

Araştırma Makalesi / Research Article

Kars İlinde Kullanılan Bazı Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Tehlikelerin Değerlendirilmesi**Gülçin Bilgici Cengiz¹, İlhami Aras¹, Hüseyin Ertap¹, Mevlüt Karabulut²**¹Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kars.²Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Fizik Bölümü, Kocaeli.

e-posta: cengizgulcin@gmail.com

Geliş Tarihi: 10.11.2016 ; Kabul Tarihi: 29.05.2017

Özet

Bu çalışmada, Kars ilinde kullanılan bazı yapı malzemelerinin radyoaktivite seviyeleri ve bu malzemelerinin kullanılmasından kaynaklanabilecek radyolojik riskler belirlendi. Kars'ın değişik bölgelerinden 10 farklı yapı malzemesini (kireçtaşı, kil, tras, alçıtaşı, demir cevheri ve dört farklı çimento numunesi) temsil eden toplam 60 numune toplanmıştır. Bu numunelerdeki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyoizotoplarının radyoaktivite konsantrasyonları HPGe gama ışını spektrometre sistemi ile ölçüldü. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyoizotoplarının ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla 22,87 Bq kg⁻¹, 19,49 Bq kg⁻¹, 265,29 Bq kg⁻¹ ve 1,7 Bq kg⁻¹ olarak bulundu. Elde edilen değerler kullanılarak yapı malzemeleri için radyolojik tehlike indisleri (radyum eşdeğer aktivitesi, yapı içi soğurulmuş doz hızı, yapı içi etkin doz hızı, I_γ indisi ve I_α indisi) hesaplandı. Bu sonuçlar Türkiye'de ve dünyadaki çeşitli ülkelerde benzer malzemeler için bildirilen sonuçlarla kıyaslandı. Bu araştırmanın sonucunda incelenen yapı malzemelerinin radyolojik bir risk oluşturmadığı ve binaların inşasında güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimelerYapı malzemeleri,
Gama spektrometresi,
Doğal radyoaktivite,
Tehlike indisi, Kars.**Evaluation of Natural Radioactivity and Radiological Hazards in Some Building Materials Used in Kars****Abstract**

In this study, radioactivity levels of some building materials used in Kars province and radiological risks that could arise from these building materials were determined. A total of 60 samples representing 10 different building materials (limestone, clay, tras, gypsum, iron core and four different cement samples) from various regions of Kars were collected. The radioactivity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K radioisotopes in these samples were measured using an HPGe gamma-ray spectrometry system. The mean radioactivity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K were found to be 22.87 Bq kg⁻¹, 19.49 Bq kg⁻¹, 265.29 Bq kg⁻¹ and 1.74 Bq kg⁻¹, respectively. Radiation hazard indices (radium equivalent activity, absorbed dose rate indoors, annual effective dose rate indoors, I_γ index and I_α index) were calculated for the building materials using these obtained values. These results were compared with the results reported for similar materials in Turkey and in several countries around the world. As a result of this research, it was observed that the building materials examined did not constitute a radiological risk and could be used safely in the construction of buildings.

KeywordsBuilding materials,
Gamma spectrometry,
Natural radioactivity,
Hazard index, Kars.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Kaya, taş ve toprak vb. gibi yeryüzü kaynaklı maddeler, başlıca uranyum (²³⁸U), toryum (²³²Th) ve

bunların bozunum ürünleri ile potasyum (⁴⁰K) gibi radyoizotopları içerir. Yapı malzemeleri yeryüzü kaynaklı maddelerden üretilmelerinden dolayı

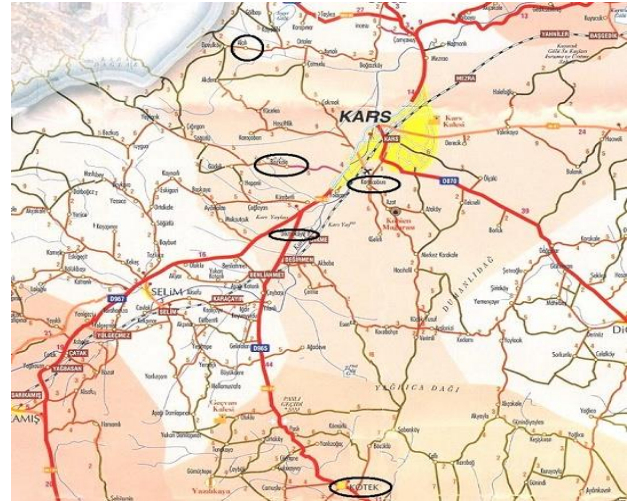
düşük miktarda radyoaktif madde ihtiva ederler. Bazı endüstriyel yan ürünler de radyoaktif atıklardan kaynaklanan radyonüklitleri içermektedirler (Krstic et al. 2007). Dünyanın farklı yerlerinde, çoğunlukla gama spektrometre yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda, çeşitli yapı malzemeleri örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları rapor edilmiştir (Kaynar et al. 2015; Righi ve Bruzzi, 2006; Sonkawade et al. 2008). Ev ve iş yeri binalarında kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan ve solunum yolu ile vücuda giren ^{222}Rn ile kısa ömürlü bozunum ürünlerinin yayınladığı α ve β radyasyonları, iç ışınlanmaya neden olur (El-Taher 2012; TAEK, 2008). Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri de radyasyon dozunu etkilediğinden ev ve çalışma yeri binalarının yapımında kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan olası radyolojik tehlikelerin değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur (Ali et al. 1996; Faheem et al. 2008; Lu et al. 2012; UNSCEAR, 2000).

Bu çalışmada, Kars ilinde kullanılan bazı yapı malzemelerindeki radyoaktivite düzeyleri belirlenerek, kullanılan yapı malzemelerinin sebep olabileceği radyolojik tehlike indisleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

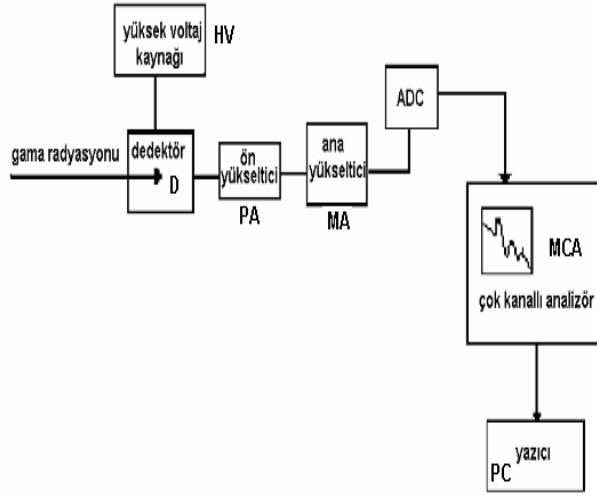
Bu çalışmada, radyoaktivite düzeylerini belirlemek amacıyla yapı malzemelerinden Kalker (Karacaören Köyü), Kil (Bozkale Köyü), Tras (Dikme Köyü), Alçı Taşı (Alçılı Köyü), Demir Cevheri (Kötek Köyü) ile birlikte piyasadan alınan kireç ve dört farklı çimento örneği kullanılmıştır. Her bir yapı malzemesinden 6'şar örnek olmak üzere toplam 60 örnek incelenmiştir. Numunelerin alındığı bölgeler Şekil 1'de Kars ili haritası üzerinde gösterilmiştir. Alınan örnekler öğütme makinelerinde öğütülüp $0,5\ \mu\text{m}$ 'lik eleklerden geçirilerek açık havada bir hafta bekletildikten ve etüvde $100\ ^\circ\text{C}$ 'de kurutulduktan sonra yaklaşık 1,5 litrelik Marinelli kaplarına yerleştirilmiştir. ^{238}U 'un bozunum zincirindeki uzak ürün radyonüklitleri ^{214}Pb , ^{214}Bi vb. ile kalıcı (seküler) dengede olması gerekmektedir.

Bunun için ^{226}Ra 'nın ürün çekirdeği olan ^{222}Rn soy gazının, özellikle kazılardan dolayı, yapı malzemelerinde kullanılan kum, çakıl, çimento vb. çevresel örneklerde kaçma olasılığı çok yüksek olduğundan, ^{226}Ra (1620 yıl)'nın, kendisine göre yarı-ömürü çok kısa olan ^{222}Rn (3,8 gün) ile kalıcı dengede olması gerekir. Analiz edilecek çevresel örnekler, bu kalıcı dengenin sağlanabilmesi için sızdırmaz Marinelli kaplar içinde 4 hafta bekletilmiştir. Bekleme süreleri dolan numuneler gama spektrometre cihazına konularak ortalama 50.000 saniye sayılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin alındığı bölgeler.

Bekletilen yapı malzemesi örneklerindeki ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, yüksek çözünürlüklü % 15-16 bağıl verime sahip Canberra 85 serisi (4096 kanallı) HPGe dedektörü (D) ve beraberinde ön-yükseltici (PA) ve yüksek voltaj filtresi, güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), örnek-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcısından oluşan gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. HPGe dedektörlü gama spektrometrik sistemin şematik gösterimi.

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumlar Accuspec yazılımı ile analiz edilmiştir. Dedektör sistemi, HPGe dikey eksenli, 30 litrelik sıvı azot kabına monte edilmiş, dedektör üzerine kalibrasyona uygun şekilde bir adet hazırlanmış numune kabı ve ortamdan kaynaklanan doğal fon radyasyonunu en aza indirmek için 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşun zırhlama yapılmıştır. Cs-137 ve Co-60 radyoaktif standart kaynakları (IAEA-375) ile 0-2000 keV enerji spektrumu aralığında enerji kalibrasyonu yapılmıştır. Yapılan bu enerji kalibrasyonu sayesinde numunenin gamma spektrumunda bulunan radyoaktif çekirdek türleri enerjilerine bakılarak belirlenmiştir. ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları, ^{226}Ra için; ^{26}Ra (186 keV) ^{214}Pb (295 ve 351 keV) ve ^{214}Bi (609 keV) gama enerjilerindeki ve ^{232}Th için; ^{228}Ac (911 keV) ve ^{208}Tl (583 keV) gama enerjilerindeki fotopiklerin kullanılarak hesaplanmıştır. ^{40}K aktivitesi için yalnızca bu radyonüklit tarafından yayınlanan 1461 keV enerjili fotopik kullanılarak hesaplanmıştır.

2.1. Radyolojik Tehlike Hesapları

Radyum, toryum ve potasyumun farklı konsantrasyonlarını içeren malzemelerin özgül aktivitelerini karşılaştırmak için, radyum eşdeğer (radium equivalent activity, Ra_{eq}) aktivite indisi, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Beretka ve Mathew, 1985; Yang et al 2005).

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1,423C_{Th} + 0,077C_K \quad (1)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'in sırasıyla Bq kg^{-1} cinsinden aktivite konsantrasyonlarıdır.

Yapı malzemelerindeki radyonüklitlerin neden olduğu dış ışınlamadan kaynaklı yapı içi soğurulmuş doz hızı (absorbed dose rate indoors, ADR)'dır. Eşitlik 2'de C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'in Bq kg^{-1} cinsinden aktivite konsantrasyonları kullanılarak ADR hesaplanmıştır (EC, 1999; Markkanen, 1995; Lu et al. 2012).

$$ADR(nGy h^{-1}) = 0,92C_{Ra} + 1,1C_{Th} + 0,08C_K \quad (2)$$

Burada, 0,92 nGy $\text{h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$, 1,1 nGy $\text{h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ ve 0,08 nGy $\text{h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için doz hızı dönüşüm katsayılarıdır. (EC, 1999; Markkanen, 1995). İnsanların zamanlarının %80'ini bina içinde geçirdiğini göz önünde tutarak yapı içi yıllık etkin doz hızı (annual effective dose rate, AED), havada soğurulmuş gama doz hızından etkin doz hızına dönüşüm katsayısı 0,7 Sv Gy^{-1} alınarak Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır (EC, 1999; Turhan et al. 2008).

$$AED(\mu\text{Sv y}^{-1}) = ADR(nGy h^{-1}) \times 8760(hy^{-1}) \times 0,8 \times 0,7(\text{Sv Gy}^{-1}) \times 10^{-6} \quad (3)$$

Aktivite indisleri, etkileme düzeyinin aşılp aşılmaması durumunu belirlemek için kullanılır ve malzemenin aktivite konsantrasyonu ölçümlerinden hesaplanır. Aktivite indisi, uranyum bozunum serisinde ^{226}Ra 'nın, toryum bozunum serisinde ^{232}Th 'nin ve ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonları bazında hesaplanır. Diğer nüklitler özel durumlarda göz önüne alınabilir. Bina yapımında kullanılan malzemeler için I_Y aktivite indisi Eşitlik 4'e göre hesaplanır (Trevisi et al. 2012).

$$I_Y = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000} \quad (4)$$

Burada C_{Th} , C_{Ra} , C_K incelenen numunelerdeki ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonlarıdır ve Bq

kg^{-1} ile ifade edilmektedir. Bina yapımında kullanılan malzemeler için aktivite indisinin bu tanımı, standart bir odadaki ^{232}Th 'nin 200 Bq kg^{-1} , ^{226}Ra 'nın 300 Bq kg^{-1} ve ^{40}K 'ın 3000 Bq kg^{-1} kadar bulunduğunun tahminine dayanır. I_γ aktivite indisi bina altında ve yakınında kullanılan dolgu malzemeleri için de kullanılır. Eğer aktivite indisi 1 veya 1'den küçükse malzeme hiçbir sınırlama olmaksızın yapı malzemesi olarak kullanılabilir (TAEK, 2008). İnşaat malzemeleri, dış radyasyon kaynaklarına karşı bir koruyucu olmasına rağmen, bina içlerinde bir radyasyon kaynağı gibi davranırlar. İnşaat malzemelerinde doğal olarak bulunan ^{226}Ra 'nın varlığı, bina içlerinde gama radyasyon dozlarının ve radon konsantrasyonunun artmasının en büyük nedenidir (UNSCEAR, 1988). Avrupa komisyonu tarafından 1990 yılında yayınlanan tavsiye kararında yapı içi radon konsantrasyon sınırı, eski binalar için 400 Bq m^{-3} ve yeni binalar için 200 Bq m^{-3} olarak belirtilmiştir (EC, 1999). TAEK 2008 raporunda ise bina yapımında kullanılan malzemelerden iç ışıma yoluyla insanların alabileceği yıllık etkin doz oranı, $0,3 \text{ mSv y}^{-1}$ ($\leq 0,5$) ile 1 mSv y^{-1} (≤ 1) arasında sınırlandırılmıştır. Bugüne kadar ^{222}Rn gazının solunmasının neden olduğu ilave alfa radyasyonun değerlendirilmesi ile ilgili olarak I_α indisi türetilmiştir (Krieger, 1981; Stoulos et al. 2003). I_α indisi Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanır.

$$I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} \quad (5)$$

Burada, C_{Ra} , yapı malzemelerindeki ^{226}Ra 'nın Bq kg^{-1} cinsinden aktivite konsantrasyonudur. $I_\alpha > 1$ olduğu durumlarda ev içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyon sınırı olan 200 Bq m^{-3} 'ün aşılması olasıdır (TAEK, 2008; Baykara et al. 2011; Hassan ve Fares 2016).

3. Bulgular

Bu çalışmada Kars ilinde kullanılan 10 farklı yapı malzemesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi ile ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 2'de Türkiye ve dünyanın farklı ülkelerinde yapılan çalışmalar sonucunda bazı yapı

malzemelerinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları verilmiştir. UNSCEAR 2000 raporuna göre, aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 32 Bq kg^{-1} , 45 Bq kg^{-1} ve 420 Bq kg^{-1} olarak verilmiştir. Yaptığımız çalışmada Kars ilinde kullanılan 4 farklı çimento numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla $22,2 \text{ Bq kg}^{-1}$, $18,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $255,2 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler dünya ortalaması için verilen limit değerler ile Tablo 2'deki TAEK'in 2008 raporunda verdiği değerler ile aynı aralıklardadır (UNSCEAR, 2000; TAEK, 2008). Alçı numuneleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 2 Bq kg^{-1} , 3 Bq kg^{-1} ve $47,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler Tablo 2'de verilen Türkiye ortalama değerleri ve diğer ülkelerde yapılmış çalışmalarla kıyaslandığında oldukça düşük olduğu görülmüştür. Çalışmamızda kireç numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla $54,9 \text{ Bq kg}^{-1}$, 3 Bq kg^{-1} ve $14,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak ölçülmüş ve Türkiye ve diğer ülkelerdeki kireç için yapılmış diğer çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Karşılaştırma sonucunda ^{226}Ra ortalama aktivite değerinin Türkiye ortalamasının 2,5 katı ve ^{40}K ortalama aktivite değerinin Türkiye ortalamasının yaklaşık 4,5 katı olduğu bulunmuştur. Analizleri yapılan kil numunesindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla $7,6 \text{ Bq kg}^{-1}$, 9 Bq kg^{-1} ve 309 Bq kg^{-1} olarak bulunan bu değerlerin, Türkiye ve dünya ortalamasından daha düşük olduğu bulunmuştur. Çalıştığımız tras numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalaması sırasıyla $49,6 \text{ Bq kg}^{-1}$, $93,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve 1005 Bq kg^{-1} olarak bulunmuştur. Tablo 2 incelendiğinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonlarına ait ortalama değer, TAEK 2008 raporundaki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonlarına ait ortalama değerden daha düşük olduğu ancak ^{232}Th ve ^{40}K 'nın aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin ise yüksek oldukları görülmüştür. Demir cevheri numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla $15,7 \text{ Bq kg}^{-1}$, $9,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve 143 Bq kg^{-1} olarak elde edilmiş ve bu değerlerin Türkiye ortalama değerlerine

yakın olduğu görülmektedir (Tablo 2). Kalkerle ilgili yaptığımız çalışmada ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla 9,8 Bq kg^{-1} , 2,1 Bq kg^{-1} ve 27,5 Bq kg^{-1} olarak belirlenmiş ve bu değerlerin literatürde verilen bazı ülkelerdeki ortalama aktivite değerlerinden daha düşük olduğu saptanmıştır. Bununla beraber bulduğumuz ^{226}Ra 'a ait aktivite değerlerinin Yunanistan'da ve Romanya'da yapılan çalışmalarda bulunan değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Bu çalışmada, araştırılan yapı malzemelerinin neden olabileceği radyolojik riske dikkat çekmek için, yapı içi radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), yapı içi soğurulmuş doz hızı (ADR), yapı içi etkin doz hızı (AED), aktivite indisleri (I_{γ} ve I_{α}) gibi parametreler hesaplandı.

İncelenen yapı malzemeleri için R_{eq} değerlerinin verildiği Tablo 1'den de görüleceği gibi, 9,9 Bq kg^{-1} (Alçı taşı) ile 260,9 Bq kg^{-1} (Tras) aralığında değişmektedir. Hesaplanan bu değerler, OECD-NEA tarafından 1979 yılında tavsiye edilen limit değeri olan 370 Bq kg^{-1} den daha küçüktür Tablo 2'de incelediğimiz yapı malzemelerine ait R_{eq} değerleri

yapılan diğer araştırmalarda verilen R_{eq} değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmamıza konu olan yapı malzemeleri için ADR, 4,9 nGy h^{-1} (Alçı taşı) ile 126,4 nGy h^{-1} (tras) aralığında ve AED değerleri ise 0,006 mSv y^{-1} (alçı taşı) ile 0,16 mSv y^{-1} (Tras) aralığında hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Tras hariç diğer yapı malzemeleri için hesaplanan ortalama ADR ve AED değerlerinin sırasıyla, UNSCEAR 2000'de raporlanan, 84 nGy h^{-1} ve 1 mSv y^{-1} değerinden daha düşük olduğu görüldü. Tablo 2'de incelediğimiz her bir yapı malzemesi için ADR ve AED değerleri verilerek diğer benzer araştırma sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Ölçtüğümüz ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları kullanarak yapı malzemeleri için I_{γ} ve I_{α} indeksleri sırasıyla, 0,04 ile 0,97 ve 0,01 ile 0,27 arasında hesaplanarak Tablo 1'de ve farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ilgili sonuçlar ise Tablo 2'de verilmiştir. Yapı malzemelerine ait I_{γ} ve I_{α} indekslerinin ortalama değerleri, sınır değeri olan 1 (1 mSv y^{-1})'den daha küçük bulunmuştur (TAEK, 2008, UNSCEAR, 2000).

Tablo 1: Kars ili yapı malzemesi örneklerinde bulunan ortalama aktivite konsantrasyonları, yapı içi radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), yapı içi soğurulmuş doz hızı (ADR), yapı içi etkin doz hızı (AED), aktivite indisleri (I_γ) ve (I_α).

Örnek Adı	Aktivite Konsantrasyonları ($Bq kg^{-1}$)			Ra_{eq} ($Bq kg^{-1}$)	ADR ($nGy h^{-1}$)	AED ($\mu Sv y^{-1}$)	I_γ	I_α
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K					
Çimento 1	24.3±2.9	24.2±2.9	302.0±24	82.2	39.4	49.8	0.30	0.12
Çimento 2	25.5±2.4	23.6±2.4	295.0±21	81.9	39.2	48.9	0.30	0.13
Çimento 3	19.6±2.1	13.4±2	197.0±17	53.9	25.7	32.0	0.20	0.10
Çimento4	19.7±2.4	13.1±2.4	227.0±20	55.9	26.8	33.4	0.21	0.10
Alçı Taşı	2.0	3.0	47.3±9.9	9.9	4.9	6.1	0.04	0.01
Demir Cevheri	15.7±2.2	9.8±2.0	143.0±17	40.7	19.3	24.1	0.15	0.08
Kalker	9.8±1.3	2.1±0.9	27.5±5	14.9	6.8	8.4	0.05	0.05
Kil	7.6±1.5	9.0±3.1	395.0±22	50.9	26.2	32.4	0.20	0.04
Tras	49.6±3.4	93.7±4	1005.0±41	260.9	126.4	158.5	0.97	0.25
Kireç	54.9±2.6	3.0	14.1±6.7	60.3	26.0	32.0	0.20	0.28

Tablo 2: Dünyanın farklı ülkelerinde olarak kullanılan yapı malzemeleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları ($Bq kg^{-1}$), Ra_{eq} ($Bq kg^{-1}$), ADR ($nGy h^{-1}$), AED ($mSv y^{-1}$), aktivite indisleri (I_γ) ve (I_α).

Yapı Malzemeleri	Ülkeler	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	Ra_{eq}	ADR	AED	I_γ	I_α	Referanslar
Çimento	Türkiye (Kars)	22.2	18.5	255.2	68.5	32.8	0.041	0.30	0.12	Bu çalışma
	Slovak Cum.	11.8	18.4	156.5	67.87	60.76		0.256	0.067	Eštaková, et al 2013
	Romanya	13.0-65.0	11.6-24.0	75.6-247.0	48.0-114.0	23.0-52.0	0.11-0.26	0.18-0.40	0.07-0.33	Muntean et al. 2014
	Çin	51.7	32.0	207.7	113.5					Lu, X. et al. 2012
	Cezayir	41.0	27.0	422.0	112.0					Amrani et al. 2001
	Pakistan	25.0	37.0	245.0	69.0	21.0	0.10			Faheem et al 2008
	Mısır	72.0	46.0	250.0		72.0		0.42		Ahmed et al 2005
	Hindistan	13.0	15.0	72.0	40.0			0.10	0.10	Balakrishnan et al 2012
	Yunanistan	17.0-91.0	15.0-18.0	154.0-212.0				0.19-0.46		Papaefthymiou et al 2008
	Malezya	19.8	20.4	268.9	69.6			0.515		Yasir et al. 2007
Kireç	Türkiye	42.0	27.1	269.4	101.5	90.1	0.44	0.37	0.21	TAEK 2008
	Türkiye (Kars)	54.9	3.0	14.1	60.3	26.0	0.032	0.20	0.28	Bu çalışma
	Hindistan	14.3	33.5	40.1	65.3			0.2	0.2	Balakrishnan et al 2012
	Romanya	17.0-207.0	6.8-22.9	312.0-1124.0	9.0	23.0	0.02	0.03	0.04	Muntean et al. 2014
	Cezayir	16.0	13.0	36.0	37.0					Amrani et al. 2001
Alçı	Türkiye	22.6	6.4	64.3	34.0	30.7	0.151	0.119	0.113	TAEK 2008
	Türkiye (Kars)	2.0	3.0	47.3	9.9	4.9	0.006	0.04	0.01	Bu çalışma
	Mısır	105.0	45.0	500.0		96.0		0.56		Ahmed et al 2005
	Romanya	10.8-15.0	8.0-17.0	51.0-163.0	35.0-43.0	17.0-19.0	0.08-0.11	0.13-0.15	0.05-0.08	Muntean et al. 2014
	Yunanistan	6.8						0.02		Papaefthymiou et al 2008
	Türkiye	9.6	3.8	48.3	16.2	14.6	0.072	0.058	0.048	TAEK 2008

Tablo 2'nin devamı: Dünyanın farklı ülkelerinde olarak kullanılan yapı malzemeleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}), Ra_{eq} (Bq kg^{-1}), ADR (nGy h^{-1}), AED (mSv y^{-1}), aktivite indisleri (I_γ) ve (I_α).

Yapı Malzemeleri	Ülkeler	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	Ra_{eq}	ADR	AED	I_γ	I_α	Referanslar
Kil	Türkiye (Kars)	7.6	9.0	395.0	50.9	26.2	0.032	0.20	0.04	Bu çalışma
	Hindistan	8.72	72.19	428.84	144.97	121.74	0.597	0.195		Vanasundar et al 2012
	Mısır	33.0	37.0	511.0	125.0					Ahmed et al 2005
	Türkiye	25.9	39.9	601.6				0.49	0.13	TAEK 2008
Demir cevheri	Türkiye (Kars)	15.7	9.8	143.0	40.72	19.3	0.024	0.15	0.08	Bu çalışma
	Türkiye	41.6	11.4	152.6				0.25	0.31	TAEK 2008
Tras	Türkiye (Kars)	49.6	93.7	1005.0	260.9	126.4	158.49	0.97	0.25	Bu çalışma
	Türkiye	67.9	76.7	681.6				0.84	0.34	TAEK 2008
Kalker	Türkiye (Kars)	9.8	2.11	27.5	14.9	6.8	0.008	0.05	0.05	Bu çalışma
	Romanya	5.2	5.5	90.0	20.0	9.0	0.05	0.07	0.03	Muntean et al. 2014
	Pakistan	29.0	32.0	98.0	82.0	32	0.16			Faheem et al 2008
	Yunanistan	6.0	6.6	101.0				0.09		Papaefthymiu et al 2008
	Mısır	205.0	115.0	865.0	436.0					Ahmed et al 2005
	Malezya	19.0	16.5	243.3	61.3			0.454		Yasir et al. 2007

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Kars ilinde kullanılan yapı malzemelerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dünyanın farklı ülkelerinde kullanılan bazı yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına yakın olduğu görülmektedir. Yapı malzemelerinin radyolojik açıdan değerlendirilmesi amacıyla yapılan hesaplamalarda Ra_{eq} , ADR, AED, I_γ ve I_α parametrelerinin ortalama değerleri sırasıyla, 69,9 Bq kg^{-1} , 34,07 nGy h^{-1} , 0,043 mSv y^{-1} , 0,26 ve 0,11 olduğu bulundu. Bu değerlerin önerilen sınırların altında olması nedeniyle bu yapı malzemelerinin bina yapımında kullanılması, konut sakinleri ve bina içinde çalışanlar için risk teşkil etmemektedir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları gelecekteki radyoaktif kirliliğin değerlendirilmesi ve kontrol altında tutulabilmesi için bir veri tabanı olarak kullanılabilir.

Kaynaklar

Ahmed, N. K., 2005. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity* **83**, 91-99.

Ali, S., Tufail, M., Jamil, K., Ahmed, A., Klian, H.A., 1996. Gamma ray activity and dose rate of brick samples from some areas of North West Frontier Province (NWFP), Pakistan. *Sci. Total Environ.* **187**, 247-252.

Amrani, D., Tahtat M., 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials. *Applied Radiation Isotopes* **54**:687-689.

Balakrishnan, D., Umadevi AG, Jose PA, Rajagopala M, Jojo PJ., 2012. A study on activity concentration of natural radionuclide of building materials in Kochi. *Int J Fund Phy Sci.* **2(3)**, 41-43.

Baykara O, Karatepe Ş, Doğru M., 2011. Assessments of natural radioactivity and radiological hazards in construction materials used in Elazığ, Turkey. *Radiat Meas* **46**:153-158.

Beretka, J. and Mathew, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.*, **48**, 87-95.

Çam Kaynar S, Özbey E, Ereeş FS., 2015. Determination of radon exhalation rate and natural radioactivity levels of building materials used in Istanbul-Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **305**:337-343.

- EC, 1999. European Commission. Radiation Protection Unit, radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radiat. Prot.*, 112
- El-Taher A 2012. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards for building materials used in Qassim area Saudi Arabia. *Romanian J Phys* **57**(3–4):726–735.
- Eštoková, A. and Palašćáková, L., 2013. Assessment of Natural Radioactivity Levels of Cements and Cement Composites in the Slovak Republic. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **10**, 7165–7179
- Faheem, M., Mujahid, S.A. and Matiullah, 2008. Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province-Pakistan. *Radiation Measurements* **43**, 1458–1462.
- Hassan, N.M. and Fares, S., 2016. Evaluation of radiological hazards associated with the uses of marble and ceramic as decorative building materials in Egypt. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. **310**: 1373-1380.
- Krieger, R. 1981. Radioactivity of construction materials. *Betonwerk Fertigteil Technology*, **47**, 468-473.
- Krstić, D., Nikezić, D., Stevanović, N. and Vučić, D., 2007. Radioactivity of some domestic and imported building materials from South Eastern Europe. *Radiation Measurements*. **42**, 1731–1736.
- Lu, X., Yang, G., Ren, C., 2012. Natural radioactivity and radiological hazards of building materials in Xianyang, China. *Radiat. Phys. Chem.*, **81**, 780–784.
- Markkanen, M., 1995. Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32. Radiation and Nuclear Safety Authority - STUK.
- Muntean, L. E., Cosma, C., Moldovan, D. V., 2014. Measurement of natural radioactivity and radiation hazards for some natural and artificial building materials available in Romania. *J Radioanal Nucl Chem*. **299**, 523–532.
- Papaefthymiou H, Gouseti O., 2008. Natural radioactivity and associated radiation hazards in building materials used in Peloponnese Greece. *Radiation Measurements*. **43**(8), 1453–1457.
- Righi, S., Bruzzi, L., 2006. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *J. Environ. Radioact.* **88**, 158–170.
- Sonkawade RG, Kant K, Muralithar S, Kumar R, Ramola RC., 2008. Natural radioactivity in common building construction and radiation shielding materials. *Atmos Environ* **42**:2254–2259.
- Stoulos, S., Manolopoulou, M., Papastefanou, C., 2003. Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. *Journal of Environmental Radioactivity* **69**, 225-240.
- TAEK 2008, Türkiyede Kullanılan Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi, Tenik Rapor, **7**
- 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.
- Turhan, S., Baykan, U.N. and Sen, K., 2008. Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. *J. Radiol. Prot.* **28**, 83–91.
- UNSCEAR 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations.
- UNSCEAR (1988). United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Sources and Biological Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nations.
- Vanasundar, K., Ravisankar, R., Durgadevi, D., Kavita, R., Karthikeyan, M., Thillivelvan, K., Dhinakaran, B., 2012. Measurement of Natural Radioactivity in Building Material Used in Chengam of Tiruvannamalai District, Tamilnadu by Gamma-Ray Spectrometry. *Indian Journal of Advances in Chemical Science* **1**, 22-27.
- Yang, Y., Wu, X., Jiang, Z., Wang, W., Lu, J., Lin, J., Hsia, Y., 2005. Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China. *Applied Radiation and Isotopes*, **63**(2), 255-259.
- Yasir, M. S., Majid A. and Yahaya, R., 2007. Study of natural radionuclides and its radiation hazard index in

Malaysian building materials. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. **273(3)**, 539-541.