38 µSv.y<sup>-1</sup> aralığında değiştiği ve ortalamasının 103,48 µSv.y<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Radyoaktivite; Toprak; Gama; HPGe; Doz.

## Measurement of Radionuclide Amount and Dose Calculation in Soil Sample Taken Near from Border Gates in Türkiye's Thrace Region: The Case of Derekoy and Pazarkule

### ABSTRACT

Humans have been under the influence of radioactivity since the creation of the world. The most common sources of radiation to which humans are exposed are the interaction of cosmic rays in the Earth's atmosphere and natural radioactivity from long half-life radioactive nuclei in the Earth's crust. Natural radioactivity in soil comes from the U, Th series and <sup>40</sup>K. In addition to naturally occurring radioactive nuclides, many radioactive nuclides are released into the environment by artificial means such as nuclear weapons testing, nuclear power reactors, research reactors and nuclear fuel production. In this study, it was aimed to determine the radioactivity levels in soil samples taken from Derekoy and Pazarkule border gates.

The radioactivity levels in the soil samples were determined by calculating the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ),  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and  $^{40}\text{K}$  ( $^{238}\text{U}$ ) using HPGe gamma spectrometer. The average radioactivity values of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  for soil samples were determined as 37,63, 56,07, 794,47 and 6,23 Bq  $\text{kg}^{-1}$ , respectively. Radium equivalent activity was calculated for soil samples and the average value was found to be 178,99 Bq  $\text{kg}^{-1}$ . The average absorbed dose values for soil samples were calculated. It was found between 32,92 – 101,74 nGy.h<sup>-1</sup> respectively and the average was 84,38 nGy.h<sup>-1</sup>. The annual effective dose rate was calculated for the region. It was found that this value varied between 40,38- 124,78  $\mu\text{Sv.y}^{-1}$  and the average was 103,48  $\mu\text{Sv.y}^{-1}$ .

**Keywords:** Radioactivity; Soil; Gamma; HPGe; Dose.

## **1. GİRİŞ**

Radyasyonun keşfedilmesinden sonra, radyasyonun meydana getirdiği zararlı etkilerinden korunmak önemli hale gelmiştir (Akça, 2011). Bunun için çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmaktadır. Çevresel radyoaktivite tayinlerini yapmaktaki en önemli neden, canlıların doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından etkilenmiş oldukları miktarların ve bu miktarların zararlarının belirlenmesidir. Radyasyon doz tayininde toprak, sediment, su, hava ve bina yapı malzemelerindeki radyonüklid dağılımlarının doğal ve yapay radyonüklidler için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir (Gönen, 2012).

Yerkürede bulunan radyonüklidlerin dağılımı farklı konumlarda değişiklik göstermekte olup, bir bölgenin radyasyon düzeylerini etkileyen en önemli etkidir. Doğal radyasyon seviyeleri bir bölgenin bulunduğu yüksekliğe göre değişiklik göstermektedir. Örneğin doğal bir radyasyon kaynağı olan kozmik ışınların deniz seviyesindeki etkisi az miktardaiken deniz seviyesinden daha yukarıda artmaktadır (Gönen, 2012; Özger, 2005).

Çevresel radyoaktivite çalışmaları yaparken bölgedeki radyoaktivitenin saptanması için, temel radyasyon seviyeleri baz alınarak değerlendirme yapılmalıdır. Böylece o bölgenin çevresel radyasyon miktarını bilerek, olası meydana gelebilecek nükleer kaza, nükleer sızıntılar sonrasında ne oranda değişim gösterdiği belirlenmiş olur (Bostancı, 2011).

Bu amaçla bu çalışmada Trakya Bölgesi'nin iki önemli sınır kapısı olan Kırklareli'nde bulunan Dereköy ve Edirne'de bulunan Pazarkule sınır kapıları yakınlarından toprak örnekleme yapılarak bazı doğal ve yapay radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **2. MATERYAL VE METOT**

### ***2.1. Örneklerin Toplanması ve Hazırlanma Süreci***

Bu çalışmada Yunanistan'a açılan Pazarkule sınır kapısı yakınlarından ve Bulgaristan'a açılan Dereköy sınır kapısı yakınlarından olmak üzere 5 farklı koordinat noktasından örnek toplanmıştır. Örnekleme yapılan sınır kapıları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Örnekleme için belirlenen koordinat noktalarındaki toprağın yaklaşık 10 cm altından alınan örnekler, 2 kg'lık plastik saklama poşetlerine konularak her bir örneğe ait koordinat noktaları etiketlere yazılarak poşetlerin üzerine yapıştırılmıştır. Örnekler, hazırlama ve analizlerin yapılacağı Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı'na getirilmiştir. Toprak örnekleri içerisindeki nemin uzaklaştırılması için etüv kullanılarak 105 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Örnekler kurutulduktan sonra içerisinde bulunan ot, yaprak, taş vb. gibi maddelerden arındırılmıştır. Daha sonra örneklerin her biri ayrı

şekilde elekten geçirilerek havanda öğütülerek mümkün olan en küçük hale getirilmiştir. Toprak örnekleri toz haline getirildikten sonra hacimleri 250 ml olan plastik kaplara konulmuştur. Örneklerin hava almaması için plastik kapların etrafları parafin denilen bant ile sarılmıştır. Örneklerin içerisindeki radyonüklidlerin dengeye gelmesi amacıyla yaklaşık 35±5 gün bekletilmiştir. Ayrıca aktivite hesabında kullanılacak olan ağırlık bilgisi her bir örnek için ayrı ayrı tartılarak not alınmıştır.



Şekil 1. Örnekleme yapılan bölgenin haritası.

## 2.2. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Gama spektrometre sistemi çevresel radyoaktivite analizlerinde en çok kullanılan ölçme yöntemidir. Bu çalışmada örnekleme yapılan toprakların gama spektrometre sistemi analizleri, HPGe (High Purity Germanium) adındaki yüksek saflığa sahip dedektör ile yapılmıştır. Çalışmada, Ortec GEM 70P4-95 HPGe saf germanyum gama dedektörü kullanılmıştır. Dedektör kurşun bir zırh içerisinde ve %70 relatif verime sahiptir. Radyonüklidler için aktivite konsantrasyonları için aktivite hesabı Denklem 1 kullanılarak yapılmıştır.

$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon.t.I.m} \quad (1)$$

Burada  $A$ , hesaplanan aktivite ( $Bq\ kg^{-1}$ ) değerini,  $N_{net}$  net pik alanı ifadesini,  $\varepsilon$  ilgilenilen pik için dedektör verimini,  $t$  sayım süresini (s),  $m$  numunenin kütlesini (kg),  $I$  gama enerjisinin yayınlanma olasılığını belirtmektedir (Bostancı, 2011).  $^{226}Ra$  aktivite konsantrasyonu  $^{214}Pb$ 'a ait 351,9 keV ve  $^{214}Bi$ 'a ait 609,3 keV değerlerindeki gama pikleri,  $^{40}K$  aktivite konsantrasyonu 1460,8 keV değerindeki gama piki,  $^{232}Th$  aktivite

konsantrasyonu  $^{228}\text{Ac}$ 'e ait 911,2 keV ve  $^{208}\text{Tl}$ 'e ait 583,1 keV değerlerindeki gama pikleri,  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu ise 661,7 keV değerindeki gama piki kullanılarak elde edilmiştir.

Gama Spektrometre analizi kalibrasyonu  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  pikleri bilinen aktivite seviyelerini içeren, 80 ila 2500 keV enerji aralığına sahip standart bir karışık kaynak (İzotop Ürünleri Laboratuvarları) kullanılarak yapılmıştır (Özden vd., 2023).

### 2.3. Radyolojik Parametreler

Türkiye'nin Trakya Bölgesi'nde bulunan Dereköy ve Pazarkule sınır kapılarından alınan örneklerin analizleri sonucu elde edilen aktivite konsantrasyon değerleri kullanılarak, radyasyonun canlılarda meydana getirdiği etkileri belirleyebilmek için bazı radyolojik parametreler hesaplanmıştır.

#### 2.3.1. Radyum Eşdeğer Aktivitesi ( $R_{eq}$ )

Radyum eşdeğer aktivitesi, toprakta aynı şekilde dağılım göstermeyen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ' un birleşik radyolojik etkilerini bulmak için kullanılmaktadır (Mehra vd., 2012). Radyum eşdeğer aktivitesi hesabı Denklem 2 kullanılarak yapılmaktadır.

$$R_{(eq)} (Bq \cdot kg^{-1}) = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1,43) + (A_K \times 0,077) \quad (2)$$

Bağlantıda bulunan  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını ifade etmektedir.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin 1 Bq.kg<sup>-1</sup> değeri ile  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin 0,7 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinin ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin 13 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinin aynı gama dozu ürettiği anlamına gelmektedir.

#### 2.3.2. Karasal Soğrulan Gama Doz Hızı (D)

Yaşadığımız çevredeki radyoaktif kaynakların oluşturduğu gama radyasyonunun canlıların sağlığı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bu etki toprağın yüzeyinden 1 m yükseklikte karasal soğrulan gama doz hızının (D) hesaplanmasıyla bulunur (Mehra vd., 2012). Karasal soğrulan gama doz hızı Denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$D (nGy h^{-1}) = 0,462 A_{Ra} + 0,604 A_{Th} + 0,0417 A_K \quad (3)$$

Bağlantıda yer alan  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları anlamına, 0,462, 0,604 ve 0,0417 katsayıları sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin dönüşüm katsayısını ifade etmektedir.

### 2.3.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Dünya üzerinde yaşayan insanların, bir sene boyunca farklı radyasyon kaynaklarının ışınmaları etkisinde kaldıkları radyasyon dozu “yıllık etkin doz eşdeğeri” olarak tanımlanır. Yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$AEDE (\mu Sv y^{-1}) = D (nGy h^{-1}) \times 8760 (h) \times 0,2 \times 0,7 (Sv Gy^{-1}) \times 10^{-3} \quad (4)$$

Bağlantıda bulunan D soğrulan gama doz hızını, 8760 sayısı bir yılın saate çevrilmiş süresini ifade etmektedir. 0,2 katsayısı insanların günlerinin %20'lik kısmını açık havada geçirdikleri düşünülerek kullanılan meşguliyet faktörüdür. 0,7 katsayısı ise havadan soğrulan doz hızının etkin doza dönüştürülmesi için kullanılan dönüşüm katsayısı anlamına gelmektedir (Özden, 2000; Bozkurt, 2019).

### 2.3.4. Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski (ELCR) insanların ömürleri boyunca maruz kaldıkları radyasyonun sebep olduğu kanser riski olasılığı anlamına gelmektedir. Yaşam boyu kanser riski (ELCR) Denklem 5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF \quad (5)$$

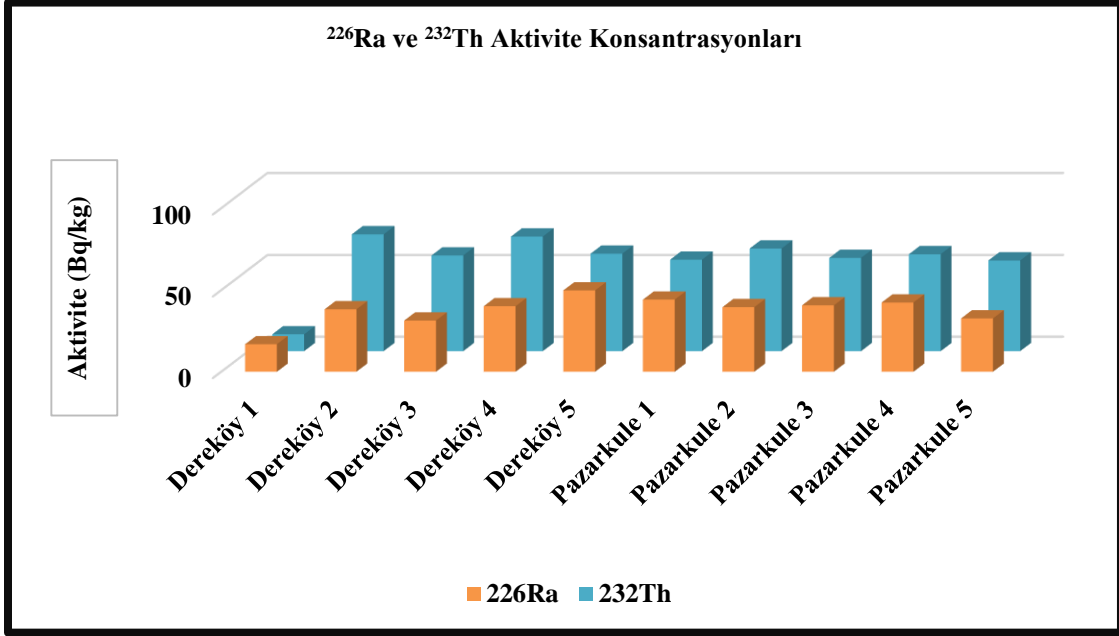
Bu formülde AEDE yıllık etkin doz eşdeğeri, DL yaşam süresi (70 yıl) ve RF risk faktörü ( $Sv^{-1}$ ) anlamına gelmektedir.

## 3. SONUÇLAR

### 3.1. Gama Radyonüklid Konsantrasyonları

Dereköy (DK) ve Pazarkule (PK) sınır kapıları yakınlarından toplanan toprak örneklerin  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{40}K$  ve  $^{137}Cs$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

Toprak örnekleri için yapılan hesaplamalarda  $^{226}Ra$  için aktivite konsantrasyonunun  $16,85 Bq.kg^{-1}$  ile  $49,86 Bq.kg^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $37,63 Bq.kg^{-1}$  olduğu bulunmuştur.  $^{232}Th$  için aktivite konsantrasyonunun  $10,32 Bq.kg^{-1}$  ile  $71,45 Bq.kg^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $56,07 Bq.kg^{-1}$  olduğu bulunmuştur.  $^{226}Ra$  ve  $^{232}Th$  aktivite konsantrasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.



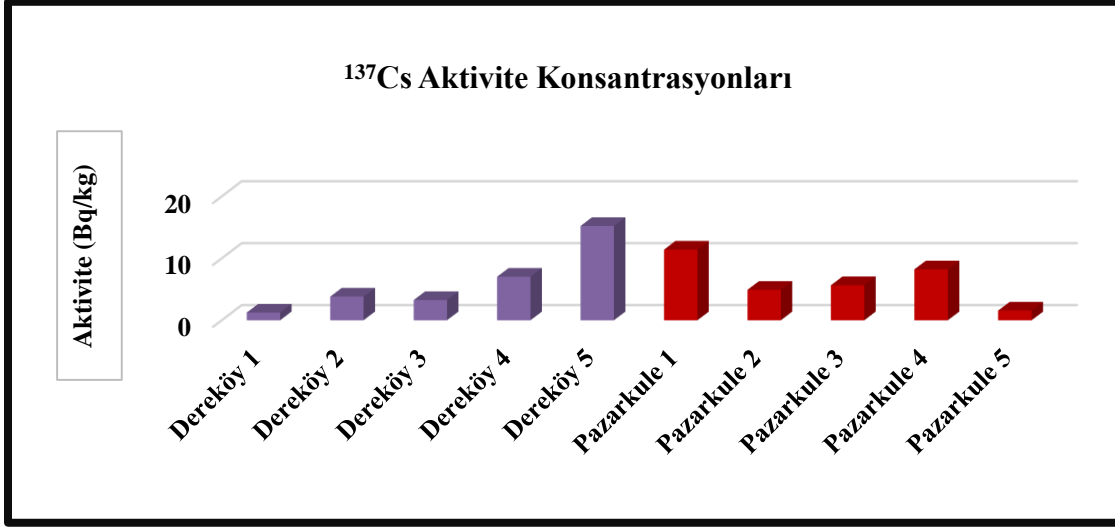
Şekil 2. Toprak örneklerindeki <sup>226</sup>Ra ve <sup>232</sup>Th radyonüklid konsantrasyonları.

Toprak örneklerinde yapılan ölçümlerde <sup>40</sup>K için hesaplanan aktivite konsantrasyonunun 453,51 Bq.kg<sup>-1</sup> ile 980,75 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 794,47 Bq.kg<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur. <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Toprak örneklerindeki <sup>40</sup>K konsantrasyonları.

Toprak örnekleri için hesaplanan  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonunun  $1,24 \text{ Bq.kg}^{-1}$  ile  $15,22 \text{ Bq.kg}^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $6,23 \text{ Bq.kg}^{-1}$  olduğu bulunmuştur. Her bir örnekleme noktası için ölçülmüş olan  $^{137}\text{Cs}$  için aktivite konsantrasyonu Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Toprak örneklerindeki  $^{137}\text{C}$  konsantrasyonları.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar UNSCEAR 2000 raporuyla karşılaştırıldığında  $^{226}\text{Ra}$  ortalama aktivite konsantrasyonu UNSCEAR sonucu olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile uyumlu bulunmuştur. Fakat  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonları UNSCEAR tarafından önerilen ortalama konsantrasyonlardan yüksek çıkmıştır (UNSCEAR, 2000). Örnek toplanan bölgelerin tarım arazileri yakınlarında olması ve tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklı olarak  $^{40}\text{K}$  aktivasyonunun yüksek çıkabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Türkiye'de yapılan bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir.

Merdanoğlu ve arkadaşlarının 2006 yılında Çanakkale'de yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri bu çalışmada bulunan ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Keskin'in 2008 yılında Tuz Gölü civarında, Alnashar'ın 2024 yılında Hatay ilinin Reyhanlı ilçesinde ve Kahveci'nin 2019 yılında Trakya Bölgesi Ergene Havzası civarında yaptığı çalışmadan elde ettiği  $^{226}\text{Ra}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksek bulunmuştur.



$^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonu için bu çalışmada bulunan değer, Kahveci'nin 2019 yılında Trakya Bölgesi Ergene Havzası civarında, Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da ve TENMAK'ın 2013 yılında Kırklareli ve Edirne'de yaptığı çalışmalarda bulunduğu  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

$^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonu için bu çalışmada bulunan değer, Aydın'ın 2020 yılında İğneada'da, Yangın'ın 2021 yılında Şanlıurfa'da ve Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da yaptığı çalışmalar sonucu elde edilen ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

**Tablo 1.** Çalışmada elde edilen sonuçların Türkiye'de yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılması

Bölgeler	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	Referans
Çanakkale	130,92	191,91	1207,12	18,05	Merdanoğlu ve ark., 2006
Bursa	24	30	433	5,60	Akkaya, 2011
Tuz Gölü	28,12	24,35	539,02	9,80	Keskin, 2008
Trakya, Ergene	27,42	35,24	687,59	2,77	Kahveci, 2019
Kocaeli, Dilovası	-	57,96	160	8,57	Doğan, 2019
Isparta	15,69	15,40	210,60	3,44	Kahraman, 2024
Samsun	-	30,01	378,56	8,33	Bozkurt, 2019
Kırklareli, İğneada	19,43	25,05	372,69	6,88	Aydın, 2020
Hatay	15	6,50	146	58,70	ÇNAEM, 2006
Hatay, Reyhanlı	8,66	17,01	373	-	Alnashar, 2024
Şanlıurfa	-	35,23	310,76	7,81	Yangın, 2021
Kırklareli	30,82	35,46	543,84	6,48	TENMAK, 2013
Edirne	25,86	29,07	638,28	7,80	TENMAK, 2013
UNSCEAR	35	30	400	-	UNSCEAR, 2000
<b>Kırklareli-Edirne</b>	<b>37,63</b>	<b>56,07</b>	<b>794,47</b>	<b>6,23</b>	<b>Bu Çalışma</b>

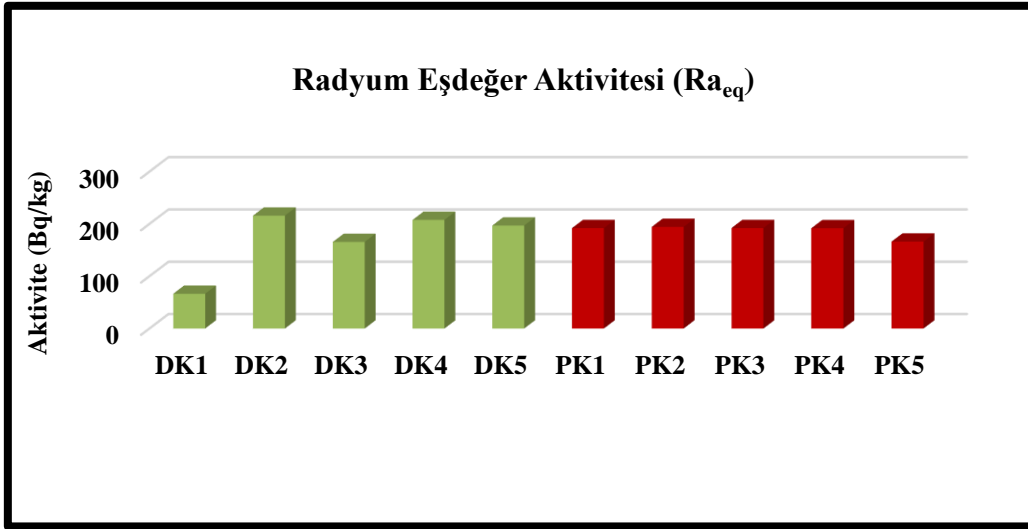
Bu çalışmadan elde edilen  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değeri Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da, Kahveci'nin 2019 yılında Ergene Havzası'nda ve Keskin'in Tuz Gölü'nde 2008 yılında yaptığı çalışmalarda elde ettikleri ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden büyükken, 2019 yılında

Doğan'ın Kocaeli Dilovası'nda, 2019 yılında Bozkurt'un Samsun'da ve TENMAK'ın 2013 yılında Kırklareli ve Edirne'de yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden düşüktür.

### 3.2. Radyolojik Tehlike İndeksleri

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

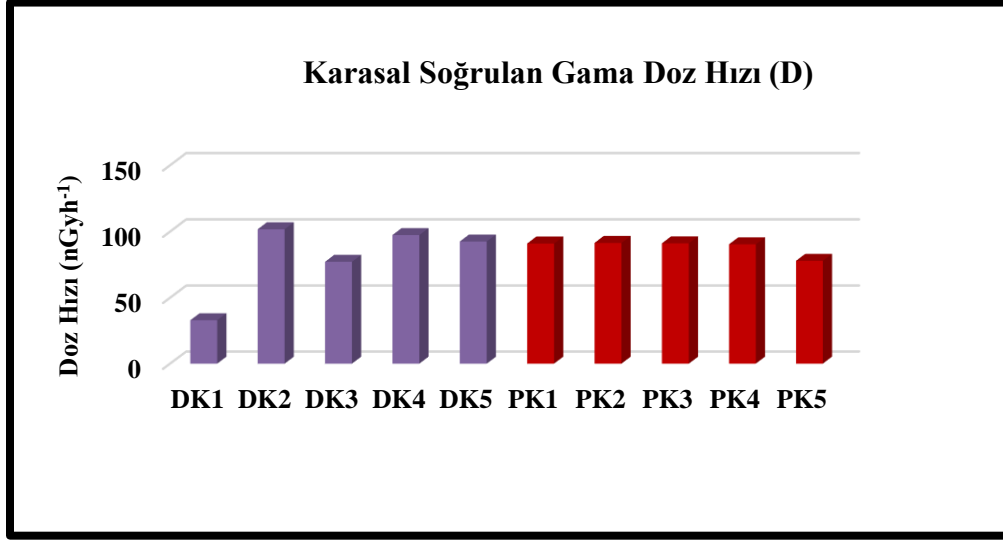
Bu çalışmada toplanan toprak örneklerinden hesaplanmış  $Ra_{eq}$  değeri 66,52 ile 215,99 Bq kg<sup>-1</sup> değerleri arasında değişmektedir ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Ortalama  $Ra_{eq}$  değeri ise 178,99 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Dünyada kabul edilen değer 370 Bq kg<sup>-1</sup> olup, çalışma sonucunda elde edilen sonuç bu değerden düşük bulunmuştur (UNSCEAR, 2000).



Şekil 5. Yapılan çalışmadaki radyum eşdeğer aktivitesi.

#### 3.2.2. Karasal Soğrulan Gama Doz Hızı (D)

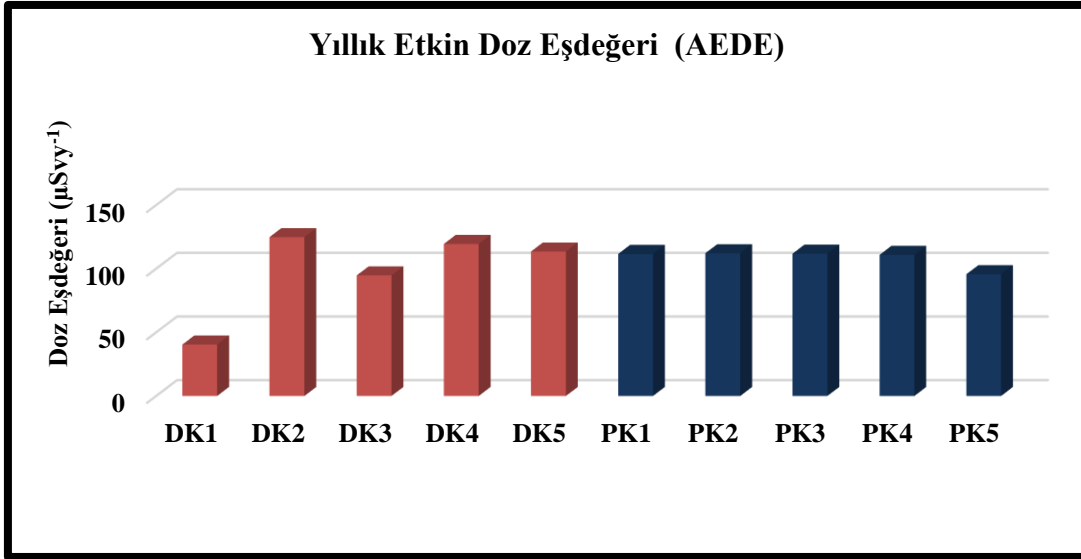
Bu çalışmada yapılan ölçümlerle elde edilen gama doz hızı 32,92 ve 101,74 nGyh<sup>-1</sup> değerleri arasında değişmekte olup ortalama gama doz hızı ise 84,38 nGyh<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Gama doz hızının Dünya ortalamasındaki değeri 59 nGyh<sup>-1</sup> olmakta olup çalışmada elde edilen değer dünya ortalamasından büyük olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 2000).



Şekil 6. Yapılan çalışmadaki soğrulan gama doz hızı.

### 3.2.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Bu çalışmada AEDE değeri 40,38 ile 124,78  $\mu\text{Svy}^{-1}$  arasındadır ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Ortalama yıllık etkin doz değeri 103,48  $\mu\text{Svy}^{-1}$ 'dir. Bu çalışmadaki analiz sonuçlarından hesaplanmış olan ortalama yıllık etkin doz değeri Dünya ortalaması için kabul edilen 70  $\mu\text{Svy}^{-1}$  değerinden büyük bulunmuştur (UNSCEAR, 2000).



Şekil 7. Yapılan çalışmadaki yıllık etkin doz eşdeğeri.

### 3.2.4. Yaşam Boyu Kanseri Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanseri riski için belirlenen dünya ortalaması  $0,29 \times 10^{-3}$ 'tür. Bu çalışmada yaşam boyu kanseri riski  $0,16 \times 10^{-3}$  ve  $0,49 \times 10^{-3}$ , ortalama ise  $0,41 \times 10^{-3}$  bulunmuş olup dünya ortalamasının biraz üzerindedir.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada örnekleme yapılan sınır kapıları, Türkiye'nin Trakya bölgesinde yer alan Kırklareli iline bağlı Dereköy ve Edirne iline bağlı Pazarkule sınır kapılarıdır. Dereköy ve Pazarkule sınır kapıları yakınlarından toplanan toprak örneklerinde HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  doğal ve  $^{137}\text{Cs}$  yapay aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için bulunan ortalama aktivite konsantrasyonları 37,63; 56,07; 794,47 ve 6,23 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Ayrıca bazı radyolojik parametreler elde edilen sonuçlar kullanılarak radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), havada soğrulan doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ortalama değerleri sırasıyla 178,99 Bqkg<sup>-1</sup>, 84,38 nGyh<sup>-1</sup> ve 103,48 µSvy<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Bu çalışma için hesaplanan radyolojik tehlike indekslerinin, dünya üzerinde yaşayan canlılar için belirlenen sınır değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, toprak örnekleme yapılan yerlerin 1986 yılında yaşanan Chernobyl nükleer felaketinden en çok etkilenen yerlerden biri olan Trakya'da yer almasının olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma bir veri tabanı niteliğinde olup, gelecekte yapılacak olan çalışmalara referans oluşturması hedeflenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKILARI

M.B.Ö.: Araştırma, kaynaklar, derlemenin hazırlanması.

S.A.P: Gözden geçirme ve düzenleme, orijinal taslağın hazırlanması.

## KAYNAKLAR

- Akça, S., (2011). Mantar Çeşitlerinde Elemental Analiz ve Doğal Radyoaktivite Ölçümü (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Akkaya, G., (2011). Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Alnashar, M., S., (2024). Hatay'ın Reyhanlı İlçesi Şehir Merkezinin Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Doktora Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Aydın, S.,Y., (2020). Kırklareli İli İğneada Bölgesi ve Çevresinde Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

- Başaran, H., (2019). Nevşehir İlinde Kanser Yoğunluğu Gözlenen Yerleşim Birimlerinin YüzeY Topraklarının Radyolojik Açından İncelenerek Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Bostancı, S., (2011), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun İl Merkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Bozkurt, G., (2019). Samsun İli Yakakent, Alaçam, Ondokuzmayıs, Bafta İlçelerindeki Toprak Örneklerinde Gama Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi ve Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Doğan, S.,D., (2019). Dilovası/Kocaeli Bölgesindeki Toprak Numunelerindeki Doğal ve Yapay Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Gönen, E., (2012). Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Günay, O., (2018). İstanbul-Beykoz'daki Bazı Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Parametre Tayini. *European Journal of Science and Technology*, 12, 9-14, 2018.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP), (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37(2-4). Elsevier Ltd.
- Kahraman, F., Ç., (2024). Isparta İl Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Ölçümleri (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kahveci, Ö., (2019). Ergene Nehir Havzasının Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Kam, E., Yarar, Y., and Bozkurt, A., (2010). A Study of Background Radioactivity Level for Tekirdag, Radiation Protection Dosimetry (vol. 138, pp. 40–44). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp178>.
- Keskin, S., (2008). Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Köse, A., (2006). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), Radyoaktivite Ölçüm Ve Analiz Birimi, Burdur, Gümüşhane, Hatay, Tekirdağ, Uşak, Doğal Radyoaktivite Ölçüm Raporları.
- Mehra, R. Singh, M., (2012). Estimation of radiological risk due to concentration of 238U, 226Ra, 232Th and 40K in soils of different geological origins in northern India. *Turkish Journal of Physics* (vol. 36, pp. 289-297). <https://doi.org/10.3906/fiz-1105-9>.
- Merdanoğlu, B., Altınsoy N., (2006). Radioactivity Concentrations and Dose Assessment for Soil Sample From Kestanol Granite Area, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* (vol. 121, No. 4, pp. 399-405). <https://doi.org/10.1093/rpd/nci055>.
- Oğuz, F.,Yücel, B., ve Arıkan, İ., H., (2013). Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası.
- Ozden, S., Pehlivanoglu, Akozcan, S., and Gunay, O., (2023). Evaluation of natural radioactivity in soils of Konya (Turkey) and estimation of radiological health hazards, *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1523. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12162-0>.
- Özden, S., (2020). Kırklareli ve Çevresinde Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı ile Çevre Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi (Doktora Tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Özger, A.G., (2005). Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Taşkın, H., (2006). İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), (2000). UNSCEAR 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes.
- Yangın, T., (2021). Şanlıurfa İli Ayaklı Bölgesinde Yapay ve Doğal Radyoaktivite Ölçümleri Yapılarak Çevresel Faktörlerin Radyolojik Yapıya Etkisinin İncelenmesi (Yüksel Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya.