



Mevcut sayıya ait içindekiler listesine [DergiPark](#) üzerinden ulaşılabilir

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi

Dergi web sayfası: dergipark.org.tr/tr/pub/sufefd



Araştırma Makalesi

Erzincan Bölgesindeki Su Kaynaklarının Radon İçeriğindeki Mevsimsel Değişimler

Bekir Emin Erdoğan ^{a,1}, Mehmet Erdoğan ^{a,2*}

^a Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü, 42130 Konya, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş 4 Eylül 2024

Revizyon 16 Ekim 2024

Kabul 22 Kasım 2024

Anahtar Kelimeler

Erzincan

Radon

Su

Yıllık Etkin Doz

ÖZ

Bu çalışmada, Erzincan bölgesindeki su kaynaklarından alınan örneklerin radon aktivitesi yaz ve kış mevsimlerinde belirlenmiş ve mevsimsel değişimi araştırılmıştır. Ölçümler AlphaGUARD radon detektörü ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar mevsimsel olarak önemli bir değişimin olmadığını göstermekle birlikte yaz mevsiminde nispeten daha düşük radon değerleri belirlenmiştir. Belirlenen kaynakların radon aktiviteleri, içme suları için USEPA (United State Environmental Protection Agency) tarafından tavsiye edilen 11.1 Bq.l⁻¹ üst sınır değerinin oldukça altında bulunmuştur.

Research Article

Seasonal Changes in the Radon Content of Water Resources in the Erzincan Region

ARTICLE INFO

Article History

Received 4 September 2024

Revised 16 October 2024

Accepted 22 November 2024

Keywords

Erzincan

Radon

Water

Annual Effective Dose

ABSTRACT

In this study, radon activity of samples taken from water resources in Erzincan region was determined in summer and winter seasons and seasonal changes were investigated. Measurements were carried out with AlphaGUARD radon detector. Although the results showed that there was no significant seasonal change, relatively lower radon values were determined in summer season. Radon activities of the determined sources were found to be well below the upper limit value of 11.1 Bq.l⁻¹ recommended by USEPA (United State Environmental Protection Agency) for drinking water.

* Sorumlu Yazar

E-posta adresleri: bekir.erdgmn@gmail.com (B. E. Erdoğan), merdogan@selcuk.edu.tr (M. Erdoğan)

¹ ORCID: 0009-0000-4961-268X

² ORCID: 0000-0003-1879-8500

Doi: [10.35238/sufefd.1542974](https://doi.org/10.35238/sufefd.1542974)

E-ISSN: 2458-9411

Atıf / Cite as

Erdoğan, B. E., Erdoğan, M., (2025), Erzincan Bölgesindeki Su Kaynaklarının Radon İçeriğindeki Mevsimsel Değişimler, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 51 (1), 1-6.

Makale Bilgisi Article Information

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Article Type

Research Article

Geliş Tarihi

4 Eylül 2024

Date Received

4 September 2024

Revizyon Tarihi

16 Ekim 2024

Date Revised

16 October 2024

Kabul Tarihi

22 Kasım 2024

Date Accepted

22 November 2024

Yayın Tarihi

1 Nisan 2025

Date Published

1 April 2025

Değerlendirme

İki Dış Hakem, Çift Taraflı Körleme

Review Process

Two External Reviewers, Double-Blind Peer Review

Etik Beyan

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur (M. Erdoğan).

Ethical Statement

It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited (M. Erdoğan).

İntihal Kontrolü

Bu makale, iTenticate yazılımı ile taranmış ve intihal tespit edilmemiştir.

Plagiarism Check

This article has been scanned with iTenticate software and no plagiarism detected.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkiliyor gibi görünebilecek bilinen hiçbir rakip mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Finansman

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası 1919B012217218). Yazarlar verilen destek için TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

Funding

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project Number 1919B012217218). The authors would like to thank TÜBİTAK for the support provided.

Telif Hakkı & Lisans

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Copyright and License

Authors own the copyright of their work published in the journal and their work is published under the CC BY-NC 4.0 license.

1. Giriş

1900 yılında Alman kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilen Radon gazı aslında ilk kez 1898 yılında ünlü fizikçi Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Radon 8A grubunda bulunan ve en son keşfedilen asal gazdır. Normal sıcaklık ve atmosfer basıncında gözle görülmeyen, renksiz, tatsız, kokusuz bir gazdır. Havadan 7,5 kat, hidrojeninden de 100 kat ağır olan radon gazı doğada tek atomlu şekilde bulunur (Villalba ve ark., 2005). Suda çözünebilen radon yerkürede bulunan ^{238}U doğal bozunum zincirinde yer alır ve yeraltı sularına geçer. Yeraltı sularının sıcaklık ve pH değeri radonun çözünürlüğünü etkileyen faktörlerdendir (Schubert ve ark., 2012; Ting ve ark., 2022). Dolayısıyla yerin derinliklerinde uranyum içeriği yüksek olan noktalarda bulunan yeraltı sularında jeolojik oluşumlara (fay hatları gibi) da bağlı olarak radon içeriği yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Ayrıca yeraltı sularının temas halinde olduğu asidik ve magmatik gibi kayaların yüksek seviyede radyoizotop içermesi de bu sulkardaki radon aktivite konsantrasyonunu artırıcı etki göstermektedir (UNSCEAR, 2000). Yerin derinliklerinden gelen nispeten sıcak, mineralli ve yüksek radon potansiyeline sahip bu tür yeraltı suları özellikle fay bölgelerinde fay çatlaklarını izleyerek yüzeye çıkmaktadır ve bu tür sular termal su kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu kaynakların olduğu bölgelerde genellikle termal işletmeler kurulup bölge halkının faydasına kullanıldığı gibi toplumun mineralli su ihtiyacının karşılanması da sağlanmaktadır. Halk yararına yapılan bu tür işletmeler, kullandıkları yeraltı sularındaki radon içeriğine bağlı olarak halk sağlığı bakımından bazı riskler de içerebilmektedir. Şöyle ki; Radonun sudan havaya da geçme eğilimi olduğu için yüksek radon aktivite konsantrasyonuna sahip termal sular termal işletmelerin kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunu artırıcı etki de yapmaktadır (UNSCEAR, 2000). Yüksek radon içeren bu tür su kaynaklarının içme yoluyla tüketilmesi vücut içi ışınlamadan kaynaklanan doza ek katkı yapacaktır. Yüksek radon içerikli suların içilmesi ya da kullanıma (ev ya da termal işletme) bağlı olarak kapalı ortam radon seviyesini artırması bu suları kullananlar açısından sağlık riski oluşturabilir. Bu sebepten belli periyotlar ile halk tarafından sıklıkla kullanılan sularda radon aktivite ölçümlerinin yapılması önemlidir.

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay zonu ile Ovacık Fay zonunun kesiştiği bölgede yer alan, oldukça zengin su kaynaklarına sahip Erzincan bölgesinde belirlenen kaynaklarda 2023 yılı yaz ve kış mevsimlerinde radon aktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece bölge halkı tarafından çokça tüketilen su kaynaklarının radon aktivitelerinin belirlenmesinin yanında mevsimsel değişimleri de belirlenmiştir. Ayrıca bölge halkının radona aldığı radyasyon dozu tahminleri de hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

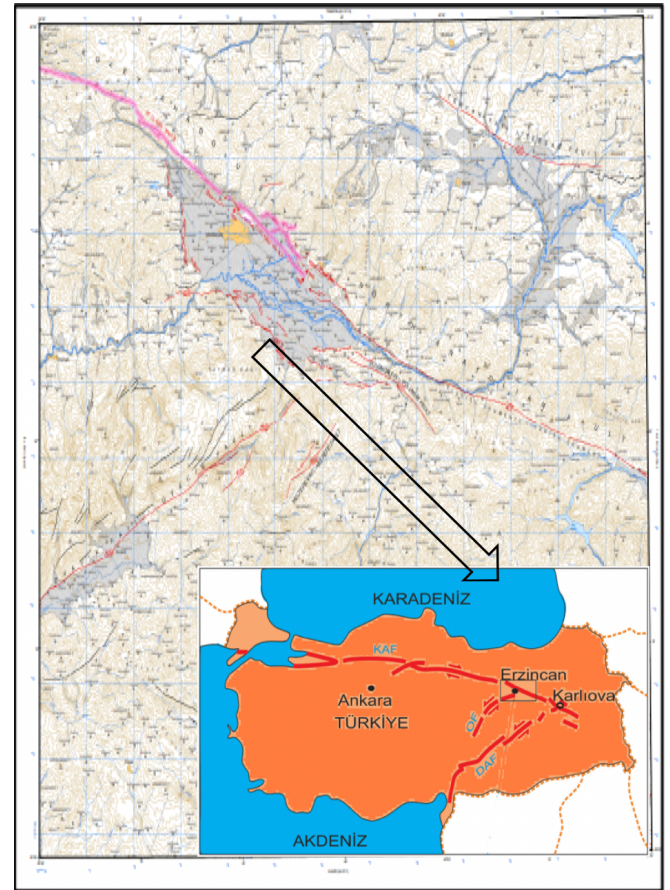
2.1. Çalışma bölgesi

Şekil 1’de görüldüğü gibi Erzincan şehri Türkiye’nin doğu bölgesinde Kuzey Anadolu Fay zonu ile Ovacık Fay zonunun kesiştiği bölgede bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Erzincan Ovası’nı kuzeyden sınırlar ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay karakterindedir. Erzincan’ın güneyinde ise sol yönlü, kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu ve birbirine koşut faylardan oluşan Ovacık Fay zonu (OF) bulunmaktadır. Bu fayların tümü yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir sıkışmanın güdümünde oluşmuştur. Bu sistem makro olarak

gözetildiğinde, Erzincan Ovası’nın da tıpkı Karlıova gibi Anadolu levhasının batıya doğru devinimi ile açıldığı izlenimini oluşturmaktadır (Boz ve Yılmaz, 2020).

Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile Ovacık Fayı’nın (OF) kesişim bölgesinde yer alan Erzincan, bölge halkı tarafından bolca tüketilen su kaynaklarına sahiptir. Hatta bu su kaynaklarından mineralli suların ticari bir kuruluş ile tüm Türkiye dağıtımı yapılmaktadır. Bunun yanında Erzincan’ın fay zonları bölgesinde yer alması, tarihi boyunca çeşitli büyüklüklerde depremler yaşamasına sebep olmuştur. Özellikle, 1939 ve 1992 yıllarında meydana gelen depremler, insanlar ve yapılar üzerinde önemli derecede can ve mal kayıplarına neden olmuştur.

Bu çalışmada belirlenen su kaynaklarından 4 tanesi Erzincan’ın merkezinde bulunan Ekşisu mesire alanında yer almaktadır. Bu alandaki kaynakların 3 tanesi bölge halkı tarafından şifalı olarak bilinen doğal maden suyu çeşmeleri, 1 tanesi ise kaplıca suyudur. Bir diğer doğal maden suyu kaynağı ise ticari bir işletme tarafından çıkarılmakta ve Akyazı beldesinde bulunmaktadır. Diğer su kaynakları ise Otlukbeli traverten gölü civarında ve İliç ilçesi Büyükmarmara Köyü’nde bulunmaktadır. Su kaynaklarının konumları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Erzincan bölgesi ve fay hatları (Emre ve ark., 2012) (Boz ve Yılmaz, 2020).

2.2. Suda radon aktivitesi ölçümü

Belirlenen lokasyonlar için yaz dönemi ölçümleri 2023 yılının Temmuz ayının ikinci haftasında gerçekleştirilmiş olup su kaynaklarından alınan su örnekleri cam kaplara içinde hava kalmayacak şekilde doldurulup kapakları sıkıca kapatılarak ölçüm noktasına zaman kaybetmeden transfer edilmiştir. Ölçüm sisteminin kurulduğu konuma yakın olan su örneklerinin radon aktiviteleri birkaç saat içinde belirlenirken uzak lokasyonlardaki su örneklerinin radon

aktiviteleri ise ortalama bir gün içerisinde belirlenmiştir. Su örnekleri alınırken sıcaklıkları da ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm noktasına getirilen su örneklerinin radon aktiviteleri, kalibrasyon sertifikasına sahip AlphaGUARD PQ 2000PRO

radon detektörü ve AquaKIT sistemi kullanılarak aşağıda belirtilen yöntem ile belirlenmiştir (Kochowska ve ark., 2004; Schubert ve ark., 2006).



Şekil 2. Su örneklerinin alındığı konumlar.

Şekil 3'te verilen kapalı döngüye sahip ölçüm düzeneği kurulduktan sonra AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu '1 min FLOW (1 dakikalık akış mod)' olarak seçilir. Numune şişesi olan arıtma şişesine su örneği doldurulmadan önce detektör ile 10 dakikalık ölçüm alınır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir (bu değer Denklem 1'deki C_0 değeridir). Sonrasında arıtma ve güvenlik şişelerinin su kanalları ayarlanıp plastik enjektör kullanılarak 100 ml'lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır ve sonrasında su kanalları kapalı döngü formuna getirilir. Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi '1 L/min' hava akış oranına ayarlanıp pompa açılarak ölçüme başlanır. Ölçüm başladıktan 10 dakika sonra pompa kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır. Bu 30 dakikalık ölçüm sürecinde elde edilen veri Denklem 1'de verilen C_{air} değerine karşılık gelir. Böylece su örneğinin radon aktivitesinin belirlenmesi için ilk ölçüm tamamlanmış olur. Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (AlphaEXPERT) ile birlikte çalışır.

Her su örneğinin içindeki radon aktivite konsantrasyonu Denklem (1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$C_{Rn} = \frac{C_{air} \left(\frac{V_{sistem} - V_{örnek}}{V_{örnek}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (\text{Denklem 1})$$

Şekil 3. Suda radon aktivitesi ölçüm düzeneği.

Burada,

C_{rn} : Su örneğinin radon aktivite konsantrasyonu (Bq/L);
 C_{air} : Ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m³);
 C_0 : Arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m³);
 V_{sistem} : Ölçüm sisteminin dahili hacmi (1102 mL);
 $V_{örnek}$: Su örneğinin hacmi (100 mL);
 k : Radon yayılma katsayısı

değerlerini göstermektedir. Ayrıca her bir örneğin radon aktivite değerleri kullanılarak standart hata hesabı yapılmış ve pH değeri de belirlenmiştir. Su örneklerinin pH ölçümleri HANNA marka pH ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılan su kaynaklarının içme yoluyla tüketimine bağlı (yılda o kaynaktan 60 litre) alınan yıllık etkin doz (YED) değeri mSv biriminde Denklem (2) ile hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

Denklem 2’de ilk terim C_{Rn} , su numunesinin Bq/L biriminde radon aktivite konsantrasyonunu, ikinci terim radon aktivite konsantrasyonu ölçülen su kaynağının yıllık 60 litre tüketildiği durumunu, üçüncü terim hacim birimindeki dönüşümü, son terim ise doz dönüşüm katsayısını göstermektedir.

$$YED (\text{içme}) = C_{Rn} \times (60 \text{ litre/yıl}) \times (10^{-3} \text{ m}^3/\text{litre}) \times (3.5 \text{ nSv/Bq})$$

(Denklem 2)

Kış mevsimi ölçümleri 5-8 Ocak 2024 ve 27 Şubat 2024 tarihlerinde gerçekleştirilmiş olup radon ve pH ölçümleri, yaz mevsimi ölçümlerinde olduğu gibi aynı metot ile belirlenmiş, standart hata ve yıllık etkin doz değerleri de hesaplanarak 2024 yılı kış mevsimi verileri tamamlanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışma bölgesinden yaz ve kış mevsiminde elde edilen veriler Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Bu verilere göre, yaz mevsiminde alınan su örneklerinin en yüksek radon aktivitesi 5,06 Bq.l⁻¹ ile ticari doğal maden suyu işletmesinde iken en düşük radon aktivitesi ise Erzincan belediye kaplıcasından alınan su örneğinde 0,17 Bq.l⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak bu su kaynaklarının içilmesi yolu ile alınan yıllık etkin doz değeri en yüksek 1,1 µSv ile ticari maden suyu işletmesinde iken en düşük doz değeri 0,04 µSv ile Erzincan belediye kaplıcasından alınan su örneğinde belirlenmiştir. Kış mevsiminde alınan su örnekleri için ise en yüksek radon aktivitesi 6,70 Bq.l⁻¹ ile ticari maden suyu işletmesinde iken en düşük radon aktivitesi ise

Erzincan belediye kaplıcasından alınan su örneğinde 0,3 Bq.l⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak bu su kaynaklarının içilmesi yolu ile alınan yıllık etkin doz değeri en yüksek 1,4 µSv ile ticari maden suyu işletmesinde iken en düşük doz değeri 0,06 µSv ile Erzincan belediye kaplıcasından alınan su örneğinde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yaz mevsimi ölçümlerinin ortalama değeri 2,19 Bq.l⁻¹ olarak belirlenirken kış mevsimi ölçümlerinin ortalaması 2,71 Bq.l⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sonuçlarda önemli bir mevsimsel değişim gözlenmemekle birlikte yaz mevsimi ölçümlerinde nispeten daha düşük ortalama değer gözlenmiştir. Bu durum, bahar mevsiminde yağın yağmurların yeraltı sularına karışmasına bağlı olarak su örneklerinin yaz mevsimi radon aktivite değerlerini etkilemesi ile açıklanabilir. Su örneklerinin pH değerlerinde çok hafif mevsimsel değişimler gözlenirse de (yaklaşık %10 civarı) bu değişimin su örneklerinin radon aktivitesi ile bariz bir ilişkisi gözükmemektedir. Ayrıca, bölgenin KAF ve OF gibi önemli fay zonları üzerinde yer alması yani olası depremlere gebe olması elde edilen verileri önemli kılmaktadır. Çünkü olası depremler yani sismik aktiviteyi yer küredeki kayalaradan radon salınımını artırabilmekte ve bu artış yeraltı sularının radon aktivitelerine de yansıyabilmektedir. Bu durum olası depremler sonrasında toprak gazı ve yeraltı suları radon seviyelerinde anomaliler oluşturabilmektedir (Woith, 2015; Manisa ve ark., 2022; Sandıkcıoğlu Gümüş, 2024). Bu sebepten Erzincan bölgesinde olabilecek olası depremlerin yeraltı sularında oluşturabileceği olası radon anomalilerinin anlaşılması açısından elde edilen bu veriler önemli olacaktır.

Tablo 1. Su örneklerinin yaz ve kış mevsimine ait radon aktivite verileri ve içmeye bağlı yıllık etkin doz değerleri

No	Konumlar	Yaz Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Kış Mevsimi
		Rn Aktivitesi (Bq.l ⁻¹ ±SH)	Yıllık Etkin Doz (µSv) (İçme Yoluyla)	Rn Aktivitesi (Bq.l ⁻¹ ±SH)	Yıllık Etkin Doz (µSv) (İçme Yoluyla)
1	Otlukbeli (Erzincan)	0,95±0,1	0,2	2,52±0,12	0,53
2	Doğal Maden Suyu (Ekşisu)	2,68±0,27	0,6	3,04±0,07	0,6
3	Erzincan Kaplıcaları	0,17±0,04	0,04	0,3±0,07	0,06
4	Horhor Çesmesi (Ekşisu)	1,93±0,11	0,4	1,95±0,01	0,4
5	Ayak Havuzu (Ekşisu)	3,30±0,12	0,7	3,80±0,34	0,8
6	Doğal Maden Suyu (Ticari İşleme-Erzincan)	5,06±0,11	1,1	6,70±0,25	1,4
7	Büyükarmudan Köyü (İliç/Erzincan)	1,24±0,08	0,3	0,66±0,03	0,1

Tablo 2. Su kaynaklarından alınan örneklerin kış ve yaz mevsimindeki sıcaklık ve pH değerleri

No	Konumlar	Yaz Mevsimi		Kış Mevsimi	
		T(°C)	pH	T(°C)	pH
1	Otlukbeli (Erzincan)	16,9	8,3	14,7	7,9
2	Doğal Maden Suyu (Ekşisu)	13,8	6	21,2	6,3
3	Erzincan Kaplıcaları	35,1	7	33,8	7,1
4	Horhor Kaynak Suyu (Ekşisu)	19,9	6,4	19,6	6,9
5	Ayak Havuzu (Ekşisu)	15	7,1	23	6,4
6	Doğal Maden Suyu (Ticari İşleme-Erzincan)	18,1	7,3	7	6,6
7	Büyükarmudan Köyü (İliç/Erzincan)	12,9	7	14,6	7,4

Çalışma bölgesindeki su kaynaklarında özellikle Ekşisu mesire alanında bulunan su kaynakları bölge ve civarındaki halk tarafından oldukça fazla tüketildiği gibi ticari maden suyu işletmesi tarafından üretilen maden sularının Türkiye’nin hemen hemen tüm şehirlerine dağıtımını gerçekleştirmektedir. Bu sebepten bu su kaynaklarının radon aktivitesi değerleri halk sağlığı bakımından oldukça önem görmektedir. Su örneklerinin radon aktivite değeri Tablo 1’de de görüldüğü üzere, WHO (World Health Organization:Dünya Sağlık Örgütü) tarafından tavsiye edilen içme suları radon aktivitesinin üst sınır 100 Bq.l⁻¹ değerinin (WHO, 2008) ve USEPA (United State Environmental Protection Agency: Amerika Birleşik Devletleri Çevre

Koruma Kurumu) tarafından tavsiye edilen 11.1 Bq.l⁻¹ üst sınır değerinin (USEPA, 1991) oldukça altında bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası 1919B012217218). Yazarlar verilen destek için TÜBİTAK’a teşekkürlerini sunar.

Yazar Katkı Beyannamesi

Bu çalışmanın fikri ve deneysel süreçleri yazarlardan ME ve BEE tarafından gerçekleştirilmiş olup makale yazım süreci yazar ME tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Boz, D. ve Yılmaz, A., (2020), Erzincan Ovası ve Dolayının Çevre Jeolojisi ve Planlanmasına Bir Yaklaşım, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 44 (2), 223-252.
- Emre, Ö., T.Y., D., Kondo, H., Olgun, Ş., Özalp, S. ve Elmacı, H., (2012), 1/250.000 Ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, Erzincan (NJ 37-3) paftası, 1/250000, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Kochowska, E., Mazur, J., Kozak, K. ve Janik, M., (2004), Radon in well waters in the Krakow area, Isotopes in Environmental and Health Studies, 40 (3), 207-212.
- Manisa, K., Erdogan, M., Zedef, V., Bircan, H. ve Bicer, A., (2022), Variations of (222) Rn concentrations over active fault system in Simav, Kutahya, Western Turkey: Possible causes for soil-gas (222) Rn anomalies, Appl Radiat Isot, 190, 110484.
- Sandıkçıoğlu Gümüş, A., (2024), Investigation of the relationship between the decline in well waters radon anomalies and the earthquake magnitude (Mw), Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 333 (5), 2307-2320.
- Schubert, M., Buerkin, W., Peña, P., Lopez, A. E. ve Balcázar, M., (2006), On-site determination of the radon concentration in water samples: Methodical background and results from laboratory studies and a field-scale test, Radiation Measurements, 41 (4), 492-497.
- Schubert, M., Paschke, A., Lieberman, E. ve Burnett, W. C., (2012), Air-Water Partitioning of Rn and its Dependence on Water Temperature and Salinity, Environmental Science & Technology, 46 (7), 3905-3911.
- Ting, C. Y., Walia, V., Li, Y. S., Lin, S. J., Lee, P. L., Tsai, T. L., Kumar, A. ve Lin, C. C., (2022), Quantification of the dependence of the emanation of radon from water on the pH and temperature of water, Radiation Physics and Chemistry, 200.
- UNSCEAR, (2000), Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, New York.
- USEPA, (1991), National Primary Drinking Water Regulations, Radionuclides, Proposed Rules, 33126.
- Villalba, L., Sujo, L. C., Cabrera, M. E. M., Jiménez, A. C., Villalobos, M. R., Mendoza, C. J. D., Tenorio, L. A. J., Rangel, I. D. ve Peraza, E. F. H., (2005), Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico, Journal of Environmental Radioactivity, 80 (2), 139-151.
- WHO, (2008), Guidelines for drinking water quality, Geneva, 207.
- Woith, H., (2015), Radon earthquake precursor: A short review, European Physical Journal-Special Topics, 224 (4), 611-627.