

**Atf İçin:** Özden, S. ve Aközcan Pehlivanoğlu, S. (2024). Tunca Nehri (Edirne-Türkiye) Kıyı Şeridi Boyunca Sediment ve Topraklardaki Radyoaktivite Seviyelerinin ve İlgili Sağlık Tehlikelerinin Değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 231-243.

**To Cite:** Özden, S. & Aközcan Pehlivanoğlu, S. (2024). Assessment of Radioactivity Levels and Associated Health Hazards in Shore Sediments and Soils Along the Coastline of the Tunca River (Edirne-Turkey). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 231-243.

## **Tunca Nehri (Edirne-Türkiye) Kıyı Şeridi Boyunca Sediment ve Topraklardaki Radyoaktivite Seviyelerinin ve İlgili Sağlık Tehlikelerinin Değerlendirilmesi**

Selin ÖZDEN<sup>1\*</sup>, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU<sup>1</sup>

### **Öne Çıkanlar:**

- Doğal ve yapay radyonüklid aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir
- Radyolojik parametreler hesaplanmıştır
- HPGe gama spektrometre sistemi kullanılmıştır

### **Anahtar Kelimeler:**

- Toprak
- Sediment
- Tunca Nehri
- Doğal Radyoaktivite
- Yapay Radyoaktivite

### **ÖZET:**

Bu çalışmada, Tunca Nehri'nin Türkiye'nin Edirne ilinde bulunan uzantısından toplanan toprak ve sediment örneklerinde doğal ve (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K) ve yapay (<sup>137</sup>Cs) radyonüklid aktivite konsantrasyonları mevsimsel olarak belirlenmiştir. Örnekler, yüksek saflıkta germanyum dedektörlü (HPGe) gama spektrometre sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. Toprak örnekleri için ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları sırasıyla 39.94±0.95 Bq/kg, 55.42±1.02 Bq/kg, 688.21±8.12 Bq/kg ve 7.67±0.44 Bq/kg bulunmuştur. Sediment örnekleri için ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları sırasıyla 40.32±1.39 Bq/kg, 46.90±1.11 Bq/kg, 651.43±7.95 Bq/kg ve 7.92±0.41 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Radyolojik etkinin belirlenmesi için radium eşdeğer aktivitesi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeksi hesaplandı. Toprak örnekleri için ortalama radium eşdeğer aktivitesi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeksi sırasıyla 172.19 Bq/kg, 80.86 nGy/h, 99.16 µSv/y ve 0.47 olarak hesaplandı. Sediment örnekleri için ortalama radium eşdeğer aktivitesi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeksi sırasıyla 157.55 Bq/kg, 74.36 nGy/h, 91.19 µSv/y ve 0.43 olarak belirlendi. Elde edilen değerler dünya ortalamaları ve önerilen değerler açısından değerlendirildi.

## **Assessment of Radioactivity Levels and Associated Health Hazards in Shore Sediments and Soils Along the Coastline of the Tunca River (Edirne-Turkey)**

### **Highlights:**

- Natural and artificial radionuclide activity concentrations were determined
- Radiological parameters were calculated
- HPGe gamma spectrometer system was used

### **Keywords:**

- Soil
- Sediment
- Tunca River
- Natural Radioactivity
- Artificial Radioactivity

### **ABSTRACT:**

In this study, natural (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K) and artificial (<sup>137</sup>Cs) radionuclide activity concentrations were determined seasonally in soil and sediment samples from the extension of the Tunca River in Edirne province of Turkey. Samples were analyzed using a gamma spectrometer system with a high-purity germanium detector (HPGe). The average <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs activity concentrations for soil samples were found to be 39.94±0.95 Bq/kg, 55.42±1.02 Bq/kg, 688.21±8.12 Bq/kg and 7.67±0.44 Bq/kg, respectively. The average <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs activity concentrations for sediment samples were determined as 40.32±1.39 Bq/kg, 46.90±1.11 Bq/kg, 651.43±7.95 Bq/kg and 7.92±0.41 Bq/kg, respectively. In order to determine the radiological effect; radium equivalent activity, terrestrial absorbed gamma dose rate, annual effective dose equivalent and external hazard index were calculated. The average radium equivalent activity, terrestrial absorbed gamma dose rate, annual effective dose equivalent and external hazard index for soil samples were calculated as 172.19 Bq/kg, 80.86 nGy/h, 99.16 µSv/y and 0.47, respectively. The average radium equivalent activity, terrestrial absorbed gamma dose rate, annual effective dose equivalent and external hazard index for sediment samples were determined as 157.55 Bq/kg, 74.36 nGy/h, 91.19 µSv/y and 0.43, respectively. The obtained values were evaluated in terms of world averages and recommended values.

<sup>1</sup>Selin ÖZDEN (Orcid ID: 0000-0003-3860-8444), Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU (Orcid ID: 0000-0001-6661-5540), Kırklareli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırklareli, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Selin ÖZDEN, e-mail: selinnozden@gmail.com

## GİRİŞ

Tüm canlılar sürekli olarak doğal ve yapay radyonüklidler olmak üzere iki ana kaynaktan gelen iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. Alınan dozun yaklaşık %85'i hem kozmik hem de karasal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Doğal ve yapay radyonüklidler, topraktan besinlere ve içme sularına transfer olmaktadır ve böylece besin zinciri yoluyla canlılara aktararak radyolojik olarak sağlığı tehdit etmektedir. Karasal radyasyona neden olan radyonüklidler dünyanın oluşumundan beri var olan ve yarı ömürleri dünyanın yaşıyla karşılaştırılabilir olan temel radyonüklidlerdir. Bunlar; esas olarak  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve bu radyonüklidlerin bozunma ürünleri ile  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklididir (El Samad ve ark., 2013).

Doğal radyonüklidler; topraklarda, kayalarda, suda ve bina yapı malzemelerinde olmak üzere yaşadığımız her yerde bulunmaktadır. Doğal radyonüklidlerin dağılımı toprak yapısına, fizikokimyasal özelliklere ve jeolojik faktörlere bağlı olarak bölgeden bölgeye değişmektedir (Kang ve ark., 2020). Sediment ise radyonüklidlerin su ortamında taşınmasında büyük rol oynamaktadır (Isinkaye ve Emelue, 2015). İnsanlar genellikle toprağın üst katmanından (0-30 cm) gelen doğal karasal radyasyona maruz kalmaktadır (Agbalagba ve Onoja, 2011). Granit gibi magmatik kayaların bulunduğu bölgelerde daha yüksek doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları gözlenirken, tortul kayaların bulunduğu bölgelerde daha düşük radyasyon seviyeleri gözlenmektedir (Jasaitis ve ark., 2020). Çevrede 60'dan fazla doğal yolla oluşan radyonüklid bulunmasına rağmen; U-Ra (Uranyum-Radyum) ve Th (Toryum) bozunma serisi ürünleri ile  $^{40}\text{K}$  radyonüklidi yer kabuğu ve toprakta diğer radyonüklidlere kıyasla oldukça fazla bulunmaktadır. Bu durum, U-Ra ve Th bozunma serisi ürünleri ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin insanların aldığı doza katkıda bulunan en önemli radyonüklidler olduğunu ortaya koymaktadır (Belyaeva ve ark., 2021). Tarım arazilerinde verimliliği artırmak için çiftçiler tarafından kimyasal gübreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosfatlı gübre üretiminde kullanılan fosfat malzemeleri de özellikle radyoaktif potasyum, uranyum ve toryum serileri içermesinden dolayı radyoaktiviteyi artırabilmektedir (Azeed ve ark., 2020). Kömür ve uranyum madenciliğinden kaynaklanan kalıntılar da yüksek konsantrasyonda doğal radyonüklidler içerebilmektedir (Aytas ve ark., 2012). Doğal yolla oluşan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  ve  $^{40}\text{K}$  ise yüksek hareketlilikleri ve çözünürlükleri nedeniyle sağlık açısından en çok endişe duyulan doğal radyonüklidlerdir.  $^{226}\text{Ra}$  (uranyum serisi ürünü),  $^{228}\text{Ra}$  (toryum serisi ürünü) ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları; hava koşulları, toprak erozyonu, yüzey akışı, yağmur suyu gibi farklı sebeplerden dolayı değişim gösterebilmektedir (Hannan ve ark., 2015). Solunum yoluyla uranyum ve radyuma uzun süreli maruz kalmanın, kronik akciğer hastalıkları, akut lökopeni, anemi ve ağız nekrozu gibi çeşitli sağlık etkileri bulunmaktadır. Radyum kemik, kafatası ve burun tümörlerine neden olmaktadır. Yüksek oranda toryuma maruz kalınması ise akciğer, pankreas, karaciğer, kemik, böbrek kanserleri ve lösemiye neden olabilmektedir (Taskin ve ark., 2009).

Doğal radyonüklidlere ek olarak, çeşitli antropojenik faaliyetler sonucunda  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  and  $^{90}\text{Sr}$  gibi yapay radyonüklidler çevreye salınarak toprakta serpinti yoluyla birikerek çevrede yapay radyasyon kaynağı olmuşlardır (Kang ve ark., 2020). Bu yapay radyonüklidlerin büyük çoğunluğu, 1950-1970 yılları arasında gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri, 1986'da gerçekleşen Çernobil nükleer santral kazası ve 2011'de gerçekleşen Fukushima Daiichi nükleer santral kazası sonucunda çevreye yayılmıştır (Lopez-Perez ve ark., 2021). Kuzey yarımküre, nükleer silah testleri ve nükleer santral kazaları sırasında atmosfere salınan büyük miktarlarda radyoaktif izotopların (özellikle  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ ) varlığı nedeniyle güney yarımküreye göre daha çok radyoaktif kirlenmeye maruz kalmıştır (UNSCEAR, 2000). Çernobil nükleer santral kazası sonrasında radyoaktif bulutlar çok kısa sürede Türkiye'ye ulaşmış ve serpinti yoluyla özellikle  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidi çevreye yayılarak radyoaktif kirlenmeye neden olmuştur

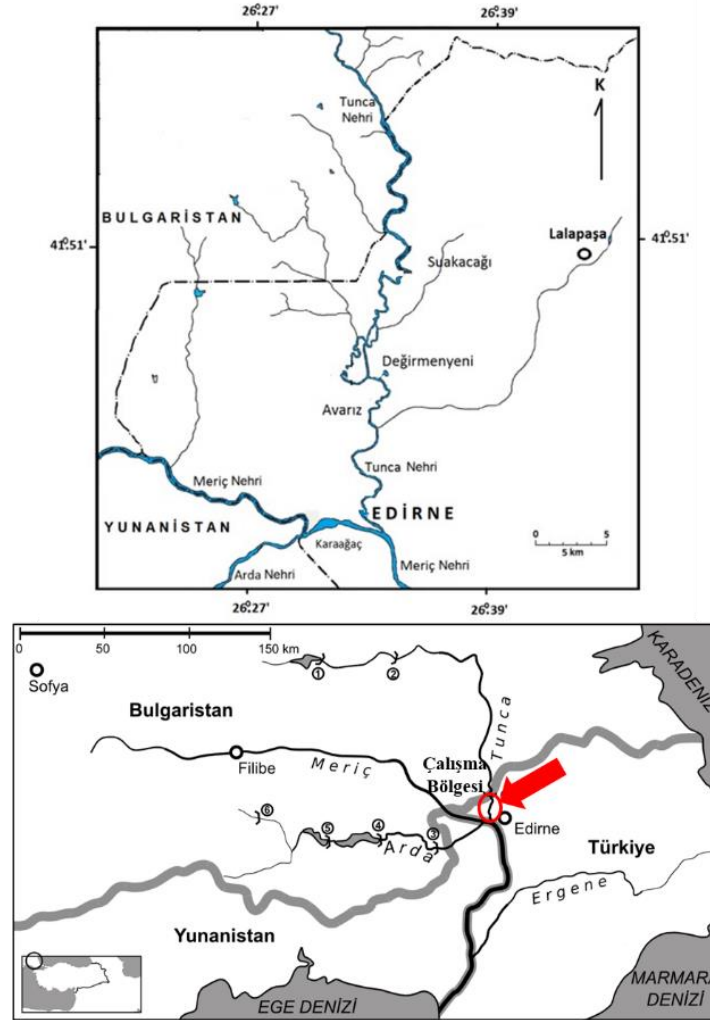
(Çelik ve ark., 2008; Aközcan, 2014) Literatürdeki çalışmalar, Avrupa'nın bir kısmının ve Türkiye'de özellikle Trakya ve Karadeniz Bölgeleri'nin Çernobil nükleer santral kazası nedeniyle  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidi ile kirlenmeye maruz kaldığını göstermektedir (Yablokov ve ark., 2009). Trakya ve Karadeniz Bölgelerinde yapay radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesine ve insan sağlığına etkisinin değerlendirilmesine yönelik sınırlı sayıda kapsamlı çalışma bulunmaktadır (Taşkın ve ark., 2009).  $^{137}\text{Cs}$ , nispeten uzun bir yarı ömre sahip (30.2 yıl) ve güçlü gama ışınları (662 keV) yayan önemli bir nükleer fisyon ürünüdür (Lopez-Perez ve ark., 2021).  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin çevrede dağılımının belirlenmesi, gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturulması ve erozyon süreçlerinde toprağın jeomorfolojik olarak değişimine yönelik çalışmalara katkıda bulunulması için oldukça önemlidir (Evrard ve ark., 2020).  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin toprakta yavaş göç etmesi, özellikle 5 cm derinlikteki toprağın üst katmanından bitki kökleri tarafından daha çok emilimine neden olmakta ve buna bağlı olarak da daha yüksek oranlarda iç ışınlamaya neden olmaktadır. Ayrıca, bir bölgede yaşayan nüfusun maruz kaldığı radyasyon dozunun ve etkilerinin değerlendirilebilmesi için hem yapay hem de doğal radyonüklidlerin o bölgedeki dağılımının belirlenmesi önem arz etmektedir (Jasaitis ve ark., 2020).

Bu çalışmada, Tunca Nehri boyunca (Edirne, Türkiye) toplanan sediment ve toprak örneklerinin doğal ve yapay radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde toplanan örneklerin radyonüklid analizleri HPGe detektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak yapılmıştır. Tunca Nehri bölgesindeki doğal ve yapay radyonüklidlerin olası radyolojik tehlikelerinin değerlendirilmesi ve etkisinin belirlenmesi amacıyla radyolojik parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen radyolojik parametreler ve radyonüklid aktivite konsantrasyonları önerilen değerler açısından değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Toprak ve sediment örnekleri Tunca Nehri (Edirne, Türkiye) bölgesinden çeşitli noktalardan toplanmıştır. Tunca Nehri uzunluğu 350 km olup, nehir Bulgaristan ve Türkiye'ye uzanmaktadır. Bulgaristan'da nehrin büyüklüğü 7780 km<sup>2</sup> kadardır. Türkiye'de ise Yunanistan-Türkiye sınırında yer alan Edirne ili bölgesinde yaklaşık 200 km uzunluğa sahiptir ve Meriç Nehri'ne dökülmektedir (Aytas ve ark., 2012). Tunca Nehri haritası ve çalışma bölgesi Şekil 1'de gösterilmiştir. Tunca Nehri boyunca belirlenen 10 farklı noktadan yaklaşık 0-10 cm derinlikten olacak şekilde toprak ve sediment örnekleri toplanmıştır. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde belirlenen ölçüm noktalarından birer toprak ve sediment örneği toplanmıştır. Örnekler toplandıktan sonra etiketli poşetlerde laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin neminin alınması için 105 °C'de etüvde yaklaşık 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan toprak ve sediment örneklerinde bulunan taş, çöp, ot vb. yabancı cisimler ayıklanarak 2 mm göz genişlikli elekten geçirilmiştir. Ölçülen toprak ve sediment örneklerinin kuru ağırlıkları yaklaşık 300-400 g aralığında tartılmıştır. Örnekler 250 mL'lik polietilen saklama kaplarına hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Örnekler ölçüm öncesinde yaklaşık 4-5 hafta boyunca  $^{226}\text{Ra}$  ve kısa ömürlü bozunma ürünleri arasında radyoaktif dengenin sağlanması için bekletilmiştir (Aközcan, 2014). Çalışmada toprak ve sediment örneklerinin radyonüklid analizleri HPGe koaksiyel detektörlü gama spektrometre sistemi (Ortec GEM 70P4-95 model) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem % 70 relatif verime sahiptir. Enerji ve verimlilik kalibrasyonları için 47-1836 keV enerji aralığındaki  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , ve  $^{60}\text{Co}$  radyonüklidlerini içeren Isotope Product Laboratories'den (Eckert&Ziegler, Berlin, Almanya) temin edilmiş kalibrasyon kaynağı kullanılmıştır. Toprak ve sediment örnekleri 86400 s boyunca sayılmıştır. Spektrumlarda  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$

aktivite konsantrasyonları sırasıyla 911.2 keV ( $^{228}\text{Ac}$ ) ile 583.1 keV ( $^{208}\text{Tl}$ ), 351.9 keV ( $^{214}\text{Pb}$ ) ile 609.3 keV ( $^{214}\text{Bi}$ ), 1460.8 keV ve 661.7 keV değerindeki gama kullanılarak belirlenmiştir. Spektrumların toplanması ve analizi için sırasıyla GammaVision-32 ve Maestro yazılımları kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma Bölgesi ve Tunca Nehri haritası (Özkan, 2019)

Tunca Nehri (Edirne, Türkiye) bölgesinden toplanan toprak ve sediment örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları Eş.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Eş.1'de A, N,  $\epsilon$ , I $\gamma$ , m, t değerleri sırasıyla aktivite (Bq/kg), net pik alanı, dedektör verimi, gama enerjisinin yayınlanma olasılığı, örnek kütlesi (kg) ve sayım süresidir (Özden ve Aközcan, 2021).

$$A = \frac{N}{\epsilon I_{\gamma} m t} \quad (1)$$

Çalışmada toprak ve sediment örneklerinde bulunan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını karşılaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi ( $Ra_{eq}$ ) Eş.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Beretka and Matthew, 1985). Vücut tarafından saatte soğurulan gama doz oranını belirlemek için karasal soğurulan gama doz hızı (D), nGy/h biriminde Eş.3 kullanılarak hesaplanmıştır. Bölgedeki nüfusun bir yıl boyunca maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesi amacıyla yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), Eş.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemden 8760, 0.2 ve 0.7 sırasıyla bir yıl boyunca insanların radyasyona maruz kaldığı süre, meşguliyet faktörü ve havadan soğurulan dozun etkin doza dönüşüm katsayısıdır. Denklemlerde  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$ ,  $C_K$  ve  $C_{Cs}$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır (UNSCEAR, 2000).

$$Ra_{eq}(\text{Bq/kg}) = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad (2)$$

$$D(\text{nGy/h}) = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K + 0.03C_{Cs} \quad (3)$$

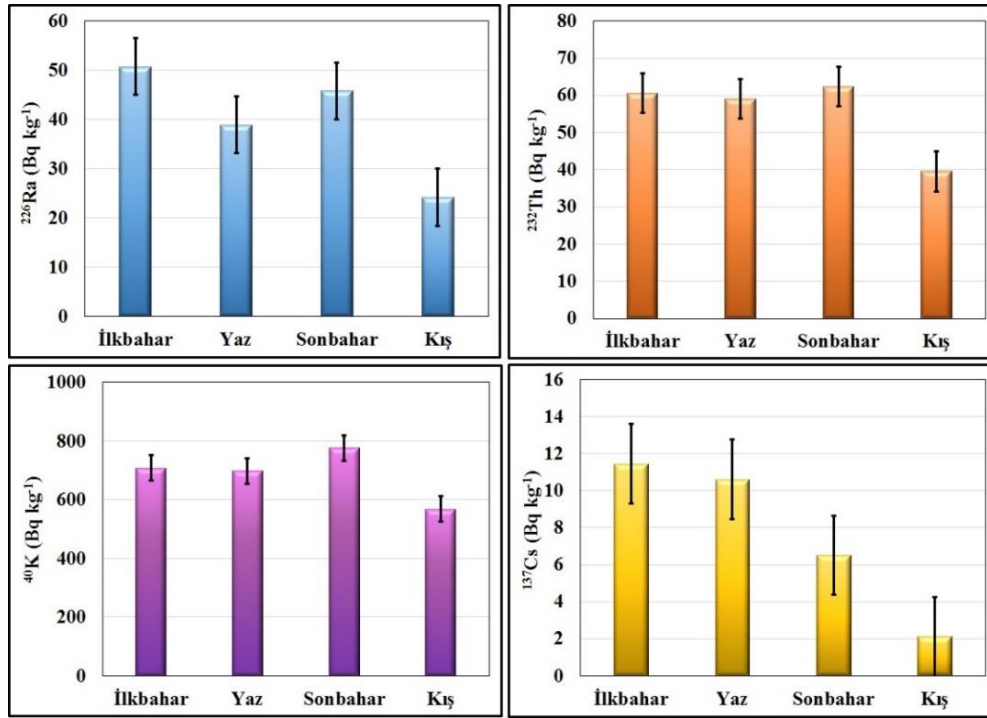
$$AEDE(\mu\text{Sv/y}) = D(\text{nGy/h}) \times 8760(\text{h/y}) \times 0.2 \times 0.7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \quad (5)$$

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Toprak örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel ortalamaları Şekil 2’de gösterilmiştir. Toprak örneklerinin ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu sırasıyla  $50.77 \pm 0.95$  Bq/kg,  $38.93 \pm 0.73$  Bq/kg,  $45.86 \pm 1.25$  Bq/kg ve  $24.20 \pm 0.85$  Bq/kg bulunmuştur. Çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu kış mevsimi hariç UNSCEAR tarafından belirlenen ortalama değerden (35 Bq/kg) daha yüksektir (UNSCEAR, 2000). Toprak örneklerinde ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sırasıyla  $60.65 \pm 0.94$ ,  $59.05 \pm 0.74$ ,  $62.44 \pm 1.49$  ve  $39.55 \pm 0.93$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu tüm mevsimler için UNSCEAR tarafından belirlenen ortalama değerden (30 Bq/kg) daha yüksektir (UNSCEAR, 2000). Toprak örneklerindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu tüm mevsimler için dünya ortalaması olan 400 Bq/kg’den daha yüksektir (UNSCEAR, 2000). Ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu en yüksek sonbahar mevsiminde ( $777.09 \pm 10.51$  Bq/kg) elde edilmiştir. İlkbahar, yaz ve kış mevsimlerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise sırasıyla  $708.76 \pm 7.42$ ,  $698.49 \pm 6.72$  ve  $568.48 \pm 7.84$  Bq/kg bulunmuştur.  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidinin aktivite konsantrasyonu ortalaması ilkbahar için en yüksek değere ( $11.45 \pm 0.63$ ), kış mevsimi için ise en düşük değere ( $2.11 \pm 0.35$ ) sahiptir. Toprak örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidinin gözlenmesi Çernobil nükleer santral kazası sonucu Tunca Nehri bölgesinde serpinti yoluyla radyoaktif kirlenme meydana getirdiğini ve etkisinin hala devam ettiğini göstermektedir. Şekil 2’de de görüldüğü gibi toprak örnekleri için doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları kış mevsiminde en düşük değere sahiptir. Mevsimsel karşılaştırmaların yapıldığı benzer çalışmalarda da toprak örneklerindeki radyoaktif gazların kış aylarında yüzeye daha yakın olduğu ve aktivite konsantrasyonlarının minimum değere sahip olduğu gözlenmiştir. Yağışların azaldığı ve topraktaki su içeriğinin az olduğu yaz aylarında ise aktivite konsantrasyonları daha yüksek değerlere sahiptir (Guagliardi ve ark., 2016).

Tunca Nehri’nden toplanan sediment örneklerinde bulunan doğal ve yapay radyonüklidlerin mevsimsel ortalamaları Şekil 3’teki grafiklerde gösterilmiştir.  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonlarının ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimi için ortalama değerleri sırasıyla  $38.13 \pm 0.70$ ,  $38.72 \pm 0.98$ ,  $37.61 \pm 2.75$  ve  $46.82 \pm 1.13$  Bq/kg olarak elde edilmiştir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimi için ortalama değerleri ise sırasıyla  $45.97 \pm 0.64$ ,  $54.10 \pm 0.69$ ,  $35.63 \pm 1.98$  ve  $51.90 \pm 1.14$  Bq/kg olarak hesaplanmıştır. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sırasıyla  $611.57 \pm 5.81$ ,  $668.08 \pm 8.71$ ,  $584.94 \pm 9.19$  ve  $741.12 \pm 8.08$  Bq/kg bulunmuştur. Elde edilen tüm mevsimsel ortalama doğal radyonüklid ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) aktivite konsantrasyonu değerleri UNSCEAR tarafından belirlenen ortalama değerlerden ( $^{226}\text{Ra}$  için 35 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 30 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 400 Bq/kg) daha yüksektir (UNSCEAR, 2000). Toprak örneklerinde olduğu gibi sediment örneklerinde de  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidinin gözlenmiştir. Ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu en yüksek yaz mevsiminde ( $9.85 \pm 0.33$  Bq/kg), en düşük ilkbahar mevsiminde ( $6.41 \pm 0.20$  Bq/kg) elde edilmiştir.

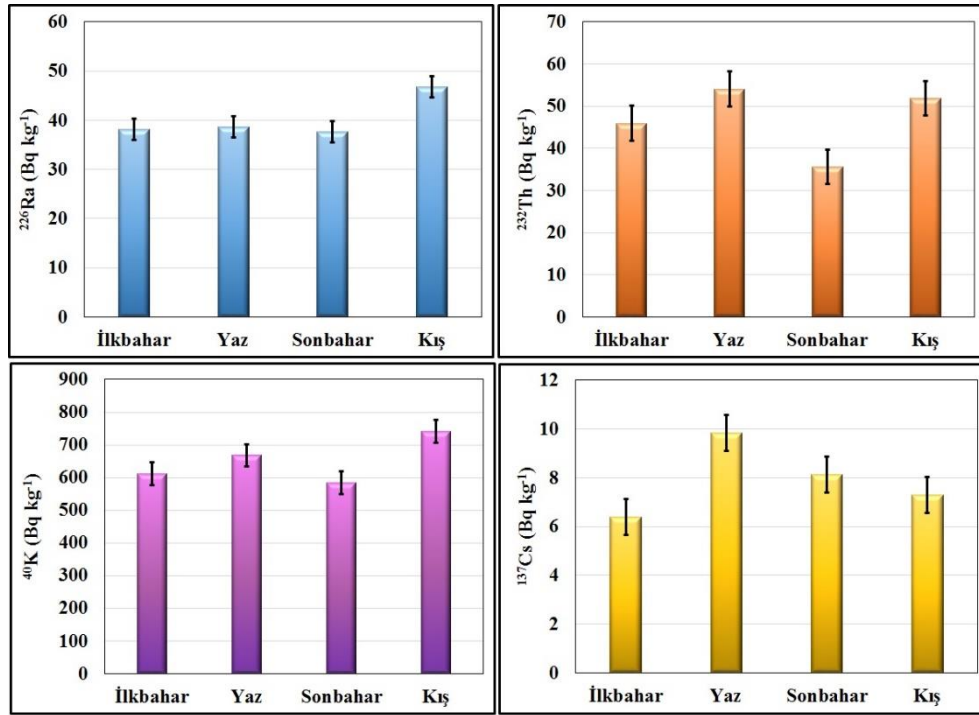


Şekil 2. Tunca Nehri (Edirne, Türkiye) bölgesindeki toprak örneklerinde doğal ve yapay radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonları

Tarım alanlarında makro besin elementlerinin miktarını arttırmak amacıyla yapay gübrelerin, özellikle fosfatlı gübrelerin kullanılması, radyoaktif potasyum, uranyum ve toryum serileri içermesinden dolayı radyoaktiviteyi artırabilmektedir (Alajeeli ve ark., 2019; Azeez ve ark., 2020; Aközcan ve ark., 2021). Tunca Nehri'nin Edirne (Türkiye)'de kalan bölümü içerdiği zengin topraklar ve birçok tatlı su kaynağı nedeniyle oldukça geniş ve verimli tarım arazilerine sahiptir. Nehir etrafı özellikle çeltik tarımının yapıldığı tarım arazileri ile çevrilidir (Güher ve Demir, 2018). Elde edilen doğal radyonüklid ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) aktivite konsantrasyonu değerlerinin dünya ortalamasından yüksek tespit edilmesi bölgede yürütülen bu yoğun tarım faaliyetleri olduğu düşünülmektedir. Toprağın ve kum partiküllerinin su üzerinde taşınabilmesi radyonüklidlerin taşınmasına neden olduğu için su kaynakları radyonüklidlerin taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır (Aközcan ve ark., 2014). Bu nedenle, Bulgaristan'da, özellikle Güneydoğu Bulgaristan'da yürütülen kömür yakıtlı enerji santrali ve uranyum madenciliği faaliyetlerinin Tunca Nehri'nin radyonüklid konsantrasyonlarını arttırdığı düşünülmektedir (Aytas ve ark., 2012).

Toprak ve sediment örneklerinde bu çalışmada elde edilen ortalama aktivite konsantrasyonları literatürdeki diğer çalışmalarla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de karşılaştırılmıştır. Toprak örneklerinde bu çalışmada elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları Bandung (Endonezya), Basra Körfezi (İran), Doğu Kanarya Adaları, Uttar Pradesh (Hindistan), ve Giresun (Türkiye)'de elde edilen ortalama değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada toprak örneklerinde elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Romanya, Doğu Karadeniz (Türkiye), Nevşehir-Kapadokya (Türkiye) ve Bakırçay Nehri (Türkiye)'de bulunan ortalama değerlerden ise daha düşüktür. 2009 yılında Edine (Türkiye)'de yapılan bir çalışmada elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ile bu çalışmadaki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları hemen hemen aynı değerlerdedir.

## Tunca Nehri (Edirne-Türkiye) Kıyı Şeridi Boyunca Sediment ve Topraklardaki Radyoaktivite Seviyelerinin ve İlgili Sağlık Tehlikelerinin Değerlendirilmesi



Şekil 3. Tunca Nehri (Edirne, Türkiye)'nden toplanan sediment örneklerinde doğal ve yapay radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonları

**Çizelge 1.** Toprak örneklerinde bu çalışmadaki ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri ile literatürdeki diğer değerlerle karşılaştırması

Bölge	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	Referans
Bandung (Endonezya)	15.43	32.39	118.10	-	(Chussetijowati ve ark., 2022)
Basra Körfezi (İran)	35	26	395	9	(Abdi ve ark., 2008)
Bangladeş	-	49.96	719.47	7.76	(Rahman ve ark., 2020)
Doğu Kanarya Adaları	25.2	28.9	384.4	-	(Arnedo ve ark., 2017)
Kaduna Nehri (Nijerya)	-	18.76	1168.13	-	(Abdullahi ve ark., 2013)
Romanya	45.9	-	582	6.3	(Margineanu ve ark., 2018)
Umman	29.01	-	290.14	0.82	(Al-Azri ve ark., 2022)
Uttar Pradesh (Hindistan)	30	47	466	0.4	(Kumar ve ark., 2021)
Teksa (ABD)	33.7	-	-	3.7	(Hannan ve ark., 2015)
Boğaziçi, İstanbul (Türkiye)	-	9.55	369.43	4.57	(İsel ve ark., 2023)
Edirne (Türkiye)	39.73	55.85	407.12	8.76	(Zaim ve Atlas, 2016)
Giresun (Türkiye)	33	43	733	318	(Çelik ve ark., 2008)
Bakırçay Nehri (Türkiye)	74.39	30.67	287.98	-	(Saç ve ark., 2012)
Nevşehir-Kapadokya (Türkiye)	66.99	72.54	966.65	-	(Özden ve Aközcan Pehlivanoğlu, 2023)
Tunca Nehri (Türkiye)	39.94	55.42	688.21	7.67	Bu çalışma

Toprak örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu değerleri kıyaslandığında bu çalışmada elde edilen ortalama değer Bandung (Endonezya), Basra Körfezi (İran), Doğu Kanarya Adaları, Romanya, Umman, Uttar Pradesh (Hindistan), Boğaziçi (İstanbul, Türkiye), Bakırçay Nehri (Türkiye) ve Edirne (Türkiye)'den daha yüksektir. Bu çalışmadaki toprak örneklerinde bulunan ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu Umman, Uttar Pradesh (Hindistan), Teksa (ABD) ve Boğaziçi (İstanbul, Türkiye)'de elde edilen ortalama değerden daha yüksek; Basra Körfezi (İran), Doğu Karadeniz (Türkiye), Edirne (Türkiye) ve Giresun (Türkiye)'de elde edilen ortalama değerden daha düşüktür. Bu çalışmada sediment örneklerinde elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları Dukan Barajı (Irak), Güney

Çin Denizi, İran, Namal Gölü (Pakistan), Barents Denizi, Sırbistan, Didim ve İzmir Körfezi (Türkiye)'de bulunan ortalama değerlerden yüksektir.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu değerleri kıyaslandığında ise bu çalışmada elde edilen ortalama değer Dukan Barajı (Irak), Gana, İran, Güney Çin Denizi, Namal Gölü (Pakistan), Barents Denizi, Zambezi Nehri (Namibya), Sırbistan, Boğaziçi (İstanbul, Türkiye), Borçka Karagöl (Türkiye), Didim ve İzmir Körfezi (Türkiye) ile Şavşat Karagöl (Türkiye)'den daha yüksek elde edilmiştir. Sediment örneklerinde bu çalışmada bulunan ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu Dukan Barajı (Irak), İran, Kızıl Irmak (Vietnam), Namal Gölü (Pakistan), Boğaziçi (İstanbul, Türkiye)'de elde edilen ortalama sonuçlardan daha yüksektir. Çalışma bölgesinde toprağın ve sedimentin bölgedeki popülasyonun maruz kaldığı gama radyasyon tehlikelerini değerlendirmek amacıyla radyolojik parametreler hesaplanmıştır. Tunca Nehri (Edirne, Türkiye) bölgesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktivite değerleri, karasal soğurulan gama doz hızı değerleri ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da mevsimlere, toprak ile sediment örneklerine göre karşılaştırılmıştır. Toprak örneklerinde en düşük  $R_{\text{eq}}$  kış mevsiminde 124.52 Bq/kg olarak, en yüksek  $R_{\text{eq}}$  ise sonbahar mevsiminde 194.99 Bq/kg olarak bulunmuştur. Sediment örnekleri için ise  $R_{\text{eq}}$  en düşük sonbahar mevsiminde 133.60 Bq/kg olarak, en yüksek  $R_{\text{eq}}$  kış mevsiminde 178.09 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Toprak ve sediment örneklerinin  $R_{\text{eq}}$  ortalamaları sırasıyla 172.19 Bq/kg ve 157.55 Bq/kg'dir. Toprak ve sediment örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivitelerinin tüm değerleri maksimum kabul edilebilir değer olan 370 Bq/kg'den düşüktür (UNSCEAR, 2000). Toprak ve sediment örnekleri için hesaplanan en düşük D değerleri sırasıyla 58.83 ve 63.53 nGy/h olarak Şekil 5'te de görüldüğü gibi kış ve sonbahar mevsimlerinde elde edilmiştir. Toprak ve sediment örnekleri için en yüksek D değerleri ise sırasıyla sonbahar mevsiminde 91.50 nGy/h ve kış mevsiminde 84.10 nGy/h olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 2.** Sediment örneklerinde bu çalışmadaki ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri ile literatürdeki diğer değerlerle karşılaştırması

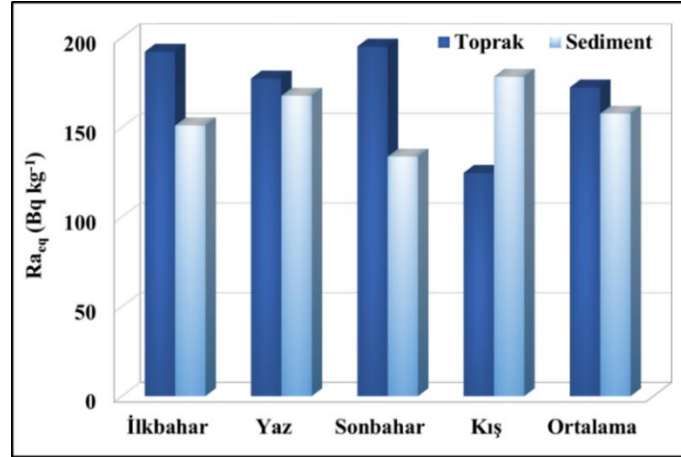
Bölge	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	Referans
Barents Denizi	14.2	21.1	439.1	3.2	(Yakovlev ve Punhkov, 2020)
Dhaka (Bangladeş)	52.22	90.65	870.45	*MDA	(Jahan ve ark., 2016)
Dukan Barajı (Irak)	10.65	3.89	198.05	1.56	(Smail ve ark., 2023)
Gana	43	22	393	8.4	(Akuo-Ko ve ark., 2023)
Güney Çin Denizi	10.07	*MDA	21.44	-	(Al Shaaibi ve ark., 2023)
İran	16.06	21.19	312.37	4.81	(Shahroudi ve Pourimani, 2023)
Kızıl Irmak (Vietnam)	59.6	83.7	685	0.53	(Duong ve ark., 2023)
Namal Gölü (Pakistan)	25.06	1.73	237.26	0.74	(Afzal ve ark., 2022)
Sırbistan	32.97	12.3	531.75	-	(Pelić ve ark., 2023)
Zambezi Nehri (Namibya)	-	15.58	79.17	-	(Amwaalanga ve ark., 2019)
Boğaziçi, İstanbul (Türkiye)	-	6.87	369.61	6.54	(İsel ve ark., 2023)
Borçka Karagöl (Türkiye)	-	13.85	473.67	35.06	(Dizman ve ark., 2022)
Didim ve İzmir Körfezi (Türkiye)	10.41	10.75	422.63	-	(Aközcan, 2012)
Şavşat Karagöl (Türkiye)	-	14.66	442.56	114.12	(Dizman ve ark., 2022)
Tunca Nehri (Türkiye)	40.32	46.90	651.43	7.92	Bu çalışma

\*MDA: Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite

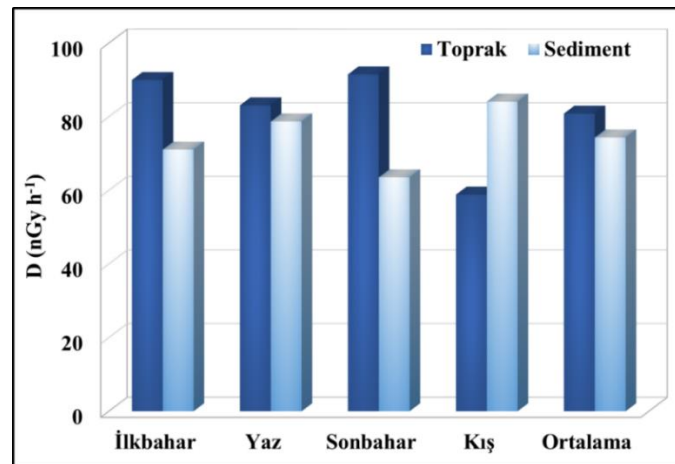
Toprak ve sediment örneklerinin D ortalamaları sırasıyla 80.86 nGy/h ve 74.36 nGy/h'dir. Elde edilen tüm D değerleri dünya ortalaması olan 57 nGy/h değerinin üzerindedir (UNSCEAR, 2000). Mevsimlere göre AEDE değerleri karşılaştırıldığında Tunca Nehri bölgesinden toplanan toprak örneklerinde en yüksek değer sonbahar mevsiminde 112.22  $\mu\text{Sv/y}$  olarak, en düşük değer kış mevsiminde 72.15  $\mu\text{Sv/y}$  olarak elde edilmiştir. Sediment örneklerinde en yüksek AEDE değeri kış mevsiminde (103.14  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük AEDE değeri ilkbahar mevsiminde (87.17  $\mu\text{Sv/y}$ ) bulunmuştur.



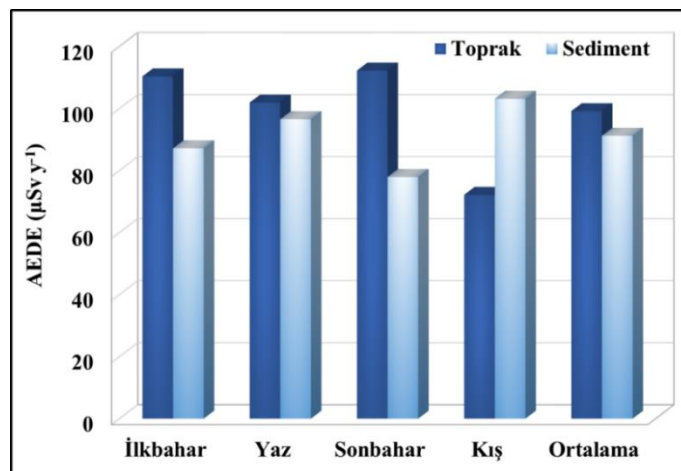
Toprak ve sediment örnekleri için tüm mevsimlerin ortalamaları yaklaşık aynı değere sahiptir ve sırasıyla 99.16  $\mu\text{Sv/y}$  ve 99.19  $\mu\text{Sv/y}$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan AEDE değerleri tüm toprak ve sediment örnekleri için de dünya ortalaması olan 70  $\mu\text{Sv/y}$  değerinden yüksektir (UNSCEAR, 2000).



Şekil 4. Mevsimlere göre radyum eşdeğer aktivite değerleri



Şekil 5. Mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri



Şekil 6. Mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri

Toprak örnekleri için  $H_{ex}$  değerleri ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla 0.52, 0.48, 0.53 ve 0.34 olarak bulunmuştur. Sediment örnekleri için ise  $H_{ex}$  değerleri ilkbahar, yaz, sonbahar

ve kış mevsimlerinde sırasıyla 0.41, 0.45, 0.36 ve 0.48 olarak elde edilmiştir. Toprak ve sediment örnekleri için tüm mevsimlerin ortalamaları sırasıyla 0.47 ve 0.43 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan  $H_{ex}$  değerleri tüm örnekler için dört mevsimde de 1 değerinin altında bulunmuştur. Bu durum, radyasyon zararının önemsiz olduğunu göstermektedir (UNSCEAR, 2000).

## SONUÇ

Tunca Nehri'nin Türkiye'nin Edirne ilinde bulunan uzantısından toplanan toprak ve sediment örneklerinde ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları dünya ortalamasından daha yüksek bulunmuştur. Çalışma bölgesinde yoğun olarak tarım faaliyetleri sürdürüldüğünden, arazilerde uygulanan gübreleme işlemleri doğal radyoaktiviteyi artırıcı bir etmendir. Diğer yandan, Bulgaristan'da Tunca Nehri uzantısına yakın bulunan kömür yakıtlı enerji santrali ve uranyum madenciliği nedeniyle radyonüklidlerin su yoluyla nehrin Türkiye uzantısına taşınmasına yol açmış olabileceği ve bölgede toprak ile sedimentte radyoaktif kontaminasyona neden olabileceği düşünülmektedir. Doğal radyonüklidlere ek olarak; çalışmada yapılan analizlerde hem toprak hem de sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidi gözlenmiştir.  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyonüklidinin varlığı, Çernobil kazasının bu bölgeyi radyoaktif kirlenmeye maruz bıraktığının ve etkisinin hala devam ettiğinin bir göstergesidir. Toprak ve sediment örnekleri için hesaplanan tüm karasal soğurulan gama doz hızı değerleri ve yıllık etkin doz eşdeğerleri dünya ortalamasından daha yüksektir. Hesaplanan dış tehlike indeksleri ise tüm örnekler için 1 değerinin altında bulunmuştur. Zaman içinde çalışma bölgesinde çevresel faktörlerin değişebileceği göz önüne alındığında, bu çalışmadaki verilerin ileride yapılacak araştırmalar için önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Tunca Nehri boyunca kapsamlı toprak, sediment ve nehir suyunda bulunan doğal ve yapay radyonüklidlerin analizlerinin yapılması, nehir boyunca yaşayan nüfusun aldığı doz oranlarının ve sağlığa etkilerinin araştırılması, radyolojik tehlike parametrelerinin belirlenmesi ile bölgede oluşabilecek bir radyoaktif kontaminasyona karşı hazırlıklı olunabileceği düşünülmektedir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Abdi, M. R., Kamali, M., & Vaezifar, S. (2008). Distribution of radioactive pollution of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in northwestern coasts of Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 56(4), 751-757.
- Abdullahi, M. A., Mohammed, S. S., & Iheakanwa, I. A. (2013). Measurement of natural radioactivity in soil along the Bank of River Kaduna–Nigeria. Department of Applied Sciences of Science and Technology Kaduuna polytechnic, Kaduna-NIGERIA.
- Afzal, I., Chaudhary, M. Z., Khan, E. U., Nasir, T., & Yaqoob, N. (2022). Radiological risk assessment in sediment of Namal Lake, Mianwali, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3), 223.
- Agbalagba, E. O., & Onoja, R. A. (2011). Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria. *Journal of environmental radioactivity*, 102(7), 667-671.
- Aközcan, S. (2012). Distribution of natural radionuclide concentrations in sediment samples in Didim and Izmir Bay (Aegean Sea-Turkey). *Journal of Environmental Radioactivity*, 112, 60-63.
- Aközcan, S. (2014). Natural and artificial radioactivity levels and hazards of soils in the Küçük Menderes Basin, Turkey. *Environmental earth sciences*, 71(10), 4611-4614.
- Aközcan, S. (2014). Annual effective dose of naturally occurring radionuclides in soil and sediment. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96(3), 379-386.

- Aközcan, S., Külahcı, F., Günay, O., & Özden, S. (2021). Radiological risk from activity concentrations of natural radionuclides: Cumulative Hazard Index. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 327, 105-122.
- Aközcan, S., Yılmaz, M., & Külahcı, F. (2014). Dose rates and seasonal variations of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299, 95-101.
- Akuo-Ko, E. O., Adelikhah, M., Amponsem, E., Csordás, A., & Kovács, T. (2023). Radiological assessment in beach sediment of coastline, Ghana. *Heliyon*, 9(6).
- Alajeeli A, Elmahroug Y, Mohammed S, Trabelsi A (2019) Determination of natural radioactivity and radiological hazards in soil samples: Alhadba and Abuscabh agriculture projects in Libya. *Environ Earth Sci* 78(6):194
- Al-Azri, H., Al-Riyami, H., Al-Amri, F., Oraba, A. A. B., Al-Subhi, R., & Al-Yahyai, S. (2022). Measuring of natural and artificial radioactivity in Al-Dakhiliya governorate, Sultanate of Oman. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1055, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Al Shaaibi, M., Ali, J., Tsikouras, B., & Masri, Z. (2023). Environmental radioactivity assessment of the Brunei Darussalam coastline of the South China Sea. *Environmental Pollution*, 323, 121288.
- Amwaalanga, M. N., Onjefu, S. A., Zivuku, M., & Hamunyela, R. H. (2019). Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in shore sediments from the Zambezi River, Namibia. 13:75–83.
- Arnedo, M. A., Rubiano, J. G., Alonso, H., Tejera, A., González, A., González, J., ... & Bolivar, J. P. (2017). Mapping natural radioactivity of soils in the eastern Canary Islands. *Journal of environmental radioactivity*, 166, 242-258.
- Aytas, S., Yusan, S., Aslani, M. A., Karali, T., Turkozu, D. A., Gok, C., ... & Oguz, K. F. (2012). Natural radioactivity of riverbank sediments of the Maritza and Tundja Rivers in Turkey. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(13), 2163-2172.
- Azeez, H. H., Mansour, H. H., & Ahmad, S. T. (2020). Effect of Using Chemical Fertilizers on Natural Radioactivity Levels in Agricultural Soil in the Iraqi Kurdistan Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Belyaeva, O., Movsisyan, N., Pyuskyulyan, K., Sahakyan, L., Tepanosyan, G., & Saghatelyan, A. (2021). Yerevan soil radioactivity: Radiological and geochemical assessment. *Chemosphere*, 265, 129173.
- Beretka, J., & Mathew, P. J. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health physics*, 48(1), 87-95.
- Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A., & Kucukomeroglu, B. (2008). Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. *Journal of environmental radioactivity*, 99(8), 1349-1354.
- Chussetijowati, J., Seno, H., & Muliawan, D. (2022). Environmental Radioactivity Concentrations and Assessment of Radiological Hazards in Soil Around Bandung Nuclear Area. *Computational And Experimental Research In Materials And Renewable Energy*, 5(2), 92-104.
- Dizman, S., Akdemir, T., Yeşilkanat, C. M., Nevruzoglu, V., Bal, E., & Keser, R. (2022). Radiometric mapping and radiation dose assessments in sediments from Şavşat Black Lake, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331(6), 2533-2544.
- Dizman, S., Akdemir, T., Yeşilkanat, C. M., Nevruzoglu, V., Bal, E., & Keser, R. (2022). Investigation and mapping of natural and artificial radioactivity in sediment samples from Borçka Black Lake, Artvin-Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-15.
- Duong, V. H., Duong, D. T., Bui, L. V., Kim, T. T., Bui, H. M., Tran, T. D., ... & Nguyen, T. D. (2023). Radiological Hazard Assessment of High-Level Natural Radionuclides in Surface Sediments Along Red River, Vietnam. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1-12.
- El Samad, O., Baydoun, R., Nsouli, B., & Darwish, T. (2013). Determination of natural and artificial radioactivity in soil at North Lebanon province. *Journal of environmental radioactivity*, 125, 36-39.

- Evrard, O., Chaboche, P. A., Ramon, R., Foucher, A., & Laceby, J. P. (2020). A global review of sediment source fingerprinting research incorporating fallout radiocesium ( $^{137}\text{Cs}$ ). *Geomorphology*, 362, 107103.
- Guagliardi, I., Rovella, N., Apollaro, C., Bloise, A., Rosa, R. D., Scarciglia, F., & Buttafuoco, G. (2016). Modelling seasonal variations of natural radioactivity in soils: A case study in southern Italy. *Journal of Earth System Science*, 125, 1569-1578.
- Güher, H., & Demir, Y. (2018). Tunca Nehri'nin (Edirne) Rotifera Faunası ve Kommünite Yapısı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(2), 125-137.
- Hannan, M., Wahid, K., & Nguyen, N. (2015). Assessment of natural and artificial radionuclides in Mission (Texas) surface soils. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 305, 573-582.
- İsel, P., Sahin, L., Hafizoğlu, N., Ganioglu, E., & Mülayim, A. (2023). Natural and artificial radioactive pollution in sediment and soil samples of the Bosphorus, Istanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(27), 70937-70949.
- Isinkaye, M. O., & Emelue, H. U. (2015). Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 459-469.
- Jahan, I., Ali, M. L., Haydar, M. A., Ali, M. I., Paul, D., & Islam, S. M. A. (2016). Distribution of natural and probable artificial radioactivity in the sediment and water samples collected from low-lying areas of Savar industrial zone, Bangladesh. *Journal of Nuclear and Particle Physics*, 6(2), 25-34.
- Jasaitis, D., Klima, V., Pečiulienė, M., Vasiliauskienė, V., & Konstantinova, M. (2020). Comparative assessment of radiation background due to natural and artificial radionuclides in soil in specific areas on the territories of state of Washington (USA) and Lithuania. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-10.
- Kang, T. W., Park, W. P., Han, Y. U., Bong, K. M., & Kim, K. (2020). Natural and artificial radioactivity in volcanic ash soils of Jeju Island, Republic of Korea, and assessment of the radiation hazards: importance of soil properties. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 323, 1113-1124.
- Kibaroglu, A., Klaphake, A., Kramer, A., Scheumann, W., & Carius, A. (2005). Cooperation on Turkey's transboundary waters. Status Report commissioned by the German Federal Ministry for Environment Nature Conservation and Nuclear Safety, F+ E. Project, (903), 19.
- Kumar, D., Gautam, Y., Sharma, A., Kumar, V., Tripathi, A., Kumar, S., ... & Kumar, A. (2021). Distribution of natural and artificial radioactivity concentration in soils of two districts (Ballia and Deoria) of Uttar Pradesh, India. *Radiation Protection & Environment*, 44(2).
- Lopez-Perez, M., Martin-Luis, C., Hernandez, F., Liger, E., Fernandez-Aldecoa, J. C., Lorenzo-Salazar, J. M., ... & Salazar-Carballo, P. A. (2021). Natural and artificial gamma-emitting radionuclides in volcanic soils of the Western Canary Islands. *Journal of Geochemical Exploration*, 229, 106840.
- Margineanu, R. M., Ranca, A., Bolos, P., Gomoiu, M. C., Simion, C., Tobosaru, V., & Blebea-Apostu, A. M. (2018). Natural and artificial radionuclides distribution in soil in Murfatlar area, Dobrogea region, Romania. *Romanian Journal in Physics*, 63(809), 1-10.
- Özden, S., & Aközcan, S. (2021). Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Aliğa Bay, İzmir (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-14.
- Özden, S., & Aközcan Pehlivanoglu S. (2023). Natural and Artificial Radioactivity Concentrations and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Nevşehir (Cappadocia). *International Journal on Applied Physics and Engineering*, 2, 144-151.
- Özkan, N. (2019). Tunca Nehri'nde (Edirne, Türkiye) Trichoptera ve Ephemeroptera (Insecta) Faunasının Farklı Yaprak Paketlerinde Koloni Oluşumlarının İncelenmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 16(3), 423-432.
- Pelić, M., Mihaljev, Ž., Živkov Baloš, M., Popov, N., Gavrilović, A., Jug-Dujaković, J., & Ljubojević Pelić, D. (2023). The Activity of Natural Radionuclides Th-232, Ra-226, K-40, and Na-22, and Anthropogenic Cs-137, in the Water, Sediment, and Common Carp Produced in Purified Wastewater from a Slaughterhouse. *Sustainability*, 15(16), 12352.

- Rahman, R., Rahman, M. M., & Khanam, T. (2020). Corresponding Estimation of Activity Concentration of <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs, and <sup>40</sup>K in soil in Bangladesh. *Journal of Nuclear and Particle Physics*.
- Saç, M. M., Ortabuk, F., Kumru, M. N., Ichedef, M., & Sert, Ş. (2012). Determination of radioactivity and heavy metals of Bakırçay river in Western Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(10), 2494-2499.
- Shahroudi, S. M. M., & Pourimani, R. (2023). Pollution distribution caused by natural and artificial radionuclide in water and sediments of the International Miankaleh Lagoon in north of Iran. *Environmental Advances*, 100413.
- Smail, J. M., Mansour, H. H., & Ahmad, S. T. (2023). Evaluation of radiological hazards in lower zab river sediments. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-17.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., & Karahan, G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of environmental radioactivity*, 100(1), 49-53.
- UNSCEAR (2000). "Sources and biological effects of ionizing radiation," Report to general assembly, with scientific annexes, United Nations, New York.
- Yablokov, A. V., Nesterenko, V. B., & Nesterenko, A. V. (2009). Chapter III. Consequences of the Chernobyl catastrophe for the environment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1181(1), 221-286.
- Yakovlev, E., & Puchkov, A. (2020). Assessment of current natural and anthropogenic radionuclide activity concentrations in the bottom sediments from the Barents Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111571.
- Zaim, N., & Atlas, H. (2016). Assessment of radioactivity levels and radiation hazards using gamma spectrometry in soil samples of Edirne, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 310, 959-967.