

**AFYONKARAHİSAR MERKEZDEKİ KAPLICALARDA  
RADON KONSANTRASYONU VE YILLIK ETKİN DOZ  
ORANLARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İrem AKKUŞ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Haziran, 2014**

Bu çalışma Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından A5.H1.P1.06 nolu proje ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 12.FEN.BİL.13 nolu proje ile desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AFYONKARAHİSAR MERKEZDEKİ KAPLICALARDA  
RADON KONSANTRASYONU VE YILLIK ETKİN DOZ  
ORANLARININ BELİRLENMESİ**

**İrem AKKUŞ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Haziran, 2014**

## ONAY SAYFASI

İrem AKKUŞ tarafından hazırlanan “AFYONKARAHİSAR MERKEZDEKİ KAPLICALARDA RADON KONSANTRASYONU VE YILLIK ETKİN DOZ ORANLARININ BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 10/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği**/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

İmza

**Başkan** : Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL  
Afyon Kocatepe Ü. Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM  
Afyon Kocatepe Ü. Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Enstitü Müdürü  
(Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN)

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**12.06.2014**

İrem AKKUŞ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AFYONKARAHİSAR MERKEZDEKİ KAPLICALARDA RADON KONSANTRASYONU VE YILLIK ETKİN DOZ ORANLARININ BELİRLENMESİ

İrem AKKUŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Renksiz, tatsız, kokusuz ve an ağır soy gaz olan radon, doğal uranyum radyoaktif serisi üyesi olan radyumun alfa bozunması sonucu oluşur. Radon, yeraltı suları ile taşınarak ve yer kabuğundaki açıklıklardan sızarak atmosfere karışır. Dünyadaki ortalama doğal radyasyona radonun katkısının yaklaşık %50 olduğu ve Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre sigaradan sonra akciğer kanserine yol açan ikinci etmen olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonunun ve radondan kaynaklanan yıllık ortalama etkin doz eşdeğerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar’da bulunan 10 farklı termal tesiste CR-39 nükleer iz detektörleri kullanılarak bir yıl boyunca 3'er aylık periyotlarda 4 defa radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Sonuç olarak, radon aktivite konsantrasyonu termal ortamlarda  $63,88 \pm 5,13$  Bq/m<sup>3</sup>, ofis ortamlarında ise  $77,21 \pm 8,86$  Bq/m<sup>3</sup>, ve yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri kaplıca ortamlarında  $0,403 \pm 0,050$  mSv, ofis ortamlarında ise  $1,023 \pm 0,195$  mSv olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen değerlerle karşılaştırıldı, hem de ölçüm dönemindeki radon aktivite konsantrasyonunun değişimlerinin nedenleri meteorolojik veriler bağlamında tartışılmıştır.

**2014, xi+68**

**Anahtar kelimeler:** Kapalı ortam radon konsantrasyonu, Kaplıca, CR-39 nükleer iz detektörü, Yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri, Meteorolojik parametreler.

## ABSTRACT

M.Sc Thesis

### DETERMINATION OF RADON CONCENTRATION AND ANNUAL EFFECTIVE DOSE RATE AT SPAS IN CENTRAL AFYONKARAHISAR

İrem AKKUŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM

The colorless, tasteless, odorless and heaviest inert gas of radon originates from the alpha decay of radium which is the member of Uranium natural radioactive series. Radon is released into the atmosphere through earth's crust cracks and transported by ground water. World average of radon contribution to the natural radioactivity is known as about 50% and it is the second factor causing lung cancer after smoking according to World Health Organization report. Therefore, it is necessary to determine the radon activity concentration in dwellings and the annual average effective dose equivalent arising from radon exposure.

In this study, radon activity concentration measurements were done at 10 different thermal facilities in Afyonkarahisar using CR-39 nuclear track detectors for one year with three month period. As a result, the radon activity concentrations are  $63.88 \pm 5.13$  Bq/m<sup>3</sup> in thermal places,  $77,21 \pm 8,86$  Bq/m<sup>3</sup> in offices and annual average effective dose equivalents are  $0,403 \pm 0,050$  mSv in spas,  $1,023 \pm 0.195$  mSv in offices. Obtained results were both compared with known values defined by national and international organizations, and the anomalies in radon activity concentrations in this period were discussed on the dependence of meteorological data.

**2014, xi+68**

**Key words:** Radon concentration in dwellings, Spa, CR-39 nuclear track detector, Annual average effective dose equivalent, Meteorological parameters.

## TEŞEKKÜRLER

Gerek derslerimde gerekse yüksek lisans tezi çalışmamda, projenin her adımında bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, her türlü destek ve olanağı sağlayan ve her zaman yanımda olan çok değerli danışmanım Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a,

Yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL'a, Doç. Dr. Ahmet YILDIZ'a ve Arş. Grv. Dr. Ayla SANDIKÇIOĞLU'na,

Detektörlerin kimyasal kazıma işlemi için Türkiye Atom Enerji Kurumu'na ve burada her türlü bilgi ve destekleriyle yardımlarını esirgemeyen Işık DEMİRÖZ ve Sefa UZUN'a,

Proje süresince yardımlarını esirgemeyen grup arkadaşlarım Merve ÖZÇELİK ve Duygu AÇIL'e,

Her daim yanımda olan, hiçbir desteği esirgemeyen çok değerli arkadaşım Mustafa TÜLEK'e;

Öğrenim hayatım boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen ve tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme ve Pınar KURUBAŞ'a;

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**İrem AKKUŞ**  
**Afyonkarahisar, 2014**

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜRLER .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	6
2.1 Radyoaktivite .....	6
2.2 Radyoaktif Bozunma ve Türleri .....	7
2.2.1 Alfa Bozunumu .....	8
2.2.2 Beta Bozunumu .....	9
2.2.3 Elektron Yakalama Olayı .....	10
2.2.4 Gama Bozunumu .....	11
2.2.5 Nötron Yayınlanması .....	12
2.2.6 İç Dönüşüm Olayı .....	12
2.3 Radyoaktivite Birimleri .....	12
2.4 Radyasyon ve Özellikleri .....	14
2.4.1 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon .....	14
2.4.2 İyonlaştırıcı radyasyon .....	14
2.4.3 Radyasyon Kaynakları .....	15
2.4.3.1 Doğal radyasyon kaynakları .....	16
2.4.3.2 Yapay radyasyon kaynakları .....	17
2.5 Radon .....	19
2.5.1 Radon Kaynağı .....	23
2.5.2 Kapalı Ortamlarda Radon .....	24
2.5.2.1 Kapalı Alanlarda Radon Gazı Girişini ve Birikimini Azaltıcı Önlemler .....	26
2.5.3 Radonun Sağlık Üzerine Etkileri .....	27
2.6 Jeotermal kaynak .....	30
2.7 Kaplıçalarda Radon .....	31
3. MATERYAL VE METOD .....	32
3.1 Bölgenin Tanıtılması .....	32



3.2 Radon Ölçümü.....	33
3.2.1 CR-39 Nükleer İz Detektörleri .....	34
3.2.2 Detektörlerin Kimyasal İşleme Hazırlanması.....	37
3.2.3 Detektörlerin Kimyasal Kazıma İşlemi .....	37
3.2.4 İz Sayımı.....	40
3.3 Radon Aktivite Konsantrasyonunun Bulunması .....	42
3.4 Standart Sapma Hesabı .....	43
3.5 Yıllık Ortalama Etkin Doz Eşdeğeri Hesabı .....	43
4. BULGULAR.....	45
4.1 Radon Aktivite Konsantrasyonu Değerleri .....	45
4.2 Yıllık Ortalama Etkin Doz Değerleri.....	50
4.3 Radon Konsantrasyonu Değişiminde Mevsimsel Etkinin İncelenmesi.....	54
4.3 Meteorolojik Veriler .....	54
4.3.1 Sıcaklık Verileri.....	55
4.3.2 Atmosfer Basıncı Değerleri .....	55
4.3.3 Nispi Nem Değerleri .....	56
4.3.4 Yağış Miktarı.....	57
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	59
6. KAYNAKÇA .....	63
EK-1 .....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	68

## SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$^{222}\text{Rn}$	Radon
$^{226}\text{Ra}$	Radyum
$^{238}\text{U}$	Uranyum
$^{220}\text{Rn}$	Toron
$^{219}\text{Rn}$	Aktinon
He	Helyum
A	Alfa
B	Beta
$\beta^-$	Beta-negatif
$\beta^+$	Beta-pozitif
$\Gamma$	Gama
N	Nötron
P	Proton
Bq	Bequerel
Ci	Curie
Sv	Sievert
R	Röntgen
HPa	Hecto Pascal
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad derece
K	Kelvin
F	Fahrenheit
Gy	Gray
Rad	Radiation absorbed döşe
MeV	Mega elektron volt
NaOH	Sodyum Hidroksit
$\text{CH}_3\text{COOH}$	Asetik Asit

## Kısaltmalar

---

ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)
NRPB	İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (National Radiological Protection Board)
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eēitim Merkezi
UNSCEAR	Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Koruması ve lm Milli Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)
USEPA	Birleşmiş Milletler evre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
WHO	Dünya Saēlık rgt (World Health Organization)
IAEA	Uluslar Arası Atom Enerji Kurumu (International Atomic Energy Agency)
RAK	Radon Aktivite Konsantrasyonu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği (Arya 1999) .....	7
Şekil 2. 2 Alfa bozunumu .....	8
Şekil 2. 3 Beta bozunumu .....	9
Şekil 2. 4 Pozitron bozunumu .....	10
Şekil 2. 5 Elektron yakalama olayına örnek bir durum .....	11
Şekil 2. 6 Gama bozunumu .....	11
Şekil 2. 7 Canlı üzerine etki eden radyasyon türleri.....	14
Şekil 2. 8 Alfa, Beta ve Gama ışınlarının giricilikleri kıyaslaması .....	15
Şekil 2. 9 Doğal ve yapay kaynaklardan alınan radyasyon miktarı oranları.....	16
Şekil 2. 10 Doğal radyasyon seviyesini belirleyen etkenler .....	16
Şekil 2. 11 Yapay Radyasyon Kaynakları .....	18
Şekil 2. 12 Doğal ve yapay radyasyonun insanı etkileme yolları .....	19
Şekil 2. 13 Uranyum Bozunum Ürünleri .....	20
Şekil 2. 14 Radonun suda çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi (Cothorn 1987) .....	23
Şekil 2. 15 Radonun topraktan havaya kaçması.....	24
Şekil 2. 16 Binaya Radon gazı girişi .....	25
Şekil 2. 17 Radon ve ürünlerinin solunum yoluyla alınması ve akciğerlerdeki etkisi ...	28
Şekil 2. 18 Jeotermal sistemin şematik görünümü (İnt.Kyn.2).....	30
Şekil 3. 1 Afyonkarahisar'ın Türkiye haritası üzerindeki konumu .....	32
Şekil 3. 2 Termal tesislerin konumları.....	33
Şekil 3. 3 İz sayımı sırasındaki izlerin görüntüsü.....	41
Şekil 3. 4 Sayım sonrası iz görüntüsü.....	42
Şekil 3. 5 Radon aktivite konsantrasyonu kalibrasyon doğrusu.....	43
Şekil 4. 1 Hamam ortamlarında ölçüm alınan noktalarla ortalama radon konsantrasyon değerleri.....	47
Şekil 4. 2 Ofis ortamlarında ölçüm alınan noktalarla ortalama radon konsantrasyon değerleri.....	48
Şekil 4. 3 Hamam ortamlarının yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri (hamam ortamları için).....	49
Şekil 4. 4 Ofis ortamlarının yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri (ofis ortamları için) .....	49

<b>Şekil 4. 5</b>	Hamamlarda yıllık maruz kalınan etkin doz miktarları .....	53
<b>Şekil 4. 6</b>	Ofislerde yıllık maruz kalınan etkin doz miktarları .....	53
<b>Şekil 4. 7</b>	Hamam ve ofis ortamlarındaki radon aktivite konsantrasyonu ile mevsimler arasındaki ilişki .....	54
<b>Şekil 4. 8</b>	Mevsimlerin ortalama sıcaklıkları ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki .....	55
<b>Şekil 4. 9</b>	Mevsimlerin ortalama basınç değerleri ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki .....	56
<b>Şekil 4. 10</b>	Mevsimlerin ortalama nispi nem değerleri ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki .....	57
<b>Şekil 4. 11</b>	Mevsimlerdeki ortalama yağış miktarı ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki .....	58

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Radyasyon terimleri SI birimleri sembolleri eski birimleri ve aralarındaki ilişki .....	13
Çizelge 2. 2 Doğal Radyasyondan Kaynaklı Etkin Doz Değeri (İnt.Kyn.1) .....	17
Çizelge 2. 3 Radon Gazının Özellikleri .....	21
Çizelge 2. 4 Radon ve ürünleri .....	22
Çizelge 2. 5 Farklı Ülkelerde Belirlenen Kapalı Ortamlardaki Radon Konsantrasyonunun Sınır Değeri ( $Bq/m^3$ ) .....	29
Çizelge 2. 6 Ulusal örgütler tarafından radon sınır değerleri ( $Bq/m^3$ ) .....	29
Çizelge 4. 1 Radon aktivite konsantrasyonu değerleri .....	46
Çizelge 4. 2 Ortalama etkin doz değerleri.....	51
Çizelge 4. 3 Aylar bazında hamam ortamlarında etkin doz değerleri .....	52

## RESİMLER DİZİNİ

<b>Resim 3. 1</b>	Radon konsantrasyon ölçümü için kullanılan detektörler .....	35
<b>Resim 3. 2</b>	Difüzyon kapları .....	35
<b>Resim 3. 3</b>	Detektörlerin konulduğu havuz ve hamam alanları .....	36
<b>Resim 3. 4</b>	Detektörlerin konulduğu ofis alanları .....	36
<b>Resim 3. 5</b>	Boş detektör kapları ve slaytları .....	37
<b>Resim 3. 6</b>	Banyo ünitesinin programlanması .....	38
<b>Resim 3. 7</b>	Banyo ünitesine sodyum hidroksit eklenmesi .....	39
<b>Resim 3. 8</b>	Detektör tutucu diskin banyo ünitesine yerleştirilmesi .....	40
<b>Resim 3. 9</b>	RADOSYS Radometer Microscope cihazı .....	41

## 1. GİRİŞ

Dünyanın oluşmasıyla beraber çok uzun yarı ömürlü radyoaktif maddeler doğada yerini almaya başlamıştır. Radyoaktif elementlerin doğada var olmaya başlaması normal ve kaçınılmaz olarak doğal bir radyasyon düzeyini oluşturmuştur. Bu nedenle yer kabuğundaki radyoaktif maddeler ve kozmik ışıklardan kaynaklanan doğal radyasyona sürekli maruz kalınmaktadır. Bunun yanında teknolojinin gelişmesi ve yaşam standartlarının değişmesi ile birlikte yapay radyasyon kaynaklarından dolayı da radyasyona maruz kalınmaktadır. Enerji üretimi, teknolojik aletler, tıp, endüstri, tarım, deneysel işlemler gibi pek çok alan yapay radyasyona kaynaklık etmektedir. Vücuda solunum ve sindirim yoluyla alınabilen doğal radyasyon kaynakları, insan vücudunda iç ve dış ışınlanmaya sebep olabilmektedir. Canlılar yapay radyasyondan çok doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Yaşanılan yerin jeolojik yapısı, barınılan binada kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık, yağmur, kar, rüzgar, alçak basınç, yüksek basınç gibi etkenler doğal radyasyon seviyesini etkilemektedir (TAEK 2009, 2012).

Yer kabuğunda bulunan Uranyum ve Toryum gibi çok uzun yarı ömürlü doğal radyoaktif elementler bozunmaları ile doğal radyasyona kaynaklık etmektedirler. Doğal radyasyon kaynakları topraktan; havaya ve suya karıştığı için yaşamımızın her kesiminde iç içe olduğumuz bir durum haline gelmiştir. Yer kabuğuna bağlı olarak topraktaki radyoaktif madde miktarı değişiklik gösterdiği için doğal radyasyon konsantrasyonu bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Maruz kalınan doğal radyasyonun yaklaşık %50'lik kısmını radon oluşturmaktadır. Dünya genelinde kişi başına yaklaşık yıllık doz miktarı 2,8 mSv iken, doğal radyasyondan kaynaklı alınan ortalama yıllık doz miktarı yaklaşık 2,4 mSv'dir (UNSCEAR 2000).

Uranyum bozunum ürünü olan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), radyumun ( $^{226}\text{Ra}$ )  $\alpha$ -bozunması sonucu ortaya çıkan radyoaktif bir soygaz elementidir. Radon rengi, kokusu ve tadı olmayan, gözle görülmeyen bir gazdır. Radon gazı ya yer kabuğundan sızarak ya da suda çözünme özelliğinden dolayı yer altı sularıyla birlikte taşınarak atmosfere ulaşmaktadır. Topraktan radon sızması toprağın tanecik büyüklüğüne bağlı olan geçirgenliği, yoğunluğu ve su içeriğine bağlıdır (Durrani and Ilic 1997, Evans 1969).



Bina içerisine radon; bina altındaki kayalar, bina yapı malzemeleri, su kaynakları gibi farklı kaynaklardan girmektedir. Binalardaki radon miktarının büyük bir kısmı bina temelindeki toprak ve kayaç kaynaklıdır. Radon ve diğer gazlar topraktan sızarak bina temelinde birikip bir basınç oluştururlar. Binaların temelinde uyguladığı basınç genellikle gazların temelde yaptığı basınçtan daha düşük olduğu için bina tabanındaki gazlar buldukları açıklıklardan sızar ve bina içlerine yayılırlar (Güler ve Çobanoğlu 1997).

Binalardaki radon miktarı bölgenin jeolojik özellikleri, topraktaki radyum ( $^{226}\text{Ra}$ ) miktarı, binanın toprakla olan temas noktasının yüzey alanı, binanın izolasyon niteliği, binanın havalandırma kapasitesi, binanın içi ve dışı arasındaki sıcaklık ve basınç farkı, binanın yerden yüksekliği gibi etkenlere bağlı olarak ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye hatta çok yakın konumdaki binalarda bile farklılık göstermektedir (Eisenbud 1987).

Radon gazı bozunması sırasında alfa parçacığı yayan bir gazdır. Solunum yoluyla akciğerlere alınan radon gazı bronşlarda bozunmaya devam etmektedir. Kararlı hale geçinceye kadar yaptığı bozunma sonucunda yaydığı radyasyon yerleştiği dokulardaki hücrelere zarar vermekte ve böylece kanser oluşumuna neden olabilmektedir.

Günümüzde çok yaygın hastalık gruplarından biri olan kanser hastalıklarının kaynaklarından biride radyasyondur. Tadı, kokusu, rengi olmadığı için sinsi ölüm nedeni olarak düşünülebilir. İnsanlar, zamanlarının %80'inden fazlasını kapalı ortamlarda geçirdiği düşünüldüğünde radon ve bozunum ürünlerinin kaynaklık ettiği doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyonun yaklaşık %50'i radondan kaynaklandığı için kapalı ortamların radon ölçümleri oldukça önemlidir.

Sıcak tabakalardan geçerek gelen jeotermal suların ortamdaki radyum tuzlarını çözme olasılığı yüksektir. Bu nedenle radyumun bozunum ürünü olan radonun taşınma olasılığı da yüksektir. Sıcak sularda taşınan radonun çözünürlüğü suyun sıcaklığı arttıkça azalmakta ve ortama yayılmaktadır. Jeotermal suların çıkış noktalarında kurulan tesisler sağlık turizmi açısından gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Talebin artmasıyla birlikte jeotermal tesislerde radon aktivite konsantrasyon değerinin ölçümü önem kazanmaktadır.

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Radiation Protection-ICRP) tarafından evlerdeki radon aktivite konsantrasyonu için yılda 200-600 Bq/m<sup>3</sup> tavsiye edilmiştir. Bu komisyonun evlerdeki radon konsantrasyonları için belirlenmiş olduğu sınır değerler; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m<sup>3</sup>, yeni evlerde 200 Bq/m<sup>3</sup>, radyasyon ve maden bölgelerinde ise 1500 Bq/m<sup>3</sup>' dir. 400 Bq/m<sup>3</sup>'lük sınır değerinde akciğer kanseri meydana gelme riski %6' dır. Bu risk sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir (ICRP 1987; 1993). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonunu evlerde 400 Bq/m<sup>3</sup>, iş yerlerinde ise 1000 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirtmiştir (TAEK 2000). Birleşmiş Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından içme amaçlı kullanılan sular için izin verilebilir radon aktivite konsantrasyon değeri 11 Bq/L olarak belirtilmiştir.

Kapalı alanlarda radon ölçümü ilk kez 1956 yılında evlerde yapılmaya başlanmış ve bazı evlerde radon aktivite konsantrasyon değeri yüksek bulunmuştur. Bunu ölçüm bölgesinin istisnai durumu olarak görülüp üzerinde durulmamıştır. Ancak 20 yıl kadar sonra değişik ülkelerde yoğun ölçüm çalışmaları başlatılmıştır. Türkiye' de evlerde, işyerlerinde ve kaplıcalarda birçok çalışma yapılmıştır.

Vaizoğlu'nun Ankara'da evlerde kış döneminde yaptığı çalışmada, 167 evde radon aktivite konsantrasyonunun 2 Bq/m<sup>3</sup> ile 408 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Ortalama radon aktivite konsantrasyon değerini oturma odalarında 19 Bq/m<sup>3</sup>, yatak odalarında ise 25 Bq/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur (Vaizoğlu 1997).

Öztürk'ün Erzincan ilinde yaptığı çalışmayla radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi ve topraktaki radyoaktivite değeri belirlenmeye çalışılmıştır. 84 ilde yaptığı çalışmayla 4,87 Bq/m<sup>3</sup> ile 767,37 Bq/m<sup>3</sup> arasında radon konsantrasyon değerleri bulmuştur. Yıllık etkin doz değerini ise 2,29 mSv olarak bulmuştur (Öztürk 2012).

Soto ve arkadaşlarının İspanya'da kaplıcalarda yaptığı çalışmada kaplıca suyunda radon konsantrasyon değerini 824 Bq/L oda havasında ölçülen radon konsantrasyon değerini 5 kBq/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur. Bulduğu sonuçların yüksek çıkması nedeniyle ülkedeki bütün radyoaktif su kaynaklarının ölçülmesini önermiş ayrıca otelde çalışan elemanların koruyucu önlemler alması gerektiğini belirtmiştir (Soto *et al.* 1995).

Horwath ve arkadaşlarını Venezuela' nın kuzey bölgesindeki termal sulardaki radon aktivite konsantrasyon değerlerini 1-500 Bq/L arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Kaplıcanın birinde toprakta yaptığı ölçümde ortalama radon konsantrasyon değerini 122 kBq/m<sup>3</sup> ve havadaki radon konsantrasyon değerini ise 54 kBq/m<sup>3</sup>'e kadar ulaştığını gözlemlemiştir. Sulardaki yıllık doz değerinin 4mSv'e ulaştığını bulmuştur (Horwath *et al.*, 2000).

Rodowich ve arkadaşlarının Hırvatistan'da yaptığı çalışmada 9 ayrı kaplıca havuzunun sularında ve ortamında havasında radon seviyeleri belirlenmiştir. Ortalama radon konsantrasyon değerlerini jeotermal sularda 4500 Bq/m<sup>3</sup>, ortam havasında ise 40 Bq/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur. Belli bir kaplıca için çalışanların aldığı yıllık ortalama etkin doz değerini 0.27 mSv olarak hesaplamıştır (Rodowich *et al.* 2005)

Song ve arkadaşlarının Çin'de yapmış olduğu çalışmada dört farklı otelde ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda dışarıdaki havada 17,2-190,9 Bq/m<sup>3</sup>, banyolarında jeotermal suların kullanıldığı odalarda 22,855 Bq/m<sup>3</sup>, banyosu olmayan odalarda ise 17-912 Bq/m<sup>3</sup> radon konsantrasyon değeri bulunmuştur (Song *et al.* 2005).

Sonlai ve arkadaşlarının Macaristan kaplıcalarında yaptığı çalışmada <sup>222</sup>Rn, <sup>226</sup>Ra, <sup>234</sup>U ve <sup>238</sup>U'a bağlı olarak aldıkları radyasyonu belirlemeye çalışmıştır. Kaplıca ortamlarında aldığı sulardaki ortalama konsantrasyon değerleri; <sup>222</sup>Rn için 4,13-6,70 Bq/dm<sup>3</sup>, <sup>226</sup>Ra için 442-793 mBq/dm<sup>3</sup>, <sup>234</sup>U için 17,4-27,1 mBq/dm<sup>3</sup> ve <sup>238</sup>U için 17,8-28,1 mBq/dm<sup>3</sup> aralıklarında bulunmuştur. Ölçümler sonucunda ortamdaki radon konsantrasyon değeri 340-625 Bq/m<sup>3</sup> aralığında ölçülmüştür. Kaplıca ortamlarında çalışanların maruz kaldığı yıllık etkin doz değerini 2,15-3,95 mSv, tedavi amaçlı banyo kullanımı esnasında alınan yıllık etkin doz miktarı 0,75 mSv bulunmuştur (Sonlai *et al.* 2007).

Bursa'da kükürtlü kaplıcalarında yaptığı çalışmada Kılıç, otelin farklı katlarında yedi odada ölçüm yapmıştır. Ölçümünü AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü ile radon konsantrasyon değerini analiz etmiştir. Odalarda 7,6-179 Bq/m<sup>3</sup> arasında radon konsantrasyon değerleri bulunmuştur. Aynı zamanda etkin doz eş değerini 0,10-2,4 mSv/yıl olarak hesaplamıştır (Kılıç 2011).

Baran'ın Denizli ve çevresindeki termal alanlardaki çalışmasında LR-115 nükleer iz kazıma detektörleri kullanılmıştır. Jeotermal alanlardaki otel odalarında yaptığı çalışmasında radon konsantrasyonlarını 57,71-275,7 Bq/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini gözlemlemiştir (Baran 2013).

Bu çalışmada, Afyonkarahisar'daki termal tesislerden 10 tanesinde, CR-39 nükleer iz detektörleri kullanılarak Haziran 2013-Mayıs 2014 arasında üçer aylık periyotlarla dört defa radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapılmış, ölçüm noktalarının yıllık ortalama radon aktivite konsantrasyonu ve yıllık ortalama etkin doz değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerlerin mevsimsel ve meteorolojik parametrelerle değişimi incelenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

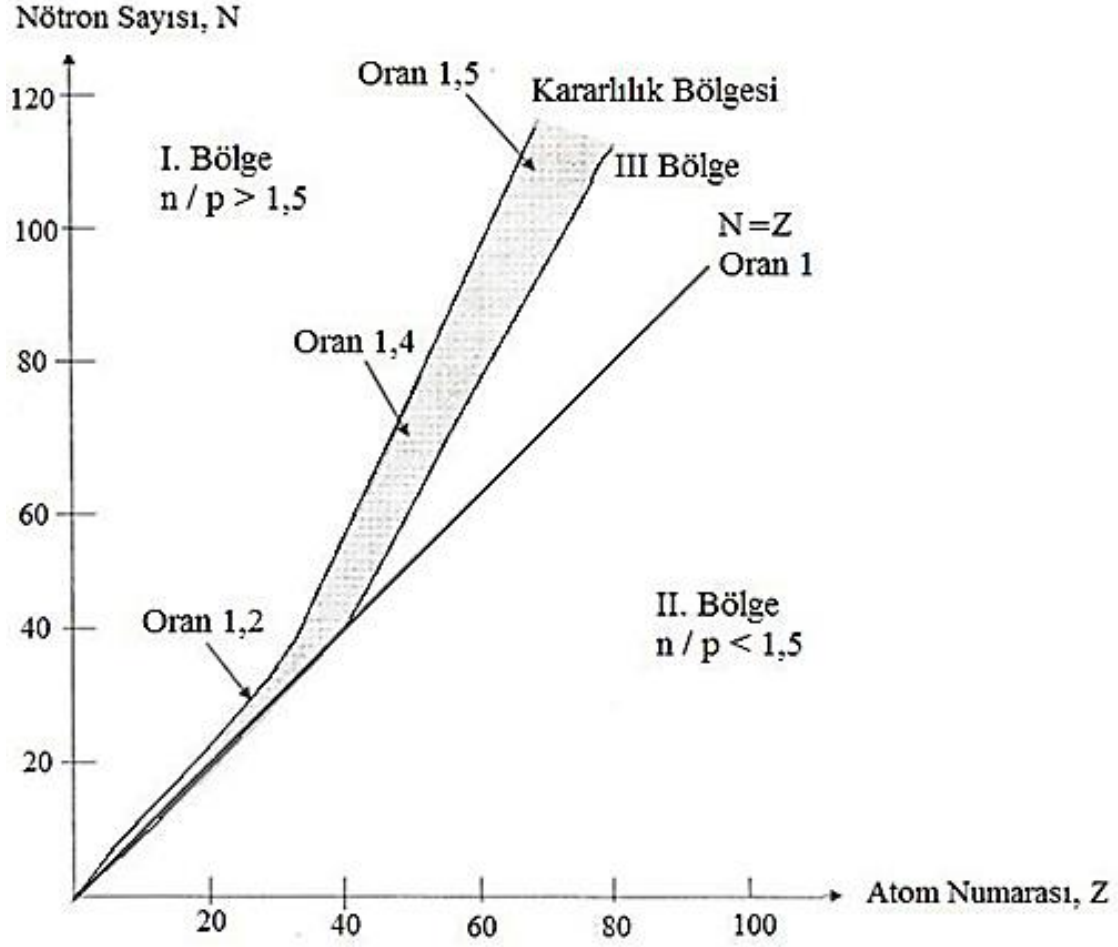
### 2.1 Radyoaktivite

Radyoaktivitenin varlığı 1896 yılında Fransız Fizikçi Antonie Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Uranyumun ışınlar yaydığını fark edilmesiyle radyoaktivitenin varlığı ortaya çıkmıştır. Radyoaktivitenin keşfiyle bu alandaki çalışmalar artmıştır. Becquerel'den sonra ilk yapılan araştırmalar çoğunlukla Marie-Piere Curie, William Crokes ve Ernest Rutherford tarafından yürütülmüştür.

Radyoaktivite kararsız atomların çekirdeklerinin ışın veya parçacık yayınlarak kararlı hale geçmeye çalışmasıdır. Bu olay çekirdek kararlı hale geçinceye kadar devam eder. Atomun çekirdeğinde başlayarak, kendiliğinden gerçekleşir. Kontrol edilemez, yavaşlatılamaz ve durdurulamazdır.

Basit yapılı çekirdek olan hidrojen dışında bütün çekirdekler nükleonlardan oluşur. Nükleonlar +e yüküne sahip protonlar ve yüksüz nötronlardır. Çekirdeklerin kararlılıklarını nötron ve proton sayıları, düzenleri ve birbirine uyguladıkları kuvvetler belirler.

Çekirdekte bulunan nötronun protona oranı (N/Z) kararlılık düzeyini belirtir. Hafif çekirdeklerde N/Z oranı 1'e yakınken ağır çekirdeklerde bu oran artmaktadır. Ağır çekirdekteki fazla enerjiler çekirdeklerin kararsız olmasına neden olmaktadır (Şekil 2.1).



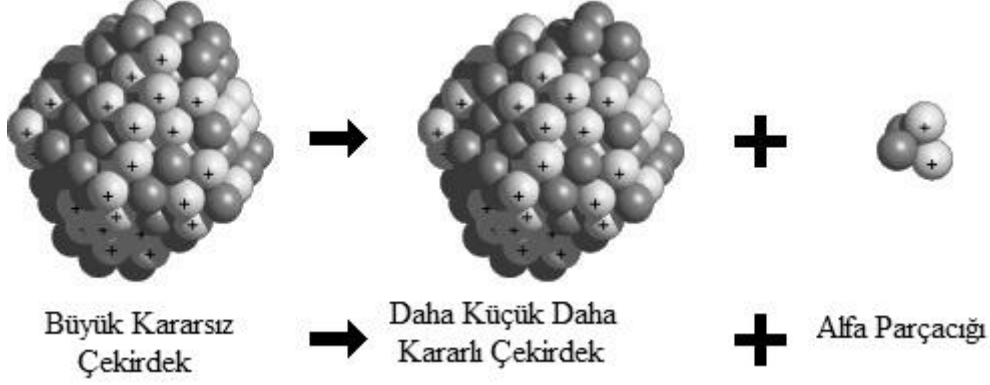
Şekil 2. 1 Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği (Arya 1999)

## 2.2 Radyoaktif Bozunma ve Türleri

Kararsız atomların kararlı hale geçebilmek için ışın veya parçacık yayınlamasına radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif atomlar kendiliğinde bozunuma uğrarlar. Atomun çekirdeğinde başlayan radyoaktif bozunma kontrol edilemez, yavaşlatılamaz veya herhangi bir şekilde durdurulamazdır. Bozunma kararlı hale geçinceye kadar devam eder. Bilinen radyoaktif bozunma türleri altı tanedir.

### 2.2.1 Alfa Bozunumu

Çekirdekdeki kararsızlık proton ve nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa çekirdek, iki protonu ve iki nötronu bulunan helyum atomu (alfa parçacığı) yayınlamaya uğrar (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Alfa bozunumu

Alfa bozunmasına uğrayan çekirdeğin atom numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır (Denklem 2.1). Bozunma sonucunda çekirdekte hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerinde değişim olur.



Bozunma sonucunda açığa çıkan enerji denklem 2.2'deki bağıntıyla bulunur.

$$E = \Delta mc^2 = [m(X) - m(X') - m({}^4_2 \text{He})].c^2 \quad (2.2)$$

Bozunma sonucunda açığa çıkan enerjinin büyük bir bölümünü momentum korunum kanunu dolayısıyla küçük kütleyle sahip olan çekirdek olan alfa parçacığı almaktadır. Alfa bozunumu doğada var olan uranyum, radyum gibi ağır çekirdekli atomlarda gerçekleşmektedir. Enerji spektrumu 4 MeV ile 10 MeV arasında değişir ve kesiklidir. Yüklü bir parçacık olan alfa parçacığı madde içerisindeki elektronlar ile etkileşime girer.

## 2.2.2 Beta Bozunumu

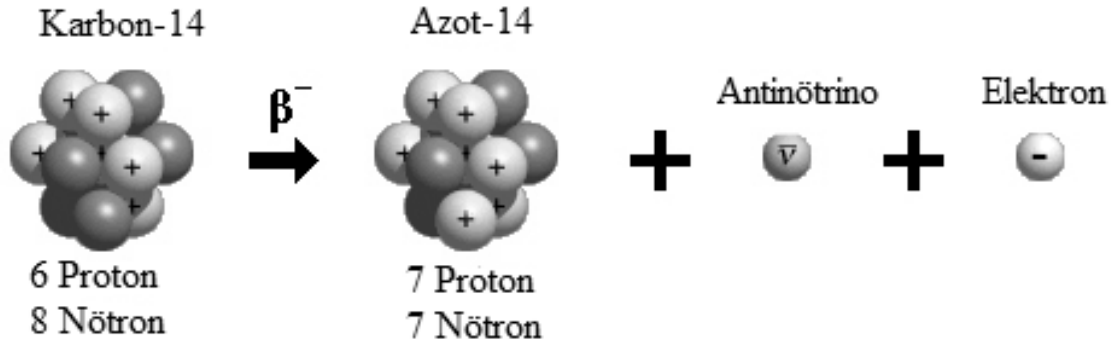
Çekirdek içerisindeki kararsızlığın nedeni proton ve nötron sayılarından birinin diğerine göre daha fazla olmasından kaynaklanıyorsa, çekirdeğin kararlı hale geçebilme için fazla olanın diğerine dönüştürmesidir.

### $\beta^-$ Bozunumu

Radyoaktif elementin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa  $\beta^-$  bozunumu yapar. Çekirdek kararlı hale geçebilmek için bir nötronunu proton ve elektrona çevirir (Denklem 2.3). Proton çekirdekte kalırken, elektron dışarı atılır.



Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (negatron) adı verilir. Beta bozunumu yapan radyoaktif çekirdeği atom numarası bir artar. Böylece kendinden sonraki elementin izobarı olur (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 Beta bozunumu

Bu bozunumda kütle numarası değişmediği için izobarik bozunma da denmektedir (Denklem 2.4).





## $\beta^+$ Bozunumu

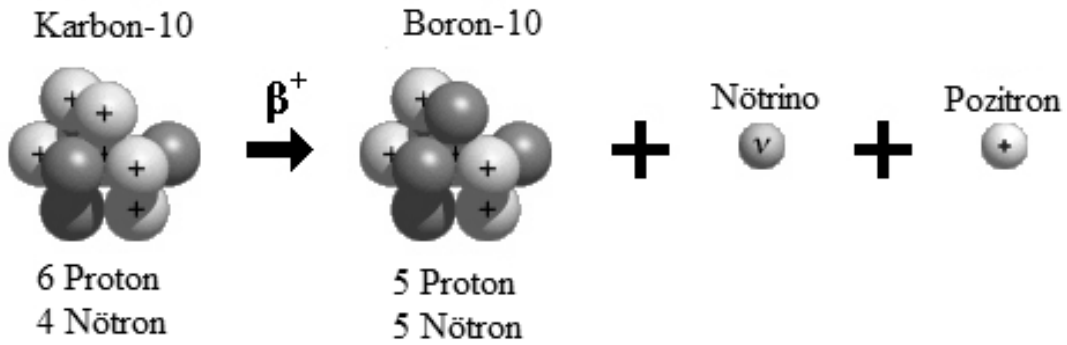
Çekirdeğin kararsızlığı proton fazlalığından veya nötron azlığından kaynaklanıyorsa protonlardan biri nötrona ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür (Denklem 2.5).



$\beta^+$  bozunumu sırasında nötron çekirdekte kalırken pozitif yüklü elektron dışarı atılır (Denklem 2.6).



Pozitron yayınlayan radyoaktif madde atom numarası bir azalır. Böylece kendinden önceki elementin izobarı atomuna dönüşür (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Pozitron bozunumu

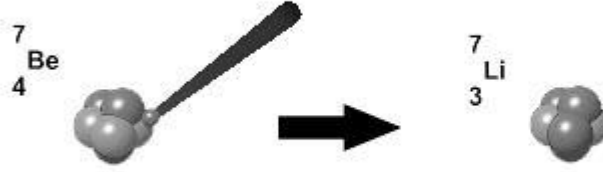
### 2.2.3 Elektron Yakalama Olayı

Çekirdekteki proton sayısı çok fazla olduğu bir durumda çekirdekte ışına yapacak kadar enerji yoksa, ana çekirdek etrafındaki elektronlardan birini yakalar (Denklem 2.7). Elektron yakalayan çekirdek nötrino yayımlar. Bu olay sırasında kütle numarası değişmez, atom numarası bir azalır (Denklem 2.8).





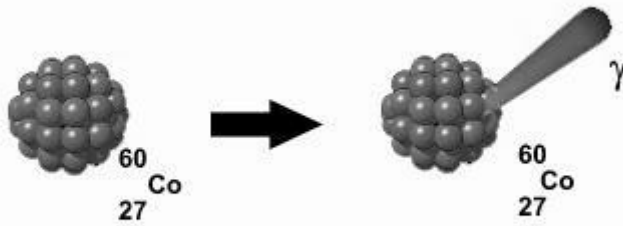
Elektron yakalama olayına örnek bir durum Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2. 5 Elektron yakalama olayına örnek bir durum

### 2.2.4 Gama Bozunumu

Radyoaktif çekirdek içerisindeki fazla enerjiyi atmak için bozunmayı gerçekleştirdikten sonra hemen kararlı hale geçemez. Hemen kararlı hale geçemeyen çekirdek yarı kararlı haldeyken kalan fazla enerjisini elektromanyetik dalga veya foton yayınlamaya çalışır. Bu olaya gama bozunumu denir (Şekil 2.6). Yarı kararlı haldeyken bozulan çekirdekte kütle numarası ve atom numarası aynen kalır.



Şekil 2. 6 Gama bozunumu

### 2.2.5 Nötron Yayınlanması

Radyoaktif çekirdeklerin sadece birkaç tanesinde bozunmaları esnasında nötron yayınlanır (Denklemler 2.9).



### 2.2.6 İç Dönüşüm Olayı

Radyoaktif çekirdekteki fazla olan enerji doğrudan yörüngedeki bir elektrona iletir. İletmesi sonucunda elektron yörüngesinden ayrılır. Bu olayda foton yayınlanmaz, çekirdek enerjisini direk elektronlarına iletir. Bu olay sonucunda yörüngede bir elektron boşluğu oluşur. bu boşluğu diğer yörüngelerden gelen elektron doldurur. Açığa X ışını çıkar. İç dönüşüm sonrasında yükte bir değişim olmaz ve yayınlanan radyasyon atoma ait bir radyasyondur.

### 2.3 Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivitenin birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır.

**Aktivite Birimi:** Eski birimi Curie'dir. SI birim sistemine göre birimi ise Bequerel'dir. Saniyede ki parçalanma hızı  $3,7 \times 10^{10}$  olan radyoaktif maddenin aktivitesi olarak tanımlanır.

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

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

**İşınlanma Birimi:** Eski birimi ve SI birim sistemindeki birimi Röntgen'dir. Normal şartlarda ki havanın 1 kilogramında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonları oluşturan gama X ışını miktarıdır.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$

**Soğurulan Doz:** Eski birimi Rad'dır. SI birim sistemindeki birimi ise Gray'dır.

Rad: 1 kilogramlık maddenin ışınlanmasıyla  $10^{-4}$  joule'lük radyasyon miktarıdır. Parçacık veya foton şeklinde olabilir.

Gray : 1 kilogramı ışınlanan maddenin 1 joule'lük enerji vermesidir.

$$1 \text{ Rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

**Eşdeğer Doz:** Eski birimi Rem'dir. SI birim sistemindeki birimi ise Sievert'tir. Farklı radyasyon çeşitlerinden soğurulan dozlar eşit olsa da vücut üzerine etkileri farklı olabilmektedir.

$$\text{Rem} = \text{Soğurulan Doz} \times \text{Radyasyon Ağırlık Faktörü}$$

Radyasyon ağırlık faktörü radyasyonların farklı etkileri hesaba katmak için kullanılan bir faktördür. WR ile gösterilir.

**Sievert:** 1 Gray' lik gama veya X ışınının aynı etkiyi oluşturduğu radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg}$$

Radyasyonla ilgili terimler birimler semboller ve aralarındaki ilişkiler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

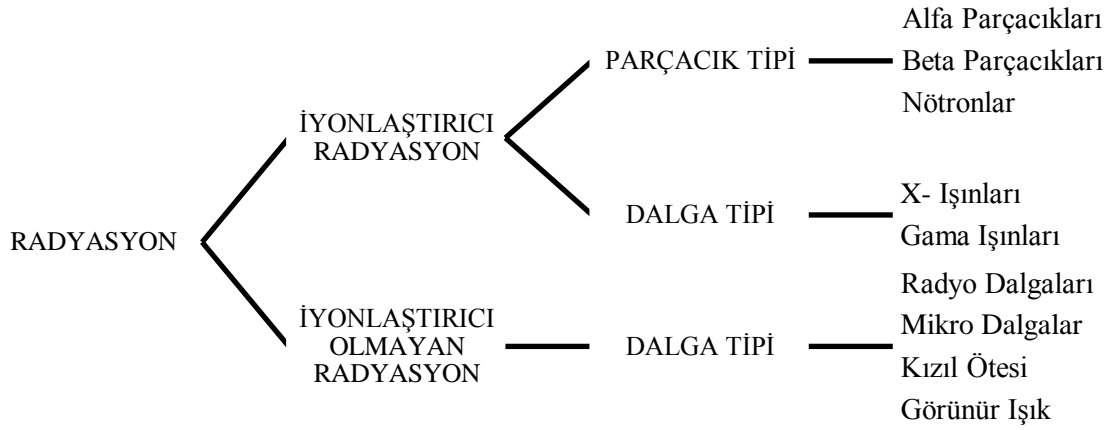
**Çizelge 2. 1** Radyasyon terimleri SI birimleri sembolleri eski birimleri ve aralarındaki ilişki

Büyüklik	SI Birimleri	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11}$
İşınlama	Röntgen (C/Kg)	Röntgen (R)	$1 \text{ C/Kg} = 3876 \text{ R}$
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

## 2.4 Radyasyon ve Özellikleri

Kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek için çekirdekteki fazla nötronları parçalarken ortaya çıkan alfa, beta, gama ışınlarına radyasyon denir. Alfa, beta, gama ışınları çıplak gözle görülmeyen ışınlardır.

Radyasyon elektromanyetik dalgalar (foton) veya parçacık biçiminde enerji yayılımıdır. Doğada her zaman vardır ve canlılar bu enerjiye maruz kalmaktadır. Canlılar üzerine etki eden farklı türlerde radyasyon vardır (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Canlı üzerine etki eden radyasyon türleri

### 2.4.1 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Madde ile etkileştiğinde iyonlaşmaya neden olmaya radyasyon çeşitidir. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi ışınlar ve görünür ışıklar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşitine örnek olarak verilebilir.

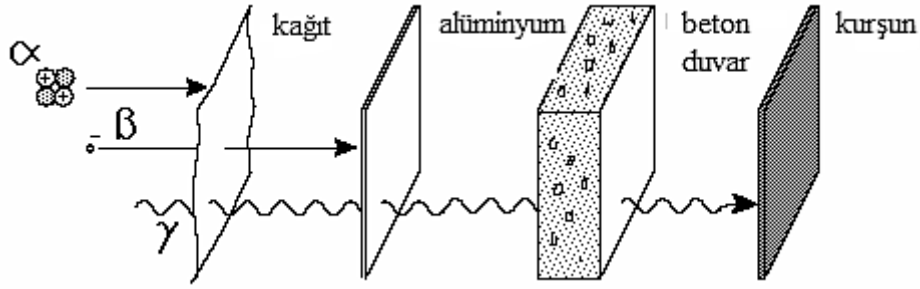
### 2.4.2 İyonlaştırıcı radyasyon

Madde ile etkileştiğinde iyonlaşmaya neden olabilecek enerjiye sahip parçacıkların yayınladığı radyasyon çeşitidir. Alfa, beta parçacıkları ve nötronlar iyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak verilebilir.

Alfa parçacıkları pozitif yüklüdür. Bu nedenle elektrik alan ve manyetik alanda kutba doğru sapmaya uğrarlar. Karşılaştıkları moleküllerden elektron koparırlar ve iyonlaşmaya neden olurlar. Giricilikleri çok azdır. Fotoğraf filmine etki ederler.

Beta parçacıkları negatif yüklüdür. Elektrik ve manyetik alanda kutba saparlar. Kütleleri alfa ışınlarından daha azdır. Bu nedenle sapmaları alfa ışınlarından daha fazladır. Alfa ışınlarından daha çok giricidirler. Fotoğraf filmine etki ederler.

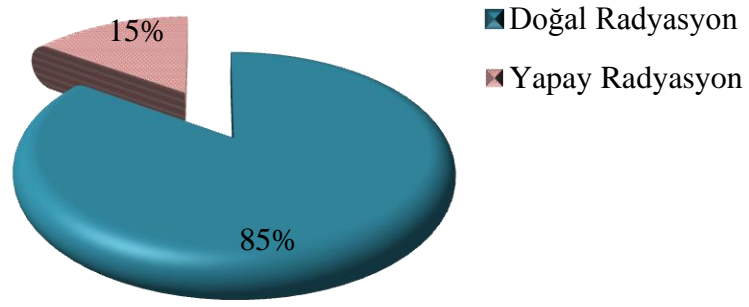
Gama ışınları yüksüzdür. Bu nedenle elektrik ve manyetik alanda sapmaya uğramazlar. Alfa ve beta ışınlarına göre daha fazla giricidirler. Kütleleri yoktur. Fotoğraf filmine etki ederler.



Şekil 2. 8 Alfa, Beta ve Gama ışınlarının giricilikleri kıyaslaması

### 2.4.3 Radyasyon Kaynakları

Dünya'nın oluşumundan bugüne kadar canlılar farklı şekilde radyasyona maruz kalmaktadır. Kozmik ışınlar, yapı malzemeleri, toprak, su ve gıdalardan doğal veya yapay olmak üzere iki şekilde radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal da olsa yapayda olsa iyonlaştırıcı radyasyon tehlikelidir. Doğal radyasyonun etkisi yapay radyasyona göre daha azdır. Doğal radyasyon ve yapay radyasyonun oransal dağılımı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

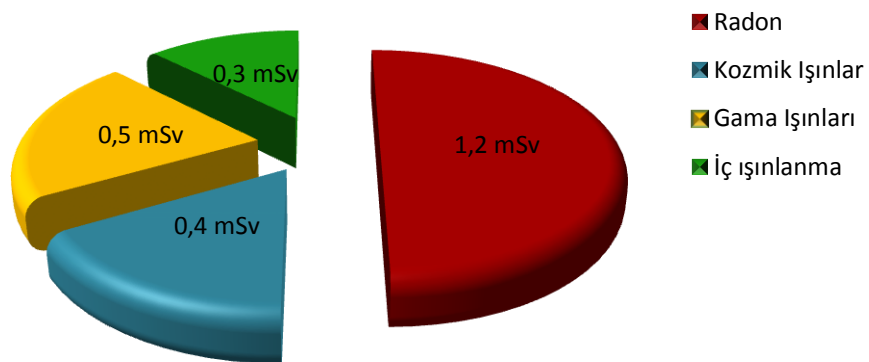


Şekil 2. 9 Doğal ve yapay kaynaklardan alınan radyasyon miktarı oranları

#### 2.4.3.1 Doğal radyasyon kaynakları

Doğada kendiliğinden var olan radyasyondur. Kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek için yaptığı bozunmalar sonucunda oluşur. Hava, su, bitkisel ve hayvansal besinlerde azda olsa radyoaktif madde bulunur. Vücuda solunum veya sindirim yoluyla alınır. Alınan radyoaktif maddeler organlarda birikir. Canlı hayatını olumsuz etkiler.

Doğal radyasyon kaynağının yaklaşık %50'sini radon oluşturmaktadır. Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 10 Doğal radyasyon seviyesini belirleyen etkenler

İnsanlar doğal ve yapay radyasyona yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamların fiziksel özelliklerine bağlı olarak yıllık ortalama 2,8 mSv doza maruz kalmaktadır.

Dünya çapında doğal radyasyon kaynağıyla alınan radyasyonun yıllık etkin doz değeri ortalama 2,4 mSv'dir. Radon gazından ötürü maruz kalınan yıllık ortalama doz miktarı yaklaşık 1,3 mSv'dir- (TAEK). Doğal radyasyon seviyesini; jeolojik yapı, mevsim, hava şartları, kullanılan binaların yapı malzemeleri gibi etkenlerle değişiklik gösterebilir. Dünya çapında yıllık ortalama etkin doz değerleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2. 2** Doğal Radyasyondan Kaynaklı Etkin Doz Değeri (İnt.Kyn.1)

Kaynak	Dünya çapında yıllık	
	ortalama etkin doz değeri	Tipik aralık
(mSv)		
<b>Dış maruziyet</b>		
Kozmik ışınlar	0,4	0,3 – 10 (a)
Yeryüzü gama ışınları	0,5	0,3 - 0,6 (b)
<b>İç maruziyet</b>		
Solunum (özellikle radon kaynaklı)	1,2	0,2 – 10 (c)
Yeme	0,3	0,2 – 0,8 (d)
<b>Toplam</b>	<b>2,4</b>	<b>1 – 10</b>

(a) Deniz seviyesinden yükseğe çıkıldıkça doz değişim aralığı

(b) Toprağın radyonüklid kompozisyonuna ve yapı malzemelerine bağlı değişim aralığı

(c) Kapalı ortamdaki radon gazı birikimine bağlı değişim aralığı

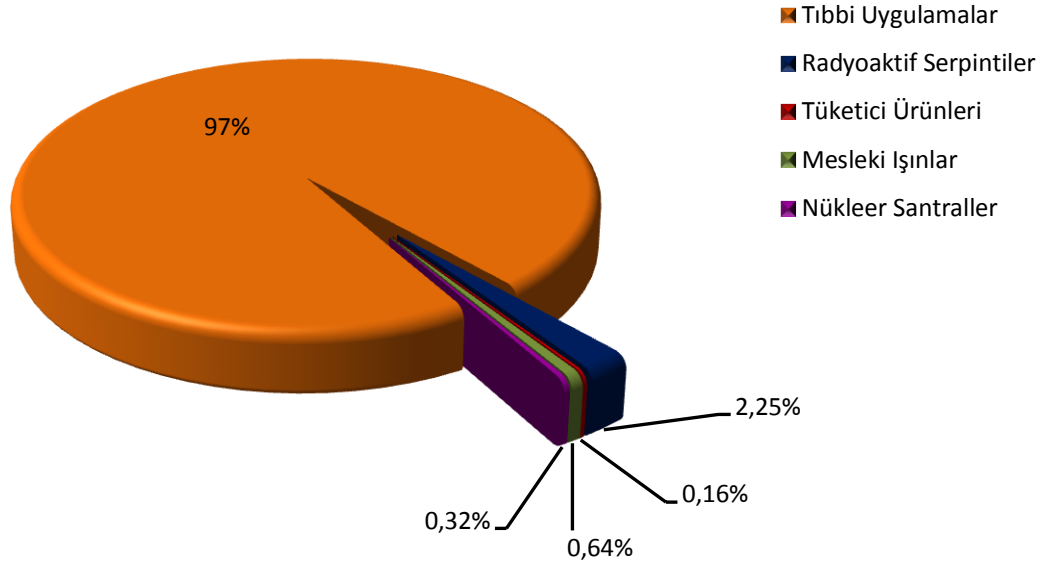
(d) Yiyecekler ve içme suyundaki radyonüklid bileşimine bağlı değişim aralığı.

#### 2.4.3.2 Yapay radyasyon kaynakları

Endüstriyel iş alanlarının artmasıyla ve teknolojinin gelişmesiyle yapay radyasyon kaynağını üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, işlerin daha kolay, daha ucuz, daha çabuk yapılmasına olanak sağlar. Bu nedenle yaşamımızdaki yapay radyasyon kaynağından kaçınılması imkansız olmuştur.

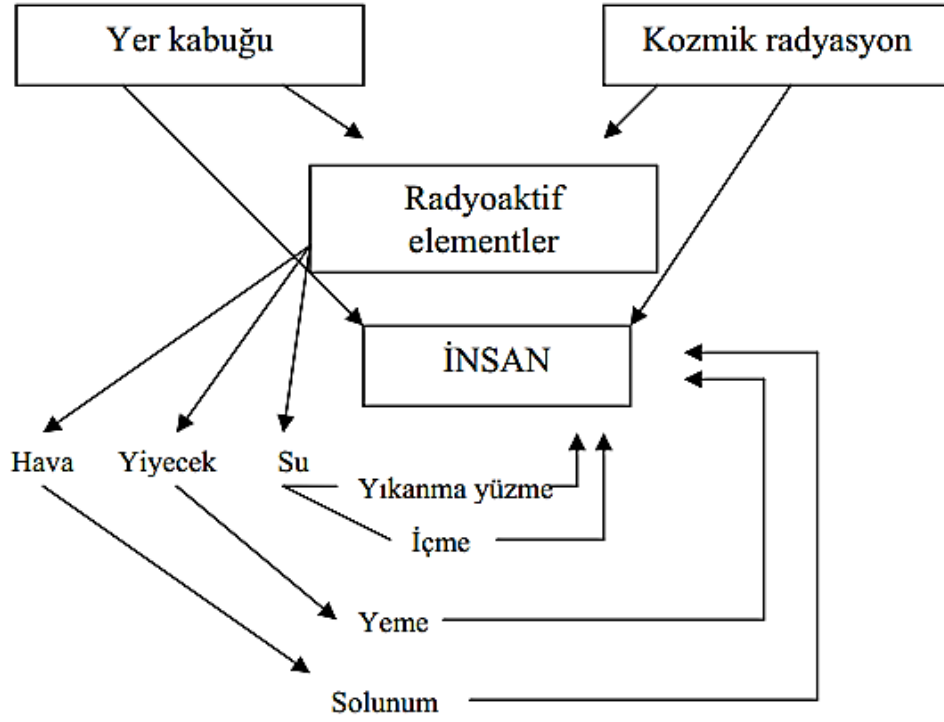


Tıpta, zirai ve endüstriyel işlerde kullanılan X ışınları, nükleer bomba ardındaki nükleer serpintiler, tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bazı yapay radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz miktarları Şekil 11’de gösterilmiştir (IAEA 1996).



Şekil 2. 11 Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğal ve yapay radyasyon insanı farklı şekillerde etkiler. Şekil 2.12’de radyasyonun insanı etkileme yolları verilmiştir (Çobanoğlu 1997).



Şekil 2. 12 Doğal ve yapay radyasyonun insanı etkileme yolları

## 2.5 Radon

Radon; tadı, kokusu, rengi bulunmayan radyoaktif bir gazdır. Soy gaz grubunda yer alan radon, hiçbir madde ile reaksiyona girmez. Havadan yaklaşık 7,5 kat, hidrojenden ise 100 kat ağırdır. Doğada bilinen en ağır gazdır.

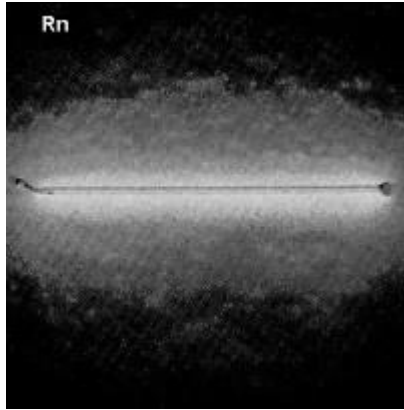
Havada radyoaktif bir gaz olarak bulunan radon Uranyumun ( $^{238}\text{U}$ ) serisinin izotopudur. Radyumun alfa ışınması sonucunda bozunmasıyla ortaya çıkmaktadır. Radonun bozunması başka radyoaktif elementler oluşturmaktadır. Bu bozunma zinciri radyoaktif olmayan kurşuna kadar devam etmektedir (Şekil 2.13).

ışınım türü	çekirdek	yarılanma ömrü
	uranyum-238	$4.5 \times 10^9$ yıl
$\alpha$	toryum-234	24.5 gün
$\beta$	protaktinyum-234	1.14 dakika
$\beta$	uranyum-234	$2.33 \times 10^5$ yıl
$\alpha$	toryum-230	$8.3 \times 10^4$ yıl
$\alpha$	radyum-226	1590 yıl
$\alpha$	radon-222	3.825 gün
$\alpha$	polonyum-218	3.05 dakika
$\alpha$	kurşun-214	26.8 dakika
$\beta$	bizmut-214	19.7 dakika
$\beta$	polonyum-214	$1.5 \times 10^{-4}$ saniye
$\alpha$	kurşun-210	22 yıl
$\beta$	bizmut-210	5 gün
$\beta$	polonyum-210	140 gün
$\alpha$	kurşun-206	kararlı

Şekil 2. 13 Uranyum Bozunum Ürünleri

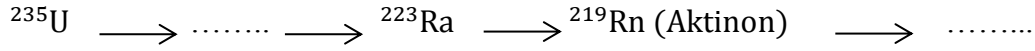
Radon ile ilgili özellikler Çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2. 3** Radon Gazının Özellikleri

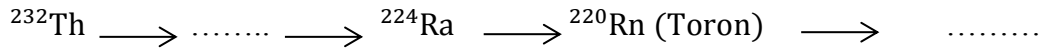
<b>Radon Gazının Özellikleri</b>	
<b>Sembol</b>	Rn
<b>Atom Numarası</b>	86
<b>Kütle Numarası</b>	222.0176
<b>Erime Noktası</b>	-71.0°C (202.15 K, -95.8 F)
<b>Kaynama Noktası</b>	-61.8°C (211.35 K, -79.24 F)
<b>Proton ve Elektron Sayısı</b>	86
<b>Nötron Sayısı</b>	136
<b>Sınıfı</b>	Soy gazlar
<b>Kristal Yapısı</b>	Kübik
<b>Yoğunluğu</b>	9.73 g/cm <sup>3</sup>
<b>Periyodik Cetvelde ki yeri</b>	6. Periyot 8A Grubu
<b>Yarılanma Süresi</b>	3.8 gün
<b>Elementin Resmi</b>	

Radonun doğada 3 izotopu bulunur.

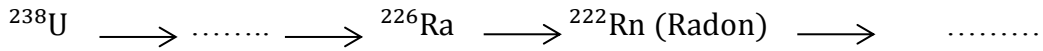
**Aktinon (Rn-219):** Yarı ömrü çok kısadır. Çok çabuk bozunmaya uğradığı için doğada çok fazla bulunmaz.



**Toron (Rn-220):** Aktinona göre yarı ömrü daha uzundur. Atmosferde aktinondan daha fazla bulunur. Toryum serisinin üyesidir.



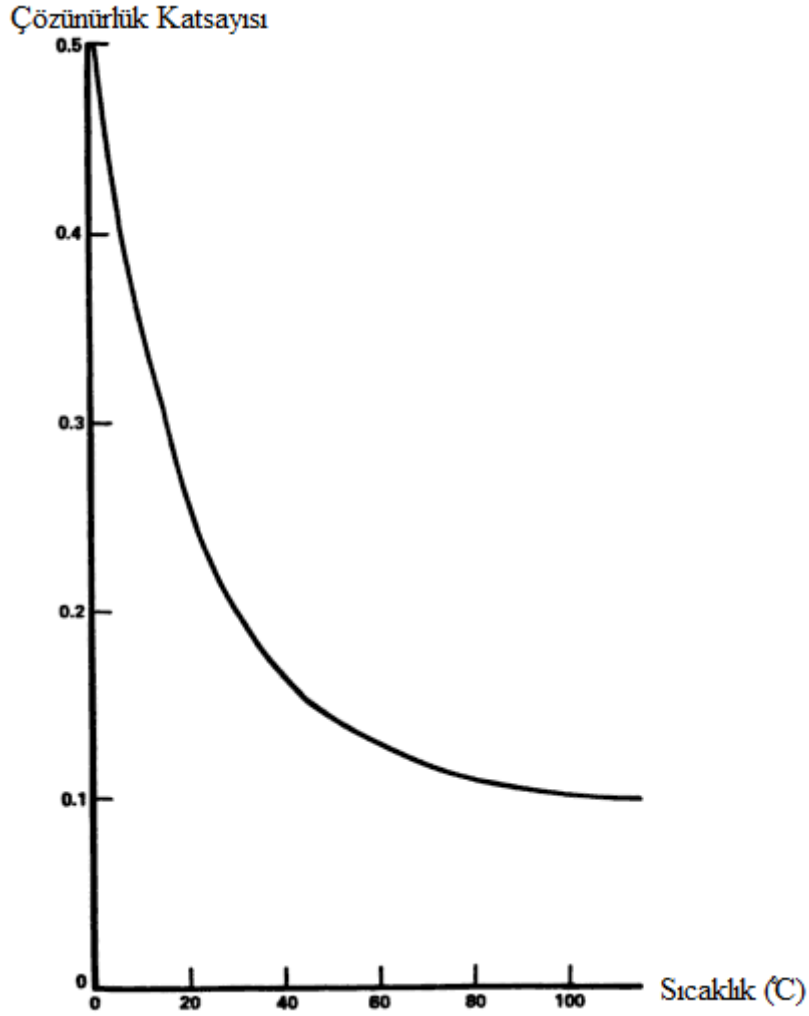
**Radon (Rn-222):** Aktinon ve radona göre daha uzun ömürlüdür. Yarı ömrü 3,85 gündür. Uranyum serisinin bozunum ürünüdür.



Radon izotopları içerisinde doğada bulunma olasılığı, yarı ömrünün daha uzun olması sebebiyle  $^{222}\text{Rn}$  daha fazladır (Çizelge 2.4). Bu nedenle atmosferde diğerlerinden daha fazla bulunur. Uranyum ve radyumun bozunum ürünü olduğu için uranyum ve radyumun bulunduğu her yer de vardır. Yapılan araştırmalar sonucunda radon gazının toprakta ve yeraltı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu belirtmektedir. Atmosfere topraktan ve sulardan yayılır. Yeraltı ve jeotermal sulardan radon gazı çıkışları sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini belirtmektedir (Şekil 2.14; Cothorn 1987).

**Çizelge 2. 4** Radon ve ürünleri

Seri	Radyonüklit	Adı	Yarı Ömrü
Uranyum	Rn-222	Radon	3,85 Gün
Toryum	Rn-220	Toron	55 s
Aktinyum	Rn-219	Aktinon	4 s



Şekil 2. 14 Radonun suda çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi (Cothorn 1987)

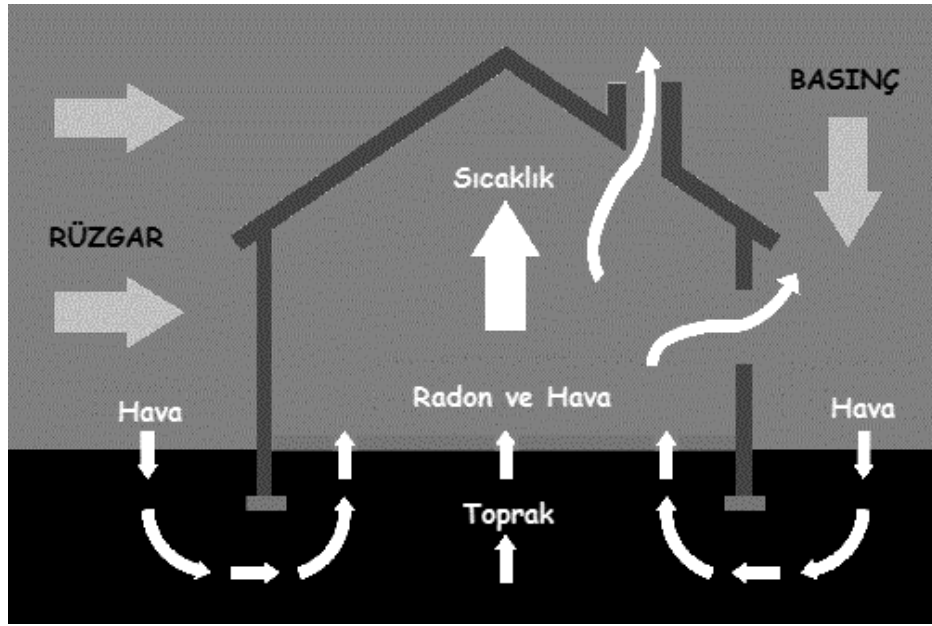
### 2.5.1 Radon Kaynağı

Radon Uranyumun bozunması sonucunda açığa çıktığı için uranyumun bulunduğu tüm kayalarda ve toprakta yaygın olarak bulunur. Gaz olarak bulunan radon toprak ve kayalardaki gözenekler ve çatlaklardan sızabilmektedir. Toprak ve kayaların geçirgenliği bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. Ana kayaya bağlı olarak toprak geçirgenliği farklılık gösterir. Toprak boyunca yükselen radon ve diğer gazlar binanın altında sıkışıp bir basınç oluştururlar. Topraktaki bu basınç binalardaki basınçtan daha yüksektir. Bina altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar çatlak ve boşluklardan atmosfere karışırlar. Çıkan gaz miktarı;

- Toprağın geçirgenliğine

- Toprağın durumuna
- Meteorolojik koşullara
- Yeraltı suları

vb. gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle değişik bölgelerde radon miktarı değişiklik gösterebilir. Hatta meteorolojik koşullarda göz önüne alındığında zamana bağlı olarak da aynı yerleşim yerinde değişiklik gösterdiği söylenebilir (Şekil 2.15).



Şekil 2. 15 Radonun topraktan havaya kaçması

Radon (222) 1900 yılında Friedrich Ernst Dorn radyum tuzlarının bozunarak radon gazını oluşturduğunu buldu. Radonun insana zararı insanın hareketlerinden kaynaklı değildir. Radonun doğal etkisi sonucunda insana zarar verebilen etkilerden biridir.

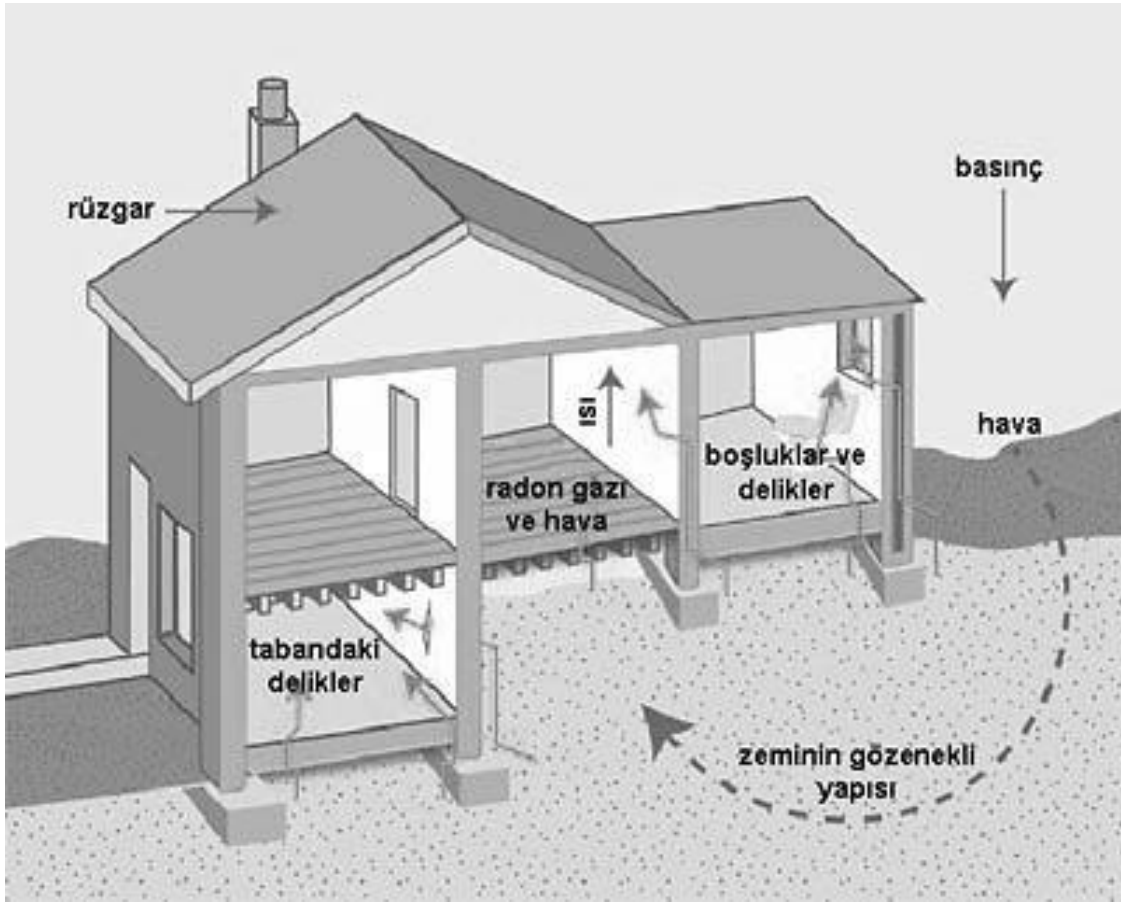
### 2.5.2 Kapalı Ortamlarda Radon

İnsanlar zamanlarının yaklaşık olarak %80'ini kapalı ortamlarda geçirdiği düşünüldüğü zaman radon ve bozunum ürünlerinden kaynaklı radyasyondan olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu nedenle radon etkisi insanlar üzerinde önemli bir durum oluşturmaktadır. Kapalı ortamlardaki radon gazının yaklaşık %90'nı binanın temelindeki kayalar ve topraktan kaynaklanmaktadır. Topraktan sızan radon önemli kapalı ortam kirleticisidir. Özellikle zeminin toprak olduğu binalarda radon kolayca

bina içine geçebilmektedir. Havadan ağır olması nedeniyle yerden yaklaşık 50 santimetre mesafede yoğun olarak bulunmaktadır. Özel bir havalandırma sistemi bulunmuyorsa bina içerisindeki basınç dışarıdaki basınçtan düşük olduğu için bina içerisinde kalma eğilimi gösterirler. Binalardaki radon seviyesini belirlemede

- Toprak ve yapı malzemesindeki radyum (226) miktarı
- Toprak ve yapı malzemesindeki nem oranı
- Toprak ve yapı malzemesindeki gözenek ve çatlak durumları
- Toprakla temasta olan binanın alanı ve izolasyon durumu
- Bina zemininin yapısı
- İklim koşulları
- İç ortamın ve dış ortamın sıcaklık ve basınç farkları

gibi etmenler etki etmektedir (TAEK).



Şekil 2. 16 Binaya Radon gazı girişi



Kapalı ortamlara radon girişine;

- Zemindeki gözenekler ve çatlaklar
- Yapı bağlantı noktaları
- Duvarlarda bulunan çatlaklar
- Tesisatlardaki boru boşlukları
- Asma kat boşlukları
- Duvarlar arası boşluklar
- Binada kullanılan su

gibi etmenler neden olmaktadır.

### **2.5.2.1 Kapalı Alanlarda Radon Gazı Girişini ve Birikimini Azaltıcı Önlemler**

Radon gazı, kayaçlardaki çatlaktan ve topraktan kolayca yüzeye çıkabildiği için binalarda zemin çatlakları ve kırıkları, bağlantı noktaları, boşluklar vb. gibi durumlardan dolayı kolayca bina içlerine de sızabilmektedir. Bu nedenle kapalı ortamlarda radon konsantrasyon değerinin düşürülmesi için bir takım önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler;

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmelerine bakılarak, sonuçlara göre tavsiye edilen radyoaktivite değerinin altındaki yapı malzemelerini kullanılmalıdır.
- Binaların toprakla temasta olan bağlantı yerlerinin izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bina temeline beton veya sap atılmalıdır. Sızıntıya sebebiyet verecek durumlar önlenmeye çalışılmalıdır.
- Binalarda oluşan çatlaklar kapatılmalıdır.
- Evlerde sık sık havalandırma yapılmalıdır.
- Kapalı ortamlarda radondan kaynaklı kanser riskini arttırdığından, sigara içilmemelidir.
- Binalara radon girişini önlemek için zemin altındaki radon gazını fan veya boru yardımıyla dışarı atılması sağlanmalıdır.

Yeni yapılan binalardaki radon birikmesini önlemek için yapılması gerekenler:

- Radon sızıntısının engellenmesi için kolay sızıntı yapabilecek malzeme kullanımından kaçınılmalıdır.
- Tehlikeli zeminlerde inşaat yapımına hiçbir durumda izin verilmemelidir.
- Yerden radon girişini engelleyici malzemeler kullanılmalıdır.

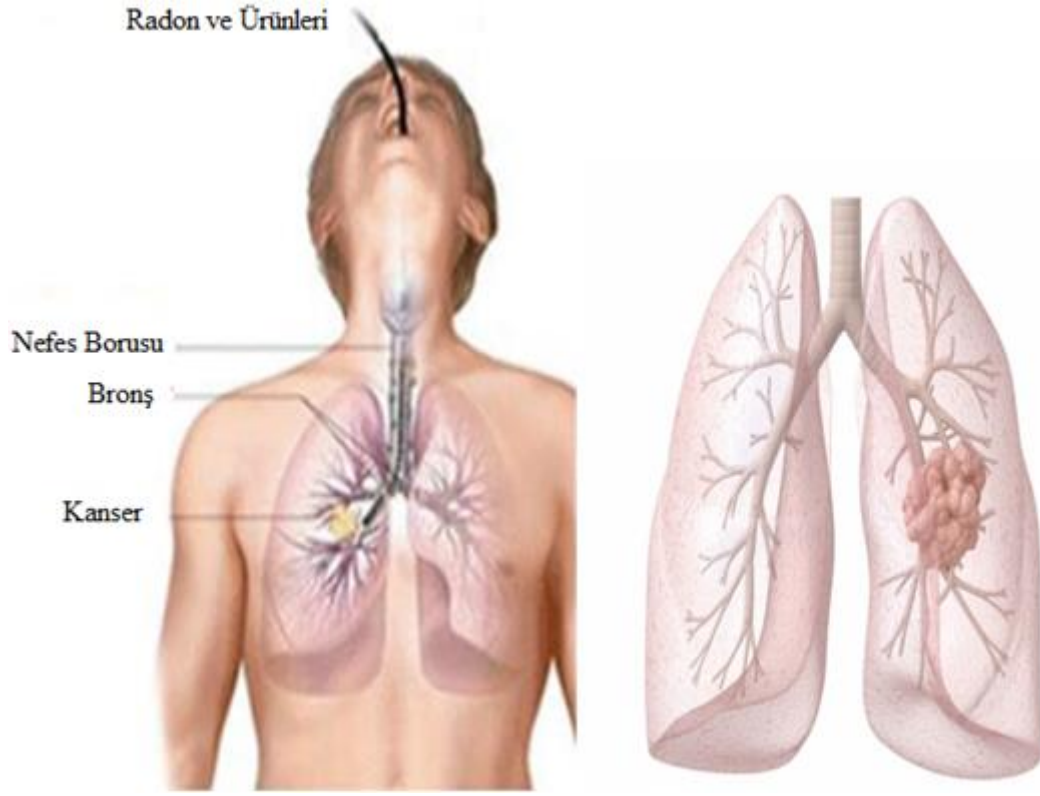
### 2.5.3 Radonun Sağlık Üzerine Etkileri

Radon ve bozunum ürünleri solunması ile sağlık sorunları oluşturabilmektedir. Radonun bir kısmı topraktan sızarak havaya karışırken diğer kısmı çözünerek yeraltındaki sularına karışmaktadır. İnsan vücuduna sindirim veya solunum yoluyla alınan radon akciğerin dokularına yerleşir. Solunması ile birlikte solunum sisteminde başlayan ışımlar sonucunda bronşlardaki dokularda radyasyon dozu artmaktadır. En küçük dokulara bile yerleşen radon organa zarar verir. Kararlı hale geçinceye kadar devam eden bozunmalar süresince radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu nedenle akciğer dokularında hasar oluşabilmektedir. Zarara uğrayan dokular zamanla kansere neden olabilmektedir.

Radon gazının reaksiyona girme kabiliyeti ve dokulardaki çözünürlüğü düşük olduğu için dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Bu nedenle akciğerlerde yarı ömrünü tamamlamadan geri atılır. Lakin radonun alfa ve beta parçacıkları yayımlayarak bozunmaları sonucunda oluşan polonyum, bizmut ve kurşun radyoaktif izotopları radon gibi gaz halinde olmadıkları için toz veya havadaki diğer parçacıklara tutunarak solunum yoluyla vücuda alınır. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon solunumla akciğerlere tutunabilecek yapıya dönüşmektedir. Akciğere yerleşen parçacıklar kararlı hale geçinceye kadar bozunmalarını devam ettirmektedir. Bozunma sırasında açığa çıkan enerji akciğer dokusunda hasara neden olmaktadır. Hasara uğrayan dokular nedeniyle zamanla akciğer kanseri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle radon ve bozunum ürünlerinin solunum yoluyla vücuda alınması sağlık açısından tehlike oluşturmaktadır. Akciğer kanserine yakalanma riski doğrudan radondan kaynaklı değildir, radonun bozunum ürünlerinden kaynaklıdır.

Radon gazının solunması solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi etkilere yol açmaz. Akut etki olarak hiçbir belirtisi yoktur. Radondan dolayı oluşan risk maruz kalınan doz miktarının artmasıyla artar. Maruz kalınan doz etkilenme süresi ve şiddetine

bağlıdır. Bu değişkenler akciğer dokularındaki açığa çıkan radyasyon miktarını belirlemektedir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre; radondan kaynaklı akciğer kanseri oluşma riski sigaradan sonra ilk sırada gelmektedir (UNSCEAR 2000)



**Şekil 2. 17** Radon ve ürünlerinin solunum yoluyla alınması ve akciğerlerdeki etkisi

Radonun asıl kaynağı uranyum olduğu için radon konsantrasyon değeri bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak radon konsantrasyon sınır değeri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Çizelge 2.5’de farklı ülkelerde belirlenen kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonunun sınır değeri verilmiştir.

**Çizelge 2. 5** Farklı Ülkelerde Belirlenen Kapalı Ortamlardaki Radon Konsantrasyonunun Sınır Değeri (Bq/m<sup>3</sup>)

<b>A.B.D</b>	150	<b>İsveç</b>	200	<b>Türkiye</b>	400
<b>Almanya</b>	250	<b>İrlanda</b>	200	<b>Norveç</b>	200
<b>İngiltere</b>	200	<b>Fransa</b>	400	<b>Lüksemburg</b>	250
<b>Çin</b>	200	<b>Danimarka</b>	400	<b>Avustralya</b>	200
<b>Kanada</b>	800	<b>Hindistan</b>	150	<b>Rusya</b>	200

Türkiye’de radon konsantrasyon sınır değeri Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine göre 400 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir (TAEK 2000). Uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen radon konsantrasyon sınır değeri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

**Çizelge 2. 6** Ulusal örgütler tarafından radon sınır değerleri (Bq/m<sup>3</sup>)

<b>AB</b>	400
<b>ICRP</b>	400
<b>WHO</b>	100

İngiltere’de yapılan epidemiyolojik çalışmalar sonrasında; İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere’de yıllık 41000 akciğer kanserli hastaların en az 2500’ünün kanserli durumunu radona bağlamaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinin Halk Sağlığı Servisi’nde yapılan çalışmalarda ise akciğer kanseri vakalarının bir yılı baz olarak değerlendirdiğinde; sigara içenlerden 15000, sigara içmeyenlerden ise 5000’inin kansere yakalanmasını radona bağlamaktadır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP), radona bağlı olarak akciğer kanserine yakalanma riskini %10 olarak vermiştir.

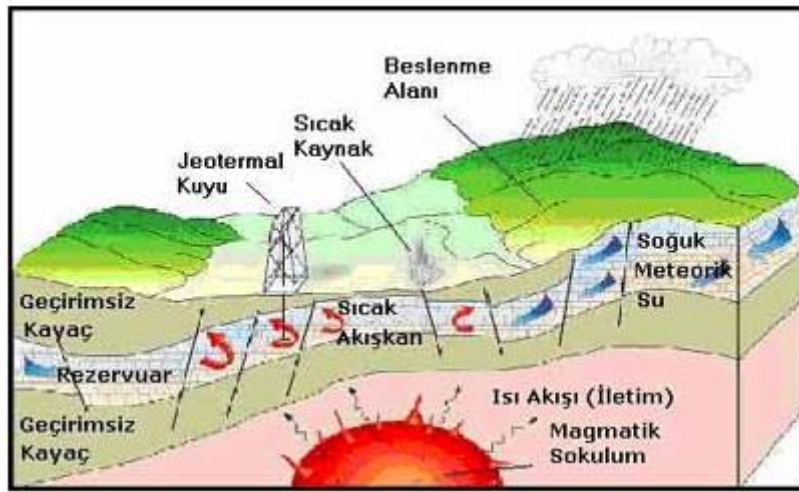
Bu açıklamalar yüksek dozda radona maruz kalan kişiler akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmez. Maruz kalmayla kanser oluşu arasında geçen süre uzun

olabilmektedir. Sigara içen insanlar yüksek dozda radona maruz kaldıklarında akciğer kanserine yakalanma riski sigara içmeyen insanlara daha fazladır.

## 2.6 Jeotermal kaynak

Yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş ısının meydana getirdiği, devamlı 20 °C'den yüksek sıcaklığa sahip ve etrafındaki yer üstü sularına nispeten daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buharlara jeotermal kaynak denir.

Jeotermal kaynakların; ısı kaynağı, ısıyı yer altından yüzeye taşıyan akışkan ve suyun sirkülasyonunu sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliği olmak üzere üç bileşeni vardır. Jeotermal sahalarda sıcak kayaç ve yüksek su sıcaklığı normal alanlara nazaran daha sığ yerlerde bulunmaktadır. Bu durumun nedenleri arasında; magmanın kabuğa kadar yükselmesi ve bu nedenle ısının taşınması, yeraltı sularının derine inerek ısındıktan sonra tekrar yüzeye doğru çıkması ve kabuğun incelendiği yerlerde yüksek sıcaklık farkı sonucunda ısı akışının oluşması gibi sıralanabilir (Şekil 2.18).



Şekil 2. 18 Jeotermal sistemin şematik görünümü (İnt.Kyn.2)

Jeotermal sular yeryüzüne ulaşana kadar geçtikleri yollar üzerindeki kayaçları yıkamaktadır. Yıkaması sırasında çevresinde bulunan doğal mineralleri, mikro organizmaları ve radyoaktif maddeleri içerisine almaktadır. Bu nedenle jeotermal sular radyoaktif madde miktarı bakımından oldukça zengindir. Jeotermal suların içerisindeki radyoaktif maddelerin bir kısmı suların çıktığı yerlerde havaya karışmaktadır. Havaya karışan radyoaktif maddeler bozunmaya devam etmektedir. Jeotermal kaynakların

çevresine kurulan tesisler bu suları kullandıkları için tesis içerisine giren jeotermal sular yoluyla radyoaktif maddeler bina içerisine yayılırlar. Bina içerisine yayılan radyoaktif maddeler doğal radyasyon kaynağını oluşturmaktadır. Ortamda en çok bulunan radyoaktif gaz ise radon gazıdır. Bu nedenle kaplıca ortamlarında radon ölçümü oldukça önemlidir.

## **2.7 Kaplıcalarda Radon**

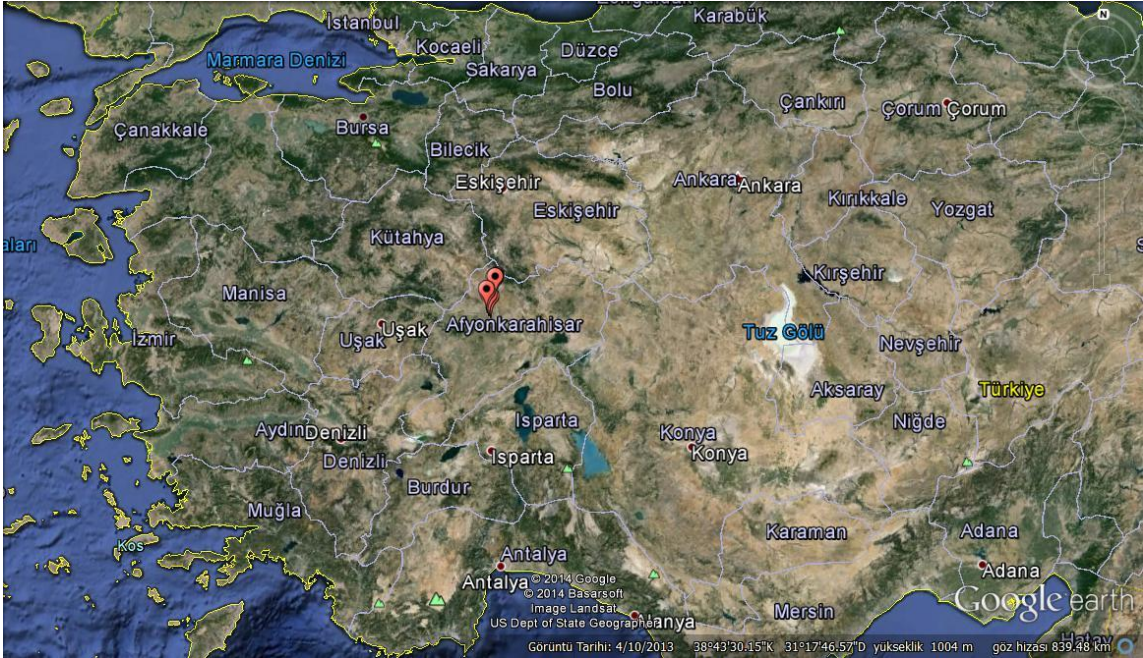
Radonun bir kısmı topraktan sızarak havaya karışırken diğer kısmı çözünerek yeraltındaki sularına karışmaktadır. Jeotermal sularla taşınan radon çıktığı noktalarda buharlaşmayla havaya karışmaktadır.

Kaplıca; jeotermal sulardan faydalanmak için kaynarca çevresinde kurulan tesislerdir. Bu nedenle jeotermal sularla taşınan radonun birikme noktalarıdır. Genel olarak jeotermal suların kullanıldığı kapalı alanlardaki radon konsantrasyonu diğer kapalı ortamlara göre daha fazladır. Çünkü jeotermal sularda radon miktarı daha fazladır. Jeotermal suların kullanıldığı tesislerde havuz, hamam ve odalardaki banyo amaçlı kullanılan sulardan açığa çıkan radon havaya karışıp solunum yoluyla vücuda alınır. Vücuda alınan radon bütün hücrelere yayılır. Soygaz olan radon hücrelerdeki diğer maddelerle etkileşmez. Radonun alfa ve beta bozunmaları sonucu oluşan ağır metaller vücuda olumsuz etkiler.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Bölgenin Tanıtılması

Ege bölgesinin iç kesimlerinde yer alan Afyonkarahisar ili kaplıca ve jeotermal suları bakımından ülkemizin en zengin bölgelerinden biridir (Şekil 3.1). Birçok noktasında jeotermal su çıkışı gözlenmektedir. Zengin jeotermal su kaynakları bulunan Afyonkarahisar, son yıllarda, yılın 12 ayı hizmet verebilen bir sektör olan termal turizm alanında önemli gelişmeler göstermiştir. Jeotermal suların bulunduğu alanlardaki otellerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır.



Şekil 3. 1 Afyonkarahisar'ın Türkiye haritası üzerindeki konumu

Bu çalışmada, Afyonkarahisar'daki termal tesislerden bazılarında hem hamam olarak kullanılan alanlarda hem de çalışanların kullandığı ofislerde kapalı ortam radon aktivite konsantrasyonu tayin edilmiştir. Detektörlerin yerleştirildiği 10 noktada yapılan anketler sonucunda alınan bilgilere göre yılda ortalama 500000 kişi misafir ağırlanmaktadır. Ayrıca bu noktalarda yılda ortalama 1000 kişi çalışmaktadır. Çalışmanın yapıldığı termal tesislerin konumları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Termal tesislerin konumları

### 3.2 Radon Ölçümü

Doğal radyoaktif bir gaz olan radon rengi, kokusu ve tadı olmaması nedeniyle sadece bu amaçla tasarlanmış özel cihazlarla ölçülebilir. Bu alanda birçok cihaz ve yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen cihazlar radon ve bozunum ürünlerinin yaydığı alfa, beta ve gama ışınlarını baz alarak ölçüm yapar. Radon ve radon bozunum ürünlerini ölçmek için aktif ve pasif olmak üzere iki temel ölçüm yöntemi vardır.

**Aktif Ölçüm Yöntem:** Bu yöntemle ölçüm yapabilmek için pompalar, güç kaynakları, elektronik sistemler gibi cihazlar gerekmektedir. Aktif ölçüm sisteminde sintilasyon hücreleri, iyon odaları veya spektroskopik sayım cihazları kullanılmaktadır.

**Pasif Ölçüm Yöntemi:** Elektronik sistemler gerektirmeyen yöntemdir. Aktif ölçüm yöntemine göre daha ucuz bir yöntemdir. Pasif ölçüm yönteminde; termoluminesans detektörleri ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  veya LİF gibi) veya katı hal nükleer iz detektörleri; selüloz nitrat (LR-115) veya polialil diglikol karbonat (PADC, pasif radon detektörü, CR-39) kullanılır.



Nükleer iz detektörleri ile yapılan alfa sayımı kapalı ortamlardaki radon aktivitesi konsantrasyonunu belirlemek için kullanılabilir en ucuz yöntemdir. Bu nedenle en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Filmler her radyasyon türüne karşı duyarlı değildir. İz kazıma tekniğinde bu nedenle genelde üzerine gelen alfa parçacığı sayısını verir. Bu da alfa parçacığının kendine özel durumudur.

Bu çalışmada Afyonkarahisar ilindeki bazı kaplıca ortamlarında ki radon konsantrasyon düzeylerinin belirlenmesi amacıyla CR-39 katı hal iz detektörleri kullanılmıştır. Nemli ortam ve normal ortam detektörleri olmak üzere iki farklı CR-39 detektörü kullanılmıştır.

### **3.2.1 CR-39 Nükleer İz Detektörleri**

Kimyasal formülü  $C_{12}H_{18}O_7$  olan CR-39 pasif radon ölçüm detektörlerinin kimyasal yapısı alil diglikol karbonattır (Resim 3.1). Yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm olan CR-39 detektör filmleri difüzyon kapları içerisine yerleştirilmiştir (Resim 3.2). Sadece radon gazı için tasarlanan difüzyon kapları içerisinde alfa bozunumu sırasında açığa çıkan radyasyon detektör filmleri üzerinde izler bırakır. Film üzerindeki izler kimyasal işlemlerle optik mikroskoplarda görülebilecek büyüklüğe getirilir. Film üzerindeki iz sayısı ortamdaki radon miktarıyla doğru orantılıdır.

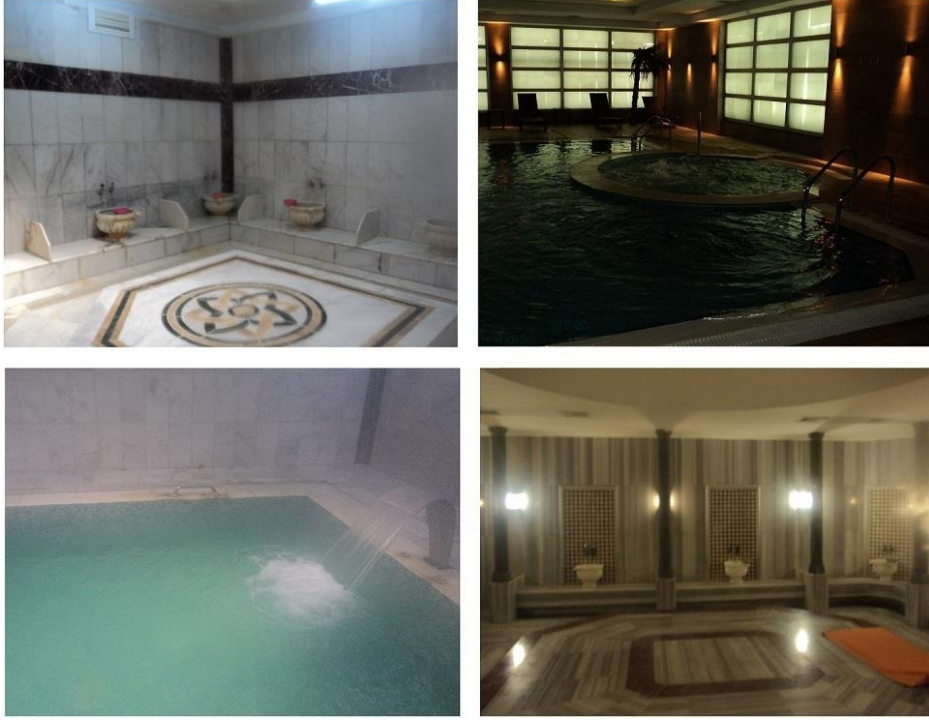


**Resim 3. 1** Radon konsantrasyon ölçümü için kullanılan detektörler



**Resim 3. 2** Difüzyon kapları

Çalışmamızda jeotermal suların kullanıldığı havuzlara, hamamlara (Resim 3.3) ve bu ortamlara yakın noktalardaki ofislere (Resim 3.4) detektörler yerleştirilmiştir. Yaklaşık olarak 3 ay ortamda bırakılan detektörler Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezine (SANAEM) götürülerek analizleri yapılmıştır.



**Resim 3. 3** Detektörlerin konulduğu havuz ve hamam alanları



**Resim 3. 4** Detektörlerin konulduğu ofis alanları

### 3.2.2 Detektörlerin Kimyasal İşleme Hazırlanması

1. Analizi yapılacak olan detektörler sarılı oldukları poşetlerden çıkartıldı.
2. Detektör kaplarının (Rodopat) kapakları çıkartıldı. Kapak altındaki CR-39 detektörleri keten eldivenlerle çıkartılıp 12 detektör yuvası bulunan slaytın her yuvasına slaytın üzerinde yazılı olan 2L yazısı en üstte, kesik kenar sol üstte, detektör üzerinde yazılı kod alt kenarda, yivli kısım ise sol üst köşede olacak şekilde yerleştirildi.
3. Detektör slaytları detektör tutucu diske yerleştirilir. Detektör tutucu içerisinde boş kalan yerlere boş slaytlar takıldı (Resim 3.5).



**Resim 3. 5** Boş detektör kapları ve slaytları

### 3.2.3 Detektörlerin Kimyasal Kazıma İşlemi

Detektörlerin kimyasal işleminde Radosys marka RB4111LID seri numaralı malzeme kullanıldı. İşlemlerde kullanılan terazi Ohaus/Lume-0-Gram Balance'dır. Kullanılan Sodyum Hidroksit Kristalinin (NaOH) derişimi %99 üretici firması ise Merck'dir. Kullanılan Asetik Asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , sirke) derişimi %20 üretici firması ise Kavaklıdere'dir.

1. Banyo kabına (Radobath) 4 L saf su dolduruldu. Karıştırıcı banyo ünitesine yerleştirildi ve banyo kabı çalışma durumuna getirildi.
2. Banyo kabı Resim 3.6’de gösterilen ön paneldeki düğmeleri kullanılarak “solution preparation” moduna ayarlandı. Banyo ünitesindeki ısınan suyun sıcaklığı ekrandan takip edildi.



**Resim 3. 6** Banyo ünitesinin programlanması

3. Sodyum hidroksit çözeltisi hazırlamak için banyo kabının üst kısmına huni yerleştirildi. 1000 gr sodyum hidroksit tuzu tartıldı. Banyo ünitesi içinde ısına su 60°C’ye ulaştığında spatula ile azar azar huni yardımıyla sodyum hidroksit kristalleri Resim 3.7’de görüldüğü gibi eklendi. Bu işlem yaklaşık olarak yarım saat devam ettirildi.



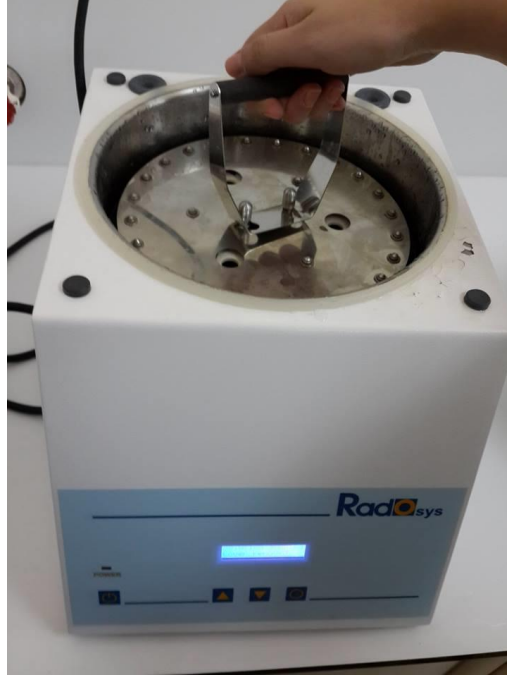
**Resim 3. 7** Banyo ünitesine sodyum hidroksit eklenmesi

4. Sodyum hidroksit çözeltisi hazır olduğunda üniteden sesli uyarı geldi. Bu sesli uyarı sonrasında ünite üzerinde bulunan ayarlama düğmeleriyle “solution preparation aborted” moduna getirildi.

Her sodyum hidroksit eklenmesinde en az 2 dakika beklendi. Eğer beklenmeseydi egzotermik bir reaksiyon olduğu için suyun sıcaklığında aşırı yükselme olurdu ve su taşardı.

Detektör tutucularına en fazla 36 slayt takılabilir. Bu da demektir ki bir defada 432 CR-39 detektör kimyasal kazıma tabi tutulabilir. Az sayıda detektörü kimyasal kazıma tabi tuttuğumuzda çözelti saklanarak tekrar kullanılabilir.

5. Banyo ünitesi içerisindeki suyun sıcaklığı 90 °C olduğunda detektör tutucu disk banyo ünitesi içerisine yerleştirildi ve banyo ünitesinin kapağı kapatıldı (Resim 3.8).



**Resim 3. 8** Detektör tutucu diskin banyo ünitesine yerleştirilmesi

6. Banyo ünitesi üzerinde bulunan düğmeler vasıtasıyla “etching” moduna ayarlandı. Detektörlerin kimyasal kazıma işlemi 4,5 saat sürdü. İşlem tamamlandığında ünite sesli uyarı verdi. Banyo ünitesi “etching aborted” moduna alınarak banyo ünitesi içerisindeki sıcak sodyum hidroksit çözeltisi vana açılarak hortum yardımıyla boşaltıldı (Nötralizasyon işlemi yapıldıktan sonra kanalizasyona verilmelidir).
7. 4 L saf su içerisine 0,2 L asetik asit eklenerek, asetik asit çözeltisi banyo ünitesine boşaltıldı. Ünitenin modu “neutralization”a ayarlandı. Bu işlem 20 dakika sürdü. Gelen sesli uyarıyla program “neutralization aborted” moduna ayarlandı. Banyo ünitesi içerisindeki çözelti boşaltıldı.
8. 4 L saf su banyo ünitesine eklenerek program “neutralization” moduna getirildi. 20 dakika nötralizasyon işlemine tabi tutuldu.
9. Nötralizasyon işlemi sonrasında banyo ünitesi içerisindeki saf su boşaltılarak detektörler kuruması için bekletildi.

### **3.2.4 İz Sayımı**

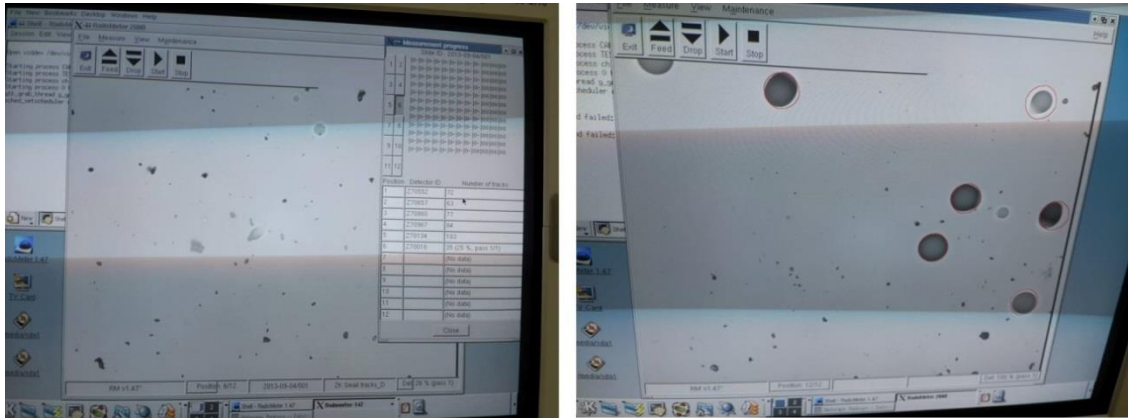
Kimyasal kazıma tabi tutulan CR-39 nükleer iz kazıma detektörleri slayt tutucu disk üzerinden slaytlar çıkartılarak RADOSYS Radometer Microscope markalı seri numarası

1129 olan iz sayımı ünitesine slaytlar tek tek üniteye verilerek okutma işlemi gerçekleştirildi (Resim 3.9).



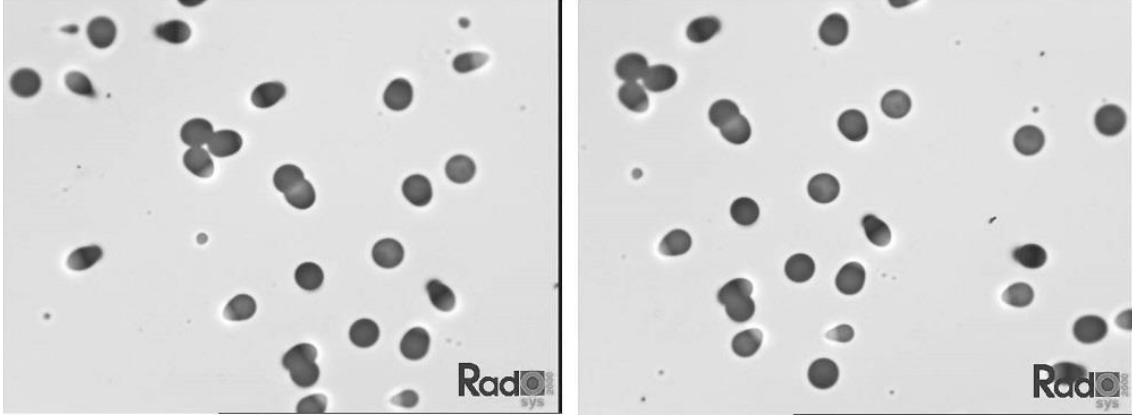
**Resim 3. 9** RADOSYS Radometer Microscope cihazı

Okutma işlemi sırasında detektör üzerindeki izlerin sayımı yapıldı (Şekil 3.3). Sayılan izler radon aktivite konsantrasyonunu hesaplamada kullanıldı (Şekil 3.4).



**Şekil 3. 3** İz sayımı sırasındaki izlerin görüntüsü





Şekil 3. 4 Sayım sonrası iz görüntüsü

### 3.3 Radon Aktivite Konsantrasyonunun Bulunması

İzlerin sayımından sonra radon aktivite konsantrasyonu

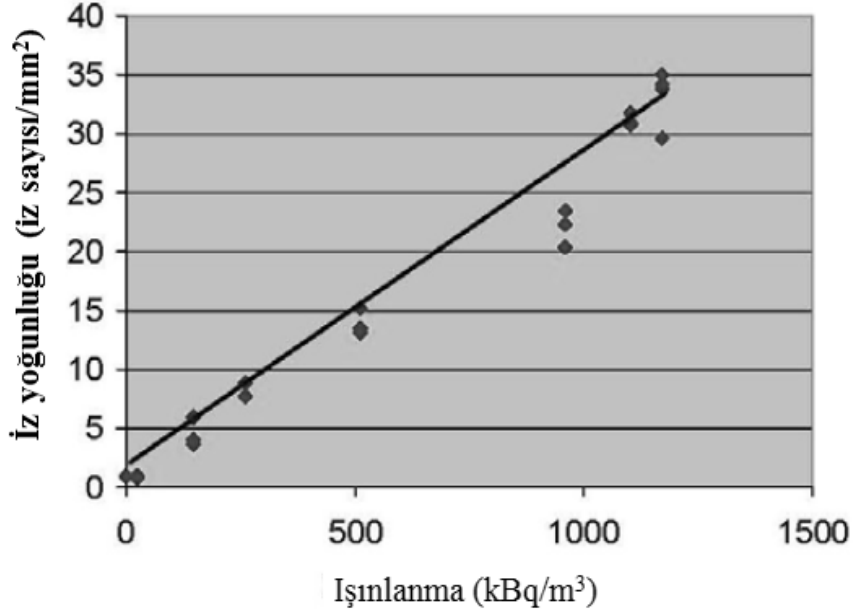
$$RAC = CF \times \left( \frac{\text{iz sayısı}}{46,8} \right) \times \left( \frac{1000}{\text{gün}} \right) \times 24 \quad (3.1)$$

denklemleri ile bulunmuştur.

RAC : Radon aktivite konsantrasyonu.

CF : Kalibrasyon faktörü.

Bilinen radon aktivite konsantrasyonuna karşılık gelen iz yoğunluğundan yararlanarak radon aktivite konsantrasyonunu bulabilmek amacıyla kalibrasyon doğrusu Şekil 3.5'te verilmiştir (Radosys 2000).



Şekil 3. 5 Radon aktivite konsantrasyonu kalibrasyon doğrusu

### 3.4 Standart Sapma Hesabı

Hesaplanan radon aktivite konsantrasyonu değerlerinin standart sapması

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (3.2)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

### 3.5 Yıllık Ortalama Etkin Doz Eşdeğeri Hesabı

Yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri hesabı için

$$\text{YEDE} = \text{RAK} \times \text{F Faktörü} \times \text{EEC} \times \text{Maruziyet Faktörü} \times 8760 \quad (3.3)$$

denklemleri kullanılmıştır.

**YEDE:** Yıllık etkin eşdeğer doz miktarı.

**RAK:** Radon aktivite konsantrasyonu

**F denge faktörü:** Etkin doza çevirme katsayısıdır. Bina içi ortamları için 0,4, dış ortamlar için 0,8 alınmaktadır (UNSCEAR 1993).

**EEC (Equilibrium Equivalent Concentration):** Eşdeğer konsantrasyonu etkin doza çevirme katsayısıdır. EEC değeri 9 nSv olarak alınmaktadır.

**Maruziyet faktörü:** Evlerde insanların zamanlarının %80' ini bina içerisinde geçirdikleri varsayılarak 0,8 olarak tanımlanmıştır. Fakat çalışmamızda ofis ortamlarında günlük 10 saat hamam ortamlarında 5 saat vakit geçirildiği düşünülerek hesaplanmıştır.

#### 4. BULGULAR

Afyonkarahisar'daki termal tesislerden 10 tanesinde, jeotermal suların bulunduğu havuz etrafında veya jeotermal suların kullanıldığı hamamlar ve bu ortamlara yakın yerlerdeki ofislerde CR-39 nükleer iz detektörleri kullanılarak Haziran 2013-Mayıs 2014 arasında üçer aylık periyotlarla dört defa radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapılmış, ölçüm noktalarının yıllık ortalama radon aktivite konsantrasyonu ve yıllık ortalama etkin doz değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerlerin mevsimsel ve meteorolojik parametrelerle değişimi incelenmiştir. Jeotermal tesis içerisindeki termal havuz ve hamamların bulunduğu alanlara neme dayanıklı, havuzlara yakın yerlerdeki ofislere ve spa resepsiyonlarına standart CR-39 nükleer iz detektörleri yerleştirilmiştir. Hamam ortamlarına 19 ve ofis ortamlarına 20 olmak üzere her dönem toplam 39 adet detektör kullanılmıştır. Tüm dönemlerin toplamında 156 detektör kullanıldı, 24 detektörün geri dönüşü olmamıştır. Radon aktivite konsantrasyonu değişiminin mevsimlerle olan ilişkisini incelemek amacıyla yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemleri olmak üzere ölçümler 4 defa tekrarlanmıştır.

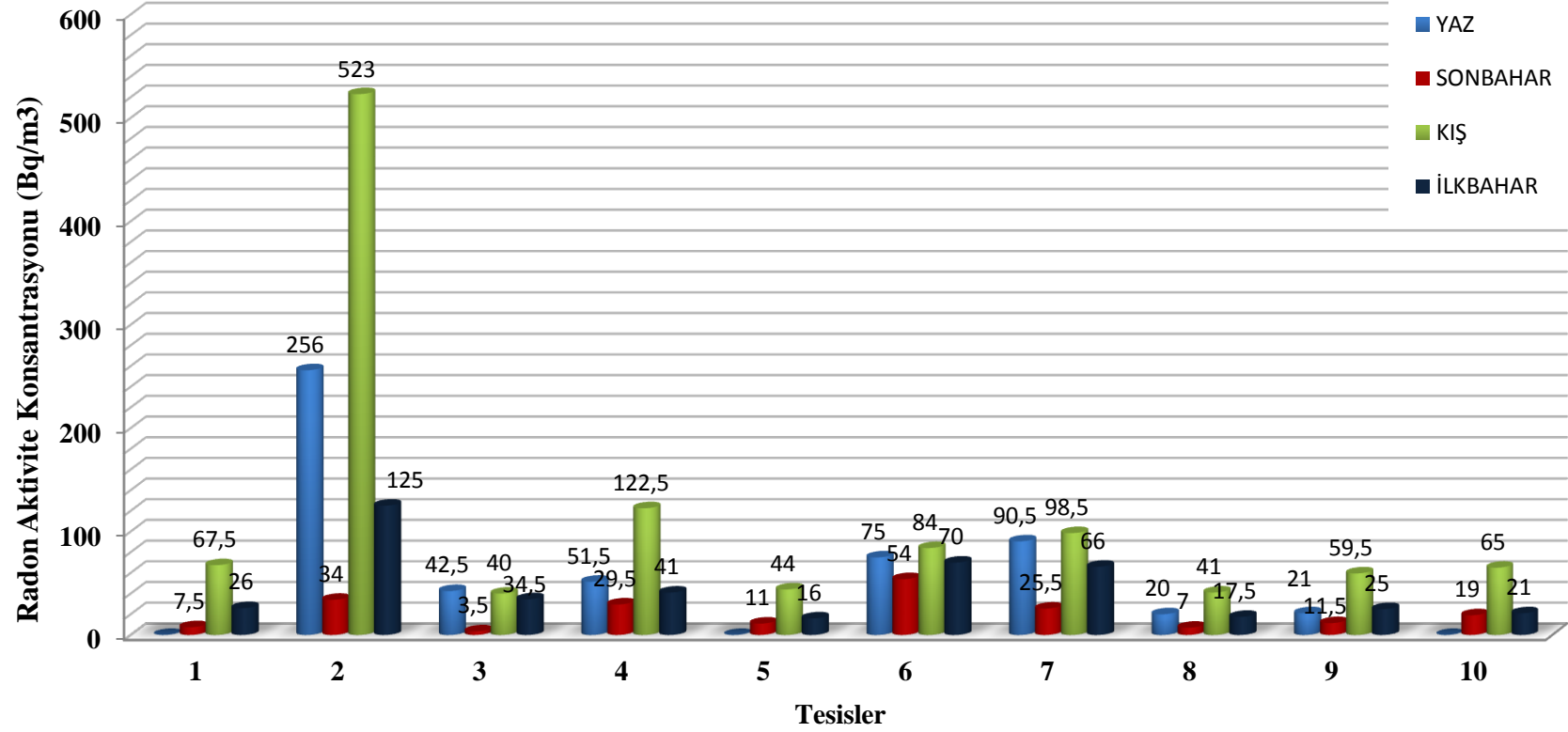
##### 4.1 Radon Aktivite Konsantrasyonu Değerleri

Ölçüm yapılan noktalarda hamam veya jeotermal havuzların bulunduğu ortamlarda hem de tesiste çalışanların ofis olarak kullandığı alanlarda ikişer detektör kullanılarak dönemlik radon konsantrasyonu belirlenmiştir. Her dönem elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak ortalama radon aktivite konsantrasyonu değerleri belirlenmiştir. Her bir dönem için elde edilen radon aktivite konsantrasyonu ve ölçüm noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu değerleri ile ilgili değerlere ait standart sapmalar Çizelge 4.1'de ve hamam ve ofis ortamlarının ölçüm dönemlerindeki ortalama radon konsantrasyonu değerleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Ölçüm noktalarının yıllık ortalama radon aktivite konsantrasyonu değerleri TAEK tarafından belirlenen  $400 \text{ Bq/m}^3$  değerini geçmemekle birlikte, 2 numaralı tesiste kış dönemi değeri  $523 \text{ Bq/m}^3$  ile bu sınırın üzerinde ölçülmüştür. Öte yandan bazı ölçüm noktalarında muhtelif zamanlarda Dünya Sağlık Örgütü tarafından müsaade edilen  $100 \text{ Bq/m}^3$  değerinin aşıldığı görülmektedir.

**Çizelge 4. 1** Radon aktivite konsantrasyonu değerleri

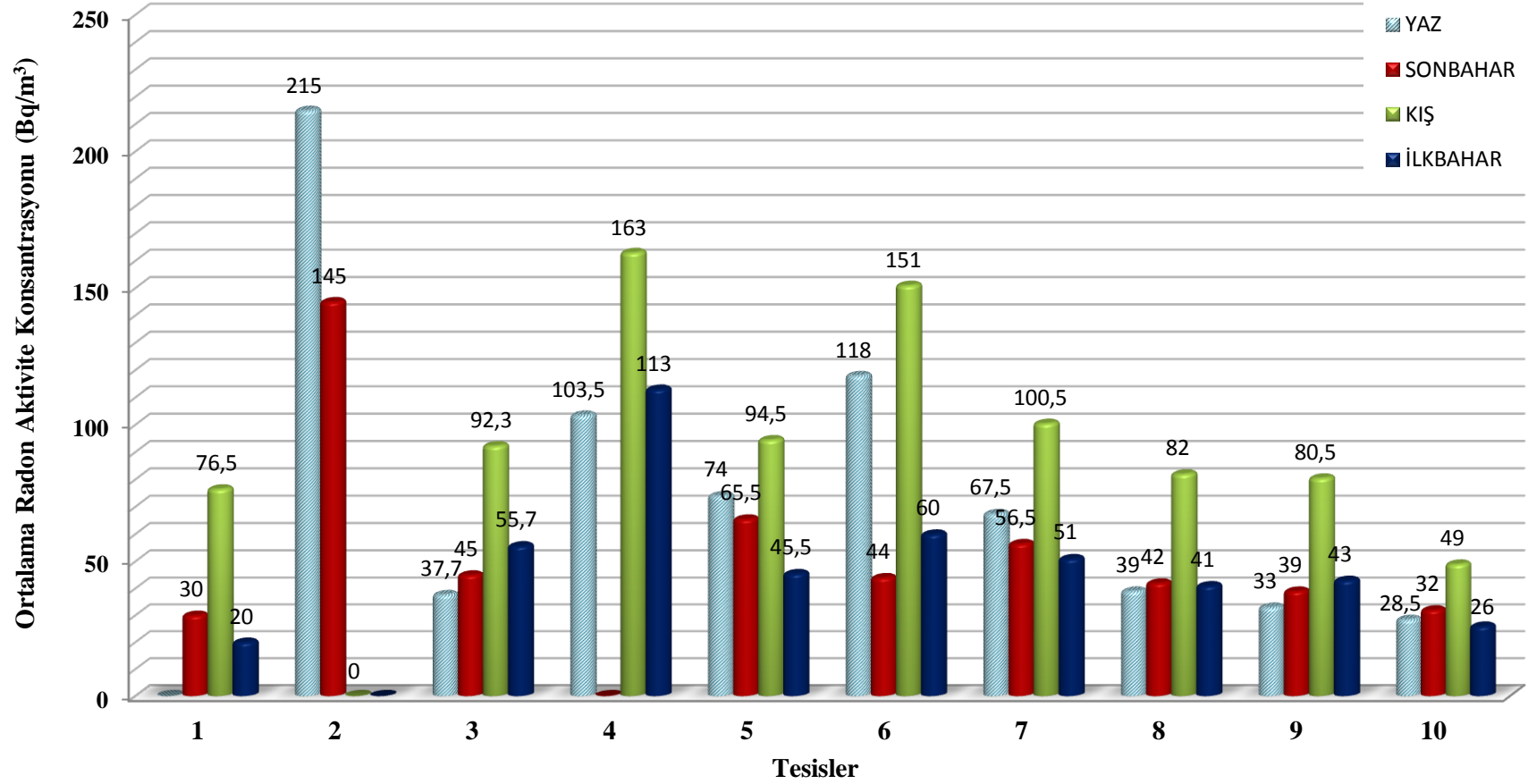
<b>RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONU (Bq/m<sup>3</sup>)</b>											
<b>NOKTALAR</b>	<b>ORTAMLAR</b>	<b>YAZ</b>		<b>SONBAHAR</b>		<b>KIŞ</b>		<b>İLKBAHAR</b>		<b>Yıllık ortalama değeri</b>	<b>Yıllık standart sapma ortalama değeri</b>
		Ortalama Değeri	Standart Sapma	Ortalama Değeri	Standart Sapma	Ortalama Değeri	Standart Sapma	Ortalama Değeri	Standart Sapma		
<b>1</b>	Hamam	-	-	7,5	±4,05	67,5	±7,50	26,0	±0,58	33,67	±4,04
	Ofis	-	-	30,0	±2,52	76,5	±21,5	20,0	±1,15	42,17	±8,39
<b>2</b>	Hamam	256,0	±14,32	34,0	±6,08	523,0	±8,00	125,0	±3,00	234,50	±7,85
	Ofis	215,0	±13,00	145,0	±24,13	-	-	-	-	180,00	±18,56
<b>3</b>	Hamam	42,5	±5,21	3,5	±1,90	40,0	±2,50	34,5	±1,54	30,12	±2,79
	Ofis	37,7	±5,36	45,0	±2,99	92,3	±3,67	55,7	±7,48	57,67	±4,87
<b>4</b>	Hamam	51,5	±6,42	29,5	±8,33	122,5	±5,50	41,0	±1,73	61,12	±5,49
	Ofis	103,5	±11,15	-	-	163,0	±26,00	113,0	±23,93	126,50	±20,36
<b>5</b>	Hamam	-	-	11,0	±4,46	44,0	±6,00	16,0	±1,29	23,67	±3,92
	Ofis	74,0	±3,51	65,5	±5,53	94,5	±4,00	45,5	±6,37	69,87	±4,85
<b>6</b>	Hamam	75,0	±0,58	54,0	±4,51	84,0	±24,00	70,0	±6,03	70,75	±8,78
	Ofis	118,0	±14,29	44,0	±6,08	151,0	±10,00	60,0	±5,00	93,25	±8,84
<b>7</b>	Hamam	90,5	±10,07	25,5	±7,32	98,5	±12,00	66,0	±2,57	70,12	±7,99
	Ofis	67,5	±3,23	56,5	±5,80	100,5	±6,50	51,0	±3,25	68,87	±4,69
<b>8</b>	Hamam	20,0	±8,40	7,0	±1,90	41,0	±5,50	17,5	±1,82	21,37	±4,40
	Ofis	39,0	±4,58	42,0	±7,07	82,0	±4,00	41,0	±11,69	51,00	±6,83
<b>9</b>	Hamam	21,0	±3,51	11,5	±3,09	59,5	±5,00	25,0	±1,33	58,50	±3,23
	Ofis	33,0	±11,14	39,0	±3,46	80,5	±7,50	43,0	±4,36	48,87	±6,61
<b>10</b>	Hamam	-	-	19,0	±3,35	65,0	±3,00	21,0	±2,04	35,00	±2,80
	Ofis	28,5	±4,51	32,0	±4,16	49,0	±5,00	26,0	±4,94	33,87	±4,65

## Hamam ortamlarında



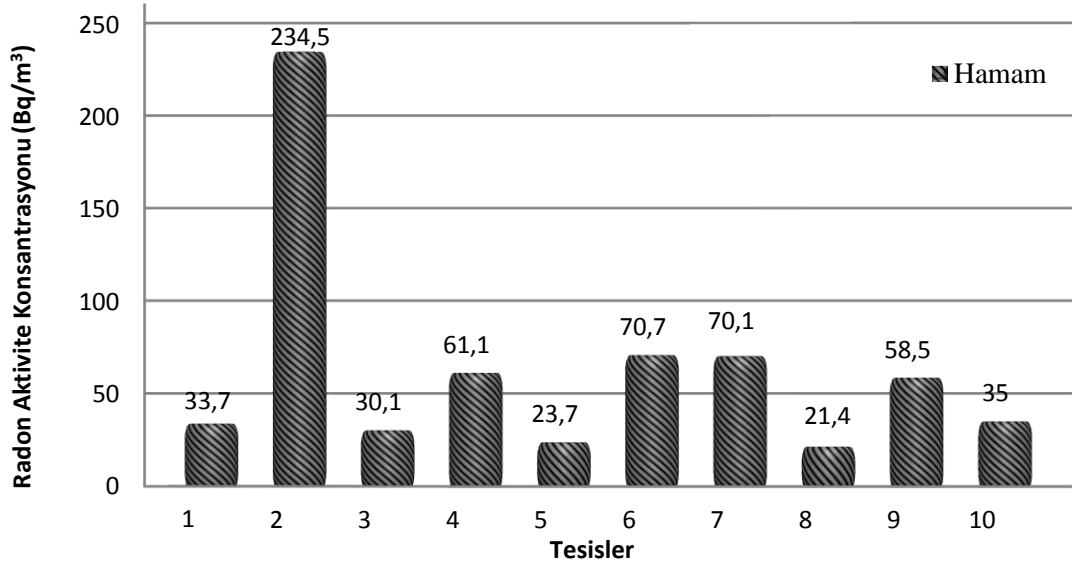
Şekil 4. 1 Hamam ortamlarında ölçüm alınan noktalarla ortalama radon konsantrasyon değerleri

## Ofis ortamlarında

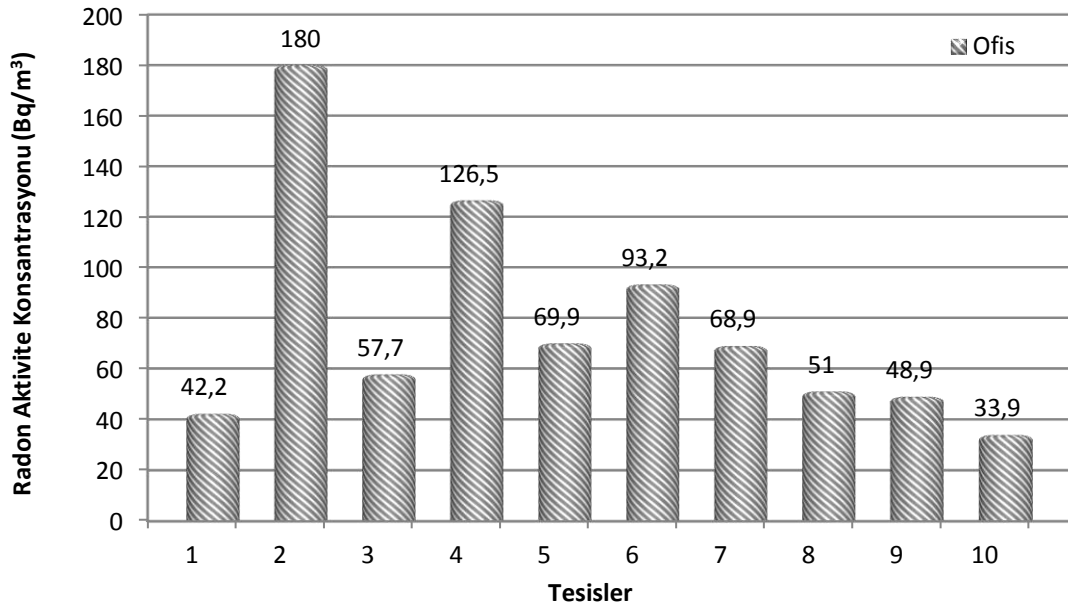


Şekil 4. 2 Ofis ortamlarında ölçüm alınan noktalarla ortalama radon konsantrasyon değerleri

Diğer yandan incelemeye konu noktaların yıllık ortalama radon konsantrasyonu değerleri hamam ve ofis alanları için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 Hamam ortamlarının yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri (hamam ortamları için)



Şekil 4. 4 Ofis ortamlarının yıllık ortalama radon konsantrasyon değerleri (ofis ortamları için)



## 4.2 Yıllık Ortalama Etkin Doz Değerleri

Radon aktivite konsantrasyonu değerleri kullanılarak yıllık ortalama etkin doz değerleri kısım 3.5'teki gibi hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken hamam alanlarının günlük ortalama 5 saat, ofis alanlarının ise günlük ortalama 10 saat kullanıldığı varsayılmıştır. Buna göre, yıllık maruz kalınan doz değerleri kaplıca ortamlarında  $0,141\pm0,029$  mSv ile  $1,553\pm0,052$  mSv arasında, ofis ortamlarında ise  $0,449\pm0,061$  mSv ile  $2,384\pm0,245$  mSv arasında değiştiği görülmektedir. Ölçüm dönemlerine ait ortalama etkin doz değerleri ve her bir noktaya ait yıllık ortalama etkin doz değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Diğer yandan, insanların tesislerden yararlanma süreleri farklılık gösterdiğinden, tesislerin 6 ay, 3 ay ve 1 ay kullanıldıkları varsayılarak, 6 aylık, 3 aylık ve 1 aylık ortalama etkin doz değerleri Çizelge 4.3'te ayrı ayrı gösterilmiştir.

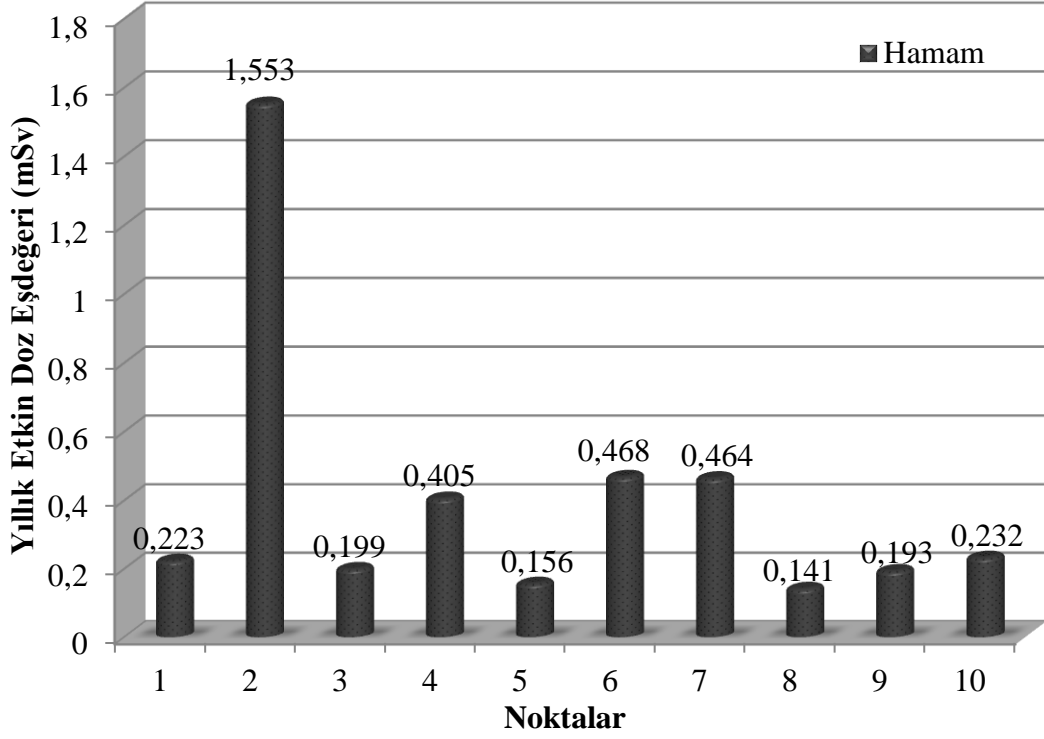
Çizelge 4. 2 Ortalama etkin doz değerleri

YILLIK ORTALAMA ETKİN DOZ EŞDEĞERLERİ (mSv)						
NOKTALAR	ORTAMLAR	YAZ	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YILLIK
1	Hamam	-	0,049±0,027	0,447±0,049	0,172±0,004	0,223±0,027
	Ofis	-	0,397±0,033	1,003±0,285	0,265±0,015	0,558±0,111
2	Hamam	1,695±0,094	0,225±0,040	3,463±0,053	0,828±0,020	1,553±0,052
	Ofis	2,848±0,172	1,921±0,319	-	-	2,384±0,245
3	Hamam	0,276±0,034	0,023±0,012	0,265±0,016	0,228±0,010	0,199±0,018
	Ofis	0,499±0,071	0,596±0,040	1,223±0,049	0,738±0,099	0,764±0,065
4	Hamam	0,341±0,042	0,195±0,055	0,811±0,036	0,271±0,011	0,405±0,036
	Ofis	1,371±0,148	-	2,159±0,344	1,497±0,317	1,676±0,809
5	Hamam	-	0,073±0,029	0,291±0,039	0,105±0,008	0,156±0,026
	Ofis	0,980±0,045	0,867±0,073	1,251±0,053	0,603±0,084	0,925±0,064
6	Hamam	0,497±0,004	0,357±0,030	0,556±0,159	0,463±0,040	0,468±0,058
	Ofis	1,563±0,189	0,582±0,080	2,000±0,132	0,795±0,066	1,235±0,117
7	Hamam	0,599±0,066	0,169±0,048	0,652±0,79	0,437±0,017	0,464±0,211
	Ofis	0,894±0,043	0,748±0,077	1,331±0,086	0,676±0,043	0,912±0,062
8	Hamam	0,132±0,055	0,046±0,012	0,271±0,036	0,116±0,012	0,141±0,029
	Ofis	0,517±0,061	0,556±0,094	1,086±0,053	0,543±0,125	0,675±0,333
9	Hamam	0,137±0,023	0,076±0,020	0,394±0,033	0,165±0,009	0,193±0,021
	Ofis	0,473±0,148	0,517±0,046	1,066±0,099	0,570±0,058	0,656±0,088
10	Hamam	-	0,126±0,022	0,430±0,020	0,138±0,013	0,232±0,018
	Ofis	0,378±0,060	0,424±0,055	0,649±0,066	0,344±0,065	0,449±0,061

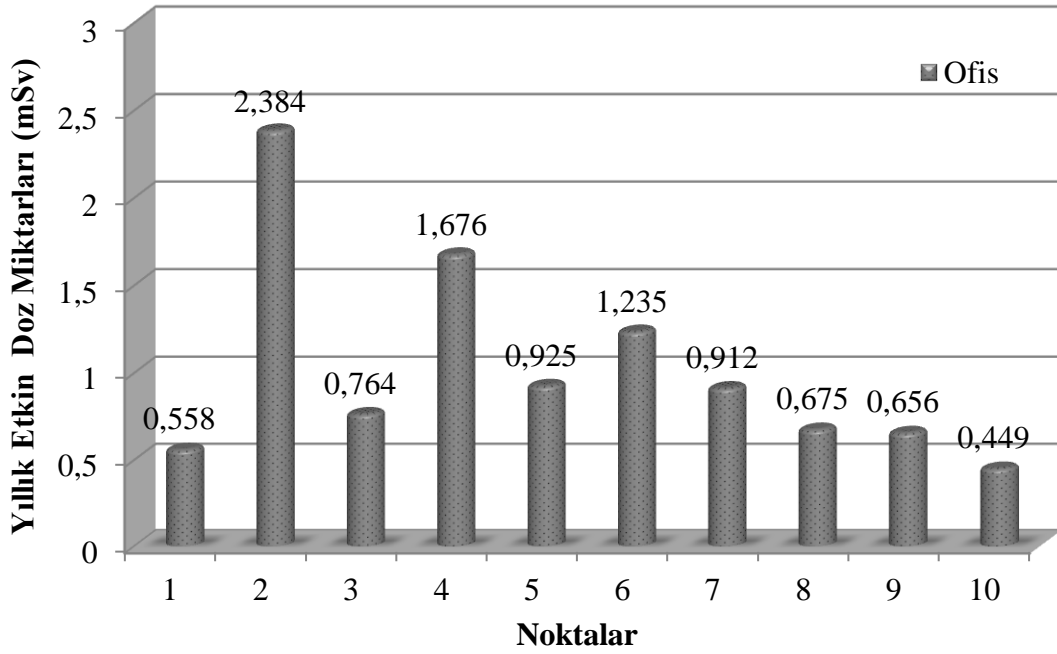
**Çizelge 4. 3** Aylar bazında hamam ortamlarında etkin doz değerleri

<b>AYLAR BAZINDA ETKİN DOZ DEĞERLERİ (mSv)</b>			
<b>NOKTALAR</b>	<b>6 AYLIK</b>	<b>3 AYLIK</b>	<b>AYLIK</b>
<b>1</b>	0,111±0,013	0,055±0,006	0,018±0,002
<b>2</b>	0,776±0,026	0,338±0,013	0,113±0,004
<b>3</b>	0,100±0,009	0,050±0,004	0,017±0,001
<b>4</b>	0,202±0,018	0,101±0,009	0,034±0,003
<b>5</b>	0,078±0,013	0,039±0,006	0,013±0,002
<b>6</b>	0,234±0,029	0,117±0,014	0,039±0,005
<b>7</b>	0,232±0,106	0,116±0,053	0,039±0,018
<b>8</b>	0,071±0,014	0,035±0,007	0,012±0,002
<b>9</b>	0,097±0,011	0,048±0,005	0,016±0,002
<b>10</b>	0,116±0,009	0,058±0,004	0,019±0,001

Ölçüm yapılan noktaların yıllık ortalama etkin doz değerleri hamam alanları ve ofis alanları için ayrı ayrı Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’te gösterilmiştir.



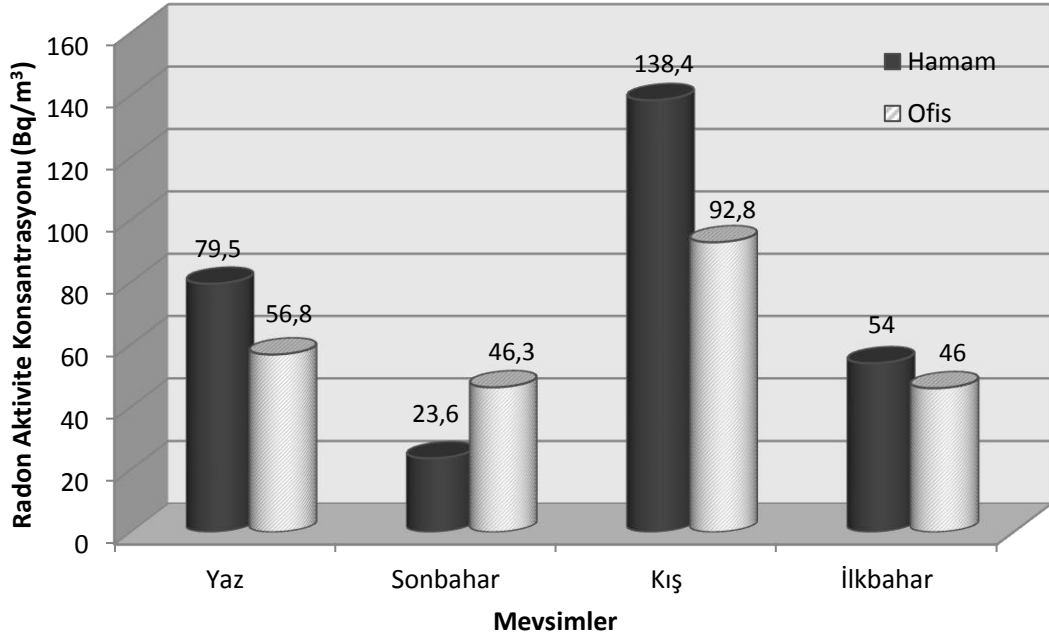
Şekil 4. 5 Hamamlarda yıllık maruz kalınan etkin doz miktarları



Şekil 4. 6 Ofislerde yıllık maruz kalınan etkin doz miktarları

### 4.3 Radon Konsantrasyonu Değişiminde Mevsimsel Etkinin İncelenmesi

Radon aktivitesi konsantrasyonunun değişimi üzerinde mevsimsel etkinin ortaya konulması amacıyla bütün ölçüm yapılan noktalardaki değerler kullanılarak ortalama radon konsantrasyonları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar hamam ve ofis ortamları için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, hamam ortamlarında ortalama radon konsantrasyonu değerleri sonbahar döneminde en düşük iken, kış döneminde en yüksek değerdedir.



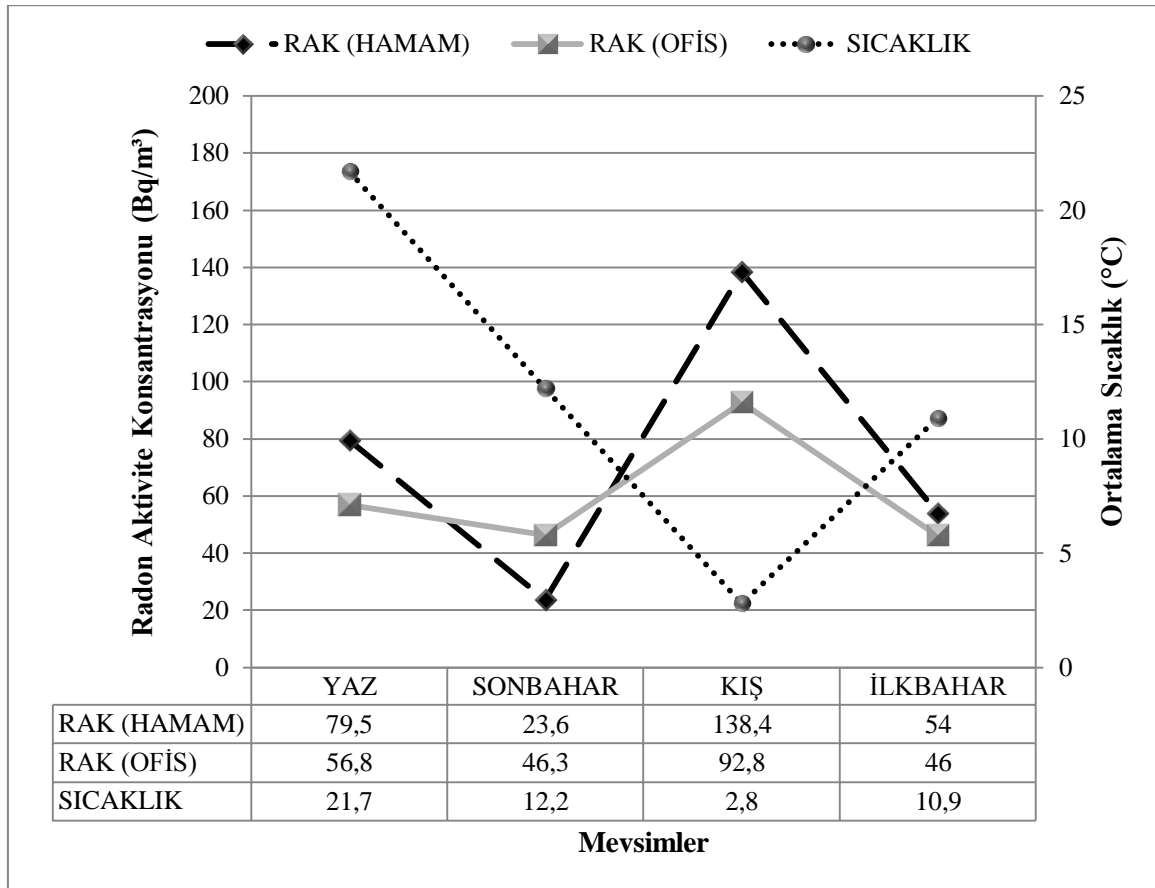
Şekil 4. 7 Hamam ve ofis ortamlarındaki radon aktivite konsantrasyonu ile mevsimler arasındaki ilişki

### 4.3 Meteorolojik Veriler

Bir yıl boyunca mevsimlere göre yapılan radon aktivite konsantrasyonu ölçümlerindeki değişimler üzerindeki sıcaklık, basınç nispi nem ve yağış miktarı gibi meteorolojik parametrelerin etkisini incelemek için Haziran 2013 ve Mayıs 2014 dönemine ait meteorolojik veriler Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Bu parametrelerin radon konsantrasyonu değişimi üzerindeki etkilerini inceleyen bölümler ayrı başlıklarda yer almaktadır.

### 4.3.1 Sıcaklık Verileri

Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak mevsimlik ortalama sıcaklık değerleri; yaz için 21,7°C, güz için 12,2°C, kış için 2,8°C ve ilkbahar için 10,9°C olarak hesaplanmıştır. Mevsimlere göre ortalama sıcaklık değerleri ile aynı dönemlerdeki radon aktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.11'de birlikte verilmiştir.

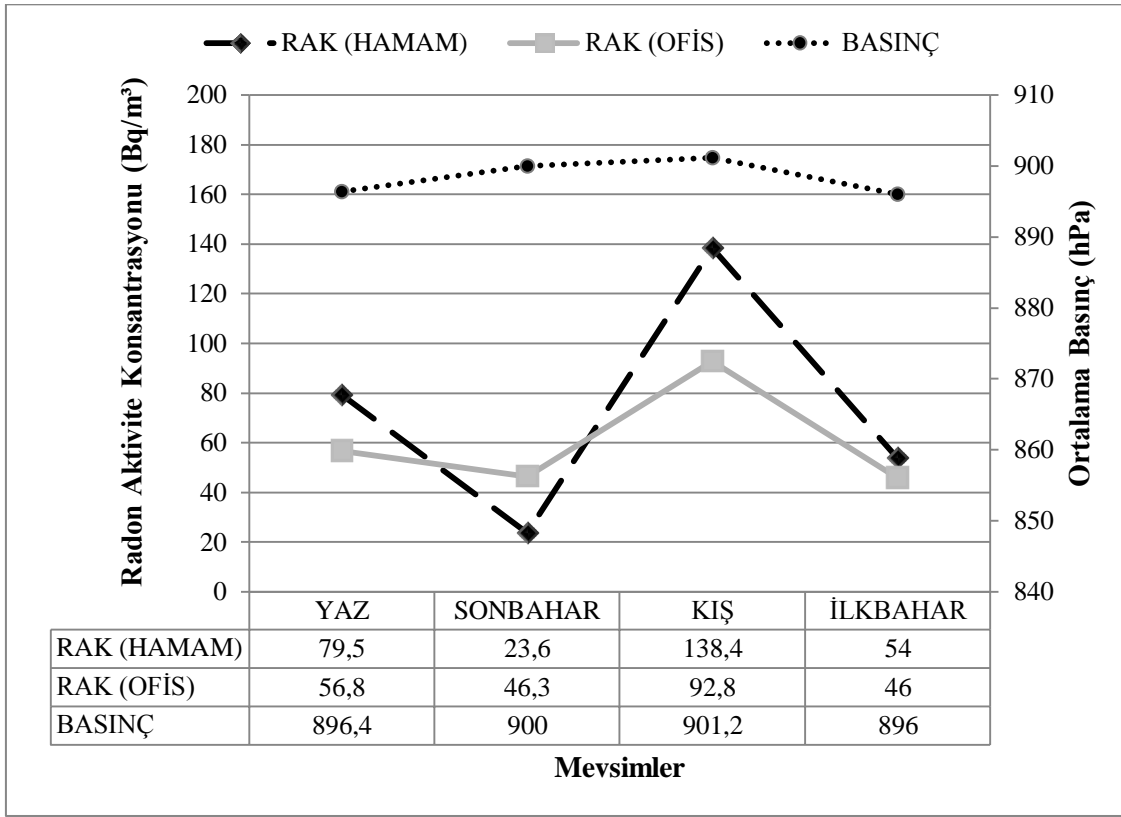


Şekil 4. 8 Mevsimlerin ortalama sıcaklıkları ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki

### 4.3.2 Atmosfer Basıncı Değerleri

Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen aylık ortalama atmosfer basıncı değerlerini kullanılarak mevsimlik ortalama basınç değerleri; yaz için 896,4 hPa, güz için 900 hPa, kış için 901,2 hPa, bahar için 896 hPa olarak

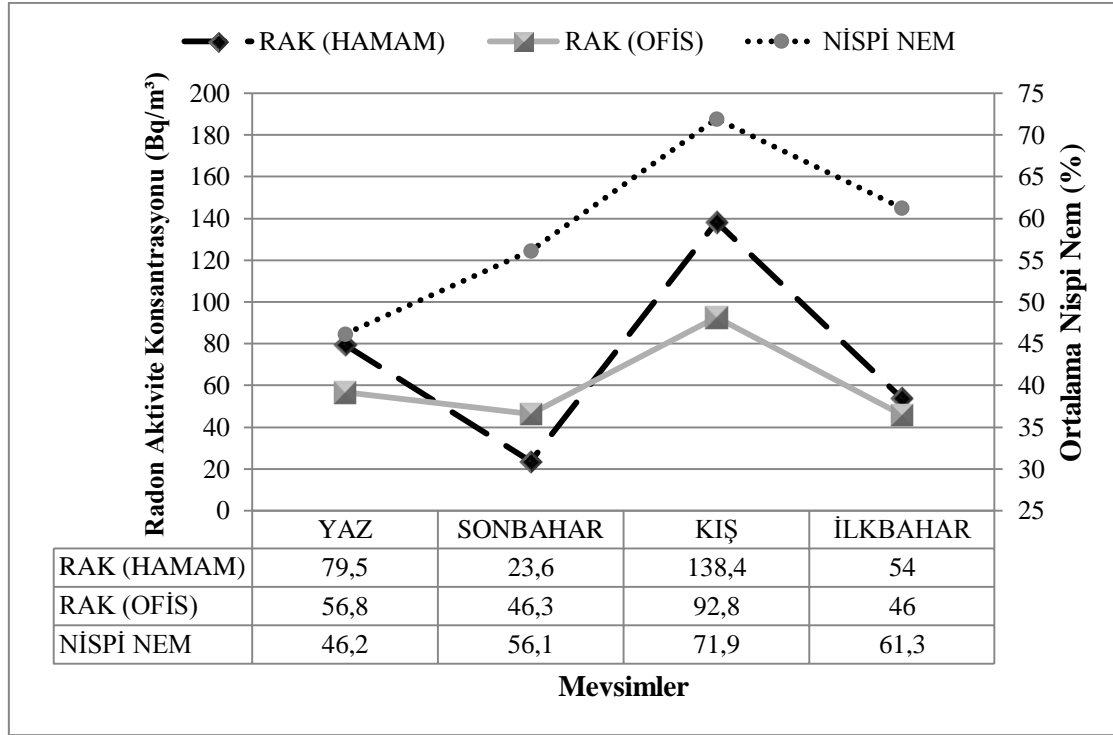
hesaplanmıştır. Mevsimlere göre ortalama basınç değerleri ile aynı dönemlerdeki radon aktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.9’de birlikte verilmiştir.



Şekil 4. 9 Mevsimlerin ortalama basınç değerleri ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki

#### 4.3.3 Nispi Nem Değerleri

Mevsimlik ortalama nispi nem değerleri, Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü’nden elde edilen aylık ortalama nem değerlerini kullanılarak; yaz için %46,2, sonbahar için %56,1, kış için %71,9 ve ilkbahar için %61,3 olarak hesaplanmıştır. Mevsimlere göre ortalama nispi nem değerleri ile radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.10’te verilmiştir.

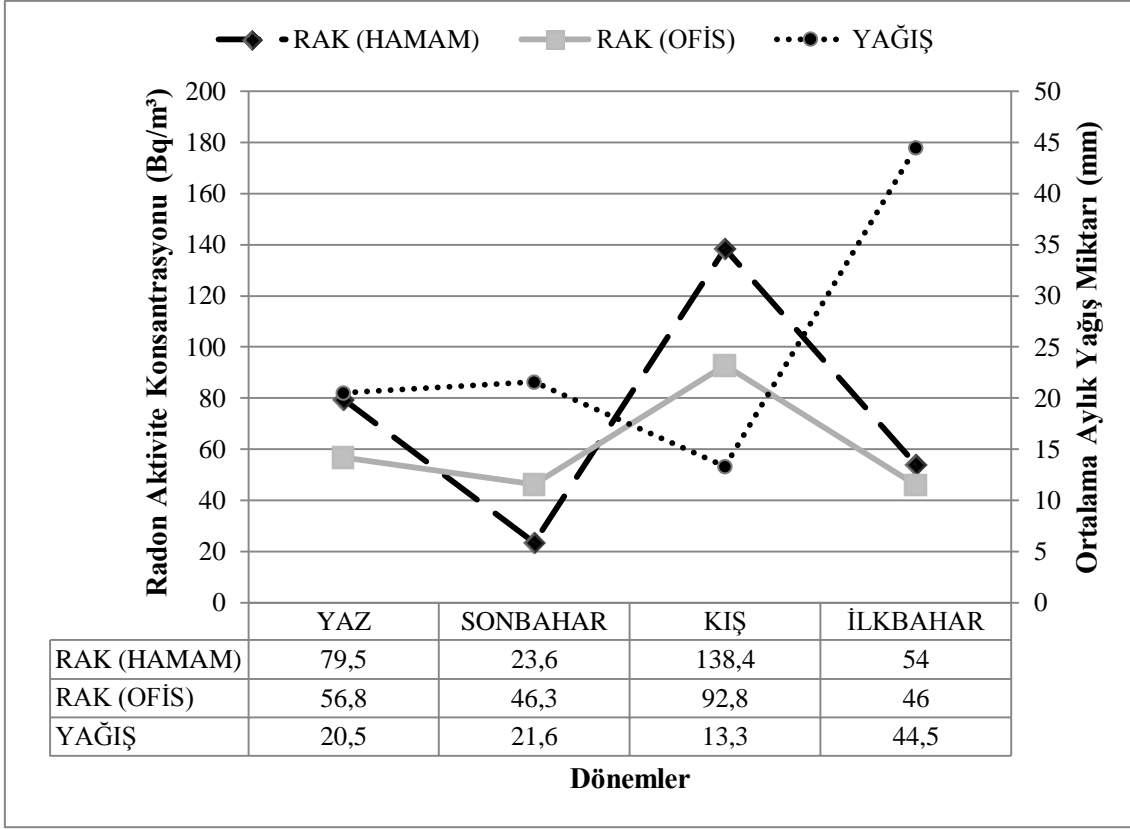


**Şekil 4. 10** Mevsimlerin ortalama nispi nem değerleri ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki

#### 4.3.4 Yağış Miktarı

Mevsimlik yağış miktarı değerleri de Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen aylık ortalama hava yağış değerlerini kullanılarak; yaz için 20,5 mm, sonbahar için 21,6 mm, kış için 13,3 mm, ilkbahar için 44,5 mm olarak hesaplanmıştır. Mevsimlere göre ortalama yağış değerleri ile aynı dönemlerdeki radon aktivite konsantrasyon değerleri Şekil 4.11'de birlikte verilmiştir.





**Şekil 4. 11** Mevsimlerdeki ortalama yağış miktarı ile ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri arasındaki ilişki

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bütün canlılar, içinde bulunduğumuz dünyada radyasyon ile iç içe yaşamakta ve dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yerin doğasında var olan radyoizotoplardan dolayı toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynakların yanı sıra yapay kaynaklardan da radyasyona maruz kalmaktadırlar. Maruz kalınan radyasyon dozu, insanların yaşam standartları, yaşanılan ortamın fiziksel özellikleri ve bölgenin coğrafi şartlarına bağlı olarak değişmekle birlikte yıllık yaklaşık 2,8 mSv olmaktadır. Doğal kaynaklar arasında en büyük katkı radon gazı ve onun kısa ömürlü bozunma ürünleri tarafından yapılmaktadır ve bu değer 1,3 mSv olarak rapor edilmiş bulunmaktadır (TAEK 2012).

Bu tez çalışmasında, Afyonkarahisar'da jeotermal su kullanan tesislerde 03.06.2013-07.05.2014 tarihleri arasında 10 jeotermal tesiste CR-39 nükleer iz detektörleri kullanılarak radon aktivite konsantrasyonu ve buna bağlı yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri belirlendi. Mevsimsel etkinin incelenmesi amacıyla; yaz (haziran, temmuz, ağustos), sonbahar (eylül, ekim, kasım), kış (aralık, ocak, şubat) ve ilkbahar (mart, nisan, mayıs) dönemlerinde ölçümler yapıldı ve elde edilen sonuçlar çizelgelerde verildi.

Bu sonuçlara göre, radon aktivite konsantrasyonunun hamam ortamlarındaki en düşük değeri 3 numaralı tesiste sonbahar mevsiminde  $3,5 \text{ Bq/m}^3$ , en yüksek değeri ise 2 numaralı tesiste kış mevsiminde  $523,0 \text{ Bq/m}^3$  olurken, ofis ortamlarındaki en düşük değeri 1 numaralı tesiste ilkbahar mevsiminde  $20,0 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek değeri ise 2 numaralı tesiste yaz mevsiminde  $215,0 \text{ Bq/m}^3$  olmuştur. Diğer yandan, çalışma dönemi için ortalama radon aktivite konsantrasyonunun hamam ortamlarındaki en düşük değeri 8 numaralı tesiste  $21,37 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek değeri ise 2 numaralı tesiste  $234,50 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenirken, ofis ortamlarındaki en düşük değeri 10 numaralı tesiste  $33,87 \text{ Bq/m}^3$  ve en yüksek değeri ise 2 numaralı tesiste  $180,0 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir.

Ölçüm yapılan termal tesislerde yıllık ortalama radon aktivitesi konsantrasyonu değerleri Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) ve TAEK tarafından belirlenen  $400 \text{ Bq/m}^3$  (ICRP 1990, TAEK 2009) değerini geçmemekle birlikte, 2 numaralı tesiste kış dönemi değeri  $523 \text{ Bq/m}^3$  ile bu sınırın üzerinde ölçülmüştür. Öte

yandan bazı ölçüm noktalarında muhtelif zamanlarda Dünya Sağlık Örgütü tarafından müsaade edilen  $100 \text{ Bq/m}^3$  değerinin aşıldığı görülmektedir (WHO 2002).

Elde edilen yıllık ortalama radon aktivitesi konsantrasyonu değerleri kullanılarak radon aktivitesinden kaynaklanan yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. İnsanların tatil alışkanlıkları ve süreleri dikkate alındığında bu tür tesislerden yararlanma sürelerinin farklı olacağı aşıkardır. Bu nedenle hamam ortamları için ortalama etkin doz eşdeğerleri yıllık, altı aylık, üç aylık ve aylık olmak üzere dört farklı süre dilimi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri 0,141 ile 1,553 mSv arasında, altı aylık ortalama etkin doz eşdeğerleri 0,071 ile 0,776 mSv arasında, üç aylık ortalama etkin doz eşdeğerleri 0,036 ile 0,388 mSv arasında ve aylık ortalama etkin doz eşdeğerleri 0,012 ile 0,113 mSv arasında değişmektedir. Buna göre, 2 nolu tesiste ölçülen 1,553 mSv/y değeri radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturduğu ortalama 1,3 mSv değerinin (UNSCEAR 2000) üzerinde olmakla birlikte, ICRP'nin önerdiği değer olan 3 mSv'lik yıllık etkin doz eşdeğeri aşan bir tesis bulunmamaktadır.

Radon aktivitesi konsantrasyonunun değişimi üzerinde mevsimsel etkinin ortaya konulması amacıyla bütün ölçüm yapılan noktalardaki değerler kullanılarak ortalama radon konsantrasyonları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar hamam ve ofis ortamları için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4.7'de verilmiştir. Buna göre, ortalama radon aktivitesi konsantrasyonu hamam ortamlarında sonbaharda en düşük ( $23,6 \text{ Bq/m}^3$ ) iken kış döneminde en yüksek ( $138,4 \text{ Bq/m}^3$ ) değere ulaşmıştır. Öte yandan ofis ortamlarında bu durum biraz farklı olup, hem sonbahar hem de ilkbahar dönemlerinde en düşük değer ( $\sim 46 \text{ Bq/m}^3$ ) iken, kış döneminde en yüksek ( $92,8 \text{ Bq/m}^3$ ) değere ulaşmıştır.

Mevsimsel olarak radon aktivite konsantrasyon değerlerine bakıldığında ölçüm alınan tüm tesislerde kış mevsiminde radon aktivite konsantrasyon değeri diğer mevsimlere göre daha fazladır. Bunun nedeni okulların ara tatile girmesiyle birlikte termal tesislere olan talebin artmasıyla birlikte su kullanımının artması, bina içi ve dış basınç arasındaki fark ve mevsime bağlı olarak havalandırmanın daha az yapılması gösterilebilir.

Ortalama radon aktivitesi konsantrasyonunun yaz mevsiminde sonbahar ve ilkbahar mevsimlerine göre daha yüksek olması, yaz aylarının tatil dönemi olması nedeniyle

jeotermal tesislere talebin artması ve bununla birlikte yoğun su kullanımının ortamdaki radon konsantrasyon miktarının arttırması şeklinde izah edilebilir. Sonbahar döneminde okulların açılmasıyla birlikte tatil yörelerine olan talebin azalması nedeniyle hamam kullanımındaki düşüş su ile ortama taşınan radon miktarının minimum düzeye inmesine neden olmaktadır.

Ortalama radon aktivitesi konsantrasyonu ile ortalama sıcaklık, atmosfer basıncı, nispi nem ve yağış miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, sıcaklık ve atmosfer basıncın radon aktivite konsantrasyonu arasında zıt bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Ancak yaz aylarında tesislere olan talebin artmasıyla birlikte yoğun su kullanımı olması nedeniyle ortamdaki radon aktivite konsantrasyon değeri daha yüksek çıkmıştır. Nispi nem ile radon aktivite konsantrasyon değerleri arasında doğru olarak bir ilişki vardır. Nispi nemin arttığı dönemde radon aktivite konsantrasyon değeri de artmış, azaldığı dönemde ise radon aktivite konsantrasyon değeri azalmıştır. Yağış miktarı ile radon aktivite konsantrasyon değeri incelendiğinde, yağışın azaldığı dönemlerde radon aktivite konsantrasyon değeri artmış, yağışın arttığı dönemde ise radon aktivite konsantrasyon değeri azalmıştır. Yani radon aktivite konsantrasyon değeri ile yağış miktarı arasında ters ilişki vardır. Bunun temel nedeni yağmurun yağmasıyla radon gazının yüzeye çıkış noktalarında bulunan çatlak ve gözeneklerinin yağmur suyuyla kapanmasıdır.

Yapılan bazı diğer çalışmalara bakıldığında; Song ve arkadaşlarının Çin'de yaptığı çalışmada dört farklı otelde ölçümler yapılmış, ölçümler sonucunda dışarıdaki havada 17,2-190,9 Bq/m<sup>3</sup>, banyolarında jeotermal suların kullanıldığı odalarda 22-855 Bq/m<sup>3</sup>, banyosu olmayan odalarda ise 17-912 Bq/m<sup>3</sup> radon konsantrasyon değeri bulunmuştur. Topraktan gaz sızması, kapalı ortamlarda kaplıca suyu kullanımı ve yetersiz havalandırma nedeniyle otelin tüm odalarında bina içi radon seviyesinin yüksek çıkmasına neden olduğunu söylemiştir. Sonuçların çok yüksek çıktığı otel odalarında radon potansiyel sağlık riski oluşturabileceği için teknik ve idari önlemler alınmasının gerekliliğini vurgulamış. Ayrıca zemin kattaki odalarda radon sızması daha fazla olabileceği için zemin kat odalarının konuklar için kullanılmaması önerilmiştir (Song *et. al.* 2005).

Baran'ın Denizli ve çevresindeki termal alanlarda yaptığı çalışmada radon aktivite konsantrasyon değerlerini  $57,7 \text{ Bq/m}^3$  ile  $275,7 \text{ Bq/m}^3$  arasında bulmuştur. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında radon ölçümlerinde artış gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ise havalandırılmanın yapılmaması ve bölgede görülen sismik aktivitelerden kaynaklanabileceğini belirlemiştir (Baran 2013).

Kılıç, Bursa Kükürtlü kaplıcalarında yaptığı çalışmada radon aktivitesi konsantrasyonunu  $7,57 \pm 4,35 \text{ Bq/m}^3$  ile  $179,09 \pm 46,50 \text{ Bq/m}^3$  arasında bulmuştur. Buna karşılık gelen yıllık doz değeri ise  $0,10 \pm 0,06 \text{ mSv}$  ile  $2,38 \pm 0,61 \text{ mSv}$  arasında hesaplamıştır. TAEK ve ICRP sınır değerleriyle kıyaslamış ve ölçüm sonuçlarının müsaade edilebilir sınır değeri aşmadığını gözlemlemiştir. Araştırma döneminin havalandırmanın çok olduğu yaz mevsiminde yapılması nedeniyle değerlerin çok düşük çıktığını vurgulamıştır (Kılıç 2011).

Farklı bölgelerde yapılmış olan benzer çalışmaların da ortaya koymuş olduğu sonuçların benzerlikler gösterdiği anlaşılmaktadır. Yani; radon aktivitesi konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişikliği göstereceği ve kış mevsiminde maksimum olacağı öngörüsü yaptığımız bu çalışma ile de desteklenmektedir.

10 jeotermal tesise yıllık yaklaşık 500000 kişi gelmekte ve bu tesislerde toplamda 1000 kişi çalışmaktadır. Tatil ve engellilerin tedavisi başta olmak üzere birçok kişi termal tesisleri tercih etmektedir. Gün geçtikçe daha da talebin arttığı yılın tüm günleri rahatlıkla hizmet verebilen termal tesislerde hem çalışan için hem de gelen konuklar için yapılan bu çalışmanın sonuçları oldukça önemlidir.

Sonuç olarak jeotermal alanlarda radon gazının yoğun olma ihtimaline karşı radon gazı aktiviteleri sürekli kontrol edilmeli ve havalandırılmanın çok iyi yapılmasına özen gösterilmelidir.

## 6. KAYNAKÇA

- Arya, 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Aktif Yayınevi, Erzurum, 161-163.
- Baran, A., (2013). Denizli ve Çevresindeki Termal Alanlarda Bina İçi Radon Düzeylerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Cothorn, C. R., Smith, J. E., (1987). Environmental Radon, Plenum Press, Newyork and London.
- Durrani, S.A., Ilic, R., (1997). Radon Measurements by Etched Track Detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and The Environment. *World Scientific Publ. Co., Ltd., London*, 416.
- Eisenbud, M. (1987). Environmental Radioactivity From Naturally, Industrial and Military Sources. 3rd ed. Academic Press, Inc., New York.
- Evans, R.D., (1968). Engineers Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters. *Health Physics*. **38**: 1173-1197.
- Güler, C., Çobanoğlu, Z., (1997). Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi. Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- Horvath, A., L.O. Bohus, F. Urbanı, G. Marx, A. Piroth, E.D. Greaves. (2000). Radon Concentrations in Hot Spring Waters in Northern Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*. **47**: 127-133.
- IAEA, (1996). International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety" *IAEA Division of Public Information*, 96-00725 1AEA/PI/A47E.
- ICRP, (1987). Publication 50, Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters. *Annals of the ICRP* **17**: 1-60.
- ICRP, (1990). The International Commission on Radiological Protection, *ICRP Publication 60*. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon Press Inc., **21**: 1-3

- ICRP, (1993). Protection against  $^{222}\text{Rn}$  at home and at work, International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Annals of ICRP*, **65**: 2.
- Kılıç, N., (2011). Kükürtlü Kaphıaları Atatürk Rehabilitasyon Merkezindeki Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Bursa
- Öztürk, E., (2012). Erzincan İli Ev İçi Radon Konsantrasyonunun Mevsimsel Değişimi ve Topraktaki Radyoaktivitenin Tayini. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D., Planinic, J., (2005). Radon in the Spas of Croatia, Croatia. *Journal of Environmental Radioactivity*. **83**: 191-198.
- RADOSYS, (2011). User's Manual.
- Sonlai, J., Torma, A., Dombovari, P., Kavasi, N., Nagy, K., Kovacs, T., (2007). Contribution of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  Radionuclides to the Occupational and Patient Exposure in Heviz-spas in Hungary. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. **272**: No.1, 101–106.
- Song, G., Zhang, B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bernett, J., Lee, S.C., (2005). Indoor Radon Levels in Selected Hot Spring Hotels in Guangdong, China. *Science of the Total Environment*. **339**: 63– 70
- Soto, J., Fernandez PL, Quindos LS, Gomez-Arozamena J., (1995). Radioactivity in Spanish Spasfs. *Sci Total Environ*. **162**: 187–1 92.
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (2009). Radyasyon, İnsan ve Çevre: İyonlaştırıcı Radyasyon, Etkileri ve Kullanım Alanları, Güvenli Kullanımı için Uygulamada Olan Tedbirler, Ankara.
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (2012). Teknik Rapor, 3, Ankara.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.  
(1993). Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York.  
Annex A.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.  
(2000). Exposure Due to Natural Radiation Sources. United Nations, New  
York.

Vaizoğlu, S., (1997). Ankara' da Evlerde Kış Dönemi Radon Konsantrasyonunun  
Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bilim  
Uzmanlığı Tezi, Ankara.

WHO (World Health Organization),2002. World Health Report.

### **İnternet Kaynakları**

1. Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Koruması ve Ölçümü Milli Komitesi,  
[www.unscear.org](http://www.unscear.org)
2. YEGM, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Web Sitesi [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)



EK-1

**KAPLICALARDA RADON ARAŞTIRMASI**  
**BİLGİ FORMU**

**Araştırma Yapılan Dedektör No:** .....

**Görüşmenin Yapıldığı Tarih:** .....

**Görüşme Yapılan Otelin Adı:** .....

**Görüşme Yapılan Otelin Adresi ve Telefon Numarası:** .....

.....

**Lütfen Radon ölçümü yapılacak olan bağımsız bölümün (otelin) ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.**

**1. Otelin yapıldığı yıl:**

1900 - 1949       1950 - 1969       1970 - 1979       1980 -  
1989       1990 - 1999       2000 - 2009       2010 +

**2. Otelin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:**

Taban :  Toprak     Beton     Ahşap     Mermer     Mozait

Diğer

Tavan :  Beton     Ahşap     Diğer .....

Duvarlar :  Beton     Tuğla     Ahşap     Taş     Biriket

Toprak     Diğer.....

**3. Pencerelerin durumu:**

Tek camlı PVC pencere

Çift camlı PVC pencere

Tek camlı ahşap pencere

Çift camlı ahşap pencere

Tek camlı alüminyum pencere

Çift camlı alüminyum pencere

**4. Havalandırma sistemi:**

Doğal havalandırma

Cihaz ile havalandırma

**5. Otelde elektrikli vantilatör ya da aspiratör var mı?**

Aspiratör var

Vantilatör var

İkiside var

İkiside yok

Diğer....

**6. Kışın ısıtma sistemi:**

Kalorifer

Kömür sobası

Tüp gaz

Elektrikli soba

Afjet

Doğalgaz

Klima

Diğer.....

**7. Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.**

(a) Otelin kullanım alanı .....m<sup>2</sup>

(b) Oda sayısı .....adet.

(c) Kat sayısı .....kat.

(d) Otelde bulunan havuz sayısı .....adet.

(e) Otel kapasitesi .....kişi.

(f) Otele 1 yılda gelen ortalama konuk sayısı .....kişi.

(g) Otelde çalışan kişi sayısı ..... kişi.

**8. Ölçüm alınacak oda hakkında bilgileri doldurunuz.**

(a) Odanın bulunduğu kat ..... kat.

(b) Odanın alanı ..... m<sup>2</sup>

(c) Odanın konuk kapasitesi ..... kişi.

**9. Kaç yıldır bu otelde hizmet vermektedir?**

5 yıldan az

5-10 yıl

10-20 yıl

20-30 yıl

30-40 yıl

40 yıldan fazla

## ÖZGEÇMİŞ

- **Adı** : İrem
- **Soyadı** : AKKUŞ
- **Doğum yeri** : Bursa
- **Doğum tarihi** : 23.04.1989
- **Uyruğu** : T.C
- **Medeni Durumu** : Bekar

### Öğrenim Durumu

- **Lise** : Gazi Lisesi, Antalya
- **Lisans** : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
- **Yüksek Lisans** : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

### Yabancı dil

- **İngilizce** : Orta Derece

**İletişim (e-posta)** : [iremmakkus@hotmail.com](mailto:iremmakkus@hotmail.com)

**Tez Projesi** : Afyonkarahisar Merkezdeki Kaplıçalarda Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Oranlarının Belirlenmesi (Tez Projesi TAEK tarafından desteklenmektedir)

### Yayınlar:

İ. Akkuş, H. A. Yalım, A. Sandıkçioğlu, R. Ünal, A. Yıldız, S. Uzun, I. Demiröz. 2014. Afyonkarahisar merkezdeki bazı konutlarda bina içi radon konsantrasyonlarının tayin edilmesi. ADIM Fizik Günleri III, 113.

A. Sandıkçioğlu, H. A. Yalım, D. Açıl, İ. Akkuş, M. Özçelik, R. Ünal, A. Yıldız, S. Uzun, I. Demiröz, 2014. Afyonkarahisar'da kapalı ortam radon konsantrasyonunun belirlenmesi. Turkish Physical Society 31<sup>st</sup> International Physics Congress, Bodrum-Turkey.

İ. Akkuş, H. A. Yalım, A. Sandıkçioğlu, R. Ünal, A. Yıldız, S. Uzun, I. Demiröz. 2014. Afyonkarahisar merkezdeki kaplıçalarda radon konsantrasyonu ve yıllık etkin doz oranlarının belirlenmesi. Turkish Physical Society 31<sup>st</sup> International Physics Congress, Bodrum-Turkey.