

## **TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU (TTK) YERALTI MADEN OCAKLARINDA RADON GAZI YAYILIMININ İNCELENMESİ**

### **INVESTIGATION INTO THE RADON GAS EMANATION in TTK UNDERGROUND MINES in TURKEY**

**Abdullah FİŞNE**, *Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak, 34396 Istanbul*  
**Gündüz ÖKTEN**, *Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak, 34396 Istanbul*  
**Nilgün ÇELEBİ**, *Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi, istanbul*

#### **ÖZET**

Bu çalışmada, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda, doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu ışınımlar sonucu alınan doza en büyük katkısı olan radon gazı yayılımı incelenmiştir. Bu kapsamda Türkiye Taşkömürü Kurumuna bağlı Kozlu, Karadon ve Üzülmöz yeraltı ocaklarında radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçümlerde, ticari adı CR-39 olan "allil diğlikol karbonat" pasif nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır. Elde edilen verilerden hareketle çalışan işçilerin maruz kaldığı etkin eşdeğer dozlar ile radon ürünlerine maruz kalma dozları hesaplanmıştır. Ölçülen radon konsantrasyonları 253 - 1470 Bq / m<sup>3</sup>, hesaplanan yıllık etkin eşdeğer dozlar 4.72 - 5.08 mSv ve radon ürünlerine maruz kalma dozları ise 0.32 - 1.85 WLM arasında değişmektedir.

#### **ABSTRACT**

In this study, radon concentration that is the main source of natural radiation has been determined in Kozlu, Karadon and Üzülmöz underground mines in Zonguldak Bituminous Coal Basin in Turkey. After that, the exposure doses and the annual effective dose of miners due to the inhalation of radon and radon daughters were calculated in this investigation. Time-integrating passive etched track detectors (CR-39) were used for the measurement of radon concentrations. After investigation, it is concluded that, radon concentrations varied from 253 to 1470 Bq m<sup>-3</sup> in the above-mentioned mines. The calculated annual effective dose equivalents and the exposure doses varied from 4.72 to 5.08 mSv and from 0.32 to 1.85 WLM respectively.

## 1. GİRİŞ

Yeraltı maden ocaklarında işçi sağlığı açısından mesleki risk oluşturan unsurlardan biri de işçilerin ocak havasındaki radyonüklitlerden dolayı aldıkları radyasyon dozlarıdır. Maden işçileri havadaki radon ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile jeolojik yapıdaki doğal radyoaktif elementlerden yayımlanan gama radyasyonuna maruz kalmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalar uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanseri riskini artırdığını ortaya koymuştur (Planiniç, 2002). Genellikle uranyum madenlerinde yüksek seviyelere ulaşarak, maden çalışanları için önemli sağlık riskleri oluşturduğu bilinen radon gazının diğer madencilik dallarında çalışanlar için de tehlikeli seviyelere ulaşabileceği yapılan araştırmalarla belirlenmiştir (Hewson, 1994).

Yeraltı kömür madenlerinde radon gazının kaynağı jeolojik yapıyı oluşturan kayalar ve kömürün bünyesindeki uranyum, toryum veya radyumdur (Lowndes, 1990). Kayalar veya kömür içerisindeki bu radyoaktif maddelerin bozunması sonucu oluşan radon gazı çatlak ve gözeneklere kaçarak buralarda birikir. Daha sonra difüzyon yolu ile ocak havasına geçer. Ayrıca yeraltı suları da kömür madenleri için önemli bir radon kaynağı durumunda olabilir. Yeraltı suları içinde bulunan en önemli doğal radyoaktif madde radyum'dur. Bu suların radyoaktiviteleri içinden geçtikleri veya temas halinde buldukları radyoaktif kütleler veya minerallerden gelmektedir (Lowndes, 1990, Alkan, 1975).

Söz konusu radyasyonlardan alınan dozlar maden ocağının cinsi, ocağındaki çalışma süresi, uygulanan üretim tekniği ve havalandırma gibi parametrelerle yakından ilişkilidir (Küçüktaş, 1996). Bu parametrelere bağlı olarak ocaklarda radyonüklit konsantrasyonları ve alınan dozların değişimi araştırılmalı ve optimum çalışma koşulları belirlenmelidir.

## 2. RADON GAZININ ÖZELLİKLERİ

Yeraltı maden ocaklarındaki en önemli radyasyon kaynağı radon ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir (Singh et. al., 2001, Sengupta, 1990). Radon renksiz, kokusuz, tatsız ve radyoaktif bir gazdır. Helyum, Neon, Argon gibi soygazlar grubuna dahil olup soygazların en ağırdır. Doğada varolan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünüdür. Üç izotopu  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$ 'dir. Bunlar sırasıyla Uranyum-238, Toryum-232 ve Uranyum-235 bozunma serilerine ait radyoaktif gazlardır. Bu izotoplarının yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 sn ve 3,96 sn'dir (Evans, 1968, Durrani, 1997).  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$ ' un yarı ömürlerinin çok kısa olması nedeniyle ortam havasına karışarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşüktür. Ayrıca, Uranyum-238 elementinin doğada diğer radyoaktif elementlere göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması nedeniyle sadece  $^{222}\text{Rn}$  atmosferde önemli yoğunluklar oluşturabilir. Radon'un bu izotopik özellikleri nedeni ile konsantrasyon ölçümlerinde  $^{222}\text{Rn}$  ön planda tutulur.

Radon gazı bozunduğu zaman kısa yarı ömürlü radon ürünleri olarak bilinen dört radyoaktif izotop (Po- 218, Pb-214, Bi-214, Po-214) oluşmaktadır. Bunların yarı ömürleri  $1,5 \cdot 10^{-4}$  sn ile 27 dk arasında değişmektedir (Evans, 1968). Radon ürünlerinin solunum sistemindeki davranışları üzerine yapılan çalışmalar, ürünlerin akciğerlerdeki

biyolojik yarı ömrünün birkaç saatten bir güne kadar olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle radonun bozunma ürünleri akciğer kanseri yönünden radondan daha tehlikelidir (Küçüktaş, 1996).

### 3. RADYASYON BİRİMLERİ VE SINIR DEĞERLER

Radyasyon ölçme metodlarının dolayısıyla radon gazı ölçüm tekniklerinin geliştirilebilmesi için, öncelikle radyasyonu değerlendirebilecek uygun birimlerin kullanılması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu(ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılacak birimleri tanımlamıştır. Bunlar; soğurulan doz için rad, ışınlama için Roentgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise rem'dir. MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Unit, SI)' nin kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tariflemiştir. Bu kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması gerekmektedir. Çizelge 1' de radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir.

Çizelge 1. Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.

Büyükük	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörü
Işınlama	Roentgen (C / kg)	Roentgen (R)	1C/kg = 3876R
Absorblanan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1 Sv=100rem
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1Bq=2,7.10 <sup>-11</sup> Ci

Uluslararası Radyasyon Koruma Komitesi (ICRP), maden ocakları için özellikle radon gazının sürekli olarak izlenmesini tavsiye ederek sınır değerleri belirlemiştir. Buna göre, yıllık radyasyon dozu 3-10 mSv arasında sınırlandırılmıştır. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu 500-1500 Bq/m<sup>3</sup> olup, eylem seviyesinin de bu aralıktan seçilmesini tavsiye edilmiştir (ICRP-65, 1993). Türkiye'de "TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği"nde, solunum yoluyla alınmasına izin verilen radon konsantrasyon değerinin yılda ortalama olarak; 1000 Bq/m<sup>3</sup> değerlerini aşamayacağı belirtilmiştir (TAEK, 2000).

### 4. RADON ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Radon renksiz, tatsız, kokusuz ve radyoaktif bir gaz olduğu için insan duyu organlarıyla tespit edilemez. Ancak, geliştirilmiş özel tekniklerle radon ölçümleri yapılabilir. Radon ölçüm teknikleri aktif ve pasif olmak üzere iki grupta incelenebilir. Aktif ölçüm tekniğinde, anlık radon ölçümleri yapılmaktadır. Bunun için radon konsantrasyonu belirlenecek yerden hava numunesi alınmakta ve numune içinde bulunan radyasyon miktarı bir radyasyon sayıcısı ile sayılarak radon konsantrasyonu hesaplanmaktadır. İyon Odaları, Sintilasyon Hücreleri, Elektostatik Toplayıcılar ve Filtreler aktif radon ölçümlerinde kullanılan aletlere örnek olarak verilebilir (Durrani, 1997).

Pasif ölçüm tekniğinde ise. Nükleer İz Dedektörleri kullanılarak uzun süreli integrale radon ölçümleri yapılmaktadır. Nükleer iz Dedektörleri ile radon konsantrasyon ölçümleri çeşitli plastik maddelerden yapılmış film tabakaları kullanılarak

gerçekleştirilir. Bu yöntem, plastik plakalar üzerine çarpan alfa parçacıklarının gözle görülmeyen bir iz bırakması ve bu izin kimyasal iz kazıma yöntemi ile büyütülerek mikroskopta sayılması esasına dayanmaktadır (Şekil 1). Selüloz Asetat, Polikarbonat ve Allil Diglikol Karbonat gibi plastik maddelerden yapılmış nükleer iz dedektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Durrani, 1997).



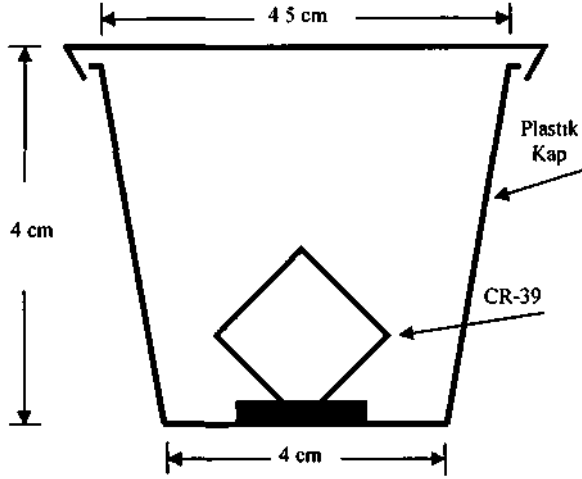
Şekil 1. Pasif radon dedektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi.

Uzun süreli radon konsantrasyon ölçümleri için ticari adı CR-39 olan "allil diglikol karbonat" plastik plakalarından yapılmış pasif nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır. Ölçümler, Zonguldak Taşkömür Havzası'ndaki Kozlu, Karadon ve Üzülmöz ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Boyutları 20 x 20 x 0,25 mm olan CR-39 plakaları, su bardağı şeklinde, yaklaşık 60 ml hacmindeki bir plastik kabın (radon difüzyon kabı) tabanına yerleştirilmiştir. Kabın ağzı, radon ürünlerini filtre ederek yalnız radon gazını geçirecek bir kapakla kapatılmıştır. Şekil 2' de radon gazı ölçümlerinde kullanılan difüzyon kabının şematik görünüşü verilmiştir. Difüzyon kabı içine giren radon gazının, radyoaktif bozunması sonucu çıkan alfa parçacıklarının dedektör ile etkileşmesi sonucu oluşacak izlerin sayısı, bu kap içine giren radon konsantrasyonu ile orantılıdır (Çelebi, 1995). Ocaklarda önceden belirlenen farklı noktalara ikişer adet dedektör yerleştirilmiş ve yaklaşık 40 gün süreyle radon gazına maruz bırakılmıştır.

## 5. KALİBRASYON İŞLEMİ

Pasif radon dozimetrelerinin integre radon ölçümlerinde kullanılabilmesi için, radon konsantrasyonu bilinen ortamlarda kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada pasif nükleer iz dedektörlerinin kalibrasyonu ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziği Bölümü'nde yapılmıştır.

Radon kalibrasyon odası, tabanına alfa ışını yayımlayan bir <sup>226</sup>Ra kaynağı yerleştirilmiş, 225 litrelik bir bidondan oluşmaktadır. Oda içindeki radonun denge konsantrasyonu 3,2 kBq/m<sup>3</sup>tür. Dedektörler kalibrasyon odasında belirli sürelerle radona maruz bırakılır ve dedektörler üzerinde oluşan radon izleri, kimyasal kazıma işleminden sonra mikroskopta sayılarak değerlendirilirler (Çelebi, 1995). Böylece bilinen konsantrasyona göre iz sayısı belirlenerek bir kalibrasyon faktörü bulunmuş olur.



Şekil 2. Difiizyon kabının şematik görünüşü.

Dedektörler toplandıktan sonra %30' luk NaOH çözeltisi içerisinde 70 °C sıcaklıkta, 17 saat bekletilerek kimyasal iz kazıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Background iz yoğunluğu ise radon gazına maruz kalmamış dedektörler kullanılarak belirlenmiştir. Kalibrasyon faktörü, 5,4 kBq.sa / iz.m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Kimyasal iz kazıma işlemi ile mikroskopta görünür hale getirilen alfa izleri, (x 250) büyütmeli Leitz SM- WX polarize optik mikroskop ve Leica Q 550 CW tam otomatik görüntü işleme seti kullanılarak belirlenmiştir. Görüntü işleme seti mikroskop, mikroskoptan görüntüyü alan CCD kamera, kameradan elde edilen analog görüntüyü dijital hale çeviren işlemci (capture board) ile donatılmış ve LEICA Qwin isimli software' in yüklü olduğu bir PC'den oluşmaktadır. Sayım işleminde, ilk olarak her dedektör üzerinde 10 farklı bölgeden önlü, arkalı olmak üzere toplam 20 resim çekilmiştir. Ardından, bu resimler üzerindeki izler LEICA Qwin isimli software kullanılarak sayılmıştır. Daha sonra iz sayılarının ortalaması alınarak birim alandaki iz yoğunluğu tespit edilmiştir. Bu işlemler tüm dedektörler için ayrı ayrı yapılarak her bir dedektör üzerindeki iz yoğunluğu belirlenmiştir.

## 6. RADON ÖLÇÜMLERİ

Radon konsantrasyon ölçümleri için Kozlu ve Karadon Müesseseleri' nde 17, Üzülmaz Müessesesi' nde 8 noktaya ve bir noktaya iki adet olmak üzere toplam 84 adet dedektör yerleştirilmiştir. Kozlu, Karadon ve Üzülmaz Müesseseleri için ölçülen radon konsantrasyon değerleri ve hesaplanan radon ürünlerine maruz kalma dozları Çizelge 2' de verilmiştir.

Kozlu, Karadon ve Üzülmaz Müesseseleri'nde yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonları sırasıyla 359 - 1470 Bq/m<sup>3</sup>, 253 - 1213 Bq/m<sup>3</sup> ve 428 - 1098 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Fişne, 2002). Bu ölçümlerden elde edilen ortalama radon konsantrasyonları ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Havza genelinde toplam 42 noktadan elde edilen sonuçların genelde 500 - 1000 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonlarının bu limit değerden düşük olduğu söylenebilir. Ancak ölçüm yapılan her üç işletmede de en az bir noktada TAEK' nin belirlediği müdahale limitinin (action level) üzerinde radon konsantrasyonu belirlenmiş ve bazı noktalarda da bu sınır değere oldukça yakın konsantrasyonlar bulunmuştur. Ölçüm yapılan noktaların %74' ünde (31 nokta) 500 Bq/m<sup>3</sup> ün üzerinde radon gazı ölçülmüştür. Havzanın ortalama radon konsantrasyon değeri 679 ±242 Bq/m olarak tespit edilmiştir (Fişne, 2002).

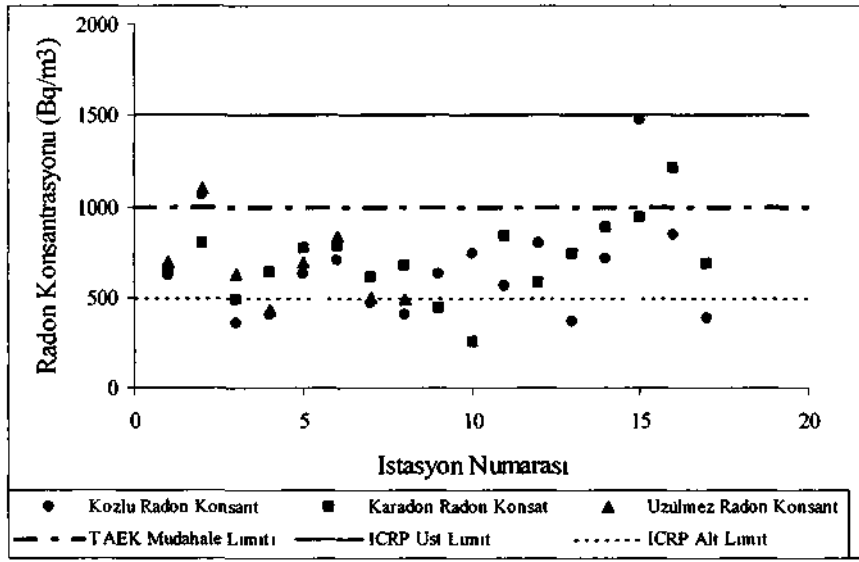
Kozlu, Karadon ve Üzülmez yeraltı maden ocaklarında gerçekleştirilen radon gazı ölçümlerinden elde edilen sonuçların sınır değerlere göre dağılımı Şekil 3' de verilmiştir.

Çizelge 2. Radon konsantrasyon değerleri ve radon ürünlerine maruz kalma dozları.

Ölçüm No.	Radon Konsantrasyonu (Bq / m <sup>3</sup> )			Radon Ürünlerine Maruz Kalma Dozu ( WLM / yıl)		
	Kozlu	Karadon	Üzülmez	Kozlu	Karadon	Üzülmez
1	622	658	696	0,78	0,83	0,88
2	1057	802	1098	1,33	1,01	1,38
3	359	484	632	0,45	0,61	0,80
4	403	637	428	0,51	0,80	0,54
5	625	768	695	0,79	0,97	0,88
6	704	782	836	0,89	0,99	1,05
7	471	607	502	0,59	0,76	0,63
8	402	674	488	0,51	0,85	0,61
9	628	443		0,79	0,56	
10	744	253		0,94	0,32	
11	567	837		0,71	1,05	
12	801	580		1,01	0,73	
13	365	740		0,46	0,93	
14	711	884		0,90	1,11	
15	1470	940		1,85	1,18	
16	847	1213		1,07	1,53	
17	383	688		0,48	0,87	

Her üç bölgeden elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, Karadon Müessesesi'nde nispeten daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak Karadon Müessesesi'nde ölçüm yapılan noktaların kömür üretim panolarına daha yakın olması gösterilebilir. Çünkü, üretim esnasında kömür parçalanmakta ve radon gazı, oluşan yeni serbest yüzeyler yoluyla ocak havasına daha hızlı karışmaktadır. Benzer şekilde Kozlu ve Üzülmez Müesseseleri'nde de üretim panolarına yakın noktalarda yüksek radon konsantrasyonu elde edilmiştir. Örneğin, Kozlu Müessesesi'nde 1057 Bq/m<sup>3</sup>, Üzülmez Müessesesi'nde 1098 Bq/m<sup>3</sup> radon gazı ölçülen noktalar üretim panolarının çok yakınındadır. Ocağa temiz hava girişinin sağlandığı kuyu diplerinde radon konsantrasyonlarının düşük çıkması beklenirken, aynı zamanda bir radon kaynağı olabilen beton malzeme ile tahkim edilmiş kuyu diplerinde de beklenenden daha yüksek

radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Örneğin Kozlu Müessesesi' nde 704 Bq/m<sup>3</sup>, Karadon Müessesesi' nde 674 Bq/m<sup>3</sup> ve Üzülmöz Müessesesi' nde 836 Bq/m<sup>3</sup> radon konsantrasyonu ölçülen noktalar bu tür yerlerdir.



Şekil 3. Kozlu, Karadon ve Üzülmöz Müesseselerinde ölçülen radon konsantrasyonlarının limit değerlere göre dağılımı

## 7. RADYASYON DOZU DEĞERLENDİRMESİ

Doz hesapları, yıllık etkin eşdeğer dozlar için UNSCEAR-2000 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) ve radon ürünlerine maruz kalma dozları ICRP-65 raporlarında önerilen modeller kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu doz hesaplama modellerinde işçilerin çalışma ortamında saatte 1,2 m<sup>3</sup> hava soluduğu ve yılda 2000 saat çalıştığı kabul edilmiştir (UNSCEAR, 2000, ICRP-65, 1993). Aşağıda 1Bq/m<sup>3</sup>lük radon konsantrasyonuna karşılık maruz kalman doz değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir.

$$\frac{1 \text{ Bq m}^{-3}}{3700 \text{ Bq m}^{-3} / \text{WL}} \times 0,4 \times \frac{2000 \text{ sa yıl}^{-1}}{170 \text{ sa / WL}} = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ WLM yıl}^{-1} \quad [1]$$

$$\frac{9 \text{ nSv sa}^{-1}}{1 \text{ Bq m}^{-3}} \times 0,4 \times 2000 \text{ sa yıl}^{-1} = 7,2 \cdot 10^3 \text{ nSv yıl}^{-1} = 7,2 \cdot 10^3 \text{ mSv yıl}^{-1} \quad [2]$$

Kozlu, Karadon ve Üzülmöz Taşkömürü işletme Müesseseleri için ölçülen ortalama radon konsantrasyonları ve bu değerlerden hareketle hesaplanan ortalama yıllık etkin eşdeğer dozlar (mSv / yıl) ve ortalama radon ürünlerine maruz kalma dozları (WLM/yıl)

Çizelge 3' de verilmiştir. ICRP yıllık etkin dozlar için limit değerleri belirlemiş ve bu değerlerin 3-10 mSv arasında kalmasını tavsiye etmiştir. Kozlu, Karadon ve Üzülmaz yeraltı maden ocakları için hesaplanan yıllık etkin doz değerleri bu sınırlar içinde kalmaktadır.

Çizelge 3. Hesaplanan Ortalama Doz Değerleri (Fişne, 2002)

Müessese	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq /m <sup>3</sup> )	Ortalama Eşdeğer Doz (mSv / yıl)	Ortalama (WLM/ yıl)
Kozlu	6561287	4.72	0.83
Karadon	705 ±215	5.08	0.90
Üzülmaz	672 ±218	4.84	0.85
Zonguldak	679 ±242	4.89	0.86

Kozlu, Karadon ve Üzülmaz Müesseseleri için hesaplanan radon ürünlerine maruz kalma dozları sırasıyla 0.45-1.85 WLM/yıl, 0.32-1.53 WLM/yıl ve 0.54-1.38 WLM/yıl arasında değişmektedir (Fişne, 2002). Ortalama radon ürünlerine maruz kalma dozları ise Çizelge 3' de verilmiştir.

ICRP radon ürünlerine maruz kalma dozunu 2 WLM/yıl olarak belirlemiştir. Ayrıca, ABD, Kanada, Avustralya, Fransa, Federal Almanya, İngiltere, ve İtalya' da çoğu kömür olmak üzere çeşitli maden ocaklarında yapılan araştırmalarda ortalama radon ürünlerine maruz kalma değerinin 0,1 - 0,6 WLM / yıl arasında değiştiği bulunmuştur. Dünya genelinde ise ortalama radon ürünlerine maruz kalma dozu, kömür ocakları için 0,2 WLM / yıl olarak tespit edilmiştir (Yener, 1998).

Her üç müessese için hesaplanan yıllık ortalama radon ürünlerine maruz kalma dozları Çizelge 3'de de görüldüğü gibi ICRP' nin belirlediği limit değerinin altında kalmaktadır. Ancak bazı noktalarda bu limit değere oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 2). Gelişmiş ülkelerin ortalaması ile karşılaştırıldığında, söz konusu ocaklar için hesaplanan dozlann yüksek olduğu görülmektedir.

## 8. SONUÇ

Ölçüm sonuçları Uluslararası Radyasyon Koruma Komitesi (ICRP)' nin önerileri doğrultusunda Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)' nun belirlediği yeraltı madenlerinde maksimum müsaade edilebilir radon gazı konsantrasyon limitine (action level, 1000 Bq/m<sup>3</sup>) göre değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların genelde 500 - 1000 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonlarının bu limit değerden düşük olduğu söylenebilir. Ancak ölçüm yapılan ocaklarda en az bir noktada limit değeri aşan sonuçlar elde edilmiş ve bazı noktalarda bu sınır değere oldukça yakın konsantrasyonlar bulunmuştur. Bu verilere dayanarak, ocakların radon ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerinin oluşturacağı sağlık riskleri açısından önemli bir tehlike taşımadığı söylenebilir. Ancak, durumun net bir şekilde ortaya koyulabilmesi için Havzada daha geniş kapsamlı radon gazı ölçümlerinin ve epidemiolojik çalışmaların yapılması gerekmektedir.



## 9. KAYNAKLAR

- Alkan, H. ve Göksel, S. A.** (1975) Türkiye Kaplıca ve Maden Sularının Doğal Radyoaktiviteleri Sularda Radon Tayini, *T.B.T.A.K. V. Bilim Kongresi*, s. 229-241.
- Çelebi, N.** (1995) Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durrani, S. A. and Hiç, R.** (1997) Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, *Earth Sciences and the Environment*, World Scientific, New Jersey, U.S.A., 387p.
- Evans, R. D.** (1968). Engineers' Guide to The Elementary Behavior of Radon Daughters. *Health Physics*, Vol. 38, pp. 1173-1197.
- Fişne, A.** (2002) Yeraltı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Sevelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hewson, G. S. and Ralph, M. I.** (1994) An investigation into radiation exposure in underground non-uranium mines in Western Australia. *J. Radiol. Prot.* Vol. 14, No. 4, pp. 359-370.
- ICRP-65.** (1993) Protection against  $^{222}\text{Rn}$  at home and work, *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*, Annals of ICRP, Publication No. 65, Oxford: Pergamon Press.
- Küçüiktaş, E.** (1996) Maden Ocaklarındaki Radyonüklid Konsantrasyonlarının Birikimi Etkileyen Parametrelere Bağlı Olarak Ölçülmesi, Maruz Kalınan Dozların Analitik Bir Yöntem Geliştirilerek Hesaplanması, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İzmir.
- Lowndes, I. and Şensöğüt, C.** (1990) Computer simulation of radon contamination levels around controlled district recirculation circuits. *Mining Science and Technology*, Vol. 10, pp. 177-189.
- Planiniç, J. Faj, D. Vukoviç, B. Faj, Z. Radoliç, V. and Suveljak, B.** (2002) Radon exposure and lung cancer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 256, No. 2, pp. 349-352.
- Sengupta, M.** 1990 *Mine Environmental Engineering*. CRC Press, Florida, U.S.A, 304 p.

- Singh, A. K. Varma N. K. Ahmad, I. Shay, N. and Singh, R. P.** (2001). Environmental health hazards in coal mines with special reference to radioactivity and its control - a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 31, No. 1, pp. 63 - 77
- TAEK,** (2000) *Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği*, Resmi Gazete, sayı:23999.
- UNSCEAR,** (2000) Sources, effects and risks of ionizing radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, Report to General Assembly, UNO.
- Yener, G. and Küçfiktaş, E.** (1998) Concentrations of radon and decay products in various underground mines in western Turkey and total effective dose equivalents. *The Analyst*, Vol. 123, pp. 31-34.