Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **20** (2020) 035802 (518-527) AKU J. Sci. Eng. **20** (2020) 035802 (518-527)

DOI: 10.35414/akufemubid.698178

Araştırma Makalesi / Research Article

Toprak İçi Radon ve Karbondioksit Gaz Konsantrasyonlarının Değişiminin Depremler ile İlişkisinin İncelenmesi: Karabayır (Eskişehir) Örneği

Didem YASİN[1]

[1] *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26040, Eskişehir.*

e-posta: dugurlu@ogu.edu.tr ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3063-9916

Geliş Tarihi: 04.03.2020 Kabul Tarihi: 08.06.2020

Anahtar kelimeler
Radon; CO_2; Deprem; Eskişehir

Öz

Depremler ile toprak içi radon ve CO_2 gaz konsantrasyonlarının değişimi birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir Karabayır mevkiinde Temmuz 2015-Ekim 2015 tarihleri arasında toprak içi günlük radon ve CO_2 gaz konsantrasyonu ölçümleri ile Eskişehir ve çevresinde meydana gelen depremler arasındaki olası ilişkiyi araştırmaktır. Sonuçların değerlendirilmesinde, Ocak 2015 ile Kasım 2015 tarihleri arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından kaydedilmiş depremler ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen yağış, hava sıcaklığı, nemlilik, hava basıncı verilerinden yararlanılmıştır. Ölçülen toprak gazı radon konsantrasyonları 1600-18000 kB/m^3 ve CO_2 gazı konsantrasyonlarının 3100-21800 ppm (% 0.3-2.18) arasında değiştiği gözlenmiştir. Çalışmada bazı depremler ile ilişkili olabileceği düşünülen radon ve CO_2 konsantrasyonlarındaki değişimler belirlenmiştir.

Investigation of the Relationship Between the Change in Radon and Carbon Dioxide Soil Gas Concentrations and Earthquakes: Karabayır (Eskisehir) Case Study

Keywords
Radon; CO_2; Earthquake; Eskisehir

Abstract

The change of radon and CO_2 gas concentrations due to earthquakes is evaluated by many researchers. The aim of this study is to investigate the possible relationship between daily radon and CO_2 soil gas concentration measurements in July 2015-October 2015 and the earthquakes occurring in Eskişehir and its surroundings. In evaluation of the results, the earthquakes between January 2015 and November 2015 recorded by the Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute and the precipitation, air temperature, humidity and air pressure data measured by the General Directorate of Meteorology were used.The measured soil gas radon concentrations were observed to vary between 1600-18000 kB/m^3 and CO_2 gas concentrations ranged between 3100-21800 ppm (0.3-2.18%). In this study, changes in radon and CO_2 concentrations, which are thought to be related to some earthquakes, were determined.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

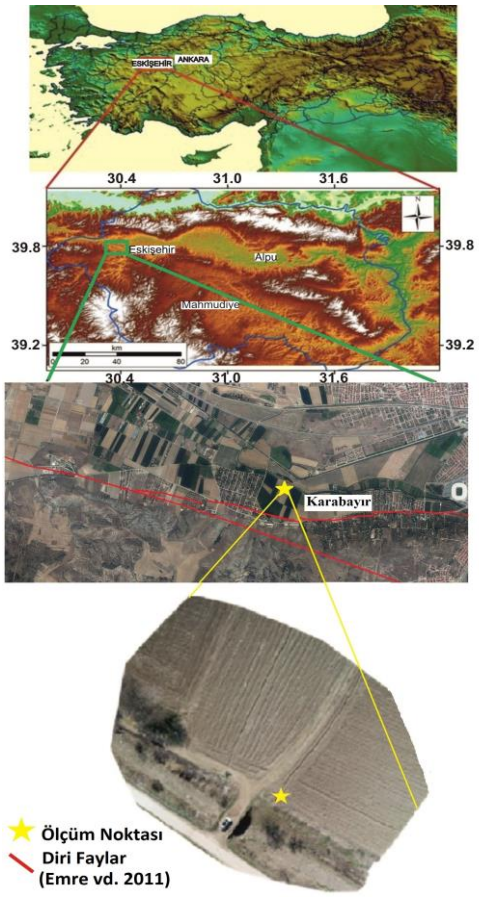
1. Giriş

Yerkabuğunda kayaçlarda, toprakta ve suda doğal olarak bulunan ve radyoaktif bir element olan radon, soygaz niteliğinde olması nedeni ile kimyasal bileşik oluşturmamaktadır. Bu özelliğinden dolayı radon konsantrasyonundaki artış ya da azalmalar fay hatlarında oluşan deprem aktiviteleri ile ilişkilendirilmesine ve deprem izleyicisi olarak kullanılmasına yol açmıştır. Sismik aktiviteler ile radon gazı konsantrasyonundaki değişimin incelenmesi konusunda ilk çalışma 1956 yılında Okobe tarafından yapılmıştır (Khan ve Qureshi 1994). Yapılan bu çalışmaya göre günlük radon gazı ölçümleri ile sismik aktivite arasında pozitif bir ilişki görülmüştür. Sismik aktivite ile radon değeri artabilmekte veya azalabilmekte, anomaliler ortaya çıkmaktadır. Kokusuz, renksiz bir soygaz olan radon (^{222}Ra), uranyum bozunum serisinde radyumun (^{226}Ra) bozunumu sonucu oluşur. Yarılanma ömrü 3.85 gündür. Radonun göçü difüzyon, moleküler

taşınım ve konveksiyon yolu ile olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşir. Radonun difüzyon ile göçü yarılanma ömrünün kısa olması nedeni ile birkaç metre ile sınırlıdır. Taşınım CO_2, SO_2, H_2S, H_2 gibi gazlar ile sağlanır. Konveksiyon ise viskozite, geçirimlilik ve gözeneklilik gibi parametrelere bağlı olarak gelişir (İçhedef 2011; Saç 2017). Toprak içi deprem öncesi veya deprem sonrasında radon ve CO_2 gaz çıkışlarının arttığı ya da azaldığını belirten (Teng *et al*. 1986; Heinicke and Koch 2000; Yang *et al*. 2003; Italiano *et al*. 2005; Saç ve Camgöz, 2005; Zmazek *et al*. 2005; Hartman and Levy 2006; Yüce *et al*. 2007; Ramola *et al*. 2008; Fu *et al*. 2009; Kulalı 2009; Ramola 2009; Italiano *et al*. 2009; Yasin 2012; Woith 2015; Jilani *et al*. 2017; Deb *et al*. 2018) ve radon ve CO_2 gibi gaz çıkışları ile fayların belirlenmesi amaçlı (Kuşçu *et al*. 1992; Guerra and Lombardi 2001; Ioannides 2003; Fu *et al*. 2005; Ciotoli *et al*. 2007; Lan *et al*. 2007; Kop 2010; Walia *et al*. 2010; Gülbay 2015; Yüce *et al*. 2017, Yıldız *et al*. 2018) çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Radonun kısa yarılanma ömrüne (3.85 gün) sahip olması nedeni ile uzun mesafelere taşıyıcı gazlar (CO_2, CH_4 veya N_2) ile taşınabilmektedir (Durrance and Gregory 1990; Ciotoli *et al*. 1999; Yüce *et al*. 2015). Toprak içi radon ve CO_2 gaz konsantrasyonları ile depremler arasındaki ilişkiyi araştırmak için yapılan bu çalışmada günlük ölçülen radon ve CO_2 değerlerinin Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından kaydedilmiş olan depremler ile değişimleri incelenmiştir.

1.1 Çalışma Alanı

Toprak içi radon ve karbondioksit gazı ölçüm için seçilen saha, Eskişehir şehir merkezinin yaklaşık olarak 7 km güneybatısında Karabayır mevkiinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu lokasyonun seçim nedeni aktif fay hattının geçtiği alan olmasından dolayıdır (Emre vd., 2011). Çalışma alanı, Ege-Batı Anadolu bloğunu kuzeydoğuda Orta Anadolu bloğundan ayıran sağ yönlü doğrultu atımlı normal bileşenli Eskişehir Fay Zonu'nda (Altunel ve Barka 1998) yer almaktadır.

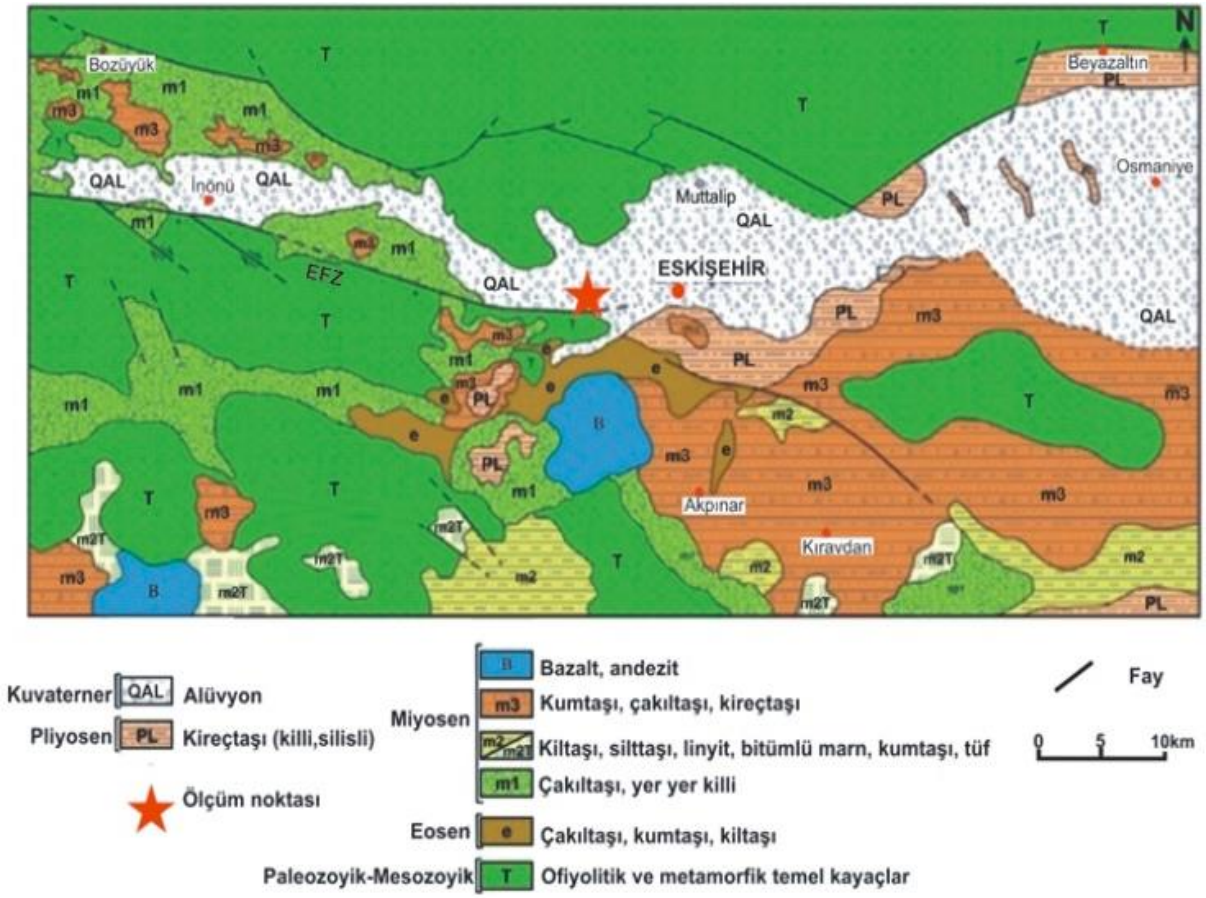


Şekil 1. Yerbulduru haritası

Karabayır mevkiinde 2013 yılında toprak içi 31 noktada CO_2 ve radon gazı ölçümleri yapılmış, diğer noktalara göre radon ve CO_2 değeri yüksek olduğu gözlendiğinden, bu saha ölçüm sahası olarak seçilmiştir. Eskişehir ve çevresinin jeolojisi, hidrojeolojisi, tektonik oluşumu, depremselliği, depremsellik ile olası ilişkili olabilecek hidrojeolojik değişimleri içeren çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (McKenzie 1972; Esen vd. 1975; Ölmez 1985; Şengör vd. 1985; Şaroğlu vd. 1987; Barka *et al*. 1995; Gözler vd. 1997; Altunel ve Barka 1998; Sakınç *et al*. 1999; Yaltırak *et al*. 1998; Koçyiğit 2000; Bozkurt 2001; Aksu vd., 2002; Yaltırak 2002; Dirik ve Erol 2003; Yaltırak *et al*. 2005; Tokay ve Altunel 2005; Ocakoğlu 2007; Gündoğdu 2009; Yüce *et al*. 2010; Şengüler 2011; Şengüler 2013; Seyitoğlu *et al*. 2015)

1.2 Jeoloji

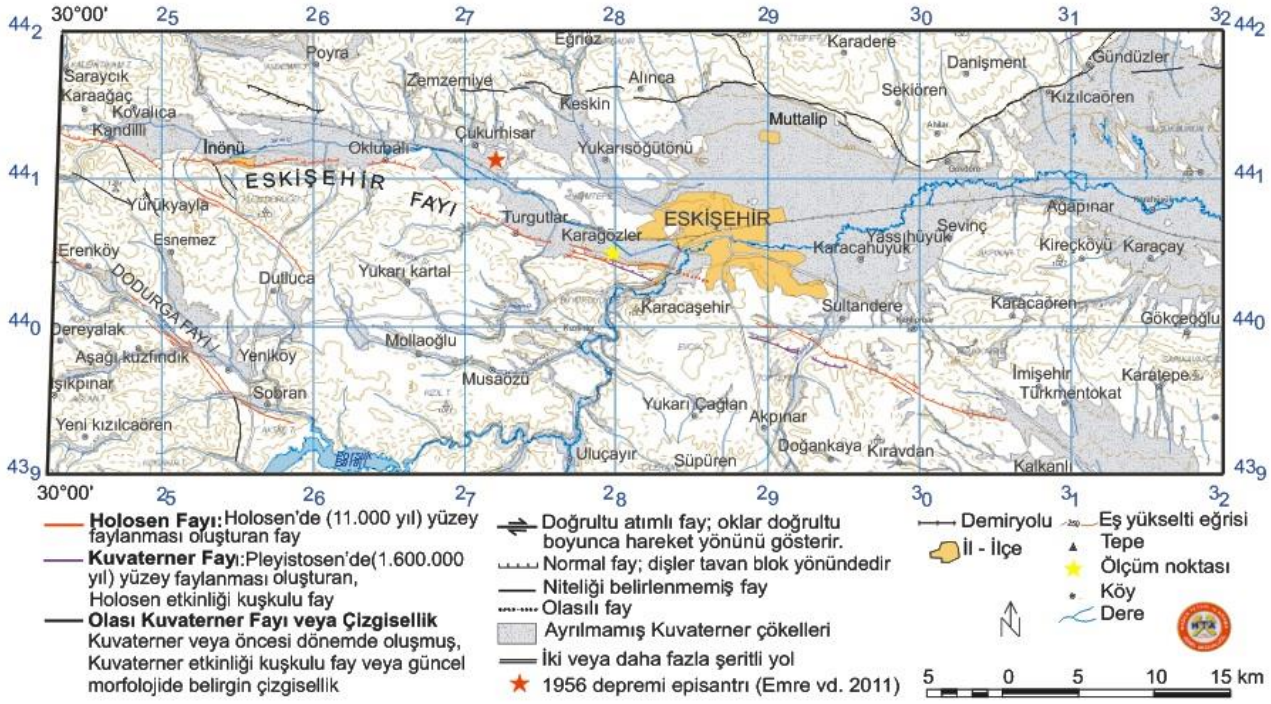
Temel kayaçlar Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Mesozoyik yaşlı ofiyolitlerden oluşmaktadır. Paleozoyik ve Mesozoyik birimler üzerine uyumsuz olarak gelen çakıltaşı, kumtaşı ve kiltaşlarından oluşan m1 serisi, çakıltaşı, yeşil renkli kiltaşı, kömür, gri renkli kumtaşı, koyu gri yeşil renkli silttaşı, bitümlü şeyl, silttaşı, kömür ve yeşil kiltaşı, kumtaşı ve konglomeradan ardalanmalı olarak oluşan m2 serisi mevcuttur.. Tüf ve tüfit alanın güneyinde m2 serisi içerisinde görülmektedir. m2 üzerinde ise kireçtaşı ve çakıltaşından oluşan m3 serisi bulunmaktadır. Pliyosen yaşlı birimleri konglomera ve kiltaşı litolojisi temsil etmektedir.



Şekil 2. Eskişehir ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Şengüler, 2011'den değiştirilerek).

Çalışma alanı, tektonik açıdan Eskişehir Fay Zonu'nda (EFZ) yer almaktadır (Şekil 3). Batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a kadar uzanan fay zonu (Altunel ve Barka (1998)), Emre vd. (2011) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay haritasında Dodurga Fayı, Eskişehir Fayı ve Kaymaz Fayı olarak ayrı ayrı adlandırılmıştır. Ölçüm sahasında Eskişehir Fayı bulunmaktadır. Bölge deprem

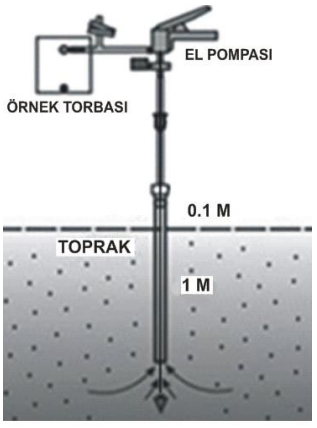
aktivitesi açısından değerlendiğinde, Eskişehir ve çevresinde son 100 yıllık aletsel ölçüm dönemi içerisinde meydana gelen en büyük deprem büyüklüğü 6.4 olan 20 Şubat 1956 depremidir. Depremin merkez üssü Eskişehir'in 10 km batısında yer alan Çukurhisar yakınlarındadır (Öcal 1959). McKenzie (1972) tarafından yapılan çalışmada depremin odak mekanizması sağ yanal doğrultu atım bileşeni bulunan normal faylanma olarak ifade edilmiştir (Tokay ve Altunel 2005).



Şekil 3. Eskişehir ve Çevresinin Diri Fay Haritası (Emre vd. 2011).

2. Materyal ve Metot

Ölçüm sahası olarak seçilen belirlenen alanda 22 Temmuz - 27 Ekim 2015 tarihleri arasında günlük toprak içi gaz ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin toplam sayısı 89 adettir. Yağıştan dolayı toprak içerisinde oluşan nem, gaz çıkışını engellediğinden dolayı, yağışın fazla olduğu zamanlarda ölçüm cihazına zarar vermemek ve ölçümlerin etkilenmemesi için ölçüm yapılmamıştır. Toprak içi gaz örneklemesi için 120 cm uzunluğunda, 1 cm çapında içi boş çelik boru, ucuna yerleştirilen konik, mermi şeklindeki uçlar ile birlikte, yaklaşık 100 cm derinlikte toprak içine çakılmış ve daha dar çaplı çelik çubuk yardımıyla, çubuk içerisinden toprak içerisine doğru ittirilerek konik ucun 3-4 cm daha derine itilmesi sağlanmıştır. Ancak öncelikle, toprak neminden etkilenme olasılığına karşın, içi boş çelik boru içerisinden salınan ince demir çubuğun ucu kontrol edilerek, toprak içinde nem olup olmadığı belirlenmiş ve işleme güvenli şekilde devam sağlanmıştır. Toprak içerisinde konik uç ile çelik boru arasında oluşturulan boşluktan, gaz ölçümü ve gaz örneklemesi el pompası yardımı ile yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Toprak içi gaz ölçümü/örneklemesi kroki görüntüsü

CO_2 gazı ölçümü arazide West Sistem firmasına ait Licor 820 model cihaz ile yapılmıştır. Cihaz gaz toplayıcı, el bilgisayarı ve ana üniteden oluşmaktadır. Cihazın ölçüm aralığı 0-20 000 ppm

(% 0-20) aralığında olup, daha yüksek değerde olan CO_2 ölçümlerinde doğruluk yüzdesi düşmektedir.

Radon gazı ölçümünde ise 3 litrelik, sızdırmaz polipropilen gaz örnekleme torbaları kullanılmış ve Sarad firmasına ait GEO-RTM 2128 cihazı ile ölçüm yapılmıştır.

Ayrıca meteorolojik veriler de (hava sıcaklığı, yağış, nemlilik ve hava basıncı) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Böylece meteorolojik faktörlerden kaynaklı bir etkilenme durumu var ise buna göre düzeltme veya değerlendirme yapılmıştır.

Sismik olaylardaki etkilerin (E), sismik olaydan ötürü ortaya çıkan enerjinin alansal değişimi ile orantılı olduğu hipotezi dikkate alınarak (Hartman ve Levy 2006), 1 Ocak – 15 Kasım 2015 tarihleri arasında Eskişehir merkez olmak üzere merkeze uzaklığı 500 km olan tüm depremlere ilişkin olarak, depremin o istasyondaki etki değeri hesaplanmıştır. Etki değerinin merkez üssüne olan uzaklığı (D) ve deprem büyüklüğünün üssel değeri (10^M) belirlenerek, $10^M/D^2$ değerleri yani her bir 0.2'den büyük olan depremler ve bölgenin tektoniği ile ilgili havzada meydana gelen depremler seçilmiştir (Tablo 1) (Hartman ve Levy (2006)'da etki değeri 0.2'den büyük olan depremler dikkate alınmıştır).

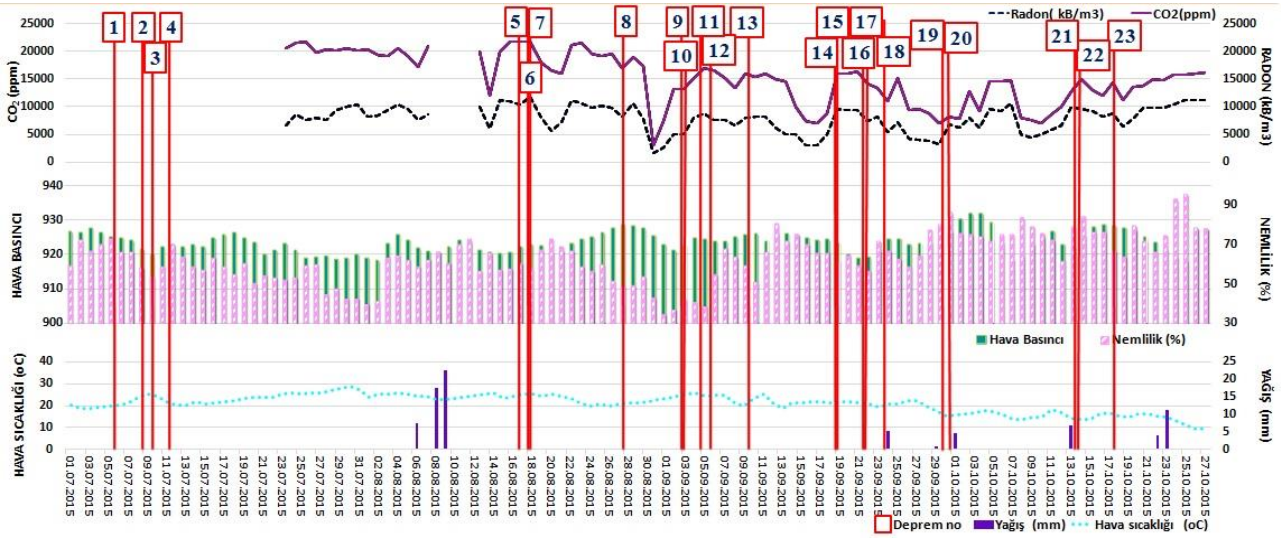
Çizelge 1. Etki değeri 0.2'den büyük depremler için hesaplanan deprem etki ve merkez üssüne olan uzaklık değerleri

Deprem No	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük	Yer	Etki Değeri	Merkez üssüne olan uzaklık (km)
1	6.7.2015	39.1452	29.0292	8	2.6	Kütahya	0.21	43.5
2	9.7.2015	39.155	29.0397	4.6	2.6	Kütahya	0.21	43.5
3	10.7.2015	39.216	29.4045	7.4	2.8	Kütahya	0.22	53.5
4	12.7.2015	39.8077	30.5487	4.8	2.8	Eskisehir	0.25	50.2
5	17.8.2015	39.8022	30.5485	5.2	2.9	Eskisehir	0.26	55.2
6	18.8.2015	39.8082	30.5358	8.2	2.5	Eskisehir	0.22	37.9
7	18.8.2015	39.8243	30.5528	5.3	2.6	Eskisehir	0.23	41.6
8	28.8.2015	39.0978	29.1465	5.4	2.5	Kütahya	0.21	38.8
9	3.9.2015	39.1307	29.1247	10.9	4.1	Kütahya	0.5	158.6
10	3.9.2015	39.1535	29.1593	9.1	2.6	Kütahya	0.21	43.54
11	5.9.2015	39.1262	29.1537	5	2.9	Kütahya	0.22	60.08
12	6.9.2015	39.142	29.1428	4.3	2.9	Kütahya	0.22	60
13	10.9.2015	39.1277	29.1352	4.4	2.7	Kütahya	0.21	48.85
14	19.9.2015	39.339	29.0393	5.5	2.4	Kütahya	0.21	34.58
15	19.9.2015	39.8183	30.4638	5.4	4	Eskisehir	0.91	104.8
16	22.9.2015	39.1413	29.1262	10.1	4.1	Kütahya	0.51	157.1
17	22.9.2015	39.1385	29.1097	4.9	4.1	Kütahya	0.5	158.6
18	24.9.2015	39.342	29.0328	5	3	Kütahya	0.23	65.9
19	30.9.2015	39.3352	29.0303	5	3.2	Kütahya	0.24	81.2
20	1.10.2015	39.3488	29.013	5.3	3.2	Kütahya	0.24	81.2
21	14.10.2015	39.1508	29.0675	4.6	4.2	Kütahya	0.58	165.3
22	14.10.2015	39.1485	29.0568	5	3.3	Kütahya	0.25	89.3
23	18.10.2015	39.163	29.1423	7.9	3.7	Kütahya	0.53	107.9

3. Bulgular ve Tartışma

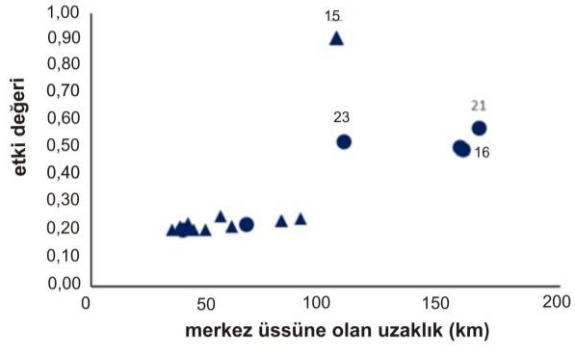
Sonuçların değerlendirilmesinde Ocak 2015-Kasım 2015 tarihleri arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından elde edilen depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kayıtlarından yararlanılmıştır. Ayrıca CO_2 ve radon gazı konsantrasyonlarının meteorolojik etkiler

(hava sıcaklığı, yağış, nemlilik ve hava basıncı) ile değişimlerini incelemek amacı ile zamana karşı CO_2, radon, hava basıncı, nemlilik, hava sıcaklığı, yağış grafikleri çizilmiştir (Şekil 5). Etki değeri 0,2'den büyük olan depremler (Çizelge 1) grafiklere eklenerek karşılaştırılmıştır.

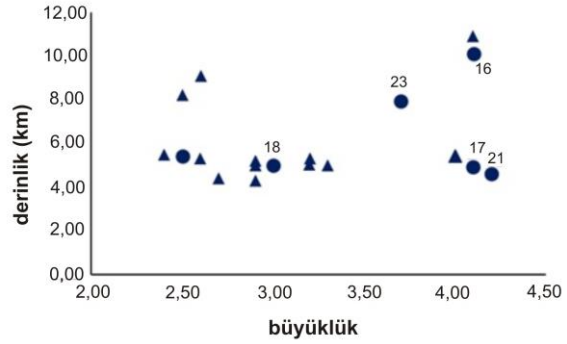


Şekil 5. Zamana karşı radon- CO_2-barometrik basınç- hava sıcaklığı-nemlilik- yağış değişim grafiği

Şekil 5'te "x" ekseni zaman ile ifade edilmektedir. En üstteki grafikte birinci "y" ekseni CO_2, ikinci "y" ekseni radon konsantrasyonunu, ortada yer alan grafikte birinci "y" ekseni hava basıncını, ikinci "y" ekseni nemliliği ve en alttaki grafikte ise birinci "y" ekseni hava sıcaklığını, ikinci "y" ekseni ise yağışı göstermektedir. Ayrıca grafikte yer alan dikey kırmızı çizgiler etki değeri 0.2'den büyük olan depremleri ifade etmektedir. Meteorolojik etkiler ile ilgili genel olarak, herhangi bir sismik aktivitenin gözlenmediği durumda hava sıcaklığı arttığında CO_2 ve radon gazlarında moleküler hızın artmasına paralel olarak konsantrasyonlarında da artış olduğu görülmektedir. Yağış anında gözeneklerin içi su ile dolduğu için radon ve CO_2 yayılımını engellemektedir. Yağıştan hemen sonra ise radon konsantrasyonunda artış görülmektedir (Zmazek *et al*. 2002; Walia *et al*. 2005; Yüce *et al*. 2010; Yasin 2012; Kulalı 2018). Şekil 5'te görüldüğü gibi 1, 2, 3 numaralı depremler gaz ölçüm zamanından önce meydana gelen depremlerdir. 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20 ve 22 numaralı depremleri öncesinde radon ve CO_2 gazı konsantrasyonlarında azalma, 8, 16, 17, 18, 21 ve 23 numaralı depremler öncesinde ise radon ve CO_2 gazı konsantrasyonlarında artış görülmektedir. Merkez üssüne olan uzaklık-etki değeri (Şekil 6) ve büyüklük-derinlik grafiklerinde (Şekil 7) öncesinde radon ve CO_2 gazı konsantrasyonlarında azalma görülen depremler üçgen simge ile artış görülen depremler ise yuvarlak simge ile gösterilmiştir. Grafiklere göre öncesinde radon ve CO_2 gazı konsantrasyonlarında artış meydana getiren depremlerin, büyüklüğü 3.5'ten büyük, etki değeri 0.5'ten ve merkez üssüne olan uzaklığı 100 km'den fazla olan, genellikle derinliği 8 km'nin üzerinde olan depremler olduğu izlenmiştir.

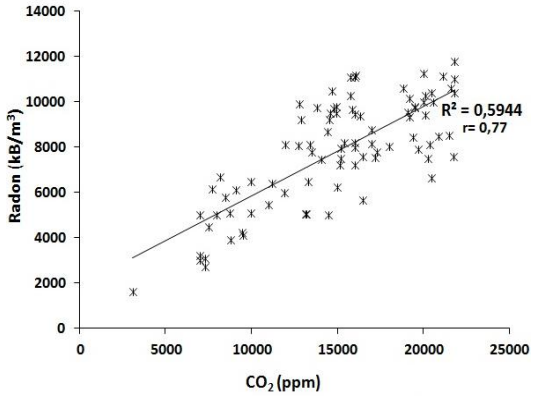


Şekil 6. Merkez üssüne olan uzaklık-etki değeri grafiği



Şekil 7. Büyüklük -derinlik grafiği

Ayrıca CO_2 gazının radon gazı ile birlikte değiştiği de gözlenmiştir (Şekil 8). Rn ve CO_2 arasındaki doğrusal ilişki de CO_2 in bu çalışmada ölçülen radon gazı için taşıyıcı gaz olduğu anlaşılmaktadır



Şekil 8. Radon-CO_2 korelasyon grafiği

4. Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre, CO_2 gazının genellikle radon gazı ile birlikte değiştiği ve bu değişimin CO_2 gazının radon için taşıyıcı gaz niteliğinde olmasından kaynaklanabileceği, ancak ileride yapılabilecek çalışmalarda karbon-13 izotop analizi yapılması durumunda sonuçlara göre CO_2'in geldiği köken ile ilgili bilgi öğrenilerek, depremselliği ile ilişkisi hakkında daha ayrıntılı bir yorum yapılabilecektir. Bu çalışma bölge için pilot bir çalışma niteliğindedir. Daha ayrıntılı ve fazla sayıdaki noktasal ölçümlerin yapılması durumunda daha belirgin sonuçların elde edilebileceği dikkate sunulur.

Teşekkür

Arazi çalışmalarında desteklerinden dolayı Ahmet Hilmi GÜLBAY'a, meteorolojik verilerin temininindeki katkılarından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Destek Hizmetleri Daire Başkanlığı Şube Müdürü Sayın Mehmet ERGÜN'e; makaleye yaptığı katkılarından dolayı Prof. Dr. Galip YÜCE'ye; önerileri ve yorumları ile makalenin gelişmesini sağlayan hakemlere teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

Altunel, E., ve Barka, A., 1998. Eskişehir Fay Zonunun İnönü-Sultandere Arasında Neotektonik Aktivitesi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **41(2)**, 41-52.

Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F., and Şengör, A.M.C., 1995. The İsparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *IESCA 1995 Proceedings*, 13-18.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Kataloğu www.koeri.boun.edu.tr

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, **14**, 3–30.

Ciotoli, G., Etiope, G., Guerra, M., and Lombardi, S., 1999. The detection of concealed faults in the Ofanto Basin using the correlation between soil-gas fracture surveys. *Tectonophysics*, **301(3-4)**, 321-332.

Deb, A., Gazi, M., Ghosh, J., Chowdhury, S., and Barman, C., 2018. Monitoring of soil radon by SSNTD in Eastern India in search of possible earthquake precursor. *Journal of Environmental Radioactivity*, **(63-70)**, 184-185.

Durrance, E. M., and Gregory, R. G., 1990, Helium and radon transport mechanisms in hydrothermal circulation systems of Southwest England. *Geochemistry of Gaseous Elements and Compounds*, edited by E. M.Durrance et al. **30(1)**, 337-352.

Dirik, K., and Erol, O., 2003. Tectonomorpholgic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia-Turkey. *Turkish Association of Petroleum Goelogists Special Publication*, **5**, 27-46.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., ve Özalp, S., 2011. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi Eskişehir (NJ 36-1) Paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Seri No:**15**, Ankara.

Esen, E., Yakal, M,, Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dirik, M., ve Atalay E., 1975. Eskişehir and İnönü Plains. *DSI Hydrogelogical Investigation Report*, **49**.

Fu, C. C., Yang, T. F., Walia, V., and Chen, C. H. 2005. Reconnaissance of soil gas composition over the buried fault and fracture zone in southern Taiwan. *Geochemical Journal,* **39**, 427-439.

Fu, C. C., Yang, T. F., Walia, V., Liu, T. K., Lin, S. J., Chen, C. H., and Hou, C. S. 2009. Variations of soil–gas composition around the active Chihshang Fault in a plate suture zone, eastern Taiwan. *Radiation Measurements*, **44(9-10)**, 940-944.

Guerra, M., and Lombardi, S., 2001. Soil-gas method for tracing neotectonic faults in clay basins: the Pisticci field (Southhern Italy). *Tectonophysics,* **339**, 511-522.

Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E., ve Asutay, H. J., 1997. Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu,* **9973**.

Gülbay, A., 2015. Gaz Ölçümleri İle Örtülü Kırık Zonlarının Belirlenmesi: Güzelburç Kırığı, Antakya. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 69.

Gündoğdu, E., 2009. Eskişehir Fayı'nın Kinematiği, Depremselliği ve Uzaktan Algılama Yöntemi ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 104.

Hartman, J., and Levy, J., 2006. The influence of seismotectonics on precursory changes in groundwater composition for the 1995 Kobe earthquake, Japan. *Hydrogeology Journal*, **14(8)**, 1307- 1318.

Heinicke, J., and Koch, U., 2000. Slug Flow – A Possible Explanation for Hydrogeochemical Earthquake Precursors at Bad Brambach, Germany. *Pure and Applied Geophysics*, **157**, 1621-1641.

Ioannides, K. G., Papachristodoulou, C., Karamanis, D. T., Stamoulis, K. C. and Mertzimekis, T. J., 1996. Measurements of ^{222}Rn migration in soil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* **208 (2***),* 541-547.

Italiano, F., Caracausi, A., Favara, R., Innocenzi, P., and Martinelli, G., 2005. Geochemical monitoring of cold waters during sesimicity: implications for earthquake-induced modification in shallow aquifers. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, **16(4)**, 709-729.

Italiano, F., Bonfanti, P., Ditta, M., Petrini, R., and Slejko, F., 2009. Helium and carbon isotopes in the dissolved gases of Friuli Region (NE Italy): Geochemical evidence of CO_2 production and degassing over a seismically active area. *Chemical Geology*, **266(1-2)**, 76-85.

İçhedef, M.,2011. Radon Difüzyon Hızının farklı büyük toprak gruplarına göre değişiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 144.

Jilani, Z., Mehmood, T., Alam, A., Awais, M., and Iqbal, T., 2017. Monitoring and descriptive analysis of radon in relation to seismic activity of Northern Pakistan. *Journal of Environmental Radioactivity*, **172**, 43–51.

Khan, H. A., and Qureshi, A. A., 1994. Solid State Nuclear Track Detection: A Useful Geological / Geophysical Tool. *Nuclear Geophysics*, **8(1)**, 1-37.

Koçyiğit, A., 2000. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma. *TPJD Özel Sayı,* **5**, Aksaray, 1-25.

Kop, A., 2010. Faylarla İlişkili Jeotermal Alanlarda Radon Gazı Ölçümlerinin Önemine İlişkin Bir Örnek, Hartlap Kaplıcası, Kahramanmaraş. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi, **23*****(1),** 39-52.

Kulalı, F., 2009. Topraktaki radon konsantrasyonu ölçümü ve deprem ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 77.

Kulalı, F., Akkurt, I., and Sezer, M., 2018. The correlation of the seismic activities and radon concentration in soil gas. *Arabıan Journal of Geoscıences*, **11**, 55-63.

Kuşçu, İ., Barka, A. A., Kato, H., ve Katoh, K., 1992. Kuzey Anadolu Fayı Zonundaki Bazı Faylarda Radon Gazı (Alpha Izı) Ölçümleri. *Jeoloji Mühendisliğ*i, **40**, 33-40.

McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, **30(2)**, 109–185.

Ocakoğlu, F., 2007. A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, **31**, 91-103.

Öcal, N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir zelzelesi'nin makro ve mikrosismik etüdü. *İTÜ Sismoloji Enstitüsü Yayını*, **49**.

Ölmez, E., ve Yücel B., 1985. Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu*, **7798**, 28.

Ramola, R. C., Prasad, Y., Prasad, G., Kumar, S., and Choubey, V. M., 2008. Soil-gas radon as seismotectonic indicator in Garhwal Himalaya. *Applied Radiation and Isotopes*, **66(10)**, 1523-1530.

Ramola, R. C., 2009. Relation Between Spring Water Radon Anomalies and Seismic Activity in Garhwal Himalaya. *Acta Geophysica*, **58(5)**, 814-827.

Saç, M. M., ve Camgöz, B., 2005. İzmir'de sismik aktiviteler ile radon konsantrasyonları arasındaki korelasyonun incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **7(3**), 47-54.

Saç, M. M., 2017. İzmir-Seferihisar Jeotermal Alanlardaki Topraklarda Radon Konsantrasyonlarının İncelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **54(2)**, 215-221.

Sakınç, M., Yaltırak, C., and Oktay F. Y., 1999. Palaeogeographical Evolution of the Thrace Neogene Basin and the Tethys-Paratethys relations at Northwestern Turkey (Thrace). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **153**, 17-40.

Seyitoğlu, G., Ecevitoğlu, B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Asat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S., and Aldaş Y., 2015. Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences,* **24**, 1-20.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray A., 1987. Türkiye'nin Aktif Fayları ve Depremsellikleri. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu*, **8174**, 394.

Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Strike-slip Faulting and Basin Formation. edited by Biddke, K.T. and Christie-Blick, N., *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist*, **37**, 227-264.

Şengüler, İ., 2011. Eskişehir Sivrihisar Havzası Neojen Kompilasyonu ve Kömür Potansiyeli. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu*, **11473**.

Şengüler, İ., 2013. Eskişehir - Alpu Kömür Havzasının Jeolojisi ve Stratigrafisi. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülten*i, **16**, 89-93.

Teng, T. L., and Sun L. F., 1986. Research on Groundwater Radon as a Fluid Phase Precursor to Earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, **91(B12**), 12305-12313.

Tokay, F., ve Altunel, E., 2005. Eskişehir Fay Zonunun İnönü-Dodurga Çevresinde Neotektonik Aktivitesi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **130**.

Walia, V., Virk, H. S., and Yang, T. F., 2005. Earthquake prediction studies using radon as a precursor in N-W Himalayas, India: a case study. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, **16**, 775-804.

Walia, V., Lin, S. J., Fu, C. C., Yang, T. F., Hong, W.-L., and Wena, K.-L., 2010. Soil–gas monitoring: A tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), Southern Taiwan. *Applied Geochemistry*, **25(4)**, 602-607.

Woith, H., 2015. Radon earthquake precursor: A short review. *European Physical Journal Special Topics*, **224 (4)**, 611-627.

Yaltırak, C., Alpar, B., and Yüce, H., 1998. Tectonic Elements Controlling the Evolution of the Gulf of Saros (Northeastern Aegean Sea, Turkey). *Tectonophysics*, **300**, 227 - 248.

Yaltırak, C., 2002. Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, 190**, 493–529.**

Yaltırak, C., Yalçın, T., Yüce, G., and Bozkurtoğlu, E., 2005. Water - Level Changes in Shallow Wells Before and After the 1999 İzmit and Düzce Earthquakes and Comparison with Long- Term Water-Level Observations (1999–2004), NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **14**, 281-309.

Yang, T. F., Chou, C. Y., Chen, C-H., Chyi, L. L., and Jiang, J. H., 2003. Exhalation of radon and its carrier gases in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, **36**, 425-429.

Yasin, D., 2012. Porsuk Havzası (Eskişehir) Yeraltısularında Mevsimsel ve Depremselliğe Bağlı Hidrojeolojik Değişimlerin Araştırılması. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 194.

Yıldız, A., Başaran, C., Bağcı, M., Gümüş, A., Çonkar, F. E., Ulutürk, Y., and Yalım, H.A., 2018. The measurement of soil gases and shallow temperature for determination of active faults in a geothermal area: a case study from Ömer–Gecek, Afyonkarahisar (West Anatolia). *Arabian Journal of Geosciences,* **11(8)**, 175.

Yüce, G., Streil, T., Nadar, N., Yalcin, T., Yaltirak, C., Oeser, V., and Ugurluoglu Y.D., 2007. Multiparameter Hydrogeological Monitoring in Eskisehir region (Turkey) to analyze any precursors derived from earthquakes. *International Gas Geochemistry Conference (ICGG9)*, Taipei, Taiwan.

Yüce, G., Ugurluoglu, Y.D., Nadar, N., Yalcin, H. T., Yaltirak, C., Streil, T., and Oeser, V., 2010. Monitoring of earthquake precursors by multi-parameter stations in Eskisehir Region (Turkey). *Applied Geochemistry*, **25(4)**, 572-579.

Yüce, G., D'Alessandro, W, Italiano F, Bellomo S, and Gülbay A. H., 2015. Present-day Serpantinisation Processes in the Kizildag Ophiolitic Body (Turkey): Insight from Gas Geohemistry. *ICGG13 International Conference on Gas Geochemistry*, Chengdu, China.

Yüce, G., Fu, C.C., D'Alessandro, W., Gulbay, A.H., Lai, C.W., Bellomo, S., Yang, T.F., Italiano, F., and Walia, V., 2017. Geochemical characteristics of soil radon and carbon dioxide within the Dead Sea Fault and Karasu Fault in the Amik Basin (Hatay), Turkey. *Chemical Geology*, **469 (10)**, 129-146.

Zmazek, B., Italiano, F., Zivcic, M., Vaupotic, J., Kobal, I., and Martinelli, G., 2002. Geocehmical Monitoring of Thermal Waters in Slovenia: Relationships to Seismic Activity. *Applied Radiation and Isotopes*, **57**, 919-930.

Zmazek, B., Zivcic, M., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupotic, J., and Kobal, I., 2005. Radon in soil gas: How to identify anomalies caused by earthquakes. *Applied Geochemistry*, **20 (6)**, 1106-1119.