

Selim İlçesinin Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Düzeyleri ve Radyolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi

Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kars

(İlk Gönderim / Received: 26.07.2017, Kabul / Accepted: 15.09.2017, Online Yayın / Published Online: 23.10.2017)

Anahtar Kelimeler:

Toprak,
Doğal Radyoaktivite
Konsantrasyonu,
Gama Işını Spektrometresi,
Kanser Riski

Özet: Bu çalışmada, Kars ili Selim ilçesinin farklı yerlerinden toplanan 99 toprak örneğinin aktivite konsantrasyonları NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak numunelerindeki doğal radyonüklitlerin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyonlarının sırasıyla, 290.9 ± 58.8 ile 913.9 ± 184.7 Bqkg $^{-1}$, 9.4 ± 6.9 ile 27.9 ± 8.0 Bqkg $^{-1}$ ve 16.3 ± 4.8 ile 45.0 ± 5.1 Bqkg $^{-1}$ arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca incelenen alanda, aktivite konsantrasyon değeri 1.0 ± 0.9 ile 29.6 ± 3.6 Bqkg $^{-1}$ arasında değişen nispeten düşük miktarda ^{137}Cs bulunmuştur. Burada çalışılan toprak numunelerinin Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), açık havada soğurulan gama doz oranı (ADR), radyonüklitlerin varlığına bağlı havadaki yıllık etkin doz oranı (AED) ve ortalama bir insan ömrü boyunca bu dozların kanser oluşturma riski (YFKR) değerleri belirlendi. Bu çalışmada sunulan sonuçlar, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan benzer çalışmaların sonuçları ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, gelecekteki değerlendirmeler için bir referans oluşturabilir.

Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiological Effects in Soil Samples of Selim District

Keywords:

Soil,
Natural Radioactivity
Concentration,
Gamma Ray Spectrometry,
Cancer Risk

Abstract: In this study, the activity concentrations of 99 soil samples collected from different locations of Selim district of Kars were determined using NaI(Tl) gamma spectrometry. It was observed that the concentrations of the natural radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in the soil samples varies from 290.9 ± 58.8 to 913.9 ± 184.7 Bqkg $^{-1}$, 9.4 ± 6.9 to 27.9 ± 8.0 Bqkg $^{-1}$ and 16.3 ± 4.8 to 45.0 ± 5.1 Bqkg $^{-1}$, respectively. Also relatively low amount of ^{137}Cs were found in the investigated area, where the activity concentrations ranged from 1.0 ± 0.9 to 29.6 ± 3.6 Bqkg $^{-1}$. The radium equivalent activity (Ra_{eq}), the outdoor gamma absorbed dose rate (ADR), the annual effective dose rate in

air due to the presence of radionuclides (AED) and risk of cancer formation (LFCR) for these doses over an average human lifetime were determined for the soil samples studied here. The results presented in this study are compared with the results of similar studies carried out for different parts of Turkey and the world mean values. The outcomes of the study enable as a reference for future evaluation.

1. GİRİŞ

Çevresel radyoaktiviteye en büyük katkı; dünyamızın havasında, suyunda ve toprağında doğal olarak bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerden gelmektedir. Kararsız olan radyoaktif madde atomları kararlı hale gelirken tanecik veya dalga şeklinde enerji (doğal radyasyonlar) yayımlar. İnsanlar hem doğal hem de yapay radyasyon kaynakların sebep olduğu iç ve dış radyasyona maruz kalırlar (TAEA 2010). Toprak ve kayalarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyonüklitler yapı malzemelerinden çıkan gama ışınları ve kozmik ışınları dış ışınlamalara, hava, su ve gıda maddelerinde bulunan hem uzay hem de karasal kökenli doğal radyonüklitlerin sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınması ise iç ışınlamalara sebep olurlar (UNSCEAR 2000). Doğal radyonüklitlerden kaynaklanan radyoaktivite seviyesi, çevredeki radyoaktif materyallerin miktarına bağlı olup, karasal background olarak adlandırılır ve insanların maruz kaldığı toplam radyasyon dozuna katkıda bulunur. Doğal çevresel radyoaktivite ve dolayısıyla

maruz kalınan gama doz miktarı, jeolojik ve coğrafik koşullara bağlı olduğundan dünyanın her bölgesinde farklı toprak tipleri için değişiklik gösterir (Tzortis 2003). Yaşanılan bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı olup olmadığını belirleyebilmek için, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklitlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun tüm canlıların özellikle insanların üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekir. Bu yüzden çevresel faktörlerden kaynaklanan radyasyonların türleri ve dozlarının yanı sıra insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği risklerin değerlendirilmelerine yönelik araştırmalar yapılmıştır (Abu Samreh et al., 2014, Alzubaidi et al., 2016, Chandrasekaran et al., 2014, Dizman et al., 2016). Bu çalışmanın amacı, Selim ilçesinde toplanan toprak örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını NaI(Tl) spektrometresi ile belirlemek ve radyum eşdeğeri, soğurulan doz oranı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu fetal kanser riskini (YFKR) tespit etmektir.

2. MATERYAL VE METOT

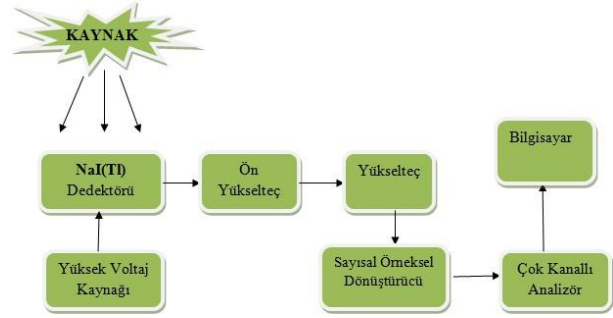
Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Selim ilçesinin konumu $40^{\circ} 27'$ Kuzey ve $42^{\circ} 47'$ Doğu'dur. Şekil 1'de gösterilen Türkiye'nin 315. en büyük ilçesi olan Selim'in yüzölçümü 982 km^2 alan olup, rakımı 1856 metredir. Bölge halkı, yaşanan bölgede çayır ve otlakların geniş yer bulması nedeniyle, çoğunlukla hayvancılıkla geçimini sağlar. Toprak numunelerinin toplanması için seçilen çalışma sahasının bölgeyi tanımlayacak şekilde homojen bir dağılım göstermesine ve yerleşim alanlarına yakın ancak tarım faaliyetler yapılmayan, otsuz ve düz alanların seçilmesine özen gösterilmiştir. Numunelerin toplandığı her bir alanın konumu GPS (Global Positioning

System; Küresel Konumlama Sistemi) cihazı ile ölçülmüştür. Laboratuvarıda 2 mm göz genişliğine sahip eleklerden elenmeden önce, toprak numunelerinin içerisinde taş, bitki kökü vb. gibi yabancı maddelerden temizlenmiştir. Radyum ve kısa ömürlü bozunma ürünlerinde radyoaktif seküler dengeyi sağlamak için, ağırlıkları tartılan numuneler silindirik plastik kaplarda 40 gün boyunca bekletilmişlerdir. Toplanan her bir numunenin doğal radyoaktivite konsantrasyonları, gamma spektrometresi sistemine dayanan NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile yaklaşık 24 saat sayım yapılarak hesaplandı.



Şekil 1: Numunelerin toplandığı bölgeler

Genel olarak 3"x3" NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometre sistemi, NaI(Tl) sintilasyon dedektörü (D), bir ön yükseltici (PA), bir adet yüksek voltaj filtresine sahip güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayardan (PC) oluşur. NaI(Tl) sintilatör dedektörünün kurulum şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. Dedektörün taban ve yan yüzeylerinde, yapı malzemeleri ve çevredeki radyasyonun katkılarını en aza indirmek için 5 cm kalınlığındaki kurşun tabakalar kullanılmıştır. Enerji kalibrasyonu ve gama spektrometresinin bağıl verimlilik kalibrasyonu standart kalibrasyon malzemesi (IAEA-375) kullanılarak gerçekleştirildi. Aktivite konsantrasyonlarının hesaplanmasında belli enerjilere karşılık gelen fotopikler dikkate alınmış ve her pik için ilgili alan (ROI) bölgeleri seçilmiştir. ^{226}Ra konsantrasyonu, ^{214}Bi 'den 609.3, 1120.3 ve 1764.5 keV gama ışınlarının ölçülmesi ile belirlendi. Benzer şekilde, ^{208}Tl 'den 583 ve 2614.5 keV enerjideki pikler ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonunun tayininde kullanıldı. ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması için sırasıyla 1460,8 keV ve 661,7 keV gama pikleri analiz edildi.



Şekil 2: NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması.

1. Radyum Eşdeğerinin Değerlendirilmesi (R_{aeq})

Radyoaktiviteyi ölçmenin temel amacı, canlı organizmalara iletilecek muhtemel radyasyon dozunu tahmin etmektir. Radyasyona maruz kalma oranını tanımlamak için, Bq kg^{-1} cinsinden ölçülen radyum eşdeğer etkinliği (R_{aeq}) değerleri, genellikle farklı miktarlarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K içeren materyallerin spesifik aktivitesini karşılaştırmak için kullanılır. Ayrıca, eşitlik (1) ile hesaplanan R_{aeq} verileri, toprakta ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin varlığı nedeniyle ortaya çıkabilecek sağlık açısından tehlikeli durumları değerlendirmek için kullanılabilir (Beretka ve Mathew, 1985).

$$R_{\text{aeq}}(\text{Bqkg}^{-1}) = C_{\text{Ra-226}} + 1.43C_{\text{Th-232}} + 0.077C_{\text{K-40}} \quad (1)$$

Burada C_{Ra-226} , C_{Th-232} ve C_{K-40} , sırasıyla $Bq\ kg^{-1}$ cinsinden ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları olup, toplanan numuneler için Ra_{eq} değerleri hesaplanarak Tablo 1'in 7. sütununda verilmiştir.

2. Soğurulan gama doz oranı (ADR)

Çevredeki radyoaktif kaynaklardan kaynaklanan gama radyasyonunun insan sağlığı

üzerindeki etkileri genellikle, yerden 1 m yükseklikteki açık havadaki toplam soğurulan gama radyasyon doz oranı (ADR) ile ifade edilir. Topraktaki ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları için sırasıyla, 0.462, 0.604 ve 0.0417 dönüşüm faktörleri uygulanarak, toplam doz oranını (ADR) ($nGy\ h^{-1}$) hesaplamak için eşitlik (2) kullanılır (EC, 1999; Markkanen, 1995).

$$ADR = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K \quad (nGy\ h^{-1}) \quad (2)$$

Burada, C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonları olup birimleri $Bq\ kg^{-1}$ 'dir. Toprak numuneleri için hesaplanan ADR değerleri Tablo 1'in 8 sütununda sunulmuştur.

3. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AED)

Bir kişi tarafından açık alanda çeşitli radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan dolayı maruz kaldığı yıllık tahmini ortalama etkin doz eşdeğeri ($AED_{açık\ alan}$), eşitlik (3) kullanılarak belirlenebilir (EC, 1999; Turhan et al. 2008; UNSCEAR 2000).

$$AED(açık\ alan)(\mu Sv\ y^{-1}) = ADR(nGy\ h^{-1}) \times 8760\ h \times 0.7\ Sv\ Gy^{-1} \times 0.2 \times 10^{-3} \quad (3)$$

Burada soğurulan doz oranını, yıllık etkin doz eşdeğer oranına dönüştürmek için $0.7\ Sv\ Gy^{-1}$ katsayısı ve ayrıca insanların bir yıl boyunca ($8760\ h\ y^{-1}$) zamanlarının yaklaşık %20'sini açık alanlarda geçirdiği göz önünde tutularak ev dışı meşguliyet faktörü olarak 0.2 katsayısı kullanılmıştır. Tablo 1'in 9. sütununda Selim'deki toprak numuneleri için açık AED'nin hesaplanan değerleri verilmiştir.

4. Yaşam Boyu Fetal Kanseri Riski (YFKR)

Değişen hızlarda verilen farklı büyüklüklerdeki radyasyon dozlarına maruz kalan insanların vücutlarının, farklı bölgelerinde farklı zamanlarda değişik türde sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Bir insan 5 Gy veya daha fazla doza maruz kalırsa, tedavisi yapılmadığı zaman, kemik iliği veya sindirim sistemi hasarı sonucu yaşamını yitirebilir. Ancak 50 Gy'lik doza maruz kalan insanların

tıbbi tedavi sonrası bile yaşamını sürdürmesi mümkün değildir. Alınan doz miktarı düşükse veya doza uzun bir zaman aralığında maruz kalınıyorsa yaralanan dokulardaki etki, yaşamın sonraki yıllarında veya gelecek nesillerde ortaya çıkan etkilere stokastik etkiler denir (Anonymous, 2017; Yaren et al., 2005). Bu etkilerin ortaya çıkma olasılığı, ışınlanan kişinin doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından aldığı radyasyon miktarına bağlıdır. Stokastik etkilerin en önemlisi olan kanser, her zaman ciddi ve çoğunlukla öldürücüdür. Kanser vakalarının radyasyon ışınlanması veya diğer nedenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı kesin olarak ayırt edilemezken, radyasyon ışınlanmasından kaynaklanan ölümcül kanser riskinin belirlenmesi için yaş, cinsiyet gibi faktörleri hesaba katmak gerekir. Radyasyona maruz kalmış bir gruptaki kişi sayısı, kişilerin aldıkları doz miktarları ile bu gruptaki kanser oluşumu gözlenerek, diğer özellikleri benzer olan ancak radyasyona maruz kalmamış gruptaki beklenen kanser vakası sayısı ile dozları kıyaslayarak birim doz başına artan kanser riski tahmin edilebilir. Buna risk faktörü (RF) denir. Yaşam boyu Fetal kanser riski, belirli bir maruz kalma düzeyinde bir ömür boyu kanser gelişme olasılığı ile ilgilidir. YFKR, eşitlik (7) ile hesaplanır (Oyeyemi et al. 2017).

$$YFKR = AED \times YS \times RF \quad (4)$$

Burada, AED yıllık etkili doz eşdeğeri, YS, ortalama yaşam süresi (ortalama 70 yıl) ve RF ise risk faktörü olup Stokastik etkilerde, toplumun tamamında ölümcül kanser için ICRP risk faktörleri RF'yi $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ olarak kullanmaktadır (UNSCEAR 2000). Tüm numuneler için hesaplanan ömür boyu aşırı kanser riski (YFKR) Tablo 1'in 10. sütununda verilmiştir.

3. BULGULAR

Selim ilçesinin 18 farklı örnekleme istasyonundan toplanan 99 toprak numunesinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'a ait radyoaktivite konsantrasyon değerleri Tablo 1'in 3,4,5 ve 6. sütunlarında verilmiştir. Toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarının değerleri sırasıyla, $9,4 \pm 6,9 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Tuygun Köyü) ile $27,9 \pm 8,0 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Eskigazi Köyü), $30,6 \pm 14,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Oluklu Köyü) ile $76,9 \pm 15,7 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Eskigazi Köyü) ve $290,9 \pm 58,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Bozkuş Köyü) ile $913,9 \pm 58,8 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Tren Garı Mevki) arasında değişmektedir. İncelenen numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'un ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla, $19,9 \pm 7,7$, $57,9 \pm 14,6$ ve $562,0 \pm 132,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak bulundu. ^{137}Cs 'nin en yüksek radyoaktivite konsantrasyonu $17,0 \pm 1,2 \text{ Bqkg}^{-1}$ (Söğütlü Köyü) ve en düşük radyoaktivite

konsantrasyonu 2.1 ± 0.9 Bqkg⁻¹ (Tozluca Köyü) olarak ölçüldü. Tablo 2'den de görüleceği gibi Dünyanın ve Türkiye'nin ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K ortalama radyoaktivite konsantrasyonlarının değerleri sırasıyla, 35, 30 ve 400 Bqkg⁻¹ ve 34.7 ± 1.7 , 35.4 ± 0.9 ve 450.0 ± 17.9 Bqkg⁻¹'dir. Tespitlerimize göre ²²⁶Ra'nın ortalama radyoaktivite konsantrasyonu Dünya ve Türkiye ortalamalarından daha düşük, ²³²Th ve ⁴⁰K'a ait ortalama radyoaktivite konsantrasyonlarının ise Dünya ve Türkiye ortalamalarından daha yüksek olduğu görülmektedir (UNSCEAR 2000, TAEA 2010). Tablo 2'de bu çalışmada incelenen toprak numunelerindeki radyoaktivite konsantrasyon değerleri Türkiye ve dünyanın değişik yerlerinde yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanmaktadır. M. Değerler arkadaşları tarafından (2008), Chandrasekaran ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmalarda ²²⁶Ra için ortalama aktivite konsantrasyon değerleri bu çalışmada elde edilen ortalama değerden biraz daha yüksekken, literatürdeki diğer çalışmalardan daha düşük olduğu görülmektedir (Abu Samreh et al., 2014; Alzubaidi et al., 2016; Cengiz et al., 2014; Dizman et al., 2016; Karataşlı et al., 2016; UNSCEAR 2000). Tablo 1'in 7. sütununda görüleceği üzere, incelenen toprak numuneleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) değerlerinin ortalaması 146

Bqkg⁻¹ olup, değerler 99.2 Bqkg⁻¹ (Oluklu köyü) ile 188.5 Bqkg⁻¹ (Alisofu köyü) arasında değişmektedir ve analiz sonuçlarına göre radyum eşdeğer aktivitesi değerlerinin uluslararası izin verilen limit değerinin (370 Bqkg⁻¹) çok altında olduğu görüldü (UNSCEAR 2000). Çalışmalarımız sonucunda açık alandaki soğurulan gama doz oranı değerlerinin, 49.5 nGy h⁻¹ (Bayburt köyü) ile 92.1 nGy h⁻¹ (Alisofu köyü) değerleri arasında değiştiği ve ortalama değer ise 71.0 nGy h⁻¹ olduğu görüldü. Bu değerler Tablo 1'in 8. sütununda verildi. Hesaplanan ortalama değer Türkiye ve dünya ortalama değeri olan 60.0 nGy h⁻¹'den daha yüksek olduğu görüldü (TAEA 2010, UNSCEAR 2000). Ayrıca Tablo 1'in 9. sütununda verilen yıllık etkin doz oranının 60.7 µSv y⁻¹ (Bayburt köyü) ile 112.0 µSv y⁻¹ (Alisofu köyü) arasında değişmektedir. Ortalama değeri ise 87.1 µSv y⁻¹ olup dünya ortalama değerinden ($70,0$ µSv y⁻¹)'den daha yüksektir (UNSCEAR 2000). Yaşam boyu fetal kanser riskinin hesaplanan değerlerinin (Tablo 1'in 10. sütunu) 0.21×10^{-3} (Oluklu ve Bayburt köyü) ile 0.40×10^{-3} (Alisofu köyü) arasında değiştiği ve 0.30×10^{-3} ortalama değerinin ise dünya ortalama değerinden (0.29×10^{-3}) çok azda olsa yüksek olduğu görüldü (UNSCEAR 2000). İnsanlar arasında kanser vakaları geliştirme ihtimali belirtisi yoktur.

Tablo 1. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'a ait radyoaktivite konsantrasyon değerleri, radyum eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}), açık alanda soğurulan doz oranı (ADR), yıllık etkin doz oranı (AED) ve yaşam boyu fetal kanser riski (YFKR).

İstasyonların Adı Numune ve Lokasyonları	Numune sayısı	Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg^{-1})				Açık Alan			YFKR $\times 10^{-3}$
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	R_{aeq} (Bqkg^{-1})	ADR (nGyh^{-1})	AED (μSvy^{-1})	
S.1 Oluklu	5	12.1±7.6	30.6±14.2	563.8±112.6	8.7±1.1	99.2	49.6	60.9	0.21
S.2 Tozluca	5	15.1±7.6	39.5±13.6	611.8±108.5	2.1±0.9	118.8	59.0	72.3	0.25
S.3 Bayburt	4	13.0±6.9	39.9±13.5	407.4±70.4	1.0±1.1	101.5	49.5	60.7	0.21
S.4 Ortakale	5	23.3±6.7	59.7±13.0	564.5±132.3	3.8±1.1	152.2	73.8	90.5	0.32
S.5 Eskigazi	6	27.9±8.0	76.9±15.7	645.7±150.6	4.5±1.1	187.6	90.6	111.1	0.39
S.6 Yassıca	5	18.3±6.7	39.5±13.0	483.4±113.9	3.4±1.1	112.0	54.8	67.2	0.24
S.7 Baykara	5	27.0±6.4	61.8±12.5	710.6±143.0	1.0±0.9	170.1	83.0	101.8	0.36
S.8 Tuygun	6	9.4±6.9	43.1±13.6	521.6±80.8	10.5±1.3	111.2	55.0	67.4	0.24
S.9 Bozkuş	6	21.3±6.7	52.6±13.2	290.9±58.8	11.3±1.1	118.9	56.4	69.2	0.24
S.10 Söğütlü	5	23.2±7.3	63.3±14.2	610.0±123.2	17.0±1.3	160.7	78.0	95.7	0.33
S.11 Yolgeçmez	5	18.2±8.2	73.4±16.1	666.3±139.2	1.2±1.1	174.4	85.0	104.2	0.36
S.12 Karahamza	6	25.6±6.8	60.9±13.3	913.9±184.7	6.4±1.1	183.0	90.5	111.0	0.39
S.13 Tren Garı	7	22.1±9.3	67.8±15.2	804.2±149.8	8.6±1.2	180.9	88.9	109.0	0.38
S.14 Alisofu	7	24.0±8.2	73.3±18.0	774.9±191.0	14.1±1.3	188.5	92.1	112.	0.40
S.15 Karaçayır	6	21.5±7.3	61.0±16.0	630.9±171.3	5.6±1.1	157.4	76.7	94.1	0.33
S.16 Gelinalan	5	12.1±9.4	76.4±18.6	617.2±163.4	5.8±1.4	168.8	82.3	100.9	0.35
S.17 Koyunurdu	5	24.6±7.7	62.4±14.8	597.1±122.2	1.2±1.2	159.9	77.5	95.1	0.33
S.18 Benliahmet	6	19.0±7.6	60.8±14.6	471.8±110.9	4.4±1.2	142.3	68.7	84.2	0.29
Ortalama	99	19.9±7.5	57.9±14.6	562.0±132.2	6.1±1.2	146.0	71.0	87.1	0.30

Tablo 2: Elde edilen toprak numunelerindeki doğal radyoaktivite düzeyleri, radyum eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}), açık alandaki soğurulan doz oranı (ADR), yıllık etkin doz oranı (AED) ve yaşam boyu fetal kanser riski (YFKR)'nin literatürde bildirilen değerlerle karşılaştırılması.

Referanslar	Bölge	Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg^{-1})				Karasal			
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	R_{aeq} (Bqkg^{-1})	ADR (nGyh^{-1})	AED (μSvy^{-1})	YFKR $\times 10^{-3}$
Bu çalışma	Selim	19.9±7.5	57.94±14.61	562±132	6.1±1.2	146.0	71.0	81.7	0.30
Cengiz et al	Kars Çevresi	31.95±18	27.70±16	458.47±18	14.9±0.4		52.3	64.2	
Cengiz et al	Kars Merkez	47.8	51.08	771.57	18.0		44.76	54.9	
Dizman et al	Rize	85.75	27.17	431.43	236.38	218.2	110.69	136.0	0.48
Değerlier et al.	Adana	17.6	21.1	297.5	6.8		67.0	82.0	
Taşkin et al.	Kırklareli Doğu	28±13	40±18	667±282	8.0±5.0		71.0	87.0	0.51
Turhan et al	Anadolu	28.5-46.4	32.1-49.7	440.1-637	9.78		51.3	63.0	
Karatashi et al	Mersin	27.1	34.3	370.5	18.6		51.0	62.0	0.22
Kapdan et al.	Yalova	22.36	26.87	419.32	2.53		48.89	59.96	0.42
Abu Samreh et al	Filistin	41.4	19.5	113.3	2.8	77.6	35.3	40.0	1.02
Rafique et al	Pakistan	31.25 ±0.5	44.1±1.07	575±8.9	15.04±0.3		89	164.0	0.543
Chandrasekaran et al	Hindistan	19.16	48.56	1146.88					0.70
Oyeyemi et al	Nijerya	25.498	77.772	710.704			148.22		0.635
Alzubaidi et al	Malezya	102.08±3.9,	133.96±2.92,	325.8 ±9.8		458.8	141.62	169.0	
UNSCEAR 2000	Amerika B.D	40.0	35.0	370.0			47.0		
UNSCEAR 2000	Yunanistan	25.0	21.0	360.0			56.0		
UNSCEAR 2000	Bulgaristan	45.0	30.0	400.0			45.0		
TAEA, 2010	Türkiye	34.7±1.7	35.4±0.8	450.0±18	11.6±0.5		54.6	70.0	
UNSCEAR 2000	Dünya	35.0	30.0	400.0			60.0	70.0	0.29

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Selim İlçesinin toprak örneklerindeki ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyon değerleri sırasıyla, dünya ortalamalarından (30 Bqkg^{-1} ve 400 Bqkg^{-1}) daha yüksek, ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyon değeri ise dünya ortalamasından (35 Bqkg^{-1}) daha düşük bulundu. Çalışılan bölgede yaşayan nüfus üzerinde background radyasyon seviyelerinin sağlık açısından etkilerini belirlemek amacıyla radyum eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}) soğurulan doz oranı ($\text{ADR}_{\text{açık alan}}$), yıllık etkin doz oranı (AED) ve yaşam boyu fetal kanser riski (YFKR) hesaplandı. Özellikle Alisofu köyünde yukarıda belirtilen radyolojik tehlike risk parametrelerinin UNSCEAR (2000) tarafından belirtilen limit değerlerinden daha yüksek olduğu görüldü. Bu çalışma, Selim ilçesinde çevresel radyasyon seviyeleri ve radyonüklit dağılımı ile ilgili ileriye dönük çalışmalar için temel veriler olarak kullanılabilir. Çalışmanın sonuçları, gelecekteki değerlendirmeler için bir referans oluşturabilir.

KAYNAKLAR

Abu Samreh M.M., Thabayneh K.M., Khrais F.W. (2014). Measurement of activity concentration levels of radionuclides in soil samples collected from Bethlehem

Province, West Bank, Palestine, *Turkish J Eng Env Sci*, 38: 113-125.

Alzubaidi G., Fauziah B., Hamid S., Abdul Rahman I. (2016). Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiation Hazards in Agricultural and Virgin Soil in the State of Kedah, North of Malaysia *The Scientific World Journal*, 1-9.

Anonymous, (2009). <http://www.taek.gov.tr/sss/radyasyondan-korunma/505-iyonlastirici-radyasyonun-biyolojik-etkileri.html> (Erisim tarihi 25 Temmuz 2017).

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

Bilgici Cengiz G., Çağlar İ. (2016). Determination of the Health Hazards and Life time Cancer Risk Due to Natural Radioactivity in Soil of Akyaka, Arpaçay and Susuz Areas of Kars, Turkey. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 7 issue 3,619-626.

Bilgici Cengiz, G., Reşitoğlu S. (2014). Determination of natural radioactivity levels in Kars City center, Turkey. *Journal of Nuclear Sciences*, 1, 32-37.

Chandrasekaran A., Ravisankar R. Senthilkumar G., Thillaielavan K., Dhinakaran B., Vijayagopal P., Bramha

- S.N., Venkatraman B. (2014). Spatial distribution and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Yelagiri Hills, Tamilnadu, *India Egyptian journal of basic and applied sciences* 1 38-48.
- Değerlier M., Karahan G., Ozger G. (2008). Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(7), 1018–1025.
- Dizman S., Görür F.K., Keser R. (2016). Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 14(3): 237-244.
- EC, (1999). European Commission. Radiation Protection Unit, radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radiat. Prot.*, 112.
- Kapdan E., Varinlioglu A., Karahan G. (2011). Radioactivity Levels and Health Risks due to Radionuclides in the Soil of Yalova, Northwestern Turkey *Int. J. Environ. Res.*, 5(4):837-846.
- Karataslı M., Turhan S., Varinlioglu A., Yegingil Z. (2016). Natural and fallout radioactivity levels and radiation hazard evaluation in soil samples. *Environ Earth Sci*, 75:424.
- Markkanen M. (1995). Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32. Radiation and Nuclear Safety Authority -STUK.
- Oyeyemi K.D., Usikalu M.R., Aizebeokhai A.P., Achuka J.A., Jonathan O. (2017). Measurements of radioactivity levels in part of Ota Southwestern Nigeria: Implications for radiological hazards indices and excess lifetime cancer-risks IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 852, 1-8.
- Rafique M., Ur Rahman S., Basharat M., Aziz W., Ahmad I., Lone K.A., Ahmad K., Matiullah M. (2014). Evaluation of excess life time cancer risk from gamma dose rates in Jhelum valley. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7 29-35.
- TAEA (2010). Türkiye'deki Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi 2009, *Technique Report*, Ankara 9-14.
- Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 49-53.
- Turhan Ş., Köse A., Varinlioğlu A., Şahin N.K., Arıkan İ., Oğuz F., Yücel B.,

Özdemir T. (2012). Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples. *Geoderma*, 187–188, 117–124.

Tzortzis M., Tsertos H., Christofides S., Christodoulides G. (2003). Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks, *Radiation Measurements* 37, 221-229.

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

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