



İstanbul-Beykoz'daki Bazı Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Parametre Tayini

Osman Günay^{1*}

¹ Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul-Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 26 Nisan 2018 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2018)

Özet

Evrenin ilk yaratılışından beri var olan doğal radyasyonun belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada İstanbul'un Beykoz ilçesinde farklı örnekleme noktaları belirlenerek doğal radyoaktivite (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) konsantrasyonları HPGe detektör kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, radyum konsantrasyonu 27,75 BqKg⁻¹ ile 63,79 BqKg⁻¹ arasında, toryum konsantrasyonu 30,74 BqKg⁻¹ ile 89,75 BqKg⁻¹ arasında, potasyum konsantrasyonu 533,73 BqKg⁻¹ ile 912,12 BqKg⁻¹ arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca çalışmada, radyum eşdeğeri (Ra_{eq}), soğrulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz değeri, (AEDE), yaşam boyu kanser riski (ELCR) miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen hesaplamaların tamamı hem ulusal hem de uluslar arası standartlarla ve yapılmış olan benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Toprak, Doğal radyoaktivite, Beykoz, Kanser Riski

Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-Istanbul

Abstract

It is important to measure natural radioactivity which existed since the creation of universe. Thus in this study, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K concentrations were calculated at different sampling points in Beykoz district of Istanbul using HPGe detector. As a result of the measurements, the concentration of radium, thorium, potassium level have been found to be varied from 27.75 BqKg⁻¹ to 63.79 BqKg⁻¹, 30.74 BqKg⁻¹ to 89.75 BqKg⁻¹ and 533.73 BqKg⁻¹ to 912.12 BqKg⁻¹ respectively. In addition, radium equivalent (Ra_{eq}), absorbed gamma dose rate (D), annual effective dose equivalent, (AEDE), excess lifetime cancer risk (ELCR) were calculated in the study. All of the calculations have been compared with both national and international standards and similar studies.

Key words: Soil, Natural radioactivity, Beykoz, Cancer Risk

¹ Corresponding Author: Okan Üniversitesi, SHMYO, İstanbul-Türkiye, osman.gunay@okan.edu.tr

1. Giriş

Canlılar hayatları süresince yapay ve doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Canlıların maruz kaldıkları radyasyonda, en büyük katkı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyon, genellikle kozmik ışıklardan ve karasal radyasyon kaynaklarından oluşmaktadır. Karasal doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan ana radyonüklidler uranyum, toryum ve potasyumdur. Toprakta bulunan doğal radyoaktivite miktarı jeolojik formasyona, coğrafik yapıya ve toprağın karakteristik özelliğine bağlıdır. Bu yüzden farklı bölgelerdeki, doğal radyoaktif konsantrasyonları farklı miktardadır (Malain vd., 2012).

Topraklar insanlara sürekli radyasyon maruziyeti kaynağı olarak davranır. Ayrıca toprak radyonüklidlerin su, hava, tortu ve biyolojik sistemler gibi diğer çevresel faktörlere göçünü sağlar (Ribeiro, 2018). Bu nedenle, topraklar, canlıların radyolojik maruziyetini değerlendirmek ve çevreye kontamine olan radyasyonu belirlemek için önemli bir bileşendir. Dünya genelinde birçok bölgede toprakta doğal radyoaktivite miktarının belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Aközcan vd., 2014; Ereeş vd., 2006; Aközcan, 2014(b); Akkurt vd., 2015; Uyanık vd., 2015; Çetin vd., 2016; Seçkiner vd., 2017; Aközcan vd., 2018). Topraktaki doğal radyoaktivite miktarlarının düzenli olarak araştırılması o bölgede yaşayan insanların maruz kaldıkları radyasyon miktarlarının belirlenmesi için oldukça önemlidir.

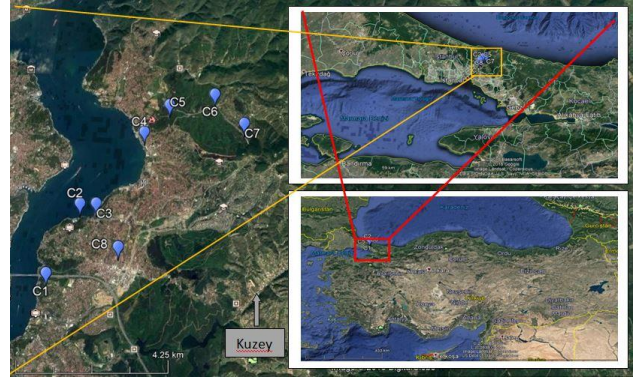
Farklı hızlarda ve büyüklüklerdeki radyasyona maruz kalan canlıların vücutlarında, çeşitli zamanlarda farklı türde hastalıklar çıkabilir. Bir kişi 5 Gy den daha fazla radyasyon dozuna maruz kaldığında, iyileştirmeye yönelik bir takım tedaviler yapılmazsa kemik iliği, sindirim sistemi bozuklukları sonucu yaşamını kaybedebilir. Eğer aldığı radyasyon miktarı 50 Gy veya daha fazlası olursa tedaviye sonucunda bile yaşamını sürdürme ihtimali çok düşüktür. Kişinin aldığı radyasyon doz miktarı düşüğe vücut dokularında meydana getirdiği etki, yaşamın sonraki dönemlerinde veya o kişiden meydana gelecek sonraki nesillerde oluşan etmenlere stokastik etkiler denilmektedir. (Yaren et al., 2005). Stokastik etkilerin içerinden günümüzdeki en önemlisi olan kanserdir. Kanser hastalarının sebeplerinin radyasyondan dolayı aldığı dozdan kaynaklanıp kaynaklanmadığı kesin olarak belirlenemez. Diğer bazı etkenlerden de kaynaklanıyor olabilir. Belirli miktarlarda radyasyon maruziyetine uğramış kişiler ile aynı özellikteki fakat radyasyona maruz kalmamış kontrol grubu kıyaslanarak alınmış olan doz miktarına göre, radyasyonun kanser oluşumuna etkisi tahmin edilebilir. Bu gözleme risk faktörü (RF) denir. Bu risk faktörü ICRP tarafından belirlenmiştir (ICRP, 1990).

İstanbul'un Anadolu yakasında çok uzun zamandır toprakta doğal radyoaktivite miktarı belirlenmemiştir. Bu çalışma da İstanbul'un Beykoz ilçesinde doğal radyoaktivite miktarlarının belirlenmesi ve yaşam boyu kanser riskinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada doğal radyoaktivite miktarlarının belirlenmesi HPGe (hyper pure germanium) detektörü kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca çalışmada soğrulan doz oranı, radyum eşdeğer miktarı, yıllık etkin doz eşdeğeri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Bölgesi

İstanbul yaklaşık 15.000.000 nüfusu ile Türkiye' nin en kalabalık şehridir. Ayrıca İstanbul hem sanayi, hem ekonomik hem de turizm açısından Türkiye' nin önemli şehirlerinden bir tanesidir. Çalışma 41°05'16" ile 41°08'29" kuzey paralelleri ve 29°04'10" ile 29°08'16" doğu meridyenleri arasında; yaklaşık 250.000 nüfusa sahip Beykoz ilçe sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Nüfus yoğunluğu fazla olması sebebiyle doğal radyasyondan etkilenen kişi sayısı oldukça fazla olduğu düşünülerek çalışmada bu ilçe seçilmiştir.



Şekil 1 Çalışma Bölgesi ve Örnekleme Noktaları

2.2 Örneklerin Toplanması ve Hazırlanması

Çalışmada Beykoz ilçe sınırlarında 8 ayrı noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri 1 m² alan içerisinde 4 farklı noktadan toprağın 5 cm derinliğinden yaklaşık 500 gram alınarak homojen olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan toprak örnekleri 105°C da 48 saat süreyle fırında kurutulmuştur. Tamamen kuruyan toprak örnekleri 1 mm lik eleklerle elenmiştir (Aközcan, 2014(a)). Böylelikle toprak örnekleri, taşlardan, çakıl taşlarından ve diğer makro kirliliklerden arındırılmış oldu.

Kurutulmuş ve elenerek temizlenmiş olan toprak örnekleri 250 ml lik polietilen silindirik kaplara konulmuştur. Silindirik kapların ağız kısımları hiç hava almayacak biçimde radon gazının kaçmasını önleyebilmek için kapatılmıştır. Kapatılan toprak örnekleri radon ve bozunum ürünlerinin dengeye gelmesi için 35 gün bekletilmiştir.

2.3 Radyasyon Ölçüm Sistemi

Gama aktiviteleri yüksek saflıkta germanyum (HPGe) gama detektörü (Aközcan, 2014) kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca yazılım olarak GammaVision-32 kullanılmıştır. Enerji ve verimlilik kalibrasyonları için pik noktaları 80 ile 2500 keV arası değişen izotop ürünleri laboratuvarından temin edilen aktivite miktarları belli olan, içeriğinde ²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ^{123m}Te, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁸⁸Y, ⁶⁰Co izotopları olan karma kaynak kullanılmıştır. Güvenilir sonuçlar elde edebilmek için her örnek ve arka plan (background) 160.000 saniye sayıldı. Net aktivite ise numunenin aktivitesini arka plandan çıkararak elde edildi.

²²⁶Ra' nın aktivite konsantrasyonları ²¹⁴Pb (351.9 keV) ve ²¹⁴Bi (609.3 keV) gamma ışınlarından elde edildi. ²³²Th'nin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için ²²⁸Ac (911.1 keV) ve ²⁰⁸Tl (583.1 keV) gamma ışınları kullanıldı. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları, 1460 keV'deki pik kullanılarak

değerlendirilmiştir. Ölçülen numunelerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu, (1) eşitliğiyle hesaplandı (Aközcan, 2014).

$$A (\text{Bq kg}^{-1}) = (\text{CPS}) / (\epsilon \times I\gamma \times M) \quad (1)$$

Buradaki,

A: spesifik aktiviteyi temsil etmektedir,

CPS: net gama sayım oranıdır (saniye başına sayım),

ϵ :specific spesifik bir gama ışınının dedektör verimidir,

$I\gamma$:gama ışını emisyon olasılığıdır,

M, kilogram cinsinden numunenin kütlesidir.

2.4 Dozimetre değerlendirilmesi

Bu çalışmada dozimetri değerlendirilmesi için, Radyum eşdeğeri (R_{eq}), Soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz değeri, (AEDE), Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR) miktarları hesaplanmıştır.

Radyoaktivite miktarının belirlenmesindeki temel amaç, canlı organizmanın maruz kalacağı radyasyonun belirlenmesidir. Farklı oranlarda ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K içeren toprak numunelerinin etkin aktivitelerini karşılaştırmak için radium eşdeğeri kullanılır [Beretka 1985, Sivakumar 2014]. Radyum eşdeğerini hesaplamak için eşitlik (2) kullanılır.

$$R_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1.43C_{\text{Th}} + 0.077C_{\text{K}} \quad (2)$$

Bu eşitlikteki C_{Ra} , C_{Th} ve C_{K} , sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının Bq kg^{-1} cinsinden değerleridir.

Canlı çevresinde bulunan radyoaktif kaynaklardan meydana gelen gama radyasyonunun canlı sağlığı üzerinde oluşturduğu etkiyi toprak yüzeyinden 1 m yükseklikteki soğurulan gama radyasyon doz hızı (D) ile ifade edilmektedir. Toprak örneklerinden ölçülerek hesaplanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla, 0.462, 0.604 ve 0.0417 dönüşüm katsayısı kullanılarak eşitlik (3) deki gibi soğurulan gama doz hızı hesaplanır (UNSCEAR, 2000; Markkanen, 1995).

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = 0.462C_{\text{Ra}} + 0.604C_{\text{Th}} + 0.0417C_{\text{K}} \quad (3)$$

Bu eşitlikteki D (nGyh^{-1}) soğurulan gama doz hızı ve C_{Ra} , C_{Th} ve C_{K} , sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının Bq kg^{-1} cinsinden değerleridir.

Açık alandaki bir kişinin farklı radyasyon kaynaklarından üretilen radyasyon sebebiyle maruz kaldığı yıllık radyasyon miktarı, yıllık etkin doz değeri (AEDE) ile hesaplanır (UNSCEAR 2000).

Yıllık etkili doz eşdeğerini (AEDE) belirlemek için, yetişkinler tarafından alınan efektif doz dönüştürme katsayısı (0.7 SvGy^{-1}), soğurulan gama doz hızı D (nGyh^{-1}), insanlar 1 yıllık zamanlarının (8760hy^{-1}) ortalama % 20 sini dış ortamda geçirdikleri için ev dışı maruziyet katsayısı (0.2) ve nano katsayısını mili ye dönüştürmek için 10^{-6} kullanılarak eşitlik (4) elde edilmiştir.. (UNSCEAR, 2000).

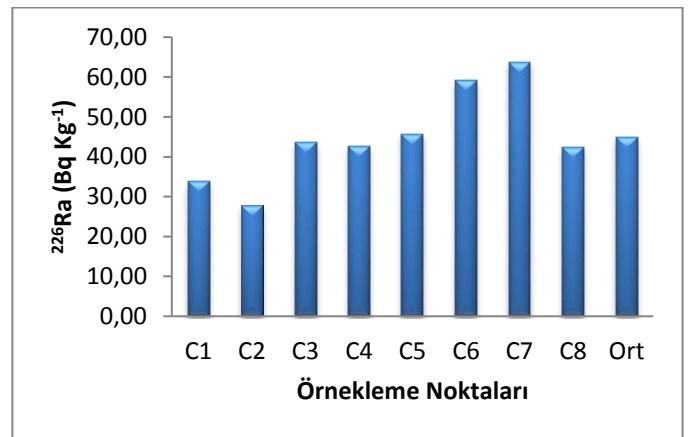
$$\text{AEDE}(\text{mSvY}^{-1}) = D(\text{nGyh}^{-1}) * 8760\text{hy}^{-1} * 0.2 * 0.7(\text{SvGy}^{-1}) * 10^{-6} \quad (4)$$

Yaşam boyu kanser riski (ELRC), bir kişinin yaşamı boyunca belirli bir radyasyon dozuna maruz kalması durumunda kansere yakalanma olasılığı olarak tanımlanır. Yaşam boyu kanser riski, yıllık etkin doz değeri (AEDE(mSvY^{-1})), ortalama yaşam süresi (YS=70 yıl) ve risk faktörü (RF= 5.10^{-2}Sv^{-1}) (ICRP, 1990) parametrelerinin çarpılmasıyla (eşitlik 5) elde edilir. Risk faktörü, ICRP tarafından stokastik etkilerde ölümcül kanser riski olarak tanımlanmıştır.

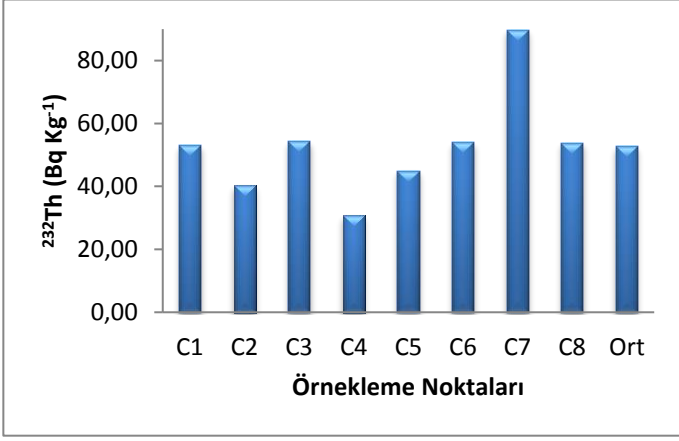
$$\text{ELCR} = \text{AEDE} * \text{YS} * \text{RF} \quad (5)$$

3 Araştırma Bulguları

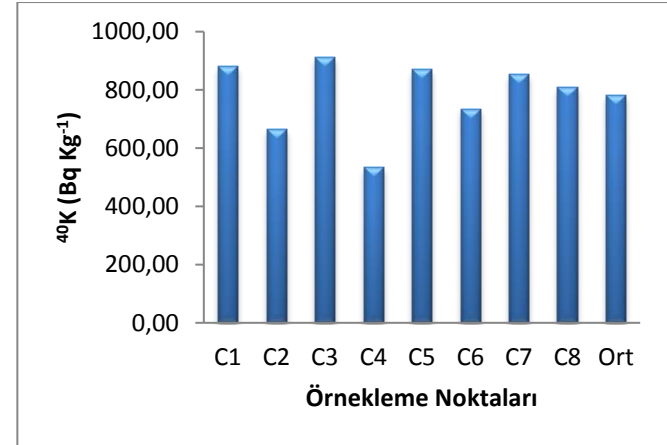
İstanbul Anadolu yakasındaki Beykoz sınırları içerisinde 8 örnekleme noktasında yapılan bu çalışmada, en düşük radyum konsantrasyonu $27,75 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C2 noktasında en yüksek radyum konsantrasyonu $63,79 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C7 noktasında (Şekil 2), en düşük toryum konsantrasyonu $30,74 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C4 noktasında en yüksek toryum konsantrasyonu $89,75 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C7 noktasında (Şekil 3) ve en düşük potasyum konsantrasyonu $533,73 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C2 noktasında, en yüksek potasyum konsantrasyonu $912,12 \text{ BqKg}^{-1}$ ile C3 noktasında bulunmuştur (Şekil 4). Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarında ise, radyum konsantrasyonu $44,87 \text{ BqKg}^{-1}$, toryum konsantrasyonu $52,59 \text{ BqKg}^{-1}$, potasyum konsantrasyonu $781,78 \text{ BqKg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. UNSCEAR 2000 raporunda dünya doğal radyoaktivite ortalamaları radyum için 35 BqKg^{-1} , toryum için 30 BqKg^{-1} ve potasyum konsantrasyonu 400 BqKg^{-1} olarak verilmiştir. Türkiye atom enerjisi tarafından 2010 yılında yayınlanan raporda ise Türkiye'deki ortalama doğal radyoaktivite konsantrasyonları radyum için 34 BqKg^{-1} , toryum için 35 BqKg^{-1} ve potasyum konsantrasyonu 450 BqKg^{-1} olarak rapor edilmiştir (TAEA, 2010). Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda ise çalışma bölgesinin radyum konsantrasyonunun ortalaması Dünya ortalamasından %28 fazla, Türkiye ortalamasından ise %32 fazla olduğu, toryum konsantrasyonunun ortalaması Dünya ortalamasından %75 fazla, Türkiye ortalamasından ise %50 fazla olduğu ve potasyum konsantrasyonunun ortalaması Dünya ortalamasından %95 fazla, Türkiye ortalamasından ise %73 fazla olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 2. Örnekleme Noktalarına Göre ^{226}Ra Konsantrasyonu

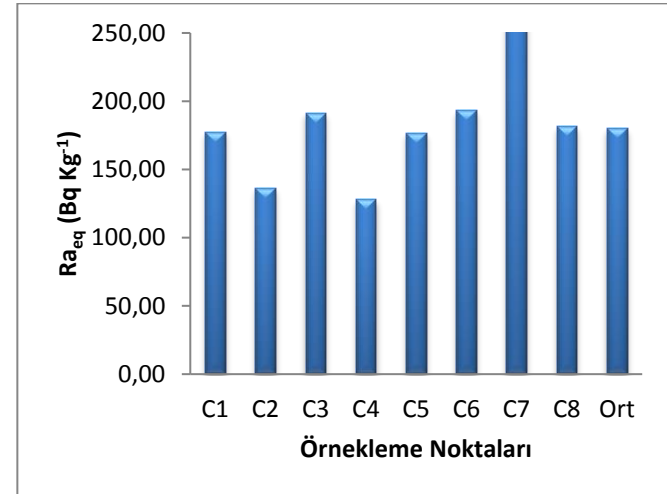


Şekil 3. Örneklem Noktalarına Göre ²³²Th Konsantrasyonu



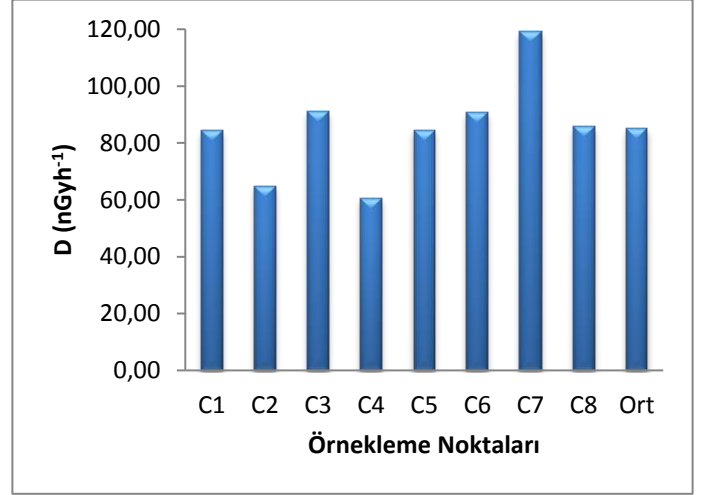
Şekil 4. Örneklem Noktalarına Göre ⁴⁰K Konsantrasyonu

Eşdeğer radyum aktivitesi, radyum, toryum ve potasyumun aktiviteyi kullanarak hesaplanmış olup en küçük radyum eşdeğer aktivitesi 127,74 BqKg⁻¹ değeri ile C4 örneklem noktasında, en yüksek ise 257,76 BqKg⁻¹ ile C7 örneklem istasyonunda, ortalama radyum eşdeğeri ise 180,28 BqKg⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). UNSCEAR 2000 raporuna göre Dünya radyum eşdeğer aktivitesi 108 BqKg⁻¹ TAEK nun raporuna göre Türkiye' nin radyum eşdeğer aktivitesi 118 BqKg⁻¹ değerleri ile bu çalışmanın ortalama değerleri kıyaslandığında, bu çalışmadaki eşdeğer radyum aktivitesinin hem Dünya hem de Türkiye ortalamasından daha yüksek olduğu görülmüştür.



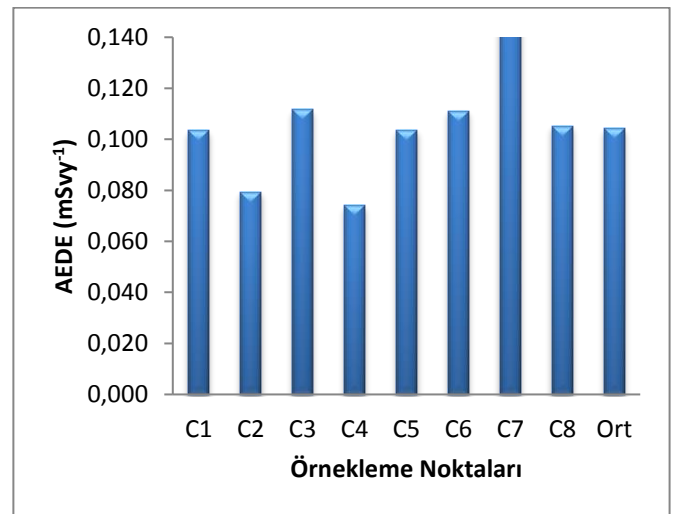
Şekil 5. Örneklem Noktalarına Göre Eşdeğer Radyum (Ra_{eq}) Konsantrasyonu

Ölçülen radyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarından hesaplanan soğurulan gama radyasyon doz hızı ise, en küçük değerinin 64,79 nGyh⁻¹ değeri ile C2 örneklem noktasında, en yüksek ise 119,22 nGyh⁻¹ değeri ile C7 örneklem istasyonunda, ortalama ise 85,10 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). UNSCEAR 2000 raporuna göre Dünya soğurulan gama radyasyon doz hızı 51 nGyh⁻¹ değeri TAEK nun raporuna göre Türkiye' nin soğurulan gama radyasyon doz hızı 56 nGyh⁻¹ değerleri ile bu çalışmanın ortalama değerleri kıyaslandığında, bu çalışmadaki soğurulan gama radyasyon doz hızı hem Dünya hem de Türkiye ortalamasından daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Örneklem Noktalarına Göre Soğurulan Gama Radyasyon Doz Hızı (D)

Yıllık etkin doz değeri (AEDE) en küçük değerinin 0,074 mSvy⁻¹ değeri ile C4 örneklem noktasında, en yüksek ise 0,146 mSvy⁻¹ değeri ile C7 örneklem istasyonunda, ortalama ise 0,104 mSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Şekil 7). UNSCEAR 2000 raporuna göre Dünya' da ortalama yıllık etkin doz değeri 0,063 mSvy⁻¹ değeri TAEK nun raporuna göre Türkiye' nin yıllık etkin doz değeri 0,068 mSvy⁻¹ değerleri ile bu çalışmanın ortalama değerleri kıyaslandığında, bu çalışmadaki soğurulan yıllık etkin doz değeri hem Dünya hem de Türkiye ortalamasından daha yüksek olduğu görülmüştür.



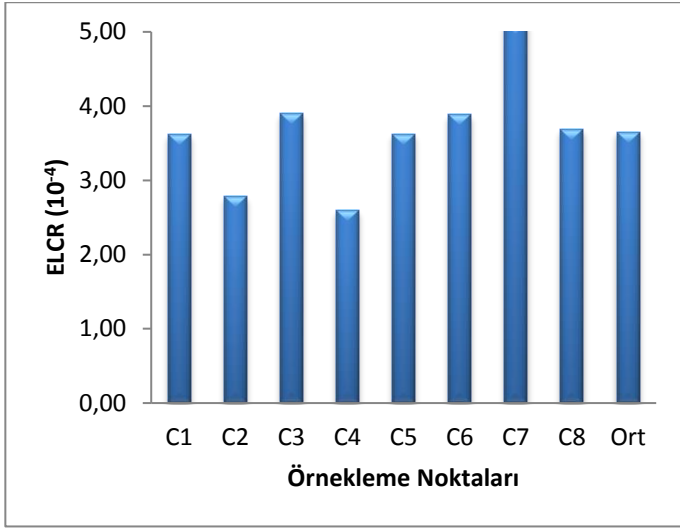
Şekil 7. Örneklem Noktalarına Göre Yıllık Etkin Doz Değeri (AEDE)

Yaşam boyu kanser riski (ELRC), en düşük C4 örneklem noktasında (0,000260), en yüksek ise C7 örneklem noktasında

(0,000512) hesaplanmış olup, tüm örnekleme noktalarının ortalaması ise 0,000365 dir (Şekil 8). Bu çalışmadaki ortalama değerler Dünya (0,000219) ve Türkiye'deki (0,000239) ortalama değerlerle kıyaslandığında bu çalışmadaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnekleme noktalarının tamamında, Dünya ve Türkiye ortalamasından daha fazla yaşam boyu kanser riski daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Şekil 8. Örnekleme Noktalarına Göre Yaşam Boyu Kanser Riski (ELRC)

Türkiye'de ve Dünya'da yapılmış olan doğal radyoaktivite sonuçları tablo 1 de gösterilmiştir. Rize, Adana, Kırklareli, Yalova, Yunanistan, Bulgaristan, Mısır ve Hindistan'da yapılmış olan 8 çalışmayla bu çalışmanın sonuçları kıyaslandığında, bu çalışmanın radyum konsantrasyonu 5 çalışmadan daha fazla olduğu, fakat Rize, Bulgaristan ve Hindistan'dan daha düşük olduğu görülmektedir. Bu çalışmadaki, toryum konsantrasyonu ise sadece Hindistan'da yapılmış olan çalışmadan daha düşük olup diğerlerinden daha yüksektir. Potasyum konsantrasyonu ise Mısır'da yapılmış olan çalışmadan daha düşük iken diğerlerinden daha yüksektir. Eşdeğer radyum aktivitesi, soğurulan gama radyasyon doz hızı, yıllık etkin doz değeri, yaşam boyu kanser riski değerleri sadece Hindistan'da yapılan çalışmadan daha düşük iken diğer çalışmaların tamamından daha yüksek olduğu bulunmuştur.



Tablo1. Farklı Çalışmalarda Ulusal ve Uluslar Arası Aktivite Miktarları

Bölge	²²⁶ Ra (Bq Kg ⁻¹)	²³² Th (Bq Kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq Kg ⁻¹)	Ra _{eq} (Bq Kg ⁻¹)	D (nGyh ⁻¹)	AEDE (mSvy ⁻¹)	ELCR (10 ⁻⁴)	Referans
Rize	85.00	27.00	431.00	156.80	73.55	0.090	3.16	Dizman vd. (2016)
Adana	17.00	21.00	297.00	69.90	32.92	0.040	1.41	Değerlier vd. (2008)
Kırklareli	28.00	40.00	667.00	136.56	64.91	0.080	2.79	Taşkın vd. (2009)
Yalova	22.00	26.00	419.00	91.44	43.34	0.053	1.86	Kapdan vd (2011)
Yunanistan	25.00	21.00	360.00	82.75	39.25	0.048	1.68	UNSCEAR 2000
Bulgaristan	45.00	30.00	400.00	118.70	55.59	0.068	2.39	UNSCEAR 2000
Mısır	14.00	12.00	1233.00	126.10	65.13	0.080	2.80	Ahmed and El-Arabi (2005)
Hindistan	64.00	93.00	124.00	206.54	90.91	0.111	3.90	Singh vd (2005)
Türkiye(ort)	34.00	35.00	450.00	118.70	55.61	0.068	2.39	TAEA 2010
Dünya(ort)	35.00	30.00	400.00	108.70	50.97	0.063	2.19	UNSCEAR 2000
Bu çalışma	44.87	52.59	781.78	180.28	85.10	0.104	3.65	

4. Sonuç

Bu çalışma İstanbul'un Beykoz ilçesinde 8 örnekleme noktası belirlenerek karasal doğal radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Doğal radyoaktivite konsantrasyonları kullanılarak eşdeğer radyum aktivitesi, soğurulan gama radyasyon doz hızı, yıllık etkin doz değeri, yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır. Yapılan ölçümlerin sonucunda hesaplanan radyum, toryum, potasyum, eşdeğer radyum aktivitesi, soğurulan gama radyasyon doz hızı, yıllık

etkin doz değeri, yaşam boyu kanser riski parametrelerinin tamamı hem Dünya ortalamasından hem de Türkiye' ortalamasından daha yüksek seviyede olduğu bulunmuştur. Hesaplanan bu parametreler, Dünya'da yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında ise birçok çalışmadan daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Bölgedeki doğal radyoaktivite miktarı Dünya ve Türkiye ortalamasından daha yüksek çıktığı için yaşam boyu kanser riski(3,65*10⁻⁴) de, Dünya(2,39*10⁻⁴) ve Türkiye(2,19*10⁻⁴) ortalamasından daha yüksek çıkmıştır.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmadaki ölçümlerin yapılması için gamma spektrometresinin kullanılmasında ve makalenin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Baldasano J.M., Valera E., Jimenez P. 2003. Air quality data from large cities. *The Science of the Total Environment* 307, 141-165.

Byrne J.P.2008. *Encyclopedia of Pestilence, Pandemics, and Plagues: A-M. ABC-CLIO.*, ISBN 0313341028, Westport, Connecticut: Greenwood Press, pp. 33.

Ahmed N. K., El-Arabi A. M., 2005, Natural radioactivity in farm soil and phosphate fertilizer and its environmental implications in Qena governorate, Upper Egypt, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 84, Issue 1, Pages 51-64, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.04.007>

Aközcan S., Kūlahcı F., Mercan Y., 2018, A Suggestion to Radiological Hazards Characterization of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs : Spatial Distribution Modelling, *Journal of Hazardous Materials* PII: S0304-3894(18)30274-7 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.042> (in press)

Aközcan S., Yılmaz M., Kūlahcı F., 2014 Dose rate and seasonal variations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey, *J Radional Nucl Chem* 299:95-101 Doi 10.1007/s10967-013-2730-5

Aközcan S., 2014(a), Natural and Artificial radioactivity levels and hazard of soils in the Kūçük Menderes Basin, Turkey, *Environ Earth Sci* (2014)71:4611-4614, Doi 10.1007/s12665-013-2861-6

Aközcan S. 2014(b), Annual effective dose of naturally occurring radionuclides in soil and sediment, *Toxicological and Environmental Chemistry* <http://dx.doi.org/10.1080/02772248.2014.939177>

Akkurt I., Ermis R.B., Bař P., Gūnoglu K., 2015, Radioactivity measurement on dental resin composites. *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 128 (2-B), 34-36. doi: 10.12693/APhysPolA.128.B-34.

Çetin B., Öner F., Akkurt I., 2016, Determination of natural radioactivity and associated radiological hazard in excavation field in Turkey (OluzHöyük). *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 130 (1), 475-478, doi:10.12693/APhysPolA.130.475.

Değerlier M., Karahan G., Ozger G., 2008, Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(7), 1018–1025.

Dizman S., Görür F.K., Keser R., 2016, Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 14(3): 237-244.

Ereeş F.S., Aközcan S., Parlak Y., Çam S., 2006, Assesment of dose rates around Manisa (Turkey), *Radiation MEasurements* 41 (2006) 598-601

ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.

Karataslı M., Turhan S., Varinlioglu A., Yegingil Z., 2016, Natural and fallout radioactivity levels and radiation hazard evaluation in soil samples. *Environ Earth Sci*, 75:424.

Kapdan E., Varinlioglu A., Karahan G., 2011, Radioactivity Levels and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Yalova, Northwestern Turkey *Int. J. Environ. Res.*, 5(4):837-846.

Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A., Santawamaitre, T., 2012. An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Appl. Radiat. Isot.* 70 (8), 1467–1474.

Markkanen M., 1995, Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-BSTO 32. Radiation and Nuclear Safety Authority -STUK.

Seçkiner S., Akkurt, I., Gūnoglu K., 2017, Determination of ^{40}K concentration in gravel samples from Konyaaltı Beach, Antalya. *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 132 (3-II), 1095-1097,doi: 10.12693/APhysPolA.132.1095.

Singh S., Rani A., Mahajan R. K., 2005, ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry, *Radiation Measurements*, Volume 39, Issue 4, 2005, Pages 431-439, ISSN 1350-4487, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2004.09.003>.

TAEA, 2010, Türkiye'deki Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi 2009, Technique Report, Ankara

Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hideoğlu S., Karahan G., 2009, Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 49- 53.

Uyanik N.A., Öncü Z., Uyanik O., Bozcu M., Akkurt I. Gūnoglu K., Yagmurlu F., 2015, Distribution of natural radioactivity from ^{40}K radioelement in volcanics of Sandıklı-Suhut (Afyon) area. *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 128 (2-B), 438-440, doi: 10.12693/APhysPolA.128.B-438.

UNSCEAR, 2000, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. United Nations, New York.

Yaren H., Karayılanoğlu T., 2005, Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4 (4), 199-208.