

RADON GAZINI ÖLÇME METOTLARI

Hatice DAVUTOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Haziran - 2008

# **RADON GAZINI ÖLÇME METOTLARI**

Hatice DAVUTOĞLU

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Haziran – 2008

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Hatice DAVUTOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı RADON GAZINI ÖLÇME METOTLARI başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

/ /2008

Üye : Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA

Üye : Doç. Dr. Emel ALGIN

Danışman Üye : Yrd. Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **RADON GAZINI ÖLÇME METOTLARI**

Hatice DAVUTOĞLU

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

### **ÖZET**

Radon gazı kapalı ortam kirletici faktörü olarak insan sağlığı üzerinde ciddi sağlık sorunları yaratmaktadır.

Yaptığımız çalışmada Dumlupınar Üniversitesi Merkez kampüsü içerisinde bulunan Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eğitim Fakültesi ve Rektörlük binasına toplam 22 tane alfa duyarlı fotoğraf filmi yerleştirilmiştir. Bu filmler rastgele seçilen odalara yerleştirilerek, bir ay süre ile bekletildikten sonra toplanmıştır. Filmler kimyasal işlemlere tabi tutularak, her bir odadaki Radon gazının miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Çıkan sonuçların sigara içimi, havalandırmanın yapılıp yapılmaması, filmlerin bırakıldığı ortamın hacmi ve zeminden yüksekliğinin radon gazı miktarında değişikliklere yol açıp açmadığı hakkında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar sağlık örgütlerinin kapalı ortamlar için öngördüğü sınır limitleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların yüksek çıkması halinde ise alınması gereken önlemler hakkında bilgi verilmektedir.

**Anahtar kelime:** Bina İçi, Doz, Hava, LR-115, Radon.

## **METHODS OF RADON GAS MEASUREMENT**

Hatice DAVUTOĞLU

Physics Department, M.S Thesis, 2008

Thesis Supervisor Asist Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

### **SUMMARY**

Radon gas creates serious health affects on human health as the closed medium pollutant factor.

In this work, 22 alpha sensitive photo films are placed in Faculty of Literature and Physical Sciences, Faculty of Engineering, Faculty of Economics and Administration, Faculty of Education and the Presidential Building in Dumlupınar University Central Campus. By exposing to chemical process, the films are used to find out the amount of Radon gas in every room.

Comparisons about whether smoking, air conditioning, the volume and the height from the floor of the medium where the films are placed, causes change in the amount of radon gas had been made. The results are compared with limits for the closed mediums accepted by the health organizations. Information is given about the precautions to be taken in case of high results

**Key Words:** Indoor, Dose, Air, LR-115, Radon.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımca olan başta danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Latife ŞAHİN-YALÇIN'a, yaptığımız çalışmalarda her türlü desteği sağlayan Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA'ya, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü öğretim görevlilerinden Yard. Doç Dr. Müslim Murat SAÇ, Ar. Gör. Berkay CAMGÖZ, Ar. Gör. Banu ÖZDEN, Ar. Gör. Fatih GENÇLER'e, benden hiçbir desteğini esirgemeyen dönem arkadaşım Hakan ÇETİNKAYA'ya ve beni destekleyen tüm arkadaşlarım ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Hatice DAVUTOĞLU

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. RADYOAKTİVİTE.....	1
1.1. Radyoaktivite Birimleri .....	1
2. RADYOAKTİF BOZUNMA VE BOZUNUM TÜRLERİ.....	3
2.1. Alfa Bozunumu.....	3
2.2. Beta Bozunumu .....	4
2.2.1. $\beta^-$ Bozunumu .....	4
2.2.2. $\beta^+$ Bozunumu .....	4
2.2.3. Elektron Yakalama Olayı .....	5
2.3. Gama Bozunumu .....	6
3. RADYASYON .....	7
3.1. Alfa, Beta ve Gama Işınlarnnın Özellikleri .....	7
3.1.1. Alfa .....	7
3.1.2. Beta .....	7
3.1.3. Gama.....	7
3.2. Radyasyon Kaynakları.....	9
3.3. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	9
3.2.1. Kozmik Radyasyon.....	10
3.2.2. Gama Radyasyonu .....	10
3.2.3. Vücut içi ışınlanma .....	10
3.2.4. Radon.....	11
3.4. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	11
3.3.1. Tıbbi Uygulamalar .....	12
3.3.2. Tanısal Radyoloji .....	12
3.3.3. Nükleer Tıp.....	12
3.3.4. Radyoterapi.....	12
3.3.5. Endüstriyel Uygulamalar .....	12
3.3.6. Nükleer Serpinti .....	13
3.3.7. Nükleer Güç Santralleri .....	13

## İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
3.3.8. Tüketici Ürünleri.....	13
4. RADYOAKTİF SERİLER.....	15
4.1. Doğal Seriler.....	15
4.1.1 Uranyum serisi.....	15
4.1.2 Toryum serisi.....	16
4.1.3 Aktinyum serisi.....	17
4.2. Yapay Seriler.....	18
4.2.1. Neptünyum serisi.....	18
5. RADYUM.....	20
6. RADON.....	22
6.1. Radon Etkilenim Kaynakları.....	26
6.2. Evlerde Radon.....	27
6.3. Sularda Radon.....	28
6.4. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri.....	29
6.5. Radonla İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler.....	32
6.6. Radon Ölçümü.....	33
6.7. Radon Ölçüm Metodları.....	35
6.7.1. İyonizasyon Odası.....	35
6.7.2. Kollektör Yöntemi.....	35
6.7.3. Lucas Hücresi.....	36
6.7.4. Katıhal İz Kazıma Detektörleri.....	36
6.7.5. Elektrostatik Toplama Yöntemi.....	36
6.7.6. Filtre Yöntemi.....	36
6.7.7. AC-Aktif Odun Kömürü Tutma.....	37
6.7.8. UT-Filtresiz İz Detektörü.....	37
6.7.9. Odun Kömürü Sıvı Sintilasyonu.....	37
6.7.10. Sürekli Radon Gözlemi.....	37
6.7.11. Odun Kömürüyle Çalışan Radon Yakalama.....	38
6.7.12. Açılıp Kapanabilir Çanta İle Radon Yakalama.....	38
6.7.13. Sintilasyon Hücresi İle Radon Yakalama.....	38
6.7.14. Sc-3 Günde Boşalan Sintilasyon Hücrecini Bütünleştirme.....	38
6.7.15. Pompa-Katlanabilir Çanta-1 Gün.....	39
7. KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPUSTE RADON GAZI MİKTARININ BELİRLENMESİ.....	40
7.1. Literatür Özeti.....	40
7.2. Deneysel Çalışmalar.....	41
7.3. Katıhal İz Kazıma Detektörü Kullanılarak Havadaki Radon Seviyesinin Tayin Edilmesi.....	42



## İÇİNDEKİLER (devamı)

	<b><u>Sayfa</u></b>
7.4. Kalibrasyon Faktörü Ve Eşdeğer Doz Oranının Hesaplanması .....	45
7.5. Kalibrasyon Faktörü Ve Eşdeğer Doz Oranının Hesaplanması .....	49
7.5.1. Fen-Edebiyat Fakültesi Sonuçları .....	49
7.5.2. Mühendislik Fakültesi Sonuçları .....	52
7.5.3. İktisat ve işletme bölümü sonuçları .....	55
7.5.4. Dumlupınar Üniversitesi'nde Yapılan Ölçümlerin Genel Sonuçları .....	57
8. SONUÇ VE YORUMLAR .....	60
KAYNAKLAR.....	61

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Nükleer çekirdeğin alfa beta gama bozunumu .....	1
2.1. Alfa bozunumu .....	3
2.2. $\beta^-$ bozunumu .....	4
2.3. $\beta^+$ bozunumu .....	5
2.4. Elektron yakalama olayı .....	6
2.5. Gama bozunumu .....	6
3.1. Alfa, Beta ve Gamanın Giricilikleri .....	8
3.2. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları .	9
3.3. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri .....	11
3.4. Yapay radyasyon kaynakları .....	13
4.1. Uranyumun bozunum şeması .....	15
4.2. Toryum bozunum serisi .....	17
4.3. Aktinyum bozunum serisi .....	18
4.4. Neptünyum bozunum serisi .....	19
6.1. Radon bozunum ürünleri .....	23
6.2. Radon gazının oluşum şeması .....	24
6.3. Radon bozunma şeması .....	25
6.4. Evlere radonun girişi .....	28
6.5 Radonun ev ortamına giriş yolları .....	28
6.6 Radon ölçümü .....	34
7.1 Deney düzeneği .....	42
7.2. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi .....	43
7.3. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi .....	44
7.4. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi .....	44
7.5. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi .....	45
7.6. Fen Edebiyat Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği .....	49
7.7. Fen Edebiyat Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği .....	50
7.8 .Fen Edebiyat Fakültesi katlara göre sonuç grafiği .....	51
7.9. Mühendislik Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği .....	52
7.10. Mühendislik Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği .....	53
7.11. Mühendislik Fakültesi katlara göre sonuç grafiği .....	54

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
7.12. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği.....	55
7.13. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği.....	56
7.14. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi katlara göre sonuç grafiği.....	57
7.15. Dumlupınar Üniversitesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği .....	58
7.16. Dumlupınar Üniversitesi metrekare ve sonuç grafiği .....	59
7.17. Dumlupınar Üniversitesi katlara göre sonuç grafiği .....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Alfa, Beta ve Gamanın nicelikleri .....	8
3.2. Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar .....	14
4.1. Uranyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri.....	16
4.2. Toryum serisi ürünlerinin yarı ömürleri .....	17
4.3. Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri.....	18
4.4. Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri.....	19
4.5. Radyoaktif serilerin en kısa ve en uzun yarı ömürlü üyeleri.....	19
5.1. Radyumun özellikleri .....	20
5.2. Radyumun doğal izotopları .....	21
6.1. Radonun özellikleri .....	22
6.2. Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m <sup>3</sup> ).....	31
6.3. Evlerde ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> ) .....	31
7.1. Sayılan izler ve Bq/m <sup>3</sup> cinsinden karşılıkları .....	47
7.2. Filmi yerleştirdiğimiz odaların havalandırma ve sigara içilme durumları, odanın büyüklüğü ve kat seviyesi .....	48
7.3. Filmlerin minimum ve maksimum ölçüm aralığı.....	57

## **SİMGELER VE KISALTMALAR**

### **SİMGELER**

Q	Enerji
c	Işık hızı
n	Nötron
p	Proton
e <sup>-</sup>	Elektron
$\nu$	Nötrino
$\bar{\nu}$	Anti nötrino
$\alpha$	Alfa
$\beta^-$	Beta - ışınması
$\beta^+$	Beta + ışınması
$\gamma$	Gama
MeV	Mega elektron volt
m	Kütle
E	Enerji
mSv	Milisievert
Bq	Becquerel
m	Metre
°C	Santigrat
°K	Kelvin
°F	Fahrenayt
g	Gram
cm	Santimetre
ml	Mililitre
lt	Litre

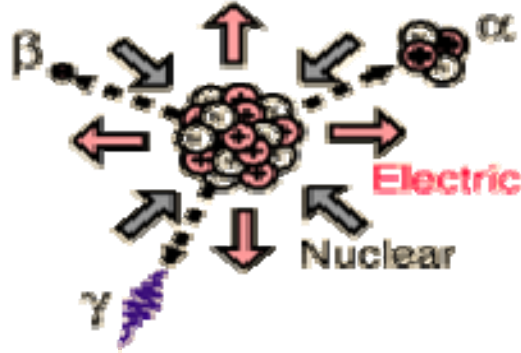
### **KISALTMALAR**

### **AÇIKLAMA**

U3O8	Pechblend
NRPB	İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
AB	Avrupa Birliği
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

## 1. RADYOAKTİVİTE

Radyoaktivite Marie Curie'nin Radium üzerindeki çalışmalarıyla bulunduktan sonra, doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli boyutlarda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn radyum tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını bularak keşfedilmiştir. Radyoaktivite bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık çıkararak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Bozunma ana çekirdekte meydana gelir ve daha küçük çekirdek oluşur. Bu işlem rastgele meydana gelir, yani bir atomik çekirdeğin ne zaman bozunum yapacağını tahmin etmek imkansızdır [1].



Şekil 1.1. Nükleer çekirdeğin alfa beta gama bozunumu [2].

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozulma ve parçalanma şekli vardır. Bu olaylar, çekirdeğin parçalanma hızı, çekirdeğin yaydığı radyasyon cinsine, enerjisine bağlı olarak değişir [3].

### 1.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite'ni birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır.

**Curie (ci)** : Bir saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

**Becquerel (Bq)** : Bir saniyede bir bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

**Rutherford (Rd)** : Bir saniyede  $10^6$  bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

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

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1\text{Rd} = 10^6 \text{ parçalanma/ saniye [4].}$$

## 2. RADYOAKTİF BOZUNMA VE BOZUNUM TÜRLERİ

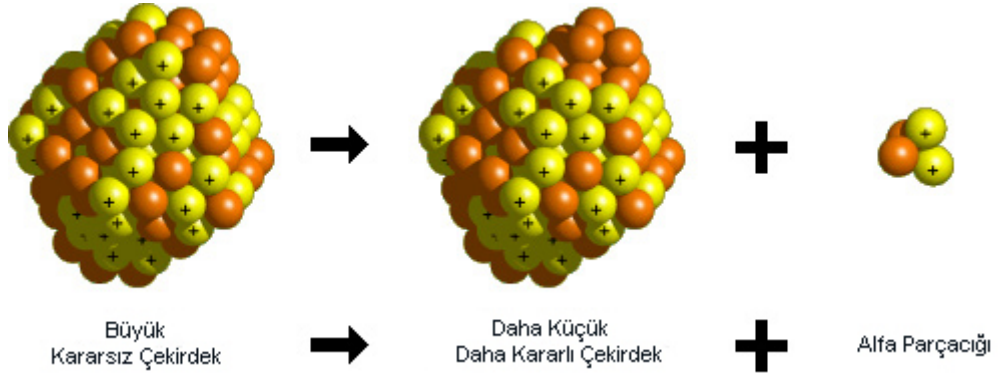
Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek daha kararlı bir atom haline dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemelerine denir [5].

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu bozunmalar üç şekilde gerçekleşir. Alfa ve beta bozunmalarında, kararsız çekirdekler alfa veya beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdeğe dönüşmeye çalışırken, gama bozunumunda ise çekirdeklerin cinsi değişmeden uyarılmış durumdan taban durumuna bozunması şeklinde olur.

### 2.1. Alfa Bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur (Şekil 2.1.1).

Denklem 1’de görüldüğü gibi bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır. Alfa parçacığı aslında helyum çekirdeğinin iki kere iyonlaşmış halidir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır (Denklem 2).



Şekil 2.1. Alfa bozunumu.



$$Q = \Delta mc^2 = [ m(X) - m(X') - m({}^4_2 He) ] \times c^2 \quad (2)$$

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır.  $\alpha$  çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi sebebiyle



menzili çok kısadır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklere daha sık görülür. Enerji spektrumu kesiklidir ve 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir.

## 2.2. Beta Bozunumu

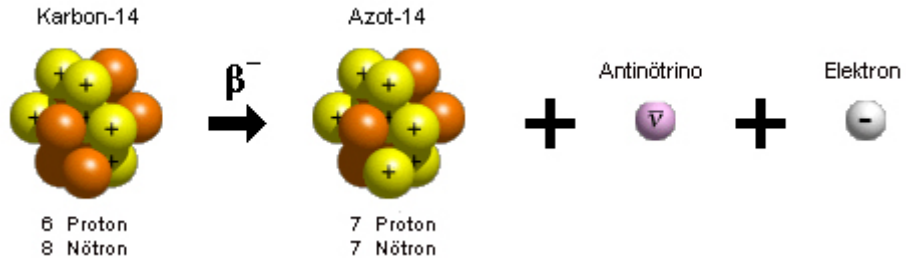
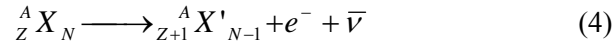
Beta bozunumunun üç farklı çeşidi vardır. Bunlar  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  ve elektron yakalama olayı'dır.

### 2.2.1. $\beta^-$ Bozunumu

Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekdeki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür (Denklem 3). Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır.



Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (negatron) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası da bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir (Denklem 4).



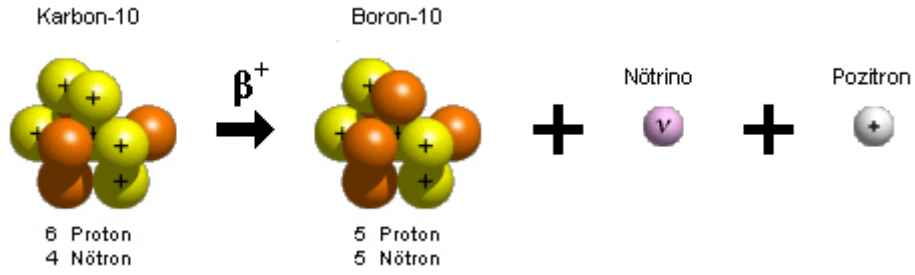
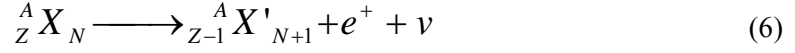
Şekil 2.2.  $\beta^-$  bozunumu.

### 2.2.2. $\beta^+$ Bozunumu

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür (Denklem 5).



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin (Şekil 2.2.2) proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez (Denklem 6).

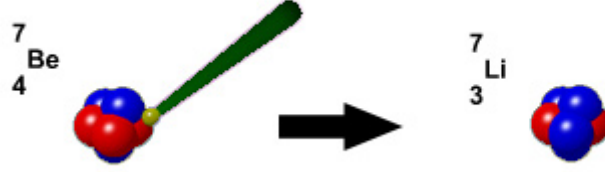


Şekil 2.3.  $\beta^+$  bozunumu.

### 2.2.3. Elektron Yakalama Olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür (Denklem 7). Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınımı olmaz fakat proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır (Denklem 8). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçerek boşalan yörüngeyi doldurur.



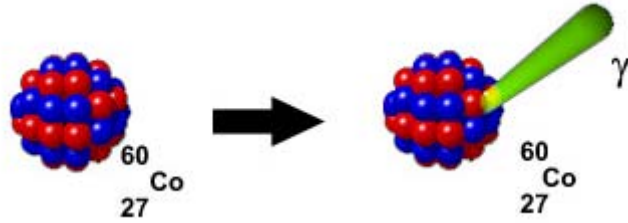


Şekil 2.4. Elektron yakalama olayı.

Beta bozunumunu üç şekilde de proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası değişmez. Ayrıca her üç bozunumda nötrino ve anti-nötrino denilen yüksüz ve kütsüz parçacıklar yayımlanır.

### 2.3. Gama Bozunumu

Çekirdekdeki enerji fazlalığı nedeniyle veya çekirdek bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı (temel enerji seviyesi) durumuna geçemez, bozunmada oluşan çekirdek hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayımlar (Şekil 2.3.1). Bu şekilde bozunan yarı kararlı çekirdeğin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir.



Şekil 2.5. Gama bozunumu.

Gama yayınlamasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle  $10^{-9}$  saniyeden daha küçüktür ama saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlaması da vardır. Enerji spektrumları ise kesiklidir [6].

### 3. RADYASYON

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfuz edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamında kullanılmaktadır.

Radyasyon, enerji paketleri (dalga, parçacık, foton) ile bir yerden başka bir yere enerji taşınmasıdır.

Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, protonların sayısına göre fazla veya bunun tersi ise; bu tür maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Çevresine bu şekilde ışın yayarak (saçarak) parçalanana maddelere radyoaktif madde; radyoaktif bozunma ile salınan radyasyon ile çevreye yayılan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ışınlarına da  $\alpha$  radyasyonu,  $\beta$  radyasyonu,  $\gamma$  radyasyonu denir.

#### 3.1. Alfa, Beta ve Gama Işınlarnın Özellikleri

##### 3.1.1. Alfa

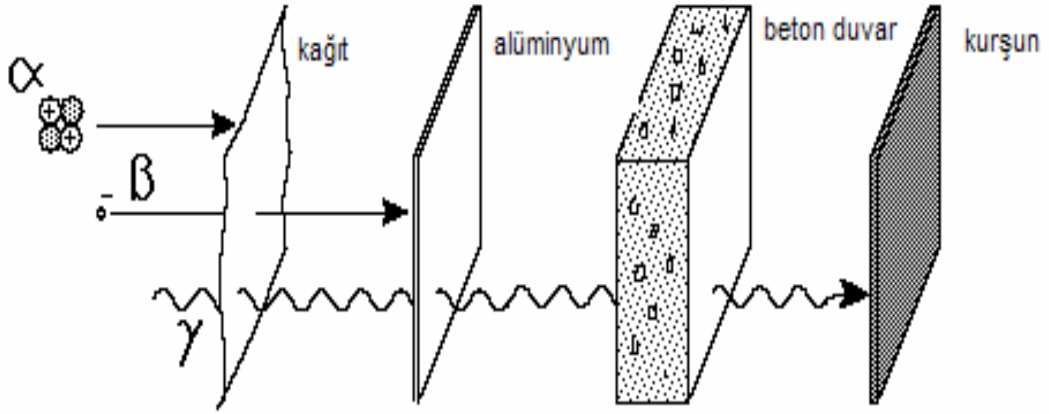
Giricilikleri çok azdır. Fotoğraf filmine etki ederler. Pozitif yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda kutuba doğru saparlar. Karşılaştıkları moleküllerden elektron kopararak, iyonlaşmaya neden olurlar.

##### 3.1.2. Beta

İyonlaşma etkileri azdır. Işık hızına yakın bir hızla hareket ederler. Alfa ışınlarından daha çok, gama ışınlarından daha az giricidir. Fotoğraf filmine etki ederler. Elektrik ve manyetik alanda negatif yüklü oldukları için pozitif kutuba doğru saparlar. Sapmaları alfa ışınlarından daha fazladır, çünkü bunların kütleleri daha küçüktür.

##### 3.1.3. Gama

Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidir. Yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapmaya uğramazlar. Kütesizdirler, fotoğraf filmine etki ederler [7].



Şekil 3.1. Alfa, Beta ve Gamanın Giricilikleri [2].

Çizelge 3.1. Alfa, Beta ve Gamanın nicelikleri [8].

Parçacık	Kütle (MeV/c <sup>2</sup> )	Yük
Gamma (g)	0	0
Beta (b)	~0.511	-1
Alpha (a)	~3752	+2

$$m = \frac{E}{c^2}$$

Radyasyonu madde üzerinde meydana getirdiği etkiye göre iki grupta toplayabiliriz.

1. İyonlaştırıcı radyasyon

- X-ışınları, gama ışınları
- Alfa tanecikleri
- Beta tanecikleri
- Kozmik ışınlar
- Nötronlar

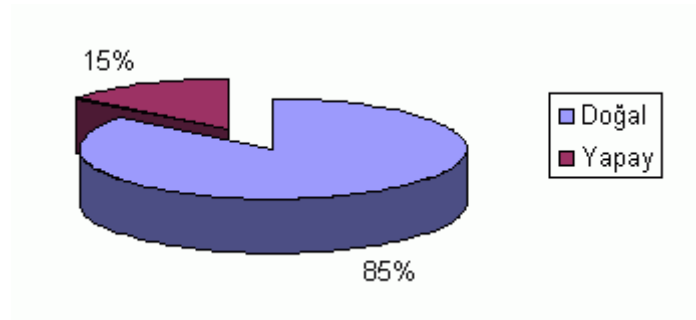
2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

- a) Ultraviyole ışınlar
- b) Kızılötesi ışınlar
- c) Radyo dalgaları
- d) Kozmik ışınlar
- e) Baz istasyonları
- f) Cep telefonları
- g) Mikrodalga fırınlar
- h) Radarlar
- i) Yüksek gerilim hatları

İyonlaştırıcı radyasyon, atom ve moleküllerden elektron koparabilen radyasyonlardır

### 3.2. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon, doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır.



**Şekil 3.2.** Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları [5].

### 3.3. Doğal Radyasyon Kaynakları

Bütün canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yerkabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ve bunlara ilave olarak da yapay kaynaklardan ışınlanmaktadır. İnsanlar; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 2.5 mSv yıllık doza maruz kalmaktadırlar. Bu dozun; yaklaşık %87'si doğal kaynaklardan, %12'si tıbbi

uygulamalardan, geri kalan kısmı ise mesleki ışınlamalar ve diğ er yapay kaynaklardan meydana gelmektedir.

Doğ al kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileş eni, radon gazı ve onun kısa yarı ö mür lü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir. Radon; uranyumun mevcut oldu ğ u tüm kayalardan, topraklardan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulundu ğ u ortamın boş luklarından ilerleyerek atmosfere kaç ma eğ ilimi gösterir. Doğ al radyasyon kaynaklarını ş u şekilde sınıflandırabiliriz [5].

1. Kozmik radyasyon
2. Gama radyasyonu
3. Vücut iç i ışı nlanma
4. Radon.

### **3.2.1. Kozmik radyasyon**

Doğ al radyasyonun büyük bir bölümünü uzaydan gelen kozmik ışı nlar oluşturur. Kozmik ışı nların da büyük bir kısmı atmosferden geçmeye çalışırken tutulurlar ve sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaş ır. Atmosfere giren kozmik ışı nlar atmosferden geçtikten sonra yeryüzündeki manyetik alandan da etkilenir. Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışı n girer. Kozmik ışı nlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaş ık reaksiyonlar geçirirler ve atmosfer tarafından azar azar tutulurlar. Bu sebepten dolayı yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır. Örneğ in bir pilot uç uş süresi boyunca, deniz seviyesinde ç alış an bir kiş inin maruz kaldığı doğ al radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyon dozuna maruz kalır.

### **3.2.2. Gama radyasyonu**

Yerkabuğ undaki bütün maddeler radyonüklid iç ermektedir. Yeryüzündeki radyonüklidlerin yaydığı gama ışı nları nedeniyle tüm vücut radyasyona maruz kalmaktadır. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda radyoaktivite iç erirler. Böylece insanlar bina dış ında oldu ğ u gibi bina iç indede radyasyona maruz kalır. Alınan radyasyon dozu bölgenin taş ına, toprağı na ve yapı malzemelerine bağı lıdır.

### **3.2.3. Vücut iç i ışı nlanma**

Vücut iç i ışı nlanma solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır.

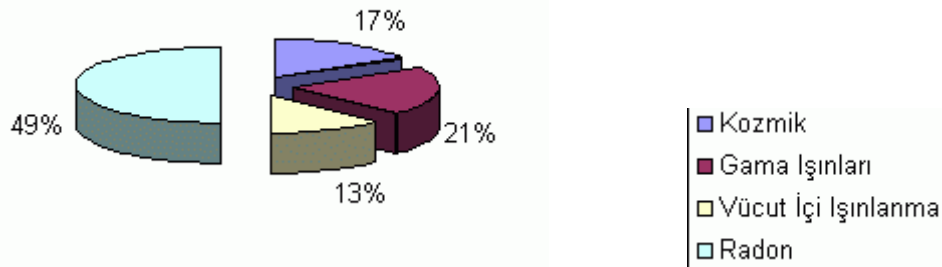
Havada bulunan U-238 ve Th-232 bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınırlar. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturur. Radon haricinde doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır.

Yiyecek ve içeceklerde bulunan K-40, U-238 ve Th-232 serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluştururlar. Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak, besin maddelerinin içinde bulunduğu radyoizotoplara, bölgenin iklimine ve tarımsal uygulamalara göre değişiklik gösterir.

#### 3.2.4. Radon

Radyoaktivite Marie Curi'nin Radium üzerindeki çalışmalarıyla bulunduktan sonra, doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli boyutlarda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn radium tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını bularak keşfedilmiştir.

Radon biyosferde bolca bulunur ve kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi nadir elementlerden birisidir. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır [1].



Şekil 3.3 Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri [5].

#### 3.4. Yapay Radyasyon Kaynakları

- i. Tıbbi uygulamalar
- ii. Tanısal radyoloji
- iii. Nükleer tıp



- iv. Radyoterapi
- v. Endüstriyel uygulamalar
- vi. Nükleer serpinti
- vii. Nükleer güç santralleri
- viii. Tüketici ürünleridir.

### **3.3.1. Tıbbi uygulamalar**

Hastalıkların teşhis ve tedavi safhasında oldukça önemlidir. Bu alandaki uygulamalar radyasyon ile görüntü elde etme ve hasta hücre veya tümörlerin yok edilmesinde kullanılır.

### **3.3.2. Tanısal radyoloji**

Hastalıkları teşhis etmek amacıyla X-ışınlarının kullanılarak hastanın röntgen filminin çekilmesi şeklindedir.

### **3.3.3. Nükleer tıp**

Organ ve dokuların işleyişleri hakkında bilgi sahibi olmak için radyoaktif maddeler vücuda, radyoaktif maddenin incelenecek doku üzerinde toplanmasını ve belli bir süre burada kalmasını sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilerek verilir. Bu radyoaktif maddenin vücut içerisinde dağılımı, vücuda verilen radyoaktif maddeden salınan gama ışınlarını algılayan cihazlarlar sayesinde elde edilir.

### **3.3.4. Radyoterapi**

Genel olarak kanser hastalıklarının %50'sinin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Genellikle yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve Co-60 radyoaktif kaynaklı cihazlar kullanılır. Tedavinin amacına ulaşması için tedavi edilecek bölgeye tedavi için gerekli doz verilirken sağlam doku ve organların dozunun minimum düzeyde tutulması gerekir.

### **3.3.5. Endüstriyel uygulamalar**

X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmi çekilen endüstriyel ürünlerin borular, buhar kazanları, makine aksamları vs. herhangi bir hata içerip içermediği tespit etmek için kullanılır. Bu çalışmalar radyografi olarak adlandırılır. Ayrıca radyasyondan yararlanılarak birçok sanayi ürününün yani demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker vs. gibi üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır.

Akarsularda debi ölçümü, barajlardaki su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takip edilmesi, radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılmış tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilmektedirler.

### 3.3.6. Nükleer serpinti

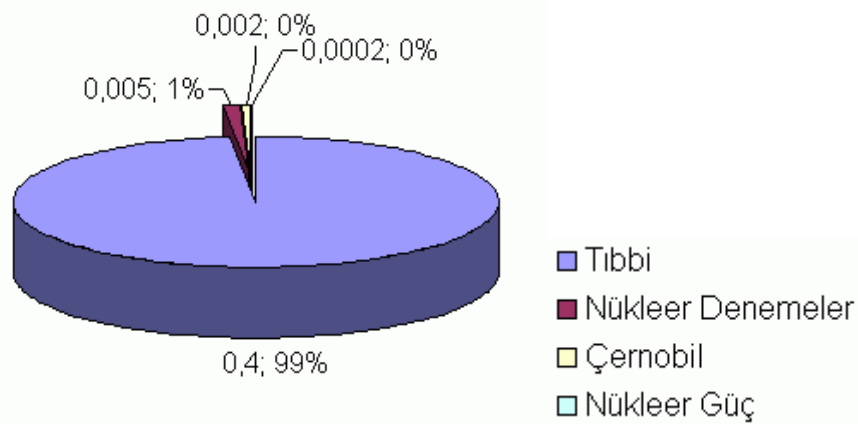
Yeraltında ve yerüstünde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucunda meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif kirliliğe ve çevre kirliliğine sebep olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır.

### 3.3.7. Nükleer güç santralleri

Ağır radyoaktif atomların örneğin uranyum gibi bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi yani fisyon veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları meydana getirmesi yani füzyon sonucunda büyük miktarda enerji açığa çıkar ve bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde fisyon reaksiyonu ile oluşan enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyondur ve bu reaksiyonun yaraymış olduğu sıcaklık fisyon reaksiyonlarınkinden çok daha fazladır ki bu nedenle bu sıcaklığı kontrol edebilecek füzyon reaktörü kurulamamıştır.

### 3.3.8. Tüketici ürünleri

Televizyonlar, duman detektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı ürünlerde az miktarda da olsa radyoaktif madde vardır. Kömür ve fosfat kayalarında uranyum, radyum, potasyum-40 ve toryum vardır.



Şekil 3.4. Yapay radyasyon kaynakları [5].

**Çizelge 3.2.** Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar [5].

Kaynak	Doz (mSv)
<b>Doğal</b>	-
Kozmik	0,4
Gama Işınları	0,5
Vücut İçi ışınlanma	0,3
<b>Radon</b>	<b>1,2</b>
<b>Yapay</b>	-
Tıbbi	0,4
Nükleer Denemeler	0,005
Çernobil	0,002
Nükleer Güç	0,0002
Toplam (ortalama)	2,8

## 4. RADYOAKTİF SERİLER

Doğada doğal ve yapay olmak üzere dört seri vardır.

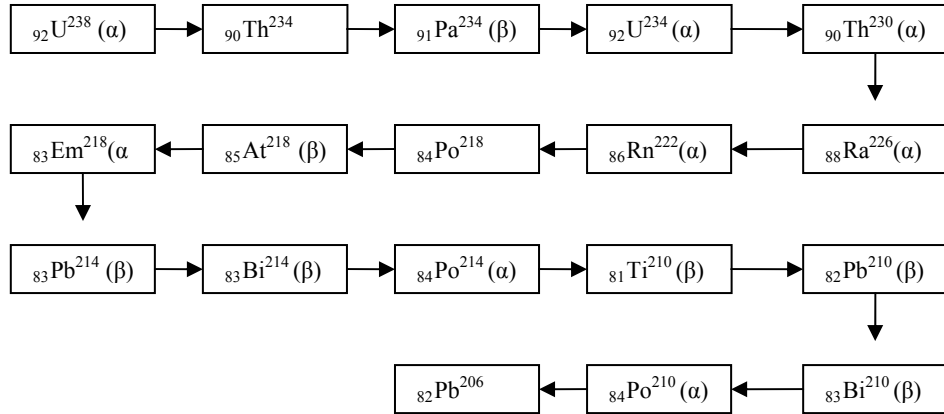
### 4.1. Doğal Seriler

Uranyum serisi, toryum serisi ve aktinyum serisidir. Doğal serinin bazı özellikleri şöyledir.

Hepsi Pb' nin bir izotopu ile son bulurlar. Uzun ömürlü bir element ile başlarlar. Radon gazının bir izotopu içerirler ve her üç serinin bazı elemanları hem  $\alpha$  hem  $\beta^-$  çıkararak bozunur. Bu elementler Z=81 ile Z=92 arasında bulunan elementlerdir.

#### 4.1.1 Uranyum serisi

${}_{92}\text{U}^{238}$  ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayımlayarak RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan  ${}_{82}\text{Pb}^{206}$  kararlı bir atoma dönüşür. Bu serinin kütle sayıları  $(4n+2)$  şeklindedir. (n bir tamsayıdır) [4].



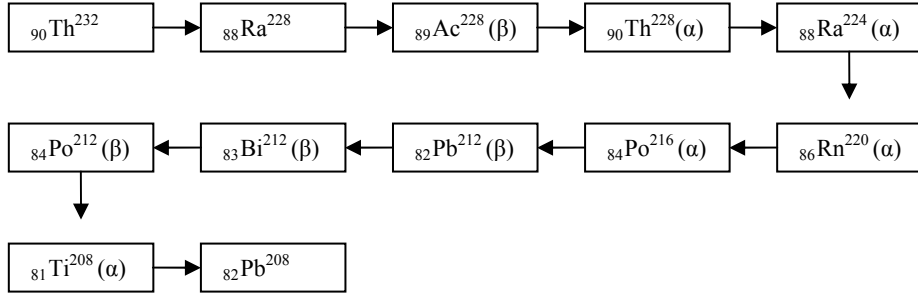
Şekil 4.1. Uranyumun bozunum şeması.

**Çizelge 4.1.** Uranyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri [9].

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{92}\text{U}^{238}$	$4.51 \times 10^9$ yıl	$\alpha$
${}_{90}\text{Th}^{234}$	24.10 gün	$\beta$
${}_{91}\text{Pa}^{234}$	1.75 dakika	$\beta$
${}_{92}\text{U}^{234}$	$2.48 \times 10^5$ yıl	$\alpha$
${}_{90}\text{Th}^{230}$	$8.0 \times 10^4$ yıl	$\alpha$
${}_{88}\text{Ra}^{226}$	1.622 yıl	$\alpha$
${}_{86}\text{Rn}^{222}$	3.825 gün	$\alpha$
${}_{84}\text{Po}^{218}$	3.05 dakika	$\beta$
${}_{85}\text{At}^{218}$	2 saniye	$\beta$
${}_{83}\text{Em}^{218}$	0.019 saniye	$\alpha$
${}_{83}\text{Pb}^{214}$	26.8 dakika	$\beta$
${}_{83}\text{Bi}^{214}$	19.7 dakika	$\alpha$
${}_{84}\text{Po}^{214}$	$1.64 \times 10^{-4}$ saniye	$\beta$
${}_{81}\text{Ti}^{210}$	1.32 dakika	$\beta$
${}_{82}\text{Pb}^{210}$	19.4 yıl	$\beta$
${}_{83}\text{Bi}^{210}$	5.00 gün	$\beta$
${}_{84}\text{Po}^{210}$	138.40 gün	$\beta$
${}_{82}\text{Pb}^{206}$	Kararlı	-

#### 4.1.2 Toryum serisi

${}_{90}\text{Th}^{232}$  ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarak ThD denilen kurşunun bir izotopu olan  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ 'a dönüşür. Bu serinin kütle sayısı (4n) şeklindedir [4].



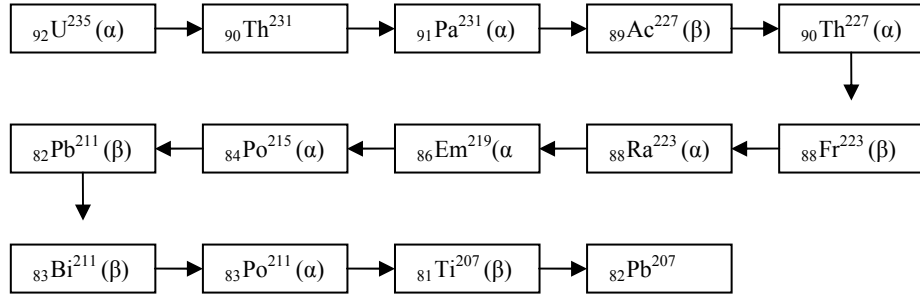
Şekil 4.2. Toryum bozunum serisi.

Çizelge 4.2. Toryum serisi ürünlerinin yarı ömürleri [9].

Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{90}\text{Th}^{232}$	$1.39 \times 10^{10}$ yıl	$\alpha$
${}_{88}\text{Ra}^{228}$	6.7 yıl	$\beta$
${}_{89}\text{Ac}^{228}$	6.13 saat	$\beta$
${}_{90}\text{Th}^{228}$	1.91 yıl	$\alpha$
${}_{88}\text{Ra}^{224}$	3.64 gün	$\alpha$
${}_{86}\text{Rn}^{220}$	52 saniye	$\alpha$
${}_{84}\text{Po}^{216}$	0.158 saniye	$\alpha$
${}_{82}\text{Pb}^{212}$	10.64 saat	$\beta$
${}_{83}\text{Bi}^{212}$	60.5 dakika	$\beta$
${}_{84}\text{Po}^{212}$	$3.04 \times 10^{-7}$ saniye	$\beta$
${}_{81}\text{Tl}^{208}$	3.1 dakika	$\alpha$
${}_{82}\text{Pb}^{208}$	Kararlı	-

#### 4.1.3 Aktinyum serisi

${}_{92}\text{U}^{235}$  ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarken AcD denilen ve kurşunun bir izotopu olan  ${}_{82}\text{Pb}^{207}$  'a dönüşür. Bu serinin kütle sayıları  $(4n+3)$  şeklindedir [4].



Şekil 4.3. Aktinyum bozunum serisi.

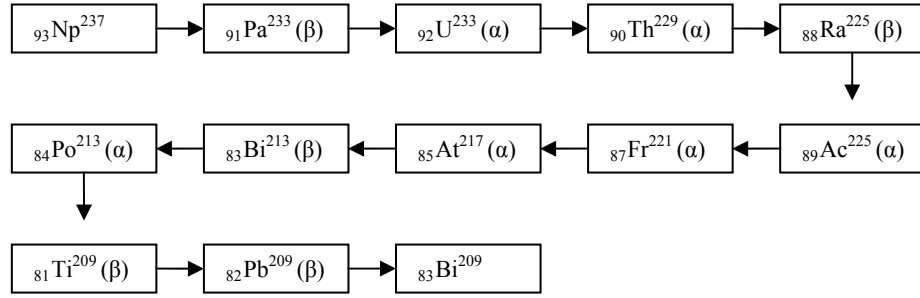
Çizelge 4.3. Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri [9].

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı parçacık türü
$^{92}\text{U}^{235}$	$7.13 \times 10^8$ yıl	$\alpha$
$^{90}\text{Th}^{231}$	25.64 saat	$\beta$
$^{91}\text{Pa}^{231}$	$3.43 \times 10^4$ yıl	$\alpha$
$^{89}\text{Ac}^{227}$	21.8 yıl	$\beta$
$^{90}\text{Th}^{227}$	18.4 gün	$\alpha$
$^{88}\text{Fr}^{223}$	21 dk	$\beta$
$^{88}\text{Ra}^{223}$	11.68 gün	$\alpha$
$^{86}\text{Em}^{219}$	3.92 saniye	$\alpha$
$^{84}\text{Po}^{216}$	$1.83 \times 10^{-3}$ saniye	$\alpha$
$^{82}\text{Pb}^{211}$	36.1 dakika	$\beta$
$^{83}\text{Bi}^{211}$	2.16 dakika	$\beta$
$^{84}\text{Po}^{211}$	0.52 saniye	$\alpha$
$^{81}\text{Tl}^{207}$	4.78 dakika	$\beta$
$^{82}\text{Pb}^{207}$	kararlı	-

## 4.2. Yapay Seriler

### 4.2.1. Neptünyum serisi

Yapay bir seridir. Kütle sayılar  $(4n+1)$  şeklindedir. Bu seri Plutonyum-241 ile başlar ve serinin kararlı olan son elementi  $^{83}\text{Bi}^{209}$ 'dur [4].



Şekil 4.4. Neptünyum bozunum serisi.

Çizelge 4.4. Aktinyum serisi ürünlerinin yarı ömürleri [9].

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı parçacık türü
${}_{93}\text{Np}^{237}$	$2.2 \times 10^6$ yıl	$\alpha$
${}_{91}\text{Pa}^{233}$	27.4 gün	$\beta$
${}_{92}\text{U}^{233}$	$1.62 \times 10^5$ yıl	$\alpha$
${}_{90}\text{Th}^{229}$	$7.34 \times 10^3$ yıl	$\alpha$
${}_{88}\text{Ra}^{225}$	141.8 gün	$\beta$
${}_{89}\text{Ac}^{225}$	10.0 gün	$\alpha$
${}_{87}\text{Fr}^{221}$	4.8 dakika	$\alpha$
${}_{85}\text{At}^{217}$	0.018 saniye	$\alpha$
${}_{83}\text{Bi}^{213}$	47 dakika	$\beta$
${}_{84}\text{Po}^{213}$	$4.2 \times 10^{-6}$ saniye	$\alpha$
${}_{81}\text{Ti}^{209}$	2.2 dakika	$\beta$
${}_{82}\text{Pb}^{209}$	3.32 saat	$\beta$
${}_{83}\text{Bi}^{209}$	Kararlı	-

Çizelge 4.5. Radyoaktif serilerin en kısa ve en uzun yarı ömürlü üyeleri


Seri Adı	İlk Çekirdek	Son Çekirdek(Kararlı)	En kısa yarı ömürlü üye	En uzun yarı ömürlü üye
Uranyum Serisi	${}_{92}\text{U}^{238}$	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	$1.64 \times 10^4$ saniye	$4.51 \times 10^9$ yıl
Toryum Serisi	${}_{90}\text{Th}^{232}$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	$3.04 \times 10^{-7}$ saniye	$1.39 \times 10^{10}$ yıl
Aktinyum Serisi	${}_{92}\text{U}^{235}$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	21 dakika	$7.13 \times 10^8$ yıl
Neptünyum Serisi	${}_{94}\text{Pu}^{241}$	${}_{83}\text{Bi}^{209}$	$4.2 \times 10^{-6}$ saniye	$2.2 \times 10^6$ yıl



## 5. RADYUM

1898 yılında Pierre curie ve eşi Marie Curie tarafından pechblend (U3O8) adı verilen uranyum minerali üzerinde yapılan araştırmalar sırasında bu madenden 900 defa daha radyoaktif bir cismin varlığını ortaya çıkarılmış ve radyum adı verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Radyumun özellikleri.

Sembol	Ra
Atom Numarası	88
Atomik yığın	(226.0) amu
Erime Noktası	700.0 °C (973.15 °K, 1292.0 °F)
Kaynama Noktası	1737.0 °C (2010.15 °K, 3158.6 °F)
Proton ve Elektron Sayısı	88
Nötron sayısı	138
Sınıfı	Toprak Alkali Metaller
Kristal Yapısı	Kübik
Yoğunluk	5.0 g/cm <sup>3</sup>
Periyodik cetveldeki yeri	7 periyod 2A grubu
Yarılanma süresi	1600 yıl
Elementin resmi	

**Çizelge 5.2.** Radiumun doğal izotopları [10].

İzotop	Bozunma serisi	Ana Element	Ürün Element	Yarı Ömür	Bozunma Türü
Ra-223	U-235	Th-227	Rn-219	11.4 gün	$\alpha, \gamma$
Ra-224	Th-232	Th-228	Rn-220	3.66 gün	$\alpha, \gamma$
Ra-226	U-238	Th-230	Rn-222	1620 yıl	$\alpha, \gamma$
Ra-228	Th-232	Th-232	Ac-228	5.8 yıl	$\beta, \gamma$

On iki yıl sonra Marie Curie, bir ton pekblendini işledikten sonra birkaç desigramlık saf radium elde etmeyi başarmıştır.

Beyaz, parlak, gümüş renkli ve radyoaktif bir maden olan radium, latince, ışın anlamına «radius»tan gelir ve kanserojen bir elementtir. Simgesi mısır güneş tanrısı olan radır'dır. Işın etkinliği çok olan bir elementtir. Bu element doğal bir element olmayıp sonradan kimyasal yollarla bulunmuştur. Bütün izotopları radyoaktiftir, kararlı izotopu yoktur, çok ender bulunan bir metaldir. Soğukta suyu ayırıştırarak radium, çok az miktarda kullanılması gereken bir madendir.


Radium, sürekli olarak atom yapısında bozunma (dönüşüm) gösteren bir maddedir. Bu bozunma sırasında ışın yaydığı gibi helyum ve radon gazını da (radyoaktif gazlar) açığa çıkarır. Bu tepkimeden çok büyük miktarda ısı doğar. 1 gram radium 340 kilo kömürün verdiği kadar enerji sağlar. Kanserli hücrelerin yok edilmesinde radiumun radyoaktif ışınları kullanılır.

Ayrıca bir takım işlemlerden sonra boya elde edilerek profesyonel dalgıç saatlerinde ve bazı kol saatlerinde de kullanılmaktadır fakat çok az miktarda kullanılmasına rağmen tehlikeli olduğu için kol saatlerinin rakamlarında kullanılması yasaklanmıştır.

Günümüzde kanser tedavisi için kullanılsa da radium yerine Co-60 gibi daha güvenli ve daha güçlü radyoizotopların kullanılması tercih edilmektedir. Nötron kaynağı olarak ve termoelektrik enerji üretiminde kullanılır [11,12].

## 6. RADON

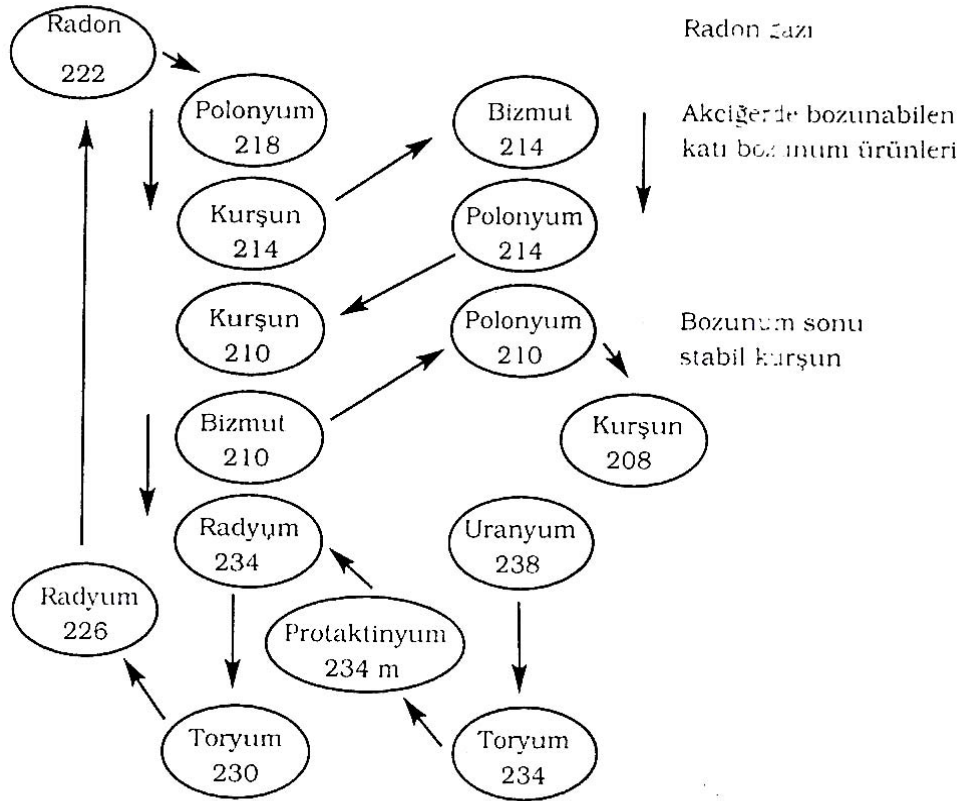
**Çizelge 6.1.** Radonun Özellikleri.

Sembol	Rn
Atom Numarası	86
Atomik yığın	(222.0) amu
Erime Noktası	-71.0 °C (202.15 °K, -95.8 °F)
Kaynama Noktası	-61.8 °C (211.35 °K, -79.24 °F )
Proton ve Elektron Sayısı	86
Nötron sayısı	136
Sınıfı	Soygazlar
Kristal Yapısı	Kübik
Yoğunluk	9.73 g/cm <sup>3</sup>
Periyodik cetveldeki yeri	O grubu (soy gazlar)
Yarılanma süresi	3.8 gün
Elementin resmi	

Hareketsiz ve radyoaktif bir gaz olan radon, radyumun radyoaktif bozunumundan oluşur. Kimyasal bir elementtir. Havadan 7.5 kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan -195 °C derecede turuncu-kırmızı arası bir renk alır. Radyoaktif radyumun kararlı özellikteki kurşuna dönüşümü sırasında meydana gelir [1].

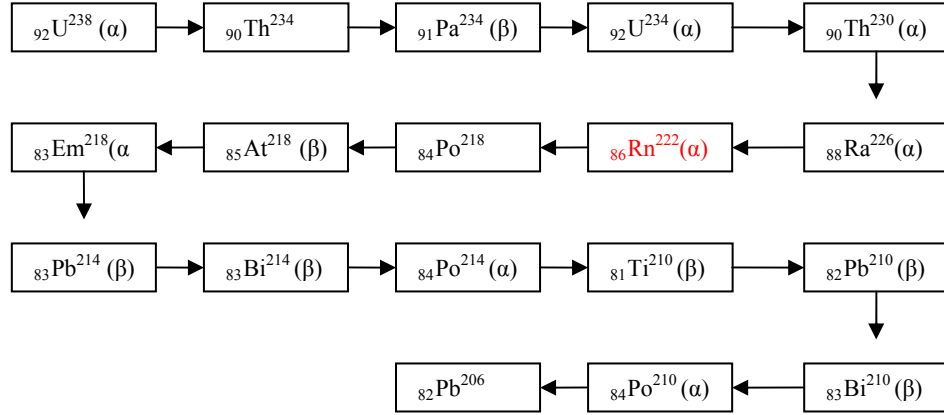
Radyum-226'nın bozunumundan yarı ömrü 3.8 gün olan  $^{222}\text{Rn}$ (Radon) ortaya çıkar. Radon bozunarak alfa ışınımı ile  $^{218}\text{Po}$  (polonyum-218) dönüşür. Polonyum 218'in yarı ömrü 3 dakikadır. Radon terimi sadece Radon 222 için kullanılır. Radonun diğer iki izotopu Toron ve Aktinon'dur. Toron, Radon-220, Aktinon ise Radon-219'dur. Radon-220'nin yarı ömrü 51.5 saniyedir. Toronun yarı ömrü ise 3.92 saniyedir.  $^{238}\text{U}$  serisinden bir izotoptur.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönmektedir.

Uranyum-238 birçok elementin uzun rodyonüklid bozunma serisinin kaynağı olup, kararlı  $^{206}\text{Pb}$  haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu ( $\text{Rn-222}$ ) atmosferde dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum'da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve Toryum-232, başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Toryum bozunum serisinin son ürünü kararlı  $^{208}\text{Pb}$ 'dir. Potasyum-40 ( $^{40}\text{K}$ ) kararlı elementinin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak %2.4 'ünü oluşturur.



Şekil 6.1. Radon Bozunum Ürünleri [1].

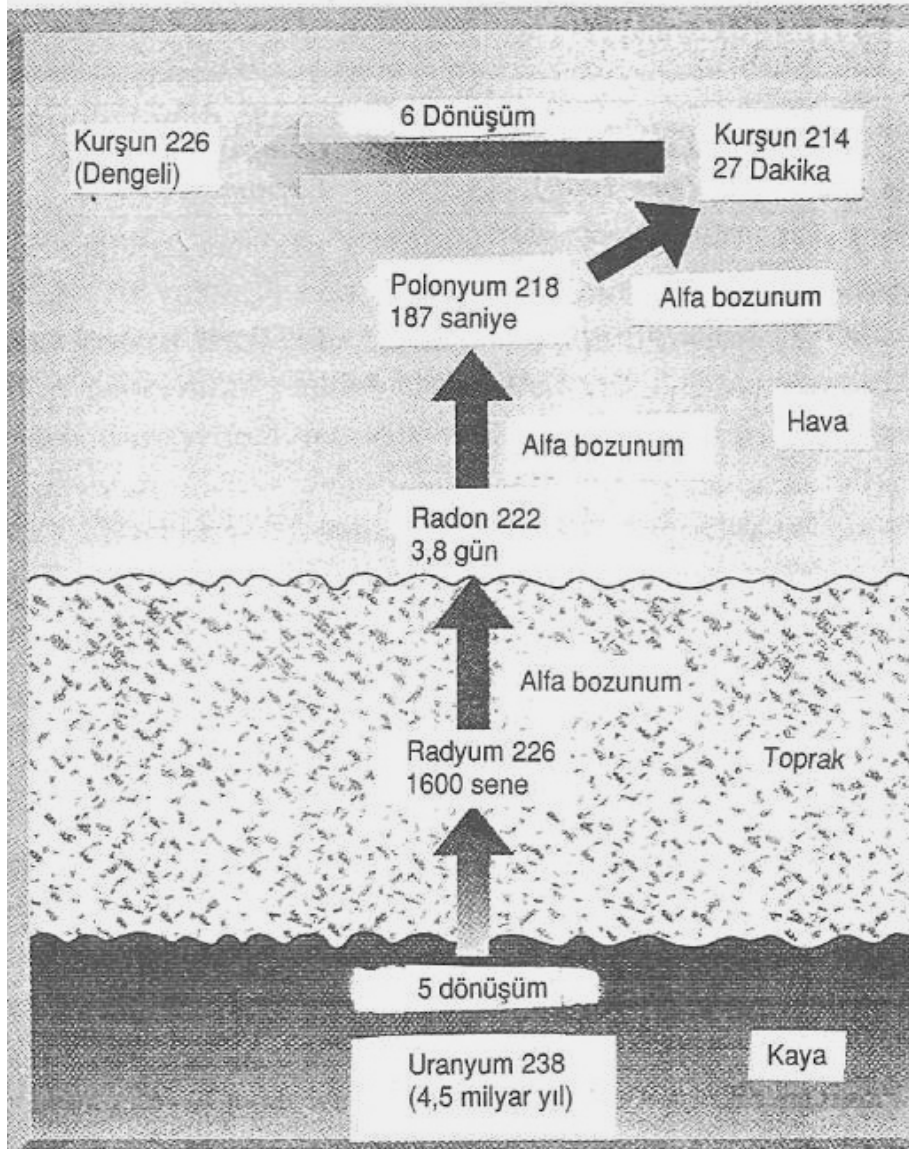
Radon radyoaktif bir madde olan uranyumun bozunması sonucu oluşur.



**Şekil 6.2.** Radon gazının oluşum şeması.

Canlıların maruz kaldığı radyoizotoplar doğal ve yapay radyoaktif çekirdekler olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Doğal radyonüklidlerin kaynağı yerkabuğunun yapısında yer alan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ile  $^{40}\text{K}$  'dır. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Madenlerde ise yaklaşık 1500 ppm seviyesinde olup, nükleer reaktörlerde kullanmak için çıkarılmaktadır.

Radon yeryüzüne topraktaki radyumun bozunmasıyla açığa çıkar. Atmosfer basıncın düşmesi aynı zamanda toprak havasından da basıncın düşmesine neden olur. Buda radon göçünü artırır. Yağışlı havalarda yüzey deki topraklar nemlendiğinden toprak gözenekleri kapanır. Radonun yukarı doğru difüzyon yoluyla geçmesi zorlaşır ve toprak yüzeyindeki radon yoğunluğunun azalmasına neden olur. Sıcaklık yükselmesi toprağın kurumasına ve gözeneklerin çoğalmasına neden olduğundan, radonun topraktan kaçması kolaylaşmaktadır. Radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi deniz seviyesinden yüksekliğe göre farklılıklar göstermektedir. Dağlık bölgelerde, sıcaklık ve rüzgar değişimine bağlı olarak konsantrasyonda dalgalanmalar gözlenmektedir.



**Şekil 6.3.** Radon Bozunma Şeması [1].

Coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Binalarda birikmekte ve bazen yüksek dozlara erişebilmektedir.

Radon insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerdendir. Doğal radyoaktif elementler yerkürenin oluşumundan beri bulunmaktadır. Kısa yarı ömürlü olanlar kaybolmuşlardır, ancak uzun yarı ömre sahip olan radyoaktif elementler varlıklarını günümüze kadar sürdürmüşlerdir. Bunlar arasında radonun ana elementi olan radyoaktif Radium'da bulunmaktadır.

Radyum toprakta, kayalarda ve bazı inşaat malzemelerinde çok fazla miktarda bulunmaktadır.

Toprakta havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirlenici faktörü olarak belirmektedir. Suda eriyebilme özelliği olduğundan bazen sudan havaya geçişi de olabilir. Normal atmosferde hava olaylarına bağlı olarak dilue olur ve düşük konsantrasyonlara havuz sistemlerinde yüksek konsantrasyona ulaşabilir.

Bu gaz radyoterapide, radyasyon kaynağı araştırmalarında ve nötron üretiminde kullanılır.

### **6.1. Radon Etkilenim Kaynakları**

Toprakta yüksek miktarda doğal radyoaktif radon bulunmaktadır. Kapalı ortamlardan veya radyoaktif su kaynaklarında oluşan çatlaklardan sızabilmekte, çözünme özelliğinden dolayı suyla taşınabilmektedir. Toprakta radon salınımı şu şekildedir:

- i. Toprağın geçirgenliğine
- ii. Toprağın Durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)
- iii. Meteorolojik koşullara (toprak ve havanın sıcaklığına, hava basıncına, rüzgarın hızına ve yönüne)
- iv. Bölgenin yüksekliği ile ilişkilidir.

Ayrıca:

- i. Yeraltı suları
- ii. Doğal gazlar
- iii. Kömür
- iv. Okyanuslar sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir.

Radonu çeşitli bölgelerde salınım bakımından bazı değişiklikler göstermektedir. Aynı yerleşim bölgelerinde bile zamana bağlı değişiklik göstermesi söz konusudur. Yeraltı kayalarındaki uranyum derişimi en önemli radon salınım nedenlerinden birisidir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistlerden önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Sedimanter topraklarda ise radon konsantrasyonu düşüktür. Bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de az miktarda olsada radona rastlanmaktadır.

## 6.2. Evlerde Radon

Evlerde radon gazı ölçümü ilk defa 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı artar, bu sebepten dolayı düşük dozlarda olsa bile etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevremizde ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır.

Evlerde bulunan radonun büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Eğer zemin topraksa, radon kolayca sızabilmekte, çimento ise radon zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisattaki duvar arası boşluklar radonun sızmasını kolaylaştırır.

Eğer radyoaktif materyalden yapılmışsa duvardan da radon yayılabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemeleri eğer radon içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radonun kaynağını oluşturabilmektedir.

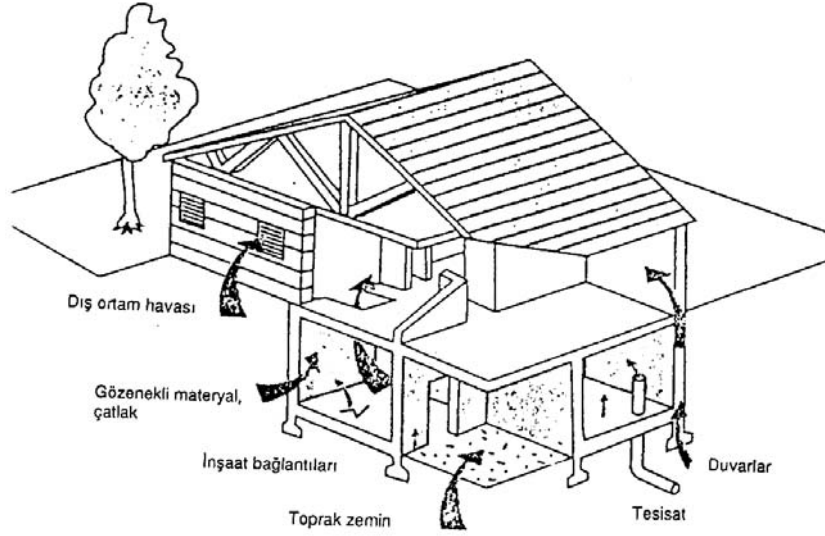
Radon gazı evlere:

- i. Toprak ve kayalardan evlerin zemin katlarına
- ii. Yeraltı sularında eriyerek kuyular aracılığıyla
- iii. Radonlu materyalden yapılmış briket vb. malzeme kullanıldığında evlere girmektedir.

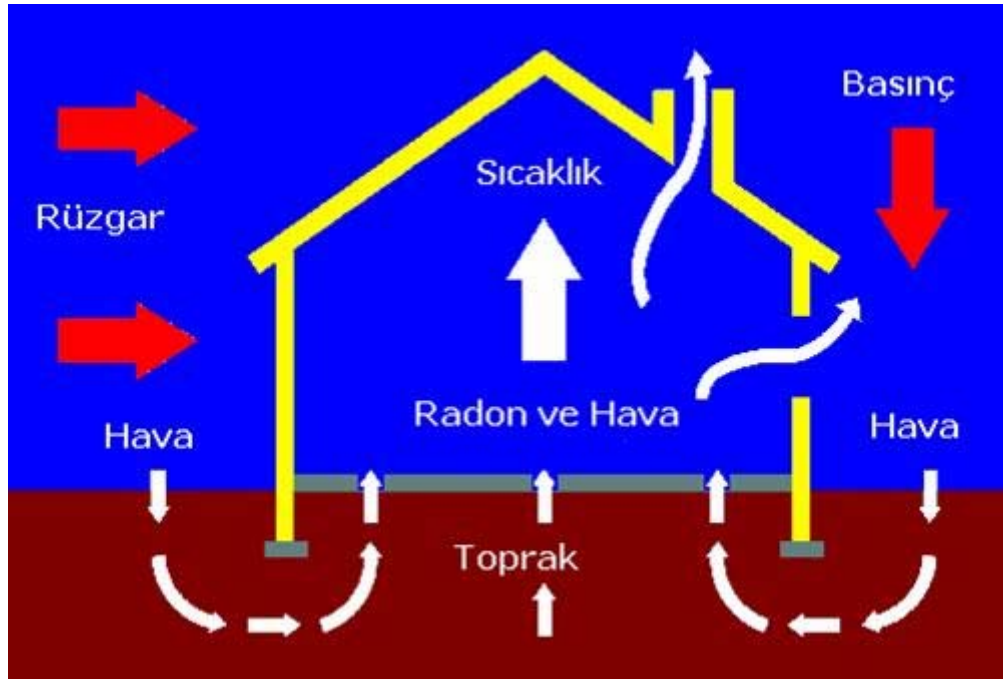
Sağlam çimento duvarlardan radonun yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur. Evin içerisine sızan radon havadan ağır olmasından dolayı evde yerden genellikle 50 cm yükseklikte kalmaktadır. Evde özel bir mekanizma yoksa evin içindeki basınç dışarıdaki basınçtan genelde biraz daha düşük olacağından ötürü kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Ancak yapım sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması ve yeterince havalandırma yapılması ile bu durumların önüne geçilebilir.

Taban tahta döşemesinin altına çakıl ve kırma taş yerleştirilmesi durumunda radon konsantrasyonunda büyük oranda artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar açık havada yapılan ölçümün gerçek oranda radon kirliliğini göstermediği, ancak kapalı ve oda ortamını andıran düzeneklerde yapılan ölçümlerle fikir sahibi olunabileceği belirtilmektedir.





Şekil 6.4. Evlere Radonun Girişi [1].



Şekil 6.5. Radonun ev ortamına giriş yolları [13].

### 6.3. Sularda Radon

Radyoaktif maddelerin yer kabuğundaki derişimleri, bu maddelerin bulunduğu yerin jeolojik yapısıyla yakından ilişkilidir.

Radonun suda eriyebilme özelliği olduğundan dolayı içilen suyla ve uçuculuğu sebebiyle havaya karışıp solunum yoluyla vücuda girer ve bütün hücrelere yayılır. Radon asal bir gaz olduğundan dolayı hücrelerdeki diğer maddelerle etkileşmeye girmez fakat yaydığı alfa ışınlarıyla ve bozunarak ürettiği ağır metallere vücuda etkiler.

Yer kabuğunun derinliklerindeki uranyum zengini granit, kristalin kaya katmanlarında doğal radyoaktif maddeler çok fazla miktarda bulunur. Bunlardan özellikle uranyum ve toryum radyoaktif dizilerindeki çeşitli radyoizotoplarla, bu dizilerin dışındaki <sup>40</sup>K yeraltı sularına geçer ve yeraltı sularının yerleşim yerlerine içme ve kullanma suyu olarak dağıtılması yoluyla, sulardaki radyoaktif maddeler, doğrudan ya da sudan havaya geçerek dolaylı yoldan, insan vücuduna girer..

Uranyum-238 ve Toryum-232 ile Radon-222'nin radyoaktif bozunması sonucu oluşan Polonyum-210 ve Kurşun-210 radyoizotopları da yeraltı sularında bulunan diğer önemli radyoizotoplar ve Radyum-226 ile Radon-222 insan sağlığı üzerine etkisi bakımından önemli radyoizotoplardır [14].

#### **6.4. Radonun Sağlık Üzerine Etkileri**

Radonun reaktivitesi zayıf olduğu için teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Dokulardaki çözünürlüğü ise çok düşük olmasına rağmen radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar, radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğer tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli, bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar da bozunmaya devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünlerinin konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır [5].

Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdiklerinden dolayı radona maruz kalmaları önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Binalara radon;

zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklarından girmekte, ayrıca yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi konsantrasyonu artırmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı, toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar. Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra-226 miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

Radon topraktan moleküler difüzyon veya konveksiyonla sızarak yerden havaya doğru hareket etmekte ve atmosfere ulaşmaktadır. Fakat bir bölümü yüzey altında kalıp, suda çözünerek yeraltı sularına karışmaktadır. Havadaki radonun dağılımı meteorolojik şartlara bağlı olmakla birlikte radon konsantrasyonu yükseklikle azalmaktadır. Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar. Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2,500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5,000, sigara içenlerden ise 15,000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

Tablo 1'de, çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. Tablo 2'de ise evlerde ölçülen ortalama radon konsantrasyonları verilmektedir.

**Çizelge 6.2.** Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m<sup>3</sup>).

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

\*Avrupa Birliği

\*\*Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

\*\*\*Dünya Sağlık Örgütü

**Çizelge 6.3.** Evlerde Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>) [5].

ABD	46	Fransa	62	Macaristan	107
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	73
Avustralya	11	İngiltere	20	Polonya	41
Belçika	48	İran	82	Portekiz	62
Cezayir	30	İspanya	86	Romanya	45
Çek Cum.	140	İsveç	108	Slovakya	87
Çin	24	İsviçre	70	Suriye	44
Danimarka	53	İtalya	75	Tayland	23
Ermenistan	104	Japonya	16	Türkiye	52
Finlandiya	120	Kanada	34	Yunanistan	73

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz.

Radon özellikle uranyum madenlerinde çalışanlarda 100 seviyesinde bronkojenik kansere neden olan bir bozunum ürünüdür. Yapılan çalışmalar 50 WLM seviyesinde de bu tip kanserlerin meydana gelebildiğini göstermektedir. Madenlerde çalışanlarda radon etkilenimine bağlı akciğer kanseri riskinin arttığını gösteren epidemiyolojik çalışmalar özellikle kapalı ortamda radon kirliliği ile ilgili endişelerin artmasına sebep olmuştur. Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır.

Radona bağlı olarak meydana gelen risk dozla artar. Bu doz, etkilenimin şiddetine ve etkilenim süresine bağlıdır. Bu parametreler bronşiyal hücreleri etkileyen alfa parçacık miktarını da belirlemektedir.

Radonun akciğer kanserine etkisi doğrudan radonun kendisine değil bozunum ürünlerine bağlıdır.

### **6.5. Radonla İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler**

Ev inşaatlarına başlamadan önce radonla ilgili riskler göz önüne tutulmalıdır. Özel kapalı ortam koşullarında bölgedeki radon emisyonunun ölçülmesi gerekmektedir. Radon ölçümleri yapılırken mevsimsel, zamana bağlı hatta gece ve gündüz farklılıklarının göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

Konutların havalandırılması hijyen açısından çok önemli olmasının yanı sıra kapalı ortamlardaki radon kirliliğinin önlenmesi açısından da büyük önem taşır. Havalandırmanın kapalı ortamlardaki radon kirliliğinin azaltılmasında önemli bir yeri vardır.

Üst camların açılması odalarda baca etkisi yaratmaktadır ve sıcak hava dışarı çıkarak zeminden soğuk havanın girmesini sağlamaktadır. Bu nedenle evlerde havalandırma üst pencerelerin yerine alt pencerelerin açılması tercih edilmelidir.

Bacalar ve aktif havalandırıcılarda tabandan radon alınımını engelleyici etki yapmaktadır. Giriş zeminden yeterince yüksek ve yeterli akım hızına sahip girişlerden yapılmalıdır. Soğuk havanın zeminden alındığı sistemler engellenmelidir.

Tavanlar ve tabanlarla duvarların birleşim yerleri, su sistemleri ve boruların giriş çıkış yerleri iyice kapatılmalıdır. Tabanın toprak olması halinde ise üzerine polietilen bir naylon örtüldükten sonra çimento dökülmesi uygundur.

Zeminden binanın içerisine radonun girmesini engelleyecek en önemli uygulamalardan birisi binanın üst bölümlerinden aşağı bölümlerine doğru basınçlı havanın üflenmesidir, bu önlemlerin yetmemesi durumunda ise özel havalandırma sistemleri gerekmektedir.

Alınması gereken önlemler özetlenecek olursa:

- i. Giriş çatlaklarının çimento ile kapatılması.
- ii. Hava akımının bina içinden toprağa doğru olmalı.
- iii. Sudaki radon miktarının azaltılması için su karbon filtresinden geçirerek havalandırılmalı.
- iv. Havanın süzülmesinde elektrostatik presipitasyon yapan temizleyiciler, mekanik filtreler, negatif iyon jeneratörü tipi temizleyiciler kullanılması.
- v. Yeni inşaatların yapımında radon kapsamı ve radyoaktif içeriği düşük materyaller kullanılmalı.
- vi. Havalandırma sisteminin duvarın üst seviyesinden havayı atıp, alt seviyeden hava almak içimindeki döngüsünün tersine çevrilmesi. Tabana yakın olan radon gazının oda atmosferinin üst tabakalarına çıkmasının engellenmesi.
- vii. Binanın doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmesi.
- viii. Radon emici cihazların ölçümünün yaptırılabilceği merkezlerin kurulması.
- ix. Toplum bireylerinin radon gazına karşı duyarlılığı arttırılması.
- x. Toplum bireylerinin radon gazına karşı duyarlılığı arttırılması.
- xi. Radon konsantrasyonu yüksek bölgelerde toprak tabanlı evlerin tabanına çimento dökmeden önce polietilen örtü serilmelidir.

## 6.6. Radon Ölçümü

Radon konsantrasyonunun ölçümüyle ilgili birçok araç, gereç ve yöntem vardır. Bunların hemen hemen büyük çoğunluğu alfa parçacıklarının ölçümüne dayanır. Radon ve ürünlerinin ölçümünde genellikle alfa sayımı tercih edilmektedir. Bu araçlarla değişik bozunum aşamalarında ortaya çıkan alfa parçacıklarının miktarı ölçülür.

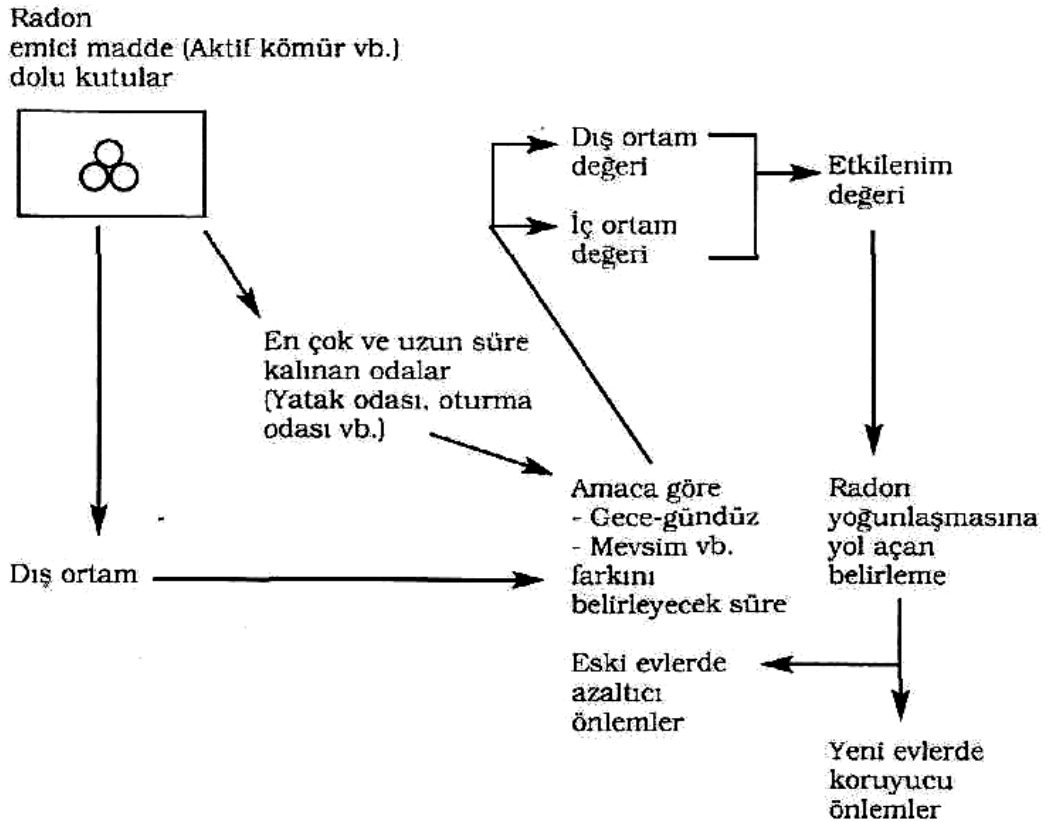
Havada radon ve bozunum ürünlerinin ölçümüyle ilgili birçok farklı teknik vardır. Havanın aktif veya pasif olarak alınışına göre iki gruba ayrılabilir. Yani herhangi bir pompa kullanmaksızın ya da elektriksel güç kaynağı kullanılarak örnek alınabilir.

Tek ölçümlü teknikte dakika ile ölçülebilir sürelerde ölçüm yapıldıktan sonra mümkün olan en kısa sürede değerlendirilir.

Sürekli ölçüm tekniği ile ise analiz eş zamanlı olarak veya kısa bir süre geçtikten sonra yapılır.

Entegre ölçümler ise günler veya bir yıl ölçüm yapıldıktan sonra yapılmaktadır. Sürenin uzunluğu oranında zamana bağlı değişimlerin genel etkisi daha kolay belirlenir.

Kapalı ortam ölçümlerinde kullanılan aktive kömür kutularında su buharı etkisine bağlı olarak emilişin azalabileceği görüşleri doğrulanmamıştır.



Şekil 6.6. Radon ölçümü [1].

## 6.7. Radon Ölçüm Metodları

Radon ve ürünlerinin aktiviteleri belirlenirken yaydıkları alfa radyasyonunun dedekte edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerin bir kısmı doğrudan arazide bir kısmı da araziden getirilen numunelerin değerlendirilmesi ile uygulanmıştır.

Radon ve ürünlerinin ölçümünde genellikle alfa sayımı tercih edilmektedir. ZnS(Ag) sintilasyon detektörü veya spektroskopik çalışmalarda silikon yüzey engelli yarı iletken detektör kullanılmaktadır. Alfa sayımının kullanıldığı teknikler arasında iyonizasyon odası, kolektör yöntemi, lucas hücresi, katıhal iz kazıma detektörleri, elektrostatik toplama yöntemi, tek ve çift filtre yöntemlerini sayabiliriz.

#### **6.7.1 İyonizasyon Odası:**

İyonizasyon odası paslanmaz çelikten silindir şeklinde yapılmaktadır. Merkez ekseninde silindirden yapılmış bir elektrot bulunur. Havadaki radon yoğunluğunu ölçmek için örneklenen hava iyonizasyon odasına geçirilip, odanın duvarları ile elektrot arasında bir potansiyel farkı uygulanır. Oluşan iyonizasyon akımı çok duyarlı elektrometre ile ölçülür.

#### **6.7.2 Kolektör Yöntemi:**

Bu yöntemin temel prensibi, bir kap içerisindeki toprak örneklerindeki radonun bozunumu ile oluşan radon ürünlerinin kolektör ve kap arasına uygulanan potansiyel yardımıyla kolektör yüzeyinde toplanması ve biriken ürünlerin toplam alfa aktivitesinin sayımıdır.

Kolektör yöntemi ölçüm sistemi 3 bölümden oluşur:

**Köpürtme şişesi:** İçinden basınçlı hava geçirilebilecek şekilde dizayn edilmiş 100 ml köpürtme şişesi ve en az 1 ay bekletilmiş basınçlı hava tüpünden oluşmaktadır. Burada havanın 1 ay bekletilmesinin sebebi havadaki radonun bozunmasını sağlamaktır. Köpürtme şişesinin içinde havanın dağılımını süngere benzeyen pümis taşı sağlar.

**Gaz toplama odacığı :** 2.8 lt hacimli çelik kap ve vakum edilerek kapatılabilecek şekilde dizayn edilmiş çelik kapaktan oluşur. Çelik kapak içine 3 cm çapında bakır disk kolektör olarak asılmıştır. Kapağa biri giriş diğeri çıkış olmak üzere 2 vana bağlanmıştır. Gaz toplama odası vakum edilerek vanalar kapanır ve işleme hazır duruma getirilir.

**Sayım sistemi:** Yüksek güç kaynağı ile alfa radyasyon sayım cihazından oluşur. Kolektör yöntemi, suyun çıktığı ana kaynaktan 100 ml şişelere örnekler alınır, şişelere doldurulan su köpürtülerek radon gazı ve ürünleri içinde bakır disk bulunan kolektör odasına aktarılarak 600 voltluk potansiyel uygulanarak radon ve ürünler arasındaki dengenin sağlanması için 4 saat bekletilir, bu süre sonunda bakır disk üzerine biriken radon ve ürünleri detektörde sayılır.



### 6.7.3 Lucas Hücresi:

Lucas hücresi bir ucu düz ve açık diğer ucu yarım küre olarak metal veya camdan yapılmış bir silindir biçimindedir. İç yüzeyinin duvarları sintilatör olarak gümüşle aktive edilmiş, çinko sülfürle kaplıdır. Lucas hücresi kullanılarak radon ölçümlerinde, alfa aktivitesi ölçülecek havanın filtre edilerek hücreye alınması gerekir. Havadaki bütün radon ürünleri filtrede tutulur. Sistemden hücreye radyoaktif madde olarak yalnızca radon gazı girer. Radon gazı Lucas hücresi içinde bozularak kısa zamanda ürünleriyle dengeye ulaşır. Radonun ve ürünlerinin yayınladıkları alfa radyasyonu hücrenin duvarlarına çarparak sintilasyon oluşturur. Bu olayda çıkan fotonlar fotoçoğaltıcı ve elektronik sistem kullanılarak sayılır.

### 6.7.4 Katıhal İz Kazıma Detektörleri:

Bu detektörler alfa radyasyonu yayımlayan radyonüklidlerin havadaki yoğunluklarını ölçmek için kullanılır. Alfa iz kazıma filmleri genel olarak dielektrik veya organik maddelerden yapılır. Atmosferde bulunan radon ve ürünlerinin yayımladığı alfa radyasyonu bu filmlerin yüzeyinde izler oluşturur. Bu izler kimyasal işlemlerle optik mikroskoplarda görülebilecek düzeye büyüklüğe getirilir. Film üzerindeki iz sayısı, ortamdaki alfa yayımlayıcı radyonüklidlerin sayısı ile doğru orantılıdır. Böylece uygun kalibrasyon ve hesaplama tekniği ile iz sayısından ortam radon yoğunluğunu bulmak mümkün olmaktadır.

### 6.7.5 Elektrostatik Toplama Yöntemi:

Bu yöntemde pozitif yüklü radon ürünleri, bir odacık içinde uygun voltaj altında hızlandırılarak yüzey engelli alfa detektörü üzerine toplanır ve spektroskopik olarak ürün aktiviteleri ölçülür. Benzer bir yöntem kollektör yönteminde de su veya toprak gibi örneklerdeki radona ait ürünler vakum edilmiş bir kap içindeki kollektöre yüksek voltaj uygulanarak toplanır.

### 6.7.6 Filtre Yöntemi:

Bu yöntem, havadaki radon ürünleri yoğunluğunu ölçen tek filtre yöntemi ile havadaki radon ve ürünlerini ayırarak radon bozunma oranını ölçen çift filtre yönteminden oluşur.

Tek filtre yönteminde havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengenin olduğu kabul edilerek ölçümler alınır.

Çift filtre yönteminde ise havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengeye bağlı olmaksızın ölçümler alınır.

### 6.7.7. AC-Aktif Odun Kömürü Tutma

Hava geçirmez kap içerisinde aktif odun kömürü ile çalışan bu metotta, hava geçirmez kap örnek seçilen alanda açılır ve havadaki radon kömür taneciklerine tutunur. Örnek alma işleminin sonunda, kap mühürlenerek analiz için laboratuara gönderilebilir.

Gama bozunumunda odun kömürüne tutunan radon sintilasyon detektörü ile sayılır ve kalibrasyon bilgilerine dayanarak örnek yerde radon konsantrasyonu hesaplamada kullanılır. Kömür tutma detektörü, tasarıma göre 2 ile 7 gün arasında konuşlanmaya bırakılır. Odun kömürü, radonun sürekli odun kömürüne tutunması ve bırakmasını sağladığından dolayı, bu metot maruz kalma süresi sonunda tam doğru ölçüm vermez. Kömür üzerinde yayılma engelinin kullanımı yüksek nem ve hava akımının etkilerini azaltır.

### 6.7.8. UT-Filtresiz İz Detektörü

Filtresiz alfa iz detektörü, filtre olmaması durumunda radon bozunum ürünleri ve diğer alfa partükül emitörlerinin ortadan kaldırılmaması durumu hariç alfa iz detektörüyle aynı prensipte çalışır. Filtresiz bu yöntemde detektörün çarpışma alanı içinde bozulan radon bozunum ürünleri konsantrasyonu sadece radon konsantrasyonuna değil mevcut alanda test edilen radon bozunum ürünlerinin denge oranına bağlıdır. Detektörün dışını kaplayan radon bozunum ürünlerinin kaydedilmemesi nedeniyle selüloz nitrat film kullanan filtresiz detektörler enerji bağımlılığı sergilemektedir. Bu olay denge oranının kalibrasyon faktörünün bağımlılığını tamamen karşılamaz, fakat azaltır. Bu nedenle, kalibrasyon faktörü ayarlanmadan, denge kesiri 0.35'ten küçük 0.60'tan daha büyük olduğundan bu aletler kullanılmaz.

### 6.7.9. Odun Kömürü Sıvı Sintilasyonu

Bu metot radon örnekleri için aktif odun kömürü içeren küçük bir şişeyle çalışır. Projeye bağlı olarak 2 ile 7 günlük maruz kalma süresinden sonra şişe mühürlenir ve analiz için laboratuara geri gönderilir. Radon aynı aktif odun kömürü tutma metodunda olduğu gibi odun kömürünün üzerine tutunduğunda, odun kömürü sıvı sintilasyon ile kimyasal işleme tabi tutularak analiz yapılır, daha sonra sintilasyon sayacı kullanılarak akışkan analiz edilir. Örnek yerin radon konsantrasyonu dakika başı hesaplar değişerek tayin edilir.

### 6.7.10. Sürekli Radon Gözlemi

Bu metot gerçek zamanda radon gazının kesintisiz olarak ölçümlerinin kaydedilmesini sağlayan aletleri kapsar. Hava, sayım odasının içine pompalanarak yada difüzyonla yayılır. Sayım odası, tipik olarak sintilasyon hücresi veya iyonizasyon odasıdır. Sintilasyon hesabı

elektronik aletlerle yapılan bir işlemdir ve önceden kararlaştırılmış aralıklar için radon konsantrasyonu araçların hafızalarına yada doğrudan doğruya yazıcıya gönderilir.

#### **6.7.11. Odun Kömürüyle Çalışan Radon Yakalama**

Bu metot aktif odun kömürü ile doldurulmuş kartuş aracılığıyla havadan pompa yada fan kullanarak radon örneklerini toplamak için vasıflı bir tekniker gerektirir. Kartuş tasarımı ve hava akımına bağlı olarak örnek toplama 15 dakikadan 1 saate kadar sürebilir. Alınan örneklerden sonra, kartuş bir kaba konulur ve mühürlenir ve yaklaşık olarak aynı aktif kömür tutma gibi analiz için laboratuara gönderilir.

#### **6.7.12. Açılıp Kapanabilir Çanta İle Radon Yakalama**

Bu metotta örnek olarak radon geçirmez maddeden yapılmış bir çanta kullanılır. Örnek yerde, vasıflı bir teknisyen taşınabilir pompa kullanarak çantayı hava ile doldurduktan sonra analiz için laboratuara gönderir. Genellikle bu metot, havayı çantadan sintilasyon hücresine aktarmaya ve analizi aşağıda tanımlanan sintilasyon hücresi ile radon yakalama metoduna uygun bir şekilde gerçekleştirmeye yarar.

#### **6.7.13. Sintilasyon Hücresi İle Radon Yakalama**

Bu metotta usta bir teknisyen, bir filtre aracılığıyla radon bozunum ürünlerini havadan çekerek sintilasyon hücresine aktarırken iki yöntem kullanır; ya daha önceden vakum pompası kullanılarak boşaltılan sintilasyon hücresindeki vanayı açar ya da örneklenen alandaki hava ile aynı dengede havayı hücre içine çeker ve bu hücreyi mühürler. Hava örneğini analiz ederken radon bozunumdan oluşan alfa parçacıkları hücre içindeki çinko sülfid kaplamaya çarpmaya başladığında oluşan sintilasyonları (ışık darbelerini) hesaplamak için hücrenin sonundaki pencereye fotomultiplikatör tüp yerleştirilir. Hesaplama, sayımları radon konsantrasyonların dönüştürmek için yapılır.

#### **6.7.14. 3 Günde Boşalan Sintilasyon Hücresini Bütünleştirme**

Bu metotta, sintilasyon hücresi sınırlı vana ve negatif manometre ile donatılmıştır. Yayılmadan önce sintilasyon hücresi boşaltılır. Örnek yerde deneyimli teknisyen negatif basıncı okuyarak kaydeder ve vanayı açar. Vanadan akış yeterince yavaştır, hücrenin dolması 3 günlük süreden daha fazla alabilir. Örnek sürenin sonunda teknisyen vanayı kapatır, negatif manometreyi okur, kaydeder ve hücre ile laboratuara geri döner. Bu metodun çeşitlendirilmesi, kabın üzerinde kullanılan vananın olmasını gerektirir ki analiz için sintilasyon hücresi örnek havayı transfer etsin.

**6.7.15. Pompa-Katlanabilir Çanta-1 GÜN**

Bu metotta, radon için geçirimsiz örnek çanta 24 saatten daha uzun bir sürede dolar. Burada genellikle, örnek süre boyunca önceden belirlenmiş aralıklarla havanın küçük miktarlarda pompalanmasına programlanan pompa tarafından tamamlanır. Örnek alındıktan sonra, analiz için laboratuara götürülür [15].

## 7. KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜSTE RADON GAZI MİKTARININ BELİRLENMESİ

### 7.1. Literatür Özeti

Özgül Özbal tezinde Balçova Termal Tesislerinde ve Balçova'daki evlerde yaz ve kış olmak üzere iki dönem halinde suda bulunan radon ve radyum seviyesi kollektör yöntemi kullanılarak CR-39 iz kazıma detektörü kullanılarak bina içi atmosferde radon konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Deney sonucunda bina içi radon konsantrasyonu ölçümlerinde ventilasyon oranının, sigara kullanımının ve odaların kullanım sıklığının ve mevsimsel dönemlerdeki meteorolojik koşulların sonuçlar üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [16].

D. Amrani ve M. Belgaid tezinde ev ve bina içlerinde radon gazı seviyesini ölçmek için LR-115 iz kazıma detektörünü kullanmışlardır ve yapılan ölçümlerde kış ayları boyunca radon miktarının yüksek seviyede yaz ayları boyunca ise düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır [17].

V. Radolic et all çalışmasında Hırvatistan'daki kaplıcalardaki jeotermal sularında ve havadaki radon konsantrasyonu ölçülmüştür. Havuz ve kaynak suları arasında büyük farklar meydana çıkmıştır. Kaplıca sularında ve havadaki ölçümlerde Alpha Guard PQ2000 PRO detektörü kullanılmıştır. Radonun kısa süreli ürünlerinin katkısını hesaplamak için ise iz kazıma detektörü ve LR-115 SSNT detektörü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer Avrupa ülkeleri, Amerika ve Asya ülkeleriyle karşılaştırılmış ve Hırvatistan'daki değerler daha düşük seviyede çıktığı gözlenmiştir. Hırvatistan'da yapılan başka bir araştırmada yine kaplıcalarda yapılmıştır. Havuz ve kaynak sularındaki radon seviyesi arasındaki farklar pasif iz kazıma metodu ve LR-115 SSNT detektör tekniği ile belirlenmiş ve radon gazı miktarının depremin ortaya çıkmasıyla ilişkisi araştırılmıştır [18].

E. Vogianis et all Yunanistan Levsos Adasında yapılan araştırmada Alfa Guard (alfa spektroskopisi tekniği ) ile termal kaplıcalardaki radon seviyesi miktarını ve bu seviyenin insan sağlığı üzerine etkisini tedavi amaçlı kullanılabilir olup olmadığı hakkında çalışmalar yapmıştır [19].

Yasemin Yarar et all CR-39 nükleer iz detektörü kullanılarak 3 aylık süre boyunca kapalı mekanlarda, kaynak sularında ve kuyu sularında radon gazı seviyesi belirlenmiştir. Likit sintilasyon detektörü kullanılarak kaplıca sularında bulunan radon gazı miktarı ve gama spektroskopisi sistemi kullanılarak toprak örnekleri analiz edilmiştir [20].

Halil Kumbur et all çalışmalarında CR-39 nükleer iz detektörü kullanılarak İçel'de evlerdeki radon düzeyleri araştırılmıştır. Yapılan araştırmada mevsimsel olarak yaz ve kış

aylarındaki değerlerin farklılık gösterdiği ve evlerdeki radon düzeyinin insanlar üzerinde ki etkileri konusunda tartılmalar yapılmıştır [21].

Abdullah Vişne et all CR-39 "allil diglikol karbonat" pasif nükleer iz detektörü kullanılarak Zonguldak Taş Kömürü Havzasında doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu ışınımlar sonucu alınan doza en büyük katkısı olan radon gazı yayılımı incelenmiştir. Çalışma sonucunda işçilerin maruz kaldığı etkin eşdeğer doz ve radon ürünlerine maruz kalma dozları hesaplanmıştır [22].

Nilgün Çelebi et all YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesinin yıllık ortalama radon konsantrasyon değerini belirlenmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada CR-39 (Allil diglikol karbonat) plastik detektörler kullanılmıştır. Araştırma yaz dönemi, 1. sömestr ve 2. sömestr olarak üç ayrı dönemde için değerlendirilmiştir. Yaz dönemindeki araştırmalar havanın sıcak olmasına bağlı olarak havalandırmanın sık yapılmasından dolayı değerler kış dönemine göre az çıkmıştır [23].

Y.Gültekin et all çalışmalarında Manisa ilinde konutlara ve işyerlerindeki insanların maruz kaldığı radon konsantrasyonunu tayin etmek için CR-39 (polikarbonat yapıda 500 mikron kalınlığında) filmler kullanmışlardır. Bir konutta 24 saat boyunca her saat başında radon konsantrasyon değişimleri incelenirken aynı konutun bulunduğu apartmanda farklı katlara CR-39 detektörleri yerleştirilerek kat yüksekliğine göre radon değişimleri de incelenmiştir. Ayrıca, bina içi ve bina dışı havadaki toplam gama doz hızı da ölçülmüştür [24].

## **7.2. Deneysel Çalışmalar**

Bu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs bünyesi içerisinde bulunan Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eğitim Fakültesi ve Rektörlük binasına toplam 23 tane LR-115 SSNT detektörü kullanılarak odalardaki radon miktarını tayin etmek için bırakılmıştır. Bu detektörler plastik bardakların içerisine yerleştirilmiştir.

Filmleri odalara yerleştirirken pencere kenarlarına, kapı yanlarına, kısacası hava akımının olmadığı yerlere yerleştirilmeye özen gösterilmiştir.

### 7.3 Katıhal İz Kazıma Detektörü Kullanılarak Havadaki Radon Seviyesinin Tayin Edilmesi

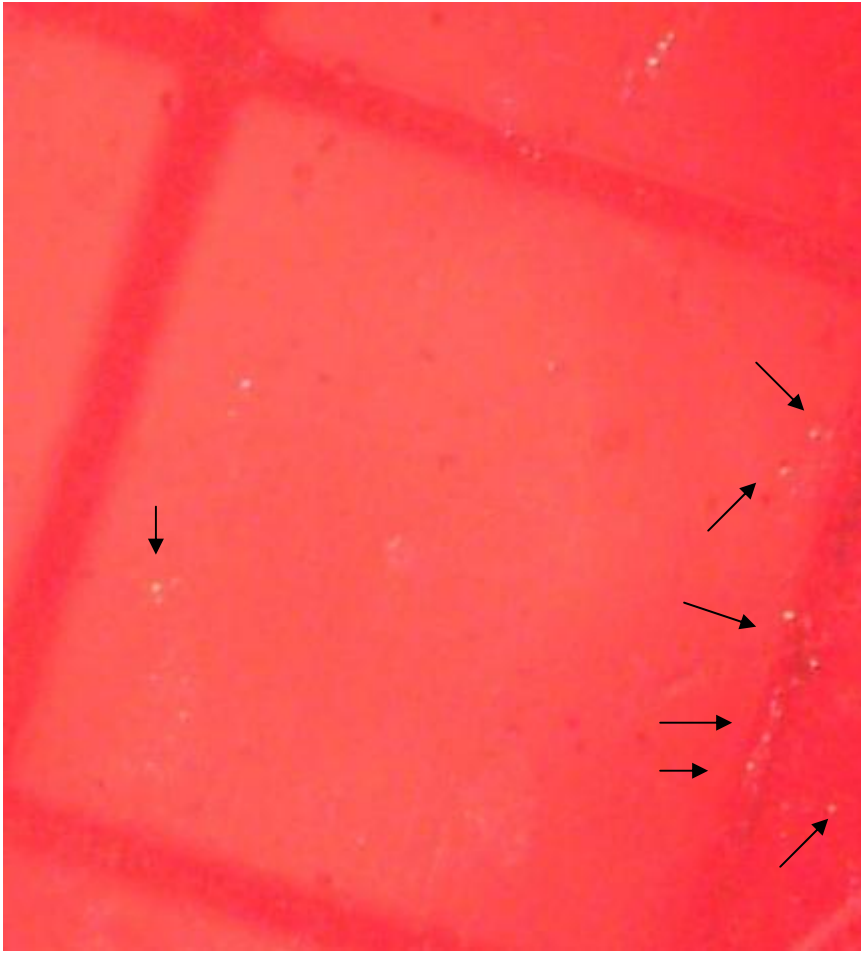
#### 7.3.1. Materyal ve Metod

Bu çalışmada Dumlupınar üniversitesi içerisinde havadaki radon gazı ölçümünü belirlemek için katıhal iz kazıma detektör yöntemi kullanılmıştır. Dumlupınar Üniversitesi içerisinde belirlenen noktalara Kodak LR-115 alfa duyarlı film plastik bardaklar içerisine 1.5 cm × 1.5 cm boyutunda kesilerek şekildeki gibi asılarak yerleştirilmiştir.



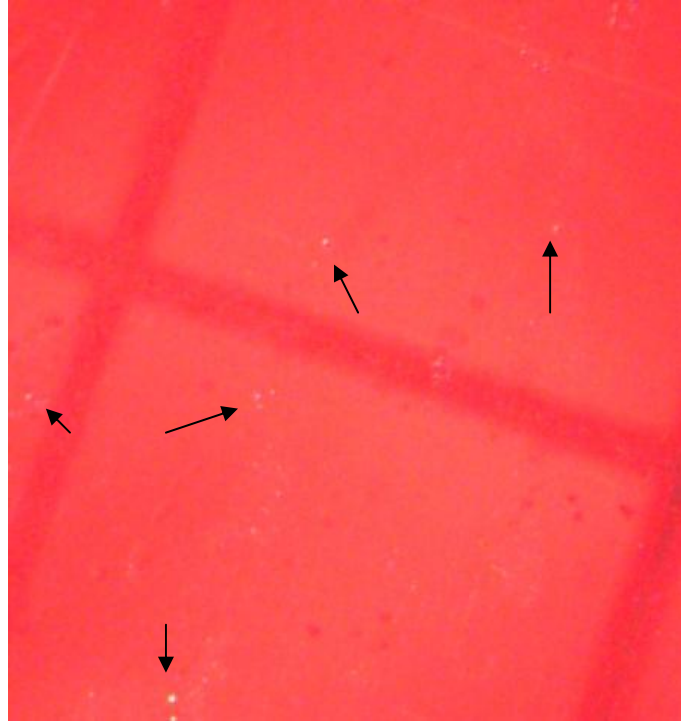
Şekil 7.1. Deney Düzenegi.

Alfa duyarlı filmler bardaklar içerisinde ortalama bir ay boyunca bekletilmiştir. Bir ay sonunda toplanan filmler 200 ml'lik cam beherde NaOH tuzu ve saf su ile hazırlanan % 10'luk çözelti içerisinde 60 °C fırında 120 dk boyunca banyo edilmiştir. Daha sonra filmler 30 dk boyunca saf su içerisinde bekletilmiştir. Filmler kurduktan sonra Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde dijital mikroskop kullanılarak alfa ışınlarının banyo edilmiş filmler üzerine birim alan başına bıraktığı izler sayılarak fotoğrafları çekilmiştir. Birim alan başına iz sayısı (iz/mm<sup>2</sup>) daha sonra uygun kalibrasyon faktörü kullanılarak bina içinde depolanan Radon miktarı Bq/m<sup>3</sup> cinsinden hesaplanmıştır.

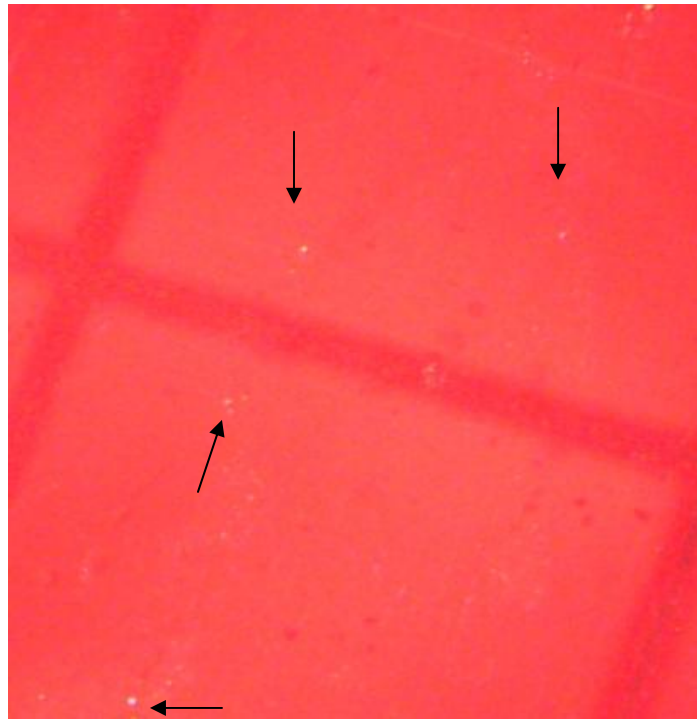


Şekil 7.2. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.

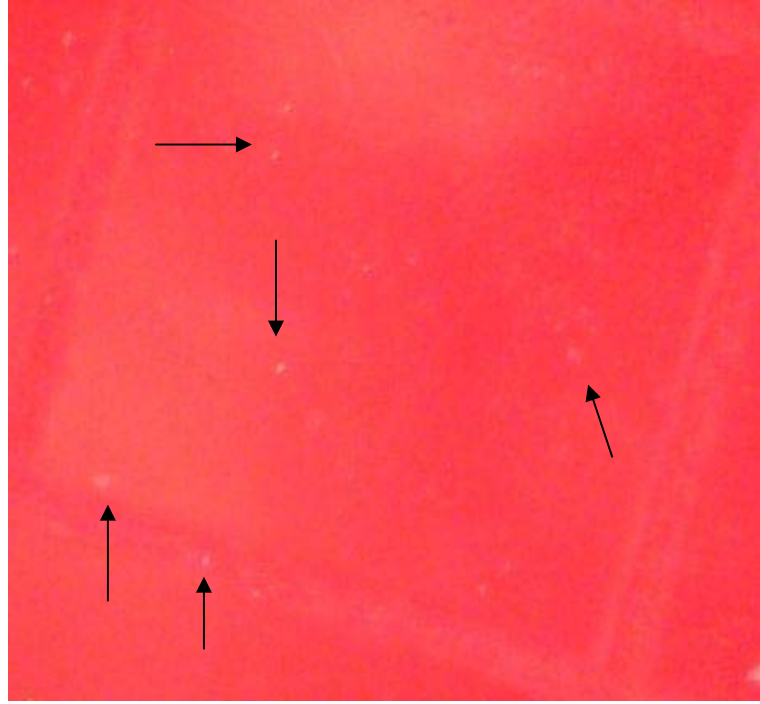




Şekil 7.3. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.



Şekil 7.4. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.



**Şekil 7.5.** Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.

Alfa ışınlarının filmler üzerine bıraktığı izler sayılırken 1mm×1mm'lik alan baz alınmıştır ve 1mm×1mm'lik alan içerisinde 5 farklı yerden alınan sayımların ortalama değerleri alınmıştır.

#### 7.4. Kalibrasyon Faktörü Ve Eşdeğer Doz Oranının Hesaplanması

Birim alan başına iz sayısı cinsinden bulduğumuz değerleri Bq/m<sup>3</sup> cinsinden hesaplamak için kalibrasyon faktörünü kullanılmıştır.

Biz çalışmamızda D.Amrani ve M.Belgaid'in çalışmalarında kullandıkları kalibrasyon faktörünü kullandık [17].

$$F = 1,41 \times \frac{D_M}{C_t}$$

$$D_m = \text{iz sayısı} / \text{cm}^2$$

$$C_t = \frac{kBqh}{m^3}$$

$$h = \text{saat}$$

$$F = \frac{iz/cm^2}{kBq/m^3}$$

Filmler üzerinde saydığımız mm<sup>2</sup> başına iz sayısını, cm<sup>2</sup> başına iz sayısına çevrilmiştir. Birim alan başına iz sayısına X dersek,

$$X = (iz/mm^2) \longrightarrow (iz \times 10^2/cm^2) \text{ olur.}$$

Birim alan başına iz sayısını kalibrasyon faktörüne böldükten sonra filmlerin maruz kaldığı süreye (saat) böldüğümüz zaman kBq/ m<sup>3</sup> cinsinden sonuçlar elde edilmiştir.

$$\frac{X}{F} = \frac{(iz \times 10^2/cm^2)}{(iz/cm^2)/(kBq/m^3)}$$

$$\frac{X/F}{h} = \frac{kBq}{m^3}$$

Aşağıdaki tablodaki ortalama iz sayısı 1mm ×1mm'lik alanda 5 farklı yerde sayılan iz sayılarının ortalama değeridir.

**Çizelge 7.1.** Sayılan izler ve Bq/m<sup>3</sup> cinsinden karşılıkları.

Ortalama İz	kBq/m <sup>3</sup>	zaman(saat)	Sbt	Bq/m <sup>3</sup>
7,8	0,480200946	1152	1,41	480,2009
5,6	0,344759653	1152	1,41	344,7597
6,8	0,418636722	1152	1,41	418,6367
8,6	0,518647175	1176	1,41	518,6472
6,6	0,406323877	1152	1,41	406,3239
7,8	0,480200946	1152	1,41	480,2009
14,2	0,874211978	1152	1,41	874,212
13	0,800334909	1152	1,41	800,3349
11,8	0,581166273	1440	1,41	581,1663
6,4	0,394011032	1152	1,41	394,011
8,8	0,530708737	1176	1,41	530,7087
3,4	0,209318361	1152	1,41	209,3184
2	0,123128448	1152	1,41	123,1284
8,6	0,529452325	1152	1,41	529,4523
8,2	0,504826635	1152	1,41	504,8266
7,8	0,480200946	1152	1,41	480,2009
9,6	0,506585613	1344	1,41	506,5856
6,4	0,394011032	1152	1,41	394,011
7,2	0,443262411	1152	1,41	443,2624
11,2	0,689519307	1152	1,41	689,5193
10,6	0,639262797	1176	1,41	639,2628
6	0,369385343	1152	1,41	369,3853

Ölçümlerin alındığı odada çalışanlara radon miktarının ne ile orantılı olduğunu yorumlamak için çeşitli anket soruları yöneltilmiştir. Bunların arasında radon seviyesi miktarı üzerinde etkisi olan sigara içimi, havalandırmanın yapılıp yapılmadığı gibi sorular yer almaktadır.

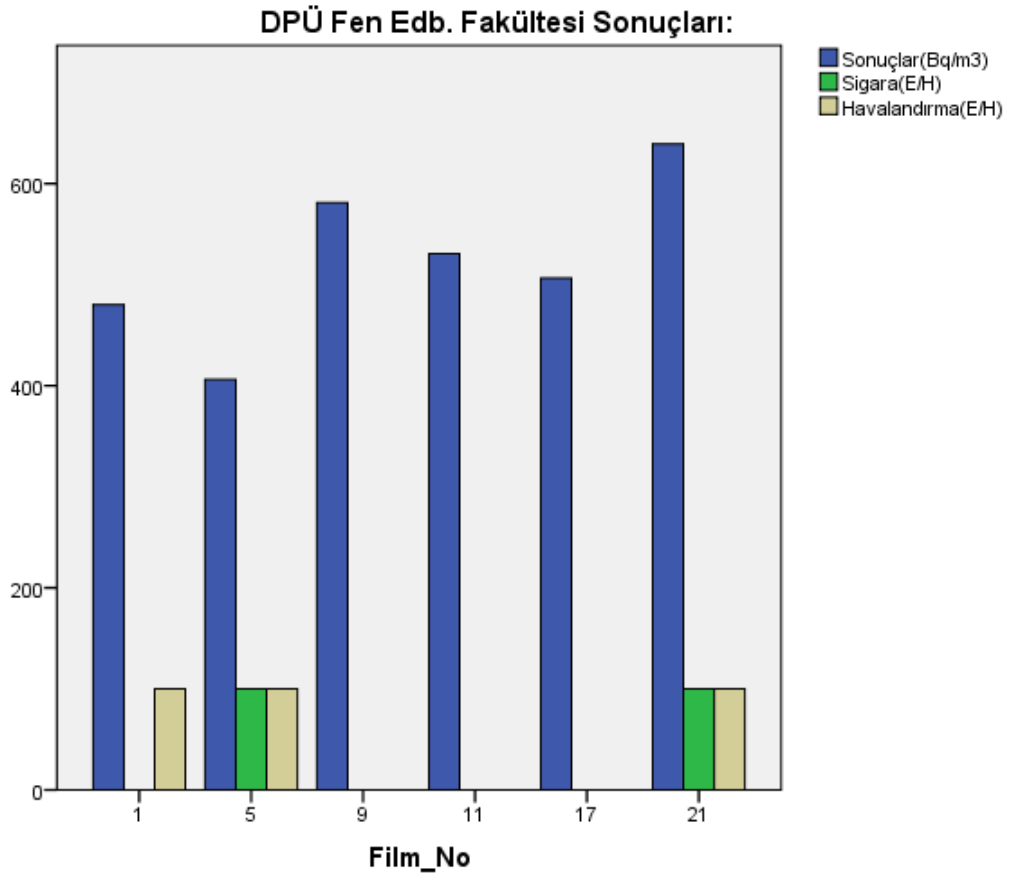
**Çizelge 7.2.** Filmi yerleştirdiğimiz odaların havalandırma ve sigara içilme durumları, odanın büyüklüğü ve kat seviyesi

<b>Film no</b>	<b>Sigara</b>	<b>Kat</b>	<b>Havalandırma</b>	<b>Metrekare</b>
1	Hayır	3	Evet	8
2	Hayır	3	Evet	20
3	Hayır	4	Hayır	20
4	Hayır	1	Hayır	15
5	Evet	2	Evet	12
6	Evet	3	Evet	30
7	Hayır	3	Hayır	16
8	Hayır	2	Hayır	12
9	Hayır	3	Hayır	8
10	Hayır	2	Hayır	20
11	Hayır	2	Hayır	10
12	Hayır	4	Hayır	9
13	Hayır	2	Hayır	20
14	Hayır	3	Hayır	25
15	Evet	2	Hayır	15
16	Hayır	4	Evet	18
17	Hayır	2	Hayır	16
18	Hayır	2	Evet	16
19	Evet	4	Evet	15
20	Hayır	4	Evet	20
21	Evet	3	Evet	30
22	Evet	3	Evet	35

## 7.5. Deneysel Verilerin Yorumlanması

### 7.5.1. Fen-Edebiyat Fakültesi Sonuçları

#### Genel Sonuçlar:

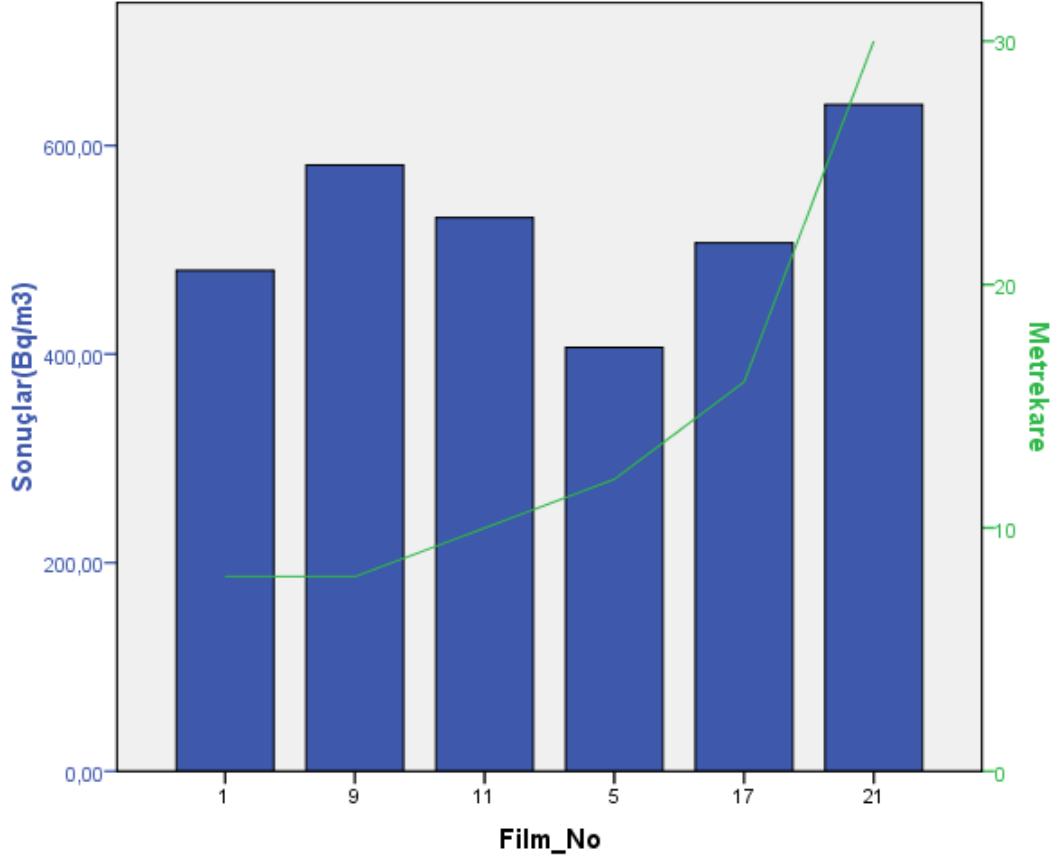


Şekil 7.6 Fen Edebiyat Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği.

5 ve 21 numaralı filmlerin yerleştirildiği odalarda sigara içimi olmasına rağmen havalandırmada yapılmaktadır. Fakat 21 ve 5 numaralı filmlerin sonuçları arasındaki fark fazladır bunun sebebi 21 numaralı odada sigara içiminin daha fazla olması buna karşılık havalandırmanın çok az yapılması ve odanın kullanım sıklığının 5 numaralı filmin bırakıldığı odaya göre daha fazla olmasından ve deney bardaklarının bırakıldıkları konumların farklı olmalarından kaynaklanıyor olabilir.

1, 9, 11 ve 17 numaralı filmleri karşılaştıracak olursak yerleştirildiği odalarda içimi yoktur. Yalnız 1. filmin yerleştirildiği odada havalandırma yapılmaktadır, fakat çok sık yapılmamaktadır; çünkü ölçülen değerler arasında çok fazla fark yoktur. 9 numaralı film den

alınan ölçümlerin fazla çıkmasının sebebi odanın kullanım sıklığının fazla olması ve odanın duvarlarında meydana gelen olası çatlaklardan sızan radon gazından meydana gelmiş olabilir.



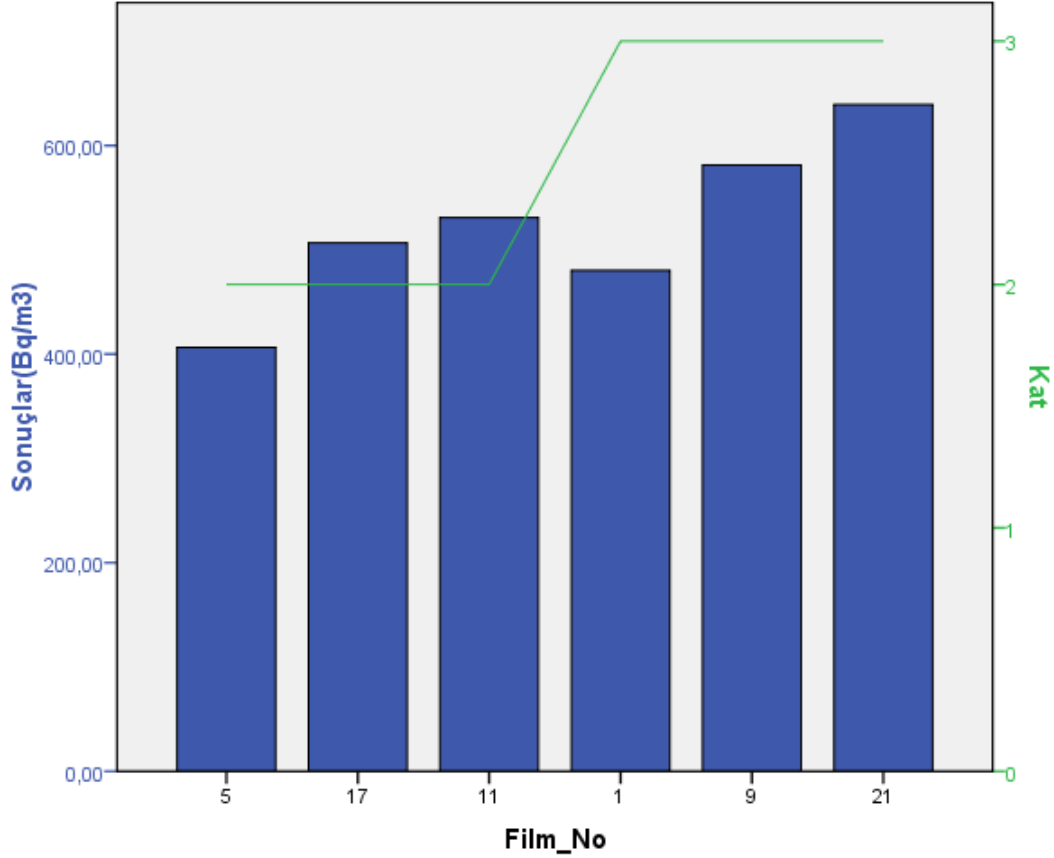
Şekil 7.7 Fen Edebiyat Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği.

1 ve 9 numaralı filmlerin yerleştirildiği odaların metrekareleri aynıdır. Fakat 9 numaralı filmin sonuçlarından elde edilen değerler 1 numaralı filme göre daha fazladır. Bunun sebebi 9 numaralı filmin bırakıldığı odada havalandırmanın yapılmamış olmasıdır.

1, 9, 11, 5 ve 17 numaralı filmlerin yerleştirildiği odaların metrekareleri birbirine yakın değerlerdedir ve sonuçlar arasında çok fazla bir fark yoktur. Oluşan farklılıkların sebebi 9, 11 ve 17 numaralı filmlerin bırakıldığı odalarda havalandırmanın yapılmaması, odaların kullanım sıklığı ve olası çatlaklardan meydana gelmektedir.

21 numaralı filmin yerleştirildiği odanın metrekaresi en büyük olmasına rağmen sonuç değeri en fazla çıkan odadır. Bunun sebebi de havalandırma yapılmasına rağmen sigara içimi

vardır. Çok fazla sigara içimi ve yeterince havalandırma yapılmaması sonuçların yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

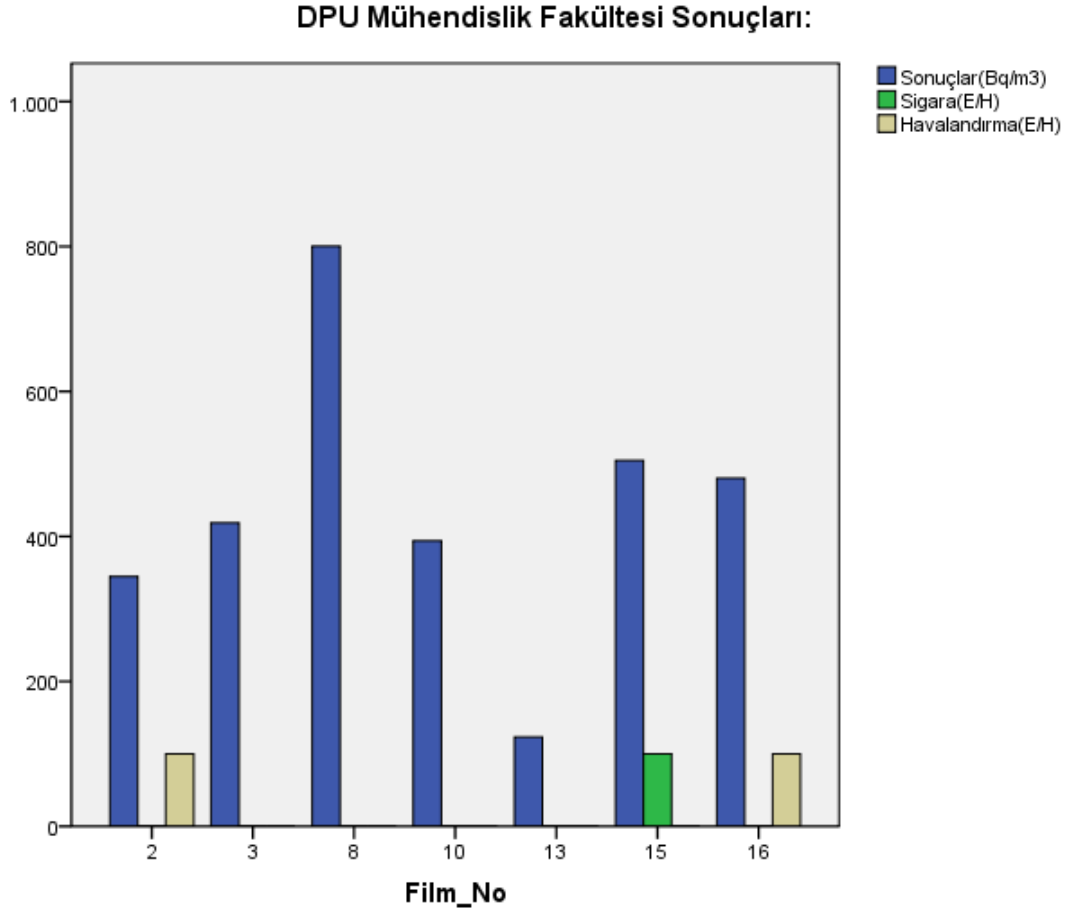


**Şekil 7.8** Fen Edebiyat Fakültesi katlara göre sonuç grafiği.

5, 11 ve 17 numaralı filmler ikinci kata, 1, 9 ve 11 numaralı filmler üçüncü kata yerleştirilmişlerdir. Radon gazı miktarı zemin katlardan üst katlara doğru çıktıkça azalma eğilimindedir. 1, 9 ve 17 numaralı filmler aynı katta olmasına rağmen değerler git gide artmaktadır.



### 7.5.2. Mühendislik Fakültesi Sonuçlar



**Şekil 7.9.** Mühendislik Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği.

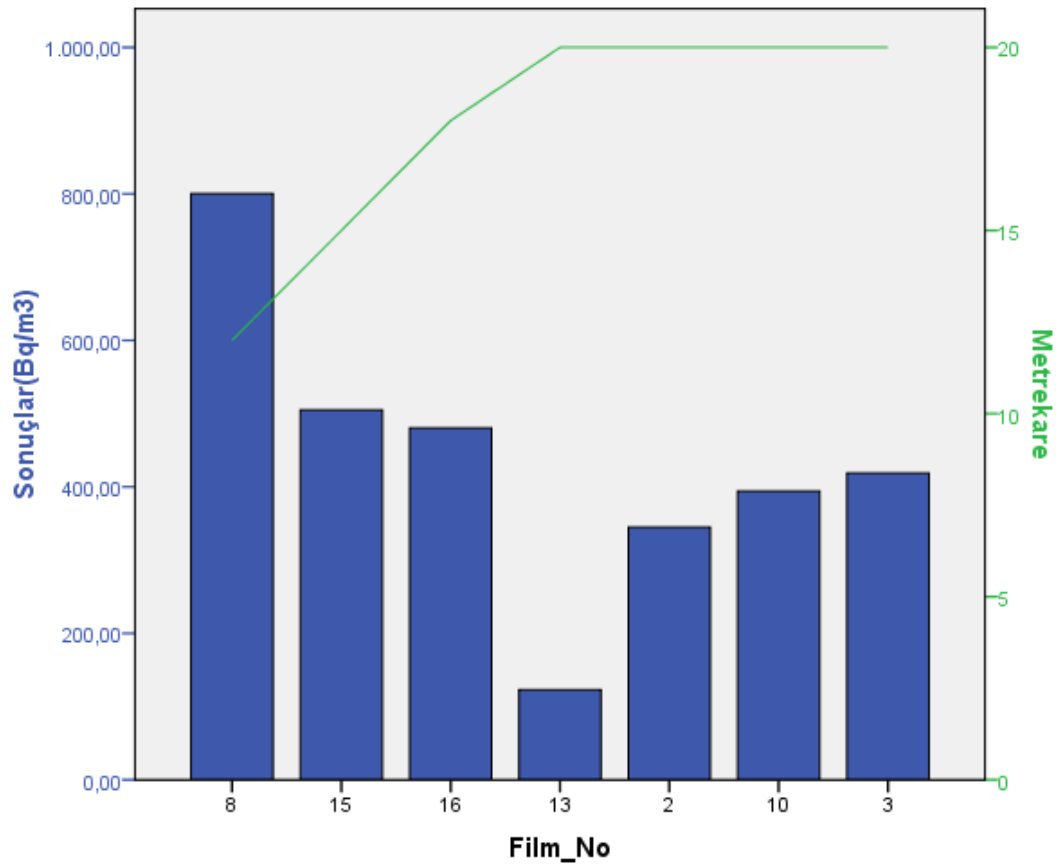
8 numaralı filmin yerleştirildiği odada sigara içilmemesine rağmen havalandırmada yapılmamaktadır.

2 ve 16 numaralı filmlerin yerleştirildiği odalarda sigara içimi yok ve havalandırma yapılmaktadır. Odaların hacimleri birbirine yakındır ve çıkan sonuçlar arasında çok fazla bir fark yoktur ve uyum içindedir.

8 ve 15 numaralı filmlerin sonuçlarını karşılaştıracak olursak iki odada da havalandırma yapılmamaktadır. 15 numaralı filmin bırakıldığı odada sigara içilmesine rağmen 8 numaralı filmin ölçülen değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu iki film aynı kattadır, oda hacimleri birbirine yakındır olmasına rağmen çıkan farkın sebebi 8 numaralı odanın 15 numaralı odaya göre daha sık kullanılmış olma ihtimali, duvarlarda oluşmuş olası çatlaklarda sızan radon gazı, odanın

diğer odaya göre yeni badana yapılmış olma durum varsa ve yerleştirilen bardakların konumlarının farklı olmasından ileri gelmektedir.

13 ve 8 numaralı filmleri karşılaştırsak iki odada da sigara içimi yoktur ve havalandırmada yapılmamaktadır. Aynı katta ve odaların hacimleri arasında da çok fazla bir fark yoktur. Sonuçları karşılaştırdığımızda oluşmuş olan bu farkın sebebi biraz önce yukarıda bahsettiğimiz odaların kullanım sıklıkları, olası çatlaklar, yeni badana edilmiş olma durumu varsa ve bardakların bırakıldıkları konumlardan ya da olası deneysel hatalardan meydana gelmiştir.

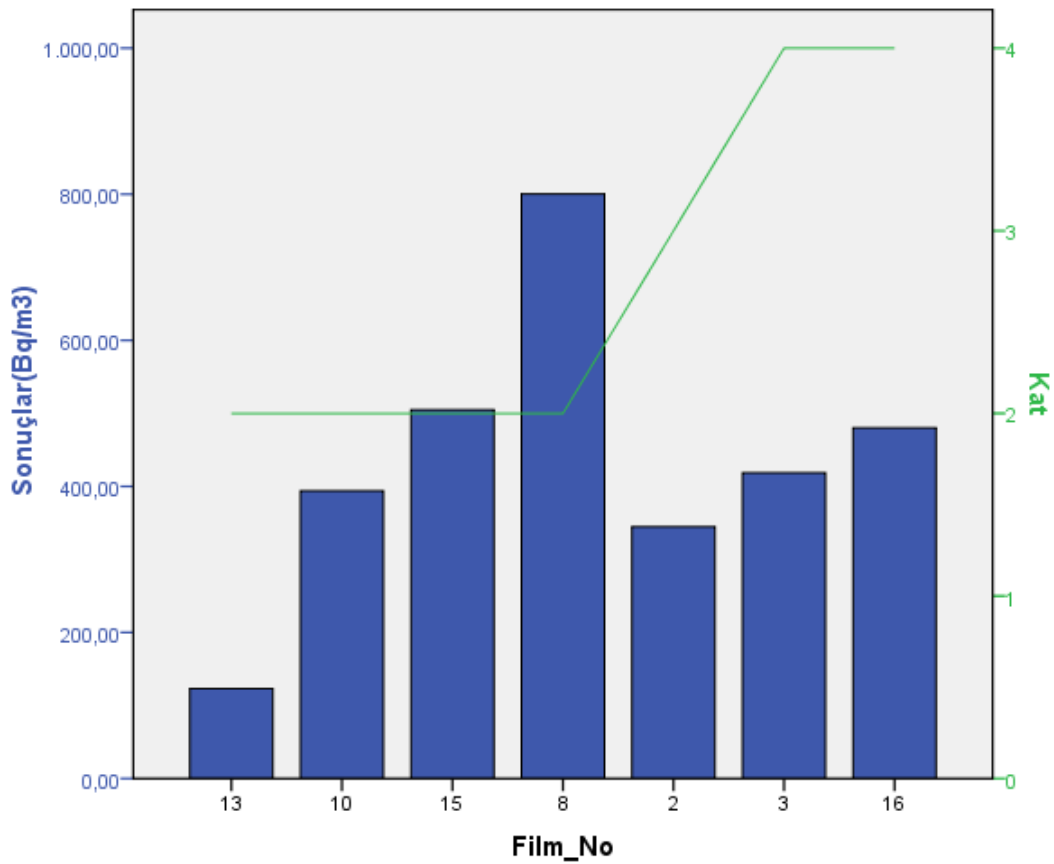


Şekil 7.10. Mühendislik Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği.

2, 3, 10 ve 13 numaralı filmlerin yerleştirildiği odalar aynı metrekareye sahiptir. 13 numaralı film hariç diğer üç filmin sonuçları birbiriyle uyum içerisindedir. Dört odada da sigara içimi olmamaktadır. 13 numaralı filmin sonucunun diğerlerine göre bu kadar düşük çıkmasının nedeni deneysel hatalardan ileri gelmiş olabilir.

3, 15 ve 16 numaralı filmlerin sonuçları birbirine yakındır. Bu odaların metrekaresi sırasıyla 20, 15 ve 18'dir ve birbirine yakın değerlerdir.

13 ve 8 numaralı filmlerin sonuçları arasında farkın sebebi bu filmler sırasıyla 20 ve 12 metrekaresidir, iki filmde aynı katta ve iki filmin yerleştirildiği odalarda sigara ve havalandırma olmamaktadır. Ancak bu kadar büyük bir farkın çıkması 8 numaralı filmin bırakıldığı odanın diğer odaya göre daha sık kullanılması yada deneysel hatalardan ileri gelmektedir.

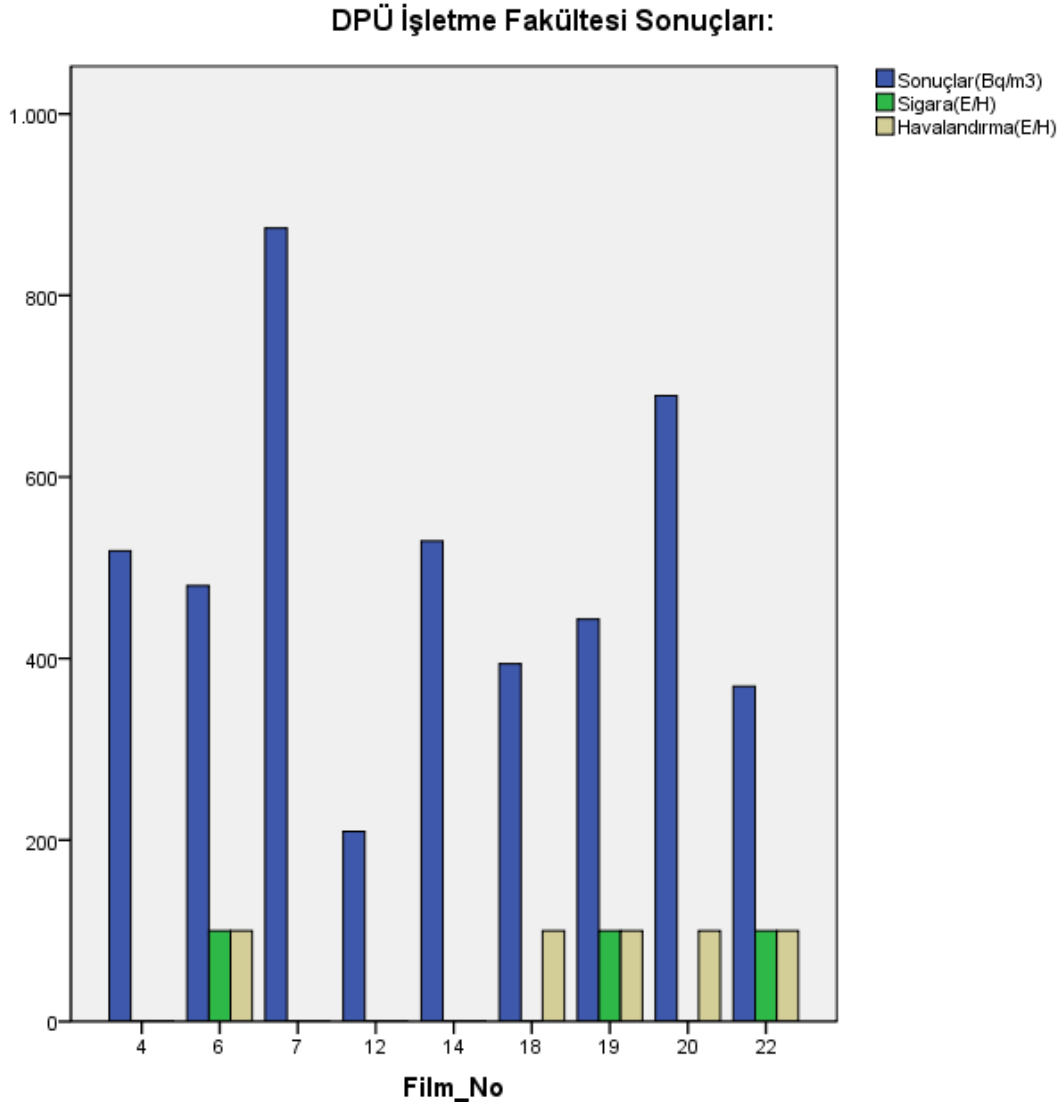


Şekil 7.11 Mühendislik Fakültesi katlara göre sonuç grafiği.

8, 10, 13 ve 15 numaralı filmler ikinci kata, 2 numaralı film üçüncü kata, 3 ve 16 numaralı film dördüncü kata yerleştirilmiştir. 8 numaralı film ile 15 numaralı filmi karşılaştırdığımızda 2 filmde aynı katta, oda hacimleri birbirine yakın, iki odada da havalandırma yapılmamaktadır. 15 numaralı filmin yerleştirildiği odada sigara içimi olmasına rağmen sonucu 8 numaralı filme oranla daha düşüktür bunu sebebi de olası deneysel deney hatalardan kaynaklanmaktadır.

3 ve 16 numaralı filmlere baktığımızda iki filmde aynı katta ve iki filmde yerleştirildiği odada sigara içimi yoktur ve odaların hacimleri birbirine yakındır. Alınan sonuçlara baktığımızda karşılaştırma yaptığımız kriterlerle sonuçlar uyum içerisindedir.

### 7.5.3. İktisat Ve İşletme Bölümü Sonuçlar



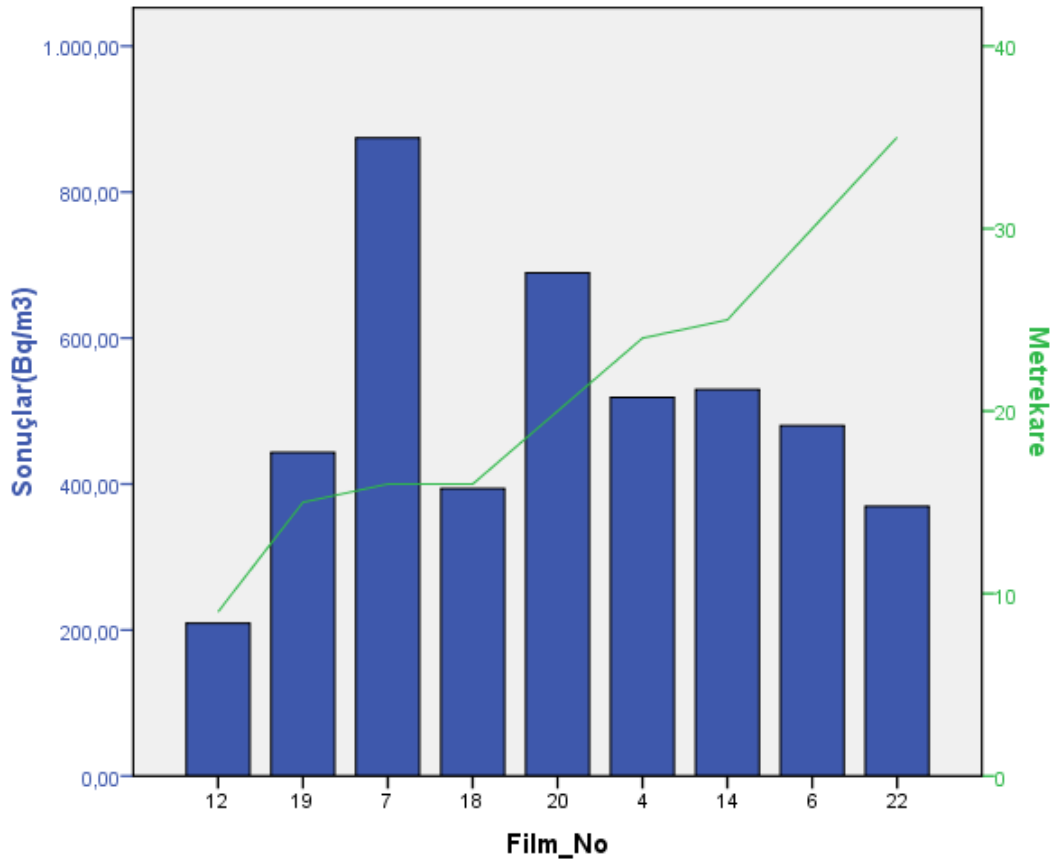
**Şekil 7.12.** İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği.

6, 19 ve 22 numaralı filmlerin yerleştirildiği odalarda sigara kullanılmakla beraber havalandırma yapılmaktadır. Bu üç filmin değerleri birbirine yakındır.

7 numaralı filmin yerleştirildiği odada sigara içilmemesine rağmen havalandırmada yapılmamaktadır. Fakat sonuçlar Dumlupınar Üniversitesi içerisinde yapılan çalışmada alınan

en yüksek değerdir. Bunun sebebi odanın çok sık kullanılmasına rağmen havalandırmanın hiç yapılmaması veya olası deneysel hatalardan meydana gelmektedir.

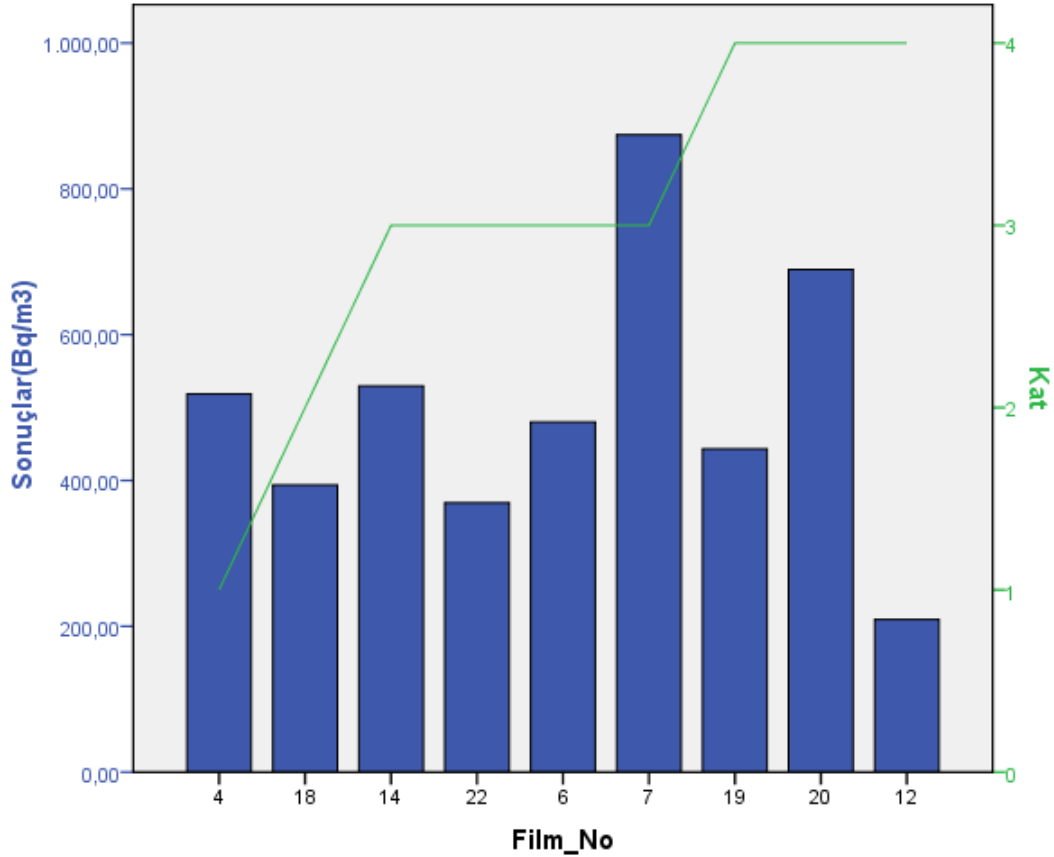
12 numaralı filmin yerleştirildiği odanın sonuçları işletme fakültesi içerisinde alınan en düşük değerdir. Bu değer düşük çıkmasının sebebi sigara içilmemesi ve dördüncü katta olmasında ve çok sık kullanılmamasından ileri gelmiştir.



Şekil 7.13 İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi metrekare ve sonuç grafiği.

7, 18 ve 19 numaralı filmlerin yerleştirildiği odaların hacimleri birbirine çok yakındır. Fakat 7 numaralı filmin sonucu diğer iki filme göre çok fazla çıkmıştır. 18 ve 19 numaralı filmlerin yerleştirildiği odalarda havalandırma yapılmasına rağmen 7 numaralı filmin yerleştirildiği odada havalandırma yapılmamaktadır. Buna rağmen sonuçlar arasındaki büyük fark sigara da içilmemesine rağmen deneysel hatalardan kaynaklanmış olabilir.

4, 6 ve 14 numaralı filmlerin yerleştirildiği odaların hacimleri birbirine yakın ve ölçülen değerlerde normal olarak birbirine yakın değerlerde ölçülmüştür.



**Şekil 7.14** İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi katlara göre sonuç grafiği.

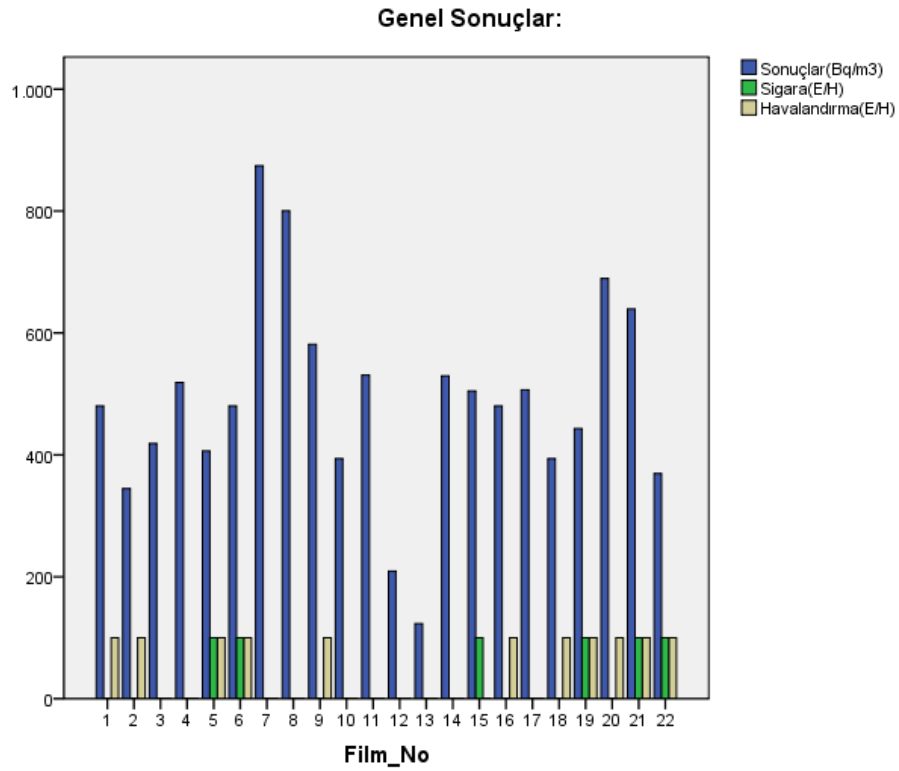
4 numaralı film birinci kata, 18 numaralı film ikinci kata, 6, 7, 14 ve 22 numaralı film üçüncü kata, 12, 19 ve 20 numaralı film dördüncü kata yerleştirilmiştir. Radon gazı seviyesini sadece katlara göre değerlendirecek olursak zemin katlardan üst katlara doğru çıktıkça radon gazı miktarının azalması gerekmektedir. Yalnız ölçtüğümüz sonuçlar da bu tip bir orantı yoktur. Bunun sebeplerini sıralayacak olursak odaların hacimlerinin farklı olması, odalarda sigara içilip içilmemesi, havalandırmanın yapılıp yapılmaması gibi faktörler sonuçların neden doğrusal çıkmadığının bir göstergesidir.

#### 7.5.4 Dumlupınar Üniversitesi'nde Yapılan Ölçümlerin Genel Sonuçları

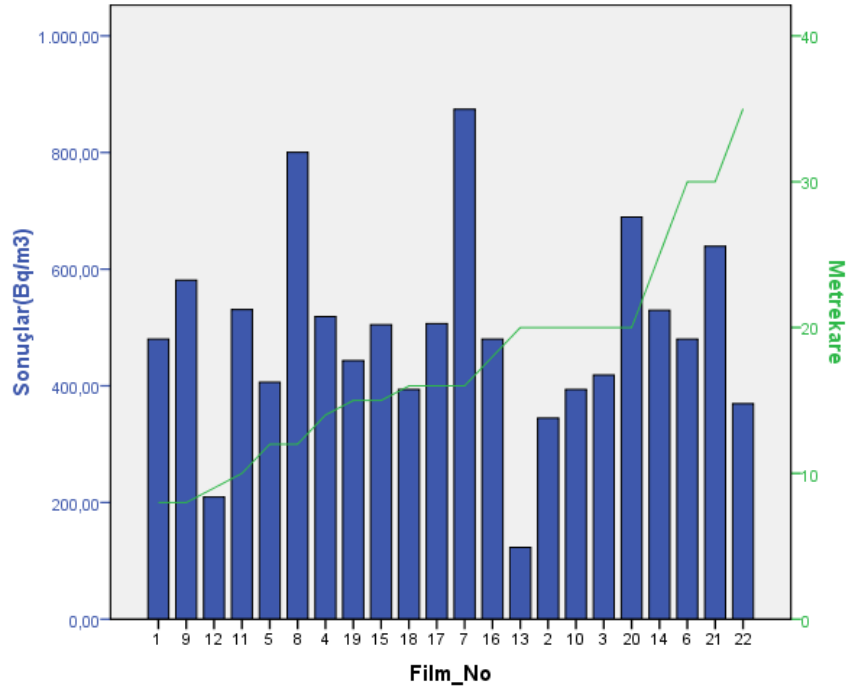
**Çizelge 7.3** Filmlerin minimum ve maksimum ölçüm aralığı.

film no		değer	sigara	kat	havalandırma	metrekare
7	Max	874,212	Hayır	3	Hayır	16
13	Min	123,1284	Hayır	2	Hayır	20

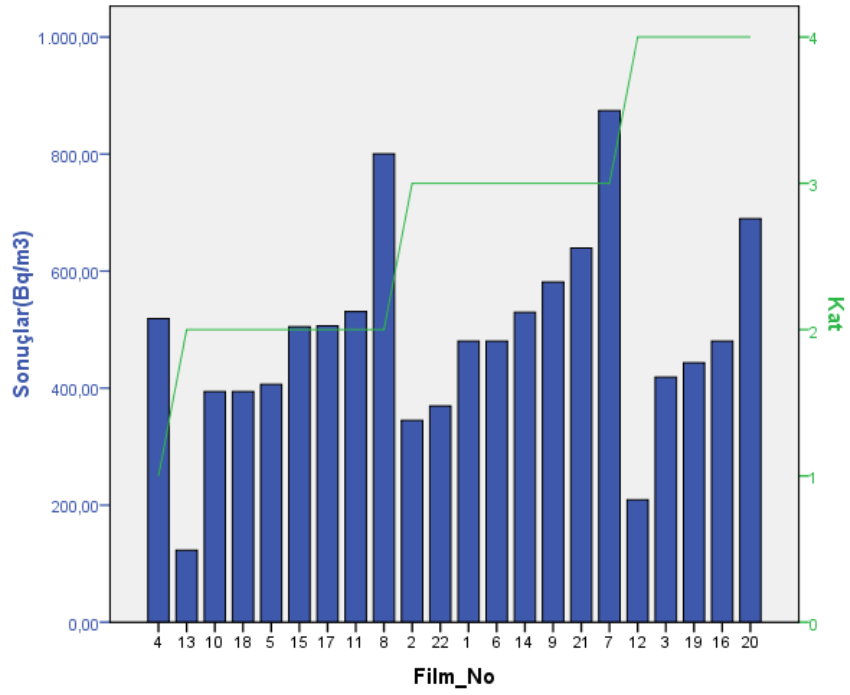
Aldığımız sonuçlar arasında minimum ve maksimum değerleri karşılaştıracak olursak 7 numaralı film iktisat bölümünde 14 numaralı film ise mühendislik fakültesi içerisine yerleştirilmiştir. İki filmin yerleştirilmiş olduğu odalarda sigara içilmemekte ve havalandırma yapılmamaktadır. 7 numaralı film üçüncü katta 13 numaralı film ikinci kattadır. Aradaki farkın bu denkli büyük olmasının sebebi 7 numaralı filmin konulduğu odanın daha küçük hacimli olması, ayrıca odaların ve binaların duvarlarında meydana gelen olası çatlaklar, mühendislik fakültesi ve iktisat bölümünün Fen-Edebiyat fakültesi içerisinde konumlarından (zeminlerinden) ileri gelmektedir.



**Şekil 7.15.** Dumlupınar Üniversitesi sigara, havalandırma ve sonuç grafiği.



Şekil 7.16 Dumlupınar Üniversitesi metrekare ve sonuç grafiği.



Şekil 7.17 Dumlupınar Üniversitesi katlara göre sonuç grafiği.



## 8. SONUÇ VE YORUMLAR

Çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşların yaptığı çalışmalar sonucunda Türkiye’de kapalı ortamlarda müsaade edilen radon konsantrasyonu  $400 \text{ Bq/m}^3$  dür [5].

22 veriden aldığımız sonuçlarının ortalamasını aldığımızda  $487,1889 \text{ Bq/m}^3$  bulunmuştur. Çıkan sonuç kapalı ortamlar için müsaade edilen limitin üstünde çıkmıştır. Yaptığımız çalışma sonucunda 22 veriden elde ettiğimiz sonuçlar  $123$  ile  $874 \text{ Bq/m}^3$  arasında farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar radon gazı seviyesinde değişikliklere sebep olmaktadır. Bunları özetlersek; odalarda sigara içilme faktörü, ortamın havalandırılması, ortamın büyüklüğü, filmlerin konulduğu yerin zeminden yüksekliği ve olası ölçüm hataları olarak sayılabilir.

Yaptığımız deneyde 16 adet filmin değeri, müsaade edilen değerlerin üzerinde çıkmıştır. Değerlerin fazla çıkmasının sebebi yukarıda anlatıldığı gibi sigara, havalandırma, filmlerin odaların zemininden yüksekliği, odaların hacmi ve yapılan ölçüm hatalarından ileri gelmektedir.

Yaptığımız çalışmada ölçmüş olduğumuz değerleri fakülte olarak ayırmadan bir bütün halinde yorumlamaya kalktığımızda, grafikleri yorumlamakta zorluk çekiyoruz. Bunun sebebi tüm okul içerisinde yerleştirdiğimiz filmlerin sayısının az olmasından dolayı tam bir istatistik sonuca ulaşamıyoruz. Ayrıca, her odaya bırakılan filmlerden yalnızca birisini banyo edebildiğimiz için ve her bölüme yerleştirilen film sayısının az olmasından dolayı, istatistiki olarak hata payını azaltamıyoruz; bunun sonucu olarakta sonuçlarda kesinlikten bahsetmek söz konusu değildir.

Sonuçların tam olarak doğruluğundan emin olmak için, her odaya birden fazla film yerleştirerek, bu filmlerden hesaplanan radon gaz miktarının ortalaması alınabilir. Elimizdeki filmlerin yetersizliğinden dolayı bu işlem gerçekleştirilememiştir.

Bu deneydeki amacımız Dumlupınar Üniversitesi içerisindeki radon seviyesini ölçmekten çok, alfa iz kazıma detektör yönteminin nasıl kullanılacağını ve radon gazı ölçümünün nasıl yapılacağı hakkında bilgi sahibi olmayı öğrenmek olmuştur.

Sonuç olarak; radon seviyesinin azaltılması için havalandırmanın daha sık yapılması, sigara içiminin azaltılması, radyoaktif içeriği düşük inşaat malzemelerinin kullanılması ve halkımızın radon gazının sağlığa etkisi hakkında bilinçlendirilerek çıkan bu yüksek seviyelerin azaltılmasının sağlanması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, Radon Kirliliği, 1.Baskı Ankara, 47 s.
- [2] [http://www.fizik.sakarya.edu.tr/MehmetB/Saglik\\_fizigi/saglik.htm#radyoaktivite](http://www.fizik.sakarya.edu.tr/MehmetB/Saglik_fizigi/saglik.htm#radyoaktivite).
- [3] Daşdağ, S., Radyasyonun Biyolojik Etkileri, D.Ü. Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı.
- [4] Yaramış, B. 1985 Nükleer Fizik , İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, Cilt 1, 259 s.
- [5] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr>.
- [6] Tüysüz, M.Z., 2004, CO-60 Teleterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı, Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak. Bitirme Ödevi, 46 s.
- [7] <http://www.kimyadersi.com/index.htm>.
- [8] Şahin, L., Radioactivity and the effects of chernobly in Turkey.
- [9] Cember, H., 1996, Introduction to Health Physich, Third Edition, 733 p.
- [10] Cavaş, M. 2006 NaI(TI) Detektörü ile Topraktaki Radyasyonun Ölçümü ve Maruz Kalınan Dozun Hesabı. Y. Lisans Tezi, DPÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü 59 s.
- [11] <http://www.bilgilik.com>.
- [12] <http://www.bilgilik.com/bilim/maden-ve-elementler/radyum.html>.
- [13] <http://www.populermedikal.com>.
- [14] Bilim ve Teknik, Nisan 2008,Sayı 485, 54-57 s.
- [15] Radon Measurment Method Definitions; National Radiation Safety Board.
- [16] Özbal, Ö., 1999, İzmir-Balçova'da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Konsantrasyonu Ve Sudaki Radonla Kolerasyonu, Y.Lisans Tezi, E.Ü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, 69 s.
- [17] Amrani, D. and Belgaid, M. Some Investigations and Use of LR-115 track deectors for Radon Measurements, Radiation Physics and Chemistry 61(2001) 639-641 p.
- [18] Radolic, V., Vukoic, B., Smit, G., Stanic, D. and Planinic, J., Radon in the spas of Croatia, Journal of Environmental Radioactivity 83(2005) 191-198 p.
- [19] Vogianis, E., Nikolopoulos, D., Loizi, A. and Halvadakis, C.P., Radon variations during treatment in thermal spas of Levsos Island (Greece), Journal of Environmental Radioactivity 75 (2004) 159-170 p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- [20] Yarar, Y., Günaydı, T. ve Kam, E., A radon survey in some regions of Turkey, International Congress Series 1276 (2005) 385-386 p.
- [21] Kumbur, H. ve Zeren. O., İçel’de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması, Mersin Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Bölümü, TAEK. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği ve Radyasyon Güvenliği Bölümü, Çev-Kor Cilt 7 Sayı 25 (1997) 25-31
- [22] Vişne, A., Ökten, G. ve Çelebi, N., Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Yer altı Maden Ocaklarında Radon Gazı Yayılımının İncelenmesi, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı 01-04 Haziran 2004 Zonguldak.
- [23] Çelebi, N., Taşdelen, M., Özçınar, B. and Kopuz, G., YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi Radon Konsantrasyon Ölçümleri, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- [24] Gültekin, Y., Çam, S. ve Ereeş, F.S., Manisa İli Bina içi Radon Konsantrasyon Tayinleri, Celal Bayar Üniversitesi Fizik Bölümü