



Çorum İli Yeraltı Kömür Ocaklarında Radon Yoğunluğu Ölçümü*

Radon Concentration Measurement in the Underground Coal Mines of Çorum Province

Sefa Uzbey^{1*}, Eyyüp Tel², Hüseyin Aytekin³, Nesli Albayrak⁴

¹Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum

²Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye

³Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Zonguldak

⁴Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), İstanbul

Özet

Bu çalışmada, Çorum ili bünyesinde faaliyet gösteren ve özel şirket tarafından işletilen 2 farklı ilçede ve 3 farklı yeraltı kömür ocağında radon yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Her bir madene 25 ile 30 arasında CR-39 radon dedektörü madenlerin her bir farklı noktasına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu dedektörlerin ortalama 45 gün ile 60 gün arasında işleme tabi tutulmuştur. Belirlenen gün sonunda toplanan dedektörler hava ile teması iyice kesilmesi için alüminyum folyo ile sarılarak izole edilmişlerdir. İzole edilen dedektörler Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde (ÇNAEM) deneysel işlemlerden geçirilmiş ve Bq/m³ cinsinden radon yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen radon yoğunlukları, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) kurumu tarafından yeraltı maden ocakları için belirlenen 1000 Bq/m³ etkin değerinin altındadır. Diğer taraftan, ölçülen bazı değerler Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından yeraltı maden ocakları için tavsiye edilen 500-1500 Bq/m³ etkin değer aralığı içinde kalmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Radon, CR-39 dedektörleri, Kömür ocakları, Çorum

Abstract

In this study, the radon concentration measurements of three different underground coal mines that are run by a private company in two different towns of Çorum were carried out. About 25-30 pairs of CR-39 etch track detectors were placed to the different points of coal mines. These detectors were kept at these points for about 45-60 days. In order to prevent these detectors to contact with air, they were covered with foils. These detectors were carried to Çekmece Nuclear Research & Training Center (ÇNRTC) and proceed for experimental process and lastly radon concentrations were obtained as Bq/m³. The measured values of radon concentrations are under the action level 1000 Bq/m³ for underground coal mines recommended by Turkish Atomic Energy Agency (TAEA). On the other hand, some of the measured values are in the range of the action levels 500-1500 Bq/m³ recommended by International Commission of Radiation Protection (ICRP) for underground coal mines.

Keywords: Radon, CR-39 detectors, Coal fields, Çorum

1. Giriş

Radon (²²²Rn), ²³⁸U radyoaktif serisinin bir bozunma ürünü olan ²²⁶Ra çekirdeğinin alfa bozunumu sonucu oluşan radyoaktif asal bir gazdır. ²²²Rn, seri bozunumlarla ²¹⁸Po ve ²¹⁴Po gibi radyoaktif elementlere dönüşür ve bulunduğu önemli ölçüde radyasyona maruz kalmaya sebep olur. Bozunum ürünlerinden olan ²¹⁴Po ise ardışık bozunumlarla ²¹⁰Po ve ²⁰⁶Pb (kararlı) çekirdeklerle bozunur. Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun

etkilerini araştırarak bilimsel komitesinin (UNSCEAR 2000 a ve b) ve Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu'nun (ICRP 1987) raporunda ²²²Rn ve ürünleri bulunduğu akciğer kanserine neden olduğu bildirilmektedir.

²²²Rn doğal olarak toprak ve suda bulunur ve bu kaynaklardan atmosfere yayılır. Sıcaklık, basınç farkları ve nem gibi atmosferik koşullar ²²²Rn yoğunluğunu etkiler. Bütün bu faktörler ve radonun halk sağlığı üzerindeki etkisi dikkate alındığında çeşitli ortamlarda radon yoğunluk ölçümleri önem kazanmaktadır. Jeolojik ve çevresel faktörlerin radon yoğunluklarındaki değişimini araştırmaya yönelik çeşitli ülkelerde çalışmalar yapılmış-

*Sorumlu yazarın e-mail adresi: sefauzbey@hitit.edu.tr

*Bu çalışmanın bir kısmı 14-16 Ekim 2011de düzenlenen 17.Ulusal Ergonomi Kongresi kongresinde sunulmuştur.

tır. Bu çalışmalara örnek olarak (Botkin ve Keller 1988, Hubbard ve Swedjemark 1991, Robinson ve Sextro 1995, Vaupotic vd. 2003) çalışmaları verilebilir. Türkiye’de ^{222}Rn ölçüm çalışmaları Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziki Bölümünce 1984 yılında programa alınmıştır.

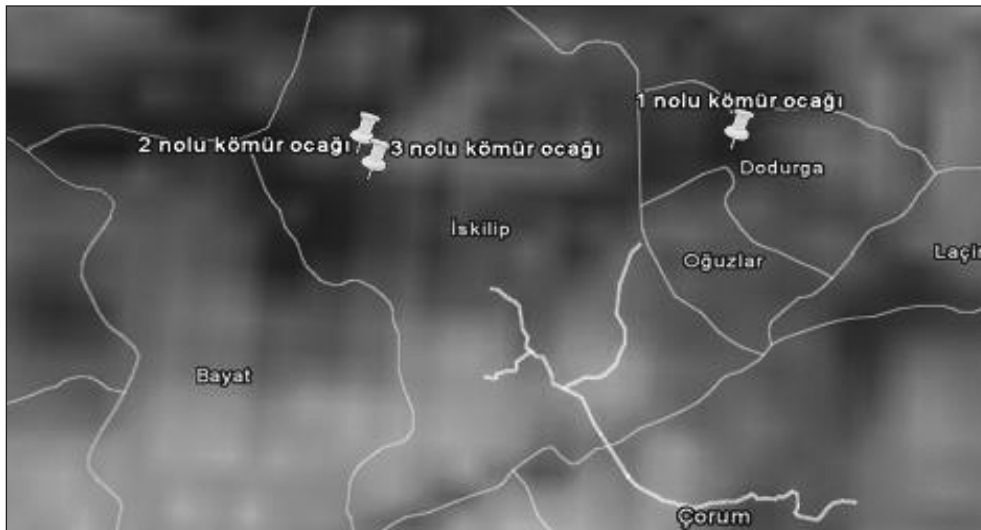
Radon, bir asal gaz olması sebebiyle konveksiyon ve difüzyonla, hava bileşenleriyle herhangi bir etkileşme yapmadan, ev, mağara ve yeraltı maden ocakları gibi kapalı ortamlarda birikebilir ve radon seviyeleri ısıtma ve havalandırma koşulları ile değişebilir. Radon yoğunluğu, ortamdaki gözeneklilik, nem ve aktivite tipine göre değişir. Yeraltı madencilikindeki ileri teknoloji, radon gazı ile uranyum ve toryum bozunma serilerini içeren tozların hava dolaşımı ile taşınmasından dolayı en önemli mesleki hastalık nedenlerinden biridir. Solunan ^{222}Rn ürünlerinin kanser etkisinin bilinmesinden sonra ICRP, 65 nolu raporu ile madenlerde etkin seviye olarak $500\text{-}1500\text{ Bq/m}^3$ aralığını belirlemiştir (ICRP 1993). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ise bu değeri 1000 Bq/m^3 olarak belirlemiştir. Türkiye’de yeraltı madenlerindeki radon yoğunluğu ölçümüne yönelik ilk çalışma Yener ve Küçüktaş tarafından Batı Anadolu’daki bazı yeraltı kömür madenlerinde yapılmıştır (Yener ve Küçüktaş 1998). Türkiye’deki yeraltı kömür işletmelerinde radon ölçümüne ilişkin başka çalışmalar da yapılmıştır (Fişne vd. 2005, Baldık vd. 2006, Aytekin vd. 2009). Bu çalışmada ise Çorum ili bölgesinde bulunan iki yeraltı kömür işletmesinde bulunan üç kömür ocağında CR-39 nükleer iz dedektörleriyle yapılan radon yoğunluğu ölçüm çalışması sunulmaktadır. Bu çalışmanın bir kısmı 14-16 Ekim 2011de düzenlenen 17.Ulusal Ergonomi Kongresi kongresinde sunulmuştur (<http://www.ergonomi17.orgu.edu.tr/06.FIZIKSEL.pdf>).

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanımızda üç adet kömür ocağı bulunmaktadır. Bu kömür ocaklarının konumları Şekil 1 de verilen harita üzerinde gösterilmiştir. Eski ve yeni tüm kapalı işletmeleri kapsayan alanlardaki görünür rezervin yaklaşık 1.3×10^7 ton olduğu tahmin edilmektedir.

1 Nolu Kömür Ocağı, Çorum’a 45 km ve Osmaniye ilçesine 28 km mesafededir. Sahadaki mevcut linyit oluşumu 1938 yılından beri bilinmektedir. Bu kömür ocağı Çorum ili içinde işletilen en eski ve en büyük kömür ocağı niteliğindedir. Ayrıca, bu kömür ocağında genelde ölçülen metan gazı seviyesi havada %0.2-0.3 ile %0.8 oranında değişmekte ve karbon monoksit miktarı 1 m^3 havada 8-10 ppm ve bazı bölgelerde bu değerin 20 ppm mertebesinde olduğu görülmektedir. Oksijen gazı miktarı ise %19 ile %20 miktarlarında ölçülmektedir. 2 Nolu Kömür Ocağı, Çorum’a 70 km, İskilip ilçesine 25 km mesafededir. Ocağın açılışının 1970 yılı olduğu bilinmektedir. Toplam 7 damar olmasına karşın 5 damar çalışılmaktadır. Oksijen gazı miktarı ise %19 ile %20 seviyelerinde ölçülmektedir. 3 Nolu Kömür Ocağı, 2 Nolu Kömür Ocağı’na yakın yerde bulunmaktadır. Bu ocakta, genelde ölçülen metan gazı seviyesi havada %0,1 ile %0,9 oranında değişmekte, karbon monoksit miktarı 1 m^3 havada 10-12 ppm mertebesinde olmakla birlikte bazı bölgelerde bu değerin 20 ppm’e kadar yükseldiği görülmektedir. Oksijen gazı miktarı ise %19,5 ile %20 seviyelerinde ölçülmektedir. Bununla birlikte ocakta radon gazı ölçümü daha önceden yapılmamıştır. Yukarıda hakkında bilgiler verilen üç ocakta da bugüne kadar hiç radon ölçümü yapılmamıştır.



Şekil 1. Kömür ocaklarının konumları.

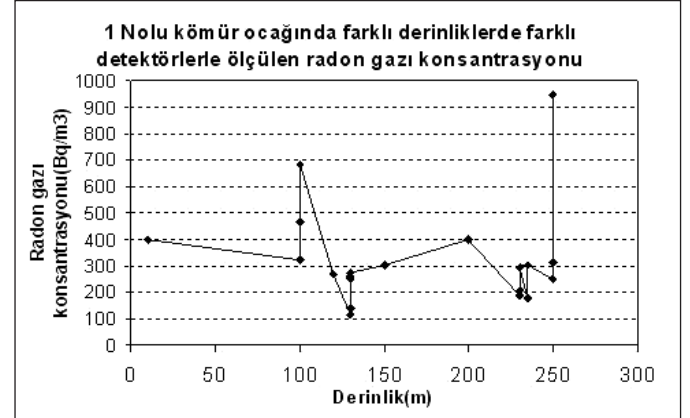
2.2 Radon Gazı Ölçüm Yöntemi

Kömür ocaklarında radon seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan ve ticari adı CR-39 olan nükleer iz dedektörleri 1cm² yüzey alanlı ve 1mm kalınlıklı allil diglikol karbonat adı verilen plastik filmlerden yapılmışlardır. Bu filmler 60 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde bulunan plastik difüzyon kaplarının kapaklarına yapıştırılmışlardır. Kapların kapakları kapların içine radon gazının girmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kap içerisine giren radon gazı, radyoaktif bozunma sonucu alfa parçacıkları yayımlamakta ve bu alfa parçacıkları da dedektör materyali ile etkileşerek filmlerde iz bırakmaktadır. Kapların kapaklarında bulunan ve üzerlerinde kodları yazılı bulunan filmlerin önceden bilinen fon iz sayımları dikkate alınarak ortamdaki radon yoğunluğu belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, Mart-Nisan 2008 döneminde, toplam olarak 72 adet dedektörle radon ölçümü gerçekleştirilmiştir (Uzbe 2009). Dedektörler yerden yaklaşık 1.5 m yükseklikte çeşitli konumlarda yerleştirilmiştir. Dedektörler, ocağın giriş kotunun biraz alt seviyesinden başlamak üzere ocak içindeki küçük ve büyük su havuzlarının bulunduğu noktalar, havalandırmanın olduğu noktalar, ilk yardım odaları, kömürün çıkarılmaya başlandığı ilk noktalar ve yeni çıkartılan noktalara konulmuştur. Diğer taraftan, sağlıklı sonuç alınabilmesi amacıyla aynı derinliklere birden fazla dedektör konulmuştur. Ocaktaki dedektörlerin bir kısmı 42 gün, bir kısmı 52 gün ve bir kısmı da 60 gün süreyle radona maruz bırakılmıştır. Bu süreler sonunda toplanan dedektörler alüminyum folya ile sıkıca kapatıldıktan sonra Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki Laboratuvarına analiz için götürülmüşlerdir. Dedektörler üzerindeki izlerin görünür hale getirilmesi için içinde %30 NaOH bulunan çözeltide 60 °C 4.5 saat süreyle banyo işlemine tabi tutulmuşlardır. Radon yoğunluğu, ²²²Rn den ve ürünlerinden yayınlanan alfa parçacıklarının filmler üzerinde bıraktıkları izlerin sayısının belirlenmesiyle elde edilmektedir. İz sayma işlemi otomatik sayma sistemi RadoMeter 2000 ile yapılmıştır. Bu sistem, bir mikroskop, bir CCD kamera ve RADOSYS programının yüklü olduğu bir bilgisayardan oluşmaktadır. Bu sistemde, CCD kamera filmler üzerindeki izlerin fotoğrafını çekmekte ve iz yoğunlukları otomatik olarak Bq/m³ olarak radon yoğunluğuna dönüştürülmektedir.

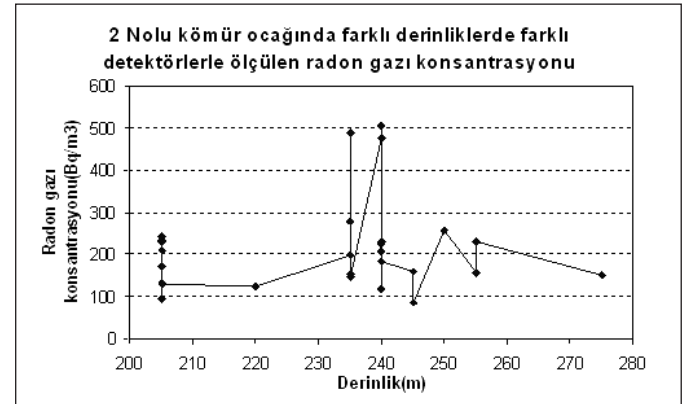
3. Sonuçlar ve Tartışma

Çorum ili bünyesinde bulunan ocaklarda yapılan radon gazı ölçüm sonuçlarının derinlikle değişimleri Şekil 2, 3 ve 4 ile gösterilmektedir (Uzbe 2009). 1 Nolu Kömür Ocağı'na 28 adet dedektör yerleştirilmiştir. Bu dedektörlerin 6 tanesi kaybolmuş ve 1 tanesinin de ölçümü iptal edilmiştir. Geri kalan 21 adet dedektörden ölçülen

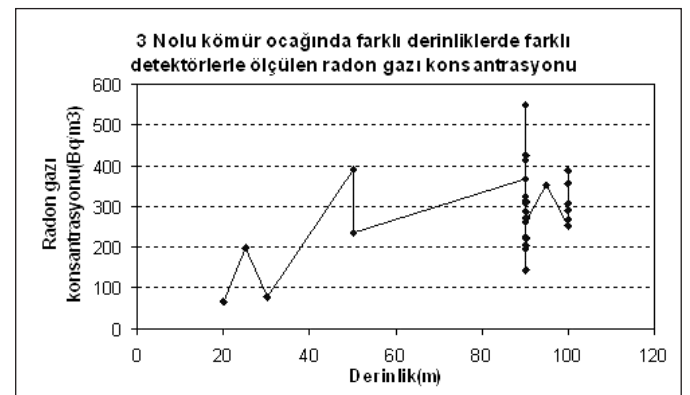
ortalama radon gazı yoğunluğu 325 Bq/m³ olarak bulunmuştur. 2 Nolu Kömür Ocağı'na 29 adet dedektör yerleştirilmiş ve bunların 1 tanesi kaybolmuştur. Geri kalan 28 adet dedektörden ölçülen ortalama radon yoğunluğu 216 Bq/m³ olarak bulunmuştur. 3 Nolu Kömür Ocağı'na ise 33 adet Cr-39 dedektör yerleştirilmiş ve bunların 3 tanesi kaybolmuştur. Ölçülen ortalama radon yoğunluğu ise 286 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Diğer taraftan,



Şekil 2. 1 Nolu Kömür Ocağı'nda derinliğe bağlı olarak ölçülen radon yoğunluğu değerleri.



Şekil 3. 2 Nolu Kömür Ocağı'nda derinliğe bağlı olarak ölçülen radon yoğunluğu değerleri.



Şekil 4. 3 Nolu Kömür Ocağı'nda derinliğe bağlı olarak ölçülen radon yoğunluğu değerleri.

ocaklarda ölçülen en yüksek radon yoğunlukları 1 Nolu Kömür Ocağı'nda 250 m derinlikte 948 Bq/m³tür. 2 Nolu Kömür Ocağı'nda 240 m derinlikte 505 Bq/m³ ve 3 Nolu Kömür Ocağı'nda 95 m derinlikte 549 Bq/m³ kadardır.

Ölçülen ortalama radon yoğunluğu sonuçlarımız, daha önceden Zonguldak havzasında bulunan yer altı kömür ocaklarında yapılan radon yoğunluğu ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Fişne vd. 2005; Baldık vd. 2006). Zonguldak havzasında bulunan Kozlu Taş Kömürü İşletmesi'nde 656 Bq/m³, Karadon Taş Kömürü İşletmesi'nde 705 Bq/m³ ve Üzülmöz Taş Kömürü İşletmesi'nde 672 Bq/m³ olarak bulunan sonuçlara (Fişne vd. 2005) göre çalışmamızda bulunan sonuçlar daha düşük seviyededir. Diğer taraftan, bizim sonuçlarımız yine aynı havzada bulunan Amasra taş kömürü işletmesinde ölçülen 117 Bq/m³ değerine (Baldık vd. 2006) göre ise daha yüksektir.

Diğer taraftan, işçilerin ocaklarda radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama etkin dozlar ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Baldık vd. 2006):

$$E = C_{Rn} \cdot F \cdot t \cdot d \quad (1)$$

Burada, E =etkin doz (nSv/y), C_{Rn} Bq/m³ cinsinden havadaki radon konsantrasyonu, F=0.4 radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü, t~2000 saat (h) ortalama olarak işçilerin madende bir yılda geçirdikleri süre ve d=(9nSvm³)/(Bq/h)m ise doz çevirme katsayısıdır. Buna göre işçilerin bir yılda radondan dolayı maruz kaldıkları ortalama etkin dozlar, 1, 2 ve 3 nolu maden ocaklarında, sırasıyla, yaklaşık olarak 2.3, 1.6 ve 2 mSv/y kadardır. Bu değerler, ICRP (ICRP 1993) nin belirlediği 3-10 mSv/y ile sınırlandırılan aralığın altındadır. Diğer taraftan, 3 ocaktaki toplam 4 ölçüm sonucunun 500-1000 Bq/m³ aralığı içinde olduğu görülmektedir. Bu değerler, 1 Nolu Ocakta 948 Bq/m³ ve 684 Bq/m³, 2 Nolu Ocakta 505 Bq/m³ ve 3 Nolu Ocakta ise 549 Bq/m³ dir. Bu dört yoğunluk değerleri için (1) formülüne göre hesaplanan etkin dozlar ise, sırasıyla, yaklaşık olarak 6.8, 4.6, 3.6 ve 4.0 mSv/yıl kadar olup 3-10 mSv aralığı içindedir. Bu yüksek yoğunlukların bulunduğu ortamlarda havalandırma için ek tedbirler alınması önerilebilir.

4. Yorumlar

Bu çalışmada, Çorum ilinde bulunan üç yeraltı kömür ocağında radon yoğunluk ölçümleri sunulmaktadır. Ölçüm sonuçlarımız, TAEK'in Türkiye'deki yeraltı maden ocakları için belirlediği müsaade edilebilir değer olan 1000 Bq/m³ ün altında olup ortalama değerler her üç ocak için 1, 2 ve 3 nolu ocaklar için, sırasıyla, 325 Bq/m³, 216 Bq/m³ ve 286 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Ölçüm sonuçlarının analizinden aşağıdaki yorumlara varılabilmektedir:

1. Ölçüm yapılan her üç ocakta da genellikle derinlik arttıkça radon yoğunluğu artmaktadır. Sadece birkaç yerde alınan sonuçlar beklenenden daha azdır. Bunun nedenleri ortamdaki kayaçların ve havalandırmaların farklı olması şeklinde açıklanabilir.
2. Aynı derinlikteki detektörlerde farklı sonuçlar çıkmasının nedenleri arasında, hava akımının farklı olması, detektörlerin bulunduğu kapalı hacimlerin farklı olması veya detektörlere yakın kayaçların farklı özellikte olması, ortam malzemesinin geçirgenliği, kayaç kırıklarının çokluğu v.b. sayılabilir.
3. Diğer taraftan, galeri kesitinin büyümesi ve artan yüzey alanı radon yoğunluğunu artırıcı bir etki yapmaktadır. Ölçüm sonuçlarına bakarak bir ocaktaki kot farklarının ortamın radon yoğunluğuna etkisini belirlemek mümkün değildir. Çünkü farklı kotlardaki hava akış hızı ve miktarı sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır.
4. Bu çalışma, Çorum ili maden ocaklarında yapılan ilk radon ölçüm çalışması olup daha sonraki çalışmalar için veri tabanı oluşturması ve Türkiye'deki yeraltı kömür ocaklarının radon seviyelerinin belirlenmesine katkısı olması bakımından önemlidir.

5. Kaynaklar

- Aytekin, H., Baldık, R., Çelebi, N. 2009. Radon Fluctuations in the Armutçuk Coal Mine. *Fresen. Environ. Bull.* 18(1): 87-91.
- Baldık, R. 2005. Gökgöl ve Cehennemagzı Mağaraları ile Amasra Taşkomuru İşletmesi'nde Radon-222 Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Baldık, R., Aytekin, H., Ataksor, B., Tasdelen, M. 2006. Radon Concentration Measurements in the Amasra Coal Field. *Radiat. Prot. Dosim.*, 118 (1): 122-125.
- Botkin, D., Keller, E. 1988. Environmental Science. John Wiley & Sons, NY.
- Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N. 2005. Radon concentration measurements in bituminous coal mines. *Radiat. Prot. Dosim.*, 113 (2): 173-177.
- Hubbard, L., Swedjemark, GA. 1991. Radon dynamics in Swedish dwellings: a status report. In: Proceedings of International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, Philadelphia, vol. 3. US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC Paper V-4.
- International Commission on Radiation Protection (ICRP), 1987. Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters. *ICRP Publication*. 17 (1): p. 50.
- International Commission on Radiation Protection (ICRP), 1993. Protection against ²²²Rn at home and work. *ICRP Publication*, 22 (2): p.65.

- Robinson, AL., Sextro, RG. 1995.** The influence of a subslab gravel layer and open area on soil-gas and radon entry into two experimental basements. *Health Phys.*, 69: 367-377.
- UNSCEAR, 2000 a.** Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly.
- UNSCEAR, 2000b.** Scientific Annexes, vol. I, New York, United Nations.
- Vaupotic, J., Andjelov, M., Kobal, I. 2003.** Relationship between radon concentrations in indoor air and in soil gas. *Environ. Geol.*, 42: 583-587.
- Yener, G., Küçüktaş, E. 1998.** Concentrations of radon and products in various underground mines in westren Turkey and total effective dose equivalents. *Analyst*, 123: 31-34.
- Uzbey, S., 2009.** Çorum ili genelinde faaliyet gösteren kömür ocaklarındaki radon gazının ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, 67 sayfa, Gazi Üniversitesi.
- URL 1, 2011.** <http://www.ergonomi17.ogu.edu.tr/06.FIZIKSEL.pdf>