

## Mencilis (Bulak) Mağarasında Radon Seviyesi Ölçümleri

Bülent HANER<sup>1</sup>, Alaattin YILMAZ<sup>2</sup>, Mehmet Ertan KÜRKÇÜOĞLU<sup>3\*</sup>, Ali KARADEM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Zonguldak, Türkiye

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye

Ahış Tarihi:29.04.2010 Kabul Tarihi:09.11.2010

**Özet:** Belli bir dozdan yüksek radyasyona maruz kalan canlı organizmalarda, radyasyonun tahribata yol açtığı bilinmektedir. Bu nedenle yaşadığımız yerdeki radyasyon seviyesinin bilinmesi önemlidir. Kaçınılmaz biçimde maruz kaldığımız doğal radyasyonun yarısından fazlası radon ve radonun bozunma ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, Karabük ili Safranbolu ilçesindeki Türkiye'nin en büyük 4. mağarası olan Mencilis (Bulak) mağarasının turizme açık olan 350 metrelik gezi yolu üzerine pasif nükleer iz dedektörleri yerleştirilerek mağaranın radon konsantrasyonları belirlenmiştir. 2008 yılı Kasım ayı ile Ocak 2009 arasında 70 gün süre ile radona maruz bırakılan dedektörlerin analizi sonucunda, mağaranın turizme açık kısmında radon seviyelerinin 19 Bq/m<sup>3</sup> ile 649 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 205 Bq/m<sup>3</sup> olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mağara görevlileri ve ziyaretçilerin aldıkları eşdeğer doz miktarları hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mencilis Mağarası, Radon, CR-39, Etkin Doz.

## Radon Level Measurements in Mencilis (Bulak) Cave

**Abstract:** It is known that radiation exposure may harm living organisms when the radiation doses higher than a certain level. Therefore, it is important to be aware of the radon levels in our surroundings. More than half of the natural radiation, that we are inevitably exposed, is originated from radon and radon daughters. In this study, the radon concentrations of Mencilis (Bulak) cave, the 4<sup>th</sup> biggest cave of Turkey which is located in Safranbolu town of Karabük city, have been determined by using passive nuclear track detectors. The detectors were located along the 350 meters walking route of the cave and were exposed to radon in the cave between the dates of November 2008 and January 2009 for a 70 days period. It was found from the analyses of detectors that, the radon levels in the open part of the cave ranged from 19 to 649 Bq/m<sup>3</sup> with an average radon concentration of 205 Bq/m<sup>3</sup>. Furthermore, the equivalent dose levels that would be taken by tourist guides and visitors have been calculated.

**Keywords:** Mencilis Cave, Radon, CR-39, Effective Dose.

## Giriş

Yerkabuğunda doğal olarak bulunan uranyum ve toryum gibi radyoaktif maddelerin bozunması ile oluşan ve bir soy gaz olan radon, kayalardaki çatlak ve gözeneklerden kolayca sızarak mağara atmosferine yayılabilir. Mağara atmosferindeki radon seviyesi, mağarayı oluşturan kayaların yapısı, çatlaklar, basınç, nem, sıcaklık, mağaradaki doğal havalandırma, yer altı nehirleri gibi pek çok farklı etkene bağlıdır (Baldık, 2005; Cigna, 2005). Radon gazının mağara atmosferinde birikerek yüksek konsantrasyonlara ulaşabilme ihtimali oldukça fazladır. Yüksek dozda radyasyona maruz kalınması, akciğer kanseri ile ilişkilendirildiğinden (Craven ve Smit, 2006) mağara içerisindeki radyolojik riskin mağara görevlileri, rehberler ve mağara ziyaretçileri için belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla, özellikle mağara atmosferindeki radon konsantrasyonlarının uygun bir radyolojik ölçüm tekniği kullanılarak tespit edilmesi önem kazanmaktadır.

Mağaralarda radon konsantrasyonu ölçümleri için nükleer iz kazıma tekniğinin kullanıldığı çalışmalar 1970'li yıllarda literatürde yerini almaya başlamıştır. Örneğin, Macaristan'daki mağaralarda nükleer iz dedektörlerin kullanıldığı ilk radon ölçüm çalışmalarına 1977 yılında başlandığı bildirilmektedir (Hakl vd., 1997A). Daha sonra, nükleer iz kazıma tekniğinin kullanıldığı bu tür çalışmalar İtalya, Slovakya ve Lüksemburg'ta sürdürülmüş ve kısa sürede dünya genelinde yaygınlaşmıştır (Duffy vd., 1996; Hakl vd., 1997b; Sajó-Bohus vd., 1997;

Sperrin vd., 2000; Dezsö, 2004; Nemangwele, 2005; Amin ve Eissa, 2008; Bahtijari vd., 2008; Espinosa vd., 2008). Macaristan'daki mağaralarda yapılan radon gazı ölçümleri, 30'un üzerinde mağara için 10000'nin üzerinde ölçüm verisi boyutunu aşmış durumdadır (Hakl vd., 1997b). Türkiye'de ise mağaralarda radon gazı yoğunluğunun belirlenmesine yönelik çalışmalar henüz çok yeni olup Zonguldak'ta Gökgöl ve Cehennemazğı mağaralarında 2004 yılındaki ölçümlerle başlamıştır (Aytekin vd., 2006). 2010 yılında ise Gümüşhane'deki Karaca ve Trabzon'daki Çal mağaralarında ölçülen radon düzeyleri yayınlanmıştır (Cevik vd., 2010).

Dünya ülkeleri ve uluslararası kuruluşlar kapalı ortamlarda müsaade edilebilecek radon gazı düzeyleri için çeşitli sınır değerlerini benimsemişlerdir (Durrani ve Ilic, 1997). Mağara ve madenlerin yer aldığı işyerleri için önerilen radon konsantrasyonları, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP: International Commission on Radiological Protection) tarafından 500-1500 Bq/m<sup>3</sup> olarak, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından ise 1000 Bq/m<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir (ICRP, 1993; Resmi Gazete, 2004).

Bir taraftan belirli bir seviyeden daha yüksek radyasyonun canlı organizmalar için zararlı olduğu bilinirken, diğer taraftan alternatif tıp uygulamalarında bazı hastalıkların tedavisi uygun dozdaki radyasyonla

yapılabilmektedir. Radyasyonun bu şekliyle kullanımı radyasyon hormesis (radyasyonla uyartılma) olarak bilinmektedir. Genel olarak hormesis, hastalıklı bir dokunun tedavi edilebilmesi amacıyla belirli bir toksinin toksik olmayan miktarlarda kullanımıyla, olumlu reaksiyon gösterecek biçimde organizmanın uyartılmasıdır (WEB, 2010a). Radon özellikle romatizmal hastalıklar, cilt hastalıkları, kronik hastalıklar ve tiroid bozuklukları gibi bazı hormonal hastalıklar başta olmak üzere 20 den fazla hastalığın tedavisi için alternatif tıpta kullanılmaktadır. Bu amaçla mağaralarda kurulmuş terapi merkezlerine rastlamak mümkündür (Soto, 1997; Becker, 2004; Erdoğan, 2006; Erickson, 2007; WEB, 2010b, WEB, 2010c). Avrupa ve Kuzey Amerika'da örnekleri mevcut olan bu terapi merkezleri, atmosferinde uygun konsantrasyonlarda ( $30-160\text{kBq/m}^3$ ) radon gazı ihtiva eden mağaralarda kurulmuştur. Terapi seansları, bu sınıfa giren mağaralarda belli bir süre kalarak radonun solunum yoluyla vücuda alınmasıyla yapılmaktadır (Falkenbach vd., 2005). Ülkemizde bu konu hakkında gerçekleştirilmiş herhangi bir çalışma bulunmamakla birlikte, uygun mağaraların belirlenebilmesine yönelik yerel bir ön-araştırma planlama aşamasındadır (Kürkçüoğlu ve Karadem, 2010).

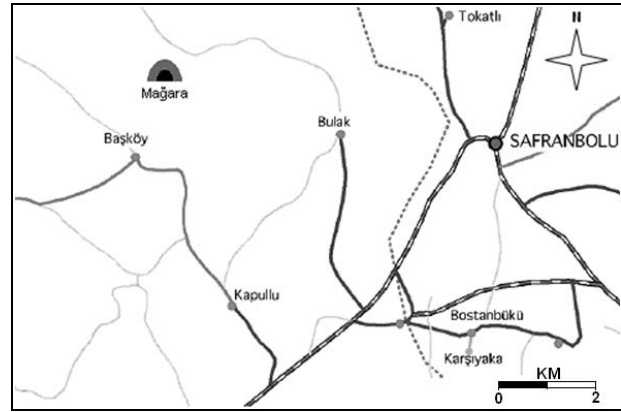
Türkiye mağaraları için bir radon haritasının çıkarılmasına katkıda bulunması amacıyla hazırlanan bu çalışmanın materyal ve metot bölümünde Mencilis mağarası hakkında kısa bir bilgi verilmekte ve atmosferik radon seviyesinin belirlenmesinde kullanılan pasif ölçüm tekniği tanıtılmaktadır. Daha sonra ölçüm sonuçları sunulmakta ve mağara çalışanlarıyla ziyaretçilerin maruz kalacağı etkin dozlar hesaplanarak değerlendirilmektedir.

## Materyal ve Metot

### Mağara Alanının Tanıtımı

Mencilis mağarası, Karabük ilinin en büyük ve en gelişmiş ilçesi olan Safranbolu'nun 8,5 km kuzey-batısında, Manastır Tepe ile Mağara Deresi'nin başlangıç noktasında konumlanmıştır (Şekil 1). 18. ve 19. yüzyıl Osmanlı mimarisini yansıtan Safranbolu evleri, 1994 yılı sonunda UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası listesine alınmıştır. Eski şehir merkezindeki tescilli 1000'den fazla tarihi eseriyle müze kent olma özelliğine sahip Safranbolu Dünya Miras listesindeki 9 varlığımızdan biridir (WEB, 2010d) ve turistik bir cazibe merkezidir. Bulak köyünde bulunan Mencilis mağarası, Safranbolu'ya yakınlığı, doğal güzelliklerinin korunmuş olması ve 5250 metrelik uzunluğu ile Türkiye'nin en büyük 4. mağarası olması (WEB, 2010e) gibi özellikleri nedeniyle yerli ve yabancı turistlerin ilgisini çekmektedir. 350 metrelik kısmı turizme açık olan Mencilis mağarası, 2003 yılından beri yaklaşık 75000 turist tarafından ziyaret edilmiştir (WEB, 2010f). Mağara birbirine bağlı üç kattan oluşmaktadır. Ana girişte (zemin katta) yeraltı nehri ve girişin biraz ilerisinde sifon bulunmaktadır. Bu katın üstünde, girişi ana girişin 200 m kuzeydoğusunda olan fosil kat yer alır. Fosil katın toplam uzunluğu 1200 m olup içinde son derece güzel sarkıt, dikit, sütun, duvar ve perde damlatmaları bulunmaktadır. Mağaranın en altında ise Safranbolu'nun içme kullanma suyuna katkıda bulunan kaynak vardır. Alt kattaki yeraltı deresinin debisi,

yağışlı mevsimlere bağlı olarak  $0,55-2,20\text{ m}^3/\text{s}$  arasında değişmektedir. Dere, derinlikleri 5 metreye ulaşan değişik büyüklükte göller oluşturmuştur. Bütün katları göz önüne alındığında, sahip olduğu canlı ve cansız varlıkları ile büyük bir ekosistem oluşturan bu mağara, günümüzden 65-200 milyon yıl önce oluşmuş Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları içinde meydana gelmiştir. Mencilis Mağarasının giriş kotu, yeraltı deresinin açığa çıktığı kaynak girişten 291 m yukardadır. Mağara sıcaklığı  $12-14\text{ }^\circ\text{C}$  olup nem oranı oldukça yüksektir (%60 - %70) (Mengi, 2005).



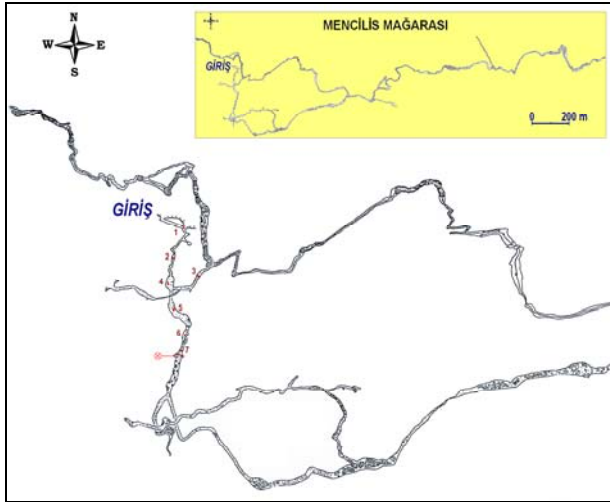
Şekil 1. Mencilis mağarasının yerini gösteren harita (WEB 2010G). (Mağara girişinin koordinatları:  $41^\circ16'28,60''$  Kuzey,  $32^\circ37'28,58''$  Doğu ve yüksekliği  $753,2\text{m}$ )

### Ölçüm Tekniği

Bir ortamdaki atmosferik radon düzeyi aktif veya pasif ölçüm tekniğinden faydalanılarak tespit edilebilir. Aktif yöntem, ölçüm yapılacak yerden alınan örneklerdeki radon düzeylerinin bir radyasyon sayıcısı ile cihazın elektronik aktif kısmında anlık olarak dedekte edilmesi esasına dayanmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997). Mencilis mağarası radon gazı seviyelerinin belirlenmesinde pasif ölçüm tekniği kullanılmıştır. Ölçüm yapılacak ortamda aylık, mevsimlik veya yıllık olarak bırakılabilen katihal nükleer iz dedektörleriyle gerçekleştirilen pasif yöntem, radon ölçümlerinde bir ortalama değer elde edilebilmesi için çok tercih edilen bir tekniktir. Ölçme, plastik plakalardan yapılmış dedektör yüzeyine çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı izlerin belirginleştirilerek sayılması pensibine dayanır. Ev, işyeri, maden, mağara ve tünel gibi kapalı ortamlarda, radon gazı seviyelerinin belirlenmesi için nükleer iz dedektörlerinin kullanılmasının bazı avantajları vardır. Bu avantajlardan en önemlileri arasında birden çok ölçüm noktasında eş zamanlı ölçümler yapılabilmesi, ölçüm periyodu boyunca çalışmak için herhangi bir enerjiye ihtiyaç duyulmaması, aktif yöntemde kullanılan cihazlara göre çok daha düşük maliyetli olan bu dedektörlerin güvenlik kaygıları gerektirmemeleri sayılabilir.

Mencilis mağarasındaki radon gazı ölçümlerinde ticari adı CR-39 olan (allil diğlikol karbonat) nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır. Bu CR-39 plakaları, 60 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde özel bir silindirik kabın (radon difüzyon kabının) içerisine yerleştirilmiştir. Kabın ağzı, radon ürünlerini filtreleyerek yalnız radon gazını

geçiren bir kapakla kapatılmıştır. Radon difüzyon kabının içine girdiğinde, yarılanma ömrünü tamamladıktan sonra bozunarak bir alfa parçacığı yayınlamakta ve bu alfa emisyonu dedektör ile etkileşerek plaka yüzeyi üzerinde iz bırakmaktadır. Plaka üzerindeki izlerin sayısı ölçüm yapılan ortamdaki radon gazı seviyesi ile orantılıdır. Bu çalışmada kullanılan RSFS tipi CR-39 dedektörlerinin teknik özelliklerine ait daha fazla bilgi üretici firmanın kullanım kılavuzu ve internet sayfasından elde edilebilir (Radosys, 2000; WEB, 2010h). Mencilis mağarasında önceden belirlenmiş farklı noktalara yerleştirilen (Şekil 2) dedektörler 70 günlük bir süre için radon gazına maruz bırakılmıştır.



Şekil 2. Mencilis mağarasının krokisi ve gezi yoluna yerleştirilen dedektörlerin temsili konumları (⊗ simgesi fiziksel nedenlerden dolayı yolun kapanmış olduğu noktayı göstermektedir)

Ölçüm süresi sonunda, tekrar hava almaması için alüminyum folyo içine sarılarak mağaradan toplanan dedektörlerin analizleri Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Sağlık Fiziği laboratuvarında yapılmıştır. Laboratuvarda sayım işleminden önce, CR-39 plakalarının kayıt ettiği alfa izlerinin görünür hale getirilmesi için 90 °C sıcaklıktaki %25 lik NaOH çözeltisi içinde 4 saat süreyle kimyasal iz kazıma işlemi yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan iz kazıma ünitesinin (Şekil 3) teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmektedir.



Şekil 3. Radobath kimyasal iz kazıma ünitesi

Banyo işleminden sonra, plakalar üzerindeki iz sayısını bulmak için mikroskoptan görüntüyü alan 100× büyütmeli bir CCD kamera ve kameradan elde edilen görüntüyü dijital hale çeviren bir bilgisayardan oluşan görüntü işleme seti (Şekil 4) kullanılarak alfa ışınlarına ait izler sayılmıştır. Dedektörler üzerindeki iz yoğunlukları Linux işletim sistemi altında çalışan bir yazılım sayesinde otomatik olarak okunmakta ve bilgisayara kayıt edilmektedir. Görüntü işleme setinin mikroskop ünitesine ait teknik bilgiler Çizelge 2’de ve setin operasyonel özellikleri ise Çizelge 3’de verilmektedir.



Şekil 4. CR-39 dedektörlerinin kayıt ettiği alfa yoğunluğunun belirlenmesi için SANAEM’de kullanılan görüntü işleme seti

Çizelge 1. İz kazıma ünitesinin teknik özellikleri (WEB 2010H)

İz kazıma maddesi	% 25 lik NaOH
İz kazıma sıcaklığı	90 °C
İz kazıma süresi	4 saat
Aynı anda banyo işlemi yapılabilecek dedektör sayısı	432
İz kazıma çözeltisi hacmi	5000 g
Banyo işlemi özellikleri	sıcaklık düzenleme ayarı, otomatik sıvı karıştırıcı
Diğer standart özellikler	çözelti hazırlamada kullanılacak yardımcı malzeme seti
Güç	90-240 V (AC), 50/60Hz
Paketlenmiş ağırlığı	8kg
Boyutları (paketlenmemiş)	ø250mm x 350mm

**Çizelge 2. Mikroskop ünitesi (WEB 2010H)**

<b>Görüntüleme birimi</b>	B&W CCD kamera (siyah beyaz CCD kamera)
<b>Optik büyütme</b>	100×
<b>Nesne konumlandırma</b>	3-boyutlu otomatik adımlı motor
<b>Odaklama</b>	otomatik, keskin görüntü-bazlı
<b>Kapasite</b>	12 dedektör
<b>Paketlenmiş ağırlığı</b>	25kg
<b>Boyutları (paketlenmemiş)</b>	500mm x 500mm x 300mm

**Çizelge 3. RadoMeter 2000 setinin operasyonel özellikleri (WEB 2010H)**

<b>Bir dedektör için işlem süresi</b>	ortalama 60 sn
<b>İz tanımlama yeteneği</b>	tek ve üst üste geçmiş izler, 150 iz/mm <sup>2</sup> ye kadar
<b>Taranan dedektör alanı</b>	~47 mm <sup>2</sup>
<b>Veri erişimi</b>	web-temelli yönetim, her uygulama için text dosyası
<b>Veri depolama</b>	SQL veritabanı (PostgreSQL)
<b>Dedektör çipinin algısı</b>	otomatik nokta kodu okuma

## Bulgular

22 Kasım 2008 ile 31 Ocak 2009 tarihleri arasında 70 gün süreyle Mencilis mağarasının turizme açık olan bölümündeki ölçüm noktalarına (Şekil 2) yerleştirilen CR-39 nükleer iz dedektörleri aracılığıyla radon konsantrasyonlarının incelendiği bu çalışmada, en düşük radon yoğunluğu 19 Bq/m<sup>3</sup> olarak mağara girişinden itibaren 35. metrede ve en yüksek değer ise 649 Bq/m<sup>3</sup> ile 210. metrede ölçülmüştür (Çizelge 4). Hesaplamalar, CR-39 plakalarının kaydettiği alfa iz yoğunlukları (Çizelge 4) ve SANAEM Sağlık Fiziği birimince belirlenen 45,74 (kBq/m<sup>3</sup>)/(iz/saat) değerindeki kalibrasyon faktörü kullanılarak yapılmıştır (Karakılıç vd., 2009; Kürkçüoğlu vd., 2009).

Mencilis mağarasındaki radon seviyesi için elde edilen 205 Bq/m<sup>3</sup> değerindeki aritmetik ortalama (geometrik ortalama 113 Bq/m<sup>3</sup> değerindedir), Zonguldak'ta bulunan

Gökgöl ve Cehennemazğı mağaraları için saptanan ortalama radon seviyelerinden (aritmetik radon yoğunluğu ortalamaları sırasıyla 1919 ve 657 Bq/m<sup>3</sup> tür (Aytekin vd., 2006)) daha düşük bir düzeyde çıkmıştır. Dünya genelinde mağaralarda yapılan radon ölçümlerinde 10 Bq/m<sup>3</sup> ten 80kBq/m<sup>3</sup> değerine kadar çeşitli konsantrasyonlar kaydedilmiş olsa da genelde mağaralardaki radon gazı düzeyleri kBq/m<sup>3</sup> mertebesinde (Hakl vd., 1997B; Baldık, 2005). Mencilis mağarasındaki radon konsantrasyonunun daha düşük çıkmasının nedenlerinden biri, ölçümün sadece mağara girişinden itibaren iyi havalandırılan küçük bir bölümde, gezi yolu üzerinde yapılması olabilir. Mağara yolunda 7. dedektörün bulunduğu yerden daha ileriye ulaşım mümkün olmadığından (Şekil 2), mağaranın daha derin noktalarında ölçüm yapılamamıştır.

**Çizelge 4. Mencilis mağarasında nükleer iz dedektörlerinin konumlandırıldığı yerler ve bu noktalarda ölçülen radon düzeyleri (Şekil 2'de konumları numaralarla gösterilen CR-39 dedektörlerinin yerleri Çizelge 4'de aynı dedektör numaraları ile belirtilmektedir)**

<b>Dedektör No</b>	<b>Konumlandırıldığı Yer</b>	<b>Plakalardaki Alfa İz Yoğunluğu</b>	<b>Radon Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)</b>
1	Mağara girişi 35. metre	0,6905	19
2	Ana Kol 70. metre	3,0595	83
3	Fareli Kol	Kayıp	-
4	Ana Kol 105. metre	3,7794	103
5	Ana Kol 140. metre	Kayıp	-
6	Ana Kol 175. metre	6,3688	173
7	Ana Kol 210. metre	23,8189	649
<b>Ortalama Konsantrasyon</b>			<b>205</b>

Her ne kadar gezi yolu boyunca ciddi bir radon tehlikesi bulunmasa da kapalı olan bölüme doğru ilerledikçe radon seviyesinin artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6). Gezi yolu boyunca radon gazının göstermiş olduğu davranış, yer bilimcilerin en çok tercih ettiği gridleme yöntemlerinden biri olan Kriging metodunu kullanan Surfer 8 programı (Surfer, 2006; Minda vd., 2009) yardımıyla çizilerek radon ölçüm verilerine ait iki boyutlu renklendirilmiş bir yüzey haritası Şekil 5 ile verilmiştir. Bununla birlikte, mağara içinde ilerledikçe derinlik (Şekil 6'daki x-ekseni) ile radon konsantrasyonu arasındaki üstel ilişkinin,

$$C_{Rn} = 15,6 \exp(0,017r) \quad (1)$$

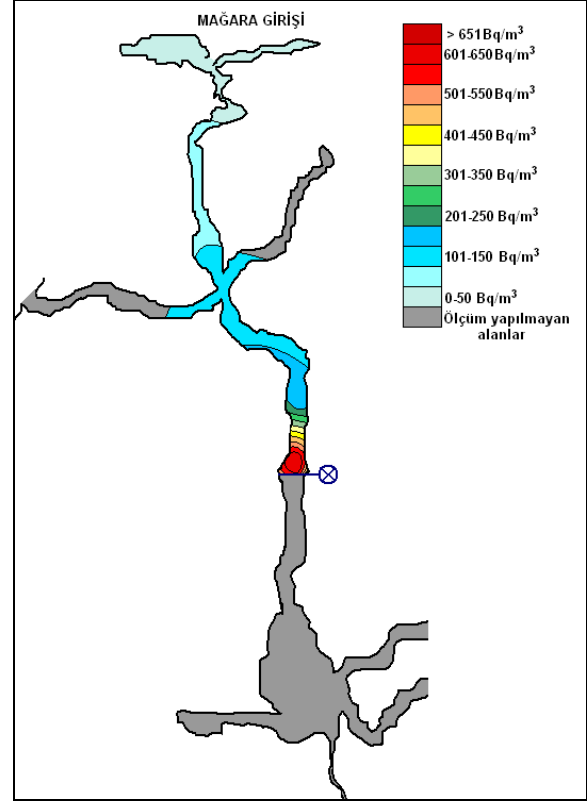
yaklaşımıyla ifade edilebileceği görülmüştür. Bu eşitlikteki  $C_{Rn}$ , Bq/m<sup>3</sup> cinsinden radon gazı düzeyini,  $r$  ise metre cinsinden mağara girişine olan uzaklığı temsil etmektedir. Derinlik ile radon konsantrasyonu arasında 15,6 ve 0,017 çarpanları kullanılarak elde edilen bu üstel ilişki Şekil 6'da deneysel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılabilir olarak gösterilmektedir.

Mağarayı ziyaret eden kişiler ve mağarada çalışan personelin radon ve radonun bozunma ürünlerinden dolayı maruz kaldıkları radyasyon yıllık etkin dozlar UNSCEAR (2000) ve ICRP-65 raporlarında önerilen modele göre

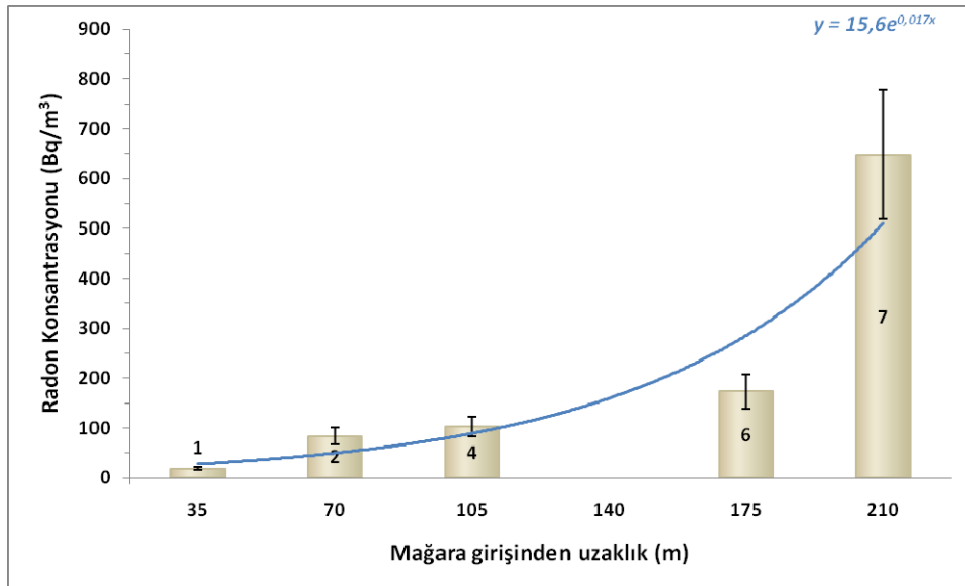
$$D = C_{Rn} \times F \times t \times d \times u \quad (2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Eşitlik 2'deki  $C_{Rn}$  ölçülen radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalamasıdır,  $F$  ise radon ve bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü olup 0,5 olarak alınmıştır. Denklemdeki  $t$  mağara içinde yıllık bulunma süresini (saat/yıl),  $d$  doz çevirme faktörünü göstermektedir ve 1,4 mSv/[(mJ)(saat)(m<sup>3</sup>)] değerindedir. Eşitlik 2'deki  $u$  ise birim faktörüdür ve 5,6 10<sup>-6</sup> (mJ/m<sup>3</sup>)/(Bq/m<sup>3</sup>) değerinde alınmaktadır (Baldık, 2005).

Buna göre, günde ortalama olarak 2 saat mağara içerisinde hizmet veren bir görevlinin alacağı yıllık etkin doz 0,58 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, yılda bir kez mağarayı ziyaret eden bir kişinin mağarada 1 saat kaldığı kabul edilirse alınacak dozun 0,8 µSv/yıl gibi çok küçük bir değerde olacağı bulunmuştur.



Şekil 5. Mencilis mağarasındaki radon yoğunluğunun gezi yolu boyunca davranışı (Radon yoğunlukları Surfer programı kullanılarak gridlenmiş ve renklendirilmiştir. Açık kısım, ikiye ayrılan kol hariç 200 m. civarında olup yeryüzüne açılan "orifice superficiel" ve "fareli kol" ile birlikte 350 m. lik uzunluğa sahiptir)



Şekil 6. Mağara derinliği ile radon düzeyi arasındaki ilişki (Ölçüm sonuçları SANAEM'in ön gördüğü ±%20 lik hata oranı ile verilmektedir, grafikteki verilerin etiketlenmesi Şekil 2 ve Çizelge 4'deki numaralandırma ile uyumludur)



## Tartışma ve Sonuç

Mağaralardaki doğal yaşama ve mağara koşullarına, dolayısı ile mağaraların kendine has doğal havalandırma sistemine müdahale edilemeyeceğinden mağara atmosferinde bulunan radon gazı için binalardaki gibi önlemler alınmaz. Yani mağara iklimini değiştirecek havalandırma uygulamaları yapılamaz. Bu yüzden mağaralardaki radon birikimi çok daha fazla olabilmektedir. Mencilis mağarasının içerisinde hava hızı çok düşük olup, 1 m/s nin altındadır. Fosil ağzların çamur ve formasyon geliri nedeniyle kapalı olmasından dolayı yeterince hava sirkülasyonu olmadığı anlaşılmaktadır. Bu ise, mağaradaki radon seviyesinin girişten itibaren üstel bir şekilde artışı açıklamaktadır. Mağarada yeşil-kahve renkli illit, vermikülit, montmorillonit ve klorit enterstratifyeleri bulunmakta, baskın kaolinit killeri ile birlikte geçirimsiz bir tabakalaşmaya neden olmaktadır. Her ne kadar bu durum mağaranın kapalı olan kısmından daha derinlerde radon yoğunluğunun yüksek değerlere çıkabileceği yönünde değerlendirilebilirse de ölçüm mağaranın açık olan kısmında yapılmış ve gezi yolundaki ortalama radon gazı yoğunluğunun 205 Bq/m<sup>3</sup> düzeyinde olduğu saptanmıştır. ICRP'nin 65 nolu raporunda, maruz kalınan yıllık etkin doz için kabul edilen sınır değerler 3-10 mSv dir. Mencilis mağarasındaki görevliler ve ziyaretçilerin turizme açık olan gezi yolu boyunca alacakları yıllık etkin doz değerleri alt sınırın oldukça altında kaldığından gezi yolundaki hollerde insan sağlığını tehdit edecek düzeyde bir radon konsantrasyonunun bulunmadığı söylenebilir. Ayrıca, mevcut ölçüm sonuçlarına göre Mencilis mağarasının turizme açık olan kısmının radyasyon hormesisini bakımından kullanıma uygun olmadığı da bulunmuştur.

## Teşekkür

Yazarlar, 2006–70–01–01 nolu projeden sağlanan destek için Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'ne ve dedektör analizleri için TAEK SANAEM Sağlık Fiziki Birimi elemanlarına teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- Amin, R.M., Eissa, M.F. 2008. Radon Level and Radon Effective Dose Rate Determination Using SSNTDs in Sannur Cave Eastern Desert of Egypt. *Environ Monit Assess.*, 143, 59–65.
- Aytekin, H., Baldık, R., Çelebi, N., Ataksor, B., Taşdelen, M., Kopuz, G. 2006. Radon Measurements in the Caves of Zonguldak (Turkey). *Radiation Protection Dosimetry*, 118, 117-122.
- Bahtijari, M., Vaupotič, J., Gregorič, A., Stegnar, P., Kobal, I. 2008. Exposure to Radon in the Gadime Cave, Kosovo. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 343-348.
- Baldık, R. 2005. Gököl ve Cehennemagzı Mağaraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde Radon-222 Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 81s.

- Becker, K. 2004. One Century of Radon Therapy. *Int. J. Low Radiation*, 1(3), 333-357.
- Cevik, U., Kara, A., Celik, N., Karabidak, M., Celik, A. 2010. Radon Survey and Exposure Assessment in Karaca and Çal Caves, Turkey. *Water Air and Soil Pollution* (in press). <http://www.springerlink.com/content/512n133518081084/fulltext.pdf>.
- Cigna, A.A. 2005. Radon in Caves. *International Journal of Speleology*, 34(1-2), 1-18.
- Craven, S.A., Smit, B.J. 2006. Radon in Caves: Clinical Aspects. *International Journal of Speleology*, 35 (2), 93-101.
- Dezsö, Z. 2004. Exposure of Workers to Radon Progeny in the Baradla Cave at Aggtelek. *Proc. of 4th Intern. Conf. on Protection Against Radon at Home and at Work. June 28-July 2. Prague*.
- Duffy, J.T., Madden, J.S., Mackin, G.M., McGarry, A.T., Colgan, P.A. 1996. A Reconnaissance Survey of Radon in Show Caves in Ireland. *Environment International*, 22(1), 415-423.
- Durrani, S.A., Ilic, R. 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation, Earth Sciences and Environment. Editors: Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, 387p.
- Erdoğan, S. 2006. İyonizan Radyasyon İnsan Sağlığına Yararlı mı?. *Türkiye Klinikleri. J. Med. Sci.*, 26, 555-558.
- Erickson, B.E. 2007. The Therapeutic Use of Radon: A Biomedical Treatment in Europe; An "Alternative" Remedy in the United States. *Dose-Response*, 5, 48–62.
- Espinosaa, G., Golzarri, J.I., Gammage, R.B., Sajo-Bohus, L., Viccon-Pale, J., Signoret Poillon, M. 2008. Seasonal Variation Measurements of Radon Levels in Caves Using SSNTD Method. *Radiation Measurements*, 43, 364–368.
- Falkenbach, A., Kovacs, J., Franke, A., Jörgens, K., Ammer, K. 2005. Radon Therapy for the Treatment of Rheumatic Diseases-Review and Meta-Analysis of Controlled Clinical Trials. *Rheumatology International*, 25(3), 205-210.
- Hakl, J., Hunyadi, I., Csige, I., Geczy, G., Lenart, L., Varhegyi, A. 1997a. Radon Transport Phenomena Studied in Karst Caves – International Experiences on Radon Levels and Exposures. *Radiation Measurements*, 28, 675-6884.
- Hakl, J., Hunyadi, I., Varhegyi, A. 1997b. Radon Monitoring in Caves. pp. 261-283, In: S.A. Durani, and R. Ilic (Editors), *Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation, Earth Sciences and Environment*. World Scientific, Singapore, 387 p.

- ICRP, 1993. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication, No.65, Ann. ICRP (Oxford:Pergamon).
- Karakılıç, V., Bayraktar, G., Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A. 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(3), 201-207.
- Kürkçüoğlu, M.E., Karadem, A. 2010. Isparta İli Mağaralarının Sağlık Turizmi Potansiyeli. Isparta Değerleri ve Değer Yaratma Potansiyeli Sempozyumları, 26 Nisan-3 Mayıs 2010, Isparta, Sempozyum Bildiri Kitabı, 261-267.
- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., Toroğlu, İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi (e-Dergi), 4(2), 177-188.
- Mengi, H. 2005. Türkiye'nin Doğal Mağaraları. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, 320 s.
- Minda, M., Toth, G., Horvath, I., Barnet, I., Hamori, K., Toth, E. 2009. Indoor Radon Mapping and its Relation to Geology in Hungary. Environ. Geol., 57, 601-609.
- Nemangwele, F. 2005. Radon in the Cango Caves. M.Sci. Thesis University of Western Cape, South Africa, 92p.
- Radosys, 2000. User's Manual (revised at 07/25/01).
- Resmi Gazete, 2004. (24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinin, 29 Eylül 2004 tarih ve 25598 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile değişik 37. maddesi).
- Sajó-Bohus, L., Greaves, E.D., Pálfalvi, J., Urbani, F., Merlo, G. 1997. Radon Concentration Measurements in Venezuelan Caves Using SSNTDS. Radiation Measurements, 28, 725-728.
- Soto, J. 1997. Die Wirkung Von Radon Auf Das Immunsystem [Effects of Radon on the Immune System]. In Pratzel HG and Deetjen P. (Editors). Radon in der Kurortmedizin, ISMH, Geretsried, Germany, <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion-bal/temas.php?idv=8342> (Erişim Tarihi: 12.02.2010).
- Sperrin, M., Denman, T., Phillips, P.S. 2000. Estimating the Dose from Radon to Recreational Cave Users in the Mendips, UK. Journal of Environmental Radioactivity, 49, 235-240.
- Surfer, 2006. Surfer 8 User's Manual, <http://www.goldensoftware.com/demo.shtml>, (Erişim Tarihi: 04.02.2010).
- UNSCEAR Report, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York, United Nations Publications.
- WEB 2010a. [http://www.ozemre.com/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=173](http://www.ozemre.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=173), (Erişim Tarihi: 12.03.2010).
- WEB 2010b, Radon Health Mine, <http://www.radonmine.com/why.html>, (Erişim Tarihi: 09.03.2010)
- WEB 2010c, <http://www.gesundheit.gastein.com/en-gastein-healing-cave.htm>, (Erişim Tarihi: 01.03.2010).
- WEB 2010d, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Safranbolu Şehri (Karabük), <http://www.kultur.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFB672A08AF0819B756F8799158EECAC57>, (Erişim Tarihi: 05.04.2010).
- WEB 2010e, Anadolu Speleoloji Grubu, <http://www.aspeg-tr.org/cms/tr/node/947>, (Erişim Tarihi: 09.03.2010).
- WEB 2010f, Türkiye Kültürel Tarihi Doğal Varlıkları Envanterinin Görsellenmesi ve Türkiye Tanıtım Projesi, [http://www.karadenizgezi.net/karadeniz\\_Magalarari.htm](http://www.karadenizgezi.net/karadeniz_Magalarari.htm), (Erişim Tarihi: 16.03.2010).
- WEB 2010g, Türkiye Arkeolojik Yerleşmeleri, Mağara Veri Tabanı, [http://www.tayproject.org/Magara.Veritabani.aspx?MagaraNo=11629&html=caves\\_maps\\_t.html&layout=web](http://www.tayproject.org/Magara.Veritabani.aspx?MagaraNo=11629&html=caves_maps_t.html&layout=web), (Erişim Tarihi: 05.03.2010).
- WEB 2010h, <http://www.radosys.com/products.html>, (Erişim Tarihi: 25.03.2010).