

## Birleşik Krallık'ta satışı gerçekleştirilen Brezilya fıındığı ve Türk fıındıklarındaki aktivite konsantrasyonlarının ( $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ ) deneysel olarak belirlenmesi

*An Experimental determination of activity concentrations ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{137}\text{Cs}$ ) in Brazil nut and Turkish hazelnut sold in the United Kingdom*

Kıvanç PEKER\*<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN), 06980, Kahramankazan, Ankara

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 07.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

Bu çalışmanın amacı, gıdalarda bulunan Doğal Olarak Oluşan Radyoaktif Materyaller (NORM) ürünleri ve yapay radyoizotoplara ait aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesidir ve incelenmek üzere gıda ürünlerinden Brezilya fıındığı ile Türk fıındığı seçilmiştir. Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren 4 farklı markadan satın alınan Brezilya fıındığı ve Türk fıındığı ürünlerindeki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları, gama-ışınlarının sayımını gerçekleştiren yüksek saflıktaki germanyum dedektörü (HPGe) ile belirlendi. Etik olarak, tüm markalar A, B, C ve D olarak kodlandı. Brezilya fıındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralıklarında iken, Türk fıındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları tespit edilebilen en düşük aktivitenin (MDA) altında kalmıştır. Tüm numuneler içinde, en baskın radyoaktivite kaynağı ise  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aktivite aralığındaki  $^{40}\text{K}$  olup, sadece D ve A markalarından satın alınan Türk fıındığı numunelerinde sırasıyla  $1.1 \pm 0.2$  ve  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg aktivitelere sahip  $^{137}\text{Cs}$  tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Brezilya fıındığı, HPGe, NORM, Radyoaktivite, Türk fıındığı

### Abstract

The aim of this study was to determine activity concentrations of Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) products and artificial radioisotopes in foods, and Brazil nut and Turkish hazelnut were selected from food products to be examined. The activity concentrations of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  radioisotopes in Brazil nut and Turkish hazelnut products purchased from 4 different brands operating in the UK were determined by a high purity germanium detector (HPGe) that performs gamma-ray counting. Ethically; all brands were encoded as A, B, C, and D. Activity concentrations of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in Brazil nut samples were found to lie in the range of  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg and  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg, respectively, whereas the activity concentrations of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in Turkish hazelnut samples were below minimum detectable activity (MDA) values. In all samples, the most dominant sources of radioactivity were  $^{40}\text{K}$  in range of  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg, and very low activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  were detected only in Turkish hazelnut samples purchased from D and A brands as  $1.1 \pm 0.2$  and  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg, respectively.

**Keywords:** Brazil nut, HPGe, NORM, Radioactivity, Turkish hazelnut

\*Kıvanç PEKER; kivanc.peker@tenmak.gov.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller (naturally occurring radioactive materials (NORM)); kozmolojik ve çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Kozmolojik radyonüklitler atmosferdeki oksijen ve nitrojen moleküllerinin yüksek enerjili kozmik ışınlarla bombardıman edilmesi sonucu oluşurken, çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler neredeyse evrenin ve dünyanın yaratılışından bu yana var olmaktadır. Çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler toprak, su, gıda ve hava gibi çok geniş çevrelerde bulunmaktadır ve bu radyonüklitlere  $^{238}\text{U}$  (yarı ömür:  $4.47 \times 10^9$  yıl),  $^{232}\text{Th}$  (yarı ömür:  $1.41 \times 10^{10}$  yıl) ve  $^{40}\text{K}$  (yarı ömür:  $1.28 \times 10^9$  yıl) gibi radyonüklitler örnek olarak verilebilir (Malain vd., 2012; Kathren, 1998; Kurnaz vd., 2011a, 2011b; Kurnaz vd., 2007). Günlük hayatta maruz kalınan radyasyonun %85'i doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerden kaynaklanmaktadır ve bunun da çoğu doğal ortamda bulunan  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklitlerine ait bozunma zincirlerinden ve bozunma zincirine sahip olmayan  $^{40}\text{K}$  radyoizotopundan meydana gelmektedir (Alazemi vd., 2016; O'Brien & Cooper, 1998). Doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerin dışında  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{239}\text{Pu}$  gibi radyonüklitler de nükleer deneyler ve yaşanan kazalar sonucu oluşmaktadır ve bu sebepten ötürü yapay radyonüklitler olarak tanımlanmaktadır (Grdovic vd., 2010). Doğadaki radyonüklitlerin insani faaliyetler sonucu derişimlerinin artması durumunda bu radyonüklitler teknolojik olarak artırılmış radyoaktif materyaller (technologically enhanced radioactive materials (TENORM)) olarak adlandırılmaktadırlar. Bu insani faaliyetlere petrol ve doğal gaz arama çalışmaları örnek verilebilir (MacIntosh vd., 2021).

Çevre ve insan sağlığının güvenliği açısından NORM ve TENORM ürünlerinin düzenli olarak incelenmesi gerekmektedir. Özellikle NORM ürünlerinin gıdalarda bulunması sebebiyle gıda güvenliğinin sağlanabilmesi adına gıda örneklerine dair radyasyon ölçümlerinin yapılması önem arz etmektedir ve çerezler günlük beslenme alışkanlıklarının önemli bir bileşenidir. Bu nedenle, Birleşik Krallık'ta satışı gerçekleştirilen Brezilya fındığı ile Türk fındığı numunelerinin analiz edilmesi fikri ortaya çıkmıştır. Brezilya fındığı, Brezilya, Peru ve Bolivya ülkeleri sınırları arasında kalan Güney Batı Amazon bölgesinde yetişmekte olup bölge halkı için önemli bir geçim kaynağıdır (Kluczkowski vd., 2015) ve bu ülkeler sırasıyla 42, 49 ve 163 milyon dolarlık Brezilya fındığı ihraç etmektedirler (OEC, 2022). Türk fındığı ise Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Karadeniz Bölgesi'nde yetişmektedir. Senelik hasat edilen fındık miktarı yaklaşık 500 bin ton olup bu miktarın çoğu ihraç edilmektedir (Cevik vd., 2009). 2020-2021 fındık sezonunda Türkiye'de 665 bin ton fındık hasat edilirken 624 bin ton fındık ihraç edilmiştir (TEPGE, 2022).

Bu çalışmanın amacı, Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren farklı markalardan satın alınan Brezilya fındığı ile Türk fındığı örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite miktarlarının tespit edilmesidir.

## 2. Analitik yöntem

### 2. Analytical method

Toprakta, suda, gıdada, atmosferde ve evrenin herhangi bir yerinde sıklıkla rastlanılan ve doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller (en bilinenleri  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ile yapay radyoaktif izotoplar arasında gösterilen  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopuna ait aktivite konsantrasyonlarını belirleme çalışmaları gama ışınlarının sayımını gerçekleştiren yüksek saflıktaki germanyum dedektörü (High Purity Germanium Detector, HPGe) ile kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen bu çalışmada da HPGe dedektörü ve dedektörün geometrisi ile uyumlu olan Marinelli kapları kullanıldı. Analiz edilmek üzere gıda ürünlerinden Brezilya fındığı ile Türk fındığı numuneleri seçildi. Brezilya fındığı ve Türk fındığı numuneleri öğütülerek 550 mL hacimli Marinelli kaplarına konuldu ve numunelerdeki radyoizotopların aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi adına HPGe dedektörüne yerleştirildi. Ölçümler, 48 saat boyunca devam etti ve numunelere ait spektrumlar aktivite konsantrasyonlarının hesaplanabilmesi adına kullanıldı.

### 2.1. Örneklerin seçilmesi ve hazırlanması

#### 2.1. Selection and preparation of samples

Brezilya fındığı ve Türk fındığı numuneleri Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren 4 farklı markadan satın alındı. Ticari anlamda etik olması adına tüm markalar A, B, C ve D olarak kodlandı. Brezilya fındığı numuneleri A, B ve C markalarından, Türk fındığı numuneleri ise D, A ve B markalarından birer tane olacak şekilde satın alındı. Numunelerin, HPGe dedektöründe 550 mL hacimli Marinelli kapları kullanılarak analiz edilebilmesi

adına numuneler öncelikle Surrey Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan örnek hazırlama laboratuvarında blender kullanılarak öğütüldü ve ardından her bir Marinelli kabı  $243.0 \pm 0.1$  gram numune içerecek şekilde dolduruldu. Kapların ağızları kapatıldıktan sonra hava giriş çıkışının önlenmesi adına tüm kapların kapakları bantlanmak suretiyle mühürlendi. Örneklerin hangi markalardan satın alındıklarına, menşelerine, mühürlenme tarihlerine ve ağırlıklarına dair bilgiler Tablo 1’de verildi.

**Tablo 1.** Numunelere ait bilgiler

**Table 1.** Information about samples

Örnek no	Örnek türü - marka	Menşei	Mühürlenme tarihi (gg.aa.yyyy)	Kütle (g)
1	Brezilya fıındığı – A	Bolivya	28.06.2022	$243.0 \pm 0.1$
2	Brezilya fıındığı - B	Bolivya	30.06.2022	$243.0 \pm 0.1$
3	Brezilya fıındığı – C	Brezilya	11.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
4	Türk fıındığı – D	Türkiye	13.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
5	Türk fıındığı – A	Türkiye	20.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
6	Türk fıındığı – B	Türkiye	22.07.2022	$243.0 \pm 0.1$

## 2.2. HPGe dedektörünün kalibrasyonu

### 2.2.. HPGe detector calibration

Analizlerde Birleşik Krallık’taki Surrey Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan ve Ortec MAESTRO Multichannel Anlyser Emulation Software programı ile çalışan HPGe dedektörü kullanıldı. Dedektöre ait özellikler şu şekildedir: Dedektör Modeli: GCW2021; Detektör Tipi: Coaxial; Çap ve Uzunluk: 62 mm, 48 mm; Aktif Alan:  $11.6 \text{ cm}^2$ ; ve Pencereden Uzaklık: 10 mm. Dedektörün kalibrasyonu ise dedektörün geometrisi ile uyumlu 550 mL Marinelli kaplarının içinde yer alan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{152}\text{Eu}$  radyoaktif standart kaynakları temin edilerek gerçekleştirildi. Her bir standart radyoaktif kaynak 24 saat süreyle dedektörde analiz edilerek dedektörün kalibrasyonu tamamlandı. Ra-226, Th-232 ve Eu-152 radyoaktif standart kaynaklarının başlangıç aktiviteleri sırasıyla 3100 Bq/kg (24.02.2009), 1080 Bq/kg (01.02.2009) ve 3020 Bq/kg (24.02.2009) olup, deneylerin gerçekleştirildiği tarihlerdeki aktiviteleri ise yine sırasıyla 3082 Bq/kg (18.06.2023), 1080 Bq/kg (21.06.2023) ve 1520 Bq/kg (16.06.2023) şeklindedir. Radyoaktif standart kaynaklarının güncel aktiviteleri ise 1 numaralı denklem kullanılarak belirlenmiş ve görselleri Şekil 1’de paylaşılmıştır.

$$A = \frac{A_0}{2^{t/t_{1/2}}} \quad (1)$$

$A_0$ = Radyoaktif standart kaynağın başlangıç tarihindeki aktivitesi,

$A$ =Radyoaktif standart kaynağın kalibrasyon amacıyla kullanıldığı tarihteki güncel aktivitesi

$t$ = Radyoaktif standart kaynağın bilinen aktivite tarihi ile kalibrasyon için kullanıldığı tarih arasındaki geçen süre (yıl)

$t_{1/2}$ =Radyoizotopun yarılanma süresi



**Şekil 1.** HPGe dedektörünün kalibrasyonu için kullanılan radyoaktif standart kaynakları ((A) Ra-226, (B) Th-232 ve (C) Eu-152 radyoaktif standart kaynakları)

**Figure 1.** Radioactive standard sources used for calibration of the HPGe detector ((A) Ra-226, (B) Th-232 and (C) Eu-152 radioactive standard sources)

### 2.3. Aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması

#### 2.3. Calculation of activity concentrations

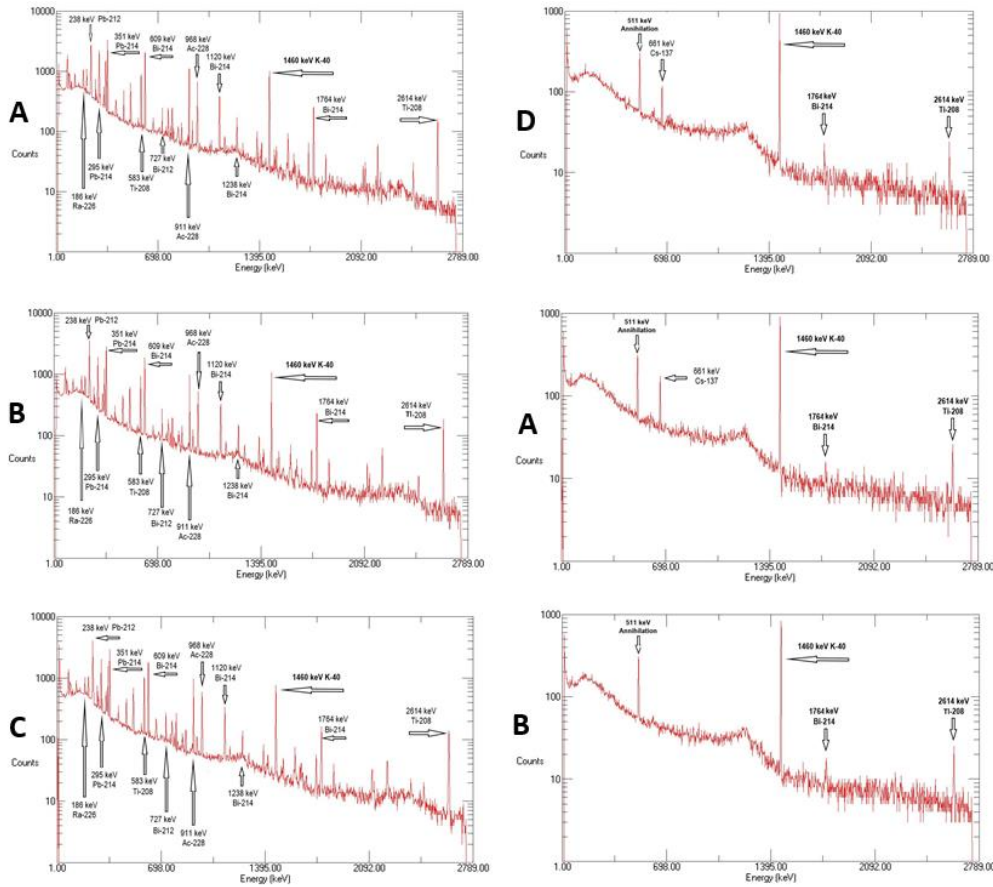
Numunelerin analizlerine geçilmeden önce 48 saat (172800 saniye) süresince ortam ölçümleri gerçekleştirildi. Ortam ölçümlerinde  $^{40}\text{K}$  (1460 keV),  $^{238}\text{U}$  serisinden kaynaklanan  $^{214}\text{Bi}$  (1764 keV) ve  $^{232}\text{Th}$  serisinden kaynaklanan  $^{208}\text{Tl}$  (2614 keV) tespit edilmiştir. Ortam ölçümlerinde saptanan radyoizotoplara ait piklerdeki sayım değerleri, aynı radyoizotopların numunelerdeki ölçümlerinde sahip oldukları sayım değerlerinden çıkarılmıştır. Böylece, ortamın ölçümler üzerine etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Dedektörün tespit edebileceği en düşük aktivite (Minimum Detectable Activity) 2 numaralı denklem kullanılarak belirlenmiştir (Malain vd, 2010).  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopları için MDA değerleri sırasıyla 0.56 Bq/kg, 0.59 Bq/kg ve 1.04 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{4.653 \sigma_{NB} + 2.706}{\epsilon P_{\gamma} T} \quad (2)$$

$\sigma_{NB}$ ; standart sapma,  $\epsilon$ ; verim,  $P_{\gamma}$ ; bolluk,  $T$ ; analiz süresi (saniye).

Ortam ölçümlerinin ardından Brezilya fıındığı ile Türk fıındığı numuneleri 48 saat süresince HPGe dedektöründe analiz edildi. Örneklerin  $^{238}\text{U}$  aktivitelerini belirlemek için  $^{226}\text{Ra}$  (186.11 keV),  $^{214}\text{Pb}$  (241.99, 295.99 ve 351.93 keV) ve  $^{214}\text{Bi}$  (609.32, 768.36, 934.06, 1120.29, 1238.11 ve 1764.49 keV) radyoizotoplarına ait net sayım değerleri kullanıldı. Benzer şekilde,  $^{232}\text{Th}$  aktivitelerinin belirlenebilmesi için  $^{212}\text{Pb}$  (238.62 ve 300.08 keV),  $^{228}\text{Ac}$  (338.32, 911.20 ve 968.97 keV),  $^{208}\text{Tl}$  (583.19 ve 2614.53 keV) ve  $^{212}\text{Bi}$  (727.33 keV) radyoizotoplarına ait net sayım değerleri kullanıldı. 661 ve 1460 keV'deki net sayım değerleri ise sırasıyla  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının aktivitelerini hesaplamak için kullanıldı (Malain vd., 2010; Santawamaitre vd., 2014).



**Şekil 2.** Brezilya fıındığı (sol sütun: üstten aşağı A, B ve C markalarına ait spektrumlar) ve Türk fıındığındaki (sağ sütun: üstten aşağı D, A ve B markalarına ait spektrumlar) radyoizotoplara ait pikler

**Figure 2.** Peaks of radioisotopes in Brazil nut (left column: spectra of brands A, B, and C from top to bottom) and Turkish hazelnut (right column: spectra of brands D, A and B from top to bottom)

Numunelere ait spektrumlar Şekil 2’de verildi. Radyoizotoplara ait aktivite konsantrasyonlarının hesaplanmalarında öncelikle radyoizotoplara ait olan pikler incelendi ve alanları (ROI) belirlendi. Bu pik alanlarındaki toplam sayım değerleri kullanılarak 3 numaralı denklem vasıtasıyla aktivite sonuçları Bq/kg olarak hesaplandı (Cevik vd., 2009; Çelik vd., 2009; Malain vd., 2010; Alazemi vd., 2016; Gurgun vd., 2019).

$$A = \frac{C_n}{\varepsilon_f P_\gamma t_s m} \quad (3)$$

$C_n$ ; net sayım (ortamdan gelen sayımlar çıkarıldı),  $\varepsilon_f$ ; verim,  $P_\gamma$ ; bolluk,  $t_s$ ; analiz süresi (saniye),  $m$ ; numune kütlesi (kg).

### 3. Analiz sonuçları ve tartışmalar

#### 3. Analysis results and discussions

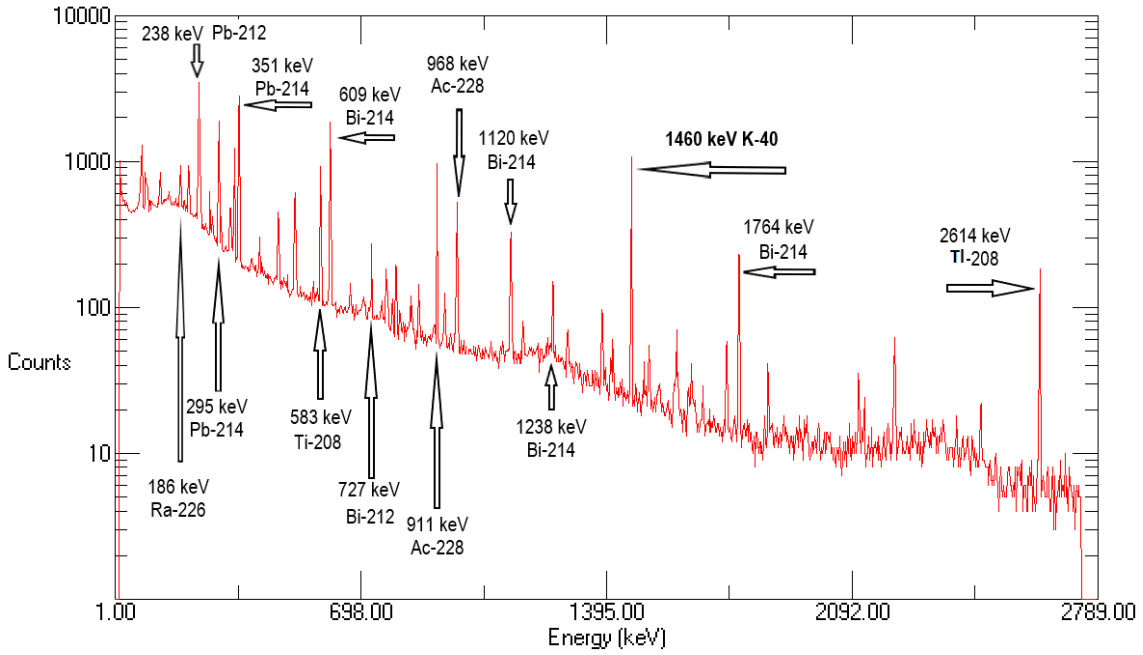
Brezilya findığı ve Türk findığı ürünlerinden farklı markalardan satın alınan numuneler analiz edildi (Brezilya findığı 3 adet (A, B, C markaları), Türk findığı 3 adet (A, B, D markaları)). Brezilya findığı numunelerine ait  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralığında bulunurken Türk findığı numunelerinin  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları dedektör için saptanabilen en düşük aktivite (minimum detectable activity, MDA) değerlerinin altında kaldığı belirlendi. Numunelerin  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları değerlendirildiğinde en yüksek  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine C markasından satın alınan Brezilya findığında rastlandı. Brezilya findığı ve Türk findığı numunelerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının ise  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında değiştiği, en düşük  $^{40}\text{K}$  aktivitesine ( $220.0 \pm 3.4$  Bq/kg) A markasından satın alınan Brezilya findığı numunesi sahipken en yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivitesine ( $242.0 \pm 3.4$  Bq/kg) ise D markasından temin edilen Türk findığı numunesinin sahip olduğu tespit edildi. Tüm numuneler arasında ise sadece D ve A markalarından satın alınan Türk findığı numunelerinde 1986 senesinde yaşanan Çernobil faciasıyla ilişkilendirilebilen  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun varlığı tespit edilirken, numunelere ait  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $1.1 \pm 0.2$  ve  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg olarak ölçüldü. Numunelere ait aktivite konsantrasyonu bilgileri Tablo 2’de paylaşıldı. Analiz sonuçlarından anlaşıldığı üzere incelenen Brezilya findığı numunelerine ait doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) kaynaklı radyasyon Türk findığı numunelerine ait doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller kaynaklı radyasyondan daha yüksektir.

**Tablo 2.** Numunelerin aktivite konsantrasyonları sonuçları (Bq/kg)

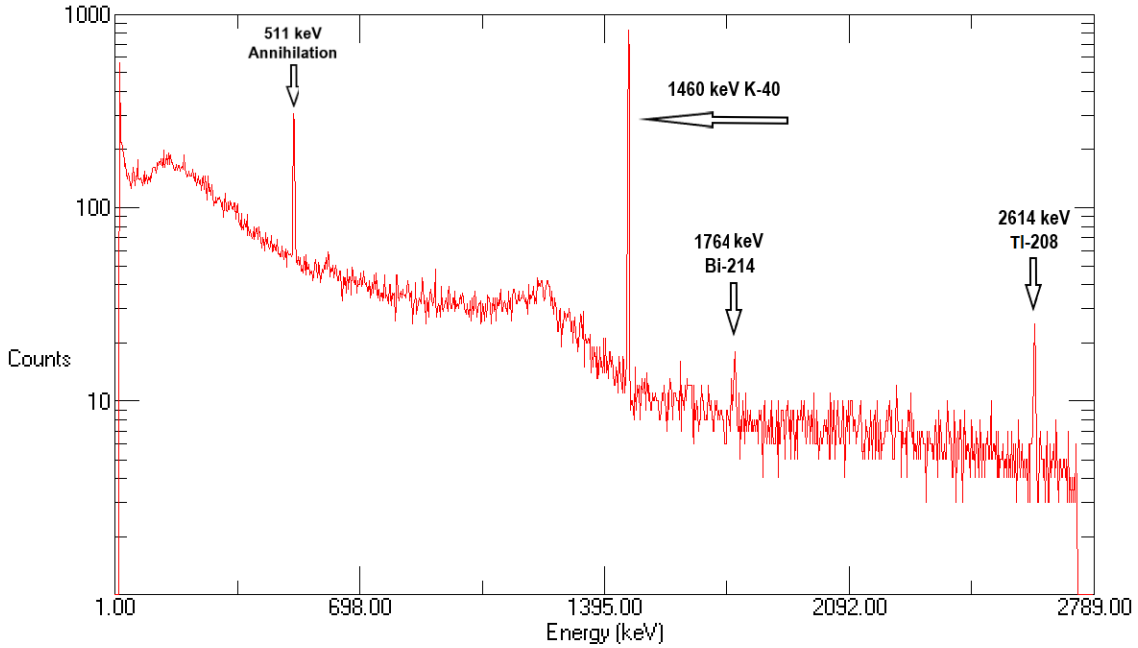
**Table 2.** Activity concentrations results (Bq/kg) of samples

Örnek no	Çerez türü - markası	Aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)			$^{137}\text{Cs}$
		$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	
1	Brezilya findığı - A	$34.2 \pm 0.4$	$19.0 \pm 0.3$	$220.0 \pm 3.4$	-
2	Brezilya findığı - B	$33.9 \pm 0.4$	$22.4 \pm 0.3$	$237.0 \pm 3.4$	-
3	Brezilya findığı - C	$35.5 \pm 0.4$	$31.3 \pm 0.4$	$239.0 \pm 3.7$	-
4	Türk findığı - D	<MDA	<MDA	$242.0 \pm 3.4$	$1.1 \pm 0.2$
5	Türk findığı - A	<MDA	<MDA	$227.0 \pm 3.2$	$1.8 \pm 0.1$
6	Türk findığı - B	<MDA	<MDA	$234.0 \pm 3.3$	-

B markasından satın alınan Brezilya findığı ve Türk findığı numunelerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verildi: Türk findığı numunelerinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif bozunma zincirlerine ait pikler bulunmaması sebebiyle Türk findığı numunelerine ait spektrumların Brezilya findığı numunelerine ait olan spektrumlara göre oldukça sade olduğu gözlemlendi.

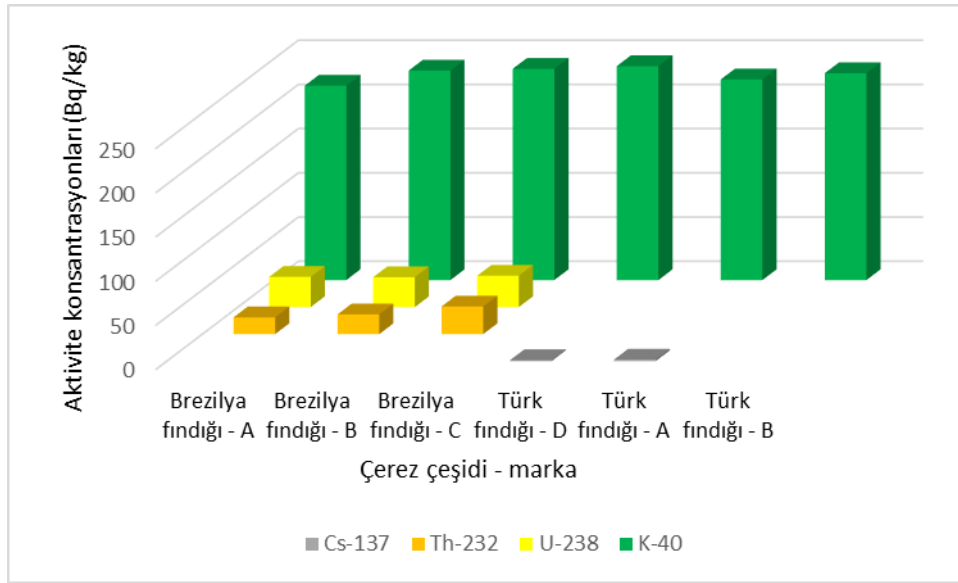


**Şekil 3.** Brezilya fındığı numunesine ait olan spektrum (B Marka)  
**Figure 3.** Spectrum belonging to the Brazil nut sample (Brand B)



**Şekil 4.** Türk fındığı numunesine ait olan spektrum (B Marka)  
**Figure 4.** Spectrum belonging to the Turkish hazelnut sample (Brand B)

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarına ait aktivite sonuçları değerlendirildiğinde en baskın radyoaktivite kaynağının  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında aktivite gösteren  $^{40}\text{K}$  olduğu anlaşıldı ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopunun baskınlığının daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmesi adına aktivite konsantrasyonları üç boyutlu sütun grafiği kullanılarak Şekil 5'te verildi.



**Şekil 5:**  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite sonuçlarının çubuk grafiğinde karşılaştırılması  
**Figure 5.** Comparison of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity results in bar graph

### 3.1. Gerçekleştirilen çalışma ile literatürdeki diğer çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi

#### 3.1. Assessment of current study and literature results

Gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile literatürdeki diğer çalışmalara ait sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, mevcut çalışmada analiz edilen Türk fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoizotoplarına ait aktivite konsantrasyonlarının kullanılan dedektör için tespit edilebilen en düşük aktivite konsantrasyonlarının altında olduğu ve Türk fındığı ile gerçekleştirilen diğer çalışma sonuçlarında ise  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla  $5 \leftrightarrow 7$  (ortalama) ile  $8 \leftrightarrow 12$  (ortalama) Bq/kg (Çevik vd., 2009) aralıklarında olduğu tespit edilmiştir. Türk fındığına ait  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışmalarda  $83 \leftrightarrow 137$  (ortalama) Bq/kg ve mevcut çalışmada  $227 \leftrightarrow 242$  Bq/kg olması sebebiyle, mevcut çalışmada tespit edilen  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışma sonuçlarından bir miktar yüksek olduğu belirlendi. Türk fındığı numunelerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının hem mevcut çalışmada hem de literatürdeki diğer çalışmalardaki sonuçlarla hemen hemen aynı olduğu gözlemlendi (ortalama  $1 \leftrightarrow 2$  Bq/kg aralığında).

Literatürdeki diğer çalışmalarda Brezilya fındığı numunelerinde  $1 \leftrightarrow 13$  Bq/kg aralığında  $^{137}\text{Cs}$  varlığı bildirilirken (Armelin, 2016), mevcut çalışmada Brezilya fındığı numunelerinde  $^{137}\text{Cs}$  tespit edilemedi.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları sonuçlarının ise genel itibari ile literatürdeki aktivite konsantrasyonlarının sahip olduğu aralık içerisinde yer aldığı tespit edildi. Mevcut çalışmaya ait özet sonuçlar ile literatürdeki diğer çalışmalara ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerin sebep olduğu radyoaktivitenin ölçülmesinin önemli olduğu kadar nükleer deneyler, kazalar sonucu yeryüzüne ve atmosfere karışan yapay radyonüklitlerin de incelenmesi oldukça önemlidir. Hele ki Türkiye'nin nükleer programını yeniden açtığını ilan etmesinin ardından (Peker, 2019; Kaygusuz & Avcı, 2021) nükleer enerji santrallerinin inşaa edilme süreçlerinin başlatılmasıyla Türkiye için yapay radyonüklitlerin sürekli olarak incelenmesi çok daha fazla önem arz etmeye başlamıştır.

## 4. Sonuç

### 4. Conclusion

Tüm numuneler içinde, en baskın radyoaktivite kaynağı  $^{40}\text{K}$ 'tır ve aktivite konsantrasyonları  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında değişmektedir. Brezilya fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralıklarında iken, Türk fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları tespit edilebilen en düşük aktivitenin (MDA) altında kalmıştır. Türk fındığı numunelerinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif bozunma serilerine ait pikler bulunmaması sebebiyle spektrumlarının Brezilya fındığı numunelerine ait spektrumlardan çok daha sade olduğu belirlendi.

**Tablo 3.** Mevcut çalışma ile literatürdeki diğer çalışmalara ait Brezilya fındığı ve Türk fındığı numunelerinin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

**Table 3.** Activity concentrations (Bq/kg) of Brazil nut and Turkish hazelnut samples from the Current Study and other studies in the literature

Çerez türü	Menşei	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	Referanslar
Türk fındığı	Türkiye	<MDA	<MDA	227.0 ± 3.2 ↔ 242.0 ± 3.4	1.1 ± 0.2 ↔ 1.8 ± 0.1	mevcut çalışma
Türk fındığı	Türkiye	5↔7 (ortalama)	8↔12 (ortalama)	83↔137 (ortalama)	1↔2 (ortalama)	Cevik (2009)
Brezilya fındığı	Brezilya ve Bolivya	33.9 ± 0.4 ↔ 35.5 ± 0.4	19.0 ± 0.3 ↔ 31.3 ± 0.4	220.0 ± 3.4 ↔ 239.0 ± 3.7	<MDA	mevcut çalışma
Brezilya fındığı	Brezilya	24	26	195		Garcez (2019)
Brezilya fındığı	Brezilya - 2010-2013 dönemi ürünleri	26↔65	57↔235	189↔275	1↔13	Armelin (2016)

Yapay radyoaktivitenin bir göstergesi olan <sup>137</sup>Cs ise sadece D ve A markalarından satın alınan Türk fındığı numunelerinde tespit edilmiştir ve aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1.1 ± 0.2 ve 1.8 ± 0.1 Bq/kg'dır. Hem doğal ve hem de yapay radyoaktivite kaynaklarının gözlem altında tutulmasının önemli olması ve özellikle de Türkiye'nin nükleer enerji santrali inşaa etmesi sebebiyle bu dönemlerde çevresel radyoaktivitenin sürekli olarak izlenmesi oldukça önemlidir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Yazar, YLSY programı kapsamında sağlamış olduğu burs sebebiyle Milli Eğitim Bakanlığına ve çalışanlarına, Birleşik Krallık'taki Surrey Üniversitesi Fizik Bölümü Çevresel Radyoaktivite Laboratuvarı imkanlarının kullanılmasına olanak sağlayan Surrey Üniversitesi yöneticilerine, deneyler sırasında radyoaktivite konularında sağlamış olduğu akademik danışmanlık sebebiyle Surrey Üniversitesi akademik personellerinden Prof. Patrick H. REGAN'a, enerji alanındaki uzmanlık bilgilerini sonuna dek paylaşan ve akademik anlamda yardımlarını eksik etmeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Kamil KAYGUSUZ'a, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında katkıda bulunan editörlere ve hakemlere teşekkür eder.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Kıvanç PEKER: Literatür taraması, deney materyallerinin temin edilmesi ve deneylere hazırlanması, HPGc dedektörünün kullanılması, analiz sonuçlarının yorumlanması

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.



**Kaynaklar***References*

- Alazemi, N., Bajoga, A., Bradley, D., Regan, P., & Shams, H. (2016). Soil radioactivity levels, radiological maps and risk assessment for the State of Kuwait. *Chemosphere*, 154, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.057>
- Armelin, M. J. (2016). Activity levels of gamma-emitters in Brazil nuts. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 4(1). <https://doi.org/10.15392/bjrs.v4i1.200>
- Bajoga, A., Alazemi, N., Regan, P., & Bradley, D. (2015). Radioactive investigation of NORM samples from southern Kuwait soil using high-resolution gamma-ray spectroscopy. *Radiation Physics and Chemistry*, 116, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.01.041>
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A., & Koz, B. (2009). Natural and artificial radioactivity measurements in eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.017>
- Cevik, U., Celik, N., Celik, A., Damla, N., & Coskuncelebi, K. (2009). Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the eastern Black Sea region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47(9), 2351-2355. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.06.029>
- Garcez, R. W., Lopes, J. M., Figueiras, R. A., & Silva, A. X. (2019). Study of K-40, Ra-226, Ra-228 and Ra-224 activity concentrations in some seasoning and nuts obtained in Rio de Janeiro city, Brazil. *Food Science and Technology*, 39(1), 120-126. <https://doi.org/10.1590/fst.27717>
- Grdovic, S., Vitorovic, G., Mitrovic, B., Andric, V., Petrujkic, B., & Obradovic, M. (2010). Natural and anthropogenic radioactivity of feedstuffs, mosses and soil in the Belgrade environment, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 62(2), 301-307. <https://doi.org/10.2298/abs1002301g>
- Gurgen, A., Yıldız, S., Cevik, U. & Celik, A. (2019). Radionuclide activity concentrations of agaricus bisporus and pleurotus ostreatus mushrooms cultivated in different commercial companies. *Journal of International Environmental Application and Science*, 14(1), 13-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/691869>
- Kathren, R. L. (1998). NORM sources and their origins. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(3), 149-168. [https://doi.org/10.1016/s0969-8043\(97\)00237-6](https://doi.org/10.1016/s0969-8043(97)00237-6)
- Kaya, S., Karabidak, S., & Cevik, U. (2015). Gümüşhane ili çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (226Ra, 232th ve 40k) ve yapay (137Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 24. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2015.05.002>
- Kaygusuz, K., & Avci, A. C. (2021). Nuclear power in Turkey for low carbon economy and energy security: a socioeconomic analysis. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1881-1889. <http://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/view/266/233>
- Kluczkovski, A. M., Martins, M., Mundim, S. M., Simoes, R. H., Nascimento, K. S., Marinho, H. A. & Kluczkovski Junior, A., (2015). Properties of brazil nuts: A review. *African Journal of Biotechnology*. 14(8), 642- 648. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14184>
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G. & Cevik, U. (2007). Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*. 65, 1281-1289. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.06.001>
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Damla, N., & Cevik, U. (2011a). Radiological maps for Trabzon, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(4), 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.02.009>
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Çevik, U., & Çelebi, N. (2011b). Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(10), 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.06.016>

- MacIntosh, A., Dafforn, K., Penrose, B., Chariton, A., & Cresswell, T. (2021). Ecotoxicological effects of decommissioning offshore petroleum infrastructure: A systematic review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(18), 3283-3321. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1917949>
- Malain, D., Regan, P., Bradley, D., Matthews, M., Santawamaitre, T., & Al-Sulaiti, H. (2010). Measurements of NORM in beach sand samples along the Andaman coast of Thailand after the 2004 tsunami. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 619(1-3), 441-445. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.11.047>
- Malain, D., Regan, P., Bradley, D., Matthews, M., Al-Sulaiti, H., & Santawamaitre, T. (2012). An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(8), 1467-1474. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.04.017>
- O'Brien, R., & Cooper, M. (1998). Technologically enhanced naturally occurring radioactive material (NORM): pathway analysis and radiological impact. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(3), 227-239. [https://doi.org/10.1016/s0969-8043\(97\)00244-3](https://doi.org/10.1016/s0969-8043(97)00244-3)
- Peker, K. (2019). Energy utilization and policies in Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science*. 8(1), 1033-1040. Erişim adresi: <http://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/view/150>
- Santawamaitre, T., Malain, D., Al-Sulaiti, H., Bradley, D., Matthews, M., & Regan, P. (2014). Determination of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K activity concentrations in riverbank soil along the Chao Phraya river basin in Thailand. *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.07.017>
- Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü (2022). *Ürün Raporu FINDIK*. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20C3%9Cr%20Raporlar%20C4%B1/2022%20C3%9Cr%20Raporlar%20C4%B1/F%20C4%B1nd%20C4%B1k%20C3%9Cr%20Raporu%202022-365%20TEPGE.pdf>
- The Observatory of Economic Complexity (2022, April 15). *Brazil nuts, fresh or dried* [https://oec.world/en/profile/hs/brazil-nuts-fresh-or-dried#:~:text=Brazil%20nuts%20fresh%20or%20dried%20are%20the%20world's%203217th%20most,and%20Netherlands%20\(%2420.3M\)](https://oec.world/en/profile/hs/brazil-nuts-fresh-or-dried#:~:text=Brazil%20nuts%20fresh%20or%20dried%20are%20the%20world's%203217th%20most,and%20Netherlands%20(%2420.3M))
- United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2000). *Sources and effects of ionizing radiation 2000 report*, Volume I. <https://doi.org/10.18356/49c437f9-en>