Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **21** (2021) 011101 (35-45) AKU J. Sci. Eng. **21** (2021) 011101 (35-45)

DOI: 10.35414/akufemubid.819604

Araştırma Makalesi / Research Article

Afyonkarahisar İl Merkezindeki Bazı Çeşme Sularında Radon (^{222}Rn) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi

Ayla GÜMÜŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Afyonkarahisar.

e-posta: sandikci@aku.edu.tr. ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2021-6840

Geliş Tarihi: 02.11.2020 Kabul Tarihi: 16.02.2021

Anahtar kelimeler
Radon; Yıllık Ortalama Etkin Doz; Çeşme Suyu; Afyonkarahisar

Öz

Doğal radyasyon kaynaklarının yaklaşık %50'sini oluşturan radon; renksiz kokusuz ve duyu organları ile algılanamayan radyoaktif ağır bir soy gazdır. Radon ve bozunum ürünleri; kayaçlarda ve topraktaki doğal uranyum elementinin radyoaktif bozunma serisi ürünü olan radyuma ve radyumun da bir dizi bozunumu sonucu oluşur. Radon suda ve organik çözücülerde oldukça kolay çözünebilmekte, bozunmadan önce uzun mesafeler kat edebilmekte ve yeraltı sularının radyoaktivite seviyesinin yüksek olmasına yol açmaktadır. İçme sularındaki radon konsantrasyonu değerlerinin ulusal veya uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş limitlerin altında bulunması istenir. Bu çalışmanın amacı; Afyonkarahisar il merkezinde halk tarafından çok sık kullanılan beş çeşmede radon konsantrasyonlarını ve yıllık ortalama etkin doz miktarlarını belirlemek ve mevsimsel değişimini incelemektir. Pylon AB-5R radon detektöründe yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama radon konsantrasyonu sonuçları ve ortalama etkin doz miktarları uluslararası kurumların tavsiye ettiği sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş kaynağın ortalama radon konsantrasyonları 1,16 Bq/L ve 32,42 Bq/L aralığında, yıllık ortalama etkin doz değerleri ise 2,96 µSv/y ve 82,83 µSv/y aralığında belirlenmiştir.

Determination of Radon (^{222}Rn) Concentrations in Some Tap Waters in Afyonkarahisar Province Center and Investigation of Seasonal Change

Keywords
Radon; Annual Average Effective Dose; Tap Water; Afyonkarahisar

Abstract

Radon, which constitutes approximately 50% of natural radiation sources; is a colorless, odorless, and radioactive heavy noble gas that cannot be detected by the sense organs. Radon and its decay products; It is formed as a result of a series of decays of radium and radium, the product of the radioactive decay series of the natural element uranium in rocks and soil. Radon is very easily soluble in water and organic solvents can travel long distances before it decays and causes the radioactivity level of groundwater to be high. Radon concentration values in drinking water are required to be below the limits determined by national or international organizations. This study aims to determine the radon concentrations and annual average effective dose amounts in five taps used frequently by the people in the province center of Afyonkarahisar and to examine the seasonal variation. The average radon concentration results and average effective dose amounts obtained as a result of the analysis performed in the Pylon AB-5R radon detector were compared with the limit values recommended by international institutions. The average radon concentrations of the five sources were between 1.16 Bq/L and 32.42 Bq/L, and the annual average effective dose values were determined between 2.96 µSv/y and 82.83 µSv/y.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi.

1. Giriş

Canlılar evrenin var oluşundan beri yer kabuğunda uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan doğal radyoaktivitenin etkisinde kalmaktadırlar. İnsanların çeşitli kaynaklardan maruz kaldığı ışınlamalara en büyük katkı doğal radyasyon kaynaklarından gelmektedir. Yer kabuğunda mevcut olan radyoaktif çekirdekler doğal radyoaktivitenin kaynağını oluşturmaktadır. Doğada bulunan radyoaktif elementler, dünyanın oluşumu esnasında yüksek enerji içeren nükleer reaksiyonlar sonucu meydana gelmiştir. Dünya üzerindeki doğal radyoaktivitenin büyük bir kısmı ^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K orjinlidir. ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktif elementleri ve bozunum ürünleri toprakta, suda, havada, kayalarda, topraktan elde edilen yapı malzemelerinde, yiyecek ve içeceklerde farklı dağılım gösterirler. Doğal radyoaktiviteyi belirlemeye yönelik olarak yapılan çalışmalar, insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %55'nin radondan kaynakladığını ortaya koymuştur (Gillmore *et al*. 2002). Toprakta var olan radyoaktif elementler, toprakla sürekli temas eden sular içerisinde çözünebilmekte ve sulardaki radyoaktivite seviyesini oluşturmaktadır. Yeraltı sularının, yer yüzeyindeki sulara göre daha yüksek seviyede radyoaktif element içermesi beklenir. Doğal kaynak sularında bulunan radyoaktif elementler insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadırlar. Sulardaki doğal radyoaktiviteyi belirlemeye yönelik olarak dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalar, sudaki doğal radyoaktivitenin; çalışmanın yapıldığı yere göre farklılık göstermekle birlikte radondan kaynaklandığını ortaya koymuştur (Oliveira *et al*. 2001, UNSCEAR 1993). 1898'de Friedrich Ernst Dorn tarafından bulunan radon 3,82 gün yarı ömrüyle periyodik tabloda 86. sırada bulunur. Tatsız, renksiz, kokusuz, hiçbir bileşik oluşturmayan ve reaksiyona girmeyen, doğada bulunan tek ve en ağır radyoaktif elementtir. ^{238}U'in bozunma serisi ürünü olan radon; yeraltından, toprak ve kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sulardan havaya karışmaktadır. Bu nedenle radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik çalışmalar daha çok sularda ve toprak gazında yapılmaktadır (Villalba *et al*. 2005).

Radonun reaktivitesi zayıf olduğu için soluk alındığında vücutta dokulara kimyasal olarak bağlanmaz ve doku içindeki çözünürlüğü çok azdır. Fakat radon bozunum ürünleri ve radyoaktif izotopları, radon gibi gaz halinde olmadıklarından, toz ya da havadaki diğer parçacıklara çok çabuk yapışarak akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşürler. Havanın solunması ile vücuda giren bu parçacıklar kararlı hale gelinceye kadar bozunma gerçekleştirir ve her aşamasında radyasyon salımı olur. Devam eden bu bozunma ile vücut içerisindeki ışımalar sonucu ortaya çıkan enerji; akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olur (Axelson 1995, Field *et al*. 2000, UNSCEAR 2000, Lazar *et al*. 2003). Sulardaki radon, çözünmüş radonun sindirilmesi sonucunda, çoğu bağırsak ve midenin duvarları içine olmak üzere organlar tarafından soğurulur. Mide içerisinde besinlerin bulunması sebebiyle ve radyasyonun çoğunun emilmesi ile mide kanseri riskini oluşturur. Ayrıca insanların gündelik hayatında kullandığı sudan salınan radon ve radon ürünlerinin solunmasından dolayı akciğer kanseri riski ortaya çıkabilir (Quabi 2009, Krewski *et al*. 2006).

Tüm bu sebeplerden dolayı başta içme suları olmak üzere bütün kaynak sularında radyoaktif kirliliğin başlıca sebepleri olan radon konsantrasyonlarının tespiti ve düzenli aralıklarla takip edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, Afyonkarahisar ilinin merkezinde olması nedeniyle kullanan kişi sayısının fazla olduğu, halk tarafından evlere taşınarak içme suyu olarak sürekli kullanılan beş çeşmede radon konsantrasyonları ile yıllık ortalama etkin doz miktarlarını belirlemek ve mevsimsel değişimini incelemektir.

2. Materyal ve Metot

Afyonkarahisar il merkezinde bulunan beş ayrı çeşme, Afyonkarahisar Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü ile birlikte belirlenmiş ve bu kaynaklardan su numuneleri alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan çeşmelerden 3 nolu kaynak şehir şebeke suyu; 1, 2, 4 ve 5 nolu kaynaklar daima akmakta olan doğal kaynak sularıdır. Bütün kaynaklar insanlar tarafından içme

suyu olarak yoğun şekilde kullanılan çeşmelerdir. Numunelerin alındığı kaynak isimleri Çizelge 1'de, kaynakların bulunduğu yerler ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Beş kaynaktan sadece 1 ve 2 nolu kaynaklar suyun ana çıkış noktasından sonra azda olsa depolanmaktadır.

Çizelge 1. Su numunelerinin alındığı kaynaklar.

Kaynak No	Kaynak Adı
1	Akçeşme
2	Kadınana
3	Kale Önü
4	Taşpınar
5	Olcak

Kaynaklardan numune alımı için 250 mL'lik, kapağında dışarıya gaz kaçışını engelleyen özel bir aparatı olan sızdırmaz kapaklı cam şişeler kullanılmıştır. Şişeler doldurulmaya başlamadan önce kaynaklar bir süre akıtılmıştır. Temiz su elde edildikten sonra şişeler ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır.



Şekil 1. İncelenen kaynakların yerleri.

Kaynaklardan alınan su örneklerinin analizleri Pylon Elektronics tarafından üretilen AB-5R detektörü ile yapılmıştır (Pylon 1991). Sistem iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar WG-1001 Gaz ayrıştırma ünitesi ve AB-5R detektörüdür. Analizlerin yapıldığı sistemin görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Radon gazı ölçüm sistemi, sırasıyla AB-5R Detektörü, WG-1001 Gaz Ayrıştırma Ünitesi, Radon Depolama Hücresi (Pylon 1991).

Numunenin içindeki radon miktarını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Pylon 1991):

$$A = \frac{(C-B)}{Fx6,66xDxSxV} x0,037 \quad (1)$$

Burada;

A: ^{222}Rn Konsantrasyonu (Bq/L); C Brüt sayım oranı (Sayım/dk); B: Arka plan sayım oranı (Sayım/dk); F: Hücre sayım verimliliği (normal olarak 0,745); D: Gaz ayrıştırma verimliliği (300 A için 0,9); S: Numuneleme zamanından (T_s) sayım zamanına (T_c) kadar geçen süre için radonun bozulma düzeltmesi; V: Numune hacmi (0,19 L); pCi ve Bq arasındaki dönüşüm faktörü: 0,037.

3. Bulgular

Alınan su örnekleri Pylon AB-5R detektörü ile ölçülmüş; brüt sayım oranı (C) ve arka plan sayım oranı (B) değerleri ile denklem (1) kullanılarak sudaki radon konsantrasyonları Bq/L cinsinden hesaplanmıştır. Çizelge 2'de kaynakların çalışma dönemindeki ortalama radon konsantrasyon (Bq/L) değerleri verilmiştir.

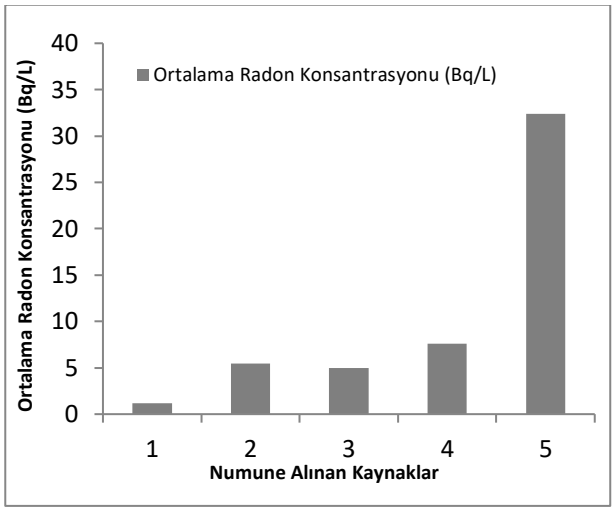
Çizelge 2. Kaynakların ortalama radon konsantrasyon değerleri.

Kaynak No	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)	±σ
1	1,16	0,3
2	5,47	1,26
3	5	1,19
4	7,6	2,44
5	32,42	4,48

Çizelge 2 incelendiğinde; en yüksek radon konsantrasyonunun 32,42 ± 4,48 Bq/L değeri ile 5 nolu kaynakta, en düşük radon konsantrasyonunun 1,16 ± 0,3 Bq/L değeri ile 1 nolu kaynakta olduğu görülmüştür.

Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency: USEPA) sularda radon konsantrasyonunu 11,1 Bq/L; Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization**:** WHO) ise 100 Bq/L olarak limit değer belirlemiştir (USEPA 1991, WHO 1993). Şekil 3'de numune alınan kaynakların ortalama radon konsantrasyonu grafiği verilmiştir. Sonuçlar USEPA'nın tavsiye ettiği sınır değer ile karşılaştırıldığında, 5 nolu kaynak hariç diğer kaynaklardan alınan numunelerin radon konsantrasyonu değerleri bu tavsiye edilen limitin altında yer almaktadır. 5 nolu kaynak ise USEPA'nın tavsiye ettiği sınır değer olan 11 Bq/L'i yaklaşık olarak 3 katı bir değer ile aşmıştır. Ayrıca bu kaynağın sadece ortalama radon konsantrasyonu değerinde değil, haftalık her ölçümünde 11 Bq/L değerini 3 kata kadar geçtiği gözlenmiştir. 4 nolu kaynağın da bazı haftalarda USEPA'nın tavsiye ettiği

sınır değeri aştığı görülse de ortalama radon konsantrasyonunda 7,6 Bq/L ile limit değerin altında kalmıştır. Alınan örneklerin radon aktivite sonuçları WHO tarafından tavsiye edilen limit değerler ile karşılaştırıldığında tüm kaynaklar 100 Bq/L'nin altında yer almaktadır.



Şekil 3. Beş kaynağın ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması.

Suyun içilmesi sonucunda insanların vücutlarına radon gazından gelen doz katkısı denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır (UNSCEAR 2000):

$$YED(\mu Sv/y) = C_W x C_{RW} x D_{CW} \qquad (2)$$

Burada,

YED: İçme suyu nedeniyle bir yıllık sürede maruz kalınan doz (µSv/y), C_W: Bir yıl boyunca kullanılan tahmini su miktarı (730 L/yıl), C_{RW}: Sudaki radon konsantrasyonu, D_{CW}: Doz dönüşüm faktörü ($3,5x10^{-9}$ Sv/Bq).

Doz dönüşüm faktörü (D_{CW}), UNSCEAR (2000) yılında yayınlanan raporda $3,5x10^{-9}$ Sv/Bq'dır. İçme suyunun ortalama sindirimi ve yetişkin bir bireyin günlük su tüketimi günde 2 litre olduğu varsayılırsa (2 L/gün x 365 gün/yıl) yılda 730 L/y alınır.

Beş kaynağın yıllık etkin doz değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre en düşük yıllık etkin doz değeri 2,96 µSv/y ile 1 nolu kaynak; en yüksek değer ise 82,83 µSv/y ile 5 nolu kaynaktır.

Çizelge 3. Kaynakların yıllık etkin doz değerleri.

Kaynak No	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)	YED (µSv/y)
1	1,16	2,96
2	5,47	13,98
3	5	12,78
4	7,6	19,42
5	32,42	82,83

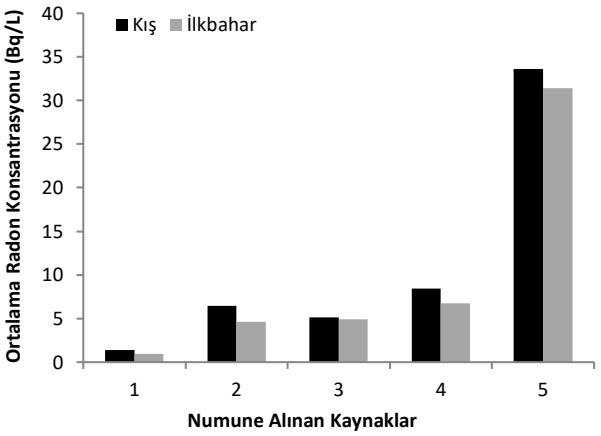
Bu çalışmadaki kaynaklardan 5 nolu kaynak USEPA'nın tavsiye ettiği sınır değer olan 66 µSv/y yıllık etkin doz değerini aşmıştır. Tüm kaynakların yıllık etkin doz değerleri Dünya Sağlık Örgütünün (WHO) 100 µSv/y referans değeri olan 100 µSv/y değerinin altındadır (WHO 2004, USEPA 1991).

Çalışmada beş kaynağın kış ve ilkbahar mevsimlerindeki ortalama radon konsantrasyonlarının değişimleri de incelenmiştir. Çizelge 4'de beş kaynağın kış ve ilkbahar mevsimlerindeki ortalama radon konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. Kaynakların kış ve ilkbahar mevsimlerindeki ortalama radon konsantrasyonları.

Kaynak No	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/L)	
	Kış	Yaz
1	1,40 ± 0,08	0,97 ± 0,10
2	6,46 ± 0,31	4,66 ± 0,38
3	5,12 ± 0,56	4,94 ± 0,22
4	8,46 ± 0,65	6,73 ± 0,46
5	33,59 ± 0,80	31,44 ± 1,42

Tüm kaynakların kış mevsiminde ölçülen ortalama radon konsantrasyon değerleri ilkbahar mevsiminde ölçülenlerden daha fazla bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Beş kaynağın kış ve ilkbahar mevsimlerindeki ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırılması.

4. Tartışma ve Sonuç

Afyonkarahisar il merkezinde ilk kez yapılmış olan bu çalışmada beş farklı doğal kaynak suyunda elde edilen radon konsantrasyonlarının en yüksek değeri 38,05 Bq/L iken, en düşük değeri 0,7 Bq/L olarak bulunmuştur. 1 ve 2 nolu kaynaklar suyun ana çıkış noktasından sonra azda olsa depolanmaktadır, bu durum bu iki kaynağın diğer kaynaklara göre daha az radon konsantrasyonu içermelerinin nedeni olabilir. Radon gazının bu sırada kaçmış olabileceği düşünülmektedir. Kaynaklardan özellikle 4 ve 5 nolu kaynaklar dört mevsim boyunca sürekli akmaktadırlar. 5 nolu kaynaktan alınan su örneğinden elde edilen ortalama radon konsantrasyonu 32,42 Bq/L değeri ile USEPA tarafından öngörülen 11 Bq/L üst sınır değerini aşmıştır.

Bu kaynak dışında kalan diğer dört kaynak için elde edilen sonuçlar USEPA tarafından ortaya konulan radon konsantrasyonu üst limitini aşmadığından, bu kaynaklardan kullanılan içme sularının sağlık açısından radon riski teşkil etmediği söylenebilir.

Bu çalışma kış ve ilkbahar mevsimlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında kış ayında kar yağışı olmuş ve Afyonkarahisar ilinin iklim şekli ile uzun süre kar yüzeyden kalkmamıştır. 5 nolu kaynak, konumu itibari ile bu etkiye en yüksek oranda maruz kalan kaynaktır. Afyonkarahisar il merkezinde bulunan ve sürekli akmakta olan 5 nolu kaynağın ortalama radon konsantrasyonu değerinin yüksek çıkma sebebinin, kaynağın konumu ve kar yağışının etkisi ile radon gazının gözenekleri kapanan toprakta ve dolayısıyla suda mahsur kalması olabileceği düşünülmektedir. Kaynakların periyodik ölçümlerinde 5 nolu kaynağın ortalama radon konsantrasyon değerleri Ocak ayı itibari ile düzenli bir düşüş göstermiştir. Nisan ayı en düşük ölçüm sonuçlarının alındığı aydır. Ortalama radon konsantrasyonların da ise 5 nolu kaynaktan elde edilen tüm sonuçlar USEPA tarafından izin verilen değerin üzerindedir. 1, 2, 3 ve 4 nolu kaynakların çalışma periyodunda ortalama radon konsantrasyon değerleri USEPA tarafından izin verilen değerlerin altında sonuçlar vermiştir. Bu dört kaynağın ortalama radon konsantrasyon değerlerinin düşük çıkmasının su yataklarının güzergah uzunlukları ve de yüzeye olan mesafeleriyle orantılı olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar farklı ülkelerdeki çeşitli su türlerinde yapılmış benzer çalışmalarla kıyaslandığında ortak bulgular gözlenmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Ülkemizdeki farklı şehirlerdeki ve farklı ülkelerdeki çeşitli su türlerinde radon konsantrasyonları ölçümleri.

Çalışma	**Şehir**	**Suyun türü**	**Radon Aktivitesi (Bq/L)**
Amrani and Cherouati 1999	Cezayir	Çeşme Suyu	0,26–2,28
Çevik *et al*. 2006	Doğu Karadeniz	Çeşme suyu	5,31–18,46
Yalım *et al*. 2007a	Afyonkarahisar	Kuyu suyu	0,7 – 31,7
Yalım *et al*. 2007b	Afyonkarahisar	Kuyu suyu	0,42–28,82
Oner *et al*. 2009	Amasya	Çeşme suyu	0,42-2,4
		Kuyu suyu	0,39-1,17
		Yeşilırmak nehri	0,28-1,08
Gürler *et al*. 2010	Bursa	Termal su	2,513-82,553
Yalçın *et al*. 2011	Kastamonu	Çeşme suyu	0,36-9,29 (İlkbahar dönemi)
			0,31-13,14 (Yaz dönemi)
Tarim *et al*. 2011	Bursa	Kuyu suyu	1,46 – 53,64
		Çeşme suyu	0,91–12,58
Ahmadian and Montazerabadi 2013	İran	Çeşme Suyu	0,5 – 4,95
Erdoğan *et al*. 2013	Konya	Kuyu suyu	2,29- 27,25 (İlkbahar dönemi)
			1,44 – 27,45 (Yaz dönemi)
Erdoğan *et al*. 2017	Konya (Seydişehir)	Kuyu suyu	1,85-99,27
Ahmad *et al*. 2015	Malezya	Kuyu Suyu	12,4-17,0
		Çeşme Suyu	6,7-9,4
Tabar and Yakut 2014	Yalova	Termal su	0,21 – 5,82
Sola *et al*. 2017	Tayland	Çeşme Suyu	0,10 -2,89
Büyükuslu *et al*. 2018	Giresun	Çeşme Suyu	0,98 –27,28
Bu çalışma	Afyonkarahisar	Çeşme Suyu	1,16-32,42

Meteorolojik parametrelerin radon konsantrasyonuna etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda yağışın önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir (Smetanova *et al*. 2010, Fukui 1985, Hamada 2000). Monnin ve Seidel (2002) yağış etkisinin kuyu sularında radon konsantrasyonunu arttırdığı gözlemlemişlerdir. Yağışlı havalarda yüzey toprakları nemlenir. Bu nemlenme toprak gözeneklerini kapatır. Dolayısıyla radon toprağın üst gözeneklerinde tuzaklanır ve aşağıdan yukarıya olan difüzyonu zorlaşır. Sıcaklık artışı ise toprağın kurumasına sebep olur ve toprağın gözenekleri artar. Bunun sonucu olarak radonun topraktan kaçışı kolaylaşır. Bu çalışmada da kış aylarında daha yüksek radon konsantrasyonu elde edilmesinde kar yağışının etkili olduğu düşünülmektedir.

Meteorolojik faktörler arasında en önemli parametrelerden birinin yağış olması toprağın nemini etkilemesi ile ilgilidir. Fakat yağışın tek bir meteorolojik parametre olmadığı yapılan birçok çalışma ile açıklanmıştır. Suya radon topraktan geçer; topraktaki radonun yağış, barometrik basınç, toprağın nemi, gözenekliliği, geçirgenliği; yoğunluk ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörlerden etkilendiğini belirten çalışmalar mevcuttur (Tanner 1980, Birchard and Libby 1980, Virk and Singh 1993, Duenas *et al*. 1997, Planinic *et al*. 2001, İnan *et al*. 2010, Appleton 2013, Kikaj *et al*. 2016). Radon konsantrasyonun kış aylarında en yüksek bulunduğu Winkler vd. (2001) mevsimsel araştırmaların yanında; kış ve yaz aylarında en yüksek Schumann vd. (1989), Rose vd. (1990), Hutter (1996); kışın en düşük, yazın en yüksek Hubbard ve Hagberg (1996) radon konsantrasyonu ölçülen çalışmalar da mevcuttur. Bazı çalışmalar ise meteorolojik parametrelerin ölçülebilir değişimlere neden olmadığını açıklamaktadırlar (Fleischer and Mogro-Campero 1985). Ayrıca fay hatlarında, jeotermal kaynaklarda, uranyum depozitlerinde, volkanik hareketler sırasında ve depremlerin oluşumundan önce ölçülen radon miktarlarında anomaliler gözlenmektedir (King 1978, Khan and Qureshi 1994).

Hem bu bulguların desteklenmesi, hem de mevsimsel olarak değişiklik gösterebilen radon konsantrasyonlarının sistematik olarak takip edilmesi ve sürekli olarak ölçümlerin yapılması, özellikle uzun süreli olarak yüksek konsantrasyon değerleri elde edilmesi durumunda yetkili kurum ve kuruluşların bilgilendirilmesi gerekmektedir. Bu ayrıca diğer yapılacak çalışmalara da veri sağlaması açısından önemlidir. Bu çalışmada incelenen doğal kaynak sularının tamamı insanların içme ve kullanım su ihtiyacını karşılamak için açılmış olan çeşmelerdir. Radon ve bozunum ürünlerinin insan sağlığı açısından önemli riskler taşıması ve canlıların maruz kaldığı doğal radyasyona en büyük katkıyı oluşturması nedeniyle, radon gazının su kaynaklarında sürekli olarak tespit edilip, değerlerinin uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olmasına özen gösterilmelidir. Bu bakımdan Afyonkarahisar ilinde halk tarafından kullanılan doğal kaynak sularının periyodik ve sürekli olarak ölçümünün yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca radon gazının mevsimsel ilişkisinin incelenmesinin de meteorolojik diğer parametrelerin artırılarak ölçümü ile uzun sürede yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

Ahmad, N., Jaafar, M.S., Alsaffar, M.S., 2015. Study of radon concentration and toxic elements in drinking and irrigated water and its implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, **8(3)**, 294-299.

Ahmadian, M. and Montazerabadi, A., 2013. Survey of ^{222}Rn Kerman drinking water distribution network. *Research Journal of Chemistry and Environment*, **17(2)**, 30–34.

Amrani, D. and Cherouati, D.E., 1999. Health effects from radon-222 in drinking water in Algiers. *Journal of Radiological Protection*, **19(3)**, 275-279.

Appleton, J.D., 2013. Radon in air and water. In: Selinus, O.; Alloway, B.J.; Smedley, P., (eds.). Essentials of Medical Geology. Dordrecht, Netherlands, Springer, 239-277.

Axelson, O., 1995. Cancer risks from exposure to radon in homes. *Environmental Health Perspectives,* **103 (2)**, 37-43.

Birchard, G.F. and Libby, W.F., 1980. Soil radon concentration changes preceding and following four magnitude 4.2–4.7 earthquakes on Jan Jacinto Fault in South California. *Journal of Geophysical Research*, **80**, 3100–3106.

Büyükuslu, H., Özdemir, F.B., Öge, T.Ö**.** and Gökce, H., 2018. Indoor and tap water radon (^{222}Rn) concentration measurements at Giresun University campus areas. *Applied Radiation and Isotopes,* **139**, 285-291.

Çevik, U., Damla, N. Karahan, G., Çelebi, N. and Kobya, A.İ., 2006. Natural radioactivity in tap waters of eastern black sea region of Turkey. *Radiation Protection Dosimetry,* **118(1)**, 88-92.

Duenas, C., Fernandez, M.C., Carretero Rubio, J.E., Liger, E. and Perez M., 1997. Release of Rn-222 from some soils. *Annales Geophysicae,* **15**, 124-133.

Erdogan, M., Eren, N., Demirel, S. and Zedef, V., 2013. Determination of radon concentration levels in well water in Konya, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, **156(4)**, 489-494.

Erdogan, M., Manisa, K. and Zedef, V., 2017. Radon in spring water in the region of Seydişehir of Konya province, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, **177(1-2)**, 194-197.

Field, R.W., Steck, D.J., Smith, B.J., Brus, C.P., Fisher, E.L., Neuberger, J.S., Platz, C.E., Robinson, R.A., Woolson, R.F. and Lynch, C.F., 2000. Residential radon gas exposure and lung cancer: The Lowa radon lung cancer study. *American Journal of Epidemiology*, **151 (11)**, 1091-1102.

Fleischer, L. and Mogro-Campero, A., 1985. Association of subsurface radon changes in Alaska and the Northeastern United States with earthquakes. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* **49**, 1061-1071.

Fukui, M., 1985. ^{222}Rn concentrations and variations in unconfined groundwater. *Journal of Hydrology*, **79**, 83–94.

Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R. and Gilbertson D.D., 2002. Radon in the Creswell Crags Permian limestone caves. *Journal of Environmental Radioactivity*, **62(2)**, 165–179.

Gurler, O., Akar, U., Kahraman, A., Yalcin, S., Kaynak, G. and Gundogdu, O., 2010. Measurements of radon levels in thermal waters of Bursa, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, **19(12)**, 3013–3017.

Hamada, H., 2000. Estimation of groundwater flow rate using the decay of ^{222}Rn in a well. *Journal of Environmental Radioactivity*, **47(1)**, 1–13.

Hubbard, L.M. and Hagberg, N., 1996. Time variation of the soil gas radon concentration under and near a Swedish house. *Environment International,* **22 (1)**, 477-482.

Hutter, A.R., 1996. Spatial and temporal variations of soil gas ^{220}Rn and ^{222}Rn at two sites in New Jersey. *Environment International*, **22 (1)**, 455-469.

İnan, S., Ertekin, K., Seyis, C., Şimşek, Ş., Kulak, F., Dikbaş, A., Tan, O., Ergintav, S., Çakmak, R., Yörük, A., Çergel, M., Yakan, H., Karakuş, H., Saatçılar, R., Akçiğ, Z., İravul, Y., Tüzel, B., 2010. Multi-disciplinary earthquake researches in Western Turkey: Hints to select sites to study geochemical transients associated to seismicity. *Acta Geophysica*, **58 (5)**, 767-813.

Khan, H.A. and Qureshi, A.A., 1994. Solid state nuclear track detection: a useful geological/geophysical tool. *Nuclear Geophysics*, **8**, 1-37.

Kikaj, D., Jeran, Z., Bahtijari, M. and Stegnar, P., 2016. Radon in soil gas in Kosovo. *Journal of Environmental Radioactivity,* **164,** 245-252.

King, C.Y., 1978. Radon emanation on San Andreas Fault. *Nature Vol*., **271**, 516-519.

Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M., Alavanja, M., Catalan, V.S., Field, R.W., Klotz, J.B., Letourneau, E.G., Lynch, C.F., Lyon, J.L., Sandler, D.P., Schoenberg, J.B., Steck, D.J., Stolwijk, J.A., Weinberg, C. and Wilcox, H.B., 2006. A Combined analysis of north American case-control studies of residential radon and lung cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, **69(7)**, 533-597.

Lazar, I., Toth, E., Marx, G., Cziegler, I. and Köteles, G.J., 2003. Effects of residential radon on cancer incidence. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **258 (3)**, 519-524.

Monnin, M. and Seidel, J.L., 2002. Radon concentrations in karstic aquifers. *Geofisica Internacional*, **41(3)**, 265-270.

Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O. and Bambalas, E., 2001. Natural radionuclides in drinking water supplies of Sao Paulo State, Brazil and consequent population doses. *Journal of Environmental Radioactivity,* **53 (1)**, 99-109.

Oner, F., Yalım, H.A., Akkurt, A. and Orbay, M., 2009. The measurement of radon concentrations in drinking water and Yeşilırmak river water in the area of Amasya in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry,* **133(4)**, 223-226.

Planinic, J., Radolic, V. and Lazanin, Z., 2001. Temporal variation of radon in soil related to earthquakes. *Applied Radiation and Isotopes,* **55**, 267-272.

PYLON Electronic Development Company Ltd, 1991. Vacuum Water-Degassing System Manual A900037 Rev. 2147 Colonnade Road, Ottawa, Canada K2 E7 C9.

Quabi, H., 2009. Modeling of radon and its short-lived decay products emanating from tap water used inside a house: Dose to adult members of the public. *Applied Radiation and Isotopes*, **67(1)**, 115-121.

Rose, A.W., Hutter, A.R. and Washington, J.W., 1990. Sampling variability of radon in soil gases. *Journal of Geochemical Exploration*, **38**, 173-191.

Schumann, R.R., Owen, D.E. and Asher-Bolinder S., 1989. Weather factors affecting soil-gas radon concentrations at a single site in the semiarid western U.S. In: Proceedings of the 1988 E.P.A. Symposium on Radon and Radon Reduction Technology **2**, Publication EPA/600/9-89/006B, U.S. Environmental Protection Agency, 3.1-3.13.

Smetanova, I., Holy, K., Mullerova, M. and Polaskova, A., 2010. The effect of meteorological parameters on radon concentration in borehole air and water. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **283**, 101–109.

Sola, P., Youngchuay, U., Kongsri, S. and Kongtana, A., 2017. Investigation of radon level in air and tap water of workplaces at Thailand Institute of Nuclear Technology, Thailand. *Journal of Physics Conference Series*, **860(1)**:012012.

Tabar, E. and Yakut, H., 2014. Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **299 (1)**, 311-319.

Tanner, A.B., 1980. Radon migration in the ground: a supplementary review, In The Natural Radiation Environment III. Symposium Proceedings, Houston, TX, 23-28 April (Ed. Gesell F.F and Lowder W.M.), Rep. Conf-780422, U.S. Dept. Of Energy, Washington, D.C. 1, 5-56.

Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. and Gundogdu, O., 2011. Evaluation of radon concentration in well and tap water in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, **150(2)**, 207–212.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993. Sources an effects of ionizing radiation. United Nations, New York, Annex A.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. Exposure due to natural radiation sources. United Nations, New York.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1991. National primary drinking water regulations for radionuclides. EPA/570/9–91/700, United States Environmental Protection Agency.

Villalba, L., Colmenero Sujo, L., Montero Cabrera, M.E., Cano Jimenez, A., Renteria Villalobos M., Delgado Mendoza C.J., Jurado Tenorio L.A., Davila Rangel I. and Herrera Peraza, E.F., 2005. Radon concentrations in ground and drinking water in the state of Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity,* **80(2)**, 139-151.

Virk, H.S. and Singh, B., 1993. Radon anomalies in soil-gas and groundwater as earthquake precursor phenomena. *Tectonophysics*, **227**, 215-224.

WHO (World Health Organization), 1993. Guidelines for drinking water quality.

WHO (World Health Organization), 2004. Guidelines for drinking water quality. Health Criteria and Other Supporting Information. Geneva 3rd (1).

Winkler, R., Ruckerbauer, F. and Bunzl, K., 2001. Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations. *Science of the Total Environment*, **272 (1-3)**, 273-282.

Yalcin, S., Gurler, O., Akar, U.T., Incirci, F., Kaynak, G. and Gundogdu, O., 2011. Measurements of radon concentration in drinking water samples from Kastamonu (Turkey). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, **47(4)**, 438-445.

Yalım, H.A., Sandıkcıoglu, A., Unal, R. and Orhun, O., 2007a. Measurements of radon concentrations in well waters near the Akşehir fault zone in Afyonkarahisar, Turkey. *Radiation Measurements ,* **42(3)**, 505–508.

Yalım, H.A., Akkurt, I., Ozdemir, F.B., Unal, R., Sandıkcıoglu, A. and Akkurt, A., 2007b. The measurement of radon and radium concentrations in well water in the Afyonkarahisar area of Turkey. *Indoor and Built Environment,* **16(1)**, 77–81.