



Bazı Kaynak Sularında Radon Konsantrasyonlarının ve Etkin Doz Değerlerinin Belirlenmesi

Halime KAYAKÖKÜ^{1*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 13000, Bitlis

¹<https://orcid.org/0000-0003-4036-4012>

*Sorumlu yazar: hkayakoku@beu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.05.2022

Kabul tarihi:29.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

CR-39

Kaynak suyu

Radon

RadoSYS

Yıllık etkin doz

ÖZ

Bu çalışmada, Malatya ilinde çeşitli bölgelerden alınan kaynak sularında, radon konsantrasyonları (C_{Rn}), sindirim ve solunum başına ortalama yıllık etkin doz değerleri (E_{ing} ve E_{inh}) ile toplam yıllık etkin doz miktarları (E_T) ve midenin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarları (SED) hesaplanmıştır. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmış ve radon konsantrasyonları kapalı kutu tekniği ile belirlenmiştir. Çalışmada, C_{Rn} değerleri 0,051 Bq/L ile 0,746 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,307 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Beypınarı su örneği için; E_{ing} , E_{inh} , E_T ve SED ifadelerinin en yüksek doz değerleri sırasıyla, 1,906 μ Sv/y, 1,880 μ Sv/y, 3,786 μ Sv/y ve 0,229 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz miktarlarının tamamı için hesaplanan değerler, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Avrupa Komisyonu (AK) tarafından önerilen sınır değer (100 μ Sv/y) altında bulunmuştur.

Determination of Radon Concentrations and Effective Dose Values in Some Spring Waters

Research Article

Article History:

Received: 10.05.2022

Accepted: 29.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Cr-39

Spring water

Radon

RadoSYS

Annual effective dose

ABSTRACT

In the present study, radon concentrations (C_{Rn}), average annual effective doses per digestion and inhalation (E_{ing} and E_{inh}) with total annual effective doses (ET) as well as annual effective doses to the stomach (SED) were calculated in spring waters taken from various regions in Malatya province. For this purpose, CR-39 passive nuclear tracks detectors were used and radon concentrations were determined by the sealed can technique. In this study, C_{Rn} values ranged between 0,051 Bq/L and 0,746 Bq/L and the average value was calculated as 0,307 Bq/L. The highest values for E_{ing} , E_{inh} , E_T and SED were calculated for Beypınarı water sample as 1,906 μ Sv/y, 1,880 μ Sv/y, 3,786 μ Sv/y and 0,229 μ Sv/y, respectively. The calculated values for all annual effective doses were found to be below the limit value (100 μ Sv/y) which is recommended by World Health Organization (WHO) and European Commission (EC).

To Cite: Kayakökü H. Bazı Kaynak Sularında Radon Konsantrasyonlarının ve Etkin Doz Değerlerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 462-475.

1. Giriş

Suyun içme suyu olarak kullanımının yanı sıra, yüzme, sulama, balık yetiştiriciliği ve bazı endüstri alanlarında da kullanımı mevcuttur. İçme suyundaki radyoaktivite, radyoçekirdeklerin çevreden insana geçişinin önemli bir yoludur. İçme suyundaki en önemli doğal radyoçekirdekler, trityum, Potasyum-40, radyum, radon ve gama yayıcılarıdır. İçme suyunun doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi, suyun tüketilmesinden kaynaklanan riskleri tespit etmek açısından önemlidir. Suda bulunan radyoçekirdekler, özellikle, içme yoluyla insan vücudunda biriktikleri zaman, bir dizi sağlık sorunlarına neden olabilmektedirler.

Radon, alfa parçacıkları yayan her yerde bulunan, kimyasal olarak soygaz ve radyoaktif bir gazdır. Bu gaz, radyoaktif radyumun doğal bozunmasından oluşmaktadır. Radyum ise, uranyum (^{238}U) ve toryum (^{232}Th) gibi radyoaktif elementlerin radyoaktif bozunması sonucu üretilmektedir. Radonun doğal olarak oluşan üç yaygın izotopu vardır. Bunlar: radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve aktinondur (^{219}Rn). Bu izotoplar arasında ^{222}Rn , en kararlı (yarı ömrü 3,83 gün) ve en bol türdür. Bu türün bolluğu ve yarı ömrünün daha uzun olması, ^{222}Rn izotopunu, diğerlerine kıyasla daha baskın ve tehlikeli yapmaktadır (Nagda,1994; Muhammad ve ark., 2020).

Yer altı ve yüzey suları, doğal içeriklerinde radyoçekirdekleri bulundurmaktadırlar. Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radon bulunmaktadır. Radon, ana çekirdek olan radyumunun bozunması gibi doğal süreçlerin bir sonucu olarak sulardan yayılır (Jobbágy ve ark., 2017). Sudan yayılan ^{222}Rn gazı, solunum veya sindirim yoluyla insanların vücuduna girer. Özellikle çok yüksek dozları, radona maruz kalan kişilerde ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Akram, 2005).

^{226}Ra 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon bazı, yer altı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Yer altı sularının yüzey sularından daha radyoaktif olması, içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütlelerden veya minerallerden ileri gelmektedir. Özellikle, volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara oranla daha yüksektir (Karahana, 1997).

Bu çalışmada amaç, 11 adet kaynak suyunda, radon konsantrasyonlarını (C_{Rn}), sindirim ve solunum başına yıllık ortalama etkin doz değerlerini (E_{ing} ve E_{inh}), toplam etkin dozları (E_{T}) ve midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarını (SED) hesaplayarak, suda radon konsantrasyonu için izin verilen sınır değerlerle karşılaştırmaktır. Bu suların içme suyu olarak tüketilmesi durumunda, sağlık açısından oluşturacağı riskleri ortaya koymaktır. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmış olup, radon konsantrasyonları kapalı kutu tekniği ile belirlenmiştir.

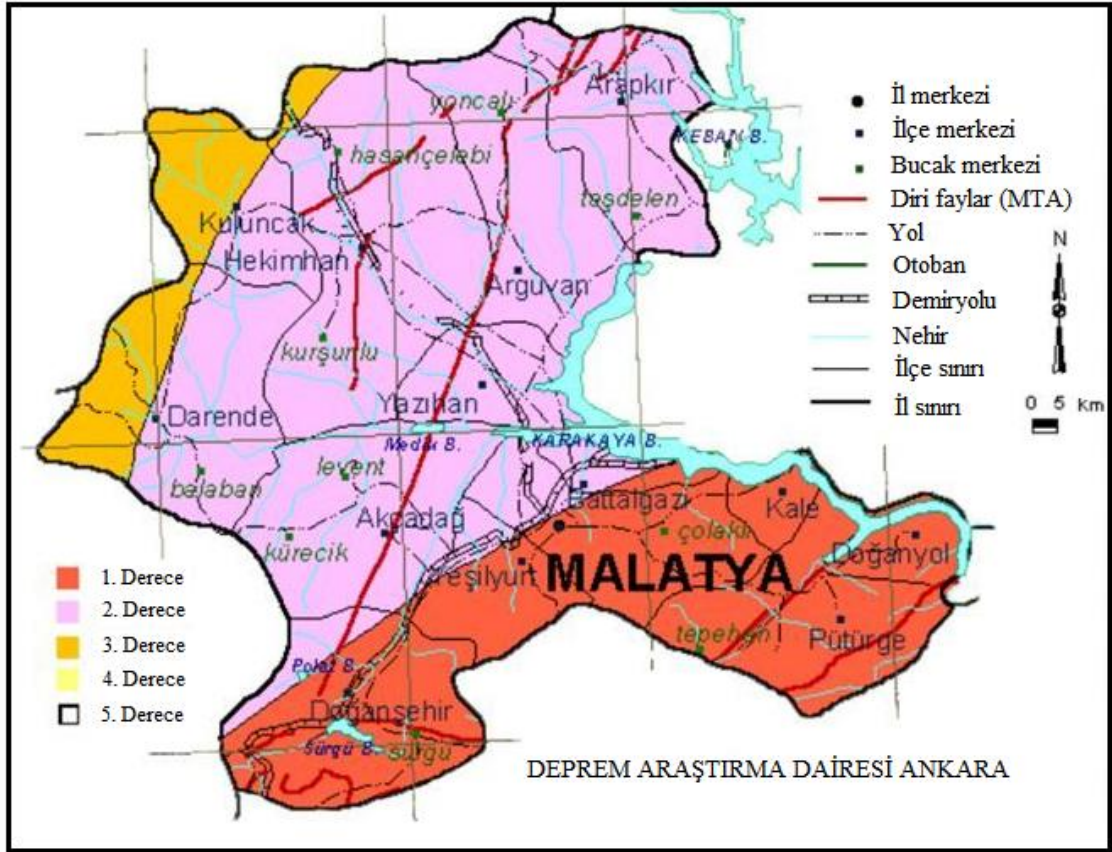
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Örneklerin Alınması

Malatya ili, Türkiye'nin doğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Suyu radon, suyun temas ettiği toprak ve kayalardan geçtiği için, bölgenin toprak ve kaya yapısı hakkında kısaca bilgi

vermek faydalı olacaktır. Malatya il merkezi jeolojik yapı olarak, alüvyon, kumtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Yeşilyurt ilçesi, kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera gibi tortul kayalardan oluşmaktadır. Battalgazi ilçesi de, benzer şekilde, kireçtaşı ve kumtaşı gibi tortul kayaların bulunduğu bir zemine sahiptir. Ayrıca, Doğanşehir ve Kale ilçelerinde de zemin, kumtaşı, kireçtaşı, konglomera, kiltası ve flişlerle kaplıdır. Doğanşehir ve çevresi, genç faylar tarafından sınırlandırılmıştır (Yalçın ve ark., 2003) (Şekil 1).

Şekil 1’de Malatya jeoloji harita gösterilmiş olup (Şaroğlu ve ark., 1987), Şekil 2’deki haritada ise, Malatya ili ve ilçeleri gösterilmiştir. Malatya’da farklı bölgelerden 11 adet su örneği alınmıştır. 1,2, 3 ve 4 nolu örnekler, Doğanşehir ilçesinden, 5 nolu örnek Malatya merkezden, 6 nolu örnek Yeşilyurt ilçesinden, 7, 8 ve 9 nolu örnekler Battalgazi ilçesi Kapıkaya mevkiinde, 10 nolu örnek Battalgazi ilçesi Orduzu beldesinde, 11 nolu örnek ise, Battalgazi ilçesi Çamurlu köyünden alınmıştır.



Şekil 1. Malatya iline ait jeoloji haritası



Şekil 2. Örneklerin alındığı Malatya ili ve ilçeleri

Su kaynaklarından örnek alınırken, kapağında dışarıya gaz kaçışını engelleyen özel bir aparatı olan sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Şişeler tamamen ağzına kadar doldurularak, su kaynağı altında sıkıca kapatılmıştır.

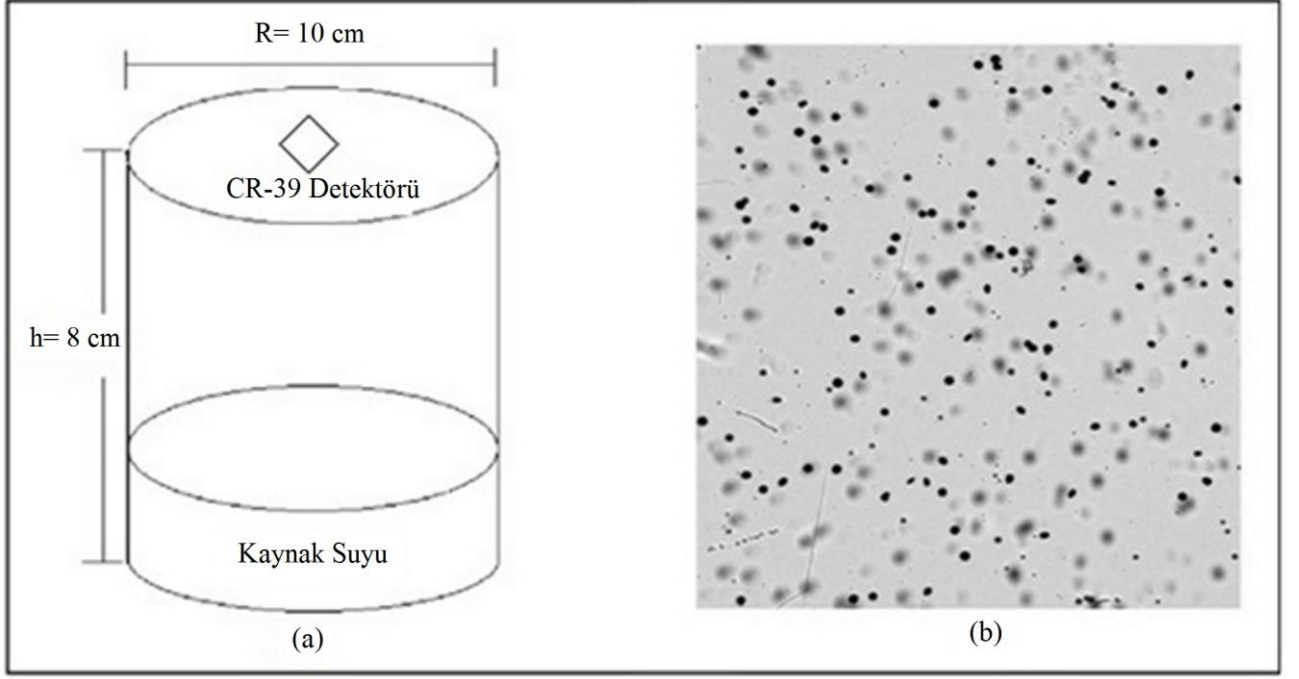
2.2. Örneklerin Hazırlanması, Ölçüm ve Analiz İşlemleri

Laboratuvar ortamına getirilen örneklerin 1 litresine 0,5 ml HNO₃ (nitrik asit) eklenmiştir (Bal ve ark., 2017). Bu şekilde, su örnekleri pH≤2 haline getirilmiş ve örneklerdeki elementlerin, örnek kabının yüzeyine çökmemesi ve yapışmaması sağlanmıştır (Sajo- Bohus ve ark., 1997).

Örnekler, daha sonra, silindirik difüzyon kaplarına aktarılmıştır. 1 cm × 1 cm boyutlarında kesilmiş CR-39 nükleer iz detektörleri de difüzyon kaplarına yerleştirildikten sonra, kapağı sıkıca kapatılmıştır. Bu şekilde pozlanma için, 61 gün boyunca bekletilmiştir. Buradaki amaç, radon ve bozunma ürünlerinin dengeye ulaşması sonucunda yayınlanan alfa parçacıklarının detektör yüzeyinde izler oluşturmasını sağlamaktır. Bekleme süresinin tamamlanmasının ardından, detektörler, difüzyon kaplarından çıkartılarak, slaytlar üzerine yerleştirilmiştir (slayt başına 12 detektör). Bu şekilde, 90 °C'de 6,25 M NaOH çözeltisi içinde yaklaşık 5 saat boyunca kimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Kazıma işlemi tamamlandıktan sonra, çözeltinin içinden çıkarılan detektörler, saf su ile yıkanıp, kurutulmuştur. Alfa parçacıklarının çarpması ile detektör yüzeyinde oluşan izler, RadoSYS otomatik sayma sistemi ile sayılmıştır. Kimyasal kazıma ve otomatik sayım, RadoBATH ve RadoSYS sistemleri kullanılarak yapılmıştır (RadoSYS, 2011).

RadoSYS sistemi ×40 büyütme optik mikroskoba sahiptir ve radon gazına ait izleri, her bir detektör üzerinde 5,74 mm²'lik alanlara sahip 9 farklı noktada sayabilmektedir. Oluşabilecek istatistiksel hatayı azaltabilmek amacıyla, her detektör için sayım işlemi 3 defa tekrarlanmıştır.

Çalışmada kullanılan silindirik difüzyon kabı ve CR-39 detektörleri üzerinde oluşan izlerin görüntüsü Şekil 3'te verilirken, RadoSYS radon algılama sistemi ise, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. (a) Silindirik difüzyon kabı **(b)** CR-39 detektörü üzerinde oluşan izler



Şekil 4. RadoSYS radon algılama sistemi

Detektör yüzeyindeki iz yoğunlukları, Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Salih ve Jaafar, 2012).

$$\text{İz yoğunluğu } (\rho) = \frac{\text{Toplam iz sayısı}}{\text{Detektörün yüzey alanı}}$$

(1)

Su örnekleri için radon aktivite konsantrasyonları ise, Denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{Rn} = \frac{\rho \times f}{t}$$

(2)

bu denklemde, sırası ile, C_{Rn} , ρ , f ve t ifadeleri, radon aktivite konsantrasyonunu (Bq/L), iz yoğunluğunu (iz/mm²), CR-39 detektörler için üretici firma tarafından verilen kalibrasyon çarpanını (44,47 kBq.h.mm²/iz.m³) ve maruz kalma süresini (h) temsil etmektedir (RadoSYS, 2011) (1 kBq= 10³ Bq, 1 m³= 10³ L).

Bu kaynak suları, halk tarafından içme suyu olarak da tüketilmektedir. Bu durumda, bir yıllık sürede sindirim yoluyla alınan doz, aşağıdaki formül (Denklem 3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{ing} = C_{Rn} \times W_c \times EDC$$

(3)

Burada, E_{ing} , içme suyu tüketimine bağlı olarak bir yıl boyunca maruz kalınan dozu ($\mu\text{Sv/y}$); C_{Rn} , suda ²²²Rn konsantrasyonunu (Bq/L); W_c , yetişkinler için bir yılda tüketilen tahmini su miktarını (günde 2 litreden yılda 730 litre) (WHO, 2011); EDC ise, sindirim için etkin doz katsayısını ($3,5 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/Bq}$) ifade etmektedir.

Su, içtikten sonra, doğrudan mideye gitmektedir. Suda yapılan çalışmalar sonucunda, içme suyundaki radon konsantrasyonunun yüksek olması durumunda, midede kanser riski oluşturabileceği belirtilmiştir. Bu durumda, midenin maruz kaldığı doz miktarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Denklem (4) yardımıyla midenin maruz kalacağı doz miktarı hesaplanabilmektedir.

$$SED = E_{ing} \times WT$$

(4)

Burada, SED, midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarı olup, WT ise, doz hesaplamalarında mide için kullanılan ağırlık faktörüdür (WT = 0,12) (Prasad ve ark., 2008). Doz hesaplamalarında kullanılan ağırlık faktörü, ICRP tarafından 1993 yılında yayınlanan rapordan alınmıştır (ICRP, 1993).

Radon gazını solunması durumunda, soluma başına yıllık ortalama etkin doz değeri, Denklem (5) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_{inh} = C_{Rn} \times R_{AW} \times F \times O \times DCF$$

(5)

Burada, E_{inh} , soluma başına yıllık ortalama etkin dozdur ($\mu\text{Sv/y}$); R_{AW} , havadaki radon miktarının musluk suyundaki radon miktarına oranıdır (10^{-4}) (UNSCEAR, 2008); F , radon için denge faktörünün küresel ortalamasıdır (0,4) (UNSCEAR, 2008); O , küresel ortalama iç mekan doluluk faktörüdür (7000 h/y) (UNSCEAR, 2008) ve DCF ise, radon için doz dönüşüm faktörüdür [$9 \times 10^{-3} \mu\text{Sv.m}^3/(\text{Bq.h})$] (WHO, 2011).

Toplam etkin doz ise, solunum başına yıllık ortalama etkin doz ve sindirim başına yıllık ortalama etkin dozun toplamına eşittir (Denklem 6).

$$E_T = E_{ing} + E_{inh}$$

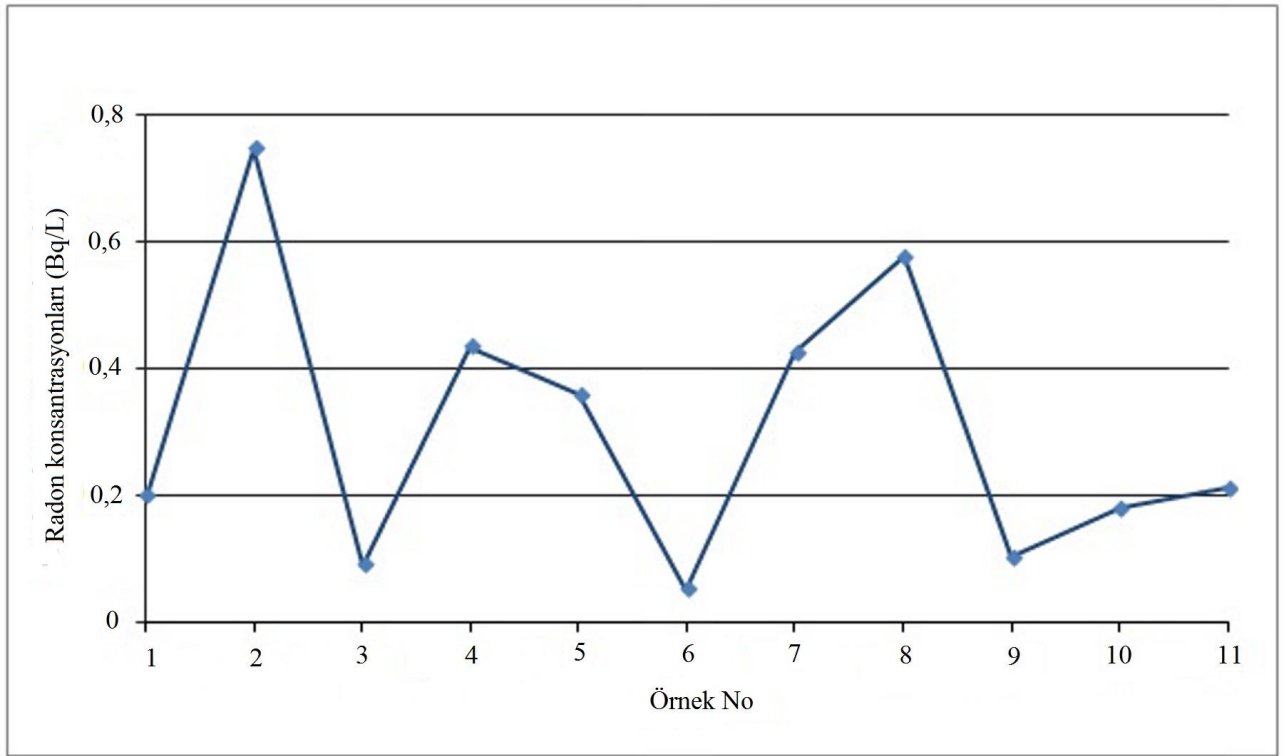
(6)

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, kaynak sularında ^{222}Rn konsantrasyonunun yanı sıra, suyun tüketimine bağlı sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri ile midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarı da hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tablo 1 ile Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

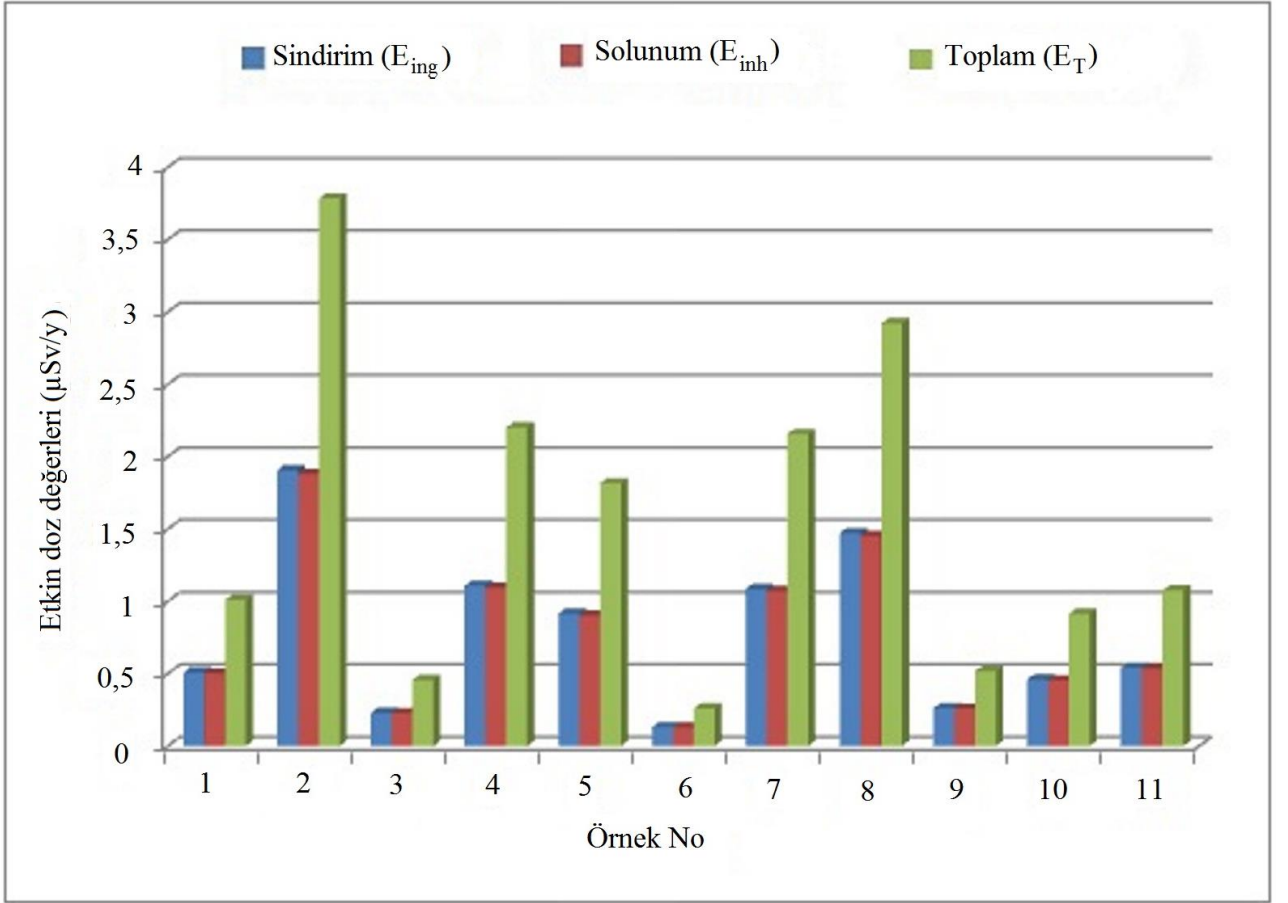
Tablo 1. Su örnekleri için C_{Rn} , E_{ing} , E_{inh} , E_T ve SED değerleri

Örnek No	Örnek Adı	C_{Rn} (Bq/L)	E_{ing} ($\mu\text{Sv/y}$)	E_{inh} ($\mu\text{Sv/y}$)	E_T ($\mu\text{Sv/y}$)	SED ($\mu\text{Sv/y}$)
1	Beypınarı Giriş	0,199	0,508	0,501	1,009	0,061
2	Beypınarı	0,746	1,906	1,880	3,786	0,229
3	Polat- Akpınar	0,090	0,230	0,227	0,457	0,028
4	Gülderesi	0,434	1,109	1,094	2,203	0,133
5	Elemendik	0,358	0,915	0,902	1,817	0,110
6	Ağcapınar (Şekersu)	0,051	0,130	0,129	0,259	0,016
7	İspendere 1	0,425	1,086	1,071	2,157	0,130
8	İspendere 2	0,576	1,472	1,452	2,923	0,177
9	İspendere 3	0,102	0,261	0,257	0,518	0,031
10	Pınarbaşı	0,180	0,460	0,454	0,914	0,055
11	Venk	0,212	0,542	0,534	1,076	0,065
	Ortalama	0,307	0,784	0,773	1,556	0,094



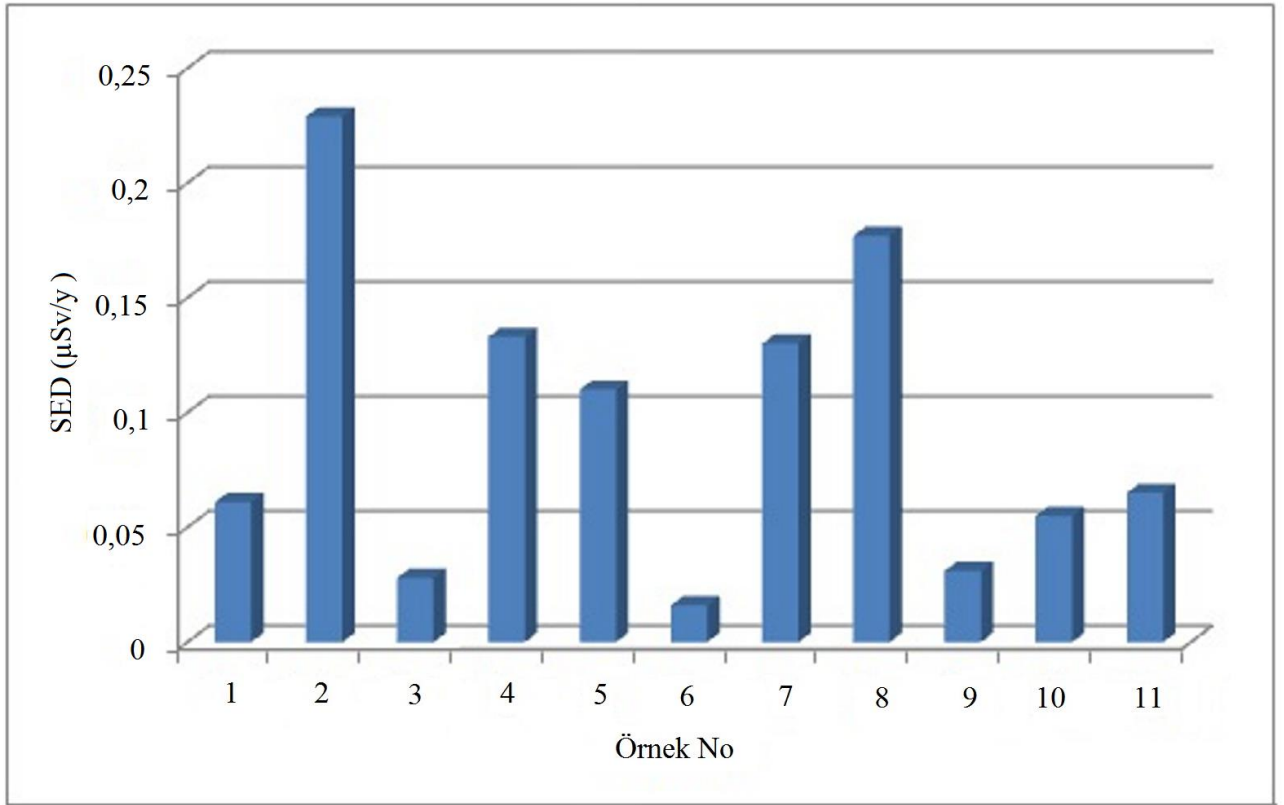
Şekil 5. Su örneklerinde radon konsantrasyonları

Tablo 1 incelendiği zaman, su örneklerinde radon konsantrasyon değerlerinin 0,051 Bq/L ile 0,746 Bq/L aralığında değiştiği ve ortalama değer ise, 0,307 Bq/L olduğu görülmektedir. En düşük radon konsantrasyon değerinin; Ağcapınar (Şekersu) su örneğine (0,051 Bq/L), en yüksek radon konsantrasyon değerinin ise, Beypınarı su örneğine (0,746 Bq/L) ait olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Su örnekleri için sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri

Benzer şekilde, yetişkinler tarafından bu suların içilmesi veya sulardan yayılan radon gazının solunması durumunda, sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri, sırasıyla, (0,130-1,906) $\mu\text{Sv/y}$, (0,129-1,880) $\mu\text{Sv/y}$ ve (0,259-3,786) $\mu\text{Sv/y}$ aralıklarında değişmektedir. Beypınarı su örneğine ait olan sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri en yüksek olup, bu değerler, sırası ile 1,907 $\mu\text{Sv/y}$, 1,880 $\mu\text{Sv/y}$ ve 3,786 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Su örnekleri için midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarları

Bu suların içilmesinden sonra, midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarları ise, (0,016-0,229) $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,094 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

Literatürde, Malatya ili ve ilçelerindeki sularda radon ve radyoaktivite analizi ile ilgili çalışmalara pek rastlanmamıştır. Yalçın ve ark. (2003), Malatya ili içme sularının toplam alfa ve beta radyoaktivitelerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, su örnekleri için ortalama toplam alfa radyoaktivitesini $0,1171 \pm 0,0175$ Bq/L, ortalama toplam beta radyoaktivitesini ise, $0,2200 \pm 0,0198$ Bq/L olarak hesaplamışlardır. Bu sonuçlardan ortalama toplam alfa radyoaktivite seviyesinin, DSÖ tarafından tavsiye edilen üst limit olan 0,5 Bq/L değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Ortalama toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise, yine DSÖ tarafından tavsiye edilen üst limit olan 1 Bq/L değerinin altında olduğu görülmektedir (WHO, 2006).

Benzer çalışmalarda, Gündoğan (2016), Kilis ili genelinde, sularda ortalama radon konsantrasyonunu 1,86 Bq/L olarak hesaplamıştır. Çetinkaya (2009), Kütahya ili içme sularında radon konsantrasyonlarının $0,119 \pm 0,067$ Bq/L ile $48,510 \pm 3,46$ Bq/L aralığında değiştiğini gözlemlemiştir. Benzer şekilde, Batman ilindeki içme sularında ise, radon konsantrasyonu, $0,883 \pm 0,349$ Bq/L ile $0,195 \pm 0,103$ Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,455 Bq/L olarak bulunmuştur (Alp, 2014). Srinivasa ve ark. (2018), Hindistan'ın Karnataka bölgesinde, 20 adet su örneğinde radon konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada, radon konsantrasyonları, 3,96 Bq/L ile 90,63 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 35,34 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, ayrıca,

sindirim, solunum ve toplam etkin doz oranları da incelenmiş olup, bu veriler için ise ortalamalar, sırasıyla, 7,41 $\mu\text{Sv/y}$, 89,05 $\mu\text{Sv/y}$, 96,46 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

Mevcut çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, yukarıda bahsi geçen yapılmış benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlardan daha düşüktür. Bu düşüklüğün sebepleri arasında ise, bölgelerin jeolojik yapılarının (toprak ve kayaç özellikleri, deprem, toprak kayması, volkanik yapı vs.) farklılığı, meteorolojik (atmosfer basıncı, sıcaklık, nem ve yağış) farklılıklar ve kullanılan yöntemlerin farklı olması vb. sayılabilir.

Su örneklerinde radon konsantrasyonu için sınır değer, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından 11,1 Bq/L olarak bildirilirken (USEPA, 2011), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından, insan tüketimi için sudaki radon konsantrasyonu 4-40 Bq/L olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2008). Ayrıca, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve WHO, içme suyu tüketiminden alınan yıllık etkin doz oranının referans seviyesinin, 100 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmesini önermektedirler (WHO, 2004; IAEA, 2002).

4. Sonuçlar

Mevcut çalışmada, Malatya iline ait 11 farklı kaynak suyu örneğinde radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmıştır. Bu sular, içme suyu olarak tüketilmelerinin yanı sıra, tarımda sulama amaçlı ve balık yetiştiriciliğinde de kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, radon konsantrasyonları belirlenerek, halk sağlığına yönelik olası risklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

En yüksek radon konsantrasyonu (0,746 Bq/L ile) Polat-Beypınarı su örneği için hesaplanmıştır. Bu kaynak suyu, Doğanşehir ilçesinin Polat beldesinde bulunmakta olup, Polat ve yakın çevresinde en yaşlı birimler paleozoik ve mezozoik dönemine ait Malatya metamorfikleridir. Daha önceden yapılmış olan araştırmalar, metamorfik ve volkanik kayaçların radyoaktif madde içeriğinin yüksek olduğunu göstermiştir (Ozan ve Ekinci, 2011). Malatya ili 1. derecede tehlikeli deprem bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Bu bölge, tarih boyunca Doğu Anadolu Fay Sistemine bağlı fayların ürettiği büyük depremlerin etkisi altında kalmıştır. Bu kaynak suyunun temin edildiği bölge olan Doğanşehir ve yakın çevresi, genç faylar tarafından sınırlandırılmıştır. Bölgede etkili olan fay sistemleri; Sürgü Fayı ve Malatya Fayı'dır. Sürgü Fayı, Malatya ovasını güneyden sınırlayan ve kuzey-kuzeybatıdan geçen Akçadağ-Malatya fayı olup bu fay hatları aktif fay hatlarıdır. Malatya fayı, Doğanşehir'in güneybatısından başlayıp, Yazıhan'a kadar devam etmektedir (Şekil 1) (Şaroğlu ve Yılmaz, 1981; Şengün ve ark., 2016). Daha önce yapılmış çalışmalar, fay hatlarının geçtikleri bölgelerdeki topraklarda radon konsantrasyonunun yüksek olduğunu göstermiştir. Yüzey suları ve yer altı suları da, doğrudan bu toprak veya kayalarla temas halindedir. Dolayısıyla, sulardaki radon konsantrasyonu, topraktaki radon konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Baykara ve Doğru, 2006; Doğru ve ark., 2008; Şahin, 2009).

Su örneklerinin tamamı için hesaplanan radon konsantrasyonları (0,051 Bq/L - 0,746 Bq/L aralığında) ve ortalama radon konsantrasyonu (0,307 Bq/L), USEPA tarafından bildirilen sınır değeri olan 11,1 Bq/L'nin ve UNSCEAR'ın insan tüketimi için verdiği değeri olan 4-40 Bq/L'nin altındadır. Ayrıca, sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri için en yüksek veriler, Beypınarı su örneğine ait olup, örneklerin tamamı için elde edilen sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri ve ortalamaları, IAEA ve WHO tarafından önerilen sınır değeri (100 µSv/y) altındadır.

Bu durum, bahsi geçen su kaynaklarının tüketiminin ve çeşitli amaçlar için kullanımının, radon gazı bakımından, halk sağlığı açısından risk teşkil etmeyeceği anlamına gelmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makalenin yazarı olarak bu çalışmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynaklar

- Akram M., Khattak N., Iqbal A., Qureshi A., Ullah K., Qureshi I. Measurement of radon concentration in dwellings of Skardu city, Pakistan. *Radiation Measurement* 2005; 40: 695-698.
- Alp MS. Batman ilindeki sulara radon konsantrasyonunun tayini. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 99, Bingöl, Türkiye, 2014.
- Bal SŞ., Kılıç Ö., Gönültaş, F. Bitlis kaynak sularında radon konsantrasyonunun belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2017; 21(3): 302-306.
- Baykara O., Doğru M. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian active fault systems (Turkey). *Radiation Measurements* 2006; 41: 362-367.
- Çetinkaya H. Kütahya ili içme sularında radon ve radyum miktarlarının belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 84, Kütahya, Türkiye, 2009.
- Doğru M., Bingöl AF., Aksoy E., İnceöz M., Baykara O., Külahci F., Şahin S. Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerinde radon gazı hareketlerinin izlenmesi. TÜBİTAK Projesi, Fırat Üniversitesi, Proje No: 104Y158, 2008.
- Gündoğan A. Kilis ili sularında radon gazı ölçümü. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 65, Kilis, Türkiye, 2016.
- IAEA. International Atomic Energy Agency. Specification of Radionuclide Content in Comities Requiring Regulation for Purposes of Radiation Protection Safety Guide, 2002.
- ICRP. International Commission on Radiological Protection. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press ICRP Publication, no:65, NY, pp. 45. 1993.
- Jobbágy V., Altitzoglou T., Malo P., Tanner V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity* 2017; 173: 18-24.

- Karahan G. İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri. İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 134, İstanbul, Türkiye, 1997.
- Muhammad S., Ullah R., Turab SA., Khan MY., Khattak NM., Khan MA. Radon concentration in drinking water and soil after the September 24, 2019, Mw 5.8 earthquake, Mirpur, Azad Jammu and Kashmir: an evaluation for potential risk. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27: 32628–32636.
- Nagda NL. Radon: prevalence, measurements, health risks and control. Philadelphia PA: ASTM, 1994.
- Ozan SS., Ekinci CE. Yapılarda Radon Fenomeni ve Radon-Sağlık İlişkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0266, 2011; 6(4): 1590-1602.
- Prasad G., Prasad Y., Gusain GS., Ramola RC. Measurement of radon and thoron levels in soil, water and indoor atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya, India. *Radiation Measurements* 2008; 43: 375-379.
- RadoSYS. RadoSYS Radometer 2000 User Manual 2011, Hungary.
- Sajo-Bohus L., Gomez J., Capote T., Greaves ED., Herrera O., Salazar V., Smith A. Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity* 1997; 35(3): 305-312.
- Salih FN., Jaafar MS. The optimum time of etching proved the sensitivity of the CR-39 detector. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2012; 3(9): 1-8.
- Şaroğlu F., Güner Y. Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Ögeler: Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri. *TJK Bülteni* sayfa no:24, 39-50, Ankara, 1981.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi Başkanlığı, (Yayınlanmamış rapor), 394s, 1987.
- Srinivasa E., Rangaswamy DR., Suresh S., Reddy KU., Sannappa J. Measurement of ambient gamma radiation levels and radon concentration in drinking water of Koppa and Narasimharajapura taluks of Chikmagalur district, Karnataka, India. *Radiation Protection and Environment* 2018; 41(1): 20-25.
- Şahin S. Sivrice Fay Zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 133, Elazığ, Türkiye, 2009.
- Şengün MT., Günek H., Küçük A. Polat Ovasında (Malatya) Jeomorfolojik Birimlerle Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Ankara.
- UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Report to the general assembly, with scientific annexes, United Nations, New York, 2008.

- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Proposed Radon in Drinking Water Regulation. DC, EPA: 600/R-09/052F, 2011.
- Yalçın M., Doğru M., Canbazoğlu C. The gross alpha and beta radioactivity of drinking water stores of Malatya (Turkey) city centre. *Balkan Physics Letters, BPL* 2003; 11 (1): 1-4.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality Recommendations 2004; 1: 206-209.
- WHO. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), Chapter 9: Radiological aspects. Geneva: World Health Organization, 2006; 1: 204-206.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Gutenberg, Għaxaq, 2011.