

**ÇORUM İLİ GENELİNDE FAALİYET GÖSTEREN  
KÖMÜR OCAKLARINDAKİ  
RADON GAZININ ÖLÇÜLMESİ**

**Sefa ÜZBEY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2009**

## ANKARA

Sefa ÜZBEY tarafından hazırlanan “ÇORUM İLİ GENELİNDE FAALİYET GÖSTEREN KÖMÜR OCAKLARINDAKİ RADON GAZININ ÖLÇÜLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Doç.Dr. Eyyüp TEL.....

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Şeref OKUDUCU.....

Gazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Doç.Dr.Eyyüp TEL.....

Gazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Doç.Dr.Abdullah AYDIN.....

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

04 / 11 / 2009

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof.Dr. Nail ÜNSAL.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sefa ÜZBEY

**ÇORUM İLİ GENELİNDE FAALİYET GÖSTEREN  
KÖMÜR OCAKLARINDAKİ RADON GAZININ ÖLÇÜLMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Sefa ÜZBEY**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kasım 2009**

**ÖZET**

Bu çalışmada Çorum İli bünyesinde faaliyet gösteren ve özel şirket tarafından işletilen 2 farklı ilçede ve 3 farklı kömür ocağında radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Her bir madene 25 ile 30 arasında CR-39 radon gazı detektörü madenlerin her bir farklı noktasına yerleştirilmeye çalışılmıştır. Yerleştirilen bu detektörlerin ortalama 45 gün ile 60 gün arasında bırakıldıkları yerlerde kalmaları sağlanmıştır. Toplanan detektörler hava ile teması iyice kesilmesi için alüminyum folyo ile sarılarak hava almayacak şekilde bantlanmıştır. Bantlanan detektörler ÇNAEM' e götürülerek deneysel işlemlerden geçirilmiş ve 1 metreküpteki Becquerel (Bq/m<sup>3</sup>) cinsinden sonuçlar elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar ICRP'nin ve TAEK'in önerileri doğrultusunda belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

**Bilim Kodu** :202.1.108

**Anahtar Kelimeler** :Çorum, Maden Ocakları, Radon Gazı, Radyoaktiflik

**Sayfa Adedi** :67

**Tez Yöneticisi** :Doç.Dr. Eyyüp TEL

**The Measurements of Radon Gases at Coal Pits in Çorum**  
**(Post-Graduate Thesis)**

**Sefa ÜZBEY**

**GAZİ UNIVERSITY**  
**SCIENCES INSTUTION**

**November 2009**

**ABSTRACT**

**In this study, the radon gas measurements of three different coal pits that are run by a private company in two different towns of Çorum has been carried out. About 25-30 numbers of CR-39 radon gas detectors have been tried to place to the different points of coal pits. These detectors have been kept at these points for about 45-60 days. In order to prevent these detectors to contact with air, they have been covered with foils and bands. These covered bands have been taken to ÇNAEM and have been subjected to experimental process and lastly the Becquerel (Bq/m<sup>3</sup>) type of results in 1m<sup>3</sup> has been obtained. The results have been compared with the limit values determined in the direction of ICRP and TAEK references.**

**Scientific Code :202.1.108**

**Key words :Çorum, Coal Pits, Radon Gas, Radioactivity.**

**Pages :67**

**Thesis Advisor :Assoc. Prof. Eyyüp TEL**

## TEŞEKKÜR

Çorum İli genelinde faaliyet gösteren, 3 farklı maden ocağında radon gazı ölçümlerini yaparak bölgenin radoaktivite durumunun ortaya konması amacıyla yapılan bu tez çalışmamda bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Eyyüp TEL'e, ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Başkanı Sayın Dr. Berna ATAKSOR'a, Radoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Koordinatörü Dr.Nilgün ÇELEBİ'ye ve yardım eden diğer TAEK ve ÇNAEM personeline katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Lisanüstü eğitimim ve tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı Sayın Prof.Dr. Satılmış BASAN'a ve bu süreçte bana yardım eden, emeği geçen geçen diğer tüm hocalarımıza katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kömür ocaklarında çalışma yapmam için izin veren ve bu esnada bana yardımcı olan, maden sahipleri ile, ocak içerisinde yardımcı olan Maden Mühendisleri Ziya ÇAKIR, Turan Fevzi KAYIKÇI ve Kadir AYRANCI'ya ve Elektrik Teknikeri Harun AHİRZAMAN'a ayrıca her üç ocakda da bana yardımcı olan diğer tüm personele teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, her zaman ve her durumda beni destekleyen ve seven aileme en içten duygularla teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE .....	4
2.1. Radyoaktif Parçacıklar ve Işınlr.....	6
2.1.1. Alfa( $\alpha$ ) parçacığı.....	6
2.1.2. Beta( $\beta$ ) parçacığı.....	7
2.1.3. Gama( $\gamma$ ) ışını.....	9
2.2. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları.....	10
2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları.....	11
2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları.....	17
2.3. Radyoaktivite Birimi.....	18
3. RADON GAZI.....	20
3.1. Radon'un Kaynağı ve Yayılımı.....	21
3.2. Radonun Fiziksel Özellikleri.....	23

**Sayfa**

3.3. Radon Konsantrasyonlarının Derinlikle İlişkisi.....	26
3.4. Karasal Radyasyon.....	26
3.4.1. Topraktaki doğal radyoaktivite.....	26
3.5. Evlerdeki Radon Düzeyleri.....	27
3.6. Sulardaki Doğal Radyoaktivite.....	28
3.7. Yeraltı Madenlerinde Radon Düzeyleri.....	29
3.8. Radon Uranyum Rezerv İlişkisi.....	30
4. RADON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	31
4.1. Kısa dönem ölçüm teknikleri.....	32
4.1.1. Aktif kömür tekniği.....	32
4.1.2. Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür.....	32
4.1.3. Elektrot iyon odaları.....	32
4.1.4. Sürekli monitörler.....	33
4.1.5. Radon Tuzağı (Grab Sampler) tekniği.....	33
4.2. Uzun dönem ölçüm teknikleri.....	34
4.2.1. Katı hal nükleer iz dedektörleri (Alfa iz dedektörleri).....	34
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
5.1. Çalışma Yapılan Kömür Ocakları.....	37
5.1.1. 1 Nolu kömür ocağı (Dodurga).....	37
5.1.2. 2 Nolu kömür ocağı(İskilip).....	39
5.1.3. 3 Nolu kömür ocağı(İskilip) .....	41
5.2. Detektörlerin Temini.....	43

	<b>Sayfa</b>
5.3. Detektörlerin Ocaklara Yerleştirilmesi ve Toplanması.....	43
5.4. Detektörlerin Okunması.....	44
6. DENEY SİSTEMİ VE KALİBRASYON İŞLEMİ.....	45
6.1. Radosys 2000.....	45
6.2. Araştırmada Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi.....	45
6.2.1. Cr-39 radon detektörleri.....	45
6.3. Alfa Parçacıklarının Maddeyle Etkileşmesi.....	46
6.4. Kimyasal İz Kazıma Ünitesi.....	47
6.5. Radon İz Okuma Cihazı.....	49
7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	52
7.1. Radon Konsantrasyon Değerleri.....	52
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	67

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Radyoaktif Seriler.....	13
Çizelge 2.2. Uranyum serisi.....	14
Çizelge 2.3. Toryum serisi.....	15
Çizelge 2.4. Aktinyum serisi.....	16
Çizelge 2.5. Neptünyum serisi.....	17
Çizelge 3.1 <sup>238</sup> U Bozunum serisindeki bazı radyo izotopların özellikleri.....	20
Çizelge 3.2. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu.....	21
Çizelge 3.3. Toprak düzeyinde havadaki ortalama radon konsantrasyonları.....	28
Çizelge 7.1. Çalışma yapılan kömür ocaklarındaki detektör sayıları ve radon konsantrasyon değerleri.....	54

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Alfa, beta, gama ve X ışınları ve nötronun etki uzaklıkları.....	5
Şekil 2.2. Yeryüzünde radyasyon dağılımı.....	11
Şekil 2.3. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar.....	11
Şekil 3.1. $^{238}\text{U}$ 'den $^{206}\text{Pb}$ 'a Radyoaktif bozunma serisi.....	24
Şekil 6.1. Kalibrasyon doğrusu.....	51
Şekil 7.1. 1 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyonu değerleri....	52
Şekil 7.2. 2 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyonu değerleri...	53
Şekil 7.3. 3 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyonu değerleri....	54

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. 1 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü.....	38
Resim 5.2. 1 nolu kömür ocağının açık işletmeden bir görünümü.....	38
Resim 5.3. 1 nolu kömür ocağı içerisine yerleştirilen Cr-39 radon gazı detektörü...39	
Resim 5.4. 2 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü .....	40
Resim 5.5. 2 nolu kömür ocağı içerisine yerleştirilen Cr-39 detektörü.....	40
Resim 5.6. 3 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü .....	42
Resim 5.7. 3 nolu kömür ocağına radon gazı detektörünü yerleştirirken .....	42
Resim 5.8. 3 nolu kömür ocağına konulan radon gazı detektörü .....	43
Resim 6.1. Cr-39 radon gazı detektörü ve iç kesiti.....	46
Resim 6.2. Kimyasal iz kazıma banyo ünitesi.....	48
Resim 6.3. Slaytlara yerleştirilmiş detektörler.....	48
Resim 6.4. Otomatik iz okuma sistemi.....	49
Resim 6.5. Radon konsantrasyonunun belirlenmesi.....	50
Resim 6.6. Bilgisayar ekranında görülebilen alfa izleri.....	50

**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 5.1. Çalışma yapılan kömür ocakları.....	36

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tezde kullanılan bir takım simge ve kısaltmalar ile açıklamaları aşağıda verilmiştir.

<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CGS</b>	Santimetre, gram, saniye
<b>ÇNAEM</b>	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
<b>DSİ</b>	Devlet Su İşleri
<b>ICRP</b>	International Commission on Radiological Protection
<b>LET</b>	Lineer Enerji Transfer
<b>MTA</b>	Maden Teknik Arama
<b>SI</b>	International System of Unit
<b>TAEK</b>	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<b>TKİ</b>	Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>Simge</b>	<b>Açıklama</b>
<b>D</b>	Track Density
<b>D<sub>f</sub></b>	Background Track Density
<b>ppm</b>	Parts per million
<b>RAC</b>	Radon Activity Concentration
<b>S</b>	Standart Calibration Factor
<b>T</b>	Time

## 1.GİRİŞ

Radyoizotopların büyük bir bölümünün keşfine öncü olan; Becquerel, Pierre ve Marie Curie'nin çalışmalarının ardından radyoaktiflik alanında ciddi çalışmalar yapılmıştır. Doğal radyoaktif çekirdeklerin her biri, kendi karakteristik yayılım düzeni ile bozunur ve belirli kimyasal davranışları ile teşhis edilebilirler. Rutherford ve Soddy, radyoaktif atomların çeşitli radyasyonlar yayarak daha hafif yapılara dönüştüğünü ileri sürmüşlerdir [Lapp ve Andrews, 1972].

Doğal radyoaktivitenin önemli bir bölümü, toprak ve kayalarda, binaların duvarları ve zeminlerinde, içtiğimiz su ve yediğimiz besinlerde bulunan radyoaktif cevherlerden kaynaklanır. İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyonların background aktiviteleri esas olarak bölgenin jeolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Radyoaktif kaynakların aktivitesi CGS birim sisteminde Curie (Ci ) veya SI birim sisteminde Becquerel (Bq) cinsinden ölçülür. Bir Curie; saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunuma sahip herhangi bir radyoaktif maddenin miktarıdır.

Radyoaktiflik, bir atom çekirdeğinin tanecikler veya elektromanyetik ışınlar yayarak kendiliğinden parçalanması olayıdır. Radyoaktif elementlerin bozunması ile ortama alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) parçacıkları ile gama ( $\gamma$ ) ışını yayınlanır. Radyoaktif elementlerin başlıcaları  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{235}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ , ve  $^{238}\text{U}$ 'dir [Şahin, 2009].

Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan ve topraktan gelmekte olup gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radon volkanik kayalarda, kumtaşı ve kireçtaşıdan daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır [Yetkinöglü, 1991].

Kömür ocakları genelde bir yeraltı madeni olarak çalışmaktadır. Açık maden olarak da çalışılan yer üstü kömür ocakları olsa da bunların sayısı sınırlıdır. Bu nedenle kömür ocaklarındaki radon gazı seviyesi evlerimizdeki radon gazına oranla daha

fazladır. Bu fazlalığın ana nedeni kömür olmayıp kömürü içinde barındıran toprak ve kayaçlardır. Bu çalışmada ölçülen radon gazı yeraltındaki topraktan kaynaklı radon gazıdır.

Kömür ocaklarında kısa süreli aralıklarla takibi yapılan gazlar; metan(CH<sub>4</sub>), karbonmonoksit(CO) ve oksijendir(O<sub>2</sub>). Kömür ocaklarında metan gazı hava içinde %1,5-2 civarında iken tehlike arz etmektedir. Metan gazı %2 den daha büyük değerlere ulaştığı anda patlama ihtimali olmaktadır ve hemen bu miktarın altına düşürülmesi gerekmektedir. Karbonmonoksit gazı kömür ocaklarında kömür damarlarındaki kızışmalara ve buna bağlı yanmalara neden olmaktadır, Karbonmonoksit için tehlike sınırı 50 ppm mertebesindedir. Temiz hava içinde oksijen miktarı %20,8 miktarında olmakla birlikte yeraltı madenlerinde ölçülen miktarlar %19'un altına düştüğü zaman ortamdaki oksijen miktarı yükseltilmelidir.

Bununla birlikte kömür ocaklarında radon gazı genelde hiç ölçülmemekle ve bu gazın ne kadar tehlikeli olduğu da bilinmemektedir. Bu da gösteriyor ki radon gazı tüm yeraltı madenlerinde gizli bir tehlike teşkil etmektedir. Gerek metan, karbonmonoksit ve oksijen gazları olsun gerekse radon gazı olsun maden içerisinde tehlike sınırlarına ulaşmaması için havalandırmanın iyi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada Çorum'da faaliyet gösteren 3 farklı kömür ocağına yeterli sayıda Cr-39 radon gazı detektörü yerleştirilmiştir. Bu detektörler 45 ile 60 gün arasında ocak içinde kaldıktan sonra toplanmış ve dış ortam ile bağlantısı kesilerek sayma işlemi için ÇNAEM'e götürülmüş ve sayım işlemi yapılmıştır.

1 nolu kömür ocağında 22 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu 292,83 Bq/m<sup>3</sup>, 2 nolu kömür ocağında 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu 198,54 Bq/m<sup>3</sup> ve 3 nolu kömür ocağında ise 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu ise 285,89 Bq/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Alınan sonuçlar ICRP ve TAEK'in işyerleri ve maden ocakları için belirlediği radon gazı seviyesinin altında olduğu görülmüştür.

Bu alışma da radon gazı detektörleri TAEK tarafından temin edilmiş ve detektörlerin sayımı yine ÇNAEM tarafından yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma ÇNAEM tarafından desteklenmiştir.

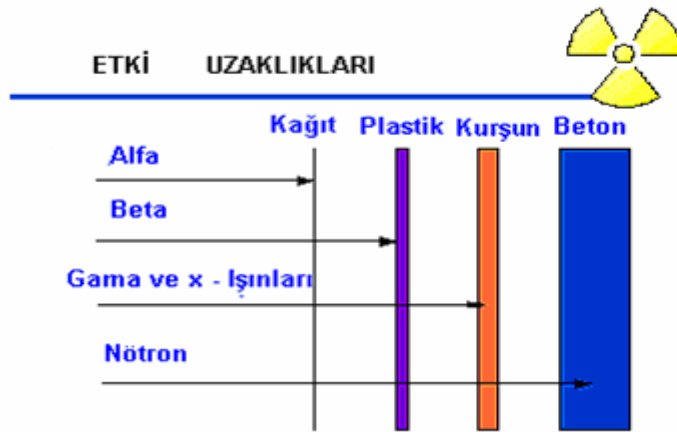
## 2. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı (N) proton sayısından (Z) biraz daha fazla ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarında olup, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle çok sıkı bir şekilde bağlıdır ve hiçbir parçacık çekirdek dışına çıkamaz. Böylece çekirdek kararlı halde kalır. Ancak, çekirdek kararsızsa, yüksek enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada tutamayacaktır. En basit çekirdek olan Hidrojen çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir düzeye ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek Bi-209'dur. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar ki bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Bu olay üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmaksızın, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğal radyoaktif çekirdekler, büyük patlamadan sonra yıldızların oluşumu sırasında açığa çıktıkları varsayılan birincil radyoaktif çekirdekler ve büyük oranda atmosferde üretilen kozmik çekirdekler olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır [[www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)].

Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz.

Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği maddelerde yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon oluşumu yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde insanlar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. İyonlaştırıcı radyasyonlar; parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahiptir ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Dalga tipi radyasyonlar ise titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir [[www.taek.gov.tr/ogrenci](http://www.taek.gov.tr/ogrenci), Özalpan, 1980].

Radyoaktif atomların çekirdekleri kararlı hale gelirken; alfa, beta parçacığı ve gama ışınımı yaparlar. Başlıca beş çeşit iyonlaştırıcı radyasyon vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır.



Şekil 2.1. Alfa, beta, gama ve X ışınları ve nötronun etki uzaklıkları [Değerlier, 2007].

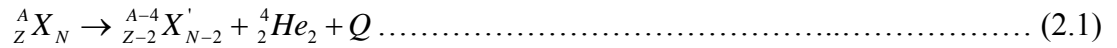
## 2.1. Radyoaktif Parçacıklar ve Işımlar

### 2.1.1. Alfa( $\alpha$ ) parçacığı

İki nötron ve iki protondan oluşan bir helyum çekirdeğidir. Alfa parçacıkları, nötron sayısının proton sayısından çok fazla olduğu polonyum, toryum, radyum ve uranyum gibi ağır çekirdeklerin izotoplarından yayınlanır. Alfa parçacığı, yapısında bulunan proton nedeni ile pozitif yüklü; proton ve nötronlar nedeni ile diğer radyasyon bozunmasından oluşan ürünlere göre oldukça ağır kütleyle sahip parçacıktır [Şahin, 2009].

Herhangi bir madde içinden geçerken büyük kütleleri sebebiyle kolayca soğurulduklarından kısa erişimlidirler. İnce bir kâğıt, her çeşit kumaş, 0,004 cm kalınlıktaki bir alüminyum folyo ve insan derisi alfa parçacıklarını durdurmaya yeterlidir. Ancak yüksek iyonlaştırıcı özelliğinden dolayı bu ışınlar tehlikelidir. Herhangi bir yolla solunum ve sindirim sistemlerine girdiklerinde zararlı etkileri büyük olur [Kaplan, 1969].

Alfa bozunumunda, kararsız durumdaki bir çekirdek, taban duruma geçmek için  ${}^4_2\text{He}(\alpha)$  çekirdeğini yayınlar. Bir  $\alpha$  bozunumu reaksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilir:



Q,  $\alpha$  bozunum enerjisi, X ana çekirdek, X' ürün çekirdektir.

$$Q = (m_x - m_{x'} - m_\alpha)c^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

olarak verilir.  $m_x$ , ana çekirdeğin kütlesi,  $m_{x'}$  ürün çekirdeğin kütlesi,  $m_\alpha$  helyum atomunun kütlesi ve c'de ışık hızıdır.

Alfa yayınlanması bir Coulomb itmesi olayıdır. Coulomb kuvveti  $Z^2$  ile orantılı olduğu için bu durum ağır çekirdeklere gidildikçe daha önemli hale gelir. Alfa bozunumunda tipik olarak 5 MeV civarında enerji açığa çıkar. Alfa parçacığı, Q değerinin yaklaşık % 98' ini taşıırken, çok daha ağır olan ürün çekirdek ise sadece yaklaşık olarak %2'sini taşır [Krane, 1987].

Alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV' in altında olup madde içerisinden geçerken büyük olan elektrik yükleri nedeniyle yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek tamamen yutulurlar ve enerjilerini kaybederler. Dolayısı ile alfa parçacığının madde içindeki menzilleri kısadır. Menzilleri kısa olduğundan alfa parçacıkları zırhlanması kolay bir radyasyon tipidir.

Hava ortamı düşük enerjili alfa parçacıklarını zırhlamaya yeterli olur. Ortamda katı maddenin bulunması zırhlanmayı güvenli kılar. Bu bakımdan alfa parçacıkları önemli bir dış radyasyon tehlikesi oluşturamazlar. Buna karşın vücut içine alınmaları halinde tehlikelidirler. Çünkü vücut içinde, alfa parçacıkları menzilleri kısa olduğundan, doğrudan canlı doku ile temas edebilmekte ve bütün enerjilerini aktarmaktadırlar. Taşıdıkları elektrik yüklerinden dolayı kuvvetli iyonlaşmaya sebep olduklarından canlı dokuda istenmeyen olgular meydana getirirler. Bu bakımdan canlılar için iç radyasyon tehlikesi oluştururlar. Bir başka ifadeyle, alfa parçacıkları dış ışınlama şartları için önemsiz, ancak iç ışınlama için tehlike arz etmektedirler [Çelebi, 1995].

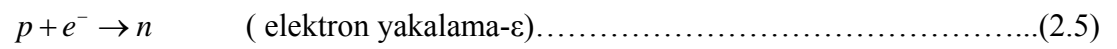
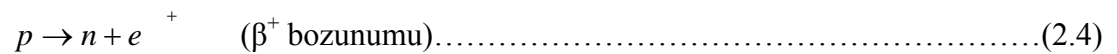
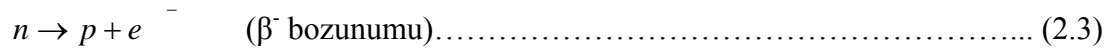
### **2.1.2. Beta( $\beta$ ) parçacığı**

Bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötron fazlalığından kurtulmak için yayınladığı yüksek enerjili elektronlar beta parçacıkları olarak bilinirler. Radyoaktif bir çekirdeğin kararlı hale gelmesi sırasında oluşan enerji çekirdek dışına çıkarken maddeleşerek beta parçacığını oluşturur ve ortam içerisine bu halde yayılır. Eğer çekirdekteki enerji fazlalığı, nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa, bir nötron bir protona dönüşerek negatif yüklü bir beta parçacığı( $\beta^-$ ), enerji fazlalığı proton fazlalığından kaynaklanıyorsa, bir proton bir nötrona dönüşerek pozitif yüklü bir beta

parçacığı( $\beta^+$ ) oluşur. Bu bir serbest elektron yükü gibi düşünülebilir ve genellikle beta parçacığı denilince negatif yüklü ve elektron tabiatında bir parçacık kastedilir [Şahin, 2009]. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta ışıması yapan radyoaktif çekirdeklere örnek olarak; Potasyum(K-40), Stronsiyum (Sr-90) ve Karbon (C-14) gösterilebilir.

Beta parçacığının madde ile etkileşmesi iyonlaşma ve uyarılma ile olur ve bunun sonucunda beta parçacığı giderek enerjisini yitirir. Beta parçacıkları, kütlelerinin küçük oluşu ve negatif yükleri nedeniyle; genellikle yolları üzerinde atomların yörünge elektronları ile çarpışırlar. Bu arada atom çekirdekleri ile çarpışma olasılıkları da vardır [Özalpan, 1980].

Beta bozunumunda çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem iki farklı yolla gerçekleşebilir. Her ikisinde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka, yüklü bir parçacığın bulunması gerekir.



İlk işlem negatif beta bozunumu veya negatron bozunumu olarak bilinir ve bir elektron yaratılıp yayınlanmasını kapsar. İkinci işlem pozitif beta veya pozitron bozunumudur ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. Üçüncü işlem ise bir proton bir nötrona dönüşür [Özbey, 1993].

Bu üç olayın hepsinde de nötrino ( $\nu$ ) adı verilen bir diğer parçacık yayınlanır. Bunların elektrik yükü olmadığından varlığı diğer çıkan parçacıkların kimliğini etkilemez.

Beta bozunumunda salınan elektronların sıfırdan bir maksimum değere kadar enerjiye sahip oldukları gözlenir. Yani beta spektrumu sürekli bir spektrumdur.

Beta parçacıkları havada enerjilerine bağlı olarak birkaç metre gidebilirler. Bu nedenle, beta parçacıkları insanlar için dış radyasyon etkisi oluştururlar. Yüksek enerjili beta parçacıkları vücuda temas etmeleri halinde cilt yanıkları meydana getirebilirler. Ayrıca alfa parçacıkları gibi vücut içine girdiklerinde tüm enerjilerini canlı dokuda bıraktıklarından iç radyasyon etkisi oluştururlar. Buna göre beta parçacıklarının iç ve dış radyasyon tehlikesi açısından insanlar için önemli olduğunu söyleyebiliriz [Yaşar ve Köksal, 2002].

### 2.1.3. Gama( $\gamma$ ) ışını

Alfa, beta ve pozitron yayılımı ya da elektron yakalama olaylarından sonra çekirdek hemen kararlı hale gelemez. Bozunmadan sonra oluşan ürün çekirdek hala uyarılmış durumdadır. Çekirdek bu uyarılma enerjisini gama ışını olarak dışarı salmak suretiyle temel seviye ya da mümkün olan en düşük enerji seviyesine dönmek ister. Gama ışınları, yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromanyetik dalga özelliğindedir. Elektrik olarak yüksüzdür ve kütleleri yoktur. Havada birkaç yüz metre, kurşunda 8-10cm gittikleri halde yine de tümüyle soğurulamazlar. Gama yayınlayan çekirdeklere birkaç örnek olarak; Sezyum(Cs-137), Kripton (Kr-88), Kobalt (Co-60) verilebilir.

Yüksek bir enerji durumundan; ( $E_i$ ), daha düşük bir enerji durumuna; ( $E_s$ ) geçen bir çekirdekten yayınlanan gama ışınının enerjisi,

$$E = h\nu = E_i - E_s$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $h$ , Planck sabiti(J.s)  $\nu$  de frekans(1/s)'dir. Alfa ve beta bozunmasından farklı olarak, gama bozunması çekirdeğin atom veya kütle numarasında bir değişikliğe sebep olmaz. Alfa ve beta yayınlayıcılara kıyasla gama yayınlayıcılar çok küçük yarı-ömlere sahiptirler. Gama ışınları enerji dalgaları

olmalarından dolayı elektriksel yüke sahip olmayıp kütsüz olarak kabul edilirler. Bu nedenle  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları tarafından itilme ve çekilmeye maruz kalmazlar [Krane, 1987].

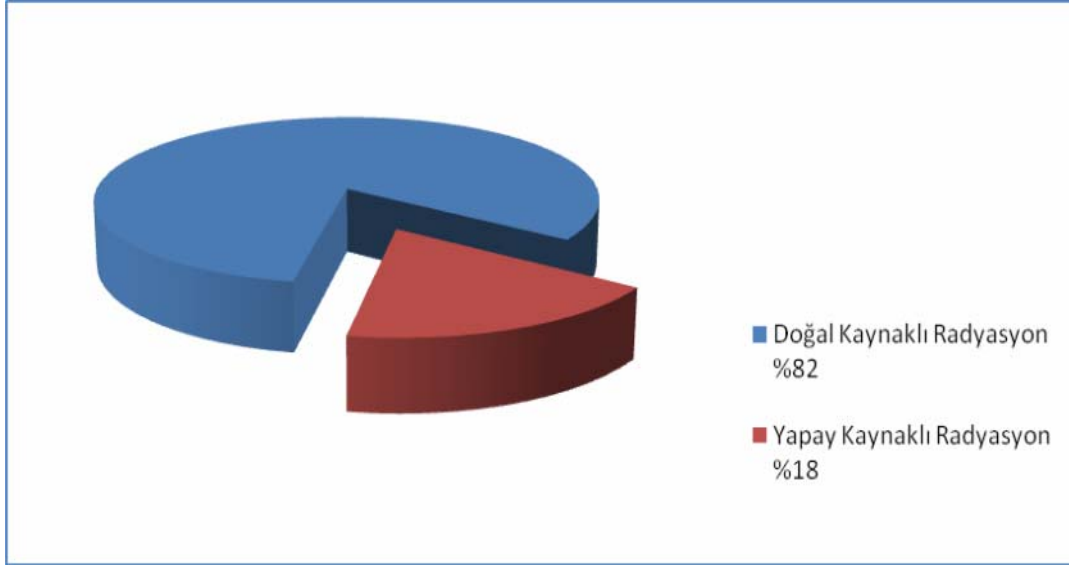
Gama yayınlanması çoğunlukla alfa ve beta bozunmasından sonra olur, çekirdeğin yapısını değiştirmez.

Gama ışınları, X-ışınları veya görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyon fotonlarıdır. X ve gama ışınlarının madde içine nüfuzu daha fazla olup alfa ve beta parçacıkları gibi belirli bir madde tarafından durdurulamazlar. Bunun yerine içinden geçtikleri ortamın belirli kalınlıkları bu ışınları belirli bir oranda soğuracağından şiddet azalması eksponansiyeldir [Yaşar ve Köksal, 2002].

## **2.2. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları**

Gerek insanlar gerekse diğer canlılar hem yer kabuğundan hem de uzaydan kaynaklanan doğal radyasyona yaşamları boyunca sürekli olarak maruz kalmaktadırlar. Bu gruptaki iyonlaştırma etkisi olan radyasyonlara kısaca doğal radyasyonlar denilmektedir. Son yüzyılda bu doğal radyasyon seviyelerine bazı yapay radyasyon kaynakları da eklendiğinden, canlıların maruz kaldıkları ortalama radyasyon dozunun arttığı gözlenmiştir.

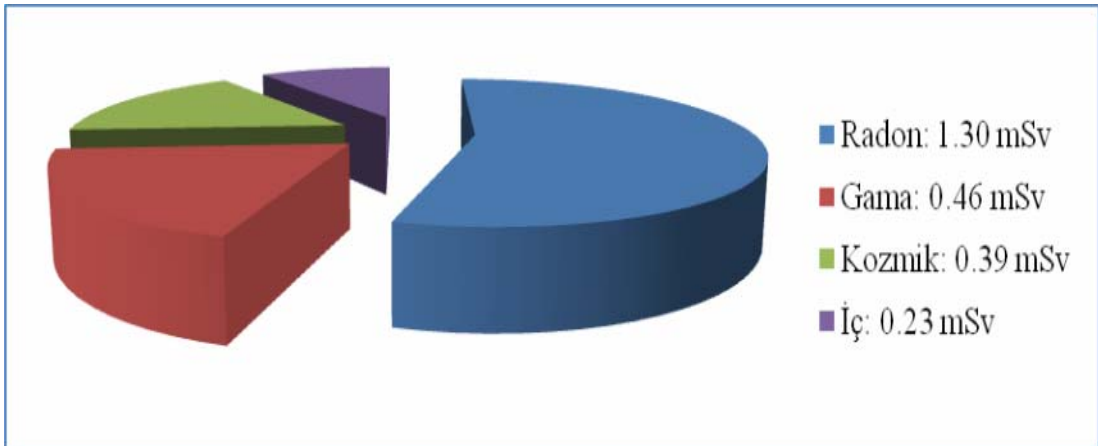
Çevresel radyasyon kaynakları, doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak iki grupta toplanabilmektedir.



Şekil. 2.2. Yeryüzünde radyasyon dağılımı.

### 2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları

İnsanlar ve yeryüzünde yaşayan diğer tüm canlıların maruz kaldıkları çeşitli radyasyon etkilerinin önemli bir bölümü çevresel doğal kaynaklardan gelmektedir. Dünyanın oluşumundan bu yana insanlar sürekli olarak doğal radyasyon kaynaklarından dolayı radyasyona maruz kalmaktadırlar. Şekil 2.3’de farklı doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar görülmektedir.



Şekil 2.3. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlar [Taşkın, 2006].

Şekil 2.3’de de görüldüğü üzere doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozun önemli bir bölümü radondan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın da konusu olan radon ve bozunum ürünleri ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Evrenin henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyonüklidlerin bu süre içinde ömürlerini tamamladıkları bilinmektedir [Kaplan, 2009].

Yeryüzündeki doğal radyasyon düzeyleri birçok faktöre bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. En önemli faktör, yer kabuğunda bulunan radyoaktivite konsantrasyonlarının, ortamın jeolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak, çok geniş bir aralıkta değişim göstermesidir. Örneğin, volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu, tortul kayalara göre daha yüksektir [Çelebi, 1995].

Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hatta birbirlerine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir [Kaplan, 2009]. Bölgeler için gama radyasyonları hem en kolay ölçülebilen hem de bölge radyoaktivite karakteristiğini en net şekilde ortaya koyan radyasyonlardır.

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlarla ait parçacıklardan ve karasal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplar karasal radyasyonu oluşturmaktadır.

### Radyoaktif seriler

Doğada her biri ağır bir radyoizotoptan başlayan üç radyoaktif bozunum serisi bulunmaktadır. Ayrıca bir tanede yapma seri mevcuttur. Bunlar:

- 1-Uranyum serisi (U-238 kaynaklı)
- 2-Toryum serisi (Th-232 kaynaklı)
- 3-Aktinyum serisi (U-235 kaynaklı)
- 4-Neptünyum Serisi (Np-231 kaynaklı) dır.

Doğal radyoaktif seriler (Çizelge 2.1); uranyum, toryum, aktinyum, ve neptünyum (izotopları tükenmiş ya da geçerli olan yöntemlerle varlığı gösterilmeyecek kadar az olan radyoaktif seri) serileridir [Artel, 1950].

Çizelge 2.1. Radyoaktif seriler

Kütle Numarası	Seriler	Ana Çekirdek	Yarı Ömrü ( yıl )
A= 4n	Toryum Serisi	${}_{90}^{232}Th$	$1,39 \times 10^{10}$
A=4n+1	Neptünyum Serisi	${}_{93}^{237}Np$	$2,25 \times 10^6$
A=4n+2	Uranyum Serisi	${}_{92}^{238}U$	$4,51 \times 10^9$
A=4n+3	Aktinyum Serisi	${}_{92}^{235}U$	$7,07 \times 10^8$

#### *Uranyum serisi*

Uranyum serisi, üyesi olan  ${}^{226}Ra$  ve  ${}^{222}Rn$  radyoizotoplarının bozunum karakteristikleri nedeniyle; bozunum serileri içerisinde en önemli olanıdır. Özellikle Radyum, endüstride ve sağlıkta yaygın olarak kullanılır.

${}^{238}U$  ile başlar, sekiz alfa ve altı beta parçacığı yayınlayarak kurşunun bir izotopu olan  ${}^{206}Pb$  kararlı bir atoma dönüşür, serinin başında bulunan elementin kütle numarası 4n+2 sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.2. Uranyum serisi

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
92 Uranyum	<sup>238</sup> U	4,5 x 10 <sup>9</sup> yıl	4,2	-	0,048	23
90 Toryum	<sup>234</sup> Th	24,1 gün	-	0,19	0,09	4
91 Proaktinyum	<sup>234</sup> Pa	1,17 dakika	-	2,29	1	0,6
92 Uranyum	<sup>234</sup> U	2,5 x 10 <sup>5</sup> yıl	4,8	-	0,05	28
90 Toryum	<sup>230</sup> Th	8 x 10 <sup>4</sup> yıl	4,8	-	0,068	24
88 Radyum	<sup>229</sup> Ra	1602 yıl	4,8	-	0,186	4
86 Radon	<sup>222</sup> Rn	3,82 gün	5,49	-	0,5	0,07
84 Polonyum	<sup>218</sup> Po	3,05 dakika	6	-	-	-
82 Kurşun	<sup>214</sup> Pb	26,8 dakika	-	0,65	0,24	4
83 Bizmut	<sup>214</sup> Bi	19,7 dakika	5,5	1,5	0,61	47
84 Polonyum	<sup>214</sup> Po	160 $\mu$ s	7,7	-	0,8	0,014
82 Kurşun	<sup>210</sup> Pb	21 yıl	-	0,016	0,046	81
83 Bizmut	<sup>210</sup> Bi	5 gün	-	1,16	-	-
84 Polonyum	<sup>210</sup> Po	138 gün	5,30	-	0,08	0,001
82 Kurşun	<sup>206</sup> Pb	Kararlı				

*Toryum serisi*

<sup>232</sup>Th ile başlar, altı alfa ve dört beta parçacığı yayınlıyarak kurşunun bir izotopu olan <sup>208</sup>Pb'a dönüşür. n bir tam sayı olmak üzere, serinin başında bulunan elementin kütle numarası 4n sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.3. Toryum serisi

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			$\alpha$	B	$\gamma$	
90 Toryum	<sup>232</sup> Th	1,4 x 10 <sup>10</sup> yıl	4	-	0,06	23
88 Radyum	<sup>228</sup> Ra	6,7 yıl	-	0,054	-	-
89 Aktinyum	<sup>228</sup> Ac	6,13 saat	-	1,11	0,90	30
90 Toryum	<sup>228</sup> Th	1,91 yıl	5,43	-	0,08	28
88 Radyum	<sup>224</sup> Ra	3,64 gün	5,68	-	0,24	5
86 Radon	<sup>220</sup> Rn	55 s	6,29	-	-	-
84 Polonyum	<sup>216</sup> Po	0,16 s	6,78	-	-	-
82 Kurşun	<sup>212</sup> Pb	10,6 saat	-	0,36	0,23	81
83 Bizmut	<sup>212</sup> Bi	60,6 dakika	6,05	2,20	8	17
84 Polonyum	<sup>212</sup> Po	300 ns	8,78	-	0,04	-
81 Talyum	<sup>208</sup> Tl	3,1 dakika	-	1,79	-	100
82 Kurşun	<sup>208</sup> Pb				2,62	
Kararlı						

*Aktinyum serisi*

<sup>235</sup>U ile başlar, yedi alfa ve dört beta parçacığı yaymak suretiyle, <sup>207</sup>Pb kurşunun bir izotopuna dönüşür. Serinin başında bulunan elementin kütle numarası 4n+3 sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.4. Aktinyum serisi

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
92 Uranyum	<sup>235</sup> U	7,1 x 10 <sup>8</sup> yıl	4,38	-	0,185	12
90 Toryum	<sup>231</sup> Th	25,5 saat	-	0,30	0,25	90
91 Proaktinyum	<sup>231</sup> Pa	3,2 x 10 <sup>4</sup> yıl	5,06	-	çok	
89 Aktinyum	<sup>227</sup> Ac	21,6 yıl	4,95	0,046	çok	
90 Toryum	<sup>227</sup> Th	18,2 gün	6,04	-	çok	
88 Radyum	<sup>223</sup> Ra	11,4 gün	5,86	-	çok	
86 Radon	<sup>219</sup> Rn	4s	6,82	-	0,27	11
84 Polonyum	<sup>215</sup> Po	1,78 ms	7,38	-	-	-
82 Kurşun	<sup>211</sup> Pb	36,1 dakika	-	1,36	0,83	20
83 Bizmut	<sup>211</sup> Bi	2,15 dakika	6,62	0,59	0,35	?
81 Talyum	<sup>207</sup> Tl	4,79 dakika	-	1,44	0,90	0,16
82 Kurşun	<sup>207</sup> Pb	Kararlı				

*Neptünyum serisi*

Yapma bir seridir ve <sup>237</sup>Np ile başlar. Seri, <sup>209</sup>Bi izotopu ile son bulur ve serinin başında bulunan elementin kütle numarası 4n+1 sayı dizisi ile gösterilir. Bu seri gaz üyesi olmayan tek seridir. Periyodik cetvelde bulunmayan <sup>85</sup>At ve <sup>87</sup>Fr radyoizotopları, bu serinin üyeleridir [Şahin, 2009].

Çizelge 2.5. Neptünyum serisi

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
93 Neptünyum	<sup>237</sup> Np	2,1 x 10 <sup>6</sup> yıl	4,8	-	0,09	50
91 Proaktinyum	<sup>233</sup> Pa	27 gün	-	0,26	0,06	0,20
92 Uranyum	<sup>233</sup> U	1,6 x 10 <sup>5</sup> yıl	4,8	-	0,04	14
90 Toryum	<sup>229</sup> Th	7,3 x 10 <sup>3</sup> yıl	4,8	-	0,11	6
88 Radyum	<sup>225</sup> Ra	14,8 gün	-	0,32	0,04	33
89 Aktinyum	<sup>225</sup> Ac	10 gün	5,8	-	0,03	28
87 Fransiyum	<sup>221</sup> Fr	4,8 dakika	6,3	-	0,22	14
85 Astatin	<sup>217</sup> At	0,03 s	7	-	0,22	15
83 Bizmut	<sup>213</sup> Bi	47 dakika	6	1,39	0,44	?
83 Polonyum	<sup>213</sup> Po	4,2 $\mu$ s	8,4	-	-	-
82 Kurşun	<sup>209</sup> Pb	3,3 saat	-	0,63	-	-
83 Bizmut	<sup>209</sup> Bi	Kararlı				

### 2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları genel olarak radyoaktif serpinti, tıbbi uygulamalar ve endüstriyel uygulamalar ile tüketici ürünlerinden oluşmaktadır.

Savaş zamanında nükleer silahların kullanılması ve hatta barış zamanında bu nükleer silahların test edilmesi sonucu radyoaktif kirlilik meydana gelmektedir. Bu silahların kullanımı esnasında açığa çıkan radyasyon atmosfere karışarak global bir radyoaktif kirliliğe sebep olmaktadır. Yapay radyasyon kaynaklarının %1' den daha az bir kısmını radyoaktif serpintiler oluşturmaktadır.

Yapay radyasyon kaynaklarının %90'ını tıbbi uygulamalar oluşturmaktadır. Radyoaktivite tıpta teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Teşhis için kullanılan yöntemler arasında, X ışını makineleri, radyografi, floroskopi, fotofloroskopi, mamografi, tomografi, radyofarmostik uygulamaları sayılabilir.

Tedavi için kullanılan yöntemler ise kanser hücrelerinin ışınlanması ve çeşitli radyofarmostik uygulamalara yöneliktir.

Yapay radyasyon kaynaklarının %3 gibi bir kısmını endüstriyel uygulamalar ve tüketici ürünleri oluşturmaktadır. Tüketici ürünleri olarak renkli televizyonlar, video, sigara ürünleri, yakıtlar (kömür vs.) saymak mümkündür. Endüstriyel amaçlı cihazlara örnek olarak ise hava alanı bagaj kontrol sistemleri, elektron mikroskobu vs. örnek olarak gösterilebilir [Kaplan, 2009].

### 2.3. Radyoaktivite birimi

Radyoaktivite birimi CGS birim sisteminde Curie (Ci) ve SI birim sisteminde Becquerel (Bq) 'dir. 1 Ci saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunuma eşittir. Bu değer, yaklaşık olarak 1 gram radyumun aktifliği (saniyedeki bozunum sayısı) olarak bilinmektedir.

$$Aktiflik = \lambda N = \frac{0,693}{T} N \dots\dots\dots(2.6)$$

ile verilir. Burada N, m gram madde içindeki radyoaktif çekirdeklerin sayısını gösterdiğinden,  $N_A$  Avogadro sayısını, A kütle numarasını ve T yarılanma ömrünü göstermek üzere,

$$N = \frac{N_A m}{A} \dots\dots\dots(2.7)$$

olacağından, aktiflik;

$$Aktiflik = \frac{0,693 N_A m}{AT} \dots\dots\dots(2.8)$$

olacaktır. Burada  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  atom / atomgram ve değeri Ci'nin tanımı kullanılarak,

$$Aktiflik = (1,13 \times 10^{13}) \frac{m}{AT} (Ci) \dots\dots\dots(2.9)$$

bağıntısı ile Ci türünden verilir.

Ra<sup>226</sup>,nın yarılanma ömrü 1620 yıldır. 1 gr Ra<sup>226</sup>,nın Ci türünden aktifliği, için  
m = 1gr, A = 226 ve T = 1620x86400 s

$$Aktiflik = \frac{1,13 \times 10^{13} \times 1,0}{226 \times 1620 \times 365 \times 86400} Ci = 0,978 Ci \cong 1 Ci \dots\dots\dots(2.10)$$

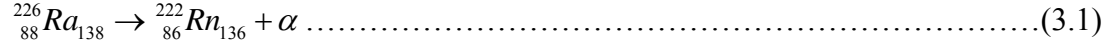
olarak bulunur.

$$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 3,7 \times 10^{10} \frac{\text{bozunum}}{s} \dots\dots\dots(2.11)$$

Becquerel (Bq); 1 saniyedeki 1 parçalanmaya karşılık gelir [Yılmaz, 1998].

### 3. RADON GAZI

Radon gazı,  $^{238}\text{U}$ 'dan  $4\alpha$  ve  $2\beta$  bozunumu sonucu oluşmaktadır. En son  $^{226}\text{Ra}$ 'dan  $\alpha$  bozunarak oluşur ve bozunma tepkimesi,



ile verilir.  $^{238}\text{U}$  (yarı ömrü  $t_{1/2} = 4,49 \times 10^9$  yıl ve izotopik bolluğu = 0,9927) gibi bazı çok uzun ömürlü radyo çekirdekler, dünyada doğal olarak bulunur.  $^{238}\text{U}$  bozunum zinciri, oluştuğunda topraktaki gözeneklerden doğrudan kaçan, atmosferde saçılabilen ve az bulunan bir gaz olan  $^{222}\text{Rn}$ 'u içeren 15 elemente sahiptir (Çizelge 3.1). Radon çekirdeği,  $^{226}\text{Ra}$  radyum izotopunun, 86 keV geri tepme enerjisi ile alfa parçacığı yayınlaması ile oluşur [Denagbe, 2000].

Atmosferik radon yoğunlaşmasındaki mevsimlik, günlük ve farklı jeolojik yapıya bağlı olarak belirgin değişimler olabilmektedir. Yeryüzü yoğunlaşma seviyesinin sonbahar ayı boyunca ve kışın ilk yarısında yüksek ve ilkbahar boyunca da düşük olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Yeryüzünden atmosfere yayılan radon miktarının yaklaşık olarak yıllık  $9 \times 10^{19}$  Bq olduğu tahmin edilmektedir [Baykara, 2005].

Çizelge 3.1.  $^{238}\text{U}$  Bozunum serisindeki bazı radyoizotopların özellikleri [Şahin, 2009].

İzotop	Fiziksel Hali	Başlıca Radyoaktif Emisyonu	Yarı Ömrü	Bozunma Formu
$^{238}\text{U}$	Katı	Alfa	$4,49 \times 10^9$ yıl	$^{234}\text{Th}$
$^{226}\text{Ra}$	Katı	Alfa	1600 yıl	$^{222}\text{Rn}$
$^{222}\text{Rn}$	Gaz	Alfa	3,8 gün	$^{218}\text{Po}$
$^{218}\text{Po}$	Katı	Alfa	3 dakika	$^{214}\text{Pb}$
$^{214}\text{Pb}$	Katı	Beta, Gama	27 dakika	$^{214}\text{Bi}$
$^{214}\text{Bi}$	Katı	Beta, Gama	19,7 dakika	$^{214}\text{Po}$
$^{214}\text{Po}$	Katı	Alfa	164 $\mu\text{s}$	$^{210}\text{Pb}$

### 3.1. Radon' un Kaynağı ve Yayılımı

Radon gazı radyumun, radyum da uranyum ve toryum' un bozunması sonucu oluşan doğal radyoaktif elementlerdir. Uranyum ve Toryum yerkabuğunu oluşturan kayalarda ve toprak içinde çok yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre metamorfik ve volkanik kayalaların radyoaktif madde içeriği tortul kayalardan daha çoktur.

Uranyum yerkabuğunda 2–4 ppm arasında ve çok yaygın olarak bulunan bir elementtir. Genellikle, molibden, tungsten, arsenik ve berilyumla beraber bulunmaktadır. Granit gibi yüksek silis içeren volkanik kayalarda 6 ppm gibi biraz daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Silis içeriği az olan fakat magnezyum, alüminyum ve demir içeriği yüksek olan kayalar 1 ppm' den daha az uranyum içerirler. Yerkabuğunun bazı bölgelerinde alkali içeriği yüksek olan granitlere de rastlanmış ve bunların 100 ppm' in üstünde uranyum içerdiği tespit edilmiştir [Fişne, 2002]. Çeşitli kayaç türlerinin uranyum içeriği izelge 3.2' de verilmiştir.

Yeraltı kömür ocaklarında radon gazının kaynağı jeolojik yapıyı oluşturan kayalar ve kömürün bünyesindeki uranyum, toryum veya radyumdur. Kaya veya kömür içerisindeki bu radyoaktif maddelerin bozunması sonucu oluşan radon gazı çatlak ve gözeneklere kaçarak buralarda birikir. Daha sonra difüzyon yolu ile maden atmosferine geçer. Çatlak ve gözeneklerden yayılan radon gazı miktarı radonun yayılma gücü veya oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer %1–80 arasında değişmektedir [Çelebi, 1995].

Çizelge 3.2. Çeşitli kayaçlardaki ortalama uranyum konsantrasyonu [Fişne, 2002].

<b>Kayaç Türü</b>	<b>Ortalama <sup>238</sup>U (ppm)</b>
Magmatik Kayaçlar	2,6
Ultramafik Kayaçlar	0,03
Mafik Kayaçlar	0,8
Felsik Kayaçlar	3,5
Sedimenter Kayaçlar:	
• Kalkerler	2,5
• Kumtaşları	0,45
• Şistli Killer	4,1
Siyah Renkli Şistli	2-300
Granit	2,8-4
Alkali Granit	10-100
Yerkabuğu	0,2
Toprak	1

Ayrıca yeraltı suları da kömür ocakları için önemli bir radon kaynağı durumunda olabilir. Bu suların radyoaktiviteleri içinden geçtikleri veya temas halinde buldukları radyoaktif kütleler veya minerallerden gelmektedir.

Yeraltı suları içinde bulunan en önemli doğal radyoaktif madde radyumdur. Bunun da kaynağını suların içinden geçtiği ortamlardaki radyoaktif maddeler teşkil etmektedir.

Genel olarak volkanik kayaçlar, tortul kayaçlardan daha fazla radyoaktif madde içerdiklerinden, volkanik kayalar içinden geçip gelen yeraltı sularının radyum konsantrasyonu, tortul kayalardan gelen sularinkine oranla daha yüksektir.

Yeraltı suları içinde bulunan radon gazının kaynağını bu sulara çözülmüş radyum tuzları oluşturmaktadır. Ancak bazı yeraltı suları içerdikleri radyum tuzu konsantrasyonuna oranla çok daha yüksek konsantrasyonda çözülmüş radon gazı

ihativa etmektedirler. Bunun başlıca nedeni, ilave olarak suyun geçtiği ortamdaki kayaçların kırık ve çatlaklarından difüze olan radon gazının basınç altında su içinde çözünmesidir [Alkan ve Göksel, 1975].

### 3.2. Radonun Fiziksel Özellikleri

$^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$  bozunma zincirindeki  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunması ile sürekli olarak gelen asal bir gazdır. Uranyum serisinin elementlerinin genelinin katı olmasına rağmen, radon bir gazdır. Havadan yaklaşık olarak yedi defa daha ağır olan  $^{222}\text{Rn}$ , çukur yerlerde toplanır ve suda çözünür. Radonun farklı birkaç izotopu olmasına rağmen, insan sağlığına en büyük kaygı verici ve potansiyel bir tehdit oluşturan izotopu  $^{222}\text{Rn}$  dir. Radyoaktif bozunum reaksiyonları (bozunma serisi) süresince doğal olarak oluşur [Şahin, 2009].

Renksiz, kokusuz ve kimyasal olarak tepkisizdir. Gaz olmasından dolayı, dolaylı olarak su ya da doğrudan toprakta hareket edebilme özelliği ile yer değiştirir ve sürekli türemiş olur.

Doğal olarak üretilen radonun her üç radyoizotopu alfa parçacığı yayar. Bu parçacıkların hepsi katı hal iz detektörleriyle kolaylıkla algılanabilirler.

Radon aktivitesi, sıcaklığın artmasıyla çözünürlüğünün azalmasına rağmen, suyun sıcaklığının artmasıyla yükselmektedir ve metan, karbondioksit, nitrojen gibi gazlarla, genellikle yeraltı sularıyla birlikte dışarı taşınmaktadır. Radonun bu özellikleri, hidrotermal sistemlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde radonun bir araç olarak kullanılmasına izin verir [Toutain, 1999; Baykara, 2002].

Kristal katılarda radonun difüzyon katsayısı oldukça küçüktür ve radon kristal boyutlarına bağlı olmaksızın herhangi bir uzaklığa erişmeden önce bozulacaktır. Toprak içerisinde moleküler difüzyon ile radonun taşınımı, radonun kısa yarı ömründen dolayı sınırlıdır. Bu taşınım ile radonun çakılda erişim uzaklığı 5 m, doymuş çamur ve kilde 2 m'dir.

Basınç değişimi yerkabuğundaki ara yüzeylerdeki sıvı ve gazların akmasına neden olabilir ve böylelikle radonun bu maddeler ile taşınması ile sağlanır. Basıncın neden olduğu bir katkı da; basınç dalgalanmalarıyla yüzeye yakın bir topraktaki atmosferik pompalamadır.

**URANYUM - 238**

Radyasyon Çeşidi	Nüklid	Yarı Ömür
	uranyum - 238	4,47 milyon yıl
$\alpha$	toryum - 234	24,1 gün
$\beta$	protaktinyum - 234m	1,17 dakika
$\beta$	uranyum - 234	245000 yıl
$\alpha$	toryum - 230	8000 yıl
$\alpha$	radyum - 226	1600 yıl
$\alpha$	radon - 222	3,823 gün
$\alpha$	polonyum - 218	3,05 dakika
$\alpha$	kurşun - 214	26,8 dakika
$\beta$	bizmut - 214	19,7 dakika
$\beta$	polonyum - 214	0,000164 saniye
$\alpha$	kurşun - 210	22,3 yıl
$\beta$	bizmut - 210	5,01 gün
$\beta$	polonyum - 210	138,4 gün
$\alpha$	kurşun - 206	sabit

Şekil 3.1.  $^{238}\text{U}$ 'den  $^{206}\text{Pb}$ 'a Radyoaktif bozunma serisi [Değerlier, 2007].

Sudaki radon ile havadaki radon oranı arasındaki denge ilişkisi sıcaklıktan bağımsızdır. Ayrıca gözeneğin nem oranı artmasına paralel olarak radon yayılımı da artmaktadır. Su ve havanın hacmine eşit kapalı bir hacimde ve +15 °C'deki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan üç kat daha büyüktür. 0 °C sıcaklıktaki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan iki kat daha yüksektir.

Yerkabuğunda bulunan az miktardaki (ortalama 3 ppm) uranyumdan meydana gelen radon gazı, kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0,1 pCi/L lik bir ortalama radon konsantrasyonu bulunmaktadır. Yer kabuğundaki kayalarda bulunan radon ya doğrudan gaz ya da yeraltı suyundan çözünerek yeryüzüne ulaşır ve oradan atmosfere yayılır.

Radyoaktivite yeraltında iki şekilde gözlenir. Bunlar geçici ve kalıcı radyoaktivitelerdir. Sıcak sularda gözlenen radyoaktivite genellikle geçici radyoaktivitedir. Sürekli radyoaktivitede ise radyoaktif izotopların yayılımı sonucu oluşan radyoaktivitedir. Suyun radyoaktifliği, suda çözülmüş halde bir veya birkaç radyoaktif izotopun bulunmasından ileri gelmektedir. Radon gazının nispeten uzak mesafelere göçü ancak sulu ortamlarda mümkün olmaktadır. Yerkabuğu içindeki radyoaktif izotopların difüzyona uğraması sonucu kayalarda ve bunlar içindeki sularda radyoaktivite oluşmaktadır. Suların içindeki radon derin kökenli değildir. Çünkü bu gazın suda erimesi sıcaklık yükselince birdenbire azalmaktadır. Geldiği yerlerin 100 °C den az sıcaklıkta olması gerekir. Bu yüzden soğuk ve ılık sular daha çok radyoaktiftir. Radon, difüzyon sonucunda kayaç çatlaklarda taşınma ile günde 100 m kadar göç edebilir [Özmen, 1991].

Evlerde bulunan radon seviyesinin başlıca kaynakları, binanın temelindeki ve bodrum katlardaki çatlaklar, kanalizasyon, zemin ve duvarlar arasındaki eklemler, su ve elektrik tesisat borularıdır. Oda içindeki diğer radon kaynakları, su (özellikle kuyu suyu), tuğla ve beton gibi kayadan yapılan inşaat materyalleridir. Radon seviyesi, fayans, karo, seramik zeminlerde ve alt katlarda; üst katlara göre daha fazladır. Soğuk havada, kapı ve pencerelerin kapalı olması nedeni ile radon seviyesinin daha yüksek olmasına neden olur.

Radonun üç dakikalık yarı ömre sahip  $^{218}\text{Po}$  ve katı bozunum ürünleri  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$  insan sağlığında en büyük riski oluşturan bozunum ürünleridir. Radonun bu bozunum ürünlerinin radyoaktif bölünmesinden yayınlanan alfa parçacıkları, yeterince güçlü bir şekilde akciğer dokularına geçer ve hassas bazal epitelyum hücrelere zarar vererek akciğer kanserine yol açar [Vinas, 2004].

Yeraltı suyundaki ve havadaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonu; yeraltında bulunan Uranyum depolarının yerini saptama, dünya içinde gazların uzun mesafeli göçünün belirlenmesi, depremlerin önceden kestirilmesi ve yeraltındaki hidrokarbon depolarının varlığını saptamak gibi uygulamalar için dünya bilimlerinde iz olarak kullanılır [Garver ve Baskaran, 2004].

### 3.3. Radon Konsantrasyonlarının Derinlikle İlişkisi

Toprağın 0,5 metre derinliğindeki radon yoğunluğu, toprak havasından kaçan ve giren radon arasındaki dengenin konsantrasyonunun yaklaşık %50'si civarındadır ve topraktaki derinlik azalınca radon yoğunluğunda büyük değişimler meydana gelir. Bir metre derinlikte ise denge konsantrasyonu yaklaşık olarak %70-80'i civarındadır.

Radon ölçümleri yaklaşık olarak 1 m civarındaki derinliklerde en uygun ölçüm şartlarını sağlamaktadır. Bir metreden daha derin topraktaki radon yoğunluğu, daha sığ bölgelerdekine göre hemen hemen sabittir. 1 m civarındaki derinliklerde ölçüm almanın diğer bir nedeni ise, toprağın üst kısmından sızan uranyum ve radyumun toprağın 0-70 cm aralığında birikmesinin bu derinliklerde radon yoğunluğunun artmasıdır.

Toprak tipine, nem içeriğine ve maruz kaldığı rüzgâr ile ilişkili olarak radon yoğunluğu birbirine çok yakın noktalarda dahi değişiklik göstermektedir [Şahin 2009].

### 3.4. Karasal Radyasyon

#### 3.4.1. Topraktaki doğal radyoaktivite

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya tabakasının karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının, 0-30 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$

gibi radyonüklitlerin toprakta bulunma miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortul kayalarda görülür. Fakat bazı katmanlarına ayrılabilen tortul kaya (tortul şist) ve fosfat kayalarının da nispeten yüksek radyonüklit içeriğine sahip olması beklenir.

Bu kayalar çevresel şartlara bağlı olarak ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde topraktaki aktivitenin artmasına neden olurlar. Bazı zamanlarda yapılan tarımsal çalışmalar ve topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni gübreler 32 P içermesi nedeni ile topraktaki radyoaktivite seviyesini arttırmaktadır. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonu oldukça yüksektir. Toprakta bulunan radyoaktivite biyokimyasal işlemlerle bir miktar değişir. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarındaki oksidasyonlar ile başlar. Bu oksidasyonlar ile alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır. Toprakta bulunan bir çeşit asit olan hümik asit, kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar.

Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşması ile devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtası ile radyonüklitlerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyonüklit konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır.

Topraktaki  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu,  $^{238}\text{U}$  ya da  $^{232}\text{Th}$ 'den daha yüksek miktarlarda değişir.

### 3.5. Evlerdeki Radon Düzeyleri

Özellikle iyi havalandırılmayan binalarda radon konsantrasyonu dış hava konsantrasyonundan çok daha yüksek olabilmektedir. Bina içindeki radon

konsantrasyonu, dış hava içindeki konsantrasyona, duvar ve döşemelerden radonun yayınlanma hızına ( bu da duvarın gözenekliliğine ve yapı malzemesi içindeki  $^{226}\text{Ra}$  miktarına bağlıdır) ve odanın havalandırılma hızına bağlıdır.

Çizelge 3.3. Toprak düzeyinde havadaki ortalama radon konsantrasyonları [Fişne, 2002].

Yer	Radon Konsantrasyonu(Bq/m <sup>3</sup> )
Bratislava (Çekoslovakya)	5,18
Budapeşte (Macaristan)	2,59
Chicago (ABD)	1,11
Cincinnati (ABD)	9,62
Japonya	3,33
Kuzey Atlantik Okyanusu	0,22
Güney Pasifik Okyanusu	0,07
Güney Kutbu	0,02

### 3.6. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Dünyadaki tüm sularda bazı radyonüklitler vardır. Yağmur ve kar suyu gibi meteorolojik sular, doğal sular içerisinde en temiz olanlarıdır. Ancak bunlar da başlıca havayı oluşturan gazları, hidrolojik çevrim sırasında yolu üzerinde rastladıkları bütün maddeleri, çözünürlükleri oranında diğer maddeleri de çözelti veya karışık halde sürüklerler. Şehir ve sanayi bölgeleri yakınına düşen yağmur ve özellikle kar sularında  $\text{SO}_2$  ve sülfat asidi bulunur. Bu nedenle, yağmur ve kar suları, radyoaktif ve kimyasal kirlilik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bilindiği gibi insanların en çok tükettikleri ve sağlık açısından büyük önem taşıyan tüketim maddesi sudur. Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (Hidrolojik çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi geçtikleri veya buldukları

ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirletilebilirler.

Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir. Bu oluşumların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda çözünme derecelerine göre yeraltı sularına az yada çok oranda karışır. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlarda değişik oranlarda radyoaktif maddeler de bulunmaktadır. Bu maddeler magmatik oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, çatlaklı kalker gibi tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan sular radyoaktivite içerir. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddeler; Uranyum (U-238), Toryum (Th-232), Aktinyum serisi radyonüklitler veya onların bozunma ürünlerinden oluşur. Uranyum 238'in bozunması sonucu ortaya çıkan alfa aktif maddelerden başlıcaları, Radon (Rn-222) ve Radyum (Ra-226) dir. İçme sularının bir kısmı çözülmüş madde olarak içerdikleri potasyumun miktarına bağlı olarak da beta aktiftirler. Potasyum içinde doğal olarak çok az bir bollukta (%0,0118) Potasyum (K-40) bulunur. Ancak K-40'ın sulardaki beta aktivitesi düşük seviyededir.

Çevre ve gıda örneklerinin radyoaktif kirlenmesine neden olabilen bu doğal radyoaktif maddelerin dışında, doğada varolmayan ancak atmosferde yapılan nükleer denemeler, nükleer kazalar sonucu ortaya çıkan birçok radyonüklit stronsiyum (Sr-90, Sr-89), sezyum (Cs-137) vb. radyoaktif yağışlarla yeryüzüne inerek radyoaktif kirlenmeye sebep olur. Ayrıca nükleer ve radyolojik kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınmaması ve bunların denetimsiz olarak çevreye verilmesi de çevre kirliliğine neden olmakta, içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır[Değerlier, 2007].

### **3.7. Yeraltı Madenlerinde Radon Düzeyleri**

Maden ocaklarında yapılan radon ölçümlerinde ortalama konsantrasyon değerleri atmosferdeki, ev ve iş yerlerinde yapılan ölçümlere nazaran daha yüksek sonuçlar

elde edilmiştir. Türkiye’de TAEK (Türkiye Atom Enerji Kurumu) tarafından maden ocakları için belirlenen limit değer  $1000 \text{ Bq/m}^3$ ’dür.

Almanya’nın Schneeberg ve eski Çekoslovakya’nın Jochymav maden ocaklarında ölçülen radon konsantrasyonları  $111.000-555.000 \text{ Bq/m}^3$  arasında olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından tahmin edilmektedir. Bu madenlerin geniş alana yayıldığı sadece doğal havalandırma ile havalandığı rapor edilmektedir.

Ülkemizde ise İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi) maden fakültesi tarafından 2002 yılında Zonguldak Taş Kömürü İşletmesi (TTK) maden ocaklarında yaptığı çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu, Kozlu Taş Kömürü İşletmesinde  $656 \text{ Bq/m}^3$ , Karadon Taş Kömürü İşletmesi  $705 \text{ Bq/m}^3$  ve Üzülmez Taş Kömürü İşletmesinde  $672 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlemiştir.

Maden ocaklarında çalışan maden işçilerini radon gazından ve buna paralel olarak kanserden korumak için, havalandırma sistemlerine önem verilmelidir. Eğer çalışılan maden ocağı doğal havalandırma yolu ile havalandırılıyorsa bu işçiler açısından tehlike arz etmektedir [Baldık, 2007].

### **3.8. Radon Uranyum Rezerv İlişkisi**

Daha öncede belirtildiği gibi uranyum serisi  $^{238}\text{U}$  ile başlayarak diğer alt serilere bölünür. Uranyum tüm kayalarda ve topraklarda bulunmaktadır. Çizelge 3.8’ de toprak ve kaya çeşitlerinin tipik uranyum konsantrasyonları verilmektedir. Çizelgede belirtilen Florida’nın fosfat kayaları (120 ppm) ticari uranyum kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Radon gazının varlığı Uranyumun bir habercisidir. Yüksek miktarlarda radon konsantrasyonlarının tespit edildiği bölgelerin radon konsantrasyon haritaları incelendiğinde uranyum konsantrasyon haritalarıyla büyük bir uyumluluk gösterdiği ve haritaların çakıştığı gözlenmektedir [Kaplan, 2009].

#### 4. RADON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Günümüzde kullanılan pek çok radon ölçüm tekniği bulunmaktadır. Bu ölçüm teknikleri değişik şekilde sınıflandırılabilir. Radon ve bozunum ürünlerini ölçmek için;

- 1-Aktif ölçüm yöntemi,
- 2-Pasif ölçüm yöntemi,

olmak üzere iki temel yöntem geliştirilmiştir.

Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirmektedir. Aktif sistemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları kullanılmaktadır. Pasif ölçüm yönteminde ise termoluminesans detektörler veya katı hal nükleer iz detektörleri selüloz nitrat (LR-115) veya alil diglikol karbonat (Cr-39) kullanılır. Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

- a-) Detektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlarla
- b-) Gaz akışı olmayan difüzyon yoluyla radon girişi olan ağız kapaklı odacıklarla
- c-) Açık bir detektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlarla.

Radon ölçüm teknikleri, ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak ise:

- 1- Kısa dönem ölçüm teknikleri,
  - 2-Uzun dönem ölçüm teknikleri,
- olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

## **4.1. Kısa Dönem Ölçüm Teknikleri**

Kısa dönem ölçümlerde amaç bir an önce sonuçları almaktır. En sık kullanılan kısa dönem ölçüm teknikleri aktif kömür, alfa iz detektörleri, sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür, elektrot iyon odaları, radon tuzağı örnekleri ve sürekli monitörleridir.

### **4.1.1. Aktif kömür tekniği**

Bu teknik bir adsorblayıcı ortamda (kömür gibi) radon gazının adsorbe olmasına ve daha sonrada bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun bozunum ürünleri olan Pb-214 ve Bi-214' ün yayımladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu sayede radon miktarı tespit edilmiş olur.

### **4.1.2. Sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür**

Aktif kömür tekniği gibi radon gazının aktive edilmiş kömür üzerinde adsorblanması esasına dayanmaktadır. Fakat analiz için farklı bir ekipman kullanılır. Detektör tipik olarak içerisinde 1-3 gram kömür bulunan 20 ml' lik sıvı sintilasyon şişesinden oluşur. Ölçüm için sintilasyon şişesi açılarak radonun kömüre difüze etmesi sağlanır. Difüzyon sonrasında sintilasyon şişesi tekrar kapatılır ve analiz etmek için laboratuara götürülür. Analize hazırlamak için radon yayını tekniği kullanılır. Bu teknik kullanılarak kömür üzerine adsorbe olmuş radonun büyük bir kısmı sıvı sintilasyon şişesindeki özel sıvıya transfer edilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin çözüldüğü sıvıyı içeren sintilasyon şişesi sıvı sintilasyon sayıcısına yerleştirilir ve sayım alınır.

### **4.1.3. Elektrot iyon odaları**

Elektrot, kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzemedir. Çelik bir kap içerisine elektrot malzemesi (teflon gibi) yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşturur. Kabın tabanındaki küçük bir giriş radon gazının içeri girmesini sağlar.

Radon ve radonun bozunum ürünleri bozunduğu zaman alfa, beta ve gama ışınları yayımlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar hava içerisinde ilerlerken havadaki oksijen, azot gibi atomlarla çarpışırlar ve kap içerisinde iyonize parçacıklar üretirler. Bu iyonlar elektrot tarafından oluşturulmuş olan elektrik alan ile çekilerek toplanır ve elektrodun toplam yükü değişir. Bu değişimden yararlanarak radon konsantrasyonu bulunur.

#### **4.1.4. Sürekli monitörler**

Radon ölçümleri için kullanılan üç çeşit sürekli radon monitörü vardır. Bunlar; alfa sintilasyon, iyonizasyon odası ve katı hal dedeksiyonudur.

Sürekli radon monitörlerinin avantajları;

- Çoğu çeşidi taşınabilir.
- Sahada sonuç almak mümkündür.
- Radon konsantrasyonunun gerçek zamanlı değişimi görülebilir.
- Ölçüm aralıklarında esneklik sağlar.

Sürekli radon monitörlerinin dezavantajları;

- Pahalı sistemlerdir.
- Bazı modelleri büyük ve ağırdır.
- Düzenli kalibrasyon gereklidir.
- Yetişmiş elemana ihtiyaç vardır.
- İyonizasyon odası sürekli monitörü bazı durumlarda neme karşı hassas olabilir.

#### **4.1.5. Radon tuzağı (Grab Sampler) tekniği**

Bu teknikte Lucas Hücresi olarak da bilinen bir alfa sintilasyon hücresi ve bir veya iki fototüp kullanılır. Sintilasyon hücresinin duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmıştır. Sintilasyon hücresi bir veya iki vanalı olabilir. Hava numunesi toplamak için bu vana (veya vanalar) açılır. Numune alındıktan sonra vana

kapatılarak radonun bozunum ürünleriyle radyoaktif dengeye gelebilmesi için yaklaşık olarak dört saat beklenir. Bu süre sonunda sintilasyon hücresi sayım için fototüpün ağzına yerleştirilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları sintilasyon hücresinin duvarlarındaki ZnS ile etkileşimi sonucu çıkan pulslar (elektrik sinyalleri) sayılır ve gerekli hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir.

## **4.2. Uzun dönem ölçüm teknikleri**

Radon seviyesi günden güne, mevsimden mevsime göre değişebileceği için yıllık ortalama radon seviyesini tespit edebilmek adına uzun dönem radon ölçümü gerçekleştirilir. En sık kullanılan uzun dönem ölçüm teknikleri alfa iz detektörleri ve elektrot iyon detektörleridir.

### **4.1.1. Katı hal nükleer iz detektörleri (Alfa iz detektörleri)**

Katı hal nükleer iz detektörleri uzun süreli radon ölçümleri için kullanılmaktadır. Daha önce anlatıldığı üzere radon ve radonun bozunum ürünleri genelde alfa aktiftirler. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladıkları bu alfa parçacıkları tespit edilerek (sayılarak) radon konsantrasyonu bulunabilir. Çünkü yayınlanan alfa parçacıklarıyla radon konsantrasyonu arasında doğrudan bir orantı vardır.

Bu amaçla radonun yayınladığı enerji aralığındaki özellikle alfa parçacıklarına hassas olan plastik filmler kullanılır. Alfa parçacıkları bu filmler üzerinde bir iz bırakır. Radonun bozunum ürünleri alfa parçacığı dışında beta ve gama ışınları da yayınlamaları. Fakat bu filmler büyük ölçüde beta ve gama ışınlarına hassas değildir. Beta ve gama ışınları bu filmler üzerinde iz bırakmazlar. Alfa parçacıklarının bu filmler üzerinde bıraktıkları izler daha sonra kimyasal iz kazıma yöntemiyle büyütülerek mikroskopta sayılır. Gerekli hesaplamalardan sonra radon konsantrasyonu belirlenir.

Kullanılan filmler selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmıştır. Kimyasal iz kazıma esnasında alkali (NaOH yada KOH) yada asit çözeltileri (HF yada HNO<sub>3</sub>) kullanılır.

Nükleer iz detektörlerinin avantajları;

- Küçüktürler (1cm x1cm ve yaklaşık 100-500 mikrometre kalınlığında)
- Kullanılması kolaydır.
- Elektronik bir cihaza gerek yoktur.
- Taşınması kolaydır.
- İşlenmesi ve okunması kolaydır.
- Ucuzdur.
- Uzun süreli radon ölçümüne müsaittir.
- Nenden, makul seviyedeki ısıdan ve ışıktan etkilenmezler.

Nükleer iz detektörlerinin dezavantajları ise;

- Radon konsantrasyonu yüksek değilse anlık ölçüm almaya uygun değildir.
- Düşük konsantrasyonlarda hata oranı yüksektir [Kaplan, 2009].

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de yeraltı madenlerin de radon gazından dolayı alınan radyasyon dozunu hesaplamak amacıyla TAEK’inde katkıları ile çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında Çorum İlinde faaliyet gösteren 3 farklı yeraltı kömür ocağında radon konsantrasyonlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Radon konsantrasyonlarının nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada kullanılan detektörlerin okunma işlemi Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği bölümünde yapılmıştır.

Çorum İli bünyesinde faaliyet gösteren kömür ocakları araştırılmış ve tez çalışmasına başlamak için gerekli görüşmeler yapılarak çalışma için izin istenmiştir. Bunun sonucunda 2 farklı kömür ocağı çalışma yapmak üzere izin alınmıştır. Bu ocaklardan birisi Çorum’un en eski kömür ocağıdır ve Çorum’un Dodurga İlçesinde bulunmaktadır. Diğer ocaklar İskilip İlçesinde olup 2 ocak da aynı bölgede bulunmaktadır. Detektörler Şubat 2009 tarihinde kömür ocaklarına yerleştirilmiş olup Nisan 2009 tarihinde toplanmıştır. Detektörlerin kömür ocaklarında bulunma süresi ortalama 45 ile 60 gün arasında değişmektedir.



Harita.5.1. Çalışma yapılan kömür ocakları [<http://www.googleearth.com>]

## 5.1. Çalışma Yapılan Kömür Ocakları

### 5.1.1. 1 nolu kömür ocağı

Çalışma alanı; Çorum'a 45 km, Osmancık ilçesine 28 km mesafededir. Sahada, mevcut linyit oluşumu 1938 yılından beri bilinmektedir. 1948 ile 1979 yılları arasında 45 adet TKİ, 30 adet DSİ ve 89 adet sondaj MTA olmak üzere toplam 164 sondaj yapılmıştır.

Bu kömür ocağında genelde ölçülen metan gazı seviyesi havada %0,2-0,3 ile %0,8 oranında değişmekte, karbonmonoksit miktarı 1 m<sup>3</sup> havada 8-10 ppm ve bazı bölgelerde bu değer 20 ppm mertebesinde olduğu görülmektedir. Oksijen gazı miktarı ise %19 ile %20 miktarlarında ölçülmektedir. Kömür ocağında havalandırma emici bir sistem yardımıyla yapılmaktadır. Tali havalandırmanın olduğu yerlerde ölçülen bu miktarların biraz daha fazla olduğu görülmekle birlikte bu bölgelere de vantilatörler yardımıyla temiz hava gönderilmektedir. Bu ölçülen gazların değerleri çok nadir olarak sınır değerlere yaklaştığı görülse de dijital ölçü aletleri yardımı sayesinde hemen alarm verilmekte ve gerekli tedbirler alınmaktadır. Ocağın başka bir yerinde emici sistem yardımıyla çalışma yapılan en son noktaya dahi temiz havanın ulaşması sağlanmaktadır. Bununla birlikte ocakta radon gazı ölçümü şuana kadar hiç yapılmamıştır.

Bu kömür ocağı Çorum ili içinde işletilen en eski ve en büyük kömür ocağı niteliğindedir.



Resim 5.1. 1 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü.

Burada ayrıca açık kömür ocağı işletmesi de yapılmaktadır. Açık işletmede ki maliyetin yeraltı işletmesine göre daha ucuz olması nedeni ile açık işletmeye daha çok ağırlık verildiği görülmektedir.



Resim 5.2. 1 nolu kömür ocağının açık işletmeden bir görünüm.



Resim 5.3. 1 nolu kömür ocağı içerisine yerleştirilen Cr-39 radon gazı detektörü.

1989 yılında yapılan sondaj çalışmalarında sahanın rezervi de belirlenmiştir. Buna göre;

Görünür rezerv: 21 758 380 ton

Muhtemel rezerv: 2 464 698 ton

Genel toplam: 24 223 078 ton

#### **5.1.2. 2 Nolu kömür ocağı (İskilip)**

Çalışma alanı; Çorum'a 70 km, İskilip ilçesine 25 km mesafededir. Rakım 915 m ve ocağın en düşük mesafesi 675 m'dir. Ocağın açılışı 1970 yılı olduğu söylenmektedir.

Toplam 7 damar olmasına karşın 5 damar çalışılmaktadır. Diğer 2 damarda düşük kaliteli kömür olduğu nedeni ile çalışılmamaktadır.



Resim 5.4. 2 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü



Resim 5.5. 2 nolu kömür ocağı içerisine yerleştirilen detektör.

2 nolu kömür ocağında genelde ölçülen metan gazı seviyesi havada %0,2-0,3 ile %1 oranında, karbonmonoksit miktarı 1 m<sup>3</sup> havada 10-12 ppm mertebesinde olmakla

birlikte bazı bölgelerde bu değer 20 ppm'e kadar yükseldiği görülmektedir. Oksijen gazı miktarı ise %19,5 ile %20 seviyelerinde ölçülmektedir. Ocaklarda havalandırma emici bir sistem yardımıyla yapılmaktadır. Tali havalandırmanın olduğu yerlerde ölçülen bu miktarların biraz daha fazla olduğu görülmekle birlikte bu bölgelere de vantilatörler yardımıyla temiz hava gönderilmektedir. Çok çok nadir olarak sınır değerlere yaklaştığı görülse de dijital ölçü aletleri yardımı sayesinde hemen alarm verilmekte ve gerekli tedbirler alınmaktadır. Ocağın başka bir yerinde emici sistem yardımıyla çalışma yapılan en son noktada dahi temiz havanın ulaşması sağlanmaktadır. Bununla birlikte ocakta radon gazı ölçümü şuana kadar hiç yapılmamıştır.

### **5.1.3. 3 Nolu kömür ocağı (İskilip)**

Çalışma alanı 2 nolu kömür ocağı ile hemen hemen aynı yerde bulunmaktadır. Ocağın bulunduğu alan bitki örtüsü bakımından fakirdir. Genellikle orman ve tarım alanları ile kaplıdır.

2 nolu kömür ocağında genelde ölçülen metan gazı seviyesi havada %0,1 ile %0,9 oranında değişmekte, karbonmonoksit miktarı 1 m<sup>3</sup> havada 10-12 ppm mertebesinde olmakla birlikte bazı bölgelerde bu değer 20 ppm'e kadar yükseldiği görülmektedir. Oksijen gazı miktarı ise %19,5 ile %20 seviyelerinde ölçülmektedir. Ocakta havalandırma emici bir sistem yardımıyla yapılmaktadır. Tali havalandırmanın olduğu yerlerde ölçülen bu miktarların biraz daha fazla olduğu görülmekle birlikte bu bölgelere de vantilatörler yardımıyla temiz hava gönderilmektedir. Çok nadir olarak sınır değerlere yaklaştığı görülse de dijital ölçü aletleri yardımı sayesinde hemen alarm verilmekte ve gerekli tedbirler alınmaktadır. Ocağın başka bir yerinde emici sistem yardımıyla çalışma yapılan en son noktada dahi temiz havanın ulaşması sağlanmaktadır. Bununla birlikte ocakta radon gazı ölçümü şuana kadar hiç yapılmamıştır.



Resim 5.6. 3 nolu kömür ocağının dışarıdan görünümü.



Resim 5.7. 3 nolu kömür ocağına radon gazı detektörünü yerleştirirken.



Resim 5.8. 3 nolu kömür ocağına konulan radon gazı detektörü.

Bu sahada eski ve yeni tüm kapalı işletmeleri kapsayan görünür rezerv alanı toplam 13 000 000 ton olduğu söylenebilir.

## 5.2. Detektörlerin Temini

Bu tez çalışmasında, tez konusu belirlendikten sonra bir dilekçe ile TAEK'e detektörlerin temini için dilekçe yazılmış ve bunun sonucunda 100 adet Cr-39 radon detektörü TAEK-ÇNAEM Sağlık Fiziği Biriminden teslim alınmış fakat bunların 93 tanesi kömür ocaklarına yerleştirilmiş gere kalan detektörler de background işlemi için kullanılmıştır.

## 5.3. Detektörlerin Ocaklara Yerleştirilmesi ve Toplanması

İlk başta 2 kömür ocağından izin alınmış ve bunun sonucunda 1 nolu ve 3 nolu kömür ocaklarına yaklaşık 15'er adet Cr-39 Radon detektörü yerleştirilmiştir. Daha sonra hem bunların bir kısmının kaybolabileceği ve hem de daha iyi sonuç almak amacıyla yaklaşık 10 gün sonra ek yerleştirme yapılarak detektör sayısı ortalama 30 adeta çıkarılmıştır. Bu ek yerleştirme esnasında 2 nolu kömür ocağından da izin

alınması ile aynı zamanda buraya da yine aynı sayıda detektör yerleştirilmiştir. Ocaktaki detektörlerin bir kısmı 42 gün, bir kısmı 52 gün ve bir kısmı da 60 gün süre kalmıştır. Ölçüm sırasında detektörlerin ocaklardaki kaldığı süre ayrı ayrı girildiği için zamandaki bu farklılık ölçümde herhangi bir sakınca doğurmamıştır.

Detektörlerin ocak içerisinde yerleştirilmesi sırasında yeraltı sorumlularına bizzat eşlik edilmiş ve her ocağın her farklı noktasına detektör konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışma esnasında toplam 8 kez yeraltına inilmiştir.

Ocak içi çok büyük ve çok karmaşık olduğu için mümkün olduğu kadar belirli yerlere detektörler konulmuş ve konulan yerlerde ayrıca not olarak alınmıştır. Detektörler ocak içerisinde kaybolmamasını önlemek amacıyla genelde ocak içerisindeki direklere veya yüksek yerlere konulmaya çalışılmıştır. Ocağın giriş kotunun biraz alt seviyesinden başlamak üzere ocak içindeki küçük ve büyük su havuzlarının bulunduğu noktalar, havalandırmanın olduğu noktalar, ilk yardım odaları, kömürün çıkmaya başladığı ilk noktalar ve yeni çıkartılan noktalar olmak üzere tüm yerlere konulmaya çalışılmıştır.

Detektörlerin toplanması yerleştirme işlemine göre biraz daha zor olmuştur. Her ne kadar detektörlerin yerleştirilmesi aşamasında konulan yerler not alınmış olsa da ocak içerisinde ki çalışmalardan dolayı bazı detektörlerin yerleri değiştirilmiş veya bazı nedenlerden dolayı bazı detektörler yere düştüğü için bulunmaları zor olmuştur.

#### **5.4. Detektörlerin Okunması**

ÇNAEM Sağlık Fiziği biriminde bulunan okuma sistemi yardımıyla detektörler okunarak her detektöre ait radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bazen detektörlerin okutulması işlemi aşamasında bazı detektörleri slayttan çıkarırken veya okutulma işlemi sırasında hasar görebiliyor ve bu detektörler iptal ediliyor. Fakat bu çalışmamda herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.

## **6. DENEY SİSTEMİ VE KALİBRASYON İŞLEMİ**

### **6.1. Radosys 2000**

1. Detektör Hazırlanması

2. İz Kazıma İşlemleri

3. Sayım Sistemleri

1. Detektör Hazırlanması:

1.1. Detektörün ve Işınlama kutusunun ilk kez kullanımı:

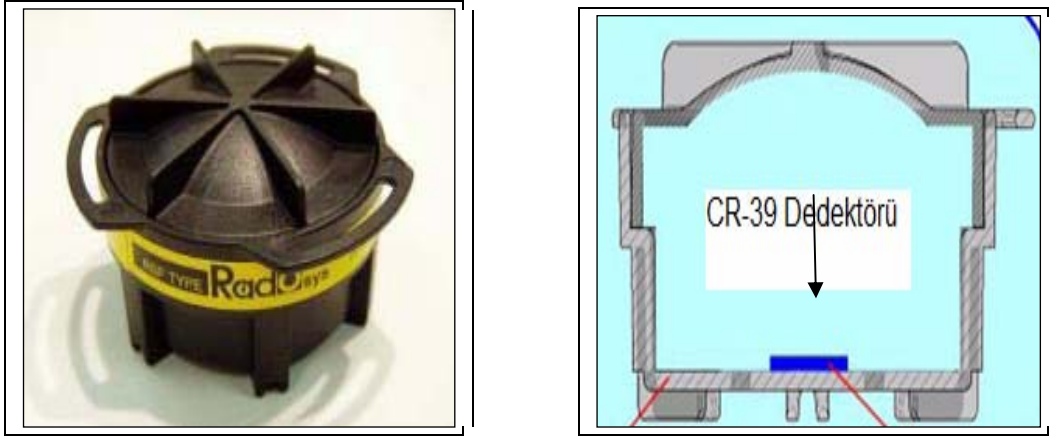
1.2. Işınlama kutusunun tekrar kullanılmaya hazırlanması:

### **6.2. Araştırmada Kullanılan Radon Ölçüm Sistemi**

Bu çalışmada Radosys marka (77 Elektronika, Budapeşte, Macaristan) radon ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistem üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, firma tarafından üretilen Cr-39 plastik alfa iz detektörleri, bu detektörlerin kimyasal kazıma işleminin yapıldığı banyo ünitesi ve bilgisayar destekli optik okuyucu sistemidir.

#### **6.2.1. Cr-39 radon detektörleri**

Ticari adı Cr-39 olan pasif nükleer iz detektörlerinin kimyasal yapısı alil diglikol karbonat'tan oluşmaktadır. Radon ve bozunum ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri Resim 6.1'de görülen detektör kabının içine girerek  $1 \text{ cm}^2$  büyüklüğündeki Cr-39 detektörü ile etkileşmekte ve detektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşturmaktadır.



Resim 6.1. Cr-39 radon gazı detektörü ve iç kesiti

İyonlaştırıcı yüklü parçacıklar, dielektrik malzemeden geçerken elektronlara enerji aktarırlar. Bunun sonucunda parçacık izleri boyunca hasarlı moleküller meydana gelir. Güçlü asit ve baz çözeltileri kullanılarak izlerin belirgin hale gelmesi sağlanır. Normal mikroskop altında yüzeyde yeterli oranda büyük oyuk oluşturan izleri saptamak için kullanılan bu malzemelere iz kazıma detektörleri, ( Track etch detectors) adı verilir.

### 6.3. Alfa Parçacıklarının Maddeyle Etkileşmesi

Alfa, beta gibi yüklü parçacıklar maddesel ortam içinden geçerken peş peşe çarpışmalar yaparak enerjilerini kaybederler ve hızlarını azaltarak dururlar. Bu parçacıkların madde içinde kat ettiği yolun birim uzunluğunda, yavaşlayarak kaybettiği enerji miktarına durdurma gücü (Stopping Power) denir. Bu tanımın matematiksel ifadesi (6.1) eşitliğinde verilmiştir [Mladjenovic, 1973].

$$S(E) = -\frac{d(E)}{dx} \dots\dots\dots(6.1)$$

Alfa ya da beta gibi yüklü parçacıkların maddesel ortam içinde hareketi esnasında yavaşlayıp tamamen duruncaya kadar kat ettiği yolun uzunluğu, erim (Range) olarak tanımlanır [Wesley, 1979]. Bu tanımlardan yola çıkarak R erimi ve S durdurucu güç

arasındaki bağıntı yazıldığında Lineer Enerji Transferi (LET) ifadesi elde edilir. Lineer enerji transferi, bir radyasyonun birim yol boyunca meydana getirdiği iyonlaştırma ve ortama transfer ettiği enerji miktarıdır. Ağır yüklü alfa parçacıkları madde içinden geçtiği atomların genellikle dış yörünge atomlarını kopartarak onları pozitif ve negatif atomdan oluşan iyon çifti haline dönüştürürler. Bir radyasyon parçacığının ortam içinde kat ettiği yolun birim uzunluğunda yarattığı iyon çiftleri sayısına özgül iyonlaşma adı verilir. Özgül iyonlaşma; ortamın cinsine, ortamın yoğunluğuna, radyasyon cinsine ve radyasyon enerjisine bağlıdır. Alfa parçacıklarının özgül iyonlaştırma gücü çok yüksektir ve madde içinde özgül iyonlaştırması, kat ettiği yol boyunca artarak devam eder. Ancak menzilin son kısmında iyonlaştırıcı etkinliğini hızla yitirir ve yüksüz He atomuna dönüşerek maddesel ortam tarafından soğurulurlar ve madde yüzeyinde hasarlı izlerin oluşmasına neden olurlar [Günaydı, 2004]. İz detektörlerinin yüzeyinde oluşan izler Şekil 6.6 da görülmektedir. İzleri kaydedebilen detektörlerin yapı bileşenlerini, inorganik ve organik katılar meydana getirir. İnorganik katıların en çok bilinenlerine örnek olarak mika ve flint cam, organik katılar içinse polikarbonat ve polyster filmler verilebilir.

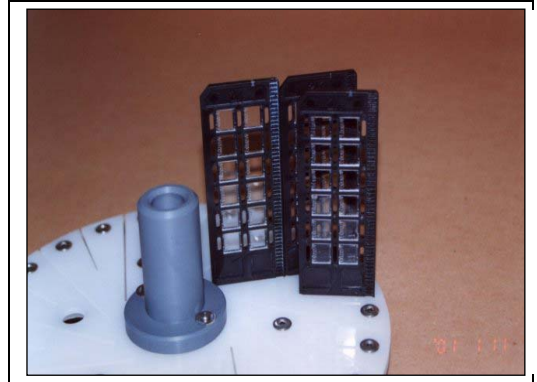
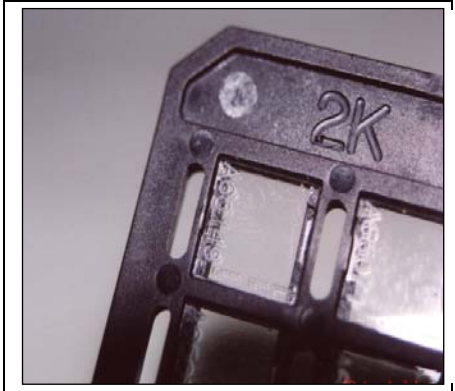
#### **6.4. Kimyasal İz Kazıma Ünitesi**

Toplanan detektörlere, üzerindeki alfa izlerinin görülebilir hale getirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmaktadır. İz kazıma işlemi Resim 6.2’de görülen banyo ünitesinde gerçekleştirilir. Bu işlem için detektörler öncelikle içinde buldukları detektör kabından çıkartılır ve Resim 6.3’ de görülen, her biri on iki adet detektör alan slaytlara yerleştirilerek kimyasal iz kazıma işlemine hazır hale getirilir.

Kimyasal iz kazıma işlemi için ilk olarak 4 litre saf su banyo ünitesinin haznesine doldurulduktan sonra suyun sıcaklığının 60 °C ye gelmesi beklenir. Daha sonra banyo ünitesindeki saf suya toplam 1 kg NaOH, her biri 25 gram olacak şekilde ayarlanmış bir ölçü kabıyla birer dakika aralıklarla yaklaşık 40 dakika süren bir işlem sonunda eklenir.



Resim 6.2. Kimyasal iz kazıma banyo ünitesi



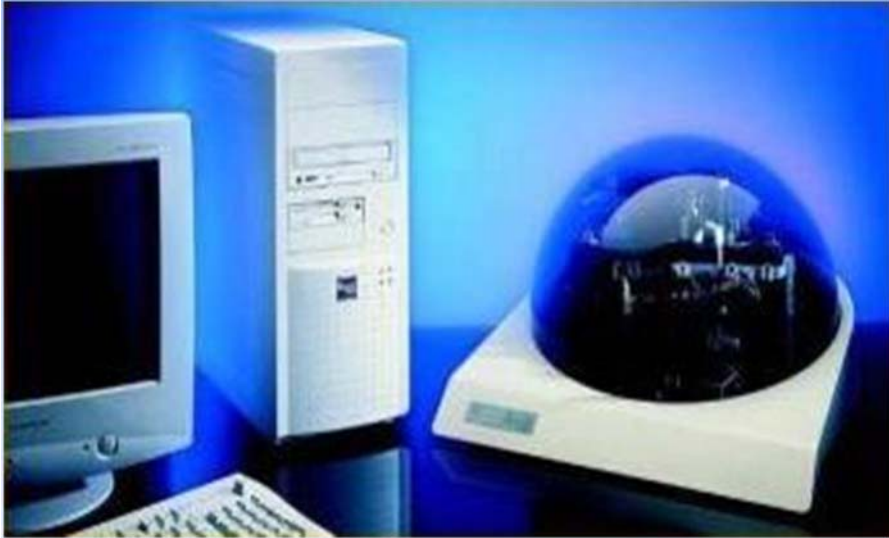
Resim 6.3. Slaytlara yerleştirilmiş detektörler.

İşlemin bu şekilde gerçekleştirilmesinin nedeni, NaOH ile su tepkimesi ekzotermik bir tepkime olduğu için yüksek miktarda ısı açığa çıkmasıdır. Bu işlemden sonra slaytlara yerleştirilmiş şekilde bekleyen detektörler banyo ünitesine yerleştirilerek kimyasal iz kazıma işlemi başlatılır. Yaklaşık 4 saat süren bu işlemin ardından slaytlar banyo ünitesinden dışarıya alınır ve banyo ünitesinde bulunan NaOH içeren saf su boşaltılır. Daha sonra %25 oranında asit bileşeni içeren (asit bileşeni olarak sıklıkla üzüm sirkesi tercih edilir) saf su banyo ünitesine konulan detektörlerin, bu karışımla 1-2 dakika yıkanması sağlanır. Banyo ünitesi tekrar boşaltıldıktan sonra

son defa olmak üzere 4 lt. saf su, banyo ünitesinin içine konularak detektörlerin saf su ile yıkanması sağlanır. Yıkama işleminin bitmesinin ardından detektörlerin yaklaşık 1 saat süre bekletilerek kurumaları sağlanır. Kuruyan detektörler okuma işlemine hazır hale gelmiştir.

### 6.5. Radon İz Okuma Cihazı

Resim 6.4'de görülen iz okuma cihazı, bilgisayara bağlı 500 kat büyütme bir mikroskop ve yazılımdan oluşmaktadır. Slaytların içinde bulunan detektörler sırayla optik okuyucu sistemine yerleştirilir. Otomatik radon iz okuma cihazı her bir detektörü 144 eşit parçaya bölerek detektörlerdeki iz sayısını ve iz konsantrasyon miktarını belirler.

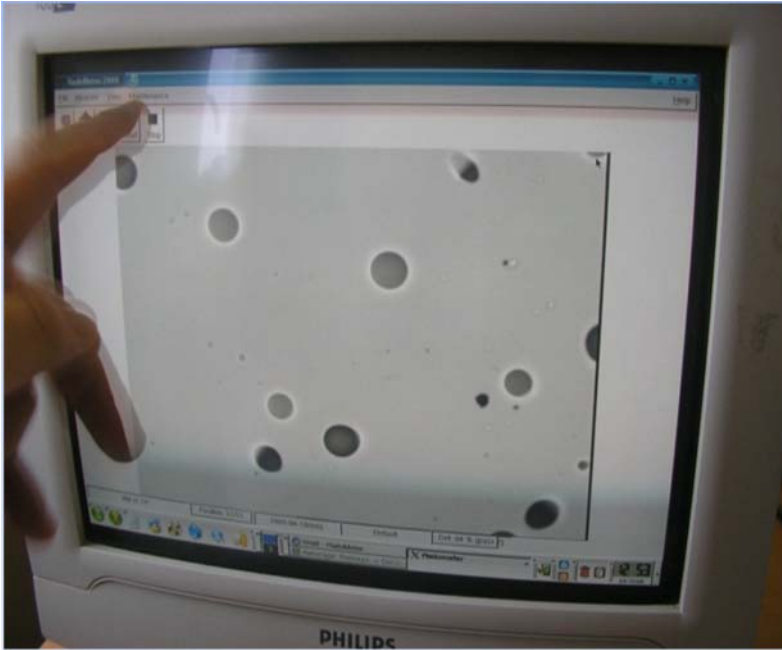


Resim 6.4. Otomatik iz okuma sistemi.

Resim 6.6'da bilgisayar ekranında görülebilen alfa izleri yer almaktadır. Belirlenen değerler lokal network aracılığı ile ana işlemciye iletilir. Daha sonra detektörlerin araştırma boyunca ocaklarda bekletilme süreleri bilgisayara girilerek her bir detektörün bulunduğu ortamın radon aktivite konsantrasyonu ve ortam radon yoğunluğu yazılım tarafından hesaplanır.



Resim 6.5. Radon konsantrasyonunun belirlenmesi.



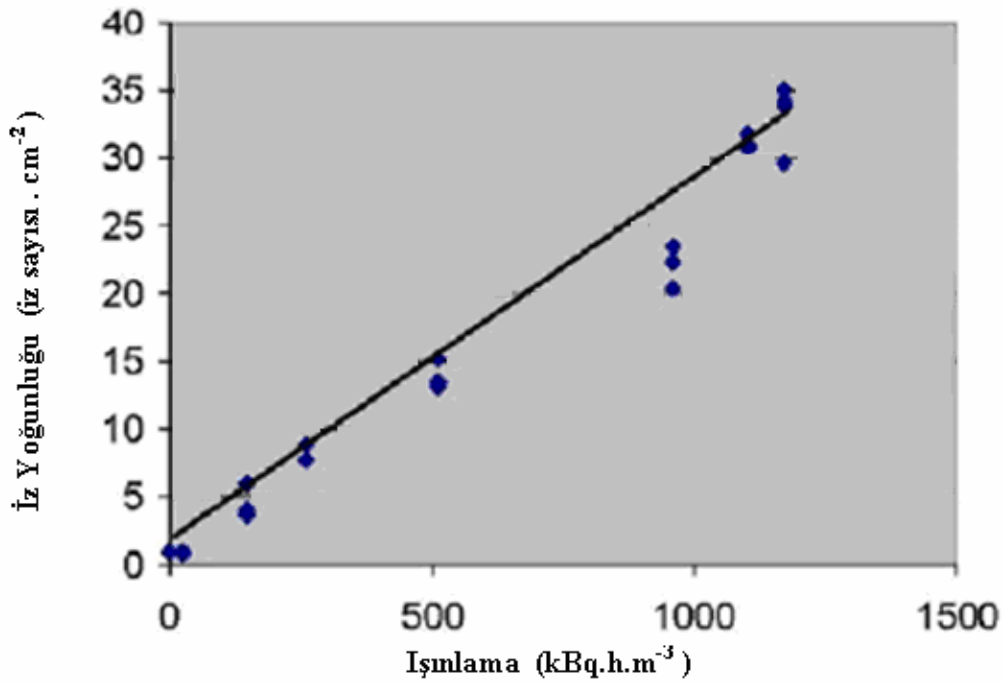
Resim 6.6. Bilgisayar ekranında görülebilen alfa izleri.

Radon konsantrasyonu belirlenirken detektörlerin fon değerinin (background) tespit edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için kullanılmamış detektörler ile araştırma esnasında kullanılan detektörler aynı okuma işlemlerine tabi tutulmuş ve araştırma sırasında kullanılan detektörlerin iz yoğunluğu ile kullanılmayan detektörlerin iz

yoğunlukları farkından net iz yoğunluğu bulunmuştur. İz sayısından hareketle radon aktivite konsantrasyonunun bulunabilmesi için, bilinen radon aktivite konsantrasyonlarına karşı gelen iz yoğunlukları ile elde edilen kalibrasyon doğrusu Şekil 6.1’de verilmektedir. Kullanılan Radosys sistemi için kalibrasyon faktörü 2,58 iz sayısı.cm<sup>-2</sup>.Bq.h<sup>-1</sup>.m<sup>3</sup> olmaktadır. Buna göre net iz yoğunluğu, kalibrasyon faktörü ve detektörlerin ortamda kalma süreleri kullanılarak ortamdaki radon aktivite konsantrasyonları Denklem 6.2 kullanılarak belirlenmektedir [Radosys, 2000].

$$RAC = \frac{D - D_f}{S \cdot T} \dots\dots\dots(6.2)$$

Bu denklemde RAC radon aktivite konsantrasyonunu, D ve D<sub>f</sub> sırasıyla kullanılmış ve kullanılmamış detektörlerin iz yoğunluğunu (iz sayısı.cm<sup>-2</sup>), S kalibrasyon faktörünü (iz sayısı.cm<sup>-2</sup>.Bq.h<sup>-1</sup>.m<sup>3</sup>), T ise detektörlerin ocaklardaki kalış süresini (saat) ifade etmektedir.



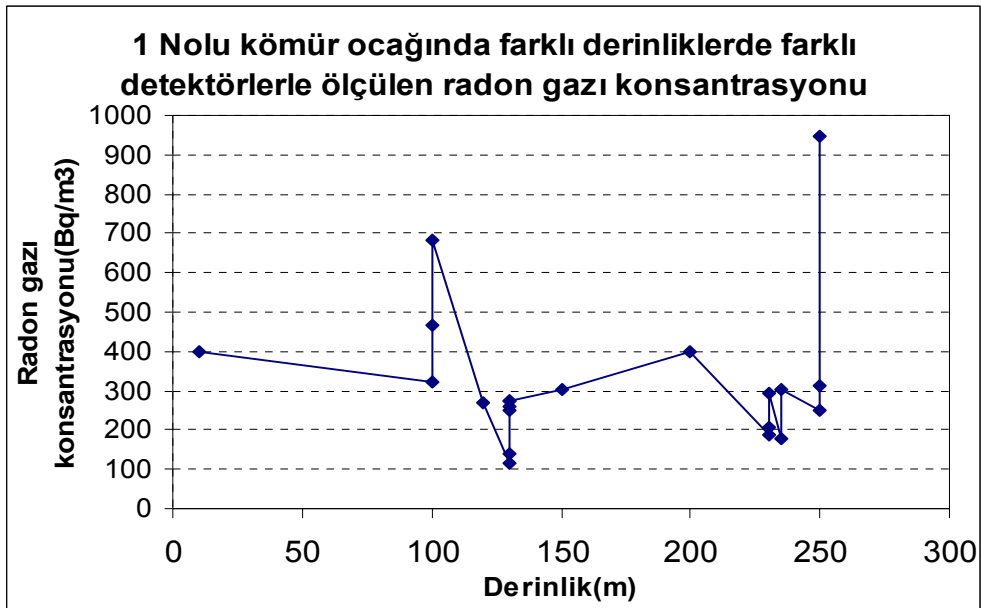
Şekil 6.1. Kalibrasyon doğrusu.

## 7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

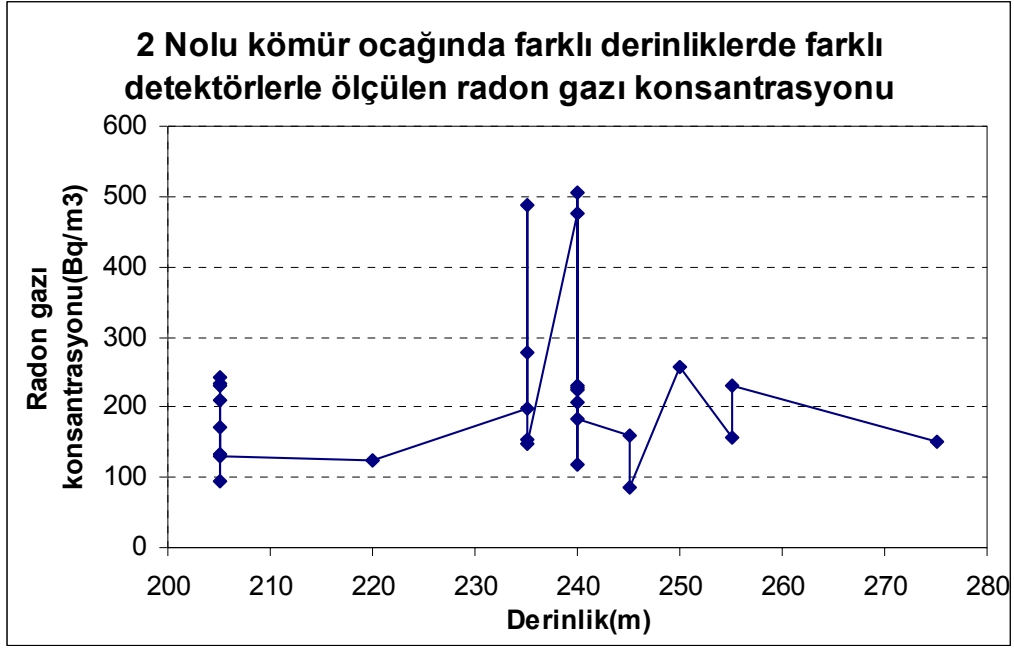
Bu çalışmada Çorum ili genelinde faaliyet gösteren Kömür Ocaklarında radon gazı konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla, ocaklara Cr-39 nükleer iz detektörleri yerleştirilmiştir. Kömür ocağı içindeki radon konsantrasyonunun tespit edilebilmesi amacıyla Şubat 2009 da yerleştirilen detektörler Nisan 2009 tarihinde toplanmıştır.

### 7.1. Radon Konsantrasyon Değerleri

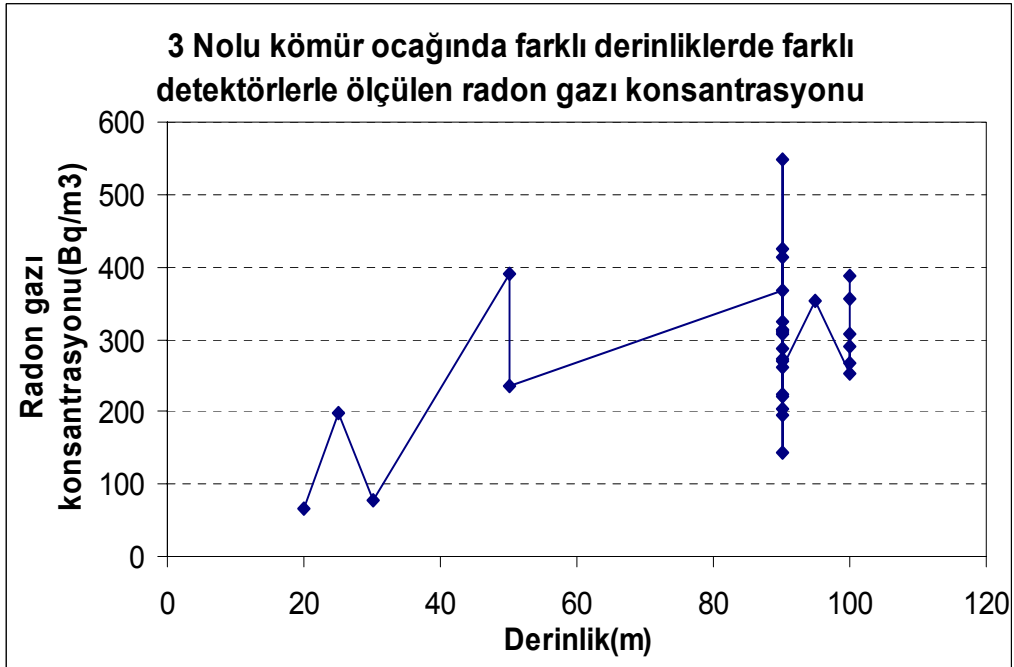
Radon konsantrasyonunun belirlenmesi için yerleştirildikleri kömür ocaklarından toplanan detektörlerin okuma işlemleri, önceki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştı (Radon Ölçüm Sistemi). Elde edilen radon konsantrasyonu sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmektedir.



Şekil 7.1. 1 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyon değerleri



Şekil 7.2. 2 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyon değerleri



Şekil 7.3. 3 nolu kömür ocağında derinliğe bağlı radon konsantrasyon değerleri

Yeraltı kömür ocaklarında çalışan insanlar, yaşamının belli bir bölümünü yeraltında

geçirmektedir. İşçiler günde bir fiil olarak 8 saat yeraltında çalışmaktadırlar. Haftada 1 gün ve yılda ortalama 20 gün yıllık izin kullandıklarını düşünürsek yılda ortalama olarak 2350 saat yeraltında bulunmaktadırlar. Bu nedenle yeraltında çalışan insanlar diğer insanlara göre daha fazla radon gazına maruz kalmaktadırlar. Bunun en büyük nedeni radonun kaynağının uranyum olması ve bununda toprakta bol miktarda bulunmasıdır. <sup>222</sup>Rn'nin asıl kaynağı uranyum olduğu için, radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir.

Çizelge 7.1 Çalışma yapılan kömür ocaklardaki detektör sayıları ve radon konsantrasyon değerleri

	<b>Ziyan – kayıp detektör sayısı</b>	<b>Okunan detektör sayısı</b>	<b>Radon Konsantrasyonu ( Bq/m<sup>3</sup> )</b>
<b>1 nolu kömür ocağı</b>	7	22	292,83
<b>2 nolu kömür ocağı</b>	1	30	198,54
<b>3 nolu kömür ocağı</b>	3	30	285,89

Radon gazı miktarı yeryüzünden derinlere inildikçe artmaktadır. Galeri kesitinin büyümesi artan yüzey alanı nedeniyle radon gazı miktarını artırıcı bir etkiye sahiptir. Hava hızı ve miktarı ise radon konsantrasyonunu azaltan önemli bir parametredir [Fişne, 2002]. Sonuçlara bakarak bir ocaktaki kot farklarının ortamın radon konsantrasyonuna etkisini belirlemek mümkün değildir. Çünkü farklı kotlardaki hava hızı ve miktarı sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır.

Grafiklere bakıldığında aynı derinlikte birden fazla değer olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kömür ocağı içinde yeryüzüne paralel yürüme mesafesine birden fazla detektör yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı derinlikteki detektörlerde farklı sonuçlar çıkmasının nedenleri arasında hava akımının farklı olması, detektörlerin bulunduğu kapalı hacimlerin farklı olması veya detektörlere yakın kayaçların farklı özelliklerle olması sayılabilir.

1 nolu kömür ocağı çalışılan kömür ocakları içerisinde işletilen en eski ocak niteliğindedir. Buna paralel olarak diğerlerine göre hem çok çok büyük hem de toprak seviyesinin çok çok derinliklerinde çalışılmaktadır. Şuanda önceden çalıştıkları birçok damar kapalı durumdadır. Bu ocak bünyesinde bir de açık işletme bulunmaktadır.

1 nolu kömür ocağına 29 adet Cr-39 detektörü yerleştirilmiştir. Bu detektörlerin 6 tanesi kaybolmuş ve 1 tanesinin de ölçümü iptal edilmiştir. Geri kalan 22 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu  $292,83 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur. 2 nolu kömür ocağına 31 adet Cr-39 detektörü yerleştirilmiş ve 1 tanesi kaybolmuştur. Geri kalan 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu  $198,54 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur. 3 nolu kömür ocağına ise 33 adet Cr-39 detektör yerleştirilmiş ve bunların 3 tanesi bulunamamıştır. Ölçülen ortalama radon gazı konsantrasyonu ise  $285,89 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi 3 ocakta yapılan ölçümde ortalama en yüksek değer  $292,83 \text{ Bq/m}^3$  değer ile 1 nolu kömür ocağında ölçülmüştür.

1 nolu kömür ocağında ölçülen en düşük radon konsantrasyonu 100 m derinlikte  $75,59 \text{ Bq/m}^3$  iken en büyük radon konsantrasyonu 250 m derinlikte  $948,21 \text{ Bq/m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte toprak seviyesinden yaklaşık 100 m derinlikte ölçülen radon konsantrasyonu en düşük  $75,598 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek radon konsantrasyonu  $684,37 \text{ Bq/m}^3$ , 130 m derinlikte en düşük radon konsantrasyonu  $116,58 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek radon konsantrasyonu  $274,64 \text{ Bq/m}^3$ , 150 m derinlikte en düşük radon konsantrasyonu  $301,71 \text{ Bq/m}^3$ , 200-230 m derinlikte radon konsantrasyonu  $186,51 \text{ Bq/m}^3$  ile  $399,56 \text{ Bq/m}^3$  civarında ve 250 m derinlikte en düşük radon konsantrasyonu  $948,21 \text{ Bq/m}^3$  civarında ölçülmüştür.

Çalışma yapılan 2 nolu kömür ocağında ölçülen en düşük radon konsantrasyonu 245 m derinlikte  $85,95 \text{ Bq/m}^3$  iken en büyük radon konsantrasyonu 240 m derinlikte  $505,42 \text{ Bq/m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte toprak seviyesinden yaklaşık 205 m derinlikte ölçülen radon konsantrasyonu en düşük  $95,96 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek radon konsantrasyonu  $476,26 \text{ Bq/m}^3$ , 240 m derinlikte en düşük radon konsantrasyonu

119,61 Bq/m<sup>3</sup> ve en yüksek radon konsantrasyonu 505,42 Bq/m<sup>3</sup> ve 250 m derinlikte ölçülen radon konsantrasyonu 486,27 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

Çalışma yapılan 3 nolu kömür ocağında ölçülen en düşük radon konsantrasyonu 20 m derinlikte 65,76 Bq/m<sup>3</sup> iken en büyük radon konsantrasyonu 95 m derinlikte 548,92 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte toprak seviyesinden yaklaşık 55 m derinlikte ölçülen radon konsantrasyonu en düşük 234,38 Bq/m<sup>3</sup> ve en yüksek radon konsantrasyonu 390,34 Bq/m<sup>3</sup>, 95 m derinlikte en düşük radon konsantrasyonu 194,05 Bq/m<sup>3</sup> ve en yüksek radon konsantrasyonu 548,92 Bq/m<sup>3</sup> ve 100 m derinlikte ölçülen en düşük radon konsantrasyonu 142,37 Bq/m<sup>3</sup> ve en yüksek radon konsantrasyonu olarak 386,90 Bq/m<sup>3</sup> ölçülmüştür.

Radon konsantrasyonu derinliklere arttıkça artması gerekmektedir. Her üç ocakta da genelde bu sonuca uygun değerler çıkmıştır. Sadece birkaç yerde alınan sonuçların bu kuralın dışında olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri ortamdaki kayaçların farklı olması ve havalandırmadan kaynaklı düşünülebilir. Ayrıca çalışma yapılan üç ocak içerisinde ölçülen en yüksek konsantrasyonu 250 m derinlikte 948,71 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. [Baldık, 2007].

Daha önce yapılan çalışmalarda, Kozlu Taş Kömürü İşletmesinde 656 Bq/m<sup>3</sup>, Karadon Taş Kömürü İşletmesi 705 Bq/m<sup>3</sup> ve Üzülmöz Taş Kömürü İşletmesinde 672 Bq/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştu. Bu sonuçlara göre yapılan bu çalışmada her üç kömür ocağında bu değerlerin altında değerler ölçülmüştür.

Ayrıca daha önce Çorum genelinde 46 farklı konut, 15 farklı iş yeri ve 14 farklı kamu binasında yapılan radon gazı sonuçlarının ortalaması 42,03 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür [Üzbey, 2009]. (200-400Bq/m<sup>3</sup>) çok altında olduğu görülmektedir.

TAEK radon gazı konsantrasyonunu ev için ortalama 400Bq/m<sup>3</sup>, işyerleri ve yeraltı madenleri için 1000Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar Çorum genelinde bulunan sonuçlarda olduğu gibi TAEK'in belirlediği değerlerinden daha düşük sonuçlar olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Lapp, R., Andrews, H., L., Fourth Edition, “Nuklear Radiation Physics”, **Prentice-Hall, Inc.**, Englewood Ccliffs, New Jersey, 23 (1972).

Yetkinoglu, S., “Batı Anadolu’da Yetişen Kekiklerde Radyoaktivite Araştırması”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü**, Bornova-İzmir, 12 (1991).

Özalpan, A., “Radyobioloji”, İstanbul Üniversitesi Yayını, **Fen Fakültesi Basımevi**, İstanbul, 35 (1980).

Değerlier M., “Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 23-25, 40-43 (2007).

Kaplan, I., “Nukleer Physics” Third Printing, **Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts**, 34 (1969).

Krane K. S., “Introductory Nuclear Physics, **Wiley, New York**, 160-236 (1987).

Özbey, T., “Maddenin Atom ve Çekirdek Yapısı”, **Akdeniz Matbaacılık, İzmir**, 1, 28 (1993).

Yaşar, S., ve Köksal, E., M., “Radyasyon Korunması Kurs Notları”, TAEK **Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi**, İstanbul, 3-18 (2002)

Taşkın H., “İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü**, 12-14 (2006).

Kaplan E., “Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm Ve Analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü**, 5, 12-16,19,26,45,50 - 56 (2009).

Çelebi, N., “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi”, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-60,95 (1995).

Şahin S., “Sivrice Fay Zonundaki Radon Değişimi ve Doğal Radyoaktivite”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-27 (2009).

Denagbe, S.J., “Radon-222 Concentration in Subsoil and its Exhalation Rate from a Soil Sample”, **Radiation Meseurements**, 32: 27-34 (2000).

Baykara, O., “Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 23 (2005).

Fişne, A., “Yeraltı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 19-21, 30-32,82 (2002).

Alkan, H. ve Göksel, S. A., “Türkiye Kaplıca ve Maden Sularının Doğal Radyoaktiviteleri Sularında Radon Tayini”, **T.B.T.A.K. V. Bilim Kongresi**, Zonguldak, 229-241. (2004)

Vinas, R., “Comparative Analysis of Continuous Radon Sensor in Underground Environments”, **Environmental Geology**, 46: 1108-1117 (2004).

Toutain, J.P., “Gas Geochemistry and Seismotectonics”, **A Review, Tectonophysics**, 304:1-27 (1999).

Özmen, B., “Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesinde Kullanılan Yöntemler”, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi**, Ankara, 23 (1991).

Garver, E., Baskaran, M., “Effects of Heating on the Emanation Rates of Radon-222 from a Suite of Natural Minerals”, **Applied Radiation and Isotopes**, 61: 1477-1485 (2004).

Baldık., R., “Gökgöl ve Cehennemagzı Mağaraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi’nde Radon-222 Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 42-43 (2007).

Günaydı, T., “İzmir-Dikili Jeotermal Sahalarına Yakın Yerleşim Alanlarında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 32 (2004).

Radosys, User’s Manual, 2000.

Artel T., “Radyoaktivite”, 1. Cilt, **İstanbul Şirketi Mürettibiye Basımevi**, İstanbul, 156(1950)

Mladjenovic, M., “Radiosotope and Radiation Physics an Introduction, Translated by Sonja Subotic”, **Academic Pres**, New York and London, 84 (1973)

Wesley, A., “Publishing Company Reading”, **Mossachussetts- Menlo Park**,

California London Sydney Manila, 314 (1979)

Yılmaz, M., “Nükleer Fizik”, **Balıkesir Üniversitesi Yayınları**, Balıkesir, 35-39 (1998)

Üzbey, S., “Çorum İlinde Radon Gazı Ölçümü”, **X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojiler Kongresi**” Cilt I, 235-243, Muğla(2009)

İnternet: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu “Öğrenci”

<http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm> 2009

İnternet: Google Arama Motoru

<http://www.googleearth.com> 2009

**EKLER**

## Ek 1. 1 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

Sıra No	Detektör No.	Detektörün Konduğu Yer	Derinlik (m)	Bekleme Süresi (gün)	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )
1	I36747	Taban yolu, 2. çey	136	Kayıp	<b>Kayıp</b>
2	I36064	580 Anayol	150	60	301,71
3	I36846	580 Bant başı	150	Açılmış	<b>İptal</b>
4	I36897	580 Anayol, 330 desantri	250	60	948,21
5	I36841	580 -522 Desantri 2. cep	200	60	399,56
6	I36755	522 Nefeslik tabanı	210	60	292,88
7	I36626	505 Tavan yolu	227	Kayıp	<b>Kayıp</b>
8	I36850	Tavan – Ayak önü	227	Kayıp	<b>Kayıp</b>
9	I36605	505 Şartel cebi	227	60	186,51
10	I36624	Tavan yolu 2. baş yukarı	235	60	176,91
11	I36115	585 Hava yolu	100	42	321,51
12	I36297	505 Taban yolu	120	42	268,54
13	I36640	505 Taban yolui	120	Kayıp	<b>Kayıp</b>
14	I36637	496 Taban yolu	130	42	249,63
15	I36831	496 Taban yolu 2.çenin	130	Kayıp	<b>Kayıp</b>
16	I36308	2. Çenin başının 10m si	130	42	260,56
17	I36028	1. Çenin kuyruk kısmı	130	42	141,17
18	I36564	1. Çenin kuyruk kısmı	130	42	116,58
19	I36823	1. Çenin	130	42	274,64
20	I36016	1. Çenini	130	Kayıp	<b>Kayıp</b>
21	I36806	1.Çenin, 2. oluk üzeri	130	42	274,85
22	I36071	480 Bandın kuyruğu	250	42	310,79
23	I36109	480 Bandın kuyruğu	250	42	252,15
24	I36793	505 Aşağı su kuyusu	505	42	204,86
25	I36299	580 Bandın k kısmı	505	42	300,70
26	I36896	585 Anakat lağımı	100	42	400,96
27	I36062	İlk yardım istasyonu	100	42	466,75

## Ek 1.(Devam) 1 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

28	I36874	180 A1 tarafı beton girişi	100	42	684,37
29	I36874	180 A1 tarafı beton	100	42	75,598
		<b>Ortalama Radon Konsantrasyonu</b>			<b>292,83</b>

## Ek 2. 2 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

S.N.	Detektör No	Detektörün Konduğu Yer	Derinlik (m)	Bekleme Süresi (gün)	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )
1	I36547	3. Bic, üst kat	205	54	234,92
2	I37497	2. Damar, yeni vinç başı	205	54	242,76
3	I37857	2. Damar, yeni vinç başı	205	54	172,16
4	I35540	2. Damar, yeni vinç başı	205	54	132,14
5	I37858	2. Damar, yeni vinç başı	220	54	122,95
6	I36919	3.Bic, desendere	235	54	486,26
7	I37913	3.Bic,desender	235	54	146,96
8	I36526	3.Bic, desendere	235	54	198,73
9	I37596	3.Bic, desendere	235	54	152,74
10	I36920	3.Bic, desendere	235	54	278,84
11	I36993	3.Bic, desendere	245	54	85,95
12	I36912	3.Bic, desendere	245	54	159,06
13	I36962	3.Bic, desendere	250	54	256,06
14	I35599	3.Bic, desendere	250	54	156,77
15	I36933	3.Bic, desendere	260	54	151,98
16	I36982	Cep, 2. bic	240	54	224,67
17	I36436	Cep, 2.bic	240	54	119,61
18	I36986	2.Bic, nefeslik altı	240	Kayıp	<b>Kayıp</b>
19	I36501	2.Bic, nefeslik altı	240	54	505,42
20	I36450	2.Bic, nefeslik altı	240	54	231,54
21	I36506	Su cebi	240	54	205,60
22	I37804	Su cebi	240	54	181,84
23	I36044	Vinç dibi	240	54	476,26
24	I36930	Vinç dibi	240	54	227,18
25	I36494	Yeni vinç başı	205	54	231,32
26	I37600	Yeni vinç başı	205	54	210,07
27	I37860	3. Su cebi	205	54	129,74

## Ek 2.(Devam) 2 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

27	I37860	3. Su cebi	205	54	129,74
28	I35331	2. Su cebi	205	54	229,25
29	I37845	1. Havuz	205	54	95,96
30	I36044	Vic dibi	205	54	476,26
31	I36919	3.bic, desendere	250	54	486,27
		<b>Ortalama Radon Konsantrasyonu</b>			<b>198,59</b>

## Ek 3. 3 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

Sıra No	Detektör No.	Detektörün Konduğu Yer	Derinlik (m)	Bekleme Süresi (gün)	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )
1	I36090	Havalandırma yeri	30	60	197,20
2	I36074	1.Vinç dibi, sağ nefeslik	25	60	65,76
3	I36337	2.Vinç başı	30	60	78,81
4	I36363	2.Desendere eski üst kat	55	60	390,34
5	I36313	Eski sol baca ağızı	100	60	366,50
6	I36325	1.Makas -2. vinç dibi	100	60	353,06
7	I36596	İlk yardım odası	100	60	386,90
8	I36334	1.ve 2. su cebi arası	120	Kayıp	<b>Kayıp</b>
9	I36629	Su cebi ,2.kanca dibi	55	60	234,38
10	I36590	Anayol-1.makas taban	100	60	142,37
11	I36578	Anayol,1. viraj	100	60	314,12
12	I36033	1.Havalı su cebi	100	60	307,45
13	I36017	Anayol 2. makas	100	60	253,45
14	I36101	Havalı pompa 2.su cebi	100	60	267,63
15	I36021	Pervane yanı	100	60	290,38
16	I36332	3.Su cebi-havalandırma	100	60	356,10
17	I36352	Anayol sol baca	95	52	548,92
18	I37335	Anayol 1. sağ viraj	95	52	312,54
19	I37820	Anayol 1. sağ viraj	95	Kayıp	<b>Kayıp</b>
20	I36609	Anayol 3. yeni viraj başı	95	52	223,69
21	I36507	Anayol 3. yeni viraj başı	95	52	424,58
22	I37886	Anayol 3.desendere başı	95	Kayıp	<b>Kayıp</b>
23	I36471	Anayol 1. su cebi	95	52	194,05
24	I37083	Anayol havalı pervane	95	52	220,75
25	I37851	Anayol havalı pervane	95	52	261,61
26	I37848	Anayol havalı pervane	95	52	286,39
27	I36344	Anayol 3. su cebi karşısı	95	52	414,17

## Ek 3.(Devam) 3 nolu kömür ocağındaki radon konsantrasyonu sonuçları

28	I36387	Anayol 1. sağ kılavuz	95	52	202,75
29	I37778	Anayol 2.sağ kılavuz	95	52	269,30
30	I37786	Anayol 2.sağ kılavuz	95	52	307,10
31	I37847	Anayol yeni vinç başı	95	52	273,04
32	I36542	Anayol 2. vinç dibi	95	52	324,42
33	I36983	2. Vinç dibi,1.su cebi	95	52	308,69
		<b>Ortalama Radon Konsantrasyonu</b>			<b>285,89</b>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜZBEY, Sefa  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1975 Çorum  
e-mail : [sefausbey@hotmail.com](mailto:sefausbey@hotmail.com); sefausbey@hitit.edu.tr  
GSM : 0505 319 26 75

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Bölümü	2009
Lisans	Anadolu Üniversitesi / Fizik Bölümü	1998
Lise	Atatürk Lisesi / Çorum	1993

### Yabancı Dil

İngilizce