



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

**YERALTI MADEN OCAKLARINDA FARKLI PARAMETRELERİN
RADON GAZI KONSANTRASYONU OLUŞUMUNA ETKİSİ VE İŞ
SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

EGEMEN ÖZCAN

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ SAVAŞ KANBUR

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM/ANASANAT DALI

**YERALTI MADEN OCAKLARINDA FARKLI PARAMETRELERİN RADON
GAZI KONSANTRASYONU OLUŞUMUNA ETKİSİ VE İŞ SAĞLIĞI VE
GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EGEMEN ÖZCAN

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ SAVAŞ KANBUR

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2021-3614

ÇANAKKALE – 2022



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Egemen ÖZCAN tarafından Dr. Öğr. Üyesi Savaş KANBUR yönetiminde hazırlanan ve **28/01/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Yeraltı Maden Ocaklarında Farklı Parametrelerin Radon Gazı Konsantrasyonu Oluşumuna Etkisi ve İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Savaş KANBUR
(Danışman)

Prof. Dr. Fatma BAYCAN

Dr. Öğr. Üyesi Beyrul CANBAZ

.....

.....

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 28/01/2022.

.....
Doç. Dr. Yener PAZARCIK

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Egemen ÖZCAN

28/01/2022

TEŞEKKÜR

“Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Savaş KANBUR,

Tüm yaşamım boyunca benimle tüm zorlukları göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan canım annem Aysel ÖZCAN’a ve canım babam Gürel ÖZCAN’a,

Her anımızı paylaştığımız can yoldaşım olan, bana eğitim hayatımdaki deneyimlerini paylaşan ve yol gösteren ablam Dr. Öğr. Üyesi Gülçin ÖZCAN ATEŞ’e,

Ailemize katıldığı günden beri iyi bir arkadaş, sırdaş ve dost olan ve tez çalışmalarında ulaşımları sağlayan eniştem Tayfun ATEŞ’e,

Tez çalışma süresince de benimle deneyimleri paylaşan Öğr. Gör. Dr. Ulaş ÇINAR’a,

Tez çalışmamda kapılarını açan maden işletmelerine,

İsmini saymadığım ve hayatımın her evresinde bana destek olan herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.”

Egemen ÖZCAN
Çanakkale, Ocak 2022

ÖZET

YERALTI MADEN OCAKLARINDA FARKLI PARAMETRELERİN RADON GAZI KONSANTRASYONU OLUŞUMUNA ETKİSİ VE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Egemen ÖZCAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Savaş KANBUR

28/01/2022, 43

Radon, yer kabuğunda uranyum radyoaktif elementin bozunması sonucu oluşan, konveksiyon ve difüzyonla yayılan renksiz, kokusuz, havadaki toz ve parçacıklarla solunabilir bir asal gazdır. Toprak ve kayalarda uranyum yoğunluğuna bağlı değişen radon gazı en önemli doğal radyasyon kaynaklarından biridir. Jeofiziksel koşullar ve yer altı suları da radon gazı yoğunluğunu etkileyen faktörlerdendir. Hava ile tepkimeye girmeyen radon, özellikle iç ortam havasında birikebilmektedir. İç ortam havasındaki radon konsantrasyonu ısıtma, havalandırma koşulları, ortamın gözenekliliği, nem ve ortamdaki aktivite türü gibi faktörlerden etkilenmektedir. Radon gazı, özellikle iyi havalandırmaya sahip olmayan iç ortam havasında yüksek konsantrasyonlarda birikebilir ve akciğer kanserine sebep olabilir. İç ortamda biriken radon gazı sadece özel cihazlarla tespit edilebilmektedir. Dolayısıyla özellikle uzun süreli olarak kapalı ortamlarda çalışanlarda risk oluşturmaktadır. Türkiye’de madencilik ve taş ocaklarında çalışan 177,732 (RG, 31/01/2020) kişi bulunmaktadır. Dolayısıyla burada çalışan işçilerin maruz kaldığı radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından önem arz etmektedir. Çalışmamızda Marmara Bölgesi’nde bulunan yeraltı maden ocaklarındaki radon gazı konsantrasyonları bir ay ölçülmüştür ve iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak iki madende radon gazı konsantrasyonunun 83 ve 176 Bq/m³ olduğu tespit edilmiş olup, iş sağlığı ve güvenliği açısından etkin dozun altında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radon gazı, Kapalı maden, İş Sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DIFFERENT PARAMETERS ON THE RADON GAS CONCENTRATION IN UNDERGROUND MINES AND EVALUATION IN TERMS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

Egemen ÖZCAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Occupational Health and Safety

Co-supervisor: Assist. Assoc.Dr. Savaş KANBUR

28/01/2022, 43

Radon is a colorless, odorless, inert gas that is formed as a result of the decay of uranium radioactive element in the earth's crust and spreads by convection and diffusion and can be breathed with dust and particles in the air. Radon gas, which varies depending on the uranium density in soil and rocks, is one of the most important natural radiation sources. Geophysical conditions and groundwater are also factors affecting radon gas density. Radon, which does not react with air, can accumulate especially in indoor air. Radon concentration in indoor air is affected by factors such as heating, ventilation conditions, the porosity of the environment, humidity, and the type of activity in the environment. Radon gas can accumulate in high concentrations, especially in poorly ventilated indoor air, and cause lung cancer. Radon gas accumulating indoors can only be detected with special devices. Therefore, it poses a risk especially for those who work in closed environments for long periods. There are 177.732 (RG, 31/01/2020) people working in mining and quarries in Turkey. Therefore, determining the radon gas concentration to which the workers working here are exposed is important in terms of occupational health and safety. In our study, radon gas concentrations in underground mines in the Marmara Region were measured for one month and evaluated in terms of occupational health and safety. As a result, it was determined that the radon gas concentration in two mines was 83 and 176 Bq/m³, and it was determined that it was below the effective dose in terms of occupational health and safety.

Keywords: Radon gas, Closed mine, Occupational health and safety



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

2.1. Radyasyon ve Radyoaktivite.....	3
2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	5
2.2.1. Alfa (α) Bozunumu.....	6
2.2.2. Beta (β) Bozunumu.....	7
2.2.3. Gama (γ) Bozunumu.....	7
2.3. Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü.....	7
2.4. Radyasyon Çeşitleri.....	7
2.5. Radyasyon Kaynakları.....	8
2.5.1. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	8
2.5.2. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	10
2.6. Radyasyon Doz Birimleri.....	11
2.7. Radon Gazı ve Özellikleri.....	13
2.7.1. Radon Gazı ve İş Sağlığı.....	15
2.7.2. Radon Gazının Sağlığa Etkileri.....	18

2.7.3. Dünya’da Madenlerde Radon Gazı ile Yapılan Çalışmalar.....	19
2.7.4. Türkiye’de Madenlerde Radon Gazı ile Yapılan Çalışmalar.....	22
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM	
3.1. Radon Gazı Ölçüm Cihazı	27
3.2. Kapalı Madenlerdeki Radon Gazı Konsantrasyonun Belirlenmesi.....	27
3.3. Kapalı Madenlerden Alınan Toprakların Mineralojik Yapısının Belirlenmesi.....	29
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Kapalı Madenlerdeki Radon Gazı Konsantrasyonu.....	30
4.2. Kapalı Madenlerden Alınan Toprakların Mineralojik Yapısı.....	32
BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇ ve ÖNERİLER	
KAYNAKÇA	37
EKLER	I
EK 1. SÖZLÜ BİLDİRİ.....	II
ÖZGEÇMİŞ	V

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde işareti
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
Be	Berilyum
Bq	Becquerel
C	Karbon
DNA	Deoksiriboz nükleik asit
EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency)
H	Hidrojen
ICRP	Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)
K	Potasyum
m	metre
m ³	Metreküp
mSv	Mili Sievert
Na	Sodyum
NORM	Doğal olarak oluşan radyoaktif malzemeler (Naturally Occurring Radioactive Materials)
P	Fosfat
Ra	Radyum
RG	Resmi Gazete
Rn	Radon
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
Th	Toryum
U	Uranyum
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları	8
Tablo 2	Türkiye'deki kömür madenlerinde yapılmış radon ölçümleri	23
Tablo 3	Toprak örneklerinin minerolojik yapısı	33



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Radyoaktif bozunma tipleri	6
Şekil 2	Uranyum bozunması	13
Şekil 3	Airtings Corentium Plus radon gazı dedektörü	27
Şekil 4	Radon gazı dedektörünün madenlerde ölçüm muhafaza, koruma ve ölçüm yeri	28
Şekil 5	Birinci madendeki günlük ortalama radon gazı konsantrasyonu	30
Şekil 6	İkinci madendeki günlük ortalama radon gazı konsantrasyonu	30
Şekil 7	Radon gazı konsantrasyonunu 685 Bq/m ³ olduğu andaki veriler	31
Şekil 8	Radon gazı konsantrasyonunu 616 Bq/m ³ olduğu andaki veriler	31
Şekil 9	Radon gazı konsantrasyonunu 473 Bq/m ³ olduğu andaki veriler	32

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Yerkürede doğal olarak bulunan radon, çekirdek bozunumu sonucu oluşan ve toprakta bulunan uranyum yoğunluğuna bağlı olarak değişen en önemli radyasyon kaynaklarından biridir. Yeraltı suları ve jeofiziksel koşulların radon gazı oluşumunda oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Yerkabuğundaki çatlak ve kırıklardan sızan radon gazı, renksiz ve kokusuz olup, doğal yollarla topraktan atmosfere yayılmaktadır. Radon gazı, ayrıca yeraltı su kaynaklarında bulunabilir. Dolayısıyla yer altı su kaynakları içme suyuna karışabilir. İçme sularındaki yoğunluğu ise su kaynağına bağlı olarak değişmektedir.

Radon, renksiz ve kokusuz olup, doğal yollarla topraktan havaya sızmasıyla özellikle kapalı alanlarda birikim göstermektedir. Açık hava radon gazı konsantrasyonunu seyrelttiği için genellikle dış ortamda radon konsantrasyonu daha düşüktür. Bu nedenle kapalı alanlarda birikmesi ve sadece özel ölçüm cihazları ile saptanması sebebiyle özellikle uzun zaman kapalı ortamlarda çalışanlarda risk oluşturmaktadır. Radon gazı, atmosfere yayılım gösterdiğinde ve kapalı alanlarda yüksek konsantrasyonda birikmediği sürece insan sağlığını etkilemez. Bununla birlikte havalandırmanın yetersiz olduğu ya da iyi olmadığı kapalı mekânlarda radon gazı birikim yaparak yüksek konsantrasyonlara çıkabilmektedir. Bu nedenle kapalı alanlarda birikmesi ve sadece özel ölçüm cihazları ile saptanması sebebiyle özellikle uzun zaman kapalı ortamlarda çalışanlarda risk oluşturmaktadır.

Radon gazının sağlık üzerine olumsuz etkileri de göz önüne alındığında özellikle kapalı madenlerde çalışan kişiler için risk oluşturmaktadır. Türkiye’de madencilik ve taş ocaklarında çalışan 177,732 (RG, 31/01/2020) kişi bulunmaktadır. Dolayısıyla burada çalışan işçilerin maruz kaldığı iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Ülkemizde bu konu ile ilgili literatürde çok az çalışma bulunmakta ve son dönemlerdeki durumu ile ilgili bilgi bulunmaktadır. Bu nedenle, gerçekleştireceğimiz bu çalışma ile literatüre yeni bilgilerin katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; yeraltı madenleri özelinde ele alınan radon gazı tehlikesi genellikle tek bir ocakta veya aynı cevher grubu üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, değerlendirmelerin farklı madenlerde ve koşullarda karşılaştırmalı analizler ile daha nitelikli ve literatürden farklı veriler elde edilebilecektir. Yeraltı suları ve jeofiziksel koşulların radon gazı oluşumunda oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Çalışmadaki uygulama alanlarının aynı fay hattı üzerinden seçilmesi veri güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı; yeraltı maden ocaklarında oldukça önemli bir risk faktörü olan radon gazı konsantrasyonunun iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmektir.

Çalışmamızda Türkiye’de aynı fay hattı üzerinde bulunan yeraltı maden ocaklarında radon gazı konsantrasyonları 30 gün süre ile ölçülmüştür. Ölçümlerle birlikte madenlerde toprak örnekleri alınarak mineralojik yapısı belirlenmiştir. Tüm veriler arasındaki bağlantılar araştırılarak ve iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon (ışınım); elektromanyetik dalga, foton veya parçacık olarak yayılan bir enerji türüdür. İnsanoğlu, evrenin başlangıcından beri süren ve kaçınamadığı radyasyona yaşamı boyunca günlük hayatının her anında maruz kalmaktadır. (Daşdağ, 2010; Ulutin vd., 2019). Radyasyon uzaydan kozmik ışınlar, yer kürede su, gıda, hava, toprak ve yapı malzemeleri gibi doğal radyasyonlar ya da yapay ışınlardan kaynaklanabilmektedir. Başlıca doğal radyoaktif maddeler kaynakları evren, gübeş ve yerküre olup, hiçbir etkiye maruz kalmadan kendiliğinden bozunan maddelerdir. Doğal radyasyon kaynakları kozmik ve karasal radyasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Kürkçüoğlu vd., 2016; Karataşlı, 2018)

Kozmik radyasyon kaynağına, enerjisi ve tipine ve parçacıkların yoğunluğuna göre farklı tiplere ayrılabilir. Sadece insanların maruz kalması için önemli olan türleri dikkate alındığında, kozmik radyasyonun üç ana kaynağı vardır: galaktik kozmik radyasyon, güneş kozmik radyasyonu ve dünyanın radyasyon kuşaklarından radyasyon. Kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon miktarı çeşitli faktörlere göre değişmektedir:

- Bölgenin manyetik alanı
- Güneş patlamaları
- Yükselti

Yükseklik arttıkça ya da ekvatorlardan kutuplara doğru kozmik ışınların doğal radyasyona katkısı artmaktadır. Bununla birlikte deniz seviyesinden yukarı çıkıldıkça belirli enlem değerlerinde kozmik ışınların doğal radyasyona katkısı sabit kalmaktadır. Volkanik kayalar, tortul kayalardan daha yüksek radyoaktivite konsantrasyonuna sahiptir. (Bozkurt vd., 2007; UNSCEAR, 2008; Karataşlı, 2018).

Karasal radyasyon ise, evrenin başlangıcından beri yer kabuğunda bulunan radyoaktif elementlerden (toryum, uranyum ve bozunum ürünlerini gibi) kaynaklanan ışımanın sonucudur. Karasal radyasyon seviyesi, çevrede bulunan radyoaktif madde miktarı ile ilişkili olup, insanların maruz kaldığı doğal radyasyon miktarını etkilemektedir. ^{238}U (uranyum), ^{232}Th (toryum) ve ^{40}K (potasyum) gibi doğal radyoçekirdekleri değişen coğrafik

ve jeolojik koşullara bağlı olarak kaya ve toprak tipleri içinde değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla kütle aktivite konsantrasyonları (1 m yükseklikte havadaki absorblanmış doza karşılık gelen radyasyon şiddeti) ve maruz kalınan doz miktarı değişmektedir. Bu nedenle topraktaki radyoçekirdek konsantrasyonları ile havada ölçülen radyasyon dozu bağlantılıdır. (Tzortzis vd., 2003; Bozkurt vd., 2007, Karataşlı, 2018)

Kozmojenik radyonüklidler, örneğin ^3H (hidrojen), ^7Be (berilyum), ^{14}C (karbon) ve ^{22}Na (sodyum) dünya atmosferindeki kozmik ışın parçacıklarının (esas olarak yüksek enerjili protonlar) etkileşimi ile üretilir. İlkel radyonüklidler (karasal arka plan radyasyonu olarak da adlandırılır) yıldızlarda nükleosentez süreci ile oluşturulur. İlkel radyonüklidler olarak da adlandırılan, doğal olarak oluşan karasal kökenli radyonüklidler, insan vücudu da dahil olmak üzere tüm çevresel ortamlarda farklı konsantrasyonlarda bulunur. (Tzortzis vd., 2003; Karataşlı, 2018)

Radyoaktivite, elementlerin çekirdeklerinin kararlı ve kararsız olma durumlarıyla ilişkili bir kavramdır. Radyoaktif çekirdekler (radyonüklidler) kararsız durumdu olup, kararlı hale geçebilmek için bünyelerindeki fazla enerjiyi çeşitli mekanizmalarla kaybederler. Kısacası, radyasyon yayarak kararlı hale geçme eğilimindedirler. İnsanlar, insan yapımı radyasyon dışında arka plan radyasyon sebebiyle sürekli iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. Toprakta üretilen arka plan radyasyonun ana kaynağı ise doğal radyoaktivitedir. Doğal radyoaktivite dünya çevresinde toprak, bitki, su ve havada olmak üzere geniş bir alana yayılmıştır. Doğal radyoaktivite, insanların önemli dozlarda radyasyona maruz kalmasına neden olmaktadır. (Yang vd., 2005; Merdanoğlu ve Altınsoy, 2006; Mavi ve Akkurt, 2010; Srilatha vd., 2015; Kürkçüoğlu vd., 2016).

Doğal radyoaktivite, yerkabuğunda bulunan doğal radyo-elementlerin uzun yarılanma ömrü nedeniyle evrenin başlangıcından beri var olmuştur. Topraktaki doğal radyoaktivite esas olarak Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th), Radyum (^{226}Ra) ve Potasyum (^{40}K) elementlerinden oluşmaktadır ve bu elementler ana nüklidlerdir. Bu radyoaktif maddeler NORM yani doğal olarak oluşan radyoaktif malzemeler olarak kabul edilmektedir. ^{238}U ve bozunma ürünleri yerküredeki doğal kaynaklar arasında en büyük paya sahip NORM'dur. Bu radyonüklidler sedimanter kökenli fosfat kayalar VEgranit kayalarda bulunmaktadır. Dolayısıyla kaya, granit, kum, çimento ve alçıda gibi yapı

malzemelerinde de bulunabilmektedirler. Bu nedenle insanlara uygun bir koruma sağlayabilmek için çevreye radyoaktivite salınımını izlemek gereklidir. (Yang vd., 2005; Merdanoğlu ve Altınsoy, 2006; Mavi ve Akkurt, 2010; Srilatha vd., 2015; Kürkçüoğlu vd., 2016; Karataşlı, 2018; El Zrelli vd., 2019).

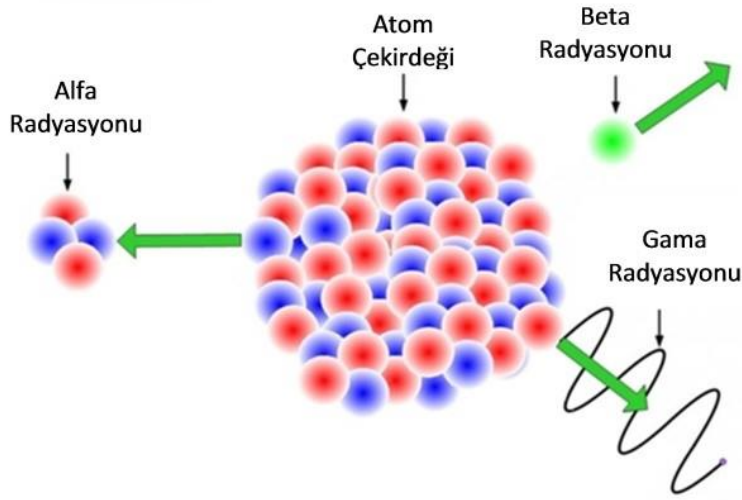
Canlılar yaşamları boyunca, hem yapay hem de doğal radyasyon kaynaklarından iyonlaştırıcı tipteki alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarına maruz kalmaktadır. Yıllık kişi başına alınan ortalama radyasyon seviyesinin yaklaşık 2,8mSv olduğu bildirilmiştir. Bu radyasyon seviyesinin %85'ini doğal kaynaklar iken %15'ini ise yapay radyasyon kaynakları oluşturmaktadır. Bu nedenle yaşanan alanların doğal radyasyon açısından değerlendirilmesi ve çevresel ortamdaki radyoçekirdeklerin konsantrasyonlarının belirlenmesi insan sağlığı ve biyolojik sistemlerde etkisi açısından önem arz etmektedir. Dolayısı çevresel etkenlerdeki kaynaklanan radyasyon türü ve dozunun insan sağlığı üzerine oluşturabileceği risklerin ve etkilerinin değerlendirilmelerine yönelik araştırmalar yapılması oldukça önemlidir. (UNSCEAR 2008; Kürkçüoğlu vd., 2016; Karataşlı, 2018).

2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri

Proton sayısı (atom numarası) >81 olan elementlerin çekirdeklerindeki proton (Z) ve nötron (N) sayılarındaki oran (N/Z oranı) >1 olduğu için bu elementler kararsız yapıdadır. N/Z oranı >1 olan kararsız bu elementler kararlı hale gelebilmek için çekirdekten parçacıklar veya elektromagnetik radyasyon yayarak çekirdeğin nükleer yapısında değişime uğrar. Bu değişimin adı radyoaktivite olup, radyoaktif bozunma olarak karşımıza çıkar. (Krane, 2001; Yıldız, 2016; Alsharif vd., 2020; Anonim a., 2022).

Şekil 1'de görüldüğü üzere radyoaktif çekirdeklerde üç tip bozunma görülmektedir: (Krane, 2001; Yıldız, 2016; Anonim a., 2022)

1. α - Alfa Bozunumu
2. β - Beta Bozunumu
3. γ - Gamma Bozunumu



Şekil 1. Radyoaktif bozunma tipleri

2.2.1. Alfa (α) Bozunumu

İki proton ve iki nötrondan oluşan helyum çekirdeği alfa parçacıklarıdır. Radyoaktif bir elementte radyonüklid bozunduğunda ve alfa parçacığı yaydığında, atom numarasının 2 ve atom kütlelerinin 4 azalacağını ifade etmektedir. Bu nedenle alfa parçacıkları yüksek kütleli, ağır ve yavaşlardır. Dolayısıyla düşük penetrasyon gücüne sahiptirler ve bir kağıt ile durdurulabilirler. Yüksek kütleleri sebebiyle alfa parçacıkları cildin dış tabakasına nüfuz edemezler ve insan için bir tehlike yaratmazken, alfa parçacıkları solduğunda, yutulduğunda veya enjekte edildiğinde ise yüksek kütleleri sebebiyle iç organlar üzerinde ciddi bir zarara neden olabilmektedir. Doğada uranyum ve radyum çekirdeklerinin parçalanması sırasında alfa parçacıkları ortaya çıkmaktadır. (Alsharef vd., 2020; Anonim a., 2022).

2.2.2. Beta (β) Bozunumu

Beta parçacıkları kütle ve yük bakımından elektrona benzemektedir. Bu nedenle proton veya nötronla karşılaştığında çok küçük bir kütleyle sahip olduklarını göstermektedir. Beta parçacıkları pozitif veya negatif yüklü olabilirler. Beta parçacıkları, alfa parçacıklarına göre düşük kütleyle sahip olmaları sebebiyle daha yüksek penetrasyon gücüne sahiptirler. Dolayısıyla beta parçacıkları bir kağıt ile durdurulamaz, durdurulabilmesi için bir alüminyum levha ihtiyaç vardır. Beta parçacıkları organlar üzerinde hasara neden

olmakla birlikte özellikle tümör dokusunun yok edilmesinde tedavide kullanılmaktadır. (Alsharef vd., 2020; Anonim a., 2022).

2.3.3. Gama (γ) Bozunumu

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçmek için yaptıkları α veya β bozunumlarının birçoğunda, element çekirdeği enerji açısından uyarılmış durumda kalmaktadır. α veya β bozunumları sonunda uyarılmış durumda kalan çekirdek açığa çıkan fazla enerjiyi gamma fotonu şeklinde yayar ve sıfır enerji seviyesine iner. Radyonüklidlerin gama radyasyonları şeklinde bozunması sürecinde atomun proton ve nötron sayılarında atom numarasında herhangi bir değişiklik olmaz. Sonuç olarak beta parçacıklarından daha yüksek penetrasyon gücüne sahiptir. (Alsharef vd., 2020; Anonim a., 2022).

Gamma ışınları elektromanyetik radyasyonlar olup, radyoaktif nüklidden radyasyon şeklinde yayılım göstermektedir, dolayısıyla kütleleri ve yükleri bulunmamaktadır. Yükleri olmaması sebebiyle de gama radyasyonunun insan vücuduna zararı bulunmamaktadır. Bu nedenle tıpta tanı-teşhis için kullanılmaktadır. (Alsharef vd., 2020; Anonim a., 2022).

2.3. Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bir elementin, belli bir zaman başlangıcındaki çekirdek sayısının yarıya düşmesi için geçen süredir. Kısacası radyoaktif yarı-ömürü fiziksel yarılanma süresidir. Ortalama ömür, ise bir radyoaktif atomun ortalama ne kadar zaman radyoaktif kalacağını gösterir. Radyonüklid bir atom için ortalama ömür; yarı ömrünün yaklaşık olarak 1,44 katına ya da radyonüklide özgü olan bozunma sabitinin tersine eşittir. (Krane, 2001; Yıldız, 2016).

2.4. Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Tablo 1'de iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan çeşitleri belirtilmiştir. (Ulutin vd., 2019; CNSC, 2022)

Tablo 1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları

İyonlaştırıcı radyasyon	İyonlaştırmayan radyasyon
Alfa Radyasyonu	Elektromanyetik Dalgalar
Beta Radyasyonu	Ultraviöle Işımlar
Gama Radyasyonu	İnfrared Radyasyon
X Işımları	Lazer ve Görünür Işımlar
Nötronlar	Mikrodalga
	Elektrik ve Manyetik Alanlar

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, atomları veya molekülleri iyonize etmek için yeterli enerji taşımamaktadır. İnsanlar her gün iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarını maruz kalır ve bu kaynakları kullanmaktadır. Cep telefonları, radyo, televizyon istasyonları, mikrodalga fırınlar, küresel konumlandırma sistemleri, bebek monitörleri, kablosuz telefonlar vb. birçok cihazda iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kullanılmaktadır. (CNSC, 2022).

İyonlaştırıcı radyasyonunu ise elektronları atomların etrafındaki yörüngelerinden çıkaracak, elektron/proton dengesini bozacak ve atoma pozitif bir yük verecek kadar enerjiye sahiptir. İyon (elektrik yüklü moleküllere ve atomlara denir) üretebilen radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. (CNSC, 2022).

İyonlaştırıcı radyasyonun farklı türleri bulunmaktadır: parçacık (alfa, beta ve gama radyasyonu) ve dalga (X-ışını ve nötronlar). X-ışınları yapay yollarla üretilen ve gama radyasyonuna benzer bir radyasyon şeklidir. Nötron radyasyonu ise; nötronlar, nükleer fisyon (nükleer zincir reaksiyonu gibi) ve diğer işlemlerle çekirdekten çıkarıldığında meydana gelmektedir. Diğer radyasyonlardan farklı olarak, nötron radyasyonu, parafin mumu ve plastikler gibi çok sayıda hidrojen atomu içeren malzemeler tarafından emilmektedir. (Gökoğlan vd., 2020; CNSC, 2022).

2.5. Radyasyon Kaynakları

2.5.1. Yapay Radyasyon Kaynakları

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle insan faaliyetleri ile oluşan ve doğada kendiliğinden oluşmayan radyasyon yapay radyasyondur. Günümüzde atmosferik testler,

tıbbi kaynaklar ve uygulamaları, endüstriyel kaynaklar, nükleer yakıt döngüsü ve tüketici ürünleri olmak üzere birçok farklı yapay radyasyon kaynağı bulunmaktadır. Şüphesizki, yapay radyasyon kaynakları arasında tıbbi kaynaklar ve uygulamaları önemli bir yere sahiptir. Gelişen tıp teknolojisi ile hastalıkları tanı tedavisinde kullanılan tanısal ve girişimsel radyoloji ile nükleer tıp uygulamalarının artması başlıca nedendir. Bu nedenle doğal radyasyona maruziyet yanında, günümüzde yapay radyasyona maruziyette önemli bir yer tutmaktadır. (Gökoğlan vd., 2020; CNSC, 2022; EPA; 2022).

Radyasyon tıpta birçok farklı amaçla kullanılmaktadır. En çok bilineni tanısal radyolojide kullanımudur. Tanısal radyolojide, X-ışınları kullanan röntgen cihazları ile hastalıklı bölgenin görüntüsü röntgen filmi (radyografi) elde edilmesi ve kırık kemikler ve hastalıkları teşhisinde kullanılmaktadır. Tıbbi alanda kullanılan bir diğer uygulaması ise radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanmaktadır. Dolayısıyla radyasyon hastalıkların tedavisinde, özellikle radyoterapi (kanser hastalıklarının %50'sinin tedavisinde) kullanılmaktadır. Yine insan vücudundaki doku ve organların işlevleri ile ilgili tanı için nükleer tıp alanında kullanılmaktadır. Nükleer tıp alanında çalışmalarda vücuda radyoaktif izotop maddeler verilerek, vücuttan salınana radyoaktif madde gama ışınlarını algılayan cihazlar ile tanı ve tedavi yapılır. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

Birçok farklı endüstride farklı amaçlarla yapay radyasyondan yararlanılmaktadır. Boru, buhar kazanı, her türlü makine aksamları vb. ürünlerin üretildiği sanayilerde ürünlerin herhangi bir hata içerip içermediği, çelik, çimento, demir, kağıt, lastik, plastik, şeker, vb. ürünlerinin üretildiği sanayilerde ise seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk gibi ölçümleri yapmak için radyografilerden yararlanılmaktadır. Ek olarak duman dedektörlerinde, karanlıkta parlayan bazı işaretçilerde, petrol sahalarındaki rezervleri tahmininde, yeraltı sularının hareketlerinin takibi, akarsuların debisini belirlemek, barajlarda su kaçaklarının tespiti gibi çok çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Ayrıca radyasyon ayrıca gıda ve tıbbi malzemelerin sterilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadır. Tarımda ise radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılan tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilmektedirler. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

Nükleer enerji, uranyum gibi ağır radyoaktif elementlerin atomlarının bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucunda meydana çıkan çok büyük miktardaki enerjidir. Nükleer enerji santralleri (NPP'ler), buhar üreten bir zincirleme reaksiyonu yürütmek için uranyum ağır radyoaktifini kullanır ve bu da türbinleri elektrik üretmeye yönlendirir. Normal aktivitelerinin bir parçası olarak, nükleer santraller, insanları düşük dozda radyasyona maruz bırakabilecek düzenlenmiş seviyelerde radyoaktif madde salmaktadır. Benzer şekilde, uranyum madenleri, yakıt üretim tesisleri ve radyoaktif atık tesisleri, halkın dozuna katkıda bulunan bir miktar radyoaktivite salmaktadır. Güneşte nükleer füzyon reaksiyonları oluşurken, nükleer reaktörlerde, filyon reaksiyonları meydana gelir. Füzyon reaksiyonlarının oluşturduğu sıcaklık filyon reaksiyonların oluşturduğu sıcaklıktan birkaç milyon °C fazla olup, henüz bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir reaktör kurulamamıştır. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

İkinci Dünya Savaşı'nın sonundan 1980'e kadar atmosferde gerçekleştirilen nükleer atom silahlarının atmosferik testleri sonucunda radyoaktif serpinti adı verilen radyoaktif maddeleri havaya salınmıştır. Serpinti toprağa yerleşerek en büyük yapay radyasyon kaynağı olarak çevre kirliliğine neden olmuştur. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

2.5.2. Doğal Radyasyon Kaynakları

Radyasyon her zaman var olmuştur ve her yerdedir. Yaşam, önemli düzeyde iyonlaştırıcı radyasyon içeren bir dünyada gelişmiştir. Vücudumuz buna adapte edilmiştir. Dolayısıyla insanlar normal günlük aktivitelerini gerçekleştirirken sürekli olarak çevreden gelen az miktarda iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalırlar; bu arka plan radyasyonu olarak bilinir. Ayrıca bazı tıbbi tedaviler ve radyoaktif madde içeren faaliyetler yoluyla da maruz kalıyoruz. (Gökoğlan vd., 2020; CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

Arka plan radyasyonunun çoğu doğal olarak minerallerden oluşur ve küçük bir kısmı insan yapımı elementlerden gelir. Toprakta, suda doğal olarak oluşan radyoaktif mineraller, arka plan radyasyonu üretir. İnsan vücudu, doğal olarak oluşan bu radyoaktif minerallerden bazılarını bile içerir. Uzaydan gelen kozmik radyasyon, etrafımızdaki arka

plan radyasyonuna da katkıda bulunur. Doğal arka plan radyasyon seviyelerinde bir yerden bir yere büyük farklılıklar olabileceği gibi aynı yerde zaman içinde değişiklikler de olabilir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), halkın doğal radyasyona maruz kalmasının dört ana kaynağını tanımlamaktadır: (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

- Kozmik radyasyon
- Karasal radyasyon
- İnhalasyon
- Yutma

Dünyanın dış atmosferi sürekli olarak kozmik radyasyon tarafından bombalanır. Genellikle, kozmik radyasyon, uzayda var olan ve güneş ve evrendeki diğer gök olayları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan kaynaklanan hızlı hareket eden parçacıklardan oluşur. Kozmik ışınlar çoğunlukla protonlardır, ancak diğer parçacıklar veya dalga enerjisi olabilir. Bazı iyonlaştırıcı radyasyon, dünyanın atmosferine nüfuz eder ve insanlar tarafından emilir, bu da doğal radyasyona maruz kalma ile sonuçlanır. Doğal radyasyon kaynaklarından kaynaklanan dozlar, konuma ve alışkanlıklara bağlı olarak değişir. Daha yüksek rakımlardaki bölgeler daha fazla kozmik radyasyon almaktadır. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

Yerkabuğunun bileşimi, önemli bir doğal radyasyon kaynağıdır. Ana katkıda bulunanlar, doğal bozunma sürecinde az miktarda iyonlaştırıcı radyasyon yayan doğal uranyum, potasyum ve toryum birikintileridir. Uranyum ve toryum "her yerde bulunur", yani esasen her yerde bulunurlar. Bu minerallerin izleri yapı malzemelerinde de bulunur, bu nedenle doğal radyasyona maruz kalma hem iç mekanlarda hem de dış mekanlarda meydana gelebilir. (CNSC, 2022; EPA; 2022; TENMAK, 2022).

2.6. Radyasyon Doz Birimleri

Aktivite birimi: Bir radyoaktif izotopun nükleer parçalanma meydana gelme hızıdır.. Aktivite, mevcut bir radyonüklid miktarının bir ölçüsü olarak kullanılır. Ölçü birimi uluslararası sistemde Becquerel (Bq) ve ABD birimi ise Cuire (Ci)'dir. (Çimen vd., 2017; CNSC, 2022; EPA; 2022).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Emilen doz: bir nesne veya kişi tarafından emilen enerjiye soğurulan doz denir. Absorbe edilen doz birimi uluslararası sistemde Gray (Gy, bir kilogram maddede depolanan 1 joule enerjiye eşdeğerdir) ve ABD biriminde rad'dır. 1 Gy = 100 rad'a eşittir. (CNSC, 2022; EPA; 2022)

Etkili doz: alınan radyasyonun türünü ve belirli organlar üzerindeki etkisini hesaba katmak için ayarlanan, kişi tarafından emilen radyasyon miktarını tanımlar. Etkili doz için kullanılan birim elek uluslararası sistemde sievert (Sv)'tir. (CNSC, 2022; EPA; 2022).

Eşdeğer doz: Doku veya organa verilen zararın miktarını ölçüsü olan dozdur. Radyasyon, canlı tarafından absorbe edildiğinde eşit miktarsa doz emilsede biyolojik etkileri farklı olacaktır. Biyolojki etkileri alfa, beta ve gama radyasyon gibi radyasyonun türüne bağlıdır. Bazı dokularda 1 Gy alfa radyasyonu 1 Gy beta radyasyonundan daha zararlıdır. Eşdeğer dozu, absorbe edilen dozun bir "radyasyon ağırlık faktörü (wR)" ile çarpılmasıyla elde edilir. Başka bir deyişle, eşdeğer doz, farklı radyasyon türlerinin aynı dokuya vereceği zararın derecesini açıklayan tek bir birim olarak ifade edilir. Eşdeğer doz ölçü birimi sievert (Sv)'tir. Sonuç olarak 1 Sv alfa radyasyonunun 1 Sv beta radyasyonu ile aynı biyolojik etkiye sahip değildir. (CNSC, 2022; EPA; 2022).

Işınlama birimi: Havada X veya gama gibi iyonlaştırıcı radyasyonun düzeyini belirlemek için maruz kalınacak iyonize radyasyon miktarıdır. Uluslararası birimi ışınlanmanın birimi coulomb/kg olup ilk kabul edilen birim ise Röntgen (R)'dir. 1 R = 2,58 x 10⁻⁴ coulomb/kg. (Çimen vd., 2017).

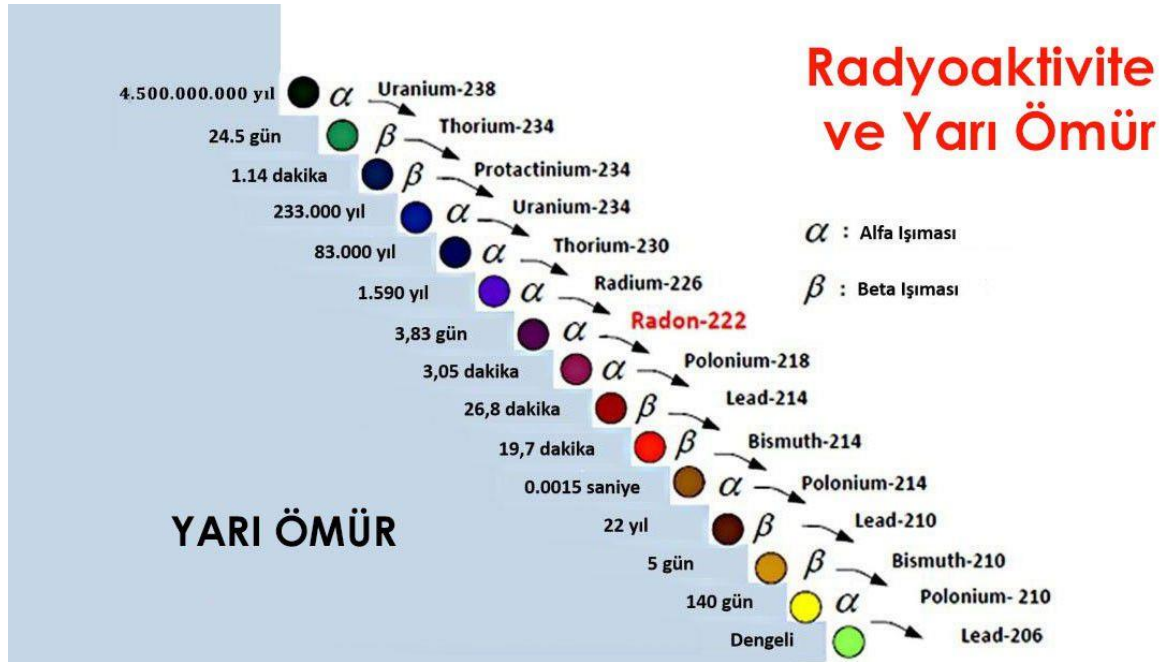
Sievert (Sv): "Eşdeğer doz" ve "etkili doz"u ölçen doz birimi oluş, radyasyon tipi ve doku ağırlık faktörleri tarafından değiştirilmiş canlı organizmalarda soğurulan radyasyon dozunun uluslararası (SI) birimidir. Klasik radyasyon birimi olan rem'in yerini almış olup 1 mrem = 0,01 mSv 'lik bir doz eşittir. Genellikle pratikte millisievert (mSv, bir sievert'in binde

biri) ve microsievvert (μSv , bir sievert'in milyonda biri) kullanılmaktadır. (CNSC, 2022; EPA; 2022).

Soğurulmuş Doz Birimi: İyonlaştırıcı radyasyonun bir madde veya canlı kütleğinde biriken enerjinin, bu maddenin kütleğine bölünmesiyle elde edilir ve ölçü birimi gray (1 Gy = 1 Joule/kg)'dir. (Çimen vd., 2017; CNSC, 2022; EPA; 2022)

2.7. Radon Gazı ve Özellikleri

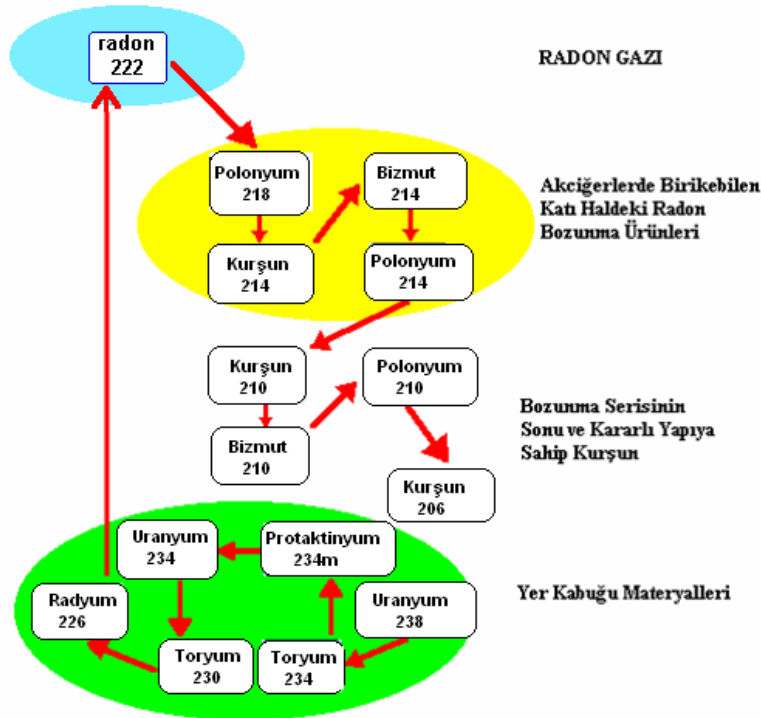
Radon (^{222}Rn), $4,5 \times 10^9$ yıl yarılanma ömrüne sahip yerkürede bulunan NORM olarak bulunan ^{238}U 'in bozunma serisinden kaynaklanan doğal bir radyoaktif soy gaz maddedir. Uranyum seviyeleri yerkürede değişkenlik göstermektedir. Granit ve uranyumla zenginleştirilmiş fosfatik kayalar gibi bazı kaya ve toprak türleri diğerlerinden daha fazla uranyum içermektedir. Radonun yarılanma ömrü 3,82 gün olup, alfa ve beta bozunumu yapar (Şekil 2). Radon kısa ömürlü radyonüklidler ve diğer radyoaktif nesiller oluşturmak için saatler içinde bozunur. Radon, en önemli doğal radyasyon kaynaklarından birisidir. (Al-Zoughool ve Krewski, 2009).



Şekil 2. Uranyum Bozunması (Anonim b, 2022)

Dahili maruziyetler, karasal radyonüklidlerin solunma ve yutma yoluyla alınmasından kaynaklanır. İnhalasyondan kaynaklanan dozlar, ^{238}U ve ^{232}Th bozunma zincirlerinin radyonüklidlerini içeren toz parçacıklarının havada bulunmasından kaynaklanır. Radon asal gaz olmasına rağmen, kısa ömürlü, doğal aerosol ve toza bağlanabilen ve solunduğunda akciğerlerde birikme eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla hassas bronşiyal epitel hücrelerini alfa radyasyonuna maruz bırakmaktadır. Radona maruz kalma, yıllık etkili doğal radyoaktivite dozunun %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. (UNSCEAR, 2008)

İyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığına yönelik riskleri iyi bilinmektedir. Radon gazı, doğal kaynaklı olanlar arasında açık ara en önemli iyonlaştırıcı radyasyon kaynağıdır. Radon (^{222}Rn), Uranyum'un (^{238}U) bozunma ürünü olan radyumdan (^{226}Ra) oluşan asal bir gazdır (Şekil 2). Uranyum ve radyum, toprak ve kayalarda doğal olarak bulunur. Uranyumun diğer bozunma ürünleri arasında toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn) izotopları bulunur. Yarılma ömrü 3,8 gün olan radon gazı, kayalardan ve topraklardan yayılır ve yer altı madenleri veya evler gibi kapalı alanlarda yoğunlaşma eğilimindedir. Genel popülasyon tarafından alınan iyonlaştırıcı radyasyon dozuna önemli bir katkıda bulunur. (WHO, 2009; Baldık ve Aytekin, 2017, Ulutin vd., 2019)



Şekil 3. Radon gazı oluşumu (Anonim c, 2022)

Radon, soy gazlar arasında en yüksek suda çözünürlüğe sahiptir. Radon, yerkabuğundaki kayalardan sürekli difüzyon yoluyla yeraltı suyuna salınabilmektedir. Dolayısıyla yeraltı suyunda yüksek konsantrasyonda radon bulunabilir. Bu yeraltı suları içme suyu kaynakları ile karşıabilir ya da içme suyu olarak kullanılması ise insanlar için potansiyel bir sağlık riski oluşturabilir. (Al-Zoughool ve Krewski, 2009).

Dış ortam havasında radon konsantrasyonu, büyük kıtalarda denizden daha yüksektir. Dış ortamdaki radon konsantrasyonu genellikle düşük olup, iç ortam havasındaki radon konsantrasyonu ise çok daha yüksek ve daha değişkendir. Havdaki radon konsantrasyonu sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi meteorolojik değişkenlere bağlı olarak günlük ve mevsimsel olarak değişmektedir. (Al-Zoughool ve Krewski, 2009).

Asal bir gaz olan radon konveksiyon ve difüzyonla yayılım gösterir. Özellikle hava bileşenleriyle herhangi bir etkileşme yapmadan iç ortam havasında (ev, mağara ve yeraltı maden ocakları gibi kapalı ortamlarda) yüksek miktarlarda birikebilir. Radon konsantrasyonu iç ortam havasında ısıtma ve havalandırma koşullarından etkilenir. Ek olarak radon konsantrasyonu ortamın gözeneklilik, nem ve aktivite tipine göre değişmektedir. Kapalı madenlerde kullanılan teknolojiler ile birlikte, yeraltındaki toprakta ve kayalarda uranyum ve toryum bozunma serilerini içermesi ve bu tozların kapalı maden havasındaki tozlar ile taşınması ve solunması radon gazının sağlık açısından önemini göz önüne getirmektedir. Dolayısıyla kapalı (yeraltı) madenlerde çalışanlarda en önemli mesleki hastalık nedenlerinden biridir. Solunabilen ^{222}Rn ürünlerinin kanser etkisinin olduğunun belirlenmesinden sonra ICRP, 65 nolu raporu ile madenlerde radon gazı konsantrasyonunun 500-1500 Bq/m³ aralığını olması gerektiğini, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ise bu değerinin maksimum 1000 Bq/m³ olması gerektiğini bildirmiştir. (ICRP 1993; Uzbey vd., 2013; Ulutin, Çınar ve Barışık, 2019)

2.7.1. Radon Gazı ve İş Sağlığı

Gelişen teknolojik sanayileşmeye paralel olarak tüm dünyada çalışanların iş yerlerindeki güvenliği ile ilgili sorunlar ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla gelişmeye bağlı olarak iş yerlerinde çalışanlar daha önce hiç karşılaşmadıkları yeni risk ve tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. İşyerlerinde çalışanların karşılaştıkları risk ve tehlikeler başlangıçta

önemsenmeyen konular iken, bu riskler ve tehlikelerin işletmenin çalışmasını aksatması ve iş verimini negatif yönde etkilemesi sonucunda sağlık ve güvenlik ile ilgili terimler işyerlerinde gündeme gelmiştir. Gün geçtikçe artan iş kazalarına bağlı olarak oluşan manevi ve maddi kayıpların devasal boyutlara ulaşması bu soruna olan ilgiyi daha da arttırmıştır. (Çolak vd., 2018).

İş sağlığı ve güvenliği, hem profesyonel hem de bilimsel iş yerlerindeki, çalışanların çalışma koşullarının analiz edilmesi, çalışma koşullarının işçi sağlığı ve kişinin iyi olma haline etkileri, iş risk ve tehlike etmenlerinin analiz edilerek azaltılması ve bu etmenlerin etkinliğinin ölçülmesi olarak ifade edilmektedir. (Hoşten ve Yalbay, 2018)

Gelişen teknolojik sanayileşmeye paralel olarak üreten ve çalışan insanların iş yerlerinde her gün karşılaşma olası olan konu iş kazalarıdır. İş kazalarından korunmak ve/ya kaçınmak sadece “İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği” ile ilgili önlemlerin alınması, kurallarının uygulanması ile aşılabılır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi için iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarına gün geçtikçe daha önem verilmektedir. (Çolak vd., 2018).

İş sağlığı ve güvenliği, işçi verimliliğinin iyileştirilmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde başlıca endüstri sorunlarından biridir. Uygun olmayan iş yeri tasarımı, uygun olmayan çevre, işçi ve iş arasındaki uyum eksikliği, uygun olmayan yönetim programları gibi bir çok farklı sorunlar bulunmaktadır. Dolayısıyla bu sorunlar işyerinde risklere ve tehlikelere neden olmaktadır. (Shikdar ve Sawaqed, 2003).

Radonunun kapalı ortamlarda birikmesinin insan sağlığını için risk ve tehdit oluşturabileceği 1960’li yılların ortalarından itibaren ifade edilmiş olup, bu tarihten itibaren radon kaynaklı radyasyon maruziyeti dikkat çeken bir konu olmuştur. Özellikle kapalı alanlardaki radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesi ve insan sağlığına etkileri konusunda çalışmalar giderek artmıştır. Hatta bazı ülkeler tarafından radon gazı yoğunluğu ile ilgili haritalar oluşturulmuştur. Ülkemizde ise Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) radon ile ilgili çalışmalara 1984 yılında başlamıştır. TAEK, 59 ildeki yaklaşık olarak 5500 evde radon gazı ölçümleri gerçekleştirmiş ve evlerde ortalama 82,66 Bq/m³ radon gazı olduğunu tespit etmiştir. (Baş ve Selçuk, 2019)

Kapalı bölgeye girişinin önlenmek ve ihtivası varsa konsantrasyonunu seyreltilmesi, ortamdaki radon miktarının ulusal limitlerin aşığıında ve mümkün mertebe konsantrasyonu en alt seviyeye ulaştırılması amaçlanmaktadır. Radonun ve ortama akış sistemlerini, radonu engelleme, konsantrasyonunu indirmek için yapılan uygulamaların maliyet etkinliğı önemli olup, bununla birlikte doğru bve uygun bir tasarım ve uygulamayla birlikte dikkatli ve doğru bir şekilde yapılması soruna yönelik çözüm elde etme açısından önemlidir. (Baş ve Selçuk, 2019). Kapalı alanlarda radon gazının girişini engellemek ve radon gazı konsantrasyonunu azaltmak için yapılabilecekler ise;

1. Kapalı alandaki çatlakların ve girişlerin geçirgen olmayan bir çimento tabakasıyla toprağın örtülmesi
2. Radon konsantrasyonu bulunma potansiyeli yüksek yerlerdeki kapalı alanların inşasında özellikle toprak tabanlı kırsal kesim evlerinde tabana polietilen bir örtü serildikten sonra üzerine çimento dökülerek radon gazı girişinin engellenmesi
3. Kapalı alanlarda ve bina yapımında kullanılan malzemelerde düşük radyoaktif içerikli ve radon konsantrasyonlu kullanılması
4. Suda bulunan radon gazı konsantrasyonunun suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi gibi yöntemlerle azaltılması
5. Hava akımının kapalı alan içersinde toprağa doğru olmasının sağlanması.
6. Havalandırma sisteminin hava üst taraftan alınmalı ve alttan atılma, böylece tabandaki radon gazı konsantrasyonunun tavana çıkmasının engellenmesi
7. Doğal havalandırma sistemlerinin bulundurulması
8. Kapalı alan içindeki havanın temizlenmesi negatif iyon jeneratörü tipi temizleyiciler elektrostatik presipitasyon yapan temizleyiciler, mekanik filtreler kullanılması
9. Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunu belirlenmesinde toplumun bilinçlendirilmesi ve bireysel olarak radon gazı konsantrasyonunun izlenmesinin teşvik edilmeleri
10. Özellik, veri eksikliği veya yetersizliği olan bölgeler, bölgesel ve ulusal çalışmalar ile sürekli izlenmelidir.
11. Konu ile ilgili bir iletişim ağı oluşturularak, toplumdaki bireylerin farkındalığının artırılması gerekmektedir.

2.7.2. Radon Gazının Sağlığa Etkileri

Radon gazı insan vücuduna solunum yoluyla girdiğinde, radonun kısa ömürlü çökme ürünleri (^{218}Po ve ^{214}Po) tarafından yayılan yoğun iyonlaştırıcı alfa parçacıkları akciğerlerdeki biyolojik dokuyla etkileşime girerek DNA hasarına neden olabilmektedir. Kanserin genellikle en az bir mutasyon oluşumunu gerektirdiği düşünülmektedir ve bir dereceye kadar DNA hasarına maruz kalan ara hücrelerin çoğalması, kanser gelişimi için mevcut hücre havuzunu büyük ölçüde artırabilir. Tek bir alfa parçacığı bile bir hücreye büyük genetik hasara neden olabileceğinden, radonla ilgili DNA hasarının herhangi bir maruz kalma seviyesinde meydana gelmesi mümkündür. Bu nedenle, radonun altında akciğer kanserine neden olma potansiyeline sahip olmayan bir eşik konsantrasyonunun olması olası değildir. (WHO, 2009)

Radon gazı solunum yoluyla alındığında, radyoaktif parçacıklar akciğer ve üst solunum yolu organlarına yerleşebilir. Yerleştiğinde ise iyonlaştırıcı radyasyon yayarak kararlı hale gelene dek bozunmaya devam ederler. Bu durum akciğer kanserine yol açabilir. Son yıllarda hem genel halk hem de yeraltı madencileri üzerinde yapılan kapsamlı radon epidemiyolojik çalışmaları, radon maruziyetinden kaynaklanan akciğer kanseri riskleri belirlenmiştir. Radon, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından 1988 yılında Grup 1 insan kanserojeni olarak sınıflandırılmıştır. WHO ise 2009'da radonu sigaradan sonra küresel olarak akciğer kanserinin ikinci nedeni olarak tanımlamıştır. İç ortam havasındaki solunan tozlarla ya da diğer parçacıklarla taşınan yüksek yoğunluktaki radon gazına uzun süre maruz kalınması akciğer kanserine yakalanma riski açısından tehlikeli oluşturmaktadır. (Al-Zoughool ve Krewski, 2009; Yılmaz vd., 2009; Mc Lauglin, 2012)

Radon kontrol stratejileri, birçok hükümet tarafından radondan kaynaklanan halk sağlığı riskini kontrol etmek ve azaltmak için kullanılmaktadır. Radon gazının neden olduğu akciğer kanseri özellikle yeraltı maden işçileri için yüksek risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, gerekli önlemlerin alınabilmesi için madenlerdeki radon gazı seviyesinin ölçülerek belirlenmesi önem arz etmektedir. (Al-Zoughool ve Krewski, 2009; Yılmaz vd., 2009; Mc Lauglin, 2012)

2.7.3. Dünya’da Madenlerde Radon Gazı ile Yapılan Çalışmalar

Radon gazı ile ilgili olarak dünya üzerindeki madenlerde yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Duggan vd. (1968) İngiltere’deki 12 kömür madeninde radon konsantrasyonları ölçmüşler. Ortalama radon konsantrasyonunun 74 Bq/m^3 ve maksimum radon konsantrasyonunun 518 Bq/m^3 olduğunu belirlemişlerdir. Schery vd. (1984) ise, radon seviyesinin değişimini ocak derinliğine bağlı olarak incelediklerinde, radon konsantrasyonu ile derinlik arasında anlamlı bir ilişki belirleyemediklerini bildirmişlerdir. Ek olarak araştırmacılar toprağın havalandırma oranı, nem, sıcaklık, porozitesi ve diğer fiziksel parametrelerin derinlik parametresinden daha önemli olduğu ileri sürmüşlerdir.

Kobal vd. (1990) Ekim 1985 ile Haziran 1986 tarihleri arasında Yugoslavya’nın Slovenya şehrindeki 6 kömür madeninde, sintilasyon hücresi yöntemiyle tespit etmişler. Radon konsantrasyonunun en düşük 30 Bq/m^3 ve en yüksek 655 Bq/m^3 olduğunu belirlemişlerdir.

Vishnuprasad vd. (2001) Hindistan Godavarikhani Bölgesi’ndeki 7 eğimli kömür madeninde iç ortam havasındaki radon ölçümlerini LR-115 tipi katıhal nükleer iz dedektörleri kullanılarak belirlemişler. Madenlerin 2 tanesinde mevsimsel (Mart 1995 – Şubat 1996), diğer 5 tanesinde ise sadece kış döneminde (Aralık 1995 – Şubat 1996) radon gazı ölçümlerini gerçekleştirmişler. Çalışmanın sonucunda yüksek radon konsantrasyonlarının özellikle madencilik faaliyetlerinin bulunmadığı bölge, hava dönüş galerileri ve aktif çalışma alanlarında belirlediklerini bildirmişler. Çalışmada, mevsimsel ölçümlerin yapıldığı iki kömür madeni için ortalama radon konsantrasyonunun $144 \pm 61 \text{ Bq/m}^3$ ve çalışma seviyesi değeri $20 \pm 11 \text{ mWL}$ olarak tespit etmişler. Diğer 5 maden için ise ortalama radon seviyesinin $315 \pm 71 \text{ Bq/m}^3$ ve WL değeri de $30 \pm 9 \text{ mWL}$ olarak tespit etmişler. Quresh vd. (2000) Pakistan’ın Baluchistan şehrindeki 6 kömür madeninde her bir madenden 6 ölçüm alarak radon konsantrasyonlarını CN-85 katı hal nükleer iz dedektörlerinin kullanıldığı kutu tipi dozimetrelerle belirlemişler. Madenlerdeki radon gazı konsantrasyonunu $121\text{--}408 \text{ Bq/m}^3$ arasında, ortalama radon seviyelerinin ise $143\text{--}261 \text{ Bq/m}^3$ aralığında olduğu belirlemişler. Vishnuprasad vd. (2001) yaptıkları çalışmaya benzer şekilde Quresh vd. (2000) maden işçilerinin maruz kalacakları etkin dozların denge faktörünü $0,5$

olarak hesaplanmış ve yıllık etkin dozun $2,19 \pm 0,5$ mSv ($1,38-4,67$ mSv) olduğunu belirlemişlerdir.

Veiga vd. (2004) Brezilyanın güneyinde bulunan güneyinde, Parana'nın kuzeydoğu bölgesindeki kömür madenlerinde Aralık 1999, Mayıs 2000 ve Nisan 2003 tarihlerinde radon gazı konsantrasyonunu belirlemişler. Her 3 ölçümde de işletmelerdeki atmosferik radon konsantrasyonunu Alpha Guard (Gentron Instruments) taşınabilir radon monitörü kullanılarak belirlenmişlerdir. Çalışma kişilerin maruz kalacakları yıllık dozu ise kişisel radon ölçümleri ve işçilerin kasklarına konumlandırılan iz kazıma dozimetreleri ile ölçmüşler. Ayrıca 1. ve 2. ölçümlerde, çalışma seviyesi değerleri doğrudan WLM-200 plus dedektörü kullanılarak tespit etmişler. Alpha Guard ile yapılan çalışmada iç ortam havasındaki radon seviyelerinin $0,78$ ile $7,2$ kBq/m³ aralığında gözlemlendiği ve kişisel radon konsantrasyonunun ise ortalama 1650 Bq/m³ ($170-6100$ Bq/m³) olduğunu belirlemişlerdir. Kişisel radon ölçümlerinin %92'sinin >500 Bq/m³ olduğu ve %40'ının ise ICRP'nin 1500 Bq/m³'lük üst sınır değerini aştığı bildirilmişlerdir. Kişisel radon ölçümleri ile işçilerin yıllık etkin doz eşdeğeri ortalamasının $10,7$ mSv/yıl olduğunu tespit etmişler. Çalışmanın yapıldığı dönemde aktif olan 33 madenden 8 tanesinin kömür madeni olduğu ve inceledikleri kömür havzasının bir uranyum maden yatağının yanında yer aldığını bildirmişler. Dolayısıyla radon konsantrasyonunun yüksek olduğunu ve işçilerin maruz kaldığı yıllık etkin doz ortalamasının dünya kömür madenlerindeki ortalamadan neredeyse 30 kat daha fazla olduğu belirlemişlerdir.

Ghiassi-Nejad vd. (2002) İran'daki kömür madenlerinde ²²²Rn konsantrasyon seviyelerini iki farklı yöntem (aktif karbon ve sintilasyon hücresi tekniği) kullanılarak belirlemişler. Sonuç olarak, üç kömür madeninde radon gazı konsantrasyonunun <200 Bq/m³ olduğunu ve en yüksek radon gazı konsantrasyonunun ise Pabdana kömür madeninde 520 ± 68 Bq/m³ seviyesinde olduğunu belirlemişlerdir.

Liu vd. (2007) Çin'deki 84 kömür madeninde radon gazı konsantrasyonunun değerlendirmişler. Kömür madenlerini dört gruba ayırmışlar:

- Birinci gruptaki kömür madenlerinin, merkezi hükümet tarafından doğrudan kontrol edilen yüksek yıllık üretim ve iyi havalandırma koşullarına sahip ulusal

kilit kömür madenlerinin (30 maden) radon gazı konsantrasyonunun 18–202 Bq/m³ aralığında ve ortalama değerin ise 77 Bq/m³ olduğunu

- İkincisi gruptakilerin doğrudan yerel yönetimler tarafından kontrol edilen, nispeten yüksek yıllık üretime ve nispeten iyi havalandırma koşullarına sahip devlete ait yerel kömür madenlerinin (27 maden) radon gazı konsantrasyonunun 22–1963 Bq/m³ aralığında ve ortalama değerinin ise 189 Bq/m³ olduğunu
- Üçüncü gruptakilerin ise yıllık kömür madeni üretimi düşük ve havalandırması yetersiz olan ilçe ve özel mülkiyetli kömür madenlerinin ise (19 maden) radon gazı konsantrasyonunun 14–3115 Bq/m³ aralığında ve ortalama değerinin ise 536 Bq/m³ olduğunu
- Dördüncü gruptaki kemik kömürü (bone-coal) işletmelerinin ise (8 maden) radon gazı konsantrasyonunun 136–23976 Bq/m³ aralığında ve ortalama değerinin ise 5997 Bq/m³ olduğunu tespit etmişler.

Anjos vd. (2010) Güney Amerika'nın en eski altın madencini olan ve günümüzde turistik ziyarete açık olan La Carolina madeninde Kasım 2008 - Şubat 2009 tarihleri arasında radon gazı konsantrasyonunun CR-39 iz aşındırma dedektörleri ve doğal CaF₂ ve LiF TLD-100'ün termoluminesan dozimetreleri belirlemişler. Ölçümleri maden tünelleri boyunca 14 noktada ve yaz sezonu boyunca değerlendirmişler. Her noktada radon seviyelerinin 1,8±0,1 ile 6,0±0,5 kBq/m³ arasında değiştiğini ve ortalama radon konsantrasyonunun ise 4,8 kBq/m³ olduğunu bildirmişler. Sonuçların değerlendirmesinde ise, ölçüm değerlerinin ICRP tarafından belirlenen maksimum değerin yaklaşık üç katı olduğunu tespit etmişler. Maden turist rehberlerine efektif doz dikkate alındığında, maden içerisindeki çalışma saatlerinin sayısına bağlı olarak efektif dozların 20 mSv'yi aşan değerlere ulaşılabilirdiğini bildirmişlerdir.

Calin ve Calin (2010) Romanya'daki Ocna Dej tuz madeninde radon gazı konsantrasyonunu radon monitör Pylon AB-5 ve CIS-P5M sistemi kullanarak belirlemişler. Ortalama radon konsantrasyonunun 9,14 ± 5,10 ve 31,70 ± 2,76 Bq/m³ arasında değiştiğini tespit etmişler bulundu.

Bekteshi vd. (2017) Kuzey Kosova'da bulunan Stan Terg'deki çalışma alanı Trepça madeninde sürekli radon monitörü CRM-510 ve taşınabilir radon monitörü PRM-145

kullanılarak ^{222}Rn konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirmişler. CRM-510 cihazı ile "pasif modda" 96 saat süreyle saatlik test verilerini ve ayrıca çevre sıcaklığı, bağıl hava nemi ve atmosfer basıncı gibi diğer ikincil parametreleri okuyabilen, kaydedebilen ve yazdırabilen tamamen taşınabilir, sürekli bir radon monitörüdür. Sonuçta, madendeki radon gazı konsantrasyonunun 54 ile 691 Bq/m³ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Radon ve radon bozunma ürünleri madencilerin radyasyona maruz kalma dozları belirlediklerinde, toplam yıllık etkili dozun 0,4 ile 5 mSv/y arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Etkili dozun, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu tarafından önerilen doz sınırlarından düşük olduğu bulunmuştur.

Shahrokhi vd. (2017) Macaristan'daki Bakony Dağları'nın güney kesiminde, Úrkút köyü yakınlarındaki tek aktif derin manganez cevheri madenindeki radon gazı konsantrasyonu değerlendirmişler. Sonuç olarak; Ocak 2013'te başlayıp ve Aralık 2014'te sonlanan ölçümlerde yıllık ortalamaların NRPB için sırasıyla 824 ± 42 Bq/m³ ve 874 ± 45 Bq/m³ ve Raduet için 649 ± 32 Bq/m³ ve 629 ± 30 Bq/m³ olduğunu belirlemişler. Ardışık iki yıllık örneklemede iki dedektör tipi arasındaki farkın yaklaşık %25 olduğunu NRPB daha yüksek değerler gösterdiğini belirlemişler. Yeni Avrupa Temel Güvenlik Standardında (EU-BSS), işyerlerindeki iç mekan radon konsantrasyonu için yeni bir referans seviyesi olan 300 Bq/m³ yüksek olmamasını tavsiye etmektedir. Sonuçlar olarak sahadaki ölçümler dikkate alındığında referans değerinin yaklaşık üç katı olduğunu tespit etmişlerdir.

Kleinschmidt vd. (2018) Kuzey Queensland, Avustralya'daki tarihi bir metalik yeraltı madeninde pasif izleme sonuçları, 70-90 günlük periyotlar boyunca ortalama radon ve thoron hava konsantrasyonlarını ölçmüşler. Radon için pasif monitör konsantrasyonları 60 ile 390 Bq/m³ (ortalama: 140 ± 55 Bq/m³), thoron için pasif monitör konsantrasyonları 140 ve 2600 Bq/m³ (ortalama: 1070 ± 510 Bq/m³) arasında değiştiğini bildirmişler

2.7.4. Türkiye'de Madenlerde Radon Gazı ile Yapılan Çalışmalar

Türkiye'de yeraltı madenlerindeki radon konsantrasyonu belirlemeye yönelik ilk çalışma Ege Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Küçüktaş (1996) tarafından Ege Bölgesi'nde, Ekim 1994 ile Ekim 1995 tarihleri arasında, bor, krom ve kömür (linyit) madenlerinde gerçekleştirilmiştir. Radon gazı konsantrasyonunun Lucas hücresi ve CR-39

nükleer iz dedektörleri kullanılarak belirlenmişler. Madenlerdeki radon konsantrasyonlarının, bor madenleri için 29–197 Bq/m³, krom madenleri için 10–35 Bq/m³ ve linyit madenleri için 26–166 Bq/m³ arasında değiştiği bulunmuştur. Ölçümlerin yapıldığı dönemlerde, ocakların yeterli hava değişimini sağlayacak havalandırma sistemlerine sahip oldukları bildirilmiştir. (Yener ve Küçüktaş 1998).

Türkiye’deki kömür madenlerinde yapılan araştırmalar ile ilgili bilgiler Tablo 2’de verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’deki kömür madenlerindeki radon konsantrasyonu ortalamalarının TAEK’in iş yerleri için belirlediği 1000 Bq/m³’lük limiti aşmadığı belirlenmiştir. Ek olarak radon düzeylerinin dünya ölçeğinde kömür madenleri için verilen ortalamalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye’deki kömür madenlerinde yapılmış radon ölçümleri (Kürkçüoğlu, M. E., Akgönül, H., Yılmaz, A. (2019))

Maden	Metot	D.S.	Ö.S.	Min	CRn (Bq/m ³) Maks	Ort.	YEDE (mSv/yıl)	WLM (WLM/ yıl)	Kaynak
Zonguldak (Kozlu)	CR-39	34	42	359	1470	656	4,72	0,83	Fişne, (2002);
Zonguldak (Karadon)		34	39	253	1213	705	5,08	0,90	Fişne vd., (2004);
Zonguldak (Üzülmöz)		16	39	428	1098	672	4,84	0,85	Fişne vd., (2005)
Zonguldak (Amasra)	CR-39	14	40	49	223	117,4	3,4µSv/gün 0,85	0,15	Baldık vd., (2006); Baldık ve Aytekin, (2017)
Zonguldak (Armutçuk)	CR-39	20×2	60	B:63 Y:37	B: 706 Y:426	B:238 Y:161 199,5	B:4,6µSv/g ün Y:6,9µSv/g ün 1,44	0,25	Baldık vd., (2009); Baldık ve Aytekin, (2017)

(D:S: Dedektör sayısını (adet), Ö.S: Ölçüm süresini (aksi belirtilmediği durumlar için gün olarak), Y: Yaz, B: Bahar mevsimini, ×2 ve ×3 ise ölçümlerin 2 ve 3 mevsim için tekrarlandığını göstermektedir)

Tablo 2. (devamı). Türkiye’deki kömür madenlerinde yapılmış radon ölçümleri Kürkcüoğlu, M. E., Akgönül, H., Yılmaz, A. (2019)

Maden	Metot	D.S.	Ö.S.	Min	CRn (Bq/m ³) Maks	Ort.	YEDE (mSv/yıl)	WLM (WLM/yıl)	Kaynak
Zonguldak (Armutçuk)	CR-39	24×3	42	21	178	91	0,57	0,12	Akgönül, (2019)
Zonguldak (Kozlu)		44×3	42	16	421	81	0,39	0,10	
Zonguldak (Üzülmez)		16×3	42	26	465	114	0,72	0,14	
Zonguldak (Karadon)		38×3	42	25	478	101	0,64	0,13	
Zonguldak (Amasra)		10×3	42	10	502	125	0,79	0,16	
Zonguldak (Üzülmez)	Sıvı sintilasyon	10	4	< 15	19	< 19			Emirhan ve Özben, (2009)
Zonguldak (Kozlu)		3	4	37	78	53			
Zonguldak (Karadon)		1	4	22	22	22			
Ege Bölgesi (Maden 1)	Lucas hitçesi ve CR-39		1 yıl	51	96			0,21-0,67	Yener ve Küçüktaş, (1998)
Ege Bölgesi (Maden 2)			1 yıl	42	185			0,13-0,86	
Ege Bölgesi (Maden 3)			1 yıl	33	74			0,22-0,55	
Ege Bölgesi (Maden 4)			1 yıl	31	156			0,20-0,95	
Ege Bölgesi (Maden 5)			1 yıl	74	96			0,49-0,62	
Kütahya (Tunçbilek)	CR-39	50	~60	50	272	172	1,23	0,25	Çile vd., (2009)
Kütahya (Ömerler)		50	~60	109	587	340	2,44	0,49	
Kütahya (Eynez)		50	~60	75	442	205	1,47	0,29	
Çorum (Maden 1)	CR-39	28	42-60	~100	948	325	2,30		Uzbe vd., (2013)
Çorum (Maden 2)		29	42-60	~90	505	216	1,60		
Çorum (Maden 3)		33	42-60	~60	549	286	2,00		
Manisa (Soma)	LR-115	10ay	32,5	321,2					Bölükbaş, (2015)

(D:S: Dedektör sayısını (adet), Ö.S: Ölçüm süresini (aksi belirtilmediği durumlar için gün olarak), Y: Yaz, B: Bahar mevsimini, ×2 ve ×3 ise ölçümlerin 2 ve 3 mevsim için tekrarlandığını göstermektedir)

Çile (2004); Soma (Manisa) ve Tavşanlı (Kütahya)’da bulunan yeraltı linyit madenlerinde CR–39 nükleer iz dedektörü ile 51 gün süre ile radon gazı ölçümü gerçekleştirmiş. Sonuç olarak 50–587 Bq/m³ arasında radon gazının konsantrasyonunu değiştirdiğini belirlemişler. Analiz gerçekleştirdikleri maden ocaklarında konsantrasyonunu maksimum değerler arasında yer aldığı ve radon ve bozunma ürünlerinin oluşturacağı sağlık riskleri açısından güvenli olduğunu belirtmiştir. Çile, Altınsoy ve Çelebi (2009) Kütahya linyit madenleri olan Tunçbilek, Ömerler ve Eynez işletmelerinde atmosferik radon seviye

ölçümlerini CR-39 izleme dedektörleri kullanılarak gerçekleştirmişler. Dedektör izlerinin kimyasal olarak aşındırılması ve ardından sayım işlemlerini Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde yaptırmışlar. Sonuçları işyerleri için radon eylem seviyeleri sırasıyla 500–1500 ve 1000 Bq/m³ olan ICRP ve TAEK'e göre değerlendirmişler. Linyit madenlerinde radon gazı konsantrasyonlarının 50 ± 7 ile 587 ± 16 Bq/m³ arasında değiştiğini bildirmişler. Tunçbilek, Ömerler ve Eynez linyit madenlerinin maden işçileri için hesaplanan radon dozlarının sırasıyla 1,23, 2,44 ve 1,47 mSv/y olduğunu belirlemişler. Elde edilen verilerin standartların çok altında olduğunu belirtmişlerdir.

Yılmaz vd. (2009) Batı Karadeniz Bölgesi'nde Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı Armutçuk, Amasra, Karadon, Kozlu ve Üzülmöz yeraltı madenlerinde CR-39 pasif nükleer iz dedektörleri kullanılarak radon konsantrasyonlarını belirlemişler. Radon gazı dedektörlerini işletmelerin hava dönüş galerilerindeki 66 noktaya yerleştirmişler. Her bir ölçüm istasyonundaki dedektör çiftlerini biri hava akımına dik (D), diğeri paralel (Y) olacak şekilde 2008 yılı boyunca yaz, kış, bahar ve sonbahar dönemlerinde olacak şekilde 40 gün süreyle radon gazına maruz bırakılmışlar. Armutçuk işletmelerinde kış döneminde 104,8 Bq/m³ (Y) ve 109,0 Bq/m³ (D), bahar döneminde 69,0 Bq/m³ (Y) ve 287,0 Bq/m³ (D), yaz döneminde 208,7 Bq/m³ (Y) ve 14,3 Bq/m³ (D) ve son olarak güz döneminde 6,3 Bq/m³ (Y) ve 7,5 Bq/m³ (D) olduğunu belirlemişler. Amasra işletmesinde ise kış döneminde 138,0 Bq/m³ (Y) ve 133,2 Bq/m³ (D), bahar döneminde 76,3 Bq/m³ (Y) ve 84,9 Bq/m³ (D), yaz döneminde 51,7 Bq/m³ (Y) ve 57,5 Bq/m³ (D) ve son olarak güz döneminde 24,9 Bq/m³ (Y) ve 55,4 Bq/m³ (D) olduğunu belirlemişler. Karadon işletmesinde kış döneminde 110,3 Bq/m³ (Y) ve 147,8 Bq/m³ (D), bahar döneminde 79,6 Bq/m³ (Y) ve 134,6 Bq/m³ (D), yaz döneminde 57,9 Bq/m³ (Y) ve 66,4 Bq/m³ (D) ve son olarak güz döneminde 61,1 Bq/m³ (Y) ve 26,0 Bq/m³ (D) olduğunu belirlemişler. Kozlu işletmesinde kış döneminde 109,1 Bq/m³ (Y) ve 85,4 Bq/m³ (D), bahar döneminde 71,9 Bq/m³ (Y) ve 57,2 Bq/m³ (D), yaz döneminde 34,8 Bq/m³ (Y) ve 120,6 Bq/m³ (D) ve son olarak güz döneminde 28,0 Bq/m³ (Y) ve 40,1 Bq/m³ (D) olduğunu belirlemişler. Üzülmöz işletmesinde kış döneminde 203,6 Bq/m³ (Y) ve 119,0 Bq/m³ (D), bahar döneminde 51,4 Bq/m³ (Y) ve 190,6 Bq/m³ (D), yaz döneminde 51,6 Bq/m³ (Y) ve 71,3 Bq/m³ (D) ve son olarak güz döneminde 49,3 Bq/m³ (Y) ve 15,2 Bq/m³ (D) olduğunu belirlemişler. Değerlerinin ICRP ve TAEK'e göre verilen maksimum değerlerin altında olduğunu bildirmişler. CR-39 dedektörlerinin hava akımına dik ya da paralel şekilde konumlanışının radon konsantrasyonu üzerine etkisi

değerlendirdiklerinde; genelde hava akımına dik konumda yerleştirilen detektörlerin yatay konumdakilerden biraz daha fazla radon gazı yoğunluğu kayıt ettikleri belirtmişler. Ek olarak radon gazı konsantrasyonun özellikle güz döneminde hem yatay hem de dikey havalandırmada en düşük konsantrasyonlarda olduğunu tespit etmişlerdir. Radon gazı konsantrasyonun ölçülmesinde detektör konumunun etkili olduğu ve %15 gibi bir farklılık meydana getirdiği bildirmişler.

Haner vd. (2010) Karabük ili Safranbolu ilçesindeki Türkiye'nin en büyük 4. mağarası olan Mencilis (Bulak) mağarasının turizme açık olan 350 metrelik gezi yolu üzerine pasif nükleer iz dedektörleri yerleştirilerek mağaranın radon konsantrasyonları 2008 yılı Kasım ayı ile Ocak 2009 arasında 70 gün süre belirlenmişler. Sonuç olarak Mencilis mağarasının radon gazı konsantrasyonun 19 ile 649 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 205 Bq/m³ olduğu tespit etmişler.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Radon Gazı Ölçüm Cihazı

Airtings Corentium Plus radon gazı dedektörü (Şekil 3) ile maden ocaklarındaki radon gazı konsantrasyonu belirlenmiştir.



Şekil 3. Airtings Corentium Plus radon gazı dedektörü

3.2. Kapalı Madenlerdeki Radon Gazı Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Öncelikle Marmara bölgesinde yer alan madenlerle iletişime geçilerek izin alınması araştırmanın en önemli kısmını oluşturmuştur. Marmara bölgesinde araştırma yapılmasına izin veren iki kapalı madende radon gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kayıt yapma özelliğine sahip Airthings Corentium Plus radon gazı dedektörü kapalı maden içerisinde hava akımın az olduğu ve solunabilir hava yüksekliğinde (1,5 m) maden içerisinde bir noktaya sabitlenmiştir. Cihazın nem ve tozdan etkilenmesi için, her yeri delikli olan bir kutu içerisinde yerleştirilmiştir. (Şekil 4).



Şekil 4. Radon gazı dedektörünün madenlerde ölçüm muhafaza, koruma ve ölçüm yeri

Marmara Bölgesinde yer alan 1. madende örnekleme işlemi 18 Eylül 2021 tarihinde başlanmış ve 18 Ekim 2021 tarihinde sonlandırılmıştır. 2. madende ise madende örnekleme işlemi 29 Ekim 2021 tarihinde başlanmış ve 29 Kasım 2021 tarihinde sonlandırılmıştır. Her iki madende örnekleme son gününde toprak örneği alınmıştır.

Birinci madenin özellikleri; Metalik bir maden olup doğal ve yapay havalandırma mevcut olup 400-500 m derinliğe sahip olup ortalama 3 günde bir patlatma ile cevher ve galeri kazanımı yapmaktadır.

İkinci maden özellikleri ; Tortul bir maden olup yapay havalandırma mevcut olup 500-600 m derinliğe sahiptir. Galeri ve muteber maden eski usul pinomatik sistemlerle kazınım yapılmaktadır.

Sonuç olarak Marmara Bölgesi'nde bulunan iki adet kapalı madendeki radon gazı konsantrasyonu belirlenerek, iş sağlığı ve güvenliği açısından standart değerler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

3.3. Kapalı Madenlerden Alınan Toprakların Mineralojik Yapısı

Toprak örneklerinin mineralojik yapısı ile ilgili analizler Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ÇOBİLTUM - Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

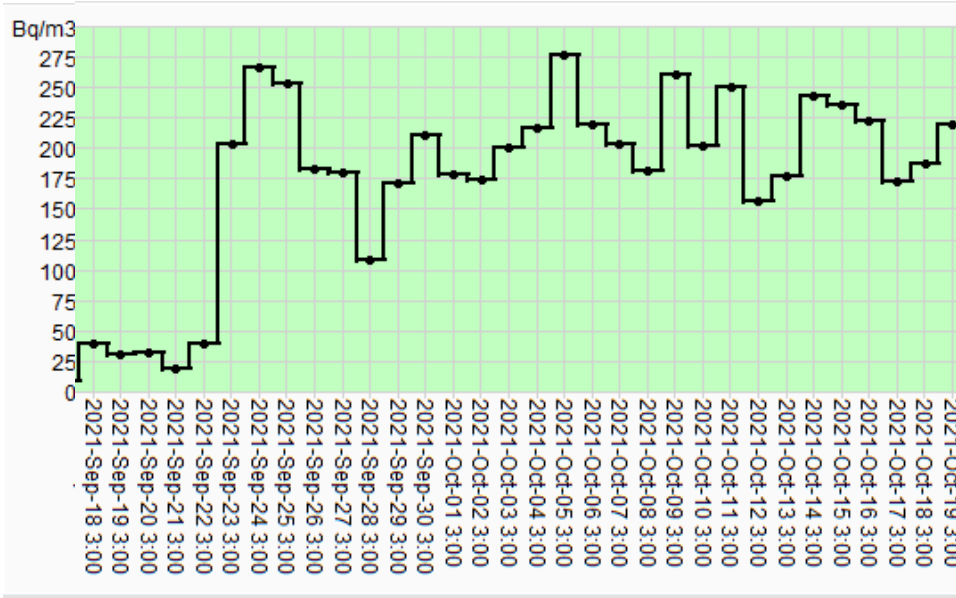
Ölçümler Spectro xSORT XH003 taşınabilir XRF cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm sırasında "Environmental Method" kullanılmıştır. Ölçüm, numunenin 3 ayrı noktasından yapılmış olup sonuçlar normalize edilmiştir (%100'e tamamlanmıştır).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

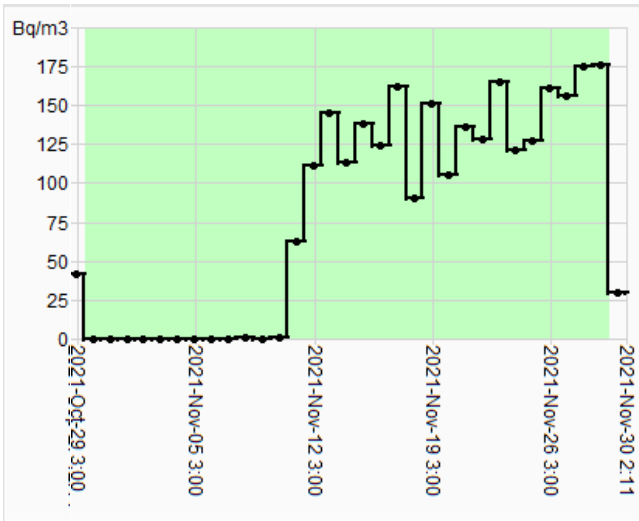
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kapalı Madenlerdeki Radon Gazı Konsantrasyonu

Marmara Bölgesi'nde bulunan iki kapalı madende radon gazı konsantrasyonu bir ay süreyle belirlenmiştir. Madenlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonları Bq/m³ cinsinden Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

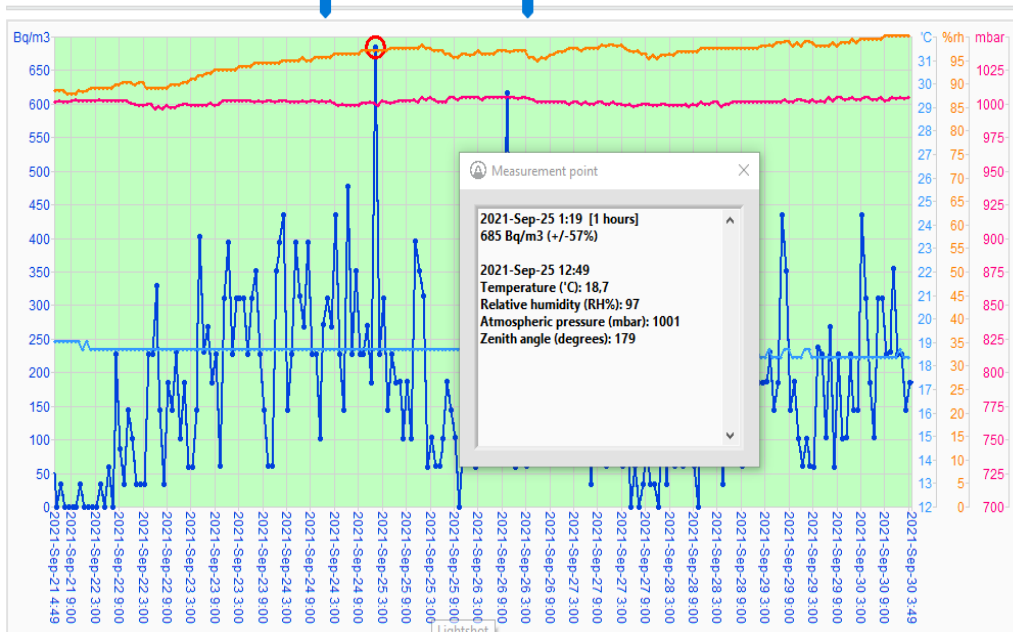


Şekil 5. Birinci madendeki günlük ortalama radon gazı konsantrasyonu

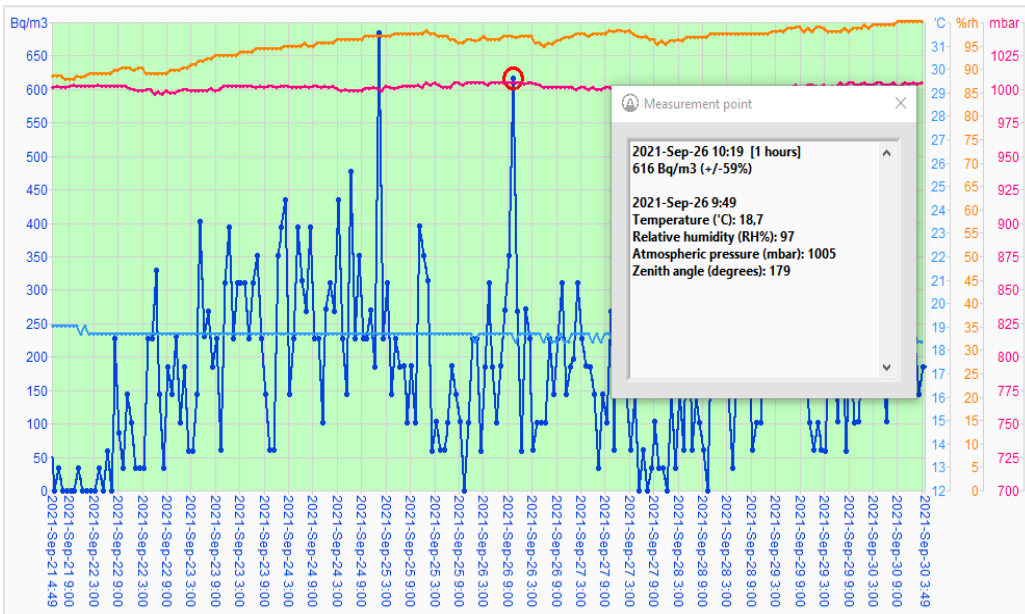


Şekil 6. İkinci madendeki günlük ortalama radon gazı konsantrasyonu

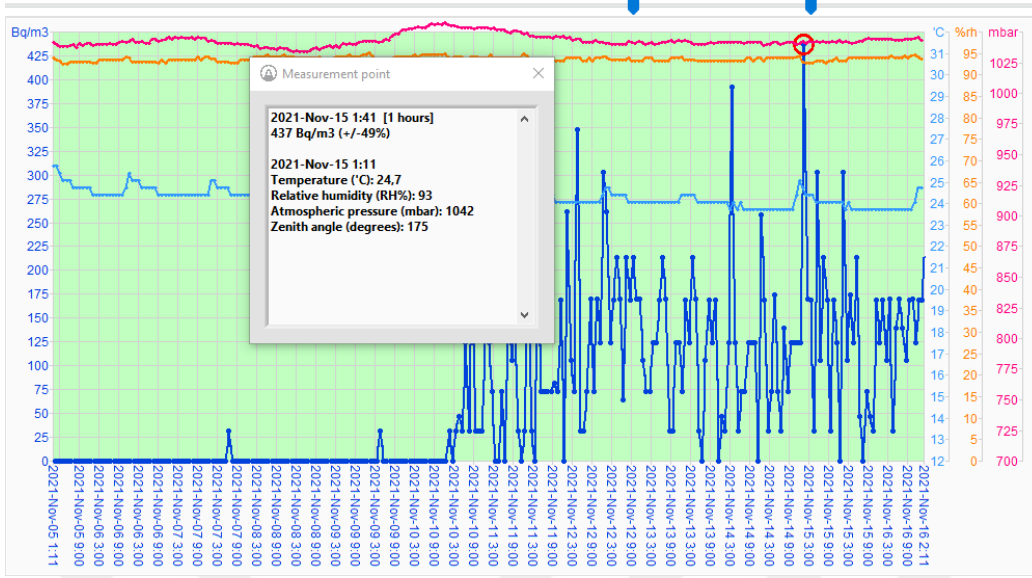
Marmara Bölgesi'ndeki birinci ve ikinci madende gerçekleşen radon gazı ölçümü sonucunda bir aylık ortalama radon gazı konsantrasyonunun sırasıyla 176 Bq/m³ ve 83 176 Bq/m³ olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte birinci kapalı madende bir aylık süreçte iki kere 600 Bq/m³ (685 ve 619 Bq/m³) üzerinde radon gazı ölçümü gerçekleşmiştir. Bu ölçümlere ait veriler Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. İkinci kapalı madende ise en yüksek 437 Bq/m³ radon gazı tespit edilmiş olup, bu ölçüme ait veriler Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Radon gazı konsantrasyonunu 685 Bq/m³ olduğu andaki veriler



Şekil 8. Radon gazı konsantrasyonunu 616 Bq/m³ olduğu andaki veriler



Şekil 9. Radon gazı konsantrasyonunu 473 Bq/m³ olduğu andaki veriler

Sonuç olarak Marmara Bölgesi'nde aktif olarak faaliyet gösteren iki kapalı madendeki solunabilen ²²²Rn gazı konsantrasyonun ICRP 65 nolu raporu (500-1500 Bq/m³) ve TAEK (1000 Bq/m³) tarafından belirtilen etkin seviyelerin altında olduğu belirlenmiştir.

Küçüktaş (1996); Yener ve Küçüktaş, (1998); Fişne,(2002); Çile (2004); Fişne vd., (2004, 2005); Baldık vd., (2006, 2009); Çile vd., (2009); Emirhan ve Özben, (2009); Yılmaz vd. (2009); Haner vd. (2010); Uzbey vd., (2013); Bölükbaş (2015); Baldık ve Aytakin, (2017) ve Akgönül, (2019) Türkiye'deki madenlerde radon gazı konsantrasyonu ile ilgili olarak yaptıkları çalışmalarında kapalı madenlerde radon gazı konsantrasyonunun çalışan sağlığı açısından etkin değerin altında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanız neticesinde de Marmara Bölgesi'ndeki iki kapalı madenin radon gazı konsantrasyonun TAEK'in belirttiği maksimum seviyenin olduğu tespit edilmiş olup, çalışan sağlığı açısından etkin değerin altında olduğu belirlenmiştir.

4.2. Kapalı Madenlerden Alınan Toprakların Mineralojik Yapısı

Marmara Bölgesi'nde bulunan iki kapalı madenden alınan toprakların mineralojik yapısı ise XRF cihazı ile belirlenmiştir. Toprakların mineralojik yapısı ile bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Toprak örneklerinin minerolojik yapısı

	Birinci Kapalı Maden			İkinci Kapalı Maden			
	%	SD	RSD	%	SD	RSD	
MgO	<1,32	--	--	MgO	<0,94	--	--
Al ₂ O ₃	21.278	7.59	53	Al ₂ O ₃	16.526	2.08	62.4
SiO ₂	65.916	35.33	79.7	SiO ₂	34.342	6.25	90.3
P ₂ O ₅	<0,030	--	--	P ₂ O ₅	0.094	0.019	100
SO ₃	0.268	0.18	100	SO ₃	29.280	4.73	80.1
Cl	<0,17	--	--	Cl	<0,003	--	--
K ₂ O	3.004	0.91	45.07	K ₂ O	1.042	0.022	10.3
CaO	2.483	4.39	262	CaO	2.184	0.42	95.3
TiO ₂	0.773	0.39	75	TiO ₂	0.744	0.067	44.59
V ₂ O ₅	0.039	0.022	83.5	V ₂ O ₅	0.040	0.008	100
Cr ₂ O ₃	0.009	0.006	100	Cr ₂ O ₃	<0,001	--	--
MnO	0.009	0.006	100	MnO	0.030	0.006	100
Fe ₂ O ₃	6.096	3.99	97.4	Fe ₂ O ₃	15.484	3.04	97.4
CoO	<0,007	--	--	CoO	<0,003	--	--
NiO	0.012	0.003	40.11	NiO	0.030	0.006	100
CuO	0.013	0.008	89.6	CuO	0.020	0.004	100
ZnO	0.004	0.003	85.6	ZnO	<0,0006	--	--
As ₂ O ₃	0.022	0.015	100	As ₂ O ₃	0.010	0.002	100
Se	<0,0005	--	--	Se	<0,0005	--	--
Br	<0,0005	--	--	Br	<0,0005	--	--
Rb ₂ O	0.013	0.008	88.1	Rb ₂ O	0.015	0.002	71.6
SrO	0.006	0.004	100	SrO	0.084	0.006	33.93
Y	0.001	0.001	100	Y	0.010	0.002	100
ZrO ₂	0.016	0.007	64.1	ZrO ₂	0.020	0.004	100
Nb ₂ O ₅	0.001	0.001	100	Nb ₂ O ₅	0.015	0.003	100
MoO ₂	<0,0007	--	--	MoO ₂	0.015	0.003	100
Ag	<0,002	--	--	Ag	0.010	0.002	100
CdO	<0,002	--	--	CdO	<0,002	--	--
In	<0,002	--	--	In	<0,0010	--	--
SnO ₂	<0,003	--	--	SnO ₂	<0,002	--	--
Sb ₂ O ₃	0.007	0.002	43.06	Sb ₂ O ₃	<0,002	--	--
Te	<0,0005	--	--	Te	<0,001	--	--
I	<0,004	--	--	I	<0,004	--	--
Cs	<0,006	--	--	Cs	<0,006	--	--
BaO	0.027	0.018	100	BaO	<0,009	--	--
La	<0,014	--	--	La	<0,006	--	--
CeO ₂	<0,021	--	--	CeO ₂	<0,007	--	--
Pr	<0,032	--	--	Pr	<0,012	--	--
Nd	<0,032	--	--	Nd	<0,014	--	--
WO ₃	<0,001	--	--	WO ₃	<0,0007	--	--
Hg	<0,0005	--	--	Hg	<0,0005	--	--
Tl	<0,0005	--	--	Tl	<0,0005	--	--
PbO	<0,0008	--	--	PbO	0.001	0.001	100
Bi	<0,0005	--	--	Bi	<0,0005	--	--
Th	<0,0006	--	--	Th	<0,0005	--	--
U	<0,0007	--	--	Au	<0,0005	--	--
Ta ₂ O ₅	<0,003	--	--				

Minerolojik yapıya baktığımızda toprak örneklerinde oldukça düşük oranlarda birinci kapalı madende U ve Th olup, ikinci kapalı madende ise sadece Th tespit edilmiştir. Dolayısıyla elde ettiğimiz sonuçları değerlendirdiğimizde birinci kapalı madende ikinci

kapalı madene göre daha yüksek radon gazı konsantrasyonu bulmamız mineralojik yapı ile desteklenmiştir. Sonuç olarak maden bulunduğu alandaki toprak yapısı radon gazı konsantrasyonu etkileyebilmektedir.



BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Coğrafik ve jeolojik koşullar açısından çalışma alanını Marmara Bölgesi'nde bulunan iki adet kapalı maden oluşturmaktadır. Kapalı madenlerde bir aylık süredeki radon gazı seviyeleri tespit edilmiş olup, birinci kapalı madendeki radon gazı konsantrasyonu 176 Bq/m³ ve ikinci kapalı madendeki radon gazı konsantrasyonu 83 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda iki kapalı madende de yapay sarsıntılarının konsantrasyonu etkilediği görülmektedir. İkinci madenin verilerine bakıldığında ilk 10 günlük süre içinde ölçüm değeri ortalaması 0-5 Bq/m³ olarak gözlenmiş ve iş akışının başlaması ile konsantrasyonun artışı görülmüştür. Bu da bize konsantrasyonun limite yakın olduğu yerlerde yapay sarsıntılarla yoğunluğunun artacağına kanıttır. Bu yüzden daha dikkatli ölçümler yapılmalıdır. Bununla birlikte madenlerden alınan toprak türlerinin mineralojik yapısı incelendiğinde ise U ve Th içerdikleri belirlenmiştir. Bu çalışma ile Türkiye'de Marmara Bölgesi'nde bulunan kapalı madenlerdeki radon gazı konsantrasyonu daha önce gerçekleştirilen çalışmalar ve uluslararası ile ulus standartla kıyaslandığında elde edilen sonuçlar uyumludur.

Sonuç olarak;

- Marmara Bölgesi'ndeki iki kapalı madene radon gazı konsantrasyonları ölçülmüştür.
- Sonuçlardan da görüldüğü gibi en yüksek radon seviyesi 685 Bq/m³ olup, birinci kapalı madende belirlenmiştir.
- Birinci kapalı madende radon gazı seviyelerinin ikinci kapalı madene göre yüksek çıkmasında toprağın mineralojik olarak uranyum ve toryum içermesinden kaynaklanabilir.
- Bu çalışmada elde edilen veriler literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılabilir düzeydedir.
- Bu çalışmada elde edilen veriler ICRP, TAEK gibi kurumların kurumların çalışan açısından önerdiği limitlerin altındadır.

- Marmara Bölgesi'ndeki kapalı madenlerde radon gazı seviyelerini belirlemek için yapılan ilk çalışma olması sebebiyle de önem arz etmektedir.
- Gittiğimiz kapalı maden firmaların radon gazının varlığından haberdar olmamaları ve bu tip çalışmalarla farkındalığın yaratılması gerektiği fark edilmiştir.
- Sonuç olarak yaptığımız ölçümlerde TAEK'in verdiği ortalama limitinin aşğısında olması ve firmaların ölçüm yapıldığı yerlerde insan aktivitesine kapalı olduğunu ve sadece izin ile girilebileceği bölgeler olduğu için kayda değer bir iş sağlığı ve güvenliği riski yaratmamaktadır.



KAYNAKÇA

- Akgönül, H. (2019). “Türkiye Batı Karadeniz Bölgesi Karbonifer Penceresi Taşkömürü Ocaklarında Yıllık Atmosferik Radon Konsantrasyonu Ölçümleri”. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Alsharif, S., Alanazi, M., Alharthi, F., Qandil, D. ve Qushawy, M. (2020). “Review about radiopharmaceuticals: preparation, radioactivity, and applications”. *Int J App Pharm*, 12(3), 8–15.
- Al-Zoughool, M. Ve Krewski, D. (2009). “Health effects of radon: a review of the literature”. *International journal of radiation biology*, 85(1), 57–69. <https://doi.org/10.1080/09553000802635054>
- Anjos, R. M., Umisedo, N., Da Silva, A. A. R., Estellita, L., Rizzotto, M., Yoshimura, E. M., ve Santos, A. M. A. (2010). “Occupational exposure to radon and natural gamma radiation in the La Carolina, a former gold mine in San Luis Province, Argentina”. *Journal of environmental radioactivity*, 101(2), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.09.010>
- Anonim a, (2022). 3. Radyoaktif Bozunma Yoluyla Radyasyon Üretimi. Erişim: 15 Ocak 2022 <https://acikders.ankara.edu.tr/resource/view>
- Anonim b, (2022). Erişim: 18 Ocak 2022 <https://evrimagaci.org/yari-omur-nedir-radyoaktif-maddeler-nasil-yarilanir-2452>
- Anonim c, (2022). Erişim: 18 Ocak 2022 <https://docplayer.biz.tr/17004181-Radon-gazi-u-238-in-bozunma-semasi-celebi-2008.html>
- Aytekin, H. ve Baldık, R. (2009). “An Investigation on the Radiological Influence of an Underground Coal Mine in Zonguldak Basin, Turkey”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(4): 468–473.
- Baldık, R. ve Aytekin, H. (2017). “Zonguldak Taş Kömürü Havzasında Yapılmış Radon Gazı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi”. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1): 1–7. <https://doi.org/10.33720/kisgd.313911>
- Baldık, R., Aytekin, H. ve Çelebi, N. (2009). “Radon Fluctuations in the Armutçuk Coal Mine, Turkey”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(1), 87–91.

- Baldık, R., Aytekin, H., Çelebi, N., Ataksor, B. ve Taşdelen, M. (2006). “Radon Concentration Measurements in the Amasra Coal Mine, Turkey.” *Radiation Protection Dosimetry*, 118(1), 122–125. <https://doi.org/10.1093/rpd/nci374>
- Baş, S. Y. ve Selçuk, S. A. (2019). “Binalarda Radon Gazı Etkisinin Azaltılmasına Yönelik Alınabilecek Önlemler Üzerine Bir Değerlendirme”. *SETSCI Conference Proceedings*, 4 (3): 207-212.
- Bekteshi, S., Kabashi, S., Ahmetaj, S., Xhafa, B., Hodolli, G., Kadiri, S., Alijaj, F. ve Abdullahu, B. (2017). “Radon Concentrations And Exposure Levels İn The Trepça Underground Mine: A Comparative Study”. *Journal Of Cleaner Production*, 155, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.131>
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., ve Osmanlioglu, A. E. (2007). “Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey”. *Radiation Measurements*, 42(8), 1387–1391. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2007.05.052>
- Bölükbaş, M. (2015). “Manisa Soma Bölgesi Maden Ocakları ve Çevre Binalarında Radon Konsantrasyonunun İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Calin, M. ve Calin, M. (2010). “Evaluation of the radon concentration in Ocna Dej salt mine, Romania”. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 286(1), 169–173. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0648-8>
- CNSC, (2022). Canadian Nuclear Safety Commission. Erişim adresi: <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/radiation/introduction-to-radiation/types-and-sources-of-radiation.cfm> Erişim tarihi:15/01/2022.
- Çile, S. (2004). “Soma Ve Tavşanlı Yeraltı Linyit Maden Ocaklarında Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi”. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Çile, S., Altınsoy, N. ve Çelebi, N. (2009). “Radon Concentrations in Three Underground Lignite Mines in Turkey”. *Radiation Protection Dosimetry*, 138(1) 78–82. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp179>

- Çimen, B., Erdoğan, M. ve Oğul, R. (2017). “İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yöntemleri”. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 43(2), 139–147. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/357276>
- Çolak, M., Aygürler, C. ve Çetin, T. (2018). “Madencilik Sektöründe İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Risk Analizi”. PressAcademia Procedia, 7(1), 285-289. DOI: 10.17261/Pressacademia.2018.899
- Daşdağ, S. (2010). “İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Kanser”. Dicle Tıp Dergisi, 37(2), 177–185. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/54114>
- Duggan, M.J., Howell, D.M. ve Soilleux, P.J. (1968). “Concentration of Radon-222 in Coal Mines in England and Scotland”. Nature, 219, 1149.
- El Zrelli, R., Rabaoui, L., van Beek, P., Castet, S., Souhaut, M., Grégoire, M. ve Courjault-Radé, P. (2019). “Natural radioactivity and radiation hazard assessment of industrial wastes from the coastal phosphate treatment plants of Gabes (Tunisia, Southern Mediterranean Sea)”. Marine pollution bulletin, 146, 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.075>
- Emirhan, M.E. ve Özben C.S. (2009). “Assessment of Radiological Risk Factors in the Zonguldak Coal Mines”. Journal of Radiological Protection, 29(4), 527–534. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/29/4/007>
- EPA, (2022). U.S. Environmental Protection Agency. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/radiation/radiation-terms-and-units>. Erişim tarihi:15/01/2022.
- Fişne, A. (2002). “Yeraltı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Fişne, A., Ökten, G. ve Çelebi, N. (2004). “Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Yeraltı Maden Ocaklarında Radon Gazı Yayılımının İncelenmesi”, Türkiye 14 Kömür Kongresi, Zonguldak, Türkiye, Bildiri Kitabı, 193–202.
- Fişne, A., Ökten, G. ve Çelebi, N., (2005). “Radon Concentration Measurements in Bituminous Coal Mines”. Radiation Protection Dosimetry, 113(2), 173–177. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch449>

- Ghiassi-Nejad, M., M. Beitollahi, M., Fathabadi, N. ve Nasiree, P. (2002). "Exposure to ^{222}Rn in Ten Underground Mines in Iran". *Radiation protection Dosimetry*, 98(2), 223–225. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006713>
- Gökoğlan, E., Ekinci, M., Özgenç, E., Derya, İ. Ö. ve Aşıkoğlu, M. (2020). "Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri". *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 25(3), 289–294. <https://doi.org/10.21673/anadoluklin.709434>
- Güler, Ç., Çobanođlu, Z. ve Baskı, B. (1997). "Radon kirliliği". TC Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, (44).
- Haner, B., Yılmaz, A., Kürkçüoğlu, M. ve Karadem, A. (2010). "Mencilis (Bulak) Mağarasında Radon Seviyesi Ölçümleri". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 218–224. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/193778>
- Hoşten, G. ve Dalbay, N. (2018). "Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Ofis Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi". *Aydın Sağlık Dergisi*, 4(2), 1-12.
- ICRP, (1993). "Protection Against ^{222}Rn At Home and Work". ICRP Publication, 22 (2): P.65.
- Karataşlı, M. (2018). "Hatay ve Çevresinde Çevresel Gama Radyasyon Ölçümü". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 780–785. DOI: 10.5578/fmbd.67766
- Kleinschmidt, R., Watson, D., Janik, M. ve Gillmore, G. (2018). "The Presence and Dosimetry Of Radon and Thoron in a Historical, Underground Metalliferous Mine". *Journal of Sustainable Mining*, 17(3), 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.06.003>
- Kobal, I., Vaupotiç, J., Udovç, H., Burger, J. ve Stropnik, B. (1990). "Radon Concentrations in the Air of Slovene (Yugoslavia) Underground Mines". *Environment International*, 16(2), 171–173. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(90\)90157-2](https://doi.org/10.1016/0160-4120(90)90157-2)
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.) (2001). *Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı*, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.

- Küçüktaş, E. (1996). “Maden Ocaklarındaki Radyonüklid Konsantrasyonlarının Birikimi Etkileyen Parametrelere Bağlı Olarak Ölçülmesi, Maruz Kalınan Dozların Analitik Bir Yöntem Geliştirilerek Hesaplanması”. Ege Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Kürkçüoğlu, I., Tuna, S. H., Tozun, F., ve Kürkçüoğlu, M. E. (2016). “Feldspatik dental seramiklerde doz hızı ölçümleri”. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(3), 1–7. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/367740>
- Kürkçüoğlu, M. E., Akgönül, H. ve Yılmaz, A. (2019). “Kömür Madenlerinde Radon Ölçümleri”. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 3(2), 129–145. <https://doi.org/10.33720/kisgd.623858>
- Liu, F.D., Pan, Z.Q., Liu, S.L., Chen, L., Ma, J.Z., Yang, M.L. ve Wang, N.P. (2007). “The Estimation of the Number of Underground Coal Miners and the Annual Dose to Coal Miners in China”. Health Physics, 93(2), 127–132. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw146>
- Mavi, B. ve Akkurt, I. (2010). “Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey”. Radiation Physics and Chemistry, 79(9), 933–937. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2010.03.019>
- Mc Laughlin, J. (2012). “An historical overview of radon and its progeny: applications and health effects”. Radiation protection dosimetry, 152(1-3), 2–8. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs189>
- Merdanoğlu, B., ve Altınsoy, N. (2006). “Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from Kestanbol granite area, Turkey”. Radiation Protection Dosimetry, 121(4), 399–405. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncl055>
- RG, (2020). Resmi Gazete <https://www.Resmigazete.Gov.Tr/Eskiler/2020/01/20200131-18.Pdf>.
- Schery, S. D., Gaeddert, D. H. ve Wilkening, M. H. (1984). “Factors Effecting Exhalation of Radon from Gravelly Sandy Loam”. J. Geophys. Res., 89(D5), 7299–7309.
- Shahrokhi, A., Vigh, T., Németh, C., Csordás, A. ve Kovács, T. (2017). “Radon measurements and dose estimate of workers in a manganese ore mine”. Applied Radiation and Isotopes, 124, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.02.047>

- Shikdar, A. A. ve Sawaqed, N. M. (2003). “Worker productivity, and occupational health and safety issues in selected industries”. *Computers & industrial engineering*, 45(4), 563-572. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(03\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(03)00074-3)
- Srilatha, M. C., Rangaswamy, D. R. ve Sannappa, J. (2015). “Measurement of natural radioactivity and radiation hazard assessment in the soil samples of Ramanagara and Tumkur districts, Karnataka, India”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(1), 993–1003. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3584-1>
- TAEK, 2020. <https://www.taek.gov.tr/Tr/2016-06-09-00-43-55/135-Gunumuzde-Nukleer-Enerji-Rapor/834-Bolum-06-Radyasyondan-Korunma.Html> Erişim tarihi:15/01/2022.
- TENMAK, (2022). Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu. Erişim adresi: <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-46/1084-yapay-radyasyon-kaynaklari.html>. Erişim tarihi:15/01/2022.
- Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S. ve Christodoulides, G. (2003). “Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks”. *Radiation Measurements*, 37(3), 221–229. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00028-3)
- Ulutin, H. C., Çınar, U. ve Barışık, T. (2019). “Yeraltı Maden İşletmelerinde Radon Gazı Tehlikesi Ve Korunma Önlemleri”. *Turan: Stratejik Araştırmalar Merkezi*, 11(41), 508–512. DOI:10.15189/1308-8041
- UNSCEAR, (2008). “Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation”. Volume I: SOURCES Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B, UNITED NATIONS, New York.
- Uzbey, S., Eyyüp, T. E. L., Aytekin, H. ve Albayrak, N. (2013). “Çorum İli Yeraltı Kömür Ocaklarında Radon Yoğunluğu Ölçümü”. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 3(1), 1–5. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1329707>
- Veiga, L. H. S., Melo, V., Koifman, S. ve Amaral, E. C. S. (2004). “High Radon Exposure in a Brazilian Underground Coal Mine”. *Journal of Radiological Protection*, 24(3), 295. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/24/3/008>

- Vishnuprasad Rao, K., Linga Reddy, B., Yadagiri Reddy, P., Ramchander, R.B. ve Rama Reddy, K. (2001). "Airborne Radon and its Progeny Levels in the Coal Mines of Godavarikhani, Andhra Pradesh, India". *Journal of Radiological Protection*, 21(3): 259–68. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/21/3/304>
- WHO, (2009). "Handbook On Indoor Radon – A Public Health Perspective", Edited By Hajo Zeeb And Ferid Shannoun, WHO Library Cataloguing.
- Yang, Y. X., Wu, X. M., Jiang, Z. Y., Wang, W. X., Lu, J. G., Lin, J., Wang, L. M. VE Hsia, Y. F. (2005). "Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China". *Applied radiation and isotopes*, 63(2), 255–259. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2005.02.011>
- Yener, G. ve Küçüktaş, E., (1998). "Concentrations of Radon and Decay Products in Various Underground Mines in Western Turkey and Total Effective Dose Equivalents". *Analyst*, 123(1): 31–34.
- Yılmaz, A., Kürkçüoğlu, M. E. ve Haner, B. (2009). "Nükleer İz Dedektörlerinin Konumlarının Radon Konsantrasyonu Ölçümleri Üzerine Etkisi", X. Ulusal Nükleer Bilimler Ve Teknolojileri Kongresi, Muğla, Türkiye, Bildiri Kitabı, 256–262.
- Yildiz, A. (2016). "Radyoaktif Bozunma Yasası ve Öğretimi". *Turkish Studies (Elektronik)*, 11(3), 2447–2460. <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies>.

EKLER



EK 1
SÖZLÜ BİLDİRİ

Katılım Belgesi



SÖZLÜ BİLDİRİ/ORAL PRESENTATION

**Güney Marmara’da Bulunan Bir Yeraltı Maden Ocağında
Radon Gazı Konsantrasyonu ve İş Sağlığı ve Güvenliği
Açısından Değerlendirilmesi**

**Evaluation in Terms of Occupational Health and Safety of Radon Gas
Concentration In an Underground Mine in Southern Marmara**

YL Öğrencisi EGEMEN ÖZCAN*

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı,
Çanakkale, Türkiye*

Dr. Öğr. Üyesi SAVAŞ KANBUR

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler
Bölümü, Çanakkale, Türkiye*

ÖZET

Yerkürede doğal olarak bulunan radon (^{222}Rn .) çekirdek bozunumu sonucu oluşan ve toprakta bulunan uranyum yoğunluğuna bağlı olarak değişen en önemli radyasyon kaynaklarından biridir. Yeraltı suları ve jeofiziksel koşulların radon gazı oluşumunda oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Yerkabuğundaki çatlak ve kırıklardan sızan radon gazı, renksiz ve kokusuz olup, doğal yollarla topraktan atmosfere yayılmaktadır. Ayrıca, radon yeraltı su kaynaklarıyla yeryüzündeki içme sularına karışabilir ve radon yoğunluğu su kaynağına göre değişiklik gösterir. Açık havanın radon gazı konsantrasyonunu seyreltmesinden dolayı dış ortamda radon gazı seviyesi genellikle düşüktür. Radon gazı, atmosfere yayılım gösterdiğinde ve kapalı alanlarda yüksek konsantrasyonda birikmediği sürece insan sağlığını etkilemez. Fakat iyi havalandırmaya sahip olmayan kapalı mekânlarda biriken radon gazının yüksek yoğunluklara çıkabileceği bilinmektedir. Bu nedenle kapalı alanlarda birikmesi ve sadece özel ölçüm cihazları ile saptanması sebebiyle özellikle uzun zaman kapalı ortamlarda çalışanlarda risk oluşturmaktadır. Radon gazının sağlık üzerine olumsuz etkileri de göz önüne alındığında özellikle kapalı madenlerde çalışan kişiler için risk oluşturmaktadır. Türkiye’de madencilik ve taş ocaklarında çalışan 177,732 (RG, 31/01/2020) kişi bulunmaktadır. Dolayısıyla burada çalışan işçilerin maruz kaldığı iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Çalışmamızda Güney Marmara’da bulunan bir yeraltı maden ocağındaki radon gazı konsantrasyonu 1 ay süre ile ölçülmüştür. Güney Marmara’da bulunan madende yapılan bir ay süreyle gerçekleşen radon gazı ölçümü sonucunda kapalı madendeki bir aylık ortalama radon gazı miktarının 176 Bq/m^3 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte bir aylık süreçte iki kere 600 Bq/m^3 (685 ve 619 Bq/m^3) üzerinde radon gazı ölçümü gerçekleşmiştir. Radon, bir asal gaz olması sebebiyle havadaki herhangi bir bileşenle etkileşim yapmaz, kapalı ortamlarda konveksiyon ve difüzyonla birikim yapabilir Yeraltı madenciliğindeki ileri teknolojisinde farklı bileşenleri içeren tozların hava dolaşımına katılması ve solunması dolayısıyla en önemli mesleki hastalık nedenlerinden biridir. Solunan ^{222}Rn ürünlerinin kanser etkisinin bilinmesinden sonra ICRP (International Commission on Radiological Protection, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu), 65 nolu raporu ile madenlerde etkin seviye olarak $500\text{-}1500 \text{ Bq/m}^3$ aralığını belirlemiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ise bu değeri

1000 Bq/m³ olarak belirlemiştir. Elde ettiğimiz veriler sonucunda Güney Marmara'da bulunan madendeki radon gazı konsantrasyonu Türkiye Atom Enerjisi Kurumu limitinin altında olduğu ve çalışan sağlığı açısından etkin değerin altında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radon gazı, Kapalı maden, İş Sağlığı ve güvenliği

“Bu çalışma ÇOMÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından FYL-2021-3614 proje numarası ile desteklenmiştir.”

ABSTRACT

Radon (²²²Rn), which is naturally found in the earth, is one of the most important radiation sources, which is formed as a result of core disintegration and changes depending on the uranium density in the soil. It is known that groundwater and geophysical conditions are very effective in the formation of radon gas. Radon gas leaking from cracks and fractures in the earth's crust is colorless and odorless and spreads naturally from the soil to the atmosphere. In addition, radon can mix drinking water on earth through underground water sources and, and the radon density varies according to the water source. The radon gas level in the outdoor environment is usually low because the open air dilute the radon gas concentration. Radon gas does not accumulate in high concentrations in closed areas as long as it spreads to the atmosphere and does not affect human health. However, it is known that radon gas accumulated in closed spaces that do not have good ventilation can reach high densities. For this reason, it poses a risk especially for those who work in closed environments for a long time, since it accumulates in closed areas and is detected only with special measuring devices. Considering the negative effects of radon gas on health, it poses a risk especially for people working in closed mines. There are 177,732 (RG, 31/01/2020) people working in mining and quarries in Turkey. Therefore, it is very important to evaluate the occupational health and safety risks that the workers working here are exposed to. In our study, the radon gas concentration in an underground mine in Southern Marmara was measured for 1 month. As a result of the radon gas measurement carried out for a month in the mine located in Southern Marmara, it was determined that the average amount of radon gas for one month in a closed mine was 176 Bq/m³. However, radon gas measurements over 600 Bq/m³ (685 and 619 Bq/m³) were realized twice in one month. Since radon is an inert gas, it does not interact with any component in the air and can accumulate in closed environments by convection and diffusion. In the advanced technology of underground mining, dust containing different components is included in the air circulation and is one of the most important causes of occupational diseases. After knowing the cancer effect of inhaled ²²²Rn products, ICRP (International Commission on Radiological Protection) with its report number 65 determined the range of 500-1500 Bq/m³ as the effective level in mines. The Turkish Atomic Energy Agency has determined this value as 1000 Bq/m³. As a result of the data we have obtained, it has been determined that the radon gas concentration in the mine in the South Marmara is below the limit of the Turkish Atomic Energy Agency and is below the effective value in terms of employee health.

Key Words: Radon gas, Closed mine, Occupational Health and safety