

Müslüm Murat SAÇ

Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, 35100,
İzmir / Türkiye
sorumlu yazar: muslum.murat.sac@ege.edu.tr

İzmir-Seferihisar Jeotermal Alanlardaki Topraklarda Radon Konsantrasyonlarının İncelenmesi

Investigation of Radon Concentrations in the Agricultural
Soils in İzmir-Seferihisar Geothermal Areas

Alınış (Received): 11.10.2016

Kabul tarihi (Accepted): 24.02.2017

Anahtar Sözcükler:

Radon, toprak, nükleer iz detektörü,
Seferihisar

Key Words:

Radon, soil, nuclear track detector,
Seferihisar

ÖZET

Radon uranyum yada toryum içerikli toprak ve kayalardan yayınlanabilen doğal radyoaktif bir soy gazdır. Bu iki element radyum ve radonun ana elementidir ve onlar bazı bölgelerdeki topraklarda yüksek miktarlarda bulunabilirler. Örneğin jeotermal bölgelerdeki topraklar radonun önemli kaynaklarıdır. Seferihisar jeotermal bir alandır. Bu çalışmada amaç, Seferihisar termal alanlardaki radon anomalilerinin belirlenmesi ve çevresel risk değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Topraklardaki radon konsantrasyonları 29 aylık bir periyod süresince LR-115 nükleer iz kazıma detektörleri ile ölçüldü. Sonuçlara göre radon düzeyleri 124 Bq/m³ ile 5890 Bq/m³ aralığında hesaplandı. Çalışmada, bölgede meydana gelen sismik faaliyetlerin radon ölçümlerinde artışa neden olacağı belirlendi.

ABSTRACT

Radon is a naturally occurring radioactive gas which may be emitted from soils and rocks that contain uranium or thorium. These two elements are the progenitors of radium and radon, and they are found in large amounts in some regions. For instance, the soils in the geothermal regions are important sources of radon. Seferihisar is a geothermal field. The aim in this study, it has been investigated radon anomalies and environmental risk evaluations in the Seferihisar thermal fields. Radon concentrations in soils were continuously measured by the LR-115 nuclear track detectors during a 29-month period. According to obtained results, radon levels were calculated to range from 124 Bq/m³ to 5890 Bq/m³. In the study, it was determined that the seismic activity in the region would cause an increase in radon measurements.

GİRİŞ

Jeotermal alanlar fay hatlarının yer aldığı jeolojik oluşum alanlarında meydana gelmekte ve mineralce zengin suların yeryüzüne çıktığı yerler olarak bilinmektedir. Jeotermal sular, içme sularına oranla çok daha fazla radyoaktif madde içerirler ve gerek fiziksel gerekse kimyasal yapıları içme sularından oldukça farklıdır (Vengosh et al., 2002; Kalıncı, 2006). Bu sular yeryüzüne ulaşırken kat ettikleri yolları üzerindeki kayaları yıkarak çevrede bulunan doğal mineral, oligo-elementler, mikro organizmalarla ve özellikle de radyoaktif izotoplarca zenginleşirler. Yerin derin katmanlarında doğal radyoaktif seri elementlerinin bol miktarda bulunması sebebiyle radyoaktivite içeriklerinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle jeolojik alanların radyoaktivite, elementel içerik değerlerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

(Baştan, 2013). Jeotermal su kaynakları ve topraklar jeolojik açıdan incelendiğinde belirlenen bazı parametreler ile yer kabuğu arasında dolaylı da olsa ilişkiler bulunmaktadır. Bu parametrelerden biri de radon gazıdır. Tüm radyasyon kaynakları içerisinde radon % 55'lik bir oranla oldukça etkin bir radyasyon kaynağıdır. Bunun nedeni radonun periyodik cetvele göre soygazlar sınıfına dâhil olup herhangi bir bileşik oluşturmaması ve buna bağlı olarak da mobilitesinin yüksek olmasıdır. Radon gerek yer çatlaklarından gerekse termal sular ve diğer yeraltı suları ile yeryüzüne ulaşmaktadır. Gaz formunda olması nedeni ile canlılar tarafından solunması kaçınılmaz olmaktadır. Radon çıkışı dünya çapında gerçekleşmektedir ve bununla birlikte jeolojik yapıya doğrudan bağlı olarak konumdan konuma konsantrasyonu farklılıklar göstermektedir (İçhedef, 2011).

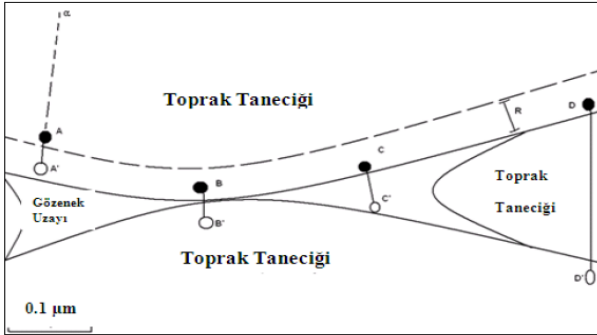
Uranyum bozunum serisinde radyumun (^{226}Ra) bozunumu sonucu oluşan radon, göreceli kısa yarı ömrü süresince yer kabuğundan/topraktan atmosfere doğru göç etmektedir. Bununla birlikte bozunumla oluşan radon atomlarının yalnızca belirli bir kısmı oluştuğu katı materyalden ayrılarak gözenek hacmi içine girebilmektedir. Oluşturduğu katı materyalden kaçarak gözenek hacmi içine giren radon atomlarının kesri emanasyon gücü, emanasyon katsayısı veya emanasyon kesri olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1). (Cothorn and Smith, 1987). Gözenek içine giren radonun atmosfere göçü üç mekanizma ile sağlanmaktadır. Bu mekanizmalar moleküler difüzyon, konveksiyon ve transport olarak adlandırılır. Difüzyon en basit mekanizmadır ve radonun difüzyon ile göçü kısa yarı ömrü nedeniyle birkaç metre ile sınırlıdır. İkinci mekanizma konveksiyon ise viskozite, porozite ve geçirgenlik (permability) gibi parametrelere bağlı olarak toprak içerisinde oluşabilecek termal gradyent olarak tanımlanır. Üçüncü mekanizma ise CO_2 , H_2 , SO_2 ve H_2S gibi gaz taşıyıcılarla radonun hareketi olarak tanımlanır (İçhedef,2011). Radonun jeotermal alanlardaki artışı bu bölgede yaşayan insanlar için risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle topraktaki çıkış konsantrasyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Çalışmamızda İzmir-Seferihisar bölgesi

jeotermal alanlardaki topraklarda periyodik olarak radon konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

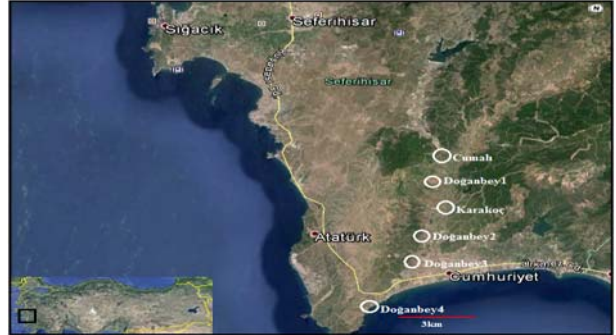
MATERYAL ve YÖNTEM Çalışma Alanı

Arazi çalışmaları Doğanbey fay zonu boyunca, özellikle termal suların gözlemlendiği yerlerde gerçekleştirilmiştir. Proje süresince istasyonlar Cumalı İstasyonu ($38^{\circ}07'23''\text{N}$; $26^{\circ}54'36''\text{E}$), Karakoç İstasyonu ($38^{\circ}05'43''\text{N}$; $26^{\circ}55'02''\text{E}$) Doğanbey1 İstasyonu ($38^{\circ}05'94''\text{N}$; $26^{\circ}54'38''\text{E}$) Doğanbey2 İstasyonu ($38^{\circ}04'88''\text{N}$; $26^{\circ}53'07''\text{E}$) Doğanbey3 İstasyonu ($38^{\circ}04'27.74''\text{N}$; $26^{\circ}53'55.19''\text{E}$), ve Doğanbey4 İstasyonu ($38^{\circ}03'09.09''\text{N}$; $26^{\circ}53'03.48''\text{E}$)'dur (Şekil 2).

Şekil 3'te Cumalı ve Karakoç kaplıcaları görülmektedir. İzmir ili Seferihisar ilçesinin Kovacık Köyü yakınında bulunan Cumalı kaplıcanın suları $55-56^{\circ}\text{C}$ derece sıcaklıktadır. Ilıca suyu oldukça zengin karbonhidrat içermektedir. Karakoç kaplıcaları ise İzmir ili Seferihisar ilçesinin 17 km. güneydoğusunda, Kavakdere Köyü yakınında bulunur. Bu kaplıcanın suyu bol miktarda karbondioksit, bikarbonat ve sodyum klorür içermektedir (Şekil 3).



Şekil 1. Radonun emanasyon sürecini gösteren şematik diagram
Figure 1. Schematic diagram showing the radon emanation process



Şekil 2. Çalışma alanının görüntüsü (Google Earth)
Figure 2. Image of the study region (from google earth)



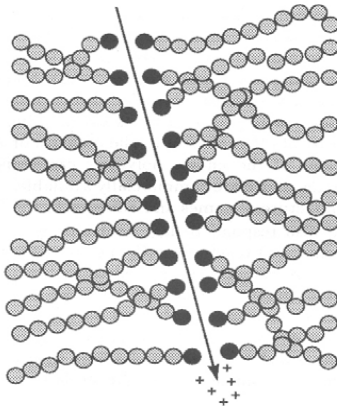
Şekil 3. Cumalı ve Karakoç Kaplıcaları
Figure 3. Cumalı and Karakoç thermal springs

İz Kazıma Film Detektörler İle toprakta radon Ölçümleri

Hareketli bir iyon katı materyalden geçerken yolu boyunca mikroskop altında görülebilen izler oluşturur. Bu izlerin oluşabilmesi için sahip olunan özel ortamlara katı hal iz kazıma dedektörü ya da dielektrik iz dedektörleri denmektedir. Katı hal iz dedektörleri inorganik özellik gösteren cam mika bununla beraber organik özellik gösteren selüloz asetat, selüloz nitrat, polikarbonat ve polietilen gibi katı materyallerden oluşmaktadır.

Radon ürünlerinden yayınlanan alfa parçacıkları plastik detektörler tarafından algılandıkları için radon ölçümünde yaygın kullanılan dedektörlerdir. Bunlar arasında en fazla kullanılan dedektör tipi polimerik plastiklerdir. Selüloz nitrat (LR-115) , poly allyl diglycol karbonat (CR-39) ve Bisphenol A polikarbonat (makrofol) en yaygın polimer detektör türüdür (İçedef 2011) .

Şekil(4) de görüldüğü gibi yüklü bir parçacık plastik detektör içinden geçerken, polimerik zincirin bir kısmının kopmasına neden olmaktadır. Bu olay serbest radikal gibi reaktif türleri meydana getirmektedir. Detektörlerde alfa parçacıklarının etkisi sonucu oluşan bu bölgelere "gizli iz" adı verilmektedir. Detektörler kullanıldıktan sonra detektörler üzerinde gizli izler 102-103 kat büyütülmesi için uygun bir taşıyıcı kimyasal (NaOH veya KOH gibi sıvı çözücüler) ile kazıma işlemine tabi tutulur. Bu izler, genişletme süresi boyunca optik mikroskop altında görünür duruma dönüştürülür (Taşköprü, 2013).

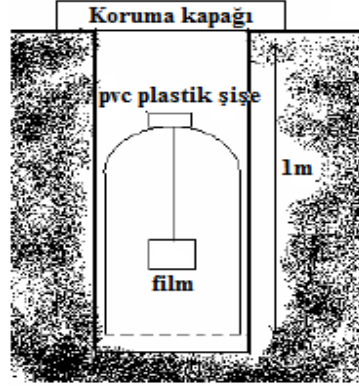


Şekil 4. Alfa parçacıklarının LR-115 filmdeki polimer molekül zincirlerini kırması.

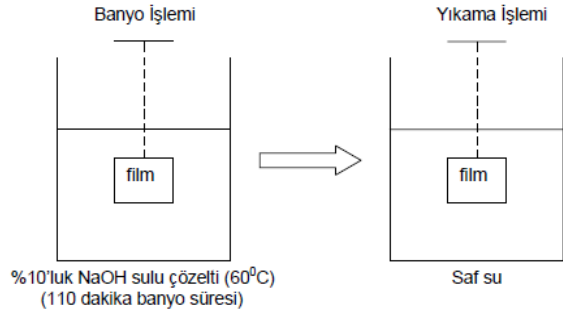
Figure 4. Breaking the chains of polymer molecules of alpha particles in the LR-115 film.

Çalışmada, 1 ile 2cm²'lik kesilen iz kazıma detektör (LR-115) filmleri ölçüm istasyonlarda yaklaşık 1 m derinliğinde toprağa gömüldü (Şekil 5) . Toprağa yerleştirilen filmler 4 haftalık bekleme süresinden sonra çıkartıldı. Bu süreç sonunda laboratuara getirilen filmler

saf su ve %10'luk NaOH çözeltisi içinde 60°C sıcaklıkta 2 saat banyo edildi (Şekil 6). Dijital mikroskop yardımıyla mm² başına düşen alfa izleri görüntülenerek 1 cm² ye düşen izlerin toplam sayısı sayım/cm hafta olarak belirlendi ve daha sonra radyoaktivite birimi olan (Saniyedeki bozunma sayısı/m³=Becquerel/m³) Bq/m³ çevrildi.



Şekil 5. Film detektörün toprağa yerleştirilmesi
Figure 5. Placing a film detector into the soil



Şekil 6. Film detektörlerin banyo edilmesi
Figure 6. Bathing of LR-115 film detectors

Radon gazı bozunum sonucu alfa radyasyonu vermektedir. Alfa ışınları, duyarlı kimyasal madde ile kaplı film üzerinde noktasal bir iz bırakmaktadır. Bu iz filmin banyo edilmesi ile görünür olmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. LR-115 film detektörlerdeki Radon- alfa izleri
Figure 7. Radon-alpha tracks in LR-115 film detectors.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Termal Sularda ve toprakta radon ölçüm sonuçları

İstasyonlarda Temmuz 2005 ile Aralık 2007 tarihleri arasında periyodik olarak ölçülen radon konsantrasyonları Çizelge 1' de verilmiştir. Topraklarda radon konsantrasyonlarının 124 Bq/m³ ile 5890 Bq/m³ arasında değiştiği gözlenmiştir.

Yeryüzünde bir çok bölgede radon çıkışlarını etkileyen farklı faktörler vardır. Bölgenin toprak yapısı

jeolojik formasyonu ve sismik hareketler radon çıkışlarında önemli anomalilere neden olmaktadır. Bu alanda dünya genelinde bir çok çalışma yapılmıştır. Örneğin Hindistan'da fay hattı boyunca LR-115 tip 2 dedektörleri kullanılarak toprak gazı radon emanasyonu incelenmiştir. Çalışmada radon konsantrasyonlarının belirlenmesi yanında radon emanasyonuna meteorolojik parametrelerin etkileri de verilmiştir. Elde edilen radon verilerinin ölçüm yapılan yerdeki depremlerle ilişkili olduğu da gözlenmiştir (Planinic et al., 2004).

Çizelge 1. Örneklem istasyonlarda radon konsantrasyonları.

Table 1. Radon concentrations in sampling stations

Sıra No	Örneklem Tarihi	Cumalı (Bq/m ³)	Karakoç (Bq/m ³)	Doğanbey1 (Bq/m ³)	Doğanbey2 (Bq/m ³)	Doğanbey3 (Bq/m ³)	Doğanbey4 (Bq/m ³)
1	01.07.2005	465	403	419	357	326	202
2	05.08.2005	1674	1736	1008	837	822	760
3	02.09.2005	1690	1349	1161	434	589	1891
4	24.10.2005	1721	2325	1643	2263	1792	1466
5	16.11.2005	496	574	853	450	481	419
6	16.12.2005	217	357	310	403	279	248
7	26.01.2006	341	217	341	124	357	155
8	23.02.2006	341	465	186	202	450	326
9	15.03.2006	822	2015	791	868	589	636
10	10.05.2006	806	760	326	791	837	636
11	08.06.2006	744	868	1085	1147	930	450
12	17.07.2006	915	5890	5580	357	1163	543
13	16.08.2006	915	977	713	868	1612	636
14	13.09.2006	512	667	481	713	651	605
15	18.10.2006	543	1023	558	775	837	961
16	24.11.2006	512	589	558	698	512	512
17	15.12.2006	620	496	791	1101	1070	636
18	10.01.2007	605	496	574	589	744	512
19	16.02.2007	853	713	930	946	496	434
20	16.03.2007	4898	2558	2186	636	574	558
21	12.04.2007	341	372	713	403	248	636
22	25.05.2007	372	620	295	558	893	558
23	26.06.2007	434	124	233	357	372	450
24	13.07.2007	481	481	279	698	729	558
25	24.08.2007	1008	465	806	620	589	837
26	10.09.2007	605	636	465	481	496	837
27	26.10.2007	1085	946	341	760	682	822
28	23.11.2007	527	310	341	279	388	
29	08.12.2007	651	450	1426	2077	961	

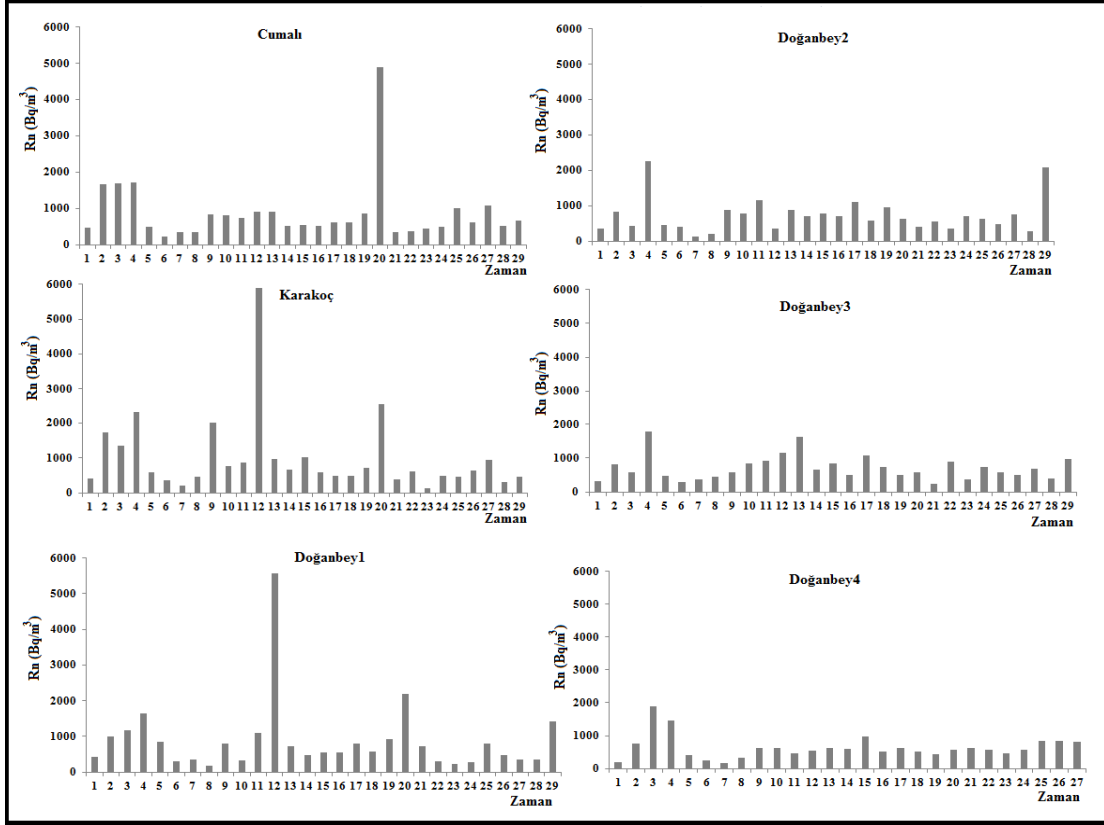
Aynı bölgede yapılan başka bir çalışmada toprak gazı radon aktivite konsantrasyonları istasyon bazında, yatay katman bazında ve büyük toprak grupları bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İstasyon bazında sonuçlar incelendiğinde 6 nolu istasyonun (I-6) oldukça yüksek değerlerle diğer istasyonlardan ayrıldığı görülmüştür. Bu istasyonun konum olarak Doğanbey kaplıcası yakınında yer alması yüksek radon ölçümlerinin sebebi olarak nitelendirilmiştir (İçhedef, 2011).

Çalışmada edilen verilere bakıldığında bölgede bazı zamanlarda ani yükselişler olmaktadır. Cumalı ve Karakoç istasyonlarında 20. çalışma ayında bir artış gözlenmektedir (Şekil 8 ve Şekil9). Bölgenin aktif fay hareketlerinin olduğu bir alanı kaplaması radon ölçümlerinde anomalilere sebep olabilmektedir. Bu tarihlerde

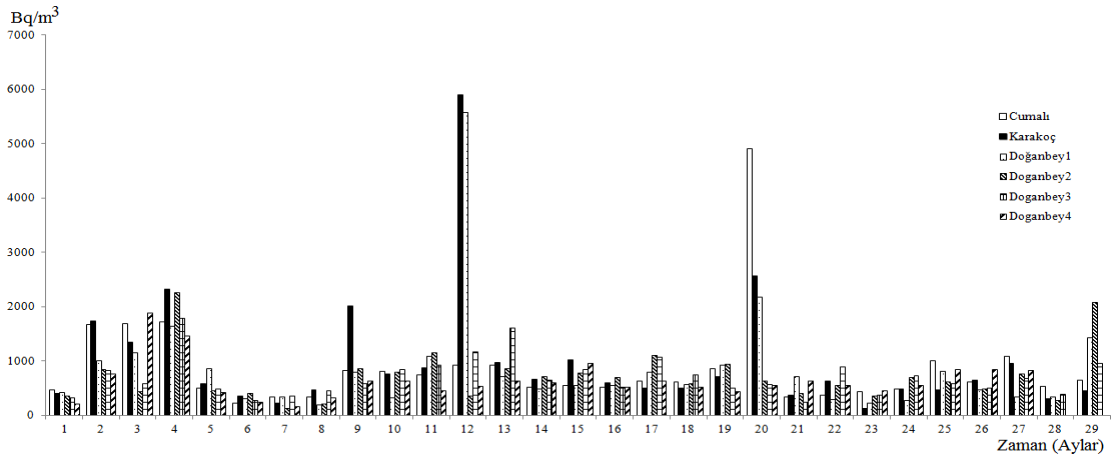
sismik aktivitelere bakıldığında Mart 2007 tarihinde Seferihisar'da 3.1 şiddetinde sismik aktivite meydana geldiği gözlenmiştir. Yine Karakoç ve Doğanbey1 istasyonlarında 12. çalışma ayında (Temmuz 2006) gözlenen artışın Temmuz 2006 da Seferihisar bölgesinde bir dizi sismik aktiviteden kaynaklandığı belirlenmiştir. Görüldüğü gibi jeolojik açıdan termal su kaynaklarının bulunduğu alanlardaki radon konsantrasyonlarındaki artış ile sismik aktiviteler arasında olası bir korelasyon gözlenmiştir. Bu durum deprem tahmin çalışmalarında toprak gazı radonun kullanılabileceği yönünde ve olumlu sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir. İlave olarak topraktaki radon gazının artışı bölge yerleşkeleri için risk teşkil etmektedir. Sürekli radon gazına maruz kalmak sağlık riski oluşturabilmektedir. Bu açıdan

değerlendirildiğinde bölgede hem yerleşim alanlarının varlığı hem de bazı alanlarda sera üretiminin olmasından dolayı bu bölgelerde radon konsantrasyonlarının artışı risk teşkil etmektedir. Ayrıca bu bölgede yerleşim alanlarında yapılan bir çalışmada kapalı alanlarda radon düzeylerinde artış gözlenmiştir. Çalışmada, Doğanbey jeotermal alanında elde edilen bina içi radon konsantrasyonu için en yüksek değer 580 Bq/m³ iken;

en düşük değer ise 417Bq/m³ olarak tespit edilmiştir. Karakoç jeotermal alanında ise bina içi radon konsantrasyonu ölçümlerinde en yüksek değer 638 Bq/m³ en düşük değer ise 417Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Havada radon düzeyi için TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından belirlenen sınır değer 400Bq/m³ olduğu düşünülürse bu değerler oldukça yüksek görülmektedir. (Arıkpınar, 2010).



Şekil 8. İstasyonlardaki radon ölçümleri
Figure 8. Radon measurements at the stations.



Şekil 9. Tüm istasyonların zamana bağlı radon ölçüm sonuçları
Figure 9. Time-dependent radon measurement results of all stations

Ayrıca bazı literatürlerde yapılan çalışmalara bakıldığında elde ettiğimiz sonuçlar ile diğer çalışmalarda elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Örnekleme istasyonlarındaki radon ölçümlerinin birbirleri arasındaki korelasyona bakıldığında Doğanbey1

ve Karakoç arasında verilerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Çizelge3). Bu durumu yukarıdaki grafiklerde de görmek mümkündür. Sismik aktivite ile uyumlu sonuç veren bu iki istasyon bölgedeki radon ölçümlerinin artışının yerkaşu hareketlerinden kaynaklandığını göstermektedir.

Çizelge 2. Toprakta radon gazı çalışmaları
Table 2. Radon gas studies in the soil

Toprakta Radon konsantrasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar	Sonuçlar
İnceöz et al., (2006)	4,3- 9,8 kBq/m ³
İçhedef, M., (2011)	0,1 – 261,1 kBq/m ³
Taşköprü, C., (2014)	0,17 – 15,18 kBq/m ³
Mohammad and Abumurad, (2008)	3,7 – 4,3 kBq/m ³
Ngachin et al., (2008)	5,5 – 10,8 kBq/m ³
Cucos(Dinu) et al., (2017)	0,8 – 169 kBq/m ³
Al-Khateeb et al., (2017)	4,09 - 11,30 kBq/m ³
Mittal et al., (2016)	1,75 – 9,85 kBq/m ³
Lara et al., (2015)	13,6 – 60,6 kBq/m ³
Moreno et al., (2016)	0,2 – 151,6 kBq/m ³
Bu çalışma	0,12 Bq/m ³ ile 5,9 kBq/m ³

Çizelge 3. Örnekleme istasyonlarındaki radon verileri arasında korelasyon analizleri
Table 3. Correlation analysis between radon data in sampling stations

	Cumalı	Karakoç	Doğanbey 1	Doğanbey 2	Doğanbey 3	Doğanbey 4
Cumalı	1	0,191	0,135	0,031	0,031	0,096
Karakoç	0,191	1	0,860	0,011	0,190	0,051
Doğanbey 1	0,135	0,860	1	0,018	0,148	0,018
Doğanbey 2	0,031	0,011	0,018	1	0,474	0,199
Doğanbey 3	0,031	0,190	0,148	0,474	1	0,164
Doğanbey 4	0,096	0,051	0,018	0,199	0,164	1

SONUÇ

Çalışmadaki sonuçlar değerlendirildiğinde toprak gazı radon konsantrasyonlarının jeotermal alanlarda bir takım jeolojik oluşumlardan kaynaklı artış gösterdiği belirlenmiştir. Radonun bazı bölgelerde değişiklik göstermesi bölgede konsantrasyonunun artmasına neden olmuş ve risk teşkil etmektedir. Toprak altı radon gazı ölçümleri değerlendirildiğinde, radonun artışının iki nedenden kaynaklandığı belirtilebilir. Birincisi jeotermal suların yeraltından

geçerken kayaçları yıkaması ve radonu taşınım yolu ile yeryüzüne çıkarması, ikincisi ise bölgede meydana gelen sismik aktiviteler nedeni ile radonun yerkaşu çatlaklarından sızıp yeryüzü toprak zemininden havaya karışması ve artış göstermesi. Her iki nedene bağlı olarak bu bölgede radon düzeylerinde artış görülmüştür. Bu durum yerleşim alanları için sürekli bir risk oluşturmaktadır. Bu bölgelerde radon haritası çıkartılarak yerleşim alanlarının bu verilere göre uygun yerlere yapılması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Al-Khateeb, H.M., Aljarrah, K.M., Alzoubi, F.Y., Alqadi M.K., Ahmad, A.A., 2017, The correlation between indoor and in soil radon concentrations in a desert climate, Radiation Physics and Chemistry 130, 142–147.
- Arıkpınar, A. 2010. İzmir Seferihisar Ve Balçova Jeotermal Bölgelerdeki Binalarda Radon Düzeylerinin Belirlenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- Başdan, N. 2013. Denizli Bölgesindeki Jeotermal Alanlarda Radon Ölçümleri İle Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, nükleer Bilimler ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Cothern, C.R. and James E. Smith. 1987. Environmental Radon. Environmental science research, Plenum Press, New York, v.35, 86-87.

- Cucos, (Dinu) A., Papp B., Dicu, T., Moldovan, M., Burghel, D. B., Moraru, I. T., Tenter, A., Cosma, C., 2017, Residential, soil and water radon surveys in north-western part of Romania, *Journal of Environmental Radioactivity* 166, 412- 416.
- İçhedef, M., 2011, Radon Difüzyon Hızının farklı büyük toprak gruplarına göre değişiminin incelenmesi, (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E. And Doğru, M., 2006, Measurements of soil gas radon in active faults systems: A case study along the North and East anatolian fault systems in Turkey, *Radiation Measurements*, 41, 349-353.
- Kalınç Y., 2006, Dikili’de Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lara, E., Rocha, Z., Palmieri, H.E.L., Santos, T.O., Rios F.J., and Oliveira, A.H., 2015, Radon concentration in soil gas and its correlations with pedologies, permeabilities and ²²⁶Ra content in the soil of the Metropolitan Region of Belo Horizonte – RMBH, Brazil, *Radiation Physics and Chemistry* 116, 317–320.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Kwato Njock, M. G., and Nourredine, A., 2008, Radioactivity level and soil radon measurement of a volcanic area in Cameroon, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1056 – 1060 p.
- Mittal, S., Rani, A., Mehra, R., 2016, Radon levels in drinking water and soil samples of Jodhpur and Nagaur districts of Rajasthan, India, *Applied Radiation and Isotopes* 113, 53–59.
- Moreno, V., Bach, J., Font, LL, Baixeras, C., Zarroca, M., Linares, R., and Roque, C., 2016, Soil radon dynamics in the Amer fault zone: An example of very high seasonal variations, *Journal of Environmental Radioactivity* 151, 293-303.
- Ohammad, A. I and Abumurad, K. M., 2008, Evaluation of radon gas concentration in the air of soil and dwellings of Hawar and Foara villages, using (CR-39) detectors, *Radiation Measurements*, 43, 452- 455 p.
- Plannic, J., Radolic., V. and Vukovic, B., 2004, Radon as an earthquake precursor, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 530, 568–574.
- Taşköprü, C. 2014. Küçük Menderes Havzası Topraklarında Radon Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, nükleer Bilimler ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Vengosh A., Helvacı C. and Karamenderesi İ. H., 2002, Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey, *Applied Geochemistry*, 17, 163–183.