



Gölcük/Isparta ve Yakın Çevresinde Yer Alan Kayaçların Doğal Radyoaktivite Özelliklerinin İncelenmesi

Osman Çoban¹, M. Nuri Dolmaz^{2*}, Ezgi Erbek-Kıran³, Ömer Elitok⁴

¹Jeofizik Mühendisliği ABD /Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0275-2399) osmncbn001@gmail.com

^{2*}Jeofizik Mühendisliği /Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9185-9835), nuridolmaz@sdu.edu.tr

³Jeofizik Mühendisliği /Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4627-8932), ezgierebek@sdu.edu.tr

⁴Jeoloji Mühendisliği /Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6879-2575), omereelitok@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2022, September 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1168183)

ATIF/REFERENCE: Çoban, O., Dolmaz, M.N., Erbek-Kıran, E. & Elitok, Ö. (2022). Gölcük/Isparta ve Yakın Çevresinde Yer Alan Kayaçların Doğal Radyoaktivite Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 156-160.

Öz

Bu çalışma Türkiye'nin en genç patlamalı volkanları arasında yer alan Gölcük (Isparta) volkanik bölgesinde yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı bölgedeki patlamalı volkanizmaya bağlı olarak gelişen kayaçlardaki radyoaktivite konsantrasyon değerlerinin ölçülerek bölge için bu değerlerin yorumlanması ve elde edilen konsantrasyon değerlerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri ile çevresel etkilerinin değerlendirilmesidir. Arazi çalışmaları kapsamında Gama-ışın spektrometresi ve yerinde ölçüm tekniği kullanılarak piroklastik kayaçlar ve volkanik kayaçlar üzerinde toplam 452 noktada Uranyum (U), Toryum (Th), Potasyum (K) ve absorbe doz oranı ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçümlere ait dağılım haritaları oluşturulmuş ve bölge genelinde yer yer yüksek radyoaktivite değerleri gözlenmiştir. Elde edilen U değerleri 10 ile 350 Bq/kg aralığında değişirken, Th değerlerinin 420 Bq/kg değerine ulaştığı görülmüştür. Her iki konsantrasyon dağılım haritasında da benzer bölgelerde yüksek konsantrasyon değerleri gözlenmiştir. Bölge için ölçülen potasyum değeri ise 2200 Bq/kg değerine ulaşmaktadır. Ölçümler sonucu elde edilen yüksek U ve K değerlerinin bölgedeki volkanik kökenli kayaçların kimyasal açıdan sahip olduğu potasik-ultrapotasik karakterlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dağılım haritalarından elde edilen sonuçlar bölgenin genel jeolojisi ile karşılaştırıldığında bölgede yer alan tefrifonolit kayaçların olduğu alanlara karşılık gelen bölgelerin daha yüksek konsantrasyon değerleri gösterdiği görülmüştür. Havada absorbe edilen doz oranı ise 480 nGy/h değerlerine ulaşmaktadır ki bu değer UNSCEAR tarafından belirlenen dünya ortalamasının (60 nGy/h) yaklaşık olarak sekiz katı değerindedir. Dolayısıyla bu çevrede yaşayan canlıların bu durumdan negatif olarak etkilenebilme olasılığı bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: radyoaktivite, Gölcük volkanizması, gama-ışın spektrometresi, absorbe doz oranı

Investigation of Natural Radioactivity Characteristics of Rocks in Gölcük/Isparta and Its Vicinity

Abstract

This study was carried out in the Gölcük (Isparta) volcanic region, which is among the youngest eruptive volcanoes of Turkey. The aim of this study is to measure the radioactivity concentration values in the rocks developed due to explosive volcanism in the region, to interpret these values for the region, and to evaluate the effects of the concentration values on human health and environmental effects. Uranium (U), Thorium (Th), Potassium (K), and absorbed dose rate measurements were taken at a total of 452 points on the volcanic and pyroclastic rocks in the region using Gamma-ray spectrometry and in situ measurement technique. Distribution maps of the measurements were created and high radioactivity values were observed throughout the region. While the obtained U values varied between 10 and 350 Bq/kg, it was observed that the Th values reached 420 Bq/kg. High concentration values were observed in similar regions in both concentration distribution maps. The potassium value measured for the region reaches 2200 Bq/kg. It is thought that the high U and K values obtained as a result of the measurements may be due to the potassic-ultrapotassic characters of the volcanic origin rocks in the region. The dose rate absorbed in the air reaches 480 nGy/h, which is approximately eight times the world average (60 nGy/h) determined by UNSCEAR. Therefore, there is a possibility that the living things living in this environment may be negatively affected by this situation.

Keywords: Radioactivity, Golcuk volcanism, Gamma-ray spectrometer, Absorbe dose rate

1. Giriş

Bu çalışmada Güneybatı Anadolu'da bulunan Gölcük (Isparta) volkanizması çalışma alanı olarak seçilmiştir. Gölcük volkanizması, Toros kuşağının, "Isparta Açısı" olarak tanımlanan noktasında bulunmaktadır [1, 2]. Ayrıca bu bölge "Isparta Dirseği" ve "Isparta Büklümü" olarak da bilinmektedir [3]. Isparta Büklümü tektonik olarak; güneyde dalma-batma zonu olan Helen yayı ve Kıbrıs yayı ile sınırlanan Ege-Batı Anadolu açılma bölgesi ile Anadolu plakası arasındaki birleşim bölgesinde bulunmaktadır [4] (Şekil 1).

İnceleme alanı, Toridler tektonik birliği içinde önemli yere sahip olan Isparta büklümünün iç batı kısmında yer almaktadır [5]. Toros dağlarının uzanımının doğu-batı istikametinde, göller bölgesi kısımlarında bu düzenli uzanış, kıvrım veya bir büklüm yapmış şekilde görülmektedir. Bu deformasyon, bölgedeki tektonizma hareketliliğinin göstergesidir. Anadolu Levhasında görülen tektonik ve morfolojik oluşumlar bu tür hareketler sonucunda oluşmaktadır [6]. Çalışma alanının tektonik ve volkanik hareketlilik açısından aktif durumda olması, bu bölgedeki radyoaktivite seviyelerinin de yüksek olması gerektiğini düşündürmektedir.



Şekil 1. Isparta Açısının tektonik konumu (I7)'den değiştirilmiştir

Yeryüzündeki kayaların çoğu önemli düzeylerde doğal radyoaktif içerirler. Kayalarda fiziksel özellik olarak bulunan radyoaktivite, basit haliyle; atomların yapısındaki değişim olayıdır. Doğal radyoaktiviteye sahip ve yer kürede önemli ölçüde bulunan uranyum, toryum ve potasyum ile bunların izotopları, jeofizik ve jeolojik araştırmalar için büyük öneme sahiptir. Jeofizikte radyometrik yöntem ile, radyoaktivite değerlerinin ölçülmesi ilk olarak 1920'li yıllarda Geiger-Müller sayaçlarının üretilmesi ile 1930'lu yıllarda ise petrol kuyularından log alınmasında kullanılması ile başlamıştır [8]. Daha sonraki yıllarda ise gamma ışınlarını enerji seviyelerine göre ayırıp kayıt yapabilen Gamma Ray Spektrometresi kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada ise Gama-ışın spektrometresi kullanılarak Gölcük volkanik bölgesinde radyoaktivite konsantrasyonları ölçülerek bu değerlerin bölge ve insan sağlığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı Jeolojisi

İnceleme alanının temelinde Teke Naplarına (Likya naplarına) ait allokton konumlu ofiyolitik melanj yer almaktadır. Ofiyolitik melanj genellikle serpantin, serpantinize harburjit, farklı boyutlarda masif altere bazaltlar, diyabaz çakıl ve blokları, derin deniz sedimanları, yine haritalabilir boyutlara kadar ulaşan ve melanj içerisinde gömülü masif, bol kırık katlaklı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Isparta yerleşim alanı ve yakın çevresinde volkanik kayalar volkanik patlama öncesinde temel kayaları keserek yüzeye çıkmış kaldera dışı volkanikler ve bunlara eşlik eden aglomera-lahar çökelleri, volkanizmanın son aşamalarında volkanik patlama ve kaldera oluşumuna bağlı olarak gelişmiş kaldera içi volkanikler ve piroklastikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir [9]. Volkanik patlama Isparta yerleşim alanı güneybatısında ofiyolitik melanj içerisinde gelişmiş olup halen bu bölgede bir krater gölü olan Gölcük gölü yer almaktadır. Platevoet ve diğ. [10] Kuvaterner volkanik aktivitesini kendi içerisinde her biri farklı volkanik ürünler ile temsil edilen üç farklı püskürme evresine ayırmışlardır: (i) Birinci püskürme evresi: altı piroklastik akma seviyesi ile temsil edilen ignimbritik piroklastik akma çökelleri, (ii) ikinci püskürme evresi: kaldera içerisinde gelişmiş tefrifonolitik lav domları, (iii) üçüncü püskürme evresi: maar tipi volkanik aktiviteye bağlı birden fazla püskürme faaliyeti sonucu oluşmuş tuf halkası çökelleri ve en son olarak da maar krater içi trakitik bileşimli lav domu oluşumları. Bu çalışma Gölcük gölü çevresinde yer alan kaldera içi volkanikler ve piroklastikler üzerinde yürütülmüştür.

2.1.2. Çalışma Alanı Sismotektoniği

Türkiye, sismik açıdan dünyadaki en hareketli bölge olan Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Türkiye'nin sismotektoniği, Avrasya levhası açısından Afrika ve Arap levhalarının kuzey yönünde ilerlemesinden oluşmaktadır [11-13]. Bu durum Anadolu levhasının yılda ortalama 24 mm ve Doğu Anadolu Fay Zonu ve Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca batıya hareket etmesine neden olmaktadır [14]. Bölgenin güneydoğusunda aktif kıtasal çarpışma ve bindirme zonu Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı, güneybatıda ise aktif Ege ve Kıbrıs Yayları bulunmakta [15] ve tektonik hareketlilikten etkilenmektedir.

Isparta'nın yer aldığı Güneybatı Anadolu bölgesi ise, Anadolu-Ege bloğunun batıya doğru yönelmesi, Helen ve Kıbrıs Yaylarının etkisi altında gelişen bir sismik hareketlilik göstermektedir [14]. Fethiye Burdur Fay Zonu ve Akşehir Fay Zonu Isparta'daki deprem hareketliliğini etkileyen başlıca zonlardır. Isparta Açısının (IA) sınırlarını Fethiye Burdur Fay Zonu, Akşehir Fay Zonu, Helen ve Kıbrıs yaylarının kesişim noktası belirlemektedir [1, 2, 16, 17].

2.2. Metot

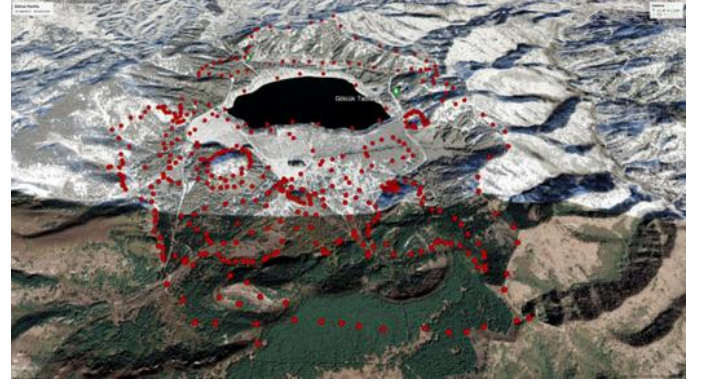
2.2.1. Radyoaktivite

Atomun çekirdeğindeki, elektromanyetik ışına veya tanecik yayını yapılarak kendi kendini parçalaması olayına radyoaktivite olayı denir. Çekirdek tepkimesi sonucu ortaya bir enerji açığa çıkar ve bu enerjiye radyasyon adı verilir. Radyasyon yayın maddelere radyoaktif maddeler denir. Atom çekirdeğinin alfa parçacığı, beta parçacığı, gama ışını ya da başka parçacık yayını yapması veya atomun çekirdeğe yakın yörüngesinden bir elektron yakalaması olayına Radyoaktif Bozunma denir [18]. Alfa, beta ve gama olmak üzere 3 farklı bozunma türü bulunmaktadır.

Radyometrik çalışmalarda kullanılan başlıca radyoaktif elementler Uranyum, Toryum ve Potasyum olup bunlar yeryüzünde bulunan mineral ve kayaçların bileşimlerinde değişik miktarlarda bulunan radyoaktif elementlerdir. Uranyum elementinin ^{235}U ve ^{238}U olmak üzere iki tane doğal izotopu bulunmaktadır. Doğada yer alan uranyumun %99,7'si ^{238}U izotopudur. İki izotopunda yarılanma ömrü milisaniyeden milyonlarca yıla kadar değişen bozunma ürünleri bulunmaktadır. ^{235}U ve bozunma ürünlerinin gamma ışın enerjisi 0,35 MeV' den yüksek değildir. ^{235}U 'in bozunmasının son ürünü ^{207}Pb , ^{238}U 'in bozunmasının son ürünü ise ^{206}Pb 'dir, sonra durağan hale gelirler. ^{238}U elementi gamma ışın yayılımı yapmamaktadır. Toryumun ise Doğal izotopu ^{232}Th 'dir ve bozunmasının son ürünü ^{208}Pb 'dir. Gamma ışın yayılımı açısından en geniş banda Talyum (^{208}Tl) izotopudur. Gamma ışın spektrometresinin ölçümlerindeki hedefi ^{208}Th 'in yayılım gösterdiği gamma ışınlarıdır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada Isparta ili sınırlarında bulunan Gölcük Volkanizmasında arazi şartlarına, bölgede bulunan kayaçların türüne bağlı olarak olabildiğince sık aralıklar ile ölçümler alınmıştır (Şekil 2). Çalışmalar sırasında GF Instrument Inc. marka gama ışını spektrometresi ve yerinde ölçüm tekniği kullanılarak toplam 452 noktada ölçümler alınmıştır. Ölçümler sırasında gama ışın spektrometresi zemin yüzeyinden 70-80 cm yükseklikte tutulmuştur. IAEA [19] tarafından sırasıyla yüksek ve düşük radyoaktif toprak ve kayaçlar için 120-300 saniye olarak belirlenen sayım sürelerin doğrultusunda bu çalışmada ölçümler 120 sn sayım süresi kullanılarak alınmıştır. Bitkilerde potasyum bulunduğundan, ölçümler direkt olarak kayaç yüzeylerinden ve topraktan alınmıştır. Çalışmalarda, harici bir GPS (± 5 m) ile otomatik kazanç kontrolünün stabilizasyonu için 137 Cs gama ışını kaynağı kullanarak GF gama ışını spektrometre menüsünde tam spektrum ve tahlil modu seçilmiştir. Bu mod verilerin sırasıyla K, U ve Th miktarı için yüzde ve ppm cinsinde sonuç vermektedir. Jeolojik ve çevresel radyoaktivite ölçümleri için potasyum, uranyum ve toryum miktarı birimi genellikle kütle başına Becquerel (Bq) olarak ifade edilir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı konsantrasyon biriminden dönüşüm faktörü olarak %1 potasyum = 313 Bq/kg 40K, 1 ppm uranyum = 12.35 Bq/kg ^{238}U ve 1 ppm toryum = 4.06 Bq/kg ^{232}Th [24] kullanılarak bu araştırmada, ölçümler % ve ppm'den Bq/kg'a dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Ölçüm noktalarının çalışma alanındaki dağılımı

Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen radyoaktivite değerleri 35 m örnekleme aralığı ile haritalanmıştır. Potasyum dağılım haritası incelendiğinde potasyum ortalama değerlerinin 1218.99 Bq/kg olduğu ve 2200 Bq/kg değerine kadar ulaştığı görülmüştür (Şekil 3). Çalışma alanının güneybatısında ve Gölcük gölünün doğusunda yer alan yüksek potasyum değerleri dikkat çekmektedir. Bu yüksek değerlere karşılık gelen bölgenin jeolojik olarak tefronolit kayaçların hâkim olduğu alana karşılık gelmektedir. Bu volkanik yapıların büyük kısmı ağırlıklı olarak ikincil lav akıntıları ve kubbeleri ile tefra birikintilerinden (piroklastik akıntılar, hava düşüşleri ve akıntılar, küçük laharlar) oluşmaktadır [10].

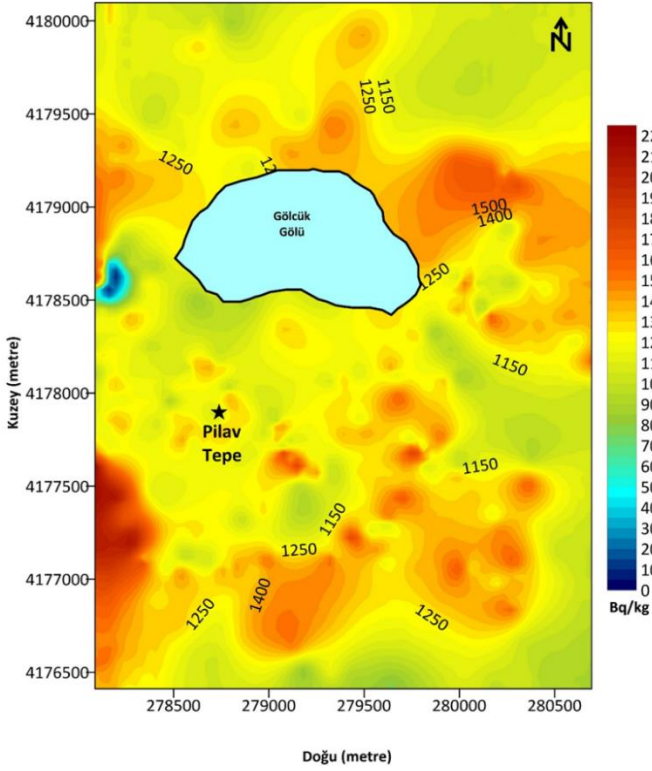
Çalışma alanına ait Uranyum konsantrasyon dağılım haritası Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere uranyum konsantrasyon değerleri 100 ile 320 Bq/kg aralığında değişmektedir. En yüksek değerler (yaklaşık 320 Bq/kg) bölgedeki Gölcük volkanitlerinde ölçülmüştür. Bölgedeki piroklastik ve sedimenter birimlerde ise sırasıyla yaklaşık olarak 240 Bq/kg ve 130 Bq/kg değerleri ölçülmüştür.

Çalışma alanındaki Toryum konsantrasyonları kontur haritası ise Şekil 5'te verilmiştir. Bölge için Toryum değerleri 420 Bq/kg değerine ulaşmakta ve Uranyum konsantrasyon dağılım haritasıyla benzer şekilde aynı noktalarda yüksek değerler göstermektedir. En yüksek Toryum konsantrasyon değerleri (~400 Bq/kg) Gölcük volkanitlerinde ölçülmüştür. Gölcük piroklastiklerinde bu değer ~220 Bq/kg ölçülürken bölgedeki sedimenter birimlerde ise ~140 Bq/kg olarak ölçülmüştür.

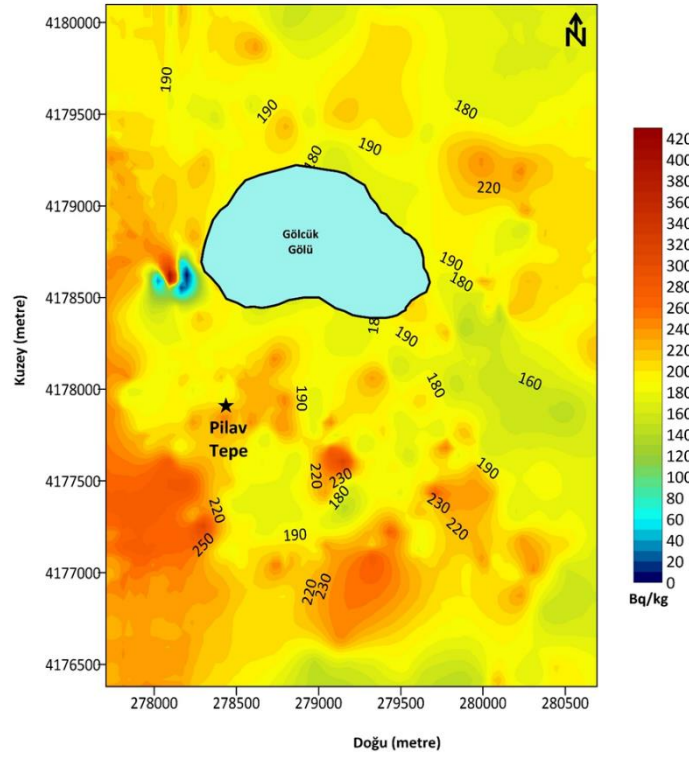
Havada absorbe edilen doz oranı ise (nGy/h) denklem (1)'den hesaplanmıştır [25],

$$\text{Doserate} = 13,078 * C_K + 5,675 * C_U + 2,494 * C_{Th} \quad (1)$$

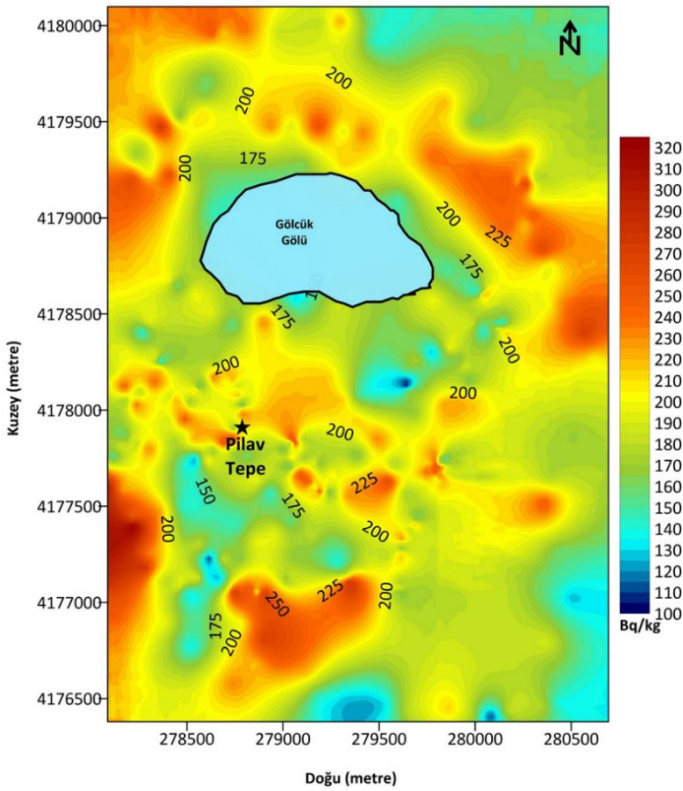
Denklemden bulunan C_K , % olarak ^{40}K konsantrasyonu ve C_U ve C_{Th} , sırasıyla ppm olarak ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonudur. Bu denklem yardımı ile elde edilen absorbe doz dağılım haritası Şekil 6'da verilmiştir. Jeolojik birimlere göre Gölcük volkanitlerinde bu değer ~480 Bq/kg, Gölcük piroklastiklerinde ~250 Bq/kg ve sedimenter birimlerde ise ~180 Bq/kg olarak ölçülmüştür.



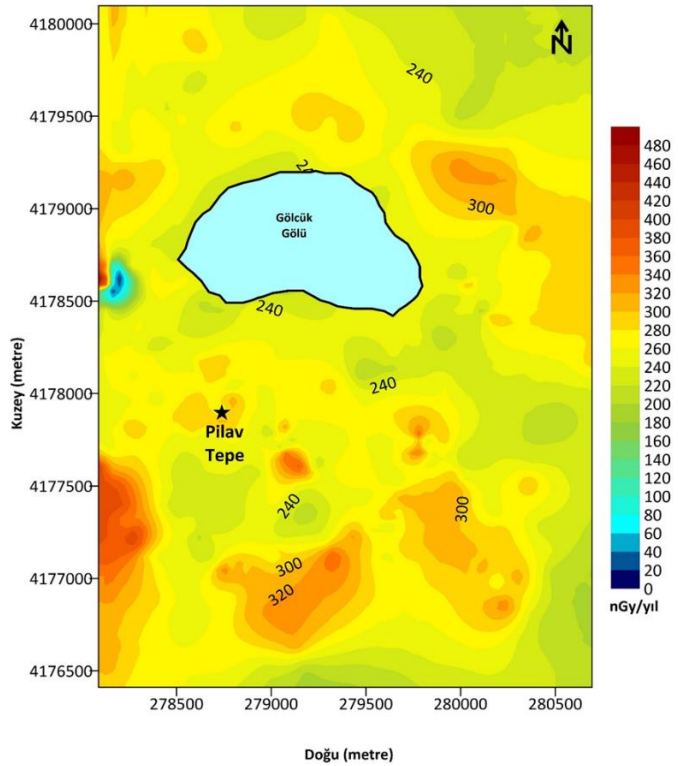
Şekil 3. Potasyum konsantrasyonu kontur haritası



Şekil 5. Toryum konsantrasyonu kontur haritası



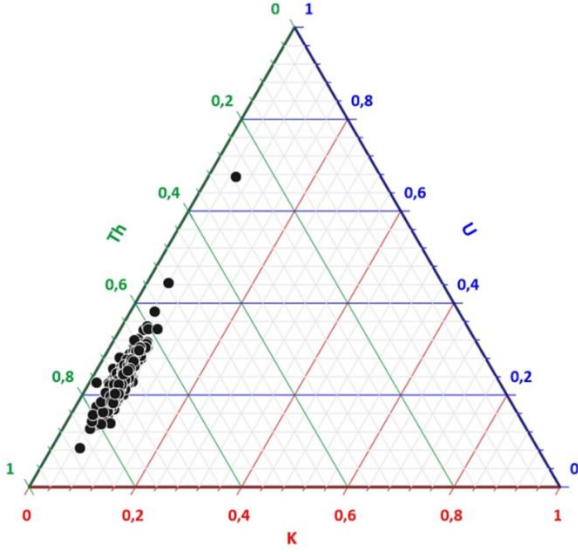
Şekil 4. Uranyum konsantrasyonu kontur haritası



Şekil 6. Havada absorbe edilen doz oranı (nGy/h) kontur haritası

Ternary diyagramı (U–Th–K), her bir radyo elementinin radyojenik ısı üretim oranına katkısını göstermektedir. Şekil 7’de verilen ternary diyagramına göre, değerlerin çoğu Th-eksenine yakındır, bu da toplam ısı üretiminin esas olarak Th miktarına bağlı olduğunu gösterirken, K'nin katkısı ise %15 civarındadır. Gölçük volkanik kayalarındaki yüksek Th değerlerinin kaynağı

radyoaktif yardımcı mineraller açısından daha zengin olması durumu ile açıklanabilir.



Şekil 7. Ternary diyagramı U, Th ve K

4. Sonuç

Bu çalışmada, Gölcük volkanizması için toprak ve kayalardan yerinde ölçüm tekniği ile doğal radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmada incelenen alanın doğal kabul edilen radyoaktivite seviyesinden çok yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının ^{226}U , ^{232}Th ve ^{40}K izotoplarının aktivite konsantrasyonları, UNSCEAR [20] raporunda belirtilen ortalama değerlere göre güvenli sınırı aşmaktadır. Ölçümler sonucu elde edilen yüksek U ve K değerlerinin ise bölgedeki volkanik kayaların sahip olduğu potasik-ultrapotasik karakterlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca havada absorbe edilen doz oranı da güvenli olarak belirlenen aralıktan 8 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu açıdan Gölcük volkanizmasında toprak ve kayalardan yayılan doğal radyasyonun radyolojik tehlike ve insan sağlığı üzerinde negatif yönde bir etki oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı, FYL-2022-8576 No'lu Proje ile maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na, SDÜ Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi Müdürlüğüne ve Gölcük Tabiat Parkı'ndaki çalışmamızı destekleyen IV. Orman Bölge Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynakça

[1] Brunn, J., 1976. L'Arc Concave Zagro-Taurique Et Les Arcs Convexes Taurique Et. Bulletin Society Geology, XVIII (No), 553-567.
 [2] Şengör, A., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-40.
 [3] Şengör, A., Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi Levha Tektoniği. Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi No:1. Ankara.

[4] Glover, C.V., 1998. Neotectonic Intersection Of The Aegean And Cyprus Tectonic Arcs. Extensional And Strike-Slip Faulting On The Isparta, Tectonophysics, Sw Turkey. 298, 103-132.
 [5] Koçyiğit, A., 1981. Isparta Büklümünde (Batı Toroslar) Toros Karbonat. Türkiye Jeol. Kurumu Bülteni, 24, s. 15-23.
 [6] Karaman, M.E., 1994. Isparta-Burdur Arasının Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 37(2), s. 119-134.
 [7] Tohon, D.S., 2005. Identification Of A Historical Morphogenic Earthquake Through trenching At Ancient Sagalassos, Sw Turkey. Journal Of Geodynamics 40, 279-293.
 [8] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R., Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge.
 [9] Elitok, Ö., Özgür, N., Yılmaz, K., 2008. Gölcük volkanizmasının (Isparta) jeolojik evrimi, GB Türkiye. Proje no: TÜBİTAK 104Y181.
 [10] Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Blamart, D., Nomade, S., Massault, M., Yılmaz, K., 2008. Pleistocene eruptive chronology of the Gölcük volcano, Isparta Angle, Turkey. Chronologie des épisodes volcaniques pléistocènes du volcan Gölcük, Angle d'Isparta, Turquie. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire 19 (2), 147-156.
 [11] McKenzie, D.P., 1972. Akdeniz bölgesinin aktif tektoniği. Geophys J Roy Astr 30, 109-185.
 [12] Jackson, J., McKenzie, D.P., 1984. Batı Türkiye ve Pakistan arasındaki Alp-Himalaya kuşağının aktif tektoniği. Geophys J Roy Astr 77, 185-264.
 [13] Gülen, L., Pınar, A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yılmaz, M., Işıkara, A.M., 2002. Yüzeysel kırılmaları, artçı şok dağılımı ve 17 Ağustos 1999 İzmit, Türkiye, deprem. Boğa Seismol Soc Am 92 (1), 230-244.
 [14] McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben-Sari, D., Tealeb, A., 2003. Afrika (Nubia) ve Arabistan levha hareketlerine ilişkin GPS kısıtlamaları. Geophys J Int 155 (1), 126-138.
 [15] Şengör, AMC, Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: in Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., eds, Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Special Publications, SEPM Society for Sedimentary Geology, Tulsa, 37, 227-264.
 [16] Poisson, A., 1984. Doğu Akdeniz'in jeolojik evriminde İyon teknesinin GB Türkiye'ye genişlemesi. Geol Soc Spec Yayınları 17, 241-250.
 [17] Yağmurlu, F., Savaşçın, Y., Bozcu, M., 2000. Türkiye'deki neotektonik olaylar ve Isparta Açısı'nın tektonik evriminin önemi. Uluslararası Yer Bilimleri Kongresi Ege Bölgeleri Özetleri. İzmir/Türkiye.
 [18] Arya, A., 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları. (Y. Şahin, Çev.) Erzurum: Aktif Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti. pp 27-43.
 [19] IAEA 2003. Radiation Safety. IAEA Division of Public Information. International Atomic Energy Agency. pp 96.
 [20] UNSCEAR 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation United Nations, New York.