

Türkiye'deki Feldspat Rezervlerinde Radyoaktivite Düzeyleri

Aydan ALTIKULAÇ*¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ula Ali Koçman Meslek Yüksekokulu, 48640 Muğla, Türkiye

(Alınış / Received: 29.03.2019, Kabul / Accepted: 11.11.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2019)

Anahtar Kelimeler

K-Feldspat,
Na-Feldspat,
Radyoaktivite,
Gama spektrometre,
Radyum eşdeğer aktivite,
İç ve dış tehlike indisleri

Özet: Yer kabuğunun %60'ını oluşturan feldspat, en önemli mineral gruplarındandır. Magmanın farklı kısımlarında değişik şekillerde bulunan bu minerallerin soğuyup kristalleşmesiyle feldspat zonları ve yatakları oluşmuştur. Özellikle seramik, porselen ve cam sanayinde olmak üzere birçok sektörde önemli bir ham madde olan feldspat rezervinin yaklaşık %14 'ü Türkiye'dedir. Bu anlamda Türkiye, dünya feldspat rezervi açısından zengin kategorisinde yer almaktadır ve önemli bir ihracat payına sahiptir. Feldspat minerali yer kabuğu kökenli olup magmatik, metamorfik ve sedimenter kayaların yapısında bulunur ve doğal radyasyon ihtiva eder. Rezerv kaynaklarının değerlendirilmesi ülke madenciliğinin öncelikli konularından olsa da konut ve iş yeri binalarının yapımında kullanılan ham maddenin içerdiği ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs izotoplarının radyoaktivite düzeylerinin bilinmesi insan sağlığı bakımından oldukça önemlidir. Bu amaçla Türkiye'nin en önemli feldspat zonlarının bulunduğu maden yataklarından (Aydın, Muğla, Manisa ve Kırşehir) alınan örneklerde radyoaktivite analizleri yapıldı. Gama Spektrometre Sistemi kullanılarak yapılan analizler neticesinde ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyoizotoplarına ait ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 11.94±3.8, 4.28±1.7, 879.26±56.3 ve 1.9±0.7 Bqkg⁻¹ olduğu tespit edildi. Bu aktivitelerden kaynaklanan radyolojik risk analizi yapıldı.

Radioactivity Levels of Feldspar Reserves in Turkey

Keywords

K-feldspar,
Na-feldspar,
Radioactivity,
Gamma spectrometer,
Radium equivalent activity,
Internal and external hazard indices

Abstract: Feldspar, which constitutes 60% of the earth's crust, is one of the most important mineral groups. Feldspar zones and deposits are formed by cooling and crystallization of these minerals in different shapes in different parts of magma. Feldspar reserves in many sectors of an important raw material in especially ceramic, porcelain and glass industries including about 14% are in Turkey. In this sense, Turkey, is located in the rich world feldspar category in terms of reserves and has a significant share of exports. Although the evaluation of reserve resources is a priority issue of mining in the country, it is very important to know the radioactivity levels of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs isotopes contained in the raw material used in the construction of residential and business buildings. To this end, Turkey's most important zones (Aydın, Muğla, Manisa and Kırşehir) of feldspar mine using samples obtained from the bed where radioactivity analyzes were performed. As a result of the analyzes using gamma spectrometric method, the mean activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs radioisotopes were 11.94 ± 3.8, 4.28 ± 1.7, 879.26 ± 56.3 and 1.9 ± 0.7 Bqkg⁻¹, respectively. And then Radiological risk analysis was performed.

1. Giriş

İnsanlar yaşamları boyunca yaşadıkları ortamın jeolojik yapısına ve yaşam kalitelerine bağlı olarak sürekli bir şekilde doğal radyasyona maruz

kalmaktadır. Dünyanın başlangıcından bu yana var olan ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K gibi yarı ömürleri çok uzun olan doğal radyoaktif izotoplar, yer kabuğunu oluşturan kayaç yapısında ve bazı minerallerde bulunmaktadır. Endüstride çeşitli kullanım alanları

olan bu minerallerden feldspat, başta porselen, cam ve seramik sanayi olmak üzere sabun, cila, kaynak elektrot gibi pek çok sanayi sektöründe de kullanılmaktadır [1]. Yerkabuğu kökenli bu mineralin kullanım alanının çok çeşitli ve yaygın olması nedeniyle radyoaktivite düzeylerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Feldspatların genel formülleri $XAl(1-2)Si(3-2)O(8)$ olup, X bileşiğin durumuna göre sodyum, potasyum veya kalsiyum olabilmektedir. Feldspat minerallerine, içeriklerine bağlı olarak farklı isimler verilmektedir. Sodyumca zengin feldspat albit olarak adlandırılmaktadır. Ortoklas ve anortit terimleri ise sırasıyla potasyum ve kalsiyumca zengin feldspatları tanımlamaktadır. K_2O değeri %10'dan büyük olanlar K-feldspat, Na_2O oranı %7'den büyük olanlar Na-Feldspat olarak adlandırılır. Ülkemizde ve dünyada hammadde olarak kullanılan feldspatın içerdiği radyoaktiviteyi belirlemeye yönelik yapılan bazı araştırmalar bulunmaktadır [2-7].

Türkiye'de yapılan bir çalışmada Na-feldspat için ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu $1.7 \pm 0.3 - 41.5 \pm 7.3$, ^{232}Th aktivite konsantrasyonu $9.0 \pm 1.1 - 66.9 \pm 5.6$ Bqkg⁻¹, ^{40}K aktivite konsantrasyonu $11.5 \pm 3.7 - 661.0 \pm 55.7$ Bqkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada K-Feldspat için ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu $3.4 \pm 0.6 - 27.8 \pm 2.4$ Bqkg⁻¹, ^{232}Th aktivite konsantrasyonu $0.9 \pm 0.2 - 6.3 \pm 0.9$ Bqkg⁻¹, ^{40}K aktivite konsantrasyonu $1766.0 \pm 151.5 - 3633.9 \pm 324.6$ Bqkg⁻¹ olarak ölçülmüştür [8]. Sırbistan'da feldspat örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmada ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ait aktivite konsantrasyonları sırası ile $30-50$ Bqkg⁻¹, $20-30$ Bqkg⁻¹ ve $3500-4000$ Bqkg⁻¹ arasında değiştiği görülmüştür. Yine aynı çalışmada feldspat kaynaklı yıllık etkin doz değerinin 37.8 ile 43 nGy⁻¹ olduğu gösterilmiştir [9]. Mısır'da benzer bir çalışma, feldspat numunelerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonunun sırasıyla 9.5 ile 183.7 Bqkg⁻¹ arasında değiştiği, ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonunun ise 0 ile 7894.5 Bqkg⁻¹ arasına değişen değerler aldığı gösterilmektedir [10]. Feldspat yer kabuğundaki birçok magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç bileşiminde önemli miktarlarda bulunur. Fakat bu kayaçların safsızlıklar içermesi nedeniyle günümüzde teknolojik açıdan oaktan çıkarıldığı gibi kullanım alanları oldukça sınırlıdır. Cevherin tenörüne, kalitesine ve özelliklerine bağlı olarak flotasyon, manyetik/elektrostatik ayırma, yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemlerinin uygulanması zorunludur [11]. Feldspat ocaklarından çıkarılan örneklerin kimyasal analizi yapıldığında değişik oranlarda SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O ve K_2O bileşikleri içerdiği görülür.

Demir ve titanyum mineralleri feldspatların mineralojik yapılarında bulunur ve renk verme özelliklerinden dolayı istenmeyen safsızlıklar olarak nitelendirilirler. Feldspat cevherlerinde gözlenen başlıca safsızlıklar, titanyum mineralleri olarak rutil ve sfen, demir oksitler olarak garnet, hematit,

hornblend, turmalin, biyotit ve muskovit gibi minerallerdir. Bu minerallerin miktarı referans değerlerin üzerinde ise cam ve seramiğin kalitesi düşmekte ve buna bağlı olarak renk değişimleri olmaktadır [12-14]. Feldspatın cam, seramik ve çini üretiminde kullanılabilmesi için Na_2O içeriğinin minimum %7, beyaz seramik eşya üretiminde kullanılabilmesi için de K_2O miktarının %10 olması ve Fe_2O_3 ve TiO_2 gibi renk yapıcı oksitlerinde oldukça düşük oranında olması gerekmektedir [15-17].

Yüksek kalitede porselen ve cam üretilmek isteniyorsa Fe_2O_3 ve TiO_2 miktarlarının %0.5 ve %0.05'ten az olmalıdır. Seramik sanayinde ise yüksek tenörlü potasyum feldspat kullanılır. Çünkü artan sıcaklıkla çok az bir değişme gösterir, böylece pişme esnasında seramiğin şekil bozulmalarına karşı mukavemeti temin edilir [18]. Türkiye'nin batısındaki feldspat cevherleri çoğunlukla albit cevherleridir. Bu cevherlerin önemli bir bölümü ise asıl safsızlık olarak sadece titanyum ve nispeten düşük seviyelerde demirli mineralleri içermektedir. En önemli ve kaliteli albit (Na-Feldspat) yatakları Batı Anadolu'da; Çine-Milas-Yatağan-Bozdoğan yöresinde bulunan ve üretim yapılan yataklardır. Bu yatakların önemi; rezerv açısından zenginliği, kalitesi, limana ve tüketim alanlarına olan yakınlığıdır [19-20]. Manisa-Demirci 'de bulunan maden ocakları karışık, sodyum (Na) ve potasyum (K) feldspat rezervlerine sahiptir. Kırşehir Masifi ayrıca çok önemli potasyum feldspat potansiyeline sahiptir [21-24].

Bu çalışmada Türkiye'de yaygın olarak bulunan ve önemli bir endüstriyel hammadde olan feldspat minerallerinde radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi amaçlandı ve bu amaç doğrultusunda Çine-Milas-Yatağan-Bozdoğan, Manisa, Kırşehir yöresinde bulunan 8 şirketin farklı maden ocaklarından, analiz edilmek üzere 22 tane feldspat örneği (tüvenan) temin edildi. Radyoaktivite analizlerinde Gama Spektrometre Sistemi kullanıldı.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada numunelerin alındığı maden ocaklarının bulunduğu şehirler Şekil 1'de gösterilmektedir. Ölçümlerde ORTEC firmasının 905-4 (3"x3") model NaI(Tl) sodyum iyodür sintilasyon dedektörlü Gama Spektrometre Sistemi kullanıldı. Sistemin çözünürlüğü, 0.5MeV'de %2, 2 MeV'de ise %1.3 (10 cm uzaklıkta 1 μCi ^{137}Cs için)'dür. Dedektörün Al kabının kalınlığı 0.5 mm'dir. Her bir örnek öğütme makinesinde toz haline getirildikten sonra 0.5 μm 'lik eleklerden geçirilerek açık havada bekletilmek suretiyle nemleri uçuruldu. Ardından 100 santigrat derecelik etüvde 24 saat kurutuldu. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra örnekler darası alınmış 6x5 cm'lik standart numune kaplarına konuldu. O günün tarihi ve ilgili örneğin kütlesi kaydedilerek o örneğe ait etiket oluşturuldu. Sızdırmazlığı sağlamak için her bir kabın ağzı

parafilmle sıkıca sarıldı. ^{226}Ra ve ^{222}Rn arasındaki kalıcı dengenin sağlanması için yaklaşık bir ay beklendi, bu süre sonunda NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometre sisteminde her bir örnek için yaklaşık 80.000 sayım alınarak ilgili örneğe ait gama spektrumu elde edildi. Scintivision programı kullanılarak spektrumlar analiz edildi.



Şekil 1. Numunelerin alındığı ocakların bulunduğu şehirler

2.1. Gama spektrometresinin kalibrasyonu

Çalışmamızda enerji kalibrasyonu için gama enerjileri bilinen karışık noktasal (^{60}Co - ^{137}Cs) kaynak kullanılmıştır. Noktasal standart kaynak, spektrometrede enerjileri bilinen fotopikler oluşuncaya kadar sayılıp ve bu fotopiklerin orta noktalarına karşılık gelen kanal numarası tespit edilerek kaydedildi. Bu şekilde çok kanallı analizör'ün (MCA) tüm kanalları kalibre edildi.

Çözünürlük tam enerji pikinin yarı maksimumdaki tam genişliği olarak tanımlanan (FWHM) pikin genişliği ile tespit edilir. Sistemin ayırma gücü yani çözünürlüğü enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra kontrol edilir.

Verim, sayım sisteminin radyasyonu algılayabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Aktivite ile ilgili enerjideki pik verimi doğru orantılıdır. Eγ enerjisindeki tam enerji pik verimi (ε), ilgili enerjiyi kapsayan radyoizotop ya da izotopları içeren aktivitesi bilinen standart referans kaynaklar kullanılarak yapılır.

Spektrumda kanal numarasına karşılık gelen enerji, spektrum sayım hızı ve aktivitesinin Bq cinsinden hesaplanmasını sağlayan verim kalibrasyonu Scintivision programı kullanımı ile yapıldı.

Sistemin kalibrasyonu için gama enerjileri bilinen ve ölçüm yapılan numuneler ile aynı geometriye sahip kaplarda bulunan standart, IAEA (Uluslararası Atom Enerji Kurumu) referanslı RGU-1 Uranyum, RGTh-1 Toryum, RGK-1 Potasyum kaynaklar kullanıldı. Scintivision programının interpolative, lineer, kuadratik ve polinomal olmak üzere dört farklı fit tipi vardır. Verim kalibrasyon için elde edilen veriler, polinomal eğriye uydurularak kalibrasyon eğrisi elde edilmiş ve verim kalibrasyon grafiği çizilerek, grafiğe ait enerji verim denklemi elde edilmiştir. Bu denklem kullanılarak aktivite hesaplanabilir. Bunun yanı sıra

farklı paket programlar kullanılarak da aktivite hesabı yapılabilmektedir. Bu çalışmada aktivite hesabı için Scintivision programı kullanıldı. El ile yapılan hesaplama sonuçları ile Scintivision programını kullanarak elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görüldü. Programın avantajlarından biri de kalibrasyon için kullanım kolaylığıdır. Bunun yanı sıra aynı anda farklı spektrumları görüntüleme imkanı sağlamaktadır.

2.2. Gama spektrometrik ölçümler

2.2.1. Ölçülebilir minimum aktivite

Ölçülebilir minimum aktivite (ÖMA), belirli koşullar altında ölçüm sisteminin tespit etme kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir [25]. ÖMA Denklem 1 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{ÖMA} = \frac{4.66\sqrt{\text{Doğal Fon Sayımı}}}{t \times Y \times m \times \epsilon} \quad (1)$$

Burada; Doğal Fon Sayımı, taban sayım değerini, t , sayım süresini, Y , bolluk, m , kütle ve ϵ , fotopik verimini ifade etmektedir.

2.2.2. Aktivite ölçümü

^{226}Ra , ^{232}Th ve radyoizotopları çok uzun yarı ömürlü ve doğadaki konsantrasyonları çok düşük olduğu için günümüz gama spektrometrik yöntemle radyoaktivitelerinin tespiti zor olduğundan bu izotoplara ait radyoaktivite hesabı yapılırken ^{226}Ra , ^{232}Th ve serilerindeki bozunma ürünlerinin spektrumda oluşturduğu fotopiklerden faydalanılır. Bu çalışmada ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu için ^{214}Bi 'ün 1760 keV'deki fotopiki, ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu için ^{208}Tl 'ün 2615 keV enerjili fotopiki kullanıldı. ^{40}K radyoizotopuna ait radyoaktivite 1460 keV enerjili fotopik kullanılarak elde edildi [26]. Doğal olarak bulunmayan, fisyon ürünü olan ^{137}Cs 'ün radyoaktivite konsantrasyonu ise bu izotopa özgü 662 keV enerjili fotopiki kullanılarak belirlendi. Analiz yapılan örneklerde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs izotoplarına ait radyoaktivite değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

2.3. Hesaplanan radyolojik parametreler

2.3.1. Radyum eşdeğer aktivitesi

Uranyum bozunum serisinden gelen radyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan radyoaktiviteyi karşılaştırmak için kullanılan yaygın bir diğer parametre radyum eşdeğeridir. Radyum eşdeğer aktivitesi Denklem 2 kullanılarak hesaplandı [27].

$$R_{eq} = C_{Ra} + 1.423C_{Th} + 0.077C_K \quad (2)$$

Burada 0.92 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹, 1.1 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹ ve 0.08 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹ sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için

doz hızı dönüşüm katsayılarıdır. C_{Ra} , C_{Th} ve C_K yapı malzemelerindeki, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının $Bqkg^{-1}$ cinsinden radyoaktivite konsantrasyonlarıdır.

Tablo 1. Feldspat örneklerinin ölçülen aktivite değerleri

Ö.No	^{226}Ra ($Bqkg^{-1}$)	^{232}Th ($Bqkg^{-1}$)	^{40}K ($Bqkg^{-1}$)	^{137}Cs ($Bqkg^{-1}$)
F-1	<2.5	<2.2	1249.6±83.9	<2.1
F-2	11.9±3.9	<1.0	708.2±50.0	<2.2
F-3	<2.5	<1.0	680.1±49.1	<2.2
F-4	18.9±2.6	18.5±2	625.3±44.5	<1.8
F-5	19.7±2.2	<8.7	596.7±42.7	<1.8
F-6	16.0±2.3	<1.9	601.5±43.1	<1.9
F-7	17.4±2.6	<9.5	680.9±49.5	<2.0
F-8	<2.3	<2.0	636.7±45.4	<1.9
F-9	20.6±2.7	<1.0	1471.4±98.4	<2.3
F-10	85.2±3.0	<2.2	1604.3±106.6	<2.4
F-11	41.2±3.7	<8.4	1750.7±115.6	<2.1
F-12	<2.4	<2.2	704.5±18.4	<2.2
F-13	<2.4	<1.0	796.2±85.7	<2.2
F-14	<1.6	<1.5	452.6±33.4	<1.4
F-15	<1.6	<1.5	467.2±34.3	<1.5
F-16	<1.6	<5.5	420.2±31.0	<1.4
F-17	<2.0	<1.9	622.0±44.5	<2.2
F-18	<2.6	<9.0	685.2±49.7	<2.3
F-19	<2.4	<9.7	628.6±45.6	<2.1
F-20	<2.8	<1.0	649.1±57.7	<2.3
F-21	<2.8	<2.5	2653.7±174	<2.4
F-22	<2.3	<2.1	659.1±4	<2.0
Ortalama	11.94±3.8	28.0±1.7	879.2±5 6.3	1.9±0.7

<# Dedektör tarafından ölçülebilen minimum aktivite değeri

2.3.2. Soğurulan gama doz hızı (ADR)

Toprakta bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarından kaynaklanan, yüzeyden 1 m yükseklikte soğurulan doz değeri Denklem 3 kullanılarak hesaplandı.

$$ADR (nGyh - 1) = 0.92C_{Ra} + 1.1C_{Th} + 0.08C_K \quad (3)$$

Burada 0.92 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹, 1.1 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹ ve 0.08 nGyh⁻¹/Bqkg⁻¹ sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için doz hızı dönüşüm katsayılarıdır.

2.3.3. Yıllık etkin doz (AED)

Etkin doz değeri, soğurulan doz için dönüşüm katsayısı 0.7 SvGy⁻¹ ve dış ortamda maruz kalma faktörü 0.2 dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı [28].

$$AED (mSvy - 1) ADR \times 8760 \times 0.2 \times 10^{-6} \quad (4)$$

2.3.4. Dış ve iç tehlike indisleri

Tehlike indisleri gama radyasyon tehlikesini belirlemek için uranyum bozunum serisinde ^{226}Ra , toryum bozunum serisinde ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanır. Bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri için dış tehlike indisi (I_γ) Denklem 5 kullanılarak hesaplandı [29].

$$I_\gamma = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000} \quad (5)$$

^{222}Rn gazının solunmasından kaynaklanan ilave alfa radyasyonunun değerlendirilmesi için iç tehlike indisi (I_α) Denklem 6 kullanılarak hesaplandı [30].

$$I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200} \quad (6)$$

Burada, C_{Ra} yapı malzemelerindeki ^{226}Ra 'nın $Bqkg^{-1}$ cinsinden aktivite derişimi ve ortamda radyolojik riskin olmaması için I_α değerinin 1'den küçük olması şarttır.

Hesaplanan radyolojik parametreler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Doz ölçütünün kontrolüne yönelik aktivite derişim indisi değerleri

Doz değeri	0.3 mSvy ⁻¹	1 mSvy ⁻¹
Yapısal malzemeler (beton, tuğla, vb)	$I_\gamma \leq 0.5$	$I_\gamma \leq 1$
Yüzeysel olarak ve sınırlı kullanılan malz. (kiremit, vb)	$I_\gamma \leq 2$	$I_\gamma \leq 2$

Tablo 3. Hesaplanan radyolojik parametreler

Ö.No	R_{eq} Bqkg ⁻¹	ADR nGyh ⁻¹	AED mSvy ⁻¹	I_γ	I_α
F-1	101.8	104.6	0.12	0.43	0.01
F-2	67.8	68.7	0.08	0.28	0.06
F-3	56.2	57.8	0.07	0.24	0.01
F-4	93.3	87.7	0.10	0.36	0.09
F-5	78.0	75.4	0.09	0.30	0.10
F-6	65.0	64.9	0.07	0.26	0.08
F-7	83.3	80.9	0.09	0.33	0.09
F-8	54.1	55.2	0.06	0.22	0.01
F-9	135.3	137.7	0.16	0.56	0.10
F-10	135.3	209.1	0.25	0.82	0.47
F-11	211.8	187.2	0.22	0.76	0.53
F-12	59.7	60.9	0.07	0.25	0.01
F-13	65.1	67.0	0.08	0.27	0.01
F-14	38.6	39.3	0.04	0.16	0.01
F-15	39.7	40.4	0.04	0.16	0.01
F-16	41.7	41.1	0.05	0.17	0.01
F-17	52.5	53.6	0.06	0.22	0.01
F-18	68.6	67.1	0.08	0.28	0.01
F-19	64.6	63.1	0.07	0.26	0.01
F-20	54.2	55.6	0.06	0.23	0.01
F-21	56.3	57.1	0.07	0.23	0.01
F-22	79.0	61.8	0.09	0.27	0.03

3. Bulgular

Analiz edilen örneklerde ^{40}K 'nin radyoaktivite değeri 420.2 ± 31.0 ile 2653.7 ± 174.1 Bqkg⁻¹ arasında değişmektedir. Tablo 1'de görüldüğü gibi ^{226}Ra 'un radyoaktivite değerinin F-2, F-4, F-5, F-6, F-7, F-9, F-10 ve F-11 kodlu örneklerde 11.9 ± 3.9 ile 85.2 ± 3.0 Bqkg⁻¹ değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Diğer örneklerde ^{226}Ra 'un radyoaktivite değeri ölçülebilir minimum aktivite değerinden daha küçük olduğundan dedektör tarafından tespit edilemeyip ölçülebilir minimum aktivite değerleri yazıldı. F-4 kodlu numunede ^{232}Th 'nin radyoaktivite değeri 18.5 ± 2.1 Bqkg⁻¹ olarak belirlenirken diğer örneklerde aktivite tespit edilemeyip, ölçülebilir minimum

aktivite değerleri yazıldı. Çalışılan örneklerde ^{137}Cs radyoaktivitesi ölçülebilir minimum aktivite değerinden daha küçük olduğundan dedektör tarafından tespit edilemeyip ölçülebilir minimum aktivite değerleri yazıldı. UNSCEAR (Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi) 2000 raporunda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için özgü aktivitelerinin dünya ortalaması sırasıyla 32 Bqkg⁻¹, 45 Bqkg⁻¹ ve 420 Bqkg⁻¹ olarak verilmiştir [31]. Deney sonuçlarımızla bu değerler kıyaslandığında ^{226}Ra radyoaktivitesinin F-10 ve F-11 örneklerinde dünya ortalamasının üzerinde olduğu, ^{232}Th radyoaktivitesinin ise ortalama radyoaktivite değerinden çok daha küçük olduğu gözlemlendi. ^{40}K radyoaktivitesinin ise F-14, F-15, F-16 hariç tümünde, özellikle de K-feldspat örneklerinde kimyasal bileşiminden dolayı ortalamanın üzerindedir. Na-feldspat örneklerindeki ^{40}K radyoaktivitesinin ortalama yakın değerde olduğu söylenebilir. Belirlenen radyoaktivite değerleri kullanılarak hesaplanan radyolojik parametreler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde eşdeğer radyum aktivite derişiminin 38.6 ile 211.8 Bqkg⁻¹ arasında değişen değerler aldığı görülmektedir. OECD-NEA (Ekonomik ve İşbirliği Kalkınma Örgütü- Nükleer Enerji Ajansı) tarafından 1979 yılında yayımlanan raporda, ev ve işyeri binalarında kalıcı olarak kullanılmak amacıyla üretilen malzemelerde, eşdeğer radyum aktivite derişimi için, müsaade edilen en büyük değeri 370 Bq kg⁻¹ olarak belirlenmiştir [32].

UNSCEAR 2000 raporuna göre yer kabuğunda bulunan radyoizotoplardan kaynaklanan ve dış ışınlanmanın sebep olduğu yapı içi soğurulmuş gama dozu dünya ortalaması 84 nGyh⁻¹ (40 - 200 nGyh⁻¹) olarak verilmiştir. TAEK (Türk Atom Enerjisi Kurumu) 2008 raporunda yapı malzemesi olarak kullanılan malzemelerden iç ışınlanma yoluyla insanların alabileceği yıllık etkin doz oranı, 0.3 mSvy⁻¹ ile 1 mSvy⁻¹ arasında sınırlandırılmıştır [33]. Elde edilen radyolojik parametreler incelendiğinde, radyum eşdeğer aktivitesi, yapı içi soğurulmuş gama dozu ve yıllık etkin doz değerlerinin dünya ortalamasının altında olduğu tespit edildi. Tablo 2 incelendiğinde hesap edilen dış ve iç aktivite indis değerlerinin müsaade edilen değerlerden küçük olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Cam seramik ve porselen sektöründe önemli bir endüstriyel hammadde olan feldspat minerali ticari anlamda ön planda olup zenginleştirilmesine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Buna karşın yer kabuğu kökenli feldspat rezervlerinin radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar ülkemizde oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada endüstriyel hammadde olarak kullanılan ve kaliteli feldspat rezervlerinin olduğu bilinen farklı maden

ocaklarından temin edilen 22 tane feldspat örneği gama spektrometrik yöntem ile analiz edildi. Analiz edilen örneklerde ^{226}Ra ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun 11.94 Bqkg⁻¹, ^{232}Th ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun 28.0 Bqkg⁻¹ ve ^{40}K ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun 879.2 Bqkg⁻¹ olduğu tespit edildi. UNSCEAR 2000 raporuna göre, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için spesifik aktivitelerinin dünya ortalaması sırasıyla 35 Bqkg⁻¹, 30 Bqkg⁻¹ ve 400 Bqkg⁻¹ olarak verilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında ^{226}Ra ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonlarının referans değerinin çok altında olduğu söylenebilir. Yapılan deneyler feldspat rezervlerinin yoğun bir şekilde ^{40}K radyoaktif izotopu içerdiğini göstermekte ve bu sonucun o bölgenin kayaç yapısıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Tablo 2 incelendiğinde hesaplanan dış ve iç aktivite indis değerlerinin müsaade edilen değerlerden küçük olduğu görülmektedir. Nitekim literatür ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde feldspatik oluşumların yapısında yoğun bir şekilde ^{40}K radyoaktif izotopun varlığı kesinlik kazanmaktadır. Elde edilen ^{226}Ra ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonlarının referans değerinin çok altında olması nedeniyle Türkiye'deki feldspat rezervlerinin kaliteli olduğunu söylenebilir ve bu konuda araştırmalar yapılması gerektiği dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu araştırma ile analiz edilen feldspatın, cam ve seramik ve porselen sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılabileceği bir kez daha kanıtlandı.

Kaynakça

- [1] Kulaksız, S., Özçelik, Y. 1997. Türkiye ve Dünya'da Feldspat Üretimi -Fiyat Değişimi ve Politikası, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 40-50.
- [2] Turhan, Ş., Temirci, A.T., Kurnaz, A., Altıkulaç, A., Gören, E., Karataşlı, M., Kırışık, R., Hançerlioğulları, A. 2018. Natural Radiation Exposure and Radon Exhalation Rate of Building Materials Used in Turkey. Nuclear Technology and Radiation Protection, 33(2) 159-166.
- [3] Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010. Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. Progress in Nuclear Energy, 52(7), 620-623.
- [4] Mavi, B., Akkurt, I., 2010. Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey. Radiation Physics and Chemistry, 79(9), 933-937.
- [5] Günoğlu, K., Akkurt, I., 2011, December. Radiation Shielding Properties of Some Marbles in Turkey. In AIP Conference Proceedings 1400(1), 502-507.
- [6] Uyanık, N.A., Uyanık, O., Gür, F., Aydın, İ., 2013. Natural radioactivity of bricks and brick material in the Salihli-Turgutlu area of Turkey. Environmental earth sciences, 68(2), 499-506.

- [7] Tufan, M.Ç., Dişci, T., 2013. Natural radioactivity measurements in building materials used in Samsun, Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 156(1), 87-92.
- [8] Turhan, Ş., Arıkan, I.H., Demirel, H., Güngör, N., 2011. Radiometric analysis of raw materials and end products in the Turkish ceramics industry. *Radiation Physics and Chemistry*, 80(5), 620-625.
- [9] Todorovic, N., Bikit, I., Krmar, M., Mrdja, D., Hansman, J., Nikolov, J., Forkapic, S., Veskovic, M., Bikit, K., Jakonic, I., 2015. Natural radioactivity in raw materials used in building industry in Serbia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(2), 705-716.
- [10] El-Dine, N.W., El-Shershaby, A., Afifi, S., Sroor, A., Samir, E., 2011. Natural radioactivity and Rare Earth elements in feldspar samples, Central Eastern desert, Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(5), 803-807.
- [11] Maden Mühendisleri Odası, 2018 Feldspar Raporu <http://www.maden.org.tr/ek.pdf> (Erişim tarihi: 15 Ağustos 2018).
- [12] Hacifazlıoğlu, H., Kursun, I., Terzi, M., 2012. Beneficiation of low-grade feldspar ore using cyclojet flotation cell, conventional cell and magnetic separator. *Physicochemical problems of mineral processing*, 48(2), 381-392.
- [13] Kursun, I., Ipekoglu, B. 1997. Concentration of Potassium Feldspars From Granite and Syenite Rocks. 5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology. 6-9 May, Argentina, 61-64.
- [14] Kursun I., Ipekoglu B. 2000, Recovery of Potassium Feldspars From Granite and Syenite Rocks in Turkey. *The Arabian Journal For Science and Engineering*, 25 (2) 205-211.
- [15] Bayraktar, I., Ersayın, S., Gulsoy, O. Y. 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. *Minerals Engineering*, 1(12), 1363-1374.
- [16] Lewicka, E. 2010. Conditions of the feldspathic raw materials supply from domestic and foreign sources in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. 26(4), 5-8.
- [17] Deniz, K., Kadioğlu, Y.K., 2018. Nefelin siyenitlerin seramik sanayinde kullanılma potansiyeli: Buzlukdağ örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1209-1219.
- [18] Kursun, I. 2010, Determination of Flocculation, Adsorption Desorption Characteristics of Na-Feldspar Concentrate with Different Polymers. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 44, 126-141.
- [19] Burat, F. 2017. Feldspat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 205-216.
- [20] Seyrankaya, A., 2003. Muğla-Milas Bölgesi Albit Cevherinden Ağır Minerallerin Flotasyon İle Uzaklaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 171-180.
- [21] TMMOB. 2007. Stratejik Araştırmalar Merkezi Çalışmaları Feldspat Raporu.
- [22] Temizel, İ., Yazar, A.E., Arsalan, M., Kaygusuz, A., Aslan, Z. 2018. Gököy Yöresi (Ordu, KD Türkiye) Eosen Yaşlı I-tipi Şoşonitik Plütonların Mineral Kimyası, Tüm-Kayaç Jeokimyası ve Petrolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*. 157, 123-155.
- [23] Hızal, M. 1997. Potasyum Feldspatların Dünü, Bugünü ve Yarını, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 31-39.
- [24] Çelik, MY., Denizhan, T. 2016. Kınık- Dinar (Afyonkarahisar) Trakitlerinin K-Feldspat Potansiyelinin İncelemesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 16(2016), 747-758.
- [25] IAEA, 1989. Measurement of Radionuclides in Food and Environment; A Guidebook, Technical Reports Series No. 295. Vienna.
- [26] Akkurt, I., Günoğlu, K., 2014. Natural radioactivity measurements and radiation dose estimation in some sedimentary rock samples in Turkey. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2014.
- [27] Beretka, J., Mathew, P. J., 1985. Natural Radioactivity of Australian Building Materials Industrial Wastes and by-Products. *Health Physics*, 48, 87-95.
- [28] Markkanen, M., 1995. Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity, Helsinki, ISBN 951,712-079.
- [29] Krieger, R. 1981. Radioactivity of Construction Materials. *Betonwerk Fertigteil Technology*, 47, 468-473.
- [30] Trevisi, R., Risica, S., D'Alessandro, M., Paradiso, D., Nuccetelli, C. 2012. Natural Radioactivity in Building Materials in The European Union: a Database and an Estimate of Radiological Significance. *Journal of Environmental Radioactivity*, 10, 11-20.
- [31] UNSCEAR 2000 Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Sources Effects and Risk of Ionizing Radiations New York.
- [32] NEA- OECD, 1979. Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials. Report by Group of Experts of the OECD Nuclear Energy Agency (NEA), Paris.
- [33] TAEK 2008, Türkiyede Kullanılan Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi, Teknik Rapor.