

Isparta Şehir Merkezi Yüzey Toprağındaki Radyoaktivite Düzeyi

Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU^{1*}, Nazlı Ceyla ANADOLU¹, Ayşegül BAYKUL², Yiğit EREK¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi / ISPARTA

Alınış tarihi:24.11.2009, Kabul tarihi:22.03.2010

Özet : Isparta şehir merkezi yüzey topraklarındaki radyonüklit (eU, eTh, %K) aktivite konsantrasyonları gama ışın spektrometresi (GF Gamma Surveyor 2" x 2" (6.3 inc³) NaI (TI)) kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma alanında, ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları sırasıyla 10-23 ppm, 20-65 ppm, %2-%5.68 ve soğurulmuş doz oranı ise 150-365 nGy/saat arasında bulunmuştur. Alan ortalaması ve etkin doz oranı ise 267 nGy/saat ve 1.26-2.24 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Bazı alt bölgelerde elde edilen etkin doz oranları OECD tarafından dünya ortalaması olarak verilen 2.1 mSv/yıl 'ı aşmaktadır. Ölçülen yüksek radyoaktivite gölcük volkanizması ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, ölçülmüş doz oranlarına etkinin 19.55% ⁴⁰K, 35.45% ²³⁸U, 45% ²³²Th kökenli meydana geldiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gamma Radyasyonu, Soğurulmuş Doz Seviyesi, Radyonüklitler, Isparta

Radioactivity Level of the Surface soil of Isparta City Centre

Abstract: The activity concentration of radionuclides (eU, eTh, %K) in surface soil on the Isparta city centre have been measured using gamma ray spectrometer (GF Gamma Surveyor 2" x 2" (6.3 inc³) NaI (TI)). In this region, concentration of the ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K were found to be 10-23 ppm, 20-65 ppm, %2-%5.68, respectively the absorbed dose rate was in the rate of 150-365 nGy/h. Average air absorbed dose and effective dose rates have been calculated as 267 nGy/h and 1.26-2.24 mSv/year, respectively. For some specific subregions, the values of the annual effective dose rates exceed the average worldwide exposure value of 2.4 mSv/year proposed by OECD. Observed high level radioactivity is originating from products of the Gölcük explosive maar crater. Results showed that observed contributions of the radionuclides to the average dose rate are 19.55% of ⁴⁰K, 35.45% of ²³⁸U and 45% of ²³²Th sources.

Keywords: Gamma Radioactivity, Absorbed Dose Level, Radionuclides, Isparta

Giriş

Yerküre, üzerinde yaşayan canlılara yaşamını kolaylaştıracak birçok olanak sunarken, yaşamını tehdit eden pek çok unsuru da beraberinde getirmektedir. Bu tehditlerin bir kısmı deprem, sel, salgın hastalıklar gibi bir Yerkürede yaşamı tehdit eden bu radyasyon; doğal kaynaklardan yada insanoğlunun ürettiği yapay kaynaklardan ileri gelmektedir.

Yapay kaynaklar bir kenara bırakıldığında doğal radyoaktivitenin getirdiği radyasyonun bir kısmı karasal kaynaklı iken bir kısmı da kozmik ışın kaynaklıdır. Kozmik ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçerken tutulmakta ve sadece küçük bir kısmı yerküreye ulaşmaktadır. Günlük yaşamımızda kozmik ışınlarından aldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv/yıl dır. Kozmik ışınlardan alınan bu değer, uzayda meydana gelen ve dünyayı belli bir süre etkileyen spesifik olaylar hariç büyük bir tehdit oluşturmamaktadır.

Dünyanın oluşumuyla birlikte doğada yerini alan radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede kaçınılmaz olarak doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır.

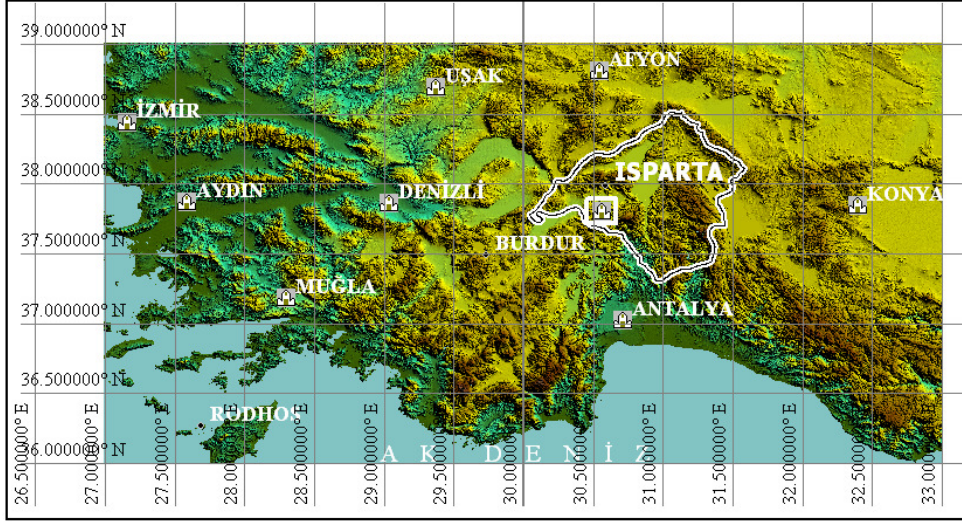
Karasal kaynaklı doğal radyoaktivite seviyesi; bölgenin jeolojik yapısı, coğrafi konumu, radyokimyasal durumu ve radyoaktif çekirdeklerin yeryüzündeki dağılımına göre

anda ortaya çıkıp canlılara ve çevreye büyük hasarlar verirken, bir kısmı da radyoaktivite gibi sessizce daha uzun bir süreç içerisinde canlı yaşamını tehdit etmektedir.

değişiklikler göstermektedir. Kayalarda ve topraklarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th gibi radyonüklitler karasal kökenli doğal radyasyonun kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu nedenle insanların bu ışınlardan aldıkları doz oranları bölgeden bölgeye farklılaşmaktadır.

Son yıllarda radyoaktivite uygulamaları ve tehditleri ilginin git gide arttığı bir çalışma alanı olmuştur. Bunun için de doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklitlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonlarını ve radyasyonun başta insan olmak üzere biyolojik sistemler üzerindeki tesirini tayin etmek ve korunmak amacıyla doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada, 37° 37' 30" – 37° 52' 30" kuzey enlemleri ile 30° 22' 30" – 30° 45' 00" doğu boylamları arasında Isparta il merkezini kapsayan yaklaşık 45 km²'lik alanda gama ışın spektrometresi (GF NaI gamma surveyor) kullanılarak canlı yaşamını tehdit eden doğal radyoaktivite seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Isparta ili yerbulduru haritası (Beyaz dikdörtgen çalışma alanı)

Karasal Radyasyon ve Yapılmış Çalışmalar

Eğer atom çekirdekleri kendiliklerinden bir bozunuma uğruyorlarsa veya bir takım ışınlar yayınlayarak niteliklerini değiştirip bir başka çekirdek durumuna dönüşüyorlarsa bu çekirdeklere “radyoaktif” denir. Diğer deyişle radyoaktiflik, bazı kararsız izotopların çekirdeklerinin kendiliklerinden ve dışarıdan hiçbir etki olmaksızın başka izotopa veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi ve bu arada kendilerine özgü ışın yayımlamalarıdır.

Radyoaktif elementler, sıklıkla radyoaktif izotoplar veya radyonüklitler olarak adlandırılır. 1500’ün üzerinde farklı radyoaktif nüklit vardır.

Bu radyonüklitler üç genel grupta toplanabilirler:

- a- Başlangıçta yani dünyanın oluşumuyla oluşan (Karasal)
- b- Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan (Kozmik)
- c- İnsan üretimi-İnsan aktiviteleri nedeni ile oluşan (Yapay)

Başlangıçtaki radyonüklitler, dünya ve evren yaratıldığı zamanlardan kalmışlardır. Bunların yarı ömürleri çok uzundur. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar. Bunlar; Uranyum serisi (^{238}U kaynaklı), Toryum serisi (^{232}Th kaynaklı), Aktinyum serisi (^{235}U kaynaklı) dir. Bu radyoaktif ağır element serilerinden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklitler de vardır. ^{40}K bu grubun en önemlilerindedir. ^{235}U , ^{238}U , ^{40}K ve ^{232}Th gibi doğada büyük oranda bulunan radyonüklitlerin yarılanma ömürleri sırasıyla, 7.04×10^8 , 4.47×10^9 , 1.28×10^9 ve 1.41×10^{10} yıldır. Yerkürenin oluşumundaki bu radyonüklitlerin bozunumu sonucu gama ışınları ortaya çıkmakta ve çevresel radyasyonun büyük kısmını oluşturmaktadır.

Karahan (1997) çalışmasında, bu radyonüklitlerin özellikle volkanik kayalarda, başkalaşım geçiren

kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu belirtmiştir. Yine Karahan ve Bayülken (1999) tarafından İstanbul ve çevresinin ortalama radyonüklit konsantrasyonu gama spektrometresi kullanılarak ^{238}U için 21 Bq/kg, ^{232}Th için 37 Bq/kg ve ^{40}K için 342 Bq/kg ve ortalama gamma doz oranı 65 nGy/saat olarak belirlenmiştir.

Köksal ve Çelebi (2003) çalışmalarında uranyum konsantrasyonlarının volkanik kayalarda 3 ppm, fosfat kayalarda 20-120 ppm, granitte 4 ppm, kireçtaşında 1.3 ppm, tortul kayalarda 1.2 ppm civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Karakelle ve diğ. (2002) Kocaeli havzasındaki çalışmalarında yüzey toprağı örneklerindeki nüklit konsantrasyonlarını ^{238}U için 11 ± 4 Bq/kg - 49 ± 10 Bq/kg, ^{232}Th için 11 ± 3 Bq/kg - 65 ± 13 Bq/kg, ^{40}K için 161 ± 30 Bq/kg - 964 ± 127 Bq/kg aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Akkurt ve diğ. (2004) Isparta Davraz dağı ve Gölcük krateri üzerinde aldıkları doğal gama radyasyon dozunu $2,43 \mu\text{R} / \text{saat}$ ve $37,54 \mu\text{R} / \text{saat}$ olarak ölçmüşlerdir.

Değerlier (2007) Adana ili ve çevresinde yaptığı doğal fon radyo aktivite çalışmasında bölge için ortalama soğurulmuş doz hızı değerini 65.6 nGy/saat olarak belirtmiştir. Özger (2005) tarafından Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinde doğal radyoaktivite ölçüm çalışması yapılmış ve bu ilçelerde havada soğurulmuş ortalama gama doz hızı değerleri 54.15 nGy/saat , 45.11 nGy/saat ve 81 nGy/saat olarak bulunmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 2000 yılında çeşitli ülkelerde yaptığı çalışma sonuçlarına göre havada soğurulmuş doz dünya ortalamasının 57 nGy/saat olduğunu belirtmiştir.

Çalışma Alanının Jeolojisi

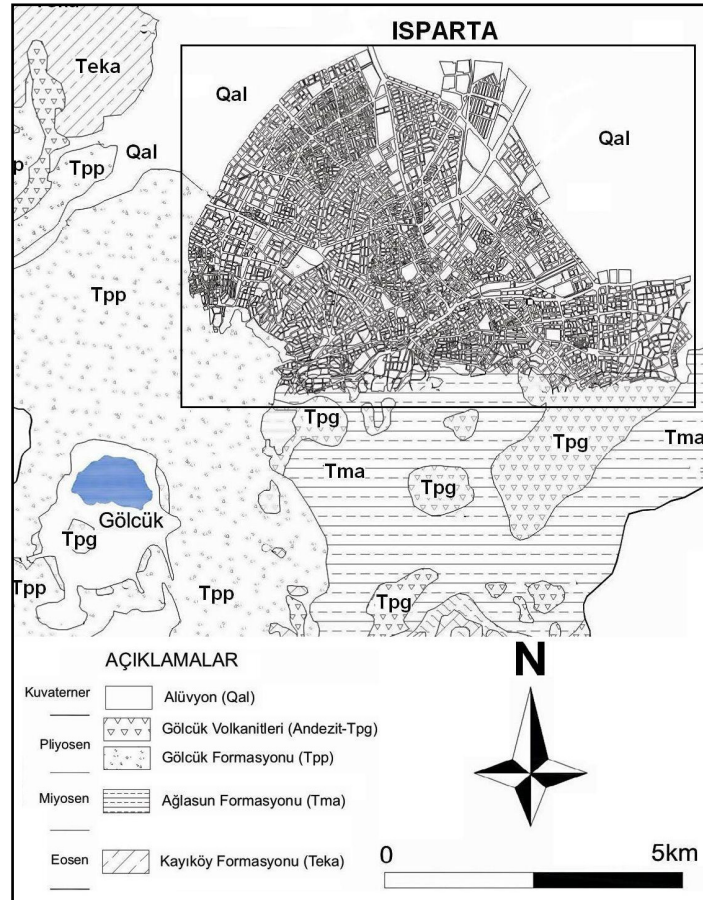
Çalışma alanında bulunan birimler otokton ve allokton konumlu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu alandaki otokton birimler, Davras, Söbüdağ, Bozanönü, Senirce Kireçtaşları, Kabaktepe, Savköy, Taşkapı, Kayıköy, Ağlasun, Gölcük Formasyonları ve Gölcük volkanitleri olarak sıralanır. Allokton birimler ise; Akdağ Kireçtaşları ve Isparta ofiyolit karmaşığdır (Irlayıcı, 1993). Çalışma alanı içerisinde bulunan ve malzeme getirmesi olası birimleri kapsayan jeoloji haritası Şekil 1' de verilmiştir.

Kayıköy formasyonu (Teka) : Çalışma alanının batısında geniş bir yayılıma sahiptir. Formasyon filiş karakterlidir ve kumtaşı, kiltası, silt taşı, marn ardışıklarından oluşmuştur. Formasyonun kumtaşı seviyeleri yer yer karbonat çimentolu ve bol fosillidir (Karaman ve diğ. 1988).

Ağlasun formasyonu (Tma): Alanın güneyinde geniş bir yayılıma sahiptir. Filiş niteliğindeki birimde egemen olan kaya türü kumtaşı ile aralarında bulunan şeyllerdir. Kumtaşları ince-orta tabakalı, kahve rengi ve açık sarı renkleri arasında olup, ince kesitlerinde kayacın karbonat çimento ile tutturulmuş kuvars, kalsit ve klorit minerallerinden oluştuğu belirtilmiştir. Şeyller ise yeşilimsi, sarı ve gri renkte izlenmektedir (Karaman, 1990).

Gölcük formasyonu (Tpp) : Çalışma alanının güneybatısında geniş bir yayılıma sahiptir. Tabanda çakıltaşlarıyla başlayan birim kumtaşı, kiltası, marn, tuf ardışıklanması biçiminde devam eden genellikle beyaz rengin hakim olduğu, ince-orta katmanlı gölsel oluşuklardır. Formasyon içerisindeki Yakaören tuf üyesi, Isparta-Akdağ arasında şeritvari bir şekilde geniş yayılımlı olarak Isparta çayı vadisinin iki yanında da bulunur. İnce-orta katmanlı, beyaz, bej, kirli sarı renkli yer yer pomzalaşmış, andezitik ve traki-andezitik karakterdedir (Yalçınkaya, 1989). Alt ve orta seviyelerde nispeten daha sıkı dokulu ve sertleşmiş tüfitler bulunur. Gözenekli ve hafif olan pomzaların tane çapı 3-7 cm, tabaka kalınlığı 3-10 m arasında değişmektedir.

Gölcük Volkanitleri-Andezit üyesi (Tpg) : Gölcük formasyonunun en üst düzeyleri üzerinde (Yakaören köyü, Isparta kuzeyindeki Çünür mahallesi) gözlemlendiği gibi Ağlasun formasyonu üzerinde (Akdağ'ın kuzeyinde) ve Söbü kireç taşlarının üzerinde gözlenir. Yüksek tepe ve zirveleri oluşturan andezitler son derece sert yapılı olduğu halde birimin büyük bir çoğunluğu ayrılmış, bozmuş ve altere olmuş andezitlerden oluşmuştur. Andezitler siyahımsı, grimsi, kahverengimsi renkli, bol çatlaklı, porfirik dokulu, trakit, traki-andezit karakterdedir. Birimin üstünde aynı formasyonun tuf, tüfit ve pomza seviyelerinden oluşan istif bulunur (Karaman, 1990).



Şekil 2. Çalışma Alanındaki Jeolojik Birimler (Davraz ve diğ, 2006, dan değiştirilerek)

Alüvyon (Qal) : Ovada ve dere yataklarında, yer yer sırtlardaki düzlüklerde yaklaşık 100 km² lik bir alanda görülmektedir. Litolojisini kil, silt, kum ve çakıllar oluşturur ve genellikle ardalınlı şekilde bulunurlar. Tanelerin kökenlerini tüfit, pomza, tuf ve volkanik kayalar oluştururlar. Ova içerisinde kalınlığı 17-250 m arasında değişmektedir (Yalçınkaya, 1989; Irlayıcı, 1993).

Materyal ve Metod

Isparta ili, güneybatı Türkiye’de Akdeniz Bölgesinin kuzeyinde Göller bölgesinde yer almaktadır. 8.933 km²’lik yüzölçümüne sahip olan Isparta ili, kuzey ve kuzeybatıdan Afyon ilinin Sultandağı, Çay, Şuhut, Dinar ve Dazkırı, batıdan ve güneybatıdan Burdur ilinin Merkez, Ağlasun ve Bucak, güneyden Antalya ilinin Serik ve Manavgat, doğu ve güneydoğudan ise Konya ilinin Akşehir, Doğanhisar ve Beyşehir ilçeleri ile çevrilmiştir (Şekil 2a). Rakımı ortalama 1050 metredir. 2000 yılında yapılan nüfus sayımına göre Isparta ilinin toplam nüfusu 513681 olarak tespit edilmiştir. Bu nüfus içerisinde en büyük payı 170713 kişiyle il merkezi almaktadır.

Bu nedenle küçük bir yüz ölçümünde yoğun bir nüfusun yaşadığı 37° 37’ 30’’ – 37° 52’ 30’’ kuzey enlemleri ile 30° 22’ 30’’ – 30° 45’ 00’’ doğu boylamları arasında kalan Isparta il merkezi ve yakın civarı karasal kaynaklı gama radyoaktivite ölçümleri için seçilmiştir (Şekil 2b).

Belirtilen alan içerisinde ölçü alınmadan önce hassasiyeti ±4m olan GPS ile nokta koordinatları belirlenmiştir. Daha sonra 512 kanallı gama ışın spektrometresi kullanılarak, her bir noktada 300sn olmak üzere 103 noktada ölçümler alınmıştır (Şekil 3).

Çalışmada GF instrument firmasına ait 512 kanallı Gamma surveyor (2" x 2" (6.3 inç-küp) NaI (TI)) spektrometre kullanılmıştır. Gamma surveyor radyasyon kaynakları, doz hızı ve gama ışınları spektrum ölçümleri, elementlerin (özellikle K, eU, eTh) konsantrasyonlarının araştırılması ve radyasyon izleme, jeofiziksel haritalama, jeolojik çalışmalar, maden araştırmaları, numunelerin laboratuvar analizleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir alettir.

Kullanılan gama spektrometresi üç temel ölçüm modu sunar:

- K, eU, eTh konsantrasyon belirlenmesi ile birlikte spektral ölçümler (Full Spectra & Assay)
- Soğurulmuş doz hızı ölçümleri (Dose Rate)
- Gama ışını kaynakları için hızlı ve bulucu arama (Search)

Ayrıca ölçüm sistemi içerisinde harici GPS bağlantısına olanak sağlayarak ölçüm noktalarında koordinat verilerinin alınmasına olanak sağlamaktadır.

Çalışma için üç ölçüm modundan biri olan full spektrum tahlil modu (Full Spectra & Assay) kullanılmıştır. Bu mod, 10 adet pencere içermektedir. Bunlardan ilk dördü K, U, Th, TOT içindir ve diğer altısı ise kullanıcı tarafından istenilen diğer radyonüklitler için ayarlanabilmektedir. Cihaz her zaman, kullanılan pencerelerde cps hesabını yaptığı tüm spektrumu ölçer ve K [%], eU [ppm], eTh [ppm] elementlerinin konsantrasyonlarını hesaplar. K’nın konsantrasyonu doğrudan hesaplanır. eU ve eTh konsantrasyonları, ilgili bozunma serilerinin bir parçası olan ²¹⁴Bi ve ²⁰⁸Tl radyoizotoplarının tespitine dayalıdır. Doğal doz hızı değeri (nGy/saat olarak), UAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) tavsiyelerine göre bu konsantrasyonlardan hesaplanır.

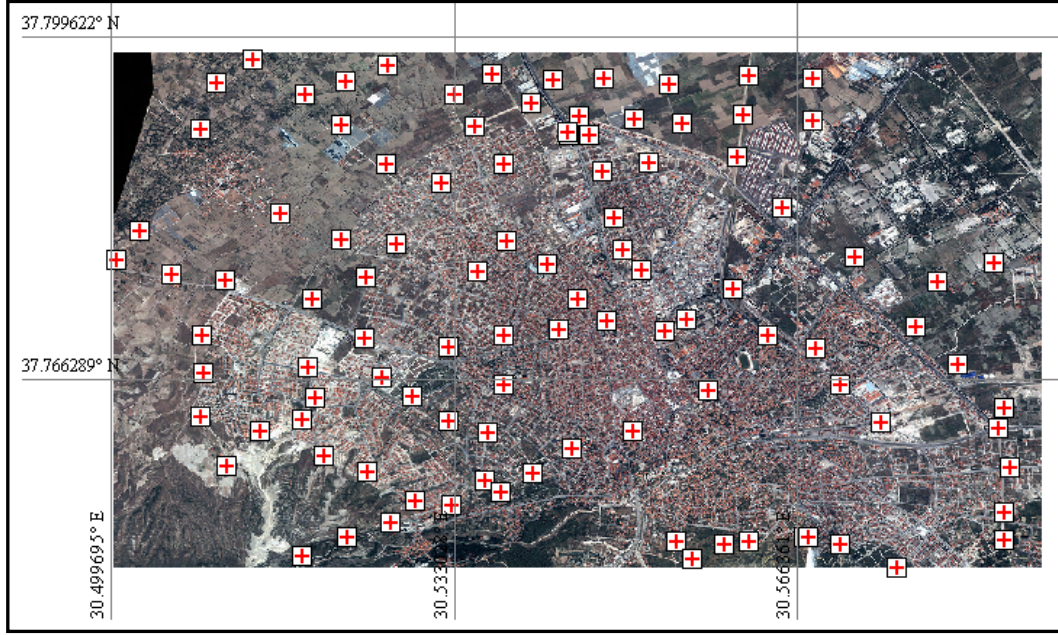
Ölçülen veri cihazın monitöründe üç menü kullanılarak gösterilir ve kaydedilir. Bunlar; (a) spektrum menüsü (spektrumun tüm 512 kanalında ölçülen cps değerlerinin görülebilme ve izlenebilme olanağı sağlar), (b) K, U, Th, TOT menüsü (doğal doz hızı ve toplam sayım dahil, hesaplanan K, eU, eTh konsantrasyonları), (c) kullanıcı tanımlı menü (kullanıcının tanımladığı pencerelerde cps olarak değerleri hakkında bilgi içerir). Kısaca tanımlamak gerekirse full spektrum tahlil modu; her zaman 512 kanal spektrumu, K[%], eU [ppm], eTh [ppm]’un konsantrasyonlarını, nGy/saat cinsinden absorlanmış doz hızı değerini ölçer ve kaydeder.

Çalışma alanı içerisinde harici CPS bağlantısı yapılmış gamma surveyor kullanılarak bitkisel toprak üzerinde ölçüler alınmıştır. Bu ölçümler sırasında radyo vericileri, mobil telefon vericileri ve binalardan mümkün olduğunca uzak durulmuştur.

Bulgular

Isparta il merkezi kuzeyden Söbü dağı, doğudan Davraz dağı, güneyden Akdağ, güneybatıdan Gölcük volkanik kraterinin çevrelediği alüvyon içerisinde bulunmaktadır. Yerleşim alanının üzerinde bulunduğu alüvyon büyük oranda tüfit, pomza, tuf ve volkanik kayalar ile kil, silt, kum ve çakıl ardalınlımlarından oluşmaktadır. Bu alan içerisinde alüvyon kalınlığı yaklaşık 80-500m arasında değişmekte ve yaygın olarak alüvyon içerisinde kalınlığı 1-10 m arasında değişen pomza katmanları ve ardalınlımları bulunmaktadır (Kalyoncuoğlu ve diğ., 2009).

37° 37’ 30’’ – 37° 52’ 30’’ kuzey enlemleri ile 30° 22’ 30’’ – 30° 45’ 00’’ doğu boylamları arasında kalan il merkezinde 512 kanallı gama spektrometresi ile 103 noktada alınan ölçümler sonucu elde edilen soğurulmuş doz hızı, ²³⁸U konsantrasyonu, ²³²Th konsantrasyonu ve ⁴⁰K konsantrasyonu değerleri haritalanmıştır (Şekiller 4, 5, 6 ve 7).



Şekil 3. Ölçüm noktaları lokasyon haritası.

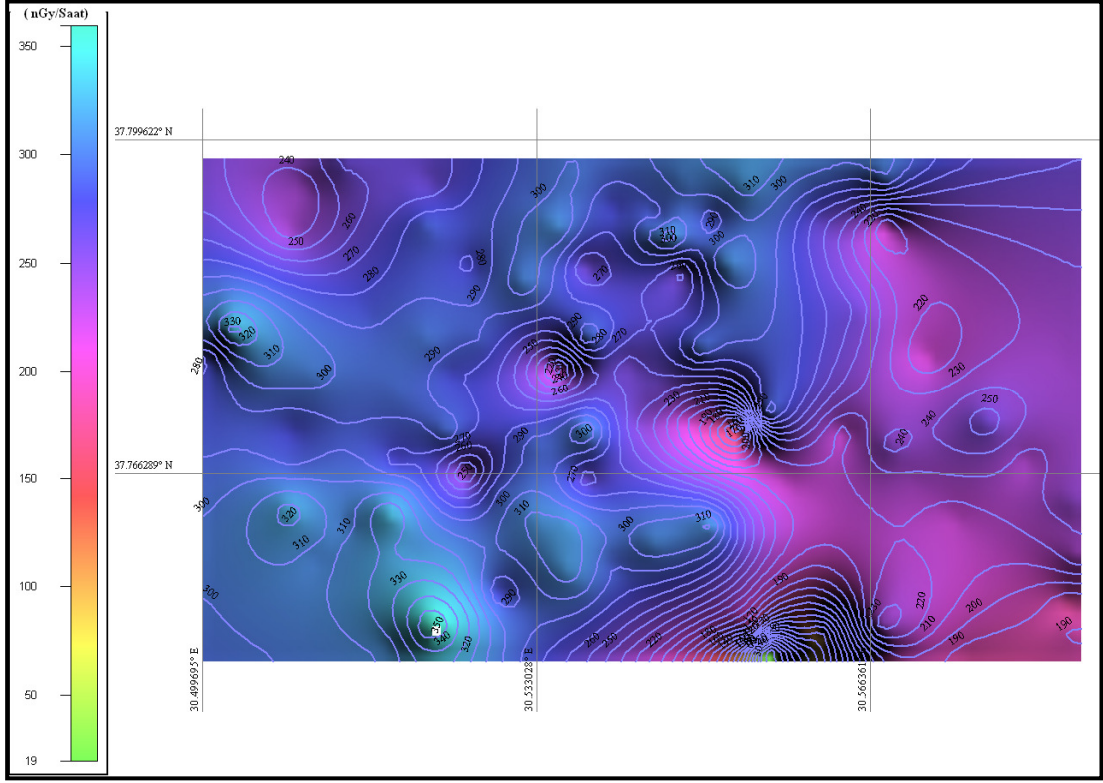
Çalışma alanında toprak yüzeyinde soğurulmuş doz hızı değerleri 150 nGy/saat ile 365.4 nGy/saat arasında ölçülmüştür. Bölge içerisindeki ortalama soğurulmuş doz hızı değeri ise 267.4 olarak bulunmuştur. Bu değer Tablo 2’ de dünya ortalaması olarak verilen 57 nGy/saat ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir değerdir (Tablo1).

Şekil 4 incelendiğinde, şehir merkezinin güneybatı ucunda bulunan Gölcük kraterinin olduğu kısımdan

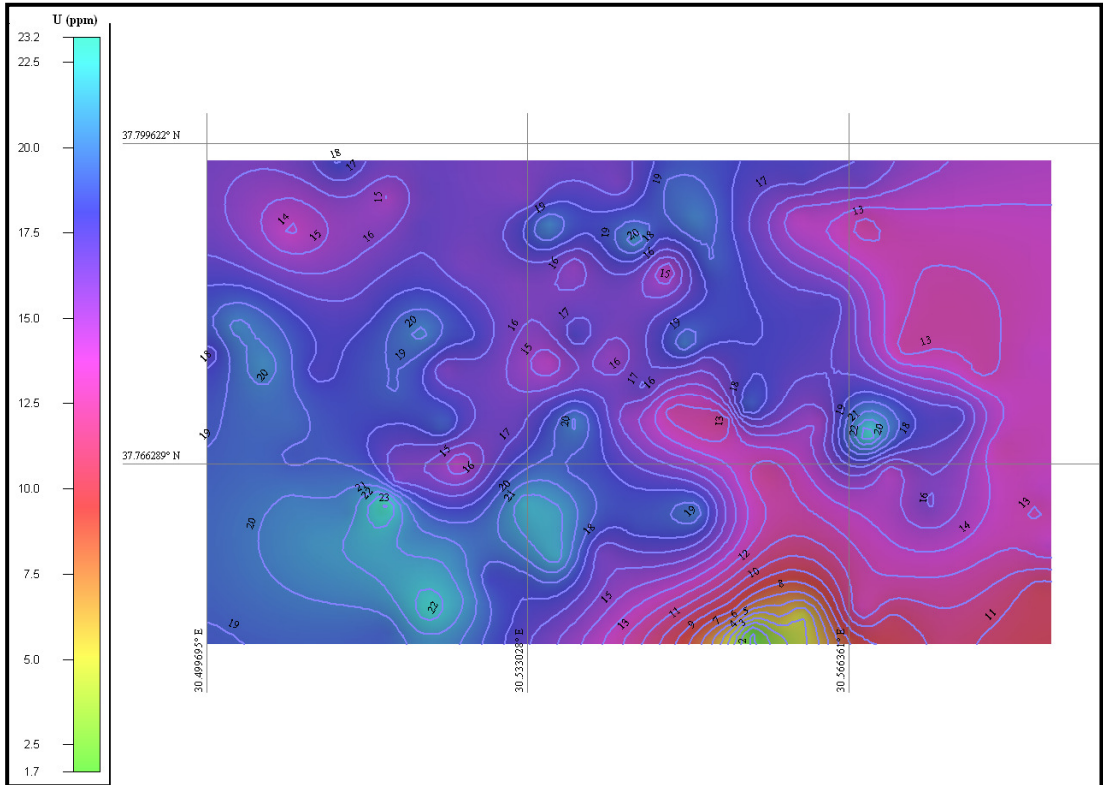
kuzeydoğuya doğru uzanan bir bölge içerisinde 280-365 nGy/saat arasında değişen yüksek değerlerin olduğu görülür. Bu alan özellikle Gölcük volkanizmasının dan aşağıya sürüklenen tüfit ve pomzaların en yoğun olduğu kısımlardır. Bu değerlerin güney doğu ve doğuda bulunan Akdağ ve Davraz dağı kireç taşlarına yaklaştıkça 200 nGy/saat in altına düştüğü görülmektedir.

Tablo 1. Ükelere Göre Havada Soğurulmuş Gama Radyasyon Değerleri (UNSCEAR Report, 2000)

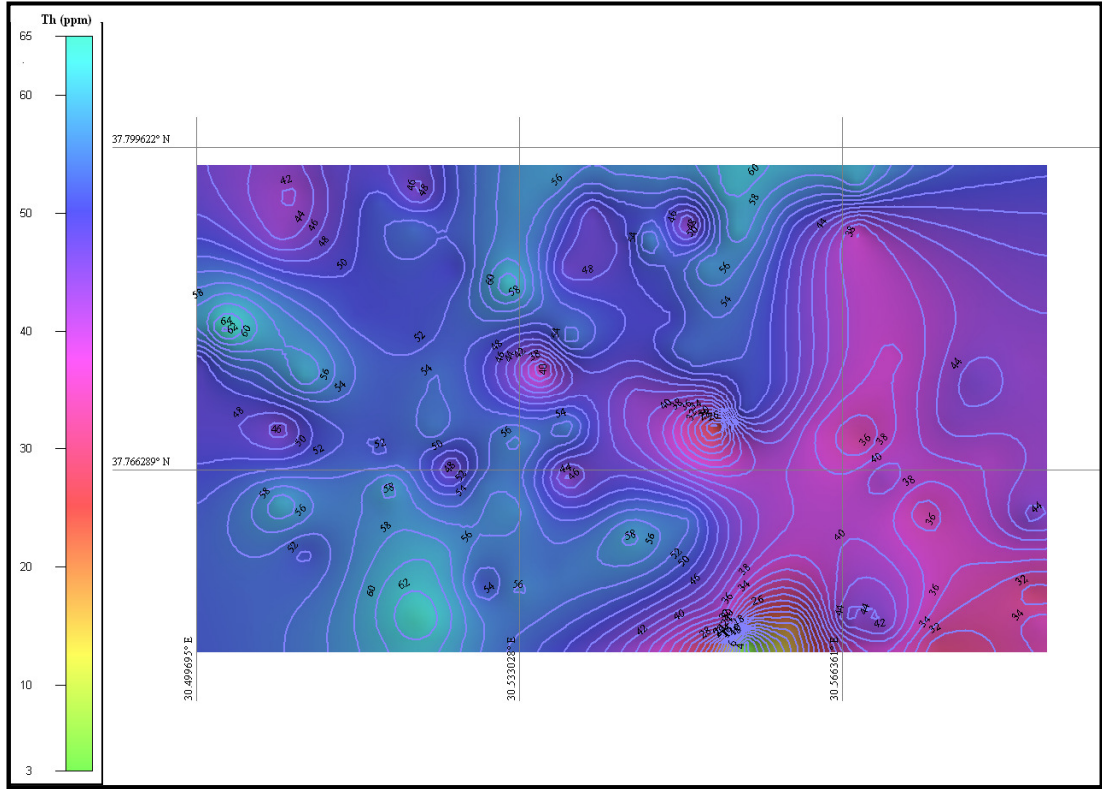
Ülke	Ort. Soğ. Doz (nGy/saat)	Soğ. Doz Aralığı (nGy/saat)	Ülke	Ort. Soğ. Doz (nGy/saat)	Soğ. Doz Aralığı (nGy/saat)
Cezayir	70	20 -133	Finlandiya	71	45 -139
İspanya	76	40 -120	Litvanya	58	36 -85
Kanada	63	43 -101	İsveç	56	40 -500
Meksika	78	42 -140	Belçika	43	13 -80
ABD	47	14 -118	Fransa	68	10 -250
Şili	51	21 -83	Almanya	50	4 -350
Paraguay	46	38 -53	İrlanda	42	1 -180
Çin	62	2 -340	Hollanda	32	10 -60
Tayvan	57	17 -87	İsviçre	45	15 -120
Hong Kong	87	51 -120	İngiltere	34	8 -89
Japonya	53	21 -77	Polonya	45	18 -97
Kazakistan	63	10 -250	Romanya	59	21 -122
Kore	79	18 -200	Rusya	65	12 -102
Tayland	77	2 -100	Kıbrıs	18	9 -52
İran	71	36 -130	Yunanistan	56	30 -109
Suriye	59	52 -67	İtalya	74	2 -228
Danimarka	52	35 -70	Portekiz	84	4 -230
Estonya	59	14 -230	Slovenya	56	4 -147
Dünya Ortalaması				57	18 -93



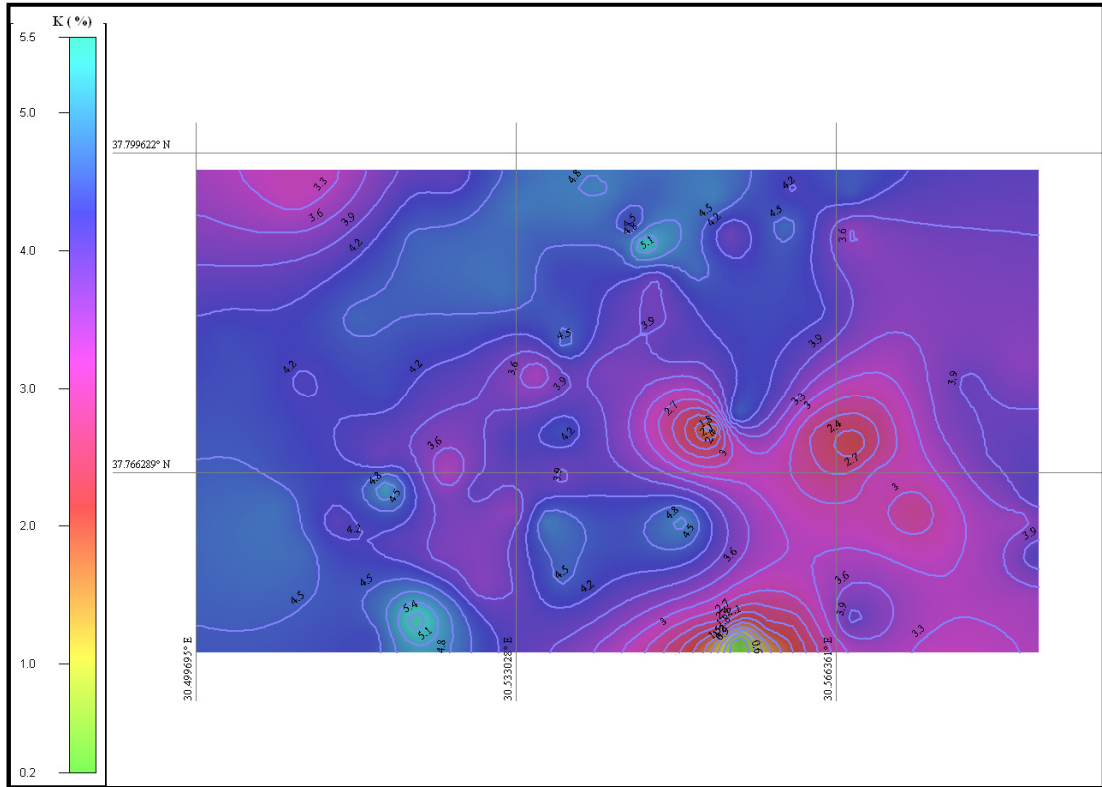
Şekil 4. Soğurulmuş Doz Hızı haritası (nGy/saat)



Şekil 5. Uranyum (²³⁸U) konsantrasyon haritası (ppm).



Şekil 6. Toryum (^{232}Th) konsantrasyon haritası (ppm).



Şekil 7. Potasyum (^{40}K) konsantrasyon haritası (%).

Çalışma alanı içerisinde canlılar üzerinde biyolojik etkiyi tanımlamakta kullanılan “ efektif doz ” değeri IAEA (2003) de tanımlanmış bulunan eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır. Burada, E efektif doz (Sv), D_a soğurulmuş doz oranı (nGy/h), t saat olarak maruz kalma zamanı, 0.7 Gray-Sivert dönüşüm sabitidir. Yapılan hesaplama sonucunda bölgedeki yıllık efektif doz değerinin 1.26 mSv ile 2.24 mSv arasında değiştiği bulunmuştur.

$$E = D_a * t * 0.7 * 10^{-6} \quad (1)$$

Çalışma alanında toprak yüzeyinde alınan Uranyum (^{238}U) konsantrasyon değerleri 10 ppm ile 23 ppm arasında ölçülmüştür. Bölge içerisindeki ortalama ^{238}U konsantrasyon değeri ise 16.6 ppm olarak elde edilmiştir. Alan içerisinde en yüksek konsantrasyon değerleri güneybatı ve kuzeydoğu kısımlarında izlenmiştir. Bu bölümlerde ^{238}U konsantrasyonu 19-23 ppm değerleri arasındadır. Burada yüksek uranyum konsantrasyonlarının görüldüğü alanlar alüvyon kalınlığının yüksek ve gölcük volkanizması ürünlerinin yoğun olduğu bölgelerdir. Güneydoğu ve kuzeybatıda görülen düşük değerler ise güney- güneydoğu arasında bulunan Davraz dağı kireçtaşları ile Akdağ kireçtaşları ve kuzey-kuzeybatı arasında bulunan Kayıköy formasyonuna (filiş) yakın alanlara düşmektedir.

Toryum konsantrasyonu haritası (Şekil 6) incelendiğinde soğurulmuş doz oranına benzer bir yayılım izlenmektedir. Burada da güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda bulunan bir alan üzerinde çeşitli noktalarında daha yüksek olmak üzere diğer alanlara nazaran daha yoğun bir toryum konsantrasyonu gözlenmektedir. Çalışma alanının güney ve güneydoğu kısımları ise daha düşük konsantrasyonda seyretmektedir. Alan içerisinde elde edilen konsantrasyon değerleri 20-65 ppm arasında değişmektedir. Ortalama toryum değeri ise bölgede 48 ppm civarındadır. Özellikle uranyum konsantrasyonunun yüksek değerlerde (20-23ppm) kapanım gösterdiği bu alanlarda, toryum konsantrasyonu

da (55-65 ppm) yüksek değerler göstermiştir. Bu kısımlarda tuf, tüfit ve pomza ile beraber andezit sokulumu yada bloklarının da olabileceği düşünülmektedir.

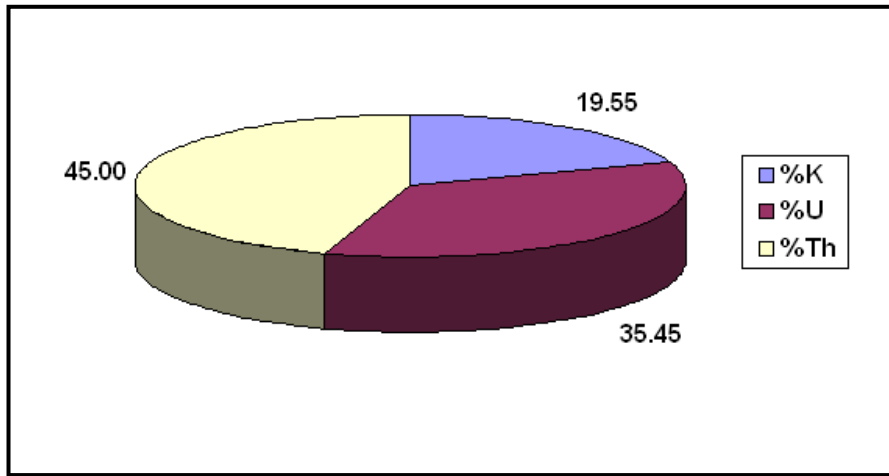
Bölge için oluşturulan potasyum (^{40}K) konsantrasyon haritası (Şekil 7) çalışma alanının güney batısında bulunan Gölcük formasyonu (Tpp) ürünleri olan pomza, tuf ve tüfitlerin buradan alanın kuzey doğusuna doğru belli alanlarda yoğunlaşmış belli alanlarda azalarak uzandığını göstermektedir. Yapılan ölçümler ^{40}K konsantrasyonunun çalışma alanı içerisinde %2 ile %5.68 arasında değiştiğini ve bölge ortalamasının 4 olduğunu göstermektedir. Gölcük formasyonunun yayıldığı alan olarak belirtilen kısımlarda ^{40}K potasyum konsantrasyonu %4.2 ile %5.6 aralığında yüksek değerlerde seyretmektedir.

Radyonükleit konsantrasyon haritaları birlikte düşünüldüğünde bölgedeki yüksek radyasyona Gölcük volkanitleri (Tpg) ile Gölcük formasyonu (Tpp) üyelerinin neden olduğu ve bunlar içerisinde de doğal radyasyon seviyesine en büyük katkının ^{232}Th konsantrasyonundan geldiği görülmektedir.

Çalışma alanında insan sağlığı açısından önemli olan soğurulmuş doz hızı değerine ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th radyonükleitlerinin katkıları ise kullanılan ekipmanın kullanım kılavuzunda verilen dönüşüm tablosu (Tablo 2) yardımıyla hesaplanmış ve grafiklenmiştir (Şekil 8).

Tablo 2. Konsantrasyon-Doz hızı dönüşümü (Gamma Surveyor User Guide, 2009).

Konsantrasyon	Doz hızı
%1 K	13.078 nGy/saat
1 ppm eU	5.675 nGy/saat
1 ppm eTh	2.494 nGy/saat



Şekil 8. Çalışma alanında ölçülen soğurulmuş doz hızına U, Th ve K'un katkıları (%).

Sonuçlar

Bu çalışmada 37° 37' 30" – 37° 52' 30" kuzey enlemleri ile 30° 22' 30" – 30° 45' 00" doğu boylamları arasında kalan Isparta il merkezi yerleşim alanı içerisinde GF instrument firmasına ait 512 kanallı Gamma ışın spektrometresi (2" x 2" (6.3 inç-küp) NaI (TI)) kullanılarak 103 noktada soğurulmuş doz hızı, ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K konsantrasyon değerleri ölçülmüştür.

Çalışma sonucu hemen hemen il yerleşim alanının büyük çoğunluğunun Gölcük volkanizması ürünlerini içeren alüvyon üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu kısımlarda ölçülen radyasyon değerleri dünya ortalamaları ile kıyaslandığında, Isparta il merkezinde yaşayan insanların dünya ortalamasının üzerinde radyasyona maruz kaldığı görülmüştür. Canlılar üzerinde biyolojik etkiyi tanımlamakta kullanılan etkin " efektif doz " ise alan içerisinde yıllık 1.26 ile 2.24 mSv arasında değişmektedir.

Yapılan değerlendirmeler volkanik kaynaklı birimler üzerinde soğurulmuş doz hızı değerinin 300-365 nGy/s, ²³⁸U konsantrasyonunun 18-25 ppm (soğurulmuş doz hızı olarak 100-140 nGy/s), ²³²Th konsantrasyonunun 45-65 ppm (soğurulmuş doz hızı olarak 110-160 nGy/s), ⁴⁰K konsantrasyonunun %4-%5.68 (soğurulmuş doz hızı olarak 52-74 nGy/s) değiştiğini göstermiştir. Bu değerler volkanik ürün kalınlıklarının azaldığı kireçtaşları ve filişler üzerine yaklaşıldıkça doz hızı olarak 200 nGy/s' in, ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K konsantrasyonları da sırasıyla 14 ppm, 40 ppm, %3.5' in altına düşmektedir.

Bölgede Gölcük volkanizması ürünlerinden kaynaklanan toplam radyasyonun; %19.55' i potasyum (⁴⁰K), %35.45'i uranyum (²³⁸U) ve %45 ise toryum (²³²Th) kaynaklıdır.

Kaynaklar

Akkurt I., Sevin Z., Mavi B., Kaplan A. 2004. Isparta Bölgesinde Doğal Gamma Radyasyonu Ölçümü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8-2, Özel Sayı, s.108-110.

Davraz, A., Şener, E., Şener, Ş. 2006, Investigation of Alternative Water Sources in the Isparta Plain (Turkey) Using Remote Sensing Methods, the III International Scientific and Practical Conference "Use of the Water Resources and Its Integretional Management in Globalization Processes", S.63-66, 6-7 July, Baku, Azerbaycan.

Değerlier M. 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Gamma Surveyor, 2009. User Guide V1.3, Gf Instrument S.R.O, Czech Republic.

IAEA, 2003. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data. IAEA Technical Reports Series 1363, International Atomic Energy Agency, Vienna.

İrlayıcı, A. 1993. Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltıları ile İlgili Çevre Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Kalyoncuoğlu Ü. Y., Kamacı Z., Dolmaz M. N., Baykul A., Çiftçi C. 2009. Depreme Dayanıklı Yapılaşma İçin Isparta Ovası Yeraltı Tepkisinin Belirlenmesi, Proje, SDÜ Bil. Araş. Proj. Birimi, Isparta.

Karahan G. 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul, 118.

Karahan G., Bayülken A. 1999. Assessment of Gamma Dose Rates Around Istanbul (Turkey), Journal of Enviromental Radioactivity, 47, 213-221.

Karakelle B., Öztürk N., Köse A., Varınlıoğlu A., Erkol A. Y., Yılmaz, F. 2002. Natural Radioactivity in Soil Samples of Kocaeli Basin, Turkey, Journal of Radioanalytical And Nuclear Chemistry, Vol. 254. No.3, 649-651.

Karaman, M. E., Meriç, E., ve Tansel I. 1988. Çünür (Isparta) Dolaylarında Kretase-Tersiyer Geçiş: Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fakültesi Dergisi 4, 90-98, Isparta.

Karaman, M. E. 1990. Isparta Güneyinin Temel Jeolojik Özellikleri, TJK Bülteni, 33, 57-67, Ankara.

Köksal, M.E., Çelebi N. 2003. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, İstanbul.

Özger A. G. 2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniv., Adana.

UNSCEAR, 2000 Report. United Nations Scientific Committee On the Effects of Atomic Radiation Sources , Effects And Risks of Ionizing Radiations, New York, USA.

Yalçinkaya, S. 1989. Isparta Ağlasun (Burdur) Dolayının Jeolojisi, Doktora Tezi, Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.