



# Bazı Gıda Örneklerinde Gama Spektrometresi İle Doğal $^{40}\text{K}$ Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

*Determination of Natural  $^{40}\text{K}$  Activity Concentrations in Some Food Samples by Gamma Spectrometer*

Sermin Çam-Kaynar\* , İlayda Taner 

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Manisa

## Öz

Dünya var olduğundan beri her yerde radyasyon mevcuttur. Radyasyon, radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale gelebilmek için hızlı parçacıklar ya da elektromanyetik dalga şeklinde yayınladığı fazla enerjidir. Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon (kozmetik ışınlar, x-ışınları ve radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyon) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (kızılötesi, morötesi, görünür bölge, radyo dalgaları ve mikro dalgalar) olmak üzere ikiye ayrılır. Dünyanın oluşumundan beri etrafta bulunan çok uzun ömürlü radyonüklidler doğal bir radyasyon düzeyi oluşturur. Bu radyonüklidler, insan vücuduna yeme-içme, soluma ya da derideki yaralardan girerler. Vücuda giren radyasyonun sağlık etkileri arasında en çok karşılaşılan kanser yapma etkisidir. Bu çalışmada, günlük hayatta tüketilen ve literatür çalışmalarına bakıldığında  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu diğer gıda ürünlerine göre yüksek olduğu düşünülen bazı gıda ürünlerinde doğal radyoaktivite konsantrasyonları NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak tayin edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gıda,  $^{40}\text{K}$ , NaI(Tl) dedektörü, Radyoaktivite

## Abstract

Radiation has been present everywhere since the world existed. Radiation is the excess energy released by radioactive nuclei in the form of fast particles or electromagnetic waves to stabilize. Radiation is divided into ionizing radiation (cosmic rays, X-rays, and radiation emitted from radioactive materials) and non-ionizing radiation (infrared, ultraviolet, visible region, radio waves, and microwaves). The very long-lived radioactive elements that have been around since the earth's formation create a natural level of radiation. These radioactive elements enter the human body through eating and drinking, inhalation, or skin wounds. Among the health effects of radiation entering the body, it is the most common cancer-causing effect. In this study, natural radioactivity concentrations in some food products that are consumed in daily life and whose  $^{40}\text{K}$  activity concentration is thought to be higher than other food products, were determined by using a gamma spectrometer system with NaI(Tl) scintillation detector and the results were compared with the literature.

**Keywords:** Food,  $^{40}\text{K}$ , NaI(Tl) detector, Radioactivity

## 1. Giriş

Dünyadaki hayatın başlangıcından itibaren yaşayan her şey radyasyona maruz kalmıştır. İnsanlar radyasyonla birlikte var oldukları halde radyasyonun görülebilmesi, duyulması veya hissedilebilmesi insanları rahatsız etmemektedir

(Henriksen vd. 2013). Herkes önemli oranda doğal radyasyona ve yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Yıllık alınan radyasyon dozunun %81'i doğal radyasyondan %19'u ise yapay radyasyondan kaynaklanmaktadır (Işık 2018). Doğal radyasyon kaynaklarını kozmik radyasyon, karasal radyasyon ve içsel radyasyon olmak üzere 3 grupta sınıflandırabiliriz.

### 1.1. Kozmik Radyasyon

Kozmik ışınlar, Victor F. Hess tarafından 1912 yılında keşfedilmiştir. İyonlaşma odalarıyla yapılan bir dizi balon deneyinde iyonizasyon seviyesinde 1000 m'den itibaren fark edilir bir artış tespit edilmiş ve 5 km yüksekliğindeki iyonlaşma seviyesinin deniz seviyesinde gözlemlenen seviyelerin birkaç

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [sermin.cam@cbu.edu.tr](mailto:sermin.cam@cbu.edu.tr)

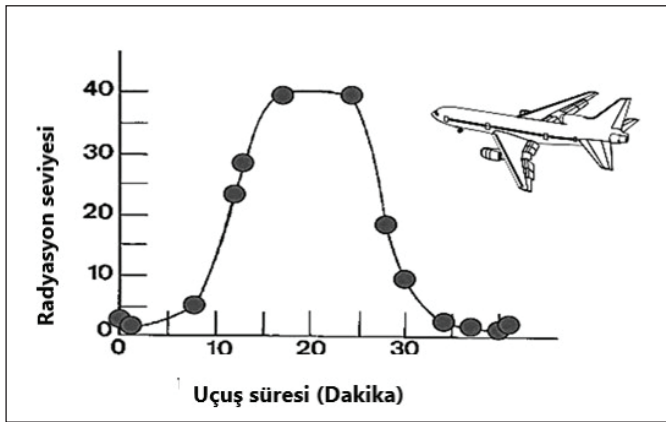
Sermin Çam-Kaynar  [orcid.org/0000-0002-3022-4908](https://orcid.org/0000-0002-3022-4908)

İlayda Taner  [orcid.org/0000-0003-3754-9534](https://orcid.org/0000-0003-3754-9534)



katı olduğu görülmüştür. Bu iyonlaşmanın atmosferden gelen radyasyona bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu radyasyona Kozmik radyasyon adı verilmektedir.

Kozmik ışınlar, esas itibarıyla, uzayda kökeni belli olmayan ve atmosfere sabit miktarda ulaşan yüksek enerjili protonlardır. Kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettikçe karmaşık reaksiyonlar başlatır ve kademeli bir şekilde soğurulur ve böylece yükseklik azaldıkça kozmik ışınlardan gelen doz düşmektedir. Kozmik radyasyon; protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar ve yüksek enerjili diğer çeşitli parçacıklar gibi birçok radyasyon tipinin bir karışımıdır. Yer seviyesindeki kozmik radyasyon esas olarak, müonlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlardan oluşur; dozun büyük bir kısmı müonlar ve elektronlardan kaynaklanır. UNSCEAR, yer seviyesindeki kozmik ışınlardan kaynaklanan yıllık etkin dozu, enlem ve yükseklikteki değişimleri dikkate alarak ortalama 0,4 mSv civarında hesaplamıştır (TAEK 2009). Şekil 1'e bakıldığında uçuşa başlamadan önce, yer düzeyinde radyasyon seviyesi 1'e eşit olarak ayarlanmış ve uçak, 8500 m yüksekliğe ulaştığında radyasyon seviyesinin yer seviyesindeki değerinden yaklaşık 40 kat fazla olduğu görülmüştür (Henriksen vd. 2013).



Şekil 1. Hava yolculuğu sırasında radyasyon seviyesi (Henriksen vd. 2013)

## 1.2. Karasal Radyasyon

Dünyanın kendisi karasal bir radyasyon kaynağıdır. Karasal radyasyonu, primordial radyonüklidler olan  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  bozunum serilerindeki radyonüklidler ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyonüklid oluşturur (Santawamaitre vd. 2011).

Radyoaktif bir element olan Uranyum (U), 1789 yılında keşfedilmiştir (Eroğlu ve Şahiner 2017). Uranyum, aktinid serisinin bir üyesi olan metalik, gümüş grisi bir elementtir. Uranyumun atom numarası 92'dir (Açıkgöz 2018), ka-

yalarda ve toprakta birkaç ppm'lik (milyonda bir) düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır (TAEK 2009). Doğada serbest olarak bulunmayan uranyum, yerkabuğunda birçok elementle birleşerek yüzlerce mineral oluşturur (Açıkgöz 2018). Uranyumun doğal olarak  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{234}\text{U}$  olmak üzere üç izotopu vardır (Url-1 2021).  $^{238}\text{U}$  izotopu, doğal uranyumun %99.28'ini oluşturur (Açıkgöz 2018). Uzun bir radyonüklid serisinin ana radyonüklidi olan  $^{238}\text{U}$ , ardışık bozunmalar yaparak kararlı bir çekirdek olan  $^{206}\text{Pb}$  ile ulaşır. Bu bozunum serisindeki bozunma ürünlerinden biri,  $^{222}\text{Rn}$  olarak adlandırılan, atmosfere ulaşarak bozunmaya devam eden radyoaktif gaz radonun bir izotopudur (TAEK 2009).

Radyoaktif bir element olan Toryum ilk kez 1828 yılında keşfedilmiştir (Eroğlu ve Şahiner 2017). Toryum, atom numarası 90 olan, gümüş beyazı renginde doğal radyoaktif bir elementtir. Doğada tek başına bulunmaz, minerallerin yapısında bulunur (Açıkgöz 2018). Toryum, uranyuma göre doğada üç kat daha fazla bulunur. Dört adet doğal toryum izotopu vardır. Bunlardan en yaygın olanı  $^{232}\text{Th}$ 'dir (Açıkgöz 2018).  $^{232}\text{Th}$ , başka bir radyoaktif serinin ana başlangıç elementidir. Toryum serisinin bozunum ürünlerinden biri radonun diğer bir izotopu olan, toron olarak adlandırılan  $^{220}\text{Rn}$  radyoaktif gazıdır (TAEK 2009).

Potasyum, uranyum veya toryumdan daha yaygındır ve yer kabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturur (TAEK 2009). Potasyum yumuşak, gümüş-beyaz bir metaldir. Doğal olarak evrenin oluşumundan beri tüm topraklarda, kayalarda ve tüm bitki ve hayvan dokularında bulunmaktadır. Potasyumun,  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{41}\text{K}$  olmak üzere üç izotopu vardır.  $^{39}\text{K}$  ve  $^{41}\text{K}$  kararlı yani radyoaktif olmayan izotoplarıdır. Doğal olarak oluşan potasyumun % 93.26'ünü  $^{39}\text{K}$ , % 6.73'ü  $^{41}\text{K}$  izotopu ve geri kalan % 0.012'sini  $^{40}\text{K}$  izotopu oluşturur.  $^{40}\text{K}$ , potasyumun doğal olarak oluşan radyoaktif bir izotopudur (Url-2 2021).

Radyoaktif bir izotop olan  $^{40}\text{K}$ ,  $1,248 \times 10^9$  yıllık uzun bir yarı ömre sahiptir ve 3 farklı beta ışınımı yayabilir. Öncelikle %89.2 olasılıkla beta parçacığı yayınlamaya (maksimum enerjisi 1,35 MeV)  $^{40}\text{Ca}$ 'a bozunur. %10.72 olasılıkla bir gama ışınması (maksimum enerjisi 1.46 MeV) yaparak  $^{40}\text{Ar}$ 'a bozunur. Üçüncü olarak çok düşük bir ihtimalle %0,001 olasılıkla pozitron ışınması yaparak  $^{40}\text{Ar}$ 'a bozunur. İnsan ve hayvanlarda doğal aktiviteyi oluşturan en önemli kaynaklardan biri potasyumdur. Bir insan vücudundaki yaklaşık 160 g potasyum bulunurken bunun sadece 0.019 g radyoaktif  $^{40}\text{K}$  izotopuna aittir. Bu da hayat boyunca sürekli olarak saniyede 4400 bozunum yaparak bozunur (Çiçek 2013).

Potasyum yer kabuğunda bulunma oranı ortalama %2.4'dir ve dünyanın kabuğunda en çok bulunan yedinci (Url-3, 2023) ve okyanuslardaki çözeltilerde en çok bulunan altıncı elementtir. Mineral suyunda ve okyanus suyunda feldispat, karnalit, güherçile, silvit ve yeşil kumda bulunur. Potasyum toprağın önemli bir bileşeni olup bitki gelişimi ve insan beslenmesinde temel besin maddesidir (Url-2 2021). Doğal radyoaktif olan  $^{40}\text{K}$  ve  $^{14}\text{C}$  elementleri de bir çok yiyecekle vücuda alınmaktadır. Bir çok besinde yüksek miktarda bulunan radyonüklidlerin insan vücudundaki düzeyleri yaşanan bölge ve beslenme alışkanlığına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. (Haciosmanoğlu 2017).

### 1.3. İçsel Radyasyon

Kozmik ve karasal radyasyona ek olarak, bütün insanlarda doğuştan itibaren radyonüklidler ve bunların bozunum ürünleri mevcuttur. Bunların başında  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  ve  $^{14}\text{C}$  gelmektedir. Karasal ve kozmik radyasyonlardan alınan dozlar, içsel radyasyondan alınan dozlara göre büyüktür. İçsel radyasyon, doğal radyasyon kaynaklarının %11'lik kısmını oluşturmaktadır (Işık 2018). Yenilen yemekler ve nefes alınan hava, radyoaktif izotopları ( $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerinden gelen radyonüklidleri) içermektedir (Henriksen vd. 2013). Bunlar vücuda alındığında iç ışınlanmaya neden olmaktadır. Bu iç ışınlanma kaynaklarının sebep olduğu yıllık ortalama etkin dozun 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının da  $^{40}\text{K}$ 'tan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (TAEK 2009). Potasyumun günlük tüketimi yaklaşık 2.5 g'dır ve bu potasyum miktarı vücuda  $^{40}\text{K}$ 'dan gelen yaklaşık 75 Bq'lık aktivite sağlamaktadır. Yumuşak dokuyu oluşturan tüm hücrelerde potasyum bulunmaktadır (Henriksen vd. 2013). Vücuttaki potasyum ve dolayısıyla  $^{40}\text{K}$  miktarı kas miktarı ile değişir; genç erkeklerde yaşlı bayanlara oranla yaklaşık iki kat daha fazladır (TAEK 2009). Vücut ağırlığı başına potasyum içeriği cinsiyete ve yaşa göre değişmektedir.  $^{40}\text{K}$ 'dan kaynaklanan doz da benzer şekilde kişiden kişiye değişiklik göstermektedir (Henriksen vd. 2013).

Gıdadaki potasyum içeriğinin sabit bir kısmı olan  $^{40}\text{K}$  izotopundan gelen doğal radyoaktivite, gıdadan gıdaya potasyum konsantrasyonuna göre önemli ölçüde değişiklik gösterir. Genellikle gıdalarda potasyum konsantrasyonu 1000 ile 6000 ppm aralığıdır. İnsan vücudundaki ortalama potasyum konsantrasyonu yaklaşık 2000 ppm'dir (IAEA 2002). İnsanların biyolojik işlemlerini sürdürmek için potasyuma ihtiyacı vardır.  $^{40}\text{K}$ , içme suyu, yemek veya soluduğumuz hava ile vücuda alındıktan sonra kan dolaşımına girmekte veya nefes alma ile hızla tüm organ ve dokulara dağılmaktadır.  $^{40}\text{K}$ , 30 günlük biyolojik yarı ömürle vücuttan atılır (Url-2, 2021). Günlük potasyum alımlarının yaklaşık %90'ı idrarla

%10'u ise dışkı ile atılır (IAEA 2002). Vücudun potasyum içeriği katı bir homeostatik kontrol altındadır ve çevresel seviyelerdeki değişikliklerden etkilenmemektedir. Bu nedenle vücuttaki  $^{40}\text{K}$  içeriği sabittir ve yetişkin bir erkek yaklaşık 0.1  $\mu\text{Ci}$ 'ye sahiptir. Her yıl bu izotop, vücutta yumuşak dokulara yaklaşık 18 mrem ve kemiklere 14 mrem dozlar göndermektedir (Url-2, 2021).

Radyasyonun keşfinden bu yana radyasyon araştırmaları, radyasyonun sağlığı etkileyebileceği biyolojik mekanizmalar hakkında kapsamlı bilgiler sağlamıştır. Radyasyonun hücre seviyesinde etki yaratarak genellikle kromozomdaki iplikçiklerden deoksiribonükleik aside (DNA) doğrudan zarar vermesinden dolayı hücre ölümlerine veya modifikasyonlarına neden olduğu bilinmektedir. Hasar görmüş veya ölen hücre sayısı yeterince büyükse organ yetmezliği ve hatta ölüme neden olabilir. Ayrıca DNA'da hücreyi öldürmeyen başka hasarlar da oluşabilir. Bu tür hasarlar genellikle tamamen onarılır ya da hücre mutasyonu olarak bilinen değişiklikler, sonraki hücre bölünmelerine yansıtılır ve sonuçta kansere yol açabilmektedir (Lean vd. 2016). Bu amaçla tüketilen gıda ürünlerinde doğal radyasyondan gelen radyonüklidlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi sağlık açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada bazı gıda ürünlerinde doğal radyonüklid ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ ) konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada günlük yaşantıda çok tüketildiği düşünülen ve literatür çalışmalarında yer alan yedi gıda maddesi seçilmiştir. Seçilen gıda maddeleri buğday, kırmızı mercimek, kuru fasulye, mısır, muz, pirinç ve yeşil mercimektir. Gıda örneklerinde muz hariç diğerleri kuru ve taneli formdadır. Muz gıda maddesinin yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu düşünüldüğü için seçilmiştir. Gıda maddeleri İzmir'deki marketlerden ve her örnekten yaklaşık 500 g olacak şekilde alınmıştır. Gıda maddelerindeki  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarını ölçmek için örnekler iki farklı formda (toz halinde ve kül halinde) hazırlanmıştır.

### 2.1. Örneklerin Toz Haline Getirilmesi

Altı gıda örneği (buğday, kırmızı mercimek, kuru fasulye, mısır, pirinç ve yeşil mercimek)  $60^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki etüve koyularak örneklerdeki nemin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulan gıda örnekleri öğütülüp her bir örnekten 100 g tartılarak yüksekliği 6.5 cm, eni 4.5 cm genişliği 3.5 cm olan plastik kutulara yerleştirilmiş, kaplar sıkı bir şekilde kapatılmış ve radyoaktif dengeye ulaşması için 30 gün bekletilmiştir (Altıkulaç 2021).

## 2.2. Örneklerin Kül Haline Getirilmesi

Gıda örnekleri (buğday, kırmızı mercimek, kuru fasulye, mısır, muz, pirinç ve yeşil mercimek) içlerindeki organik maddeleri uzaklaştırmak için 350 °C de kül haline getirilmiştir (Syarbaini vd. 2014). Kül formuna gelen örnekler öğütücü ile öğütülüp, tartılarak yüksekliği 6.5 cm, eni 4.5 cm genişliği 3.5 cm olan plastik kaplara yerleştirilmiş ve kaplar hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılıp 30 gün bekletilerek radyoaktif dengenin oluşması sağlanmıştır.

Hazırlanan örnekler  $3'' \times 3''$  NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Gama spektrometre sistemi NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, fotoçoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatör, Ortec model 478 Volt yüksek voltaj kaynağı ve Ortec Maestro bilgisayar programlı puls yüksekliği analizöründen oluşmaktadır. Gama spektrometresi ile elde edilen spektrumda;  $^{40}\text{K}$  pikinin enerjisi 1.46 MeV'lik gama ışınından ileri gelmektedir. Potasyum kanalındaki sayımların çoğu art ortam sayımlarından kaynaklanmaktadır. Sistemin bulunduğu ortamdan bu kanala gelen katkılar %65 dolayındadır. Toryum ve uranyum sayımlarından potasyum pikine gelen katkı %15-20 arasındadır. Bu yüzden potasyum kanalındaki sayımlar doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmaz. Gama spektrumunda uranyum piki için seçilen kanallara toryumdan ihmal edilemeyecek katkılar gelmektedir. Toryum serisindeki  $^{208}\text{Tl}$ 'den yayınlanan 2.614 MeV enerjili gamadan kaynaklanan tek kaçak piki (2.10 MeV) ve çift kaçak piki (1.59 MeV) oluşur. Uranyum kanalını belirlemede kullanılan 1.76 MeV'lik gama enerjili pik, bu iki enerji (2.10 MeV'deki tek kaçak pik ve 1.59 MeV'deki çift kaçak pik) arasında kalmaktadır. Toryum için belirlenen kanallardaki sayımların %86'sı toryumdan, %2'si uranyumdan ve geri kalanda art ortamdan gelmektedir (Çam, 2011). Her bir örnek için 2 saatlik sayım yapıp oluşan spektrumdan ilgili pik alanı altındaki sayım değerleri alınmıştır. Çizelge 1'de verilen formüller kullanı-

larak her bir örnek için aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

## 3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan toz ve kül formundaki gıda örneklerinin NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü gama spektrometresi ile ölçülen aktivite konsantrasyonlarının sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir. Toz halindeki örneklerde  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu 36.5-416.1 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değişmekte olup en yüksek potasyum aktivitesinin kuru fasulyede en düşük potasyum aktivitesinin de pirinç gıda maddesinde olduğu görülmektedir.  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonu 2.9-12.8 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında tespit edilmiştir. En yüksek uranyum aktivitesi pirinç örneğinde tespit edilirken buğday örneğinde uranyum aktivitesi tespit edilememiştir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu buğday, kuru fasulye ve pirinç ürünlerinde dedekte edilememişken diğer örneklerde (yeşil mercimek, kırmızı mercimek, mısır) toryum aktivitesi 0.7-5.0 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir (Çizelge 2).

Kül formunda hazırlanıp yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında gıda örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin 77.1 – 2132.8 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değiştiği görülmektedir. Pirinç örneğinde potasyum aktivitesi dedekte edilemezken en yüksek aktivite kuru fasulyede ölçülmüştür. Muz ve yeşil mercimekte ölçülen potasyum aktivite konsantrasyonlarının da yine yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Uranyum aktivitelere bakıldığında 5 örnekte uranyum aktivitesinin dedekte edildiği ve 2.1- 45.3 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında olduğu görülmektedir. En yüksek değerlerin kuru fasulyede belirlendiği görülmektedir. Toryum aktivite konsantrasyonları da 4 gıda maddesinde belirlenememişken ölçülen aktivite 0.9 – 11.2 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En yüksek toryum aktivitesi pirinç örneğinde ölçülmüştür. Mısır, muz ve yeşil mercimekte toryum aktivitesi tespit edilememiştir (Çizelge 2).

Çizelge 1. Deneysel Faktörler (Çam, 2011).

Konsantrasyon Eşitlikleri	
$e\text{Th (ppm)} = C(\text{Th})/K_1$	
$e\text{U (ppm)} = (C(\text{U}) - aC(\text{Th}))/K_2$	
$\%K \text{ (ppm)} = (C(\text{K}) - g(C(\text{U}) - aC(\text{Th})) - bC(\text{Th}))/K_3$	
Sıyırma oranları	Duyarlılık faktörleri
$a=0.67$	$K_1=17.04$
$b=0.93$	$K_2=55.99$
$g=0.87$	$K_3=586.87$
$C(\text{U}), C(\text{Th}), C(\text{K})$ : örneklerdeki her bir U, Th ve K kanalındaki sayım değerleri.	

**Çizelge 2.** Toz ve kül formundaki gıda örneklerinin  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları.

Gıda Örnekleri	$^{40}\text{K}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )	$^{238}\text{U}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )	$^{232}\text{Th}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> )
<b><i>Toz formunda</i></b>			
Buğday	143.9	MDA*	MDA
Kırmızı Mercimek	243.1	3.8	5.0
Kuru Fasulye	416.1	4.6	MDA
Mısır	91.8	2.9	1.2
Pirinç	36.5	12.8	MDA
Yeşil Mercimek	223.3	12.4	0.7
Minimum-Maksimum	36.5-416.1	2.9-12.8	0.7-5.0
<b><i>Kül formunda</i></b>			
Buğday	77.1	2.1	6.7
Kırmızı Mercimek	317.4	18.1	9.1
Kuru Fasulye	2132.8	45.3	0.9
Mısır	177.2	8.0	MDA
Muz	963.3	MDA	MDA
Pirinç	MDA	MDA	11.2
Yeşil Mercimek	549.3	2.4	MDA
Minimum-Maksimum	77.1-2132.8	2.1-45.3	0.9-11.2

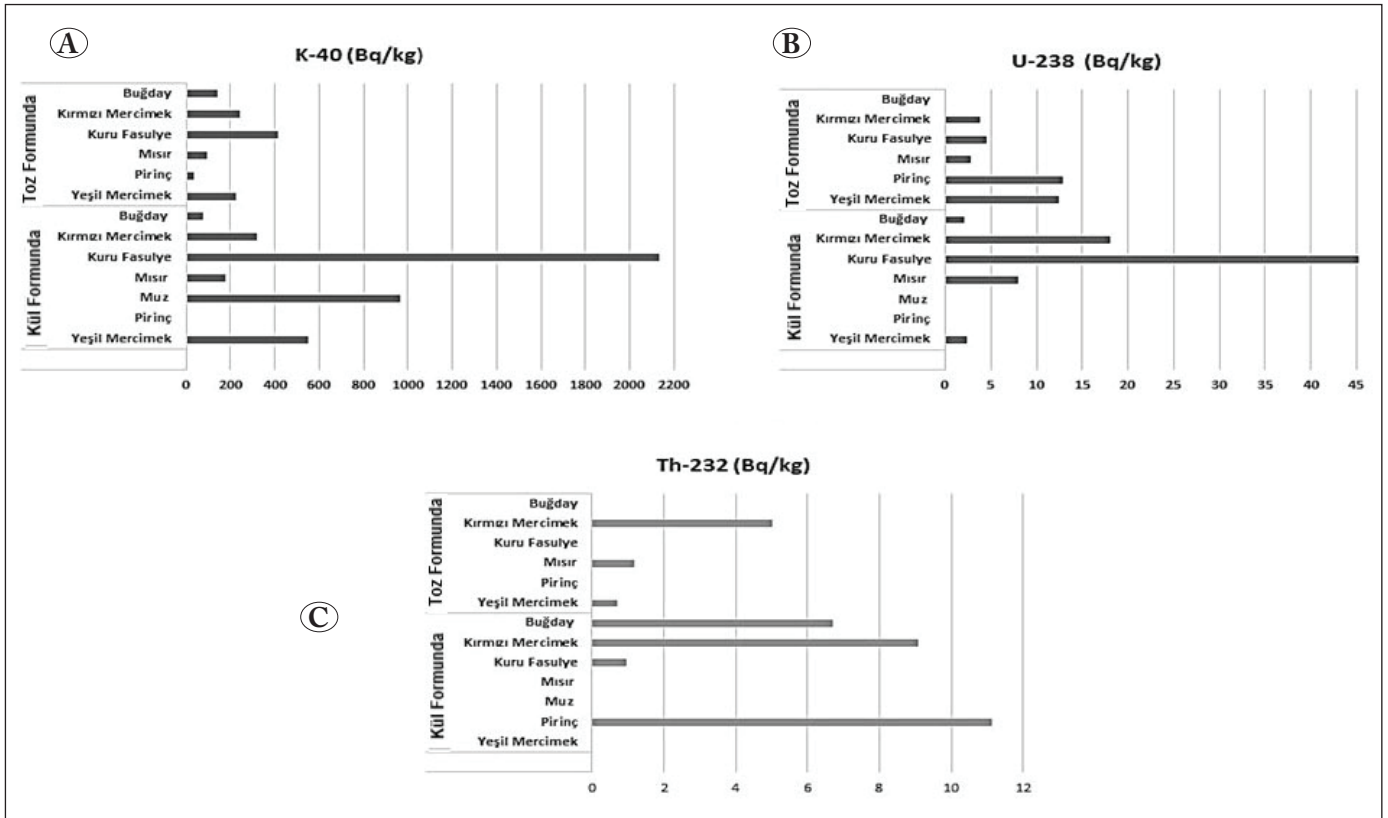
\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite.

Kül ve toz halindeki gıda örneklerinin  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırması Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'ye bakıldığında en yüksek aktivite sonuçlarının kül halindeki gıda örneklerinde olduğu görülmektedir. Kül formundaki buğday örneğindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun değeri (2132 Bq.kg<sup>-1</sup>) Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi, (UNSCEAR -United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) tarafından verilen gıda örneğindeki dünya ortalama limit değerinin (580 Bq.kg<sup>-1</sup>) yaklaşık 4 katı olduğu görülmektedir. Kül halindeki kuru fasulyede ölçülen  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonunun (45.3 Bq.kg<sup>-1</sup>) UNSCEAR tarafından gıda ürünleri için önerilen limit değer olan 40 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Toz ve kül haline getirilmiş gıda örneklerinde dedekte edilen  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sonuçlarının da UNSCEAR tarafından limit değer olarak verilen 40 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3'de toz formundaki gıda örneklerinin sonuçları literatürle karşılaştırıldığında bu çalışmada buğday gıda maddesinde tespit edilen  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun sonuçları Kuzey Hindistan hariç diğer İran, Nijerya ve Türkiye-Muğla'da yapılan çalışmalarda sonuçlardan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca literatür çalışmalarında buğday

örneğinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu tespit edilirken bu çalışmada  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi tespit edilememiştir. Kuru fasulye örneğindeki sonuçlara bakıldığında bu çalışmadaki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun literatür çalışmalarındaki sonuçlardan düşük olduğu görülmektedir. Kuru fasulyede bu çalışmada ölçülen  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonu Vietnam'da yapılan çalışma dışında diğer çalışmalarda sonuçlardan yüksek değerdedir. Kuru fasulyedeki  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sonucu da Nijerya ve Vietnam'da yapılan çalışmaların sonuçlarından düşük olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada ölçülen Mısır örneğindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi sonucu İran ve Sri Lanka'da yapılan çalışmaların sonuçlarından daha düşük olarak tespit edilmiştir. Yine mısır gıda örneğindeki  $^{238}\text{U}$  aktivitesi Sri Lanka'daki çalışma dışında diğer çalışmalarda sonuçlardan yüksek çıkmıştır. Mısırdaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi sonucu da Türkiye-Muğla'da yapılan çalışma dışında diğer çalışmalarda sonuçlarla yakın değerde ölçülmüştür. Pirinç örneğindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi diğer çalışmalarda sonuçlardan daha düşük elde edilmiştir. Pirinç örneğinde tespit edilen  $^{238}\text{U}$  aktivitesi de diğer çalışmalardan yüksek değerde iken pirinç örneğinde  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi tespit edilememiştir.

Çizelge 4'de kül formundaki gıda örneklerinin sonuçlarının literatürle karşılaştırılması yapılmıştır. Literatür çalışmalarında kül haline getirilerek yapılan çalışmaların az olduğu



Şekil 2. Toz ve Kül formundaki gıda örneklerinin aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması, **A)** <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu, **b)** <sup>238</sup>U aktivite konsantrasyonu ve **C)** <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonu.

çizelgede de görülmektedir. Buna göre buğday örneği için elde edilen sonuçlar İnan'da yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında <sup>40</sup>K aktivitesi sonucunun düşük değerde olduğu <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite sonuçlarının İnan'daki çalışmadan daha yüksek olduğu görülmektedir. Muz gıda örneği sonuçlarına bakıldığında bu çalışmadaki <sup>40</sup>K aktivitesi sonucunun Güney Hindistan ve Endonezya'da yapılan çalışmalardaki sonuçlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Muz örneğinde diğer çalışmalarda <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivitesi tespit edilirken bu çalışmada tespit edilememiştir. Pirinç örneğinde ise İnan ve Güney Hindistan'da yapılan çalışmalarda <sup>40</sup>K ve <sup>238</sup>U aktiviteleri tespit edilirken bu çalışmada <sup>40</sup>K ve <sup>238</sup>U aktivitesi tespit edilememiştir. Bu çalışmada Pirinç örneğinde elde edilen <sup>232</sup>Th aktivitesi İnan'da yapılan çalışmadaki değerden daha yüksek olarak bulunmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, <sup>40</sup>K bakımından zengin olduğu düşünülen 7 gıda maddesi için radyonüklid aktivite konsantrasyonları, toz ve kül formu olmak üzere iki ayrı şekilde yapılmıştır.

- Toz formunda hazırlanan örneklerde <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu en yüksek kuru fasulyede (416.1 Bq.kg<sup>-1</sup>) bulunurken literatürde ise toz formunda <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu en yüksek buğday gıda maddesinde (473 Bq.kg<sup>-1</sup>) tespit edilmiştir. <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonunun en düşük olduğu gıda örneği literatür çalışmalarında pirinç gıda maddesidir. Bu çalışmada da en düşük <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu pirinç örneğinde (36.5 Bq.kg<sup>-1</sup>) belirlenmiştir.
- Kül formunda hazırlanan örneklerdeki <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu en yüksek kuru fasulyede (2132.8 Bq.kg<sup>-1</sup>) bulunurken pirinçte <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu dedekte edilememiştir. Literatür çalışmalarında kül formunda <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonunun en yüksek (136.2 Bq.kg<sup>-1</sup>) ve en düşük (85.27 Bq.kg<sup>-1</sup>) olduğu gıda maddesi muz olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada da en düşük <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu muz gıda örneğinde tespit edilmiştir.
- Sonuçlara bakıldığında hem toz formunda hem de kül formundaki örneklerde en yüksek potasyum aktivitesinin kuru fasulye gıda maddesinde tespit edildiği görülmektedir.

**Çizelge 3.** Farklı ülkelerde yapılan toz formundaki örneklerin aktivite konsantrasyonları (Bq.kg<sup>-1</sup>).

Toz halindeki örnekler	Ülkeler	Aktivite Konsantrasyonu (Bq.kg <sup>-1</sup> )			Kaynaklar
		<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	
Buğday	İran	91.73	1.67	0.5	(Changizi vd. 2013)
	Nijerya	214	3.1	-	(Hassan vd. 2020)
	Kuzey Hindistan	473	17	3	(Kaur vd. 2020)
	Türkiye-Muğla	39.88	1.19	1.44	(Altıkulaç 2021)
	Türkiye-İzmir	143.9	MDA *	MDA	Bu Çalışma
Kuru Fasulye	Nijerya	453.6	-	18.9	(Jibiri vd. 2007)
	Vietnam	379	24.8	36.1	(Van vd. 2020)
	Türkiye-Rize	739.79	0.28	0.78	(Görür vd, 2012)
	Türkiye-Muğla	370.4	1.47	0.98	(Altıkulaç 2021)
	Türkiye-İzmir	272.6	2.86	1.56	Bu Çalışma
Kırmızı Mercimek	Türkiye-Muğla	272.6	2.86	1.56	(Altıkulaç 2021)
	Türkiye	243.1	3.8	5.0	Bu Çalışma
Mısır	İran	101.52	0.81	0.85	(Changizi vd. 2013)
	Sri Lanka	160.83	<7.00	<0.75	(Jayasinghe vd. 2019)
	Türkiye-Muğla	38.12	1.19	1.98	(Altıkulaç 2021)
	Türkiye-İzmir	91.8	2.9	1.2	Bu Çalışma
Pirinç	İtalya	150	-	-	(Donatello vd. 2014)
	Sri Lanka	41.51	<4.97	<0.52	(Jayasinghe vd. 2019)
	Nijerya	90	1.7	-	(Hassan vd. 2020)
	Kuzey Hindistan	466	18	7	(Kaur vd. 2020)
	Türkiye-İzmir	36.5	12.8	MDA	Bu Çalışma

\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite.

**Çizelge 4.** Farklı ülkelerde yapılan kül formundaki örneklerin aktivite konsantrasyonları (Bq.kg<sup>-1</sup>).

Kül halindeki örnekler	Ülkeler	Aktivite Konsantrasyonu (Bq.kg <sup>-1</sup> )			Referanslar
		<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	
Buğday	İran	88	0.028	0.04	(Abbasi ve Bashiry 2020)
	Türkiye	77.1	2.1	6.7	Bu Çalışma
Muz	Güney Hindistan	136.2	0.09	-	(Shanti vd. 2010)
	Endonezya	85.27	5.45	18.60	(Syarbaini vd, 2014)
	Türkiye	963.3	MDA *	MDA	Bu Çalışma
Pirinç	İran	102	0.035	0.075	(Abbasi ve Bashiry 2020)
	Güney Hindistan	120.2	3.07	-	(Shanti vd. 2010)
	Türkiye	MDA	MDA	11.2	Bu Çalışma

\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite.

UNSCEAR 2000 raporuna göre  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  için global ortalama aktivite değerleri sırasıyla  $580 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $40 \text{ Bq.kg}^{-1}$  ve  $40 \text{ Bq.kg}^{-1}$  olarak verilmiştir (Changizi vd. 2013).

- Bu çalışmada toz formundaki örneklerin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları UNSCEAR tarafından verilen limit değerlerin altında bulunmuştur.
- Kül formunda hazırlanan kuru fasulye, muz ve yeşil mercimekteki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu, ayrıca kuru fasulyedeki  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonu UNSCEAR 2000 raporunda verilen limit değerlere göre yüksek çıkmıştır. Kuru fasulye için elde edilen  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun UNSCEAR tarafından verilen limit değerinin yaklaşık 4 katı olduğu görülmektedir. Elbette kül formundaki örnek sonuçları normal toz formundaki sonuçlara göre daha konsantre olduğu için daha yoğun aktiviteye sahiptirler. Bu çalışmanın sonuçlarının literatür çalışmalarıyla karşılaştırılabilir olduğu görülmektedir.

Gıda maddesi olarak kullanılan yiyeceklerdeki doğal radyonüklidlerden kaynaklanan aktivite konsantrasyonları gıda ürünlerinin yetiştirildiği bölgeden ve jeolojiden etkilenmektedir. Çalışmanın başında da bahsedildiği gibi yaşanan çevre karasal ve kozmik radyasyonla etkileşim halindedir. Gıda maddelerinin yetiştirildiği bölgenin denizden olan yüksekliği ve karasal radyoaktivitesi gıda ürünlerinin doğal radyonüklid konsantrasyonlarını etkilemektedir. Ayrıca gıda ürünlerinde yapılan gübreleme ve ilaçlama faaliyetleri de ürünler üzerinde radyonüklid birikimini artırma da etkili olmaktadır. Gıda maddelerinin karasal radyasyon değerleri yüksek olmayan bölgelerde ve uygun gübrelemelerle yetiştirilmesi insan sağlığı açısından önem arz etmektedir.

## 5. Kaynaklar

- Abbasi, A., Bashiry, V., 2020.** Estimation of cancer risk due to radiation exposure for some daily consumption of foods, *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 16(1).
- Açıkgöz, G., 2018,** Kulakçayırı gölünün doğal radyoaktivite ve ağır metal kirliliğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Altıkulac, A., 2021,** Analysis of natural radioactivity and determination of potassium content in foods. *Fresenius Environ. Bull.* 30 (6B):7859-7865
- Changizi, V., Shafiei E., Zareh, M.R., 2013.** Measurement of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  activities of wheat and corn products in Ilam Province – Iran and Resultant Annual Ingestion Radiation Dose. *Iranian J Publ Health*, 42(8): 903-914.

- Çiçek, Ş., 2013.** Uranyum, toryum ve potasyumun taşınımı, menzili ve dağılım karakteristiklerinin belirlenmesi için matematiksel bir model, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Donatello, D., Meli, M.A., Roselli, C., Forini, N., Rongoni, A., Feduzi, L., 2014.** Natural radionuclides in Italian diet and their annual intake. *J. Radioanal. Nucl. Cbe.* 299: 1461-1467.
- Eroğlu, G., Şahiner, M., 2017.** Dünyada ve Türkiye’de uranyum ve toryum, maden tetkik ve arama genel müdürlüğü, maden serisi: 3, Ankara (<https://www.mta.gov.tr>).
- Görür, K.F., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., As, N., Okumuşoğlu, N.T.,** Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey, 2012. *J. Sci. Food Agric.* 92(2):307-312. Doi: 10.1002/jsfa.4576
- Hacıosmanoğlu, T., 2017.** Doğal ve yapay radyasyon kaynakları, kişisel doza katkıları. *Nucl Med Semin* 3:166-171 (<http://nukleertipseminerleri.org>) 14,06,2021
- Hassan, Y, M., Zaid, H, M., Guan, B, H., Khandaker, M, U., Bradley, D, A., Sulieman, A., Latif, Sk, A., 2020.** Radioactivity in staple foodstuffs and concomitant dose to the population of Jigawa state, Nigeria, *Radiation Physics and Chemistry*, 0969-806X
- Henriksen, T., Sagstuen, E., Pettersen, E., Malinen, E., Edin, N. J., Hole, E. O., 2013.** Radiation and Health, Oslo: *University of Oslo. Book in pdf format.*
- IAEA.,** International Atomic Energy Agency, April 2002, Natural and Induced Radioactivity in Food, *IAEA-TECDOC-1287.*
- Işık, U., 2018.** Kütahya ilinde yapı malzemelerindeki uranyum, toryum ve potasyum oranlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Jayasinghe, C., Pinnawala, U, C., Rathnayaka, T., Waduge, V., 2020.** Annual committed effective dosage from natural radionuclides by ingestion of local food growing in mineral mining area, Sri Lanka, *Environ Geochem Health*, 42(7):2205-2214. doi: 10.1007/s10653-019-00487-0.
- Jibiri, N.N., Farai, I.P., Alausa, S.K., 2007.** Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$ , in different food crops from a high background radiation area in Bitsichi, Jos Plateau, Nigeria. *Radiation Environ. Biophys.*, 46: 53 – 59. doi: 10.1007/s00411-006-0085-9
- Kaur, S., Maheshwari, P., Mehra, R., 2020.** Dose assessment of natural terrestrial radionuclides in commonly consumed foods in north India, *Radiat Prot Dosimetry.*189(3):362-370. doi: 10.1093/rpd/ncaa050.
- Lean, G., Crick, M., Shannoun, F., Cohen-Unger, S., Evrensel A., Diesner-Kuepfer, A., 2016.** Cataloguing: Radiation: effects and sources, United Nations Environment Programme, UNEP, ISBN: 978-92-807-3517-8, Job No.: DEW/1937/NA, Corrected electronic version.



- Santawamaitre, T., Malain, D., Al-Sulaiti, H.A., Matthews, M., Bradley, D.A., Regan, P.H., 2011.** Study of natural radioactivity in riverbank soils along the Chao Phraya river basin in Thailand. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. B Nucl Instrum Meth A*, 652(1): 920-924. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.10.057>
- Shanti, G., Thampi Thanka Kumaran, J., Allan Gnana Raj, G., Maniyan, C.G., 2010.** Natural radionuclides in the South Indian foods and their annual dose. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 619: 436-440. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.10.068>
- Syarbaini, Warsona, A., Iskandar, D., 2014.** Natural radioactivity in some food crops from Bangka-Belitung Islands, Indonesia, *At. Indones.* 40 (1): 27-32. <https://doi.org/10.17146/aij.2014.260>
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009.** IAEA'nın 2004 yılında yayımladığı IAEA/PI/A.75/04-00391sayılı "Radiation, People and the Environment" isimli el kitabı TAEK tarafından Türkçe'ye tercüme edilmiştir. ISBN: 978-975-8898-28-2,
- UNSCEAR, 2000b,** Exposures from Natural Radiation sources, Annex B, New York: United Nations
- Van, H. D., Nguyen, T. D., Peka, A., Hegedus, M., Csordas, A., Kovacs, T., 2020.** Study of soil to plant transfer factors of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs in Vietnamese crops, *Journal of Environmental Radioactivity*, 223-224, 106416. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106416>
- Url-1:**<https://geoinfo.nmt.edu> (New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources) 29.05.2021
- Url-2:** <http://hpschapters.org> (Human Health Fact Sheet) 30.05.2021
- Url-3:** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Potasyum> (Wikipedi Özgür Aksiklopedi) 17.01.2023.