

KÜTAHYA İLİ KAPALI MEKÂNLARI RADON GAZI
KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ

Sevil GELGÜN

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos-2010

**KÜTAHYA İLİ KAPALI MEKÂNLARIN RADON GAZI KONSANTRASYONU
ÖLÇÜMÜ**

Sevil GELGÜN

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

Danışman: Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Ağustos-2010

KABUL ve ONAY SAYFASI

Sevil GELGÜN'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Kütahya İli Kapalı Mekânlarda Radon Gazı Konsantrasyonu Ölçümü” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğın ilgili maddeleri uyarınca değeriendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

Üye: Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA

Üye: Doç. Dr. İskender AKKURT

Danışman Üye: Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KÜTAHYA İLİ KAPALI MEKÂNLARDA RADON GAZI KONSANTRASYONU ÖLÇÜMÜ

Sevil GELGÜN

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

ÖZET

Radon renksiz, kokusuz, tatsız radyoaktif bir asal gazdır ve bu sebeple duyu organları ile algılanamaz. Uranyum radyoaktif bozunma zincirinin bir parçası olarak meydana gelmiştir. Günlük hayatta sürekli maruz kaldığımız radyasyonun yaklaşık %50'sini oluşturur.

Kayaçlardaki Uranyumun bozunması sonucu üretilen Radon gazı difüzyon yoluyla toprağa, oradan da atmosfere veya ortama yayılmaktadır. Gazın birikmesiyle, radon yoğunluğu kapalı mekânlarda veya iyi havalandırılmayan yerlerde kritik değerlere ulaşabilmektedir. İnsanlar radon gazına yüksek konsantrasyonlarda maruz kaldığında, sağlık açısından özellikle akciğer kanseri başta olmak üzere birçok risk meydana gelir.

Bu çalışmanın amacı Kütahya ilinde kapalı mekânlarda radon gazı konsantrasyonlarını belirlemektir. Yaptığımız çalışmada Kütahya'da 100 evde radon konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlemede pasif iz dedektörü LR-115 SSNDT kullanılmıştır.

Bu çalışma sonucu elde edilen radon konsantrasyonu 39 ile 328 Bq/m³ değerleri arasında değişmektedir. Sonuçlar sağlık örgütlerinin kapalı ortamlar için öngördüğü sınır limitleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar verilen limit değerini aşmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Doz, Kapalı Ortam, LR-115, Radon, Radyasyon.

MEASUREMENT OF RADON GAS CONCENTRATION IN CLOSED PLACES IN KÜTAHYA CITY

Sevil GELGÜN

Physics Department, M.S Thesis, 2010

Thesis Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN

ABSTRACT

Radon is a radioactive colorless, odorless, tasteless noble gas and therefore not detectable by human senses. Radon is created as part of radioactive decay chain of Uranium. It comprises approximately 50 percent of natural radiation we are exposed in our daily life.

The Radon gas produced by the decay of Uranium in rocks diffuses into soil and then into atmosphere or environment. The concentration of Radon gas may reach to critical values if it accumulates. When humans exposure to high concentration of radon gas, many risks occurs especially lung cancer in view of health.

The purpose of this study is to measure Radon radioactivity concentration in closed places around the Kütahya city center. The radioactivity concentration of 100 houses were measured by using LR-115 nuclear trace detectors..

According to the results of investigations, it was that the radon concentration varies between 39-328 Bq/m³. Our results were compared with health limits and it is observed that measured Radon concentration in closed places are under their limits.

Key Words: Closed Area, Doce, LR-115, Radon, Radiation.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında bana rehber olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN başta olmak üzere lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteği sağlayan bütün hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca her türlü desteği sağlayan çalışma arkadaşlarım Araş. Grev. Hakan ÇETİNKAYA ve Selin DURAK'A ayrıca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen arkadaşım Gürkan KESAN'A teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitimim süresince maddi manevi desteklerini esirgemeyen babam Bayram GELGÜN, annem Sevinç GELGÜN ve kardeşim Ervin GELGÜN'E sonsuz teşekkür ederim.

Sevil GELGÜN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1-GİRİŞ	1
2. RADYASYON	4
2.1 Radyasyon	4
2.2 Radyasyon Çeşitleri	4
2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyon	4
2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon	6
2.3 Radyasyon Dozu	7
2.4 Radyasyon Birimleri	7
2.5 Radyasyon Kaynakları	8
2.5.1 Doğal Radyasyon Kaynakları	9
2.5.1.1 Kozmik radyasyon	9
2.5.1.2 Karasal radyasyon	10
2.5.1.3 Dâhili radyasyon	10
2.5.2 Yapay radyasyon kaynakları	11
2.6 Radyoaktivite	12
2.6.1 Radyoaktivitenin keşfi ve tarihçesi	13
2.6.2 Yarı ömür ve bozunma sabiti	14
2.7 Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri	15
2.7.1 Radyoaktif bozunma	15
2.7.2 Alfa Bozunması	16
2.7.3 Beta bozunumu	17
2.7.3.1 β^- Bozunması	17
2.7.3.2 β^+ Bozunması (Pozitron yayınlanması)	18
2.7.3.3 Elektron yakalama	19
2.7.3.4 Gama yayınlanması	20
2.8 Radyoaktif Seriler	20
2.8.1 Radyoaktif bozunma çeşitleri	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.8.1.1 Uranyum serisi.....	22
2.8.1.2 Toryum serisi.....	24
2.8.3 Aktinyum serisi.....	26
2.8.4 Neptünyum Serisi	28
3. RADYUM VE RADON	31
3.1 Radium.....	31
3.2 Radon	32
3.2.1 Radon gazının kaynakları	34
3.2.1.1 Bina içi radon kaynakları.....	35
3.2.3 Evlerde Radon Gazı	37
3.3 Dünyada Radon Gazı Çalışmaları.....	41
3.4 Radonun Sağlık Üzerine Etkileri	44
3.5 Katı Hal İz Kazıma Dedektörleri (SSNTD).....	45
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	46
4.1 Yöntem	46
4.2 Örneklem Alanı.....	46
4.3 Örneklem İşlemi.....	47
4.4 Deneysel İşlemler	48
4.5 Kalibrasyon İşlemi.....	50
4.6 Eşdeğer Doz Oranının ve Efektif Dozun Hesaplanması	51
4.7. Deneysel Veriler ve Yorumlanması.....	53
4.7.1 Kütahya ilinin doğu bölgesi	56
4.7.2 Kütahya ilinin kuzey bölgesi	59
4.7.3 Kütahya ilinin güney bölgesi	62
4.7.4. Kütahya İlinin Batı Bölgesi	65
4.7.5 Kütahya ilinin genel sonuçları	68
SONUÇ VE YORUMLAR	72
KAYNAKÇA.....	74

EKLER

1. Evlerde Radon Araştırması Bilgi Formu
2. Kalibrasyon Faktörünün Hesaplanması

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Alfa, beta ve gamanın giricilikleri.	6
2.2. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları grafiği.	9
2.3. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri grafiği.	11
2.4. Yapay radyasyon kaynakları.	12
2.5. Radyoaktif bozunma.	13
2.6. Aktivliğin zamana göre değişimi.	15
2.7. Alfa bozunumu.	16
2.8. Alfa parçacığının potansiyel engeli.	17
2.9. Uranyumun bozunum şeması.	23
2.10. Toryum serisi.	25
2.11. Aktinyum serisi.	27
2.12. Neptünyum serisi.	29
3.1. Radon bozunum şeması.	34
3.2. Evlere radonun girişi.	38
4.1. Örneklem noktaları.	47
4.2. Deney düzeneği.	48
4.3. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.	49
4.4. Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.	50
4.5. ÇNAEM radon odası.	52
4.6. Kütahya ili çalışılan bölgelerin haritası.	53
4.7. Film yerleştirdiğimiz evlerin sigara içilme durumları grafiği.	56
4.8. Doğu bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m ³)sonuç grafiği.	56
4.9. Doğu bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.	57
4.10. Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.	58
4.11. Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.	59
4.12. Kuzey bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m ³)sonuç grafiği.	59
4.13. Kuzey bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.	60
4.14. Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.	61
4.15. Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.	62
4.16. Güney bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m ³)sonuç grafiği.	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.17. Güney bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.....	63
4.18. Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.....	64
4.19. Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.....	67
4.20. Batı bölgesi radon konsantrasyonu(Bq/ m ³)sonuç grafiği.....	68
4.21. Batı bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı.....	69
4.22. Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.....	70
4.23. Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.....	70
4.24. Kütahya genel radon konsantrasyonu(Bq/ m ³)sonuç grafiği.....	69
4.25. Evlerin katlara göre dağılımı grafiği.....	70
4.26. Genel radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Alfa, Beta ve gamanın nicelikleri.....	6
2.2. Radyasyon birimleri.....	8
2.3. Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar.....	12
2.4. Uranyum serisinin bozunum ürünleri.....	24
2.5. Toryum serisi bozunum ürünleri.....	26
2.6. Aktinyum serisi bozunum ürünleri.....	28
2.7. Neptünyum serisi bozunum ürünleri.....	30
3.1. Radyumun özellikleri.....	31
3.2. Radyumun doğal izotopları.....	31
3.3. Radonun özellikleri.....	33
3.4. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu.....	36
3.5. İnşaat malzemeleri içinde ²²⁶ Ra ve ²²² Rn değerleri.....	36
3.6. Değişik ülkelerde iç mekân radon ölçüm değerleri.....	39
3.7. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m ³).....	42
4.1. Sayılan izler ve Bq/m ³ cinsinden karşılıkları.....	53
4.2. Radondan gelen yıllık etkin dozlar.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\bar{\nu}$	Anti nötrino
ν	Nötrino
α	Alfa
β^-	Beta-ışınması
β^+	Beta + ışıması
γ	Gama
Bq	Becquerel
c	Işık hızı
°C	Santigrat
cm	Santimetre
e^-	Elektron
E	Enerji
g	Gram
°K	Kelvin
m	Kütle
m	Metre
MeV	Mega elektron volt
mSv	Milisievert
n	Nötron
p	Proton
Q	Enerji

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1-GİRİŞ

Radyasyon sürekli iç içe olduğumuz, yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır. Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan radyasyon, yaptığı etki bakımında da iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak da ikiye ayrılır. Genelde doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyon, maddeyle etkileşerek atomlarının elektronik yapısını değiştirebilir bu da sağlık sorunlarına neden olur. Bu sebeple insanların doğal kaynaklar nedeniyle maruz kaldığı radyasyon miktarlarının belirlenmesi amacıyla birçok araştırmalar ve ölçümler yapılmaktadır. Bu çalışmalarda alınan doza en büyük katkının atmosferik ortamdaki doğal radyonüklidlerden geldiği tespit edilmiştir [1].

Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun hemen hemen %50 si radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv dir [1, 2].

Radon gözle görülmeyen, renksiz, tatsız, kokusuz bir gazdır. 1899 senesinde Ernest Rutherford ve 1900 senesinde Friedrich Ernest Dorn tarafından, bozunma ürünü olarak yaydığı alfa parçacığı sayesinde keşfedilmiştir. Radon, uranyumun (^{238}U) radyoaktif bozunma zinciri içerisinde ve kendisinden önce gelen radyum (^{226}Ra) un bir alfa vererek bozunmasından ortaya çıkmaktadır [3].

Radonun birçok izotopu vardır ve bunlardan sadece ikisi çevredeki radyasyon miktarına önemli etki yapmaktadır. Bunlardan en uzun ömürlü olan ^{222}Rn 3,82 günlük; ^{220}Rn ise 51,5 saniyelik yarı ömürlere sahiptir[1].

Havada bulunan radon gazının kaynağı karasaldır. Toprakta, kayaçlarda bulunan uranyumun bozunması sonucunda difüzyon yolu ile kolaylıkla havaya karışabilmektedir. Bu nedenle radon gazı yoğunluklarının belirlenmesine yönelik ölçümler açık havada, binalarda, toprakta, suda ve yapı malzemelerinde yapılmalıdır ayrıca ortamın jeofiziksel ve jeokimyasal özellikleri dikkate alınmalıdır[1].

Yapılan araştırmalar açık havada radyasyon yoğunluğunun oldukça düşük seviyelerde seyretmekte olduğunu göstermektedir. Ancak aynı durum kapalı ortamlar için doğru olmayabilir. Radon çeşitli yollar ile bina içine girebileceğinden ve insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekânlarda geçirdiklerinden dolayı radona maruz kalmaları önemli bir problemdir. Binaların yapıldığı arazide bulunan doğal uranyumun miktarı ve uranyumdan

oluşan radonun bina tabanında bulunan aralıklardan içeri sızması, binanın yapı malzemesinden kaynaklanan radonun oda havasına karışması radyasyon miktarını arttırmaktadır. Ayrıca mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi yoğunluğunu artırmaktadır[3].

Bina içi Radon yoğunluğunu değiştiren diğer etkiler ise topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyum miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve yalıtım niteliği, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkıdır[1].

Toprak ve yerküre asıllı pek çok yapı malzemesi atmosferdekinden yaklaşık $10^3 - 10^4$ daha fazla Radon gazı konsantrasyonuna sahiptir. Binalarda Radon miktarını etkileyen diğer önemli bir unsur da binanın yapıldığı malzemenin özelliğidir. Yapı malzemesi olarak kullanılan toprak, taş ve çimento elde edildikleri bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak az veya çok uranyum içerebilir ve meydana gelen radon sürekli olarak bina içine sızabilir[1].

Soğuk havalarda binaların ısıtılması sonucu bina içindeki basınç dış ortamdaki basınca göre daha az olacağından bina içindeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgârlı havalar için de geçerli olduğundan Radon oranı bina içerisinde artmaktadır. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış binalar dış ortama ile yaklaşık eşit basınca sahip olacağından ortamdaki radon seviyesi azalmaktadır[1].

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek “Evde ve İşyerinde Radon- 222’ ye Karşı Korunma” konusunda 65 No. lu bir rapor hazırlamıştır. Bu raporda Radona maruz kalma sınırları belirlenerek, bazı sınır değerler tavsiye edilmiş ve senelik doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir. Eylem seviyesi 3-10 mSv arasında kabul edilmiştir. Bu dozlara karşılık gelen Radon yoğunluğu evlerde $200-600 \text{ Bq} / \text{m}^3$, işyerlerinde ise $500-1500 \text{ Bq} / \text{m}^3$ arasındadır. Avrupa ülkelerinde bu değer yılda 400 Bq/m^3 , Kanada’ da ise 800 Bq/m^3 olarak kabul edilmiştir. Ülkemizde TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde solunum yoluyla izin verilen Radon yoğunluğu sınırlarının, yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bq/m^3 , iş yerlerinde ise 1000 Bq/m^3 değerlerini aşamayacağını bildirmiştir[2].

Gelişmiş ülkelere baktığımızda, doğal ve yapay radyasyon ölçümlerinin sağlık kurumlarınca yapıldığı görülmektedir. Ülkemizde ise doğal radyoaktif maddelerin tayini ve çıkacak sonuçlara göre önlem alınması henüz bir standarda oturtulamamıştır. Nüfusun

çoğunluğu tarafından kullanılan kaynaklarda öncelikle toplam alfa ve beta radyoaktivitesine bakılmakta, limit bunun üstünderse içinde bulunan radyoaktif elementler detaylıca incelenmektedir.

Bu çalışmada Kütahya ili merkez ilçesinde kapalı ortam radon konsantrasyonlarının belirlenmesinin en önemli sebebi, Kütahya ilinde kapalı mekânlarda radon konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışmanın literatürde yer almamasıdır. Bu konsantrasyonlar belirlenerek, radondan dolayı insanların aldığı yıllık radyasyon dozları hesaplanmıştır.

Kütahya ili Merkez ilçesinde seçilen 100 tane kapalı ortamda incelenme yapılmıştır. Katı hal iz kazıma dedektörü olan LR-115 kullanılarak radon konsantrasyonları hesaplanmıştır.

2. RADYASYON

2.1 Radyasyon

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfuz edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamında kullanılmaktadır. Radyasyonu ortamda yol alan enerji paketleri (dalga, parçacık, foton) olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım kapsamında doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya gelebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de “radyasyon” olarak adlandırılır[2].

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 α , β ve γ gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Çevresine bu şekilde ışın yayarak (saçarak) parçalanın maddelere radyoaktif madde; radyoaktif bozunma ile salınan radyasyon ile çevreye yayılan α , β , γ ışınlarına da α radyasyonu, β radyasyonu , γ radyasyonu denir[1, 2].

2.2 Radyasyon Çeşitleri

İki çeşit radyasyon vardır. Bunlar “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyonlardır.

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden küçük parçacıkları ifade eder [2].

Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütlesiz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/sn) hareket ederler [2].

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da yaptıkları etkiye göre yine iki gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır.

2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek bir radyasyon çeşitleridir. İki tip iyonlaştırıcı radyasyon vardır;

1) Elektromanyetik Radyasyon: Gama ve X ışınları elektromanyetik radyasyonlardır. Bunlar yüksek frekanslı görünen ışık ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalardır ve dalga boyları çok küçük olmasına rağmen enerjileri yüksektir [2].

Gama Işınları: Manyetik alanda sapmadıkları için belirli bir elektrikle yüklü değildirler. Gama ışınları elektromanyetik dalgalardan meydana gelmiştir. Radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan kararsız atom çekirdeklerinden yayılan bir çeşit elektromanyetik ışınlardır. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidir. Yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapmaya uğramazlar, kütesizdirler.

X Işınları: Hızlandırılmış yüksek atom numaralı elektronlar hedef seçilen atomların çekirdeklerine yaklaştıklarında, yavaşlamalar olur. Bu yavaşlamalar sonucu x ışınları oluşur.

2) Parçacık Radyasyonu:

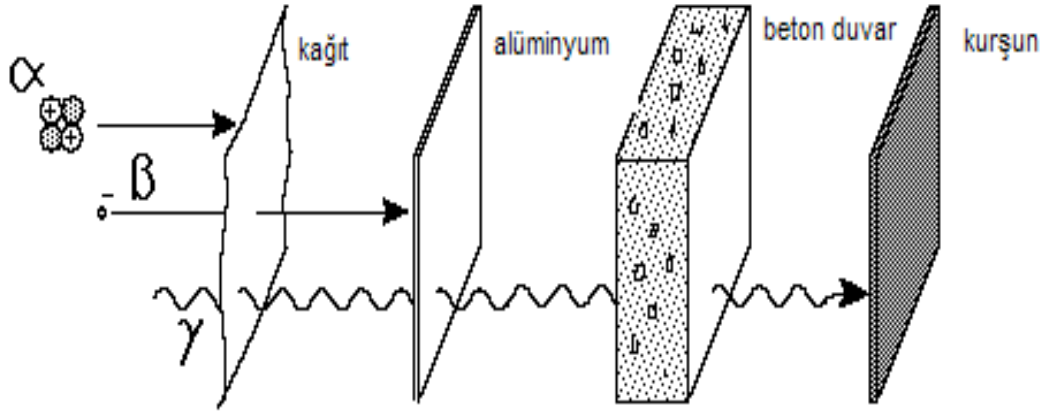
Alfa (α) Işınları: Pozitif yüklü parçacıklardan oluşurlar. Giricilikleri çok azdır. Fotoğraf filmine etki ederler. Pozitif yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda kutuba doğru saparlar. Karşılaştıkları moleküllerden elektron kopararak, iyonlaşmaya neden olurlar. Bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir [3].

Beta (β) Işınları: Pozitif ve negatif elektrik yüklerinden meydana gelmişlerdir. İnce bir su, metal levha ya da cam tabakası bu elektronları durdurmak için yeterlidir. İyonlaşma etkileri azdır. Işık hızına yakın bir hızla hareket ederler. Alfa ışınlarından daha çok, gama ışınlarından daha az giricidir. Elektrik ve manyetik alanda negatif yüklü oldukları için pozitif kutba doğru saparlar. Sapmaları alfa ışınlarından daha fazladır, çünkü bunların kütleleri daha küçüktür [3].

Alfa ve beta ışınları atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyoaktif ışınlardır. Her iki ışın da belirli bir kütleye sahiptir. Alfa ve beta ışınları kütleleri ve elektriksel yüklerinden dolayı, X ve gama ışınlarına göre, maddelere daha az nüfuz ederler. Ancak, bu ışınların iyonlaştırıcı etkileri daha fazladır. Nötron ve proton ise kütleleri alfa ışınlarının dörtte biri kadar olan nükleer taneciklerdir. Çeşitli nükleer reaksiyonlar sırasında çekirdekten kopan nötron ve protonlar insan sağlığı için en tehlikeli radyasyonlardır. Özellikle nötron, elektrik yükü olmadığından çok büyük nüfuz etme özelliğine sahiptir. Radyoaktif ışınların insan vücuduna etkisi bu ışınların hareketleriyle ilgilidir.

Serbest Nötronlar: Bunlar radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girebilirler. Bunların doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri yoktur. Ancak bu

serbest nötronların, girdikleri maddelerin nötronları ile etkileşimleri sonucu α , β , γ ve x ışınları gibi ışınlamalar oluştururlar. Bu ışınlar ise etkileşme sonucu girdiği maddenin atomundan koparak iyonlaşmayı gerçekleştirir.



Şekil 2.1 Alfa, beta ve gamanın giricilikleri [4].

Çizelge 2.1 Alfa, Beta ve gamanın nicelikleri [5].

Parçacık	Kütle (MeV/c ²)	Yük (e)*
Gamma	0	0
Beta	~0.511	-e
Alfa	~3752	+2e

* $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ c}$

Şekil 2,1 de görüldüğü gibi alfa, beta ve gama ışınlarından alfanın giriciliği oldukça azdır, bir kâğıt bile alfa ışınlarını durdurabilmektedir. Beta ışınlarını bir alüminyum blok durdururken giriciliği en fazla olan gama ışınlarını kurşun durdurabilmektedir. Çizelge 2,1 ise alfa beta ve gama ışınlarının nicelikleri verilmektedir[4].

2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

1) Optik Radyasyonlar:

Ultraviyole ışınları: Asıl kaynağı güneştir. UV ışınları güneş tam doğarken bolca yayılmaktadır. UV ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansyarak kar ve güneş körlüğü yapabilir. UV'nin derine inmesi (giriciliği) az olduğu

için büyük oranda deri ve gözleri etkilemektedir. Bu nedenle deri kanserlerinin %80'i UV ışınlarından kaynaklanmaktadır.

2) EMR Nitelikli Radyasyonlar: Radyo dalgaları, mikrodalgalar, mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri, radarlar, trafolar, bilgisayarlar, akım taşıyan kablolar bu gruba girmektedirler.

2.3 Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın (kabul edilebilir sınırların) üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu etkinin büyüklüğü ise ancak radyasyon çeşidi, soğurulma hızı ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman mümkündür. Bütün bu faktörler bilindiğinde radyasyonun insan sağlığı veya diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde bırakacağı etki kolayca belirlenebilir [3].

2.4 Radyasyon Birimleri

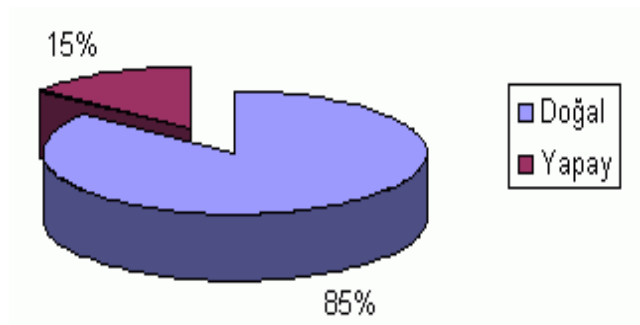
Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), Rad ve Rem'dir. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile M.K.S. sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir.

Çizelge 2.2 Radyasyon birimleri [3].

TERİM	BİRİM		DÖNÜŞÜM
	Eski	Yeni	
AKTİVİTE	Curie(Ci) ; 3.7×10^{10} parçalanma /sn	Becquerel(Bq) ; 1 parçalanma/sn	1 Ci= 3.7×10^{10} Bq 1 Ci=37GBq
İŞİNLAMA DOZU	Röntgen (R) ; normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.	Coulomb / kilogram (C/kg) ; normal hava şartlarında havanın 1kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır.	1C/kg=3876R 1R= 2.58×10^{-4} C/kg
SOĞURULMUŞ DOZ	Radyoaktif doz (rad) ; ısınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy) ; ısınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	1Gy=100rad 1rad=0.01 Gy
ETKİN DOZ	Röntgen equivalent man (rem) ; 1Röntgenlik X veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. rem=(rad)x(WR)	Sievert (Sv) ; 1 Gy'lık X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sv= (Gy)x(WR)	1Sv=100 rem 1rem=0.01Sv

2.5 Radyasyon Kaynakları

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



Şekil 2.2 Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları grafiği[2].

2.5.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal yollarla oluşan radyoaktivitenin canlı ve cansız bütün varlıklarda gözlemek mümkündür. Doğal kaynaklardan yayımlanan iyonlaştırıcı radyasyona sürekli maruz kalırız. Maruz kalınan radyasyon çok çeşitli kaynaklardan gelir. Bu kaynaklardan bazıları çevrenin doğal özellikleridir.

Doğal radyasyon kaynakları kozmik, karasal ve dâhili radyasyondur. Maruz kalınan bu doğal radyasyonların büyüklüğü; coğrafik ve jeolojik etkenlere bağlıdır. Kozmik radyasyondan gelen doz deniz seviyesinden yüksekliğe göre değişir. Karasal radyasyon yerel jeolojiye bağlıdır. İç ortamlarda radondan gelen doz ise yerel jeolojiye, yapı maddelerine ve ortamların havalandırılmalarına bağlıdır [9].

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 diğer yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. Radon; uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraklardan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarından ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi gösterilmektedir[2].

2.5.1.1 Kozmik radyasyon

Kozmik radyasyonlar, değişik yüklerde ve farklı enerjilerde yayınlanan partikül veya elektromanyetik ışınlardan ibarettir. Kökenleri de farklıdır. Dünya yüzeyi varoluşundan beri

sürekli kozmik radyasyonlarla bombardıman edilmektedir. Dünya ve üstünde yaşayan canlılar, yağmurun sürekli yağması gibi uzaydan gelen radyasyonla sürekli etki altındadır. Güneşten ve yıldızlardan gelen yüklü parçacıklar dünyanın atmosferi ve magnetik alanı ile etkileşir ve genellikle beta-gama radyasyonu oluşturur[3].

Kozmik radyasyondan gelen doz, dünyanın çeşitli bölgelerinde yüksekliği ve dünyanın manyetik alanından dolayı farklılık gösterir. Atmosfere giren kozmik ışınlar atmosferden geçtikten sonra yeryüzündeki manyetik alandan da etkilenir. Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın girer. Kozmik ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlar geçirirler ve atmosfer tarafından azar azar tutulurlar. Bu sebepten dolayı yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır[3].

Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun Dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır[2].

2.5.1.2 Karasal radyasyon

Radyoaktif maddeler doğada her yerde bulunur. Düşük konsantrasyonlu uranyum, toryum ve bunların bozunma ürünleri her yerde mevcuttur. Bu materyallerin bir kısmı yiyecek ve su ile sindirilir, radon gibi bir kısmı ise solunur. Karasal kaynaklardan kaynaklı doz, dünyanın çeşitli bölgelerinde farklılık gösterir. Toprağında yüksek konsantrasyonlu uranyum ve toryum bulunan bölgeler, yüksek doz seviyelerine sahiptir [7].

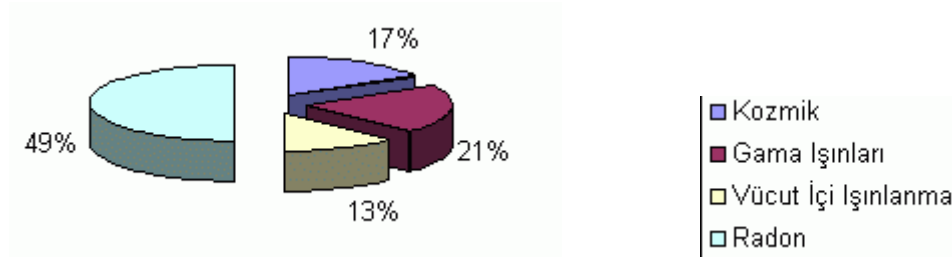
Radon yer kabuğunda uranyum ve toryum gibi radyoaktif materyallerde düşük seviyelerde bulunmaktadır. Uranyum ve toryum diğer radyoaktif atomlara bozunur, bunlara radyum ve radon da dâhildir. Radon bir soy gazdır, topraktan çıkar ve havaya ulaşır. Radon dünya atmosferinin doğal bir parçasıdır. Topraktaki uranyum ve radyum miktarları jeolojik bölgeye ve toprak tipine göre değişmektedir. Aynı zamanda radon miktarı da bu elementlere bağlı olabilir [8].

2.5.1.3 Dâhili radyasyon

Kozmik ve karasal radyasyona ek olarak, her insanda doğuştan bu yana bulunan radyoaktif materyaller ve bunun alt ürünleri bulunmaktadır. Bunların başlıcaları ^{40}K , ^{210}Pb ve ^{14}C 'tür. Bu tip radyasyonda doz, karasal ve kozmik radyasyondan daha küçüktür. Dâhili radyasyondan gelen ortalama doz miktarı 0,4 mSv/yıl [7].

Havada bulunan ^{238}U ve ^{232}Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınırlar. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturur. Radon haricinde doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır[2].

Yiyecek ve içeceklerde bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 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]. Şekil 2.3 de dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri gösterilmektedir.



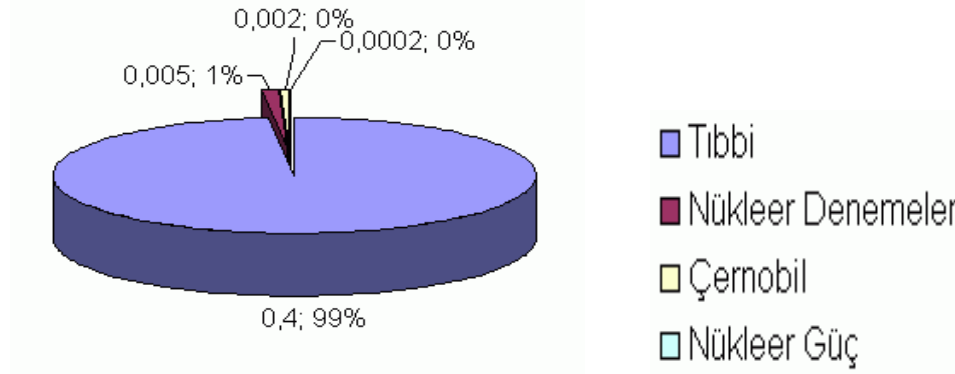
Şekil 2.3 Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri grafiği[2].

2.5.2 Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. İnsanlar çevrelerinde bulunan çeşitli tüketici ürünlerden (televizyon, x-ışını v.b.) dolayı yapay radyasyona maruz kalırlar. Bu kaynaklar, birçok işin yapılma süresini kısaltmış, maliyetini de azaltmıştır. İnsan yapımı olan ve insanlara etkisi olan en önemli kısım tanısıl x-ışını, nükleer tıp ve radyasyon tedavisi gibi tıbbi prosedürlerdir. İnsanlara etkileyen başlıca izotoplar: I-131, Tc-99m, Co-60, Ir-192 ve Cs-137'dir. Daha az büyüklükte olsa da insanlar nükleer yakıtlardan dolayı radyasyona maruz kalmaktadır. Buna uranyum madenleri ve bu madenlerin çıkartılması da eklenebilir. Son olarak da bu listeye radyoaktif materyallerin taşınması, radyoaktif silah testleri ve Çernobil gibi radyoaktif kazalar eklenebilir.

Doğal radyasyon kaynaklarının aksine, tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir. Ancak bu doz miktarı, ihtiyaca bağlı

olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Şekil 2.4 de yapay radyasyon kaynakları ve maruz kalınan radyasyon dozları oransal olarak verilmektedir.



Şekil 2.4 Yapay radyasyon kaynakları [2].

Çizelge 2.3’de doğal ve yapay kaynaklardan alınan yıllık etkin dozlar verilmektedir.

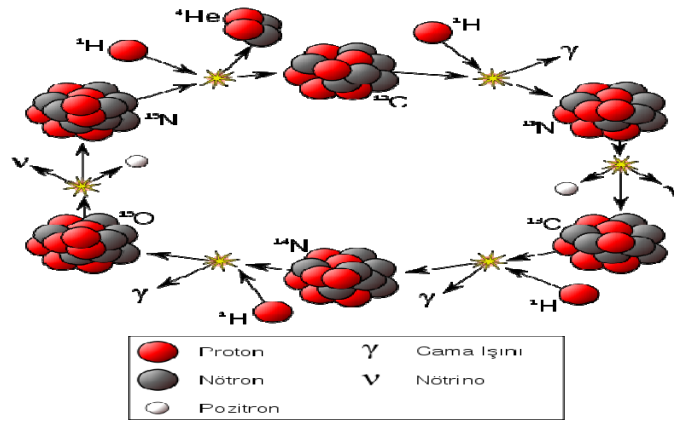
Çizelge 2.3 Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar [2].

Doğal Kaynaklar	Doz (mSv)	Yapay Kaynaklar	Doz (mSv)
Kozmik	0,4	Tıbbi	0,4
Gama Işınları	0,5	Nükleer Denemeler	0,005
Vücut İçi ışınlanma	0,3	Çernobil	0,002
Radon	1,2	Nükleer Güç	0,0002
Toplam (ortalama)	2,4	Toplam (ortalama)	0.4072

2.6 Radyoaktivite

Doğada mevcut elementlerin, atomlarının bir kısmı kararlı bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptir. Radyoaktivite kararsız atomik çekirdeğin nükleer parçacıklar veya elektromanyetik radyasyon yayarak kendiliğinden bozunma işlemidir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. İnsan vücudunun olduğu gibi, birçok nesnenin de içinden geçebilir. Yalnızca toprağın, kayaların ve özellikle kurşunun içinden rahatça geçemez[4].

Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır[4].



Şekil 2.5 Radyoaktif bozunma[10].

Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozunma ve parçalanma şekli vardır. Bu olaylar, çekirdeğin parçalanma hızı, çekirdeğin yaydığı radyasyon cinsine ve enerjisine bağlı olarak değişir. Şekil 2.5 de bir radyoaktif bozunma zinciri verilmektedir.

2.6.1 Radyoaktivitenin keşfi ve tarihçesi

Radyoaktivite, 24 Şubat 1896 da Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel, buluşunu 1898 yılına kadar Becquerel ışınları olarak adlandırmış daha sonra da radyoaktivite ismini vermiştir. Radyoaktivite, flüoresan kılınmış maddelerin X ışınları verip-vermedikleri araştırılırken bulunmuştur. Bu keşiften sonra, Fransa da Pierre ve Marie Curie, Almanya da G.Schmidt tarafından, aynı zamanda yapılan araştırmalarda toryumun da aynı ışını verdiği bulunmuştur. Bundan sonraki araştırmalarda radyoaktif özelliklere sahip polonyum ve radyum elementleri keşfedilmiştir. 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn radyum tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını keşfetmişlerdir[10].

2.6.2 Yarı ömür ve bozunma sabiti

Radioaktif bozunma rastgele bir süreçtir, dt süresi boyunca bir atomun bozunma olasılığı λdt ile verilir, burada λ bozunma sabiti olarak bilinen orantıdır.

Bir sistemde başlangıçta $N(0)$ atomu bulunsun, dt zamanı içinde bozunan atomların sayısı: $-dN = \lambda N dt$ denklemi ile verilir. Küçük zaman aralıklarında bu şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.1)$$

Zamanı dikkate alarak integre ettiğimizde, bize herhangi bir t zamanındaki atom sayısını verir.

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

Radioaktif bir maddenin başlangıç miktarından yarısının bozunması için geçen zamana yarı ömrü ya da yarılanma süresi denir. $t_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömrü bulmak için

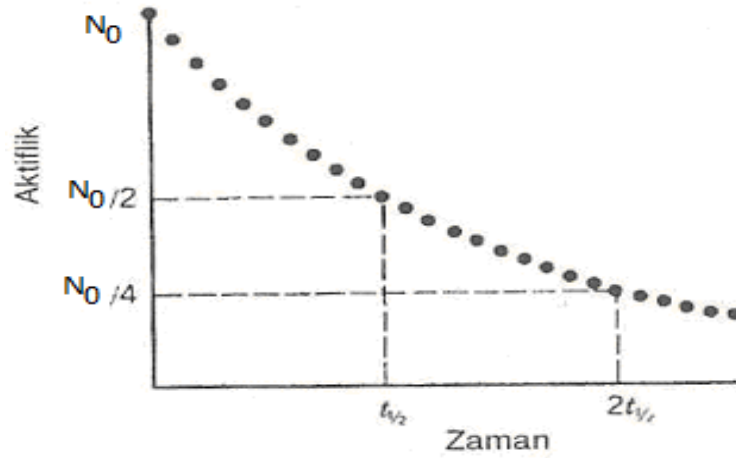
$$N = N(0) / 2 \text{ alırsak}$$

$$\frac{N(0)}{2} = N(0) e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

Yarı ömür çekirdeğin kimyasal ve fiziksel etkilerle değişmeyen bir özelliğidir. Bağıntıdan yarı ömür aynı zamanda bozunma sabitiyle de bağlantılıdır [38].

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.4)$$

Şekil 2.6 da aktifliğin zamana göre değişimi verilmektedir.



Şekil 2.6 Aktifliğin zamana göre değişimi.

2.7 Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri

2.7.1 Radyoaktif bozunma

Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek daha kararlı bir atom haline dönüşmesidir. Radyoaktif bozunma nükleer bir işlemdir. Çekirdeğin kimyasal ve fiziksel durumundan genelde bağımsızdır. Asıl radyoaktif bozunma işlemi nötron sayısının proton sayısına oranına, ana ürün ve yayımlanan parçacıkların kütle-enerji ilişkisine bağlıdır[2].

Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Bu işlemde, kararsız X ana ürünü Y alt ürününe farklı yollardan bozunur. Sembolik olarak bu işlem şu şekilde tanımlanabilir:



Burada $a + b + \dots$, yayımlanan parçacıklardır. Bu işleme genelde gama ışını yayımlanması eşlik eder. Eğer ürün çekirdek kararsızsa, bu reaksiyon alt ürün kararlı hale gelinceye kadar devam eder. Radyoaktif çekirdekler en temel aşağıdaki gibi bozunabilir:

- Alfa Bozunması
- Beta Bozunumu
 - Beta-eksi Bozunması
 - Beta-artı Bozunması
 - Elektron Yakalanması
- Gama Bozunumu

Alfa ve beta bozunmalarında, kararsız çekirdekler alfa veya beta parçacıkları yayarak daha kararlı bir çekirdeğe dönüşmeye çalışırlarken, gama bozunumunda ise çekirdeklerin cinsi değişmeden uyarılmış durumdan taban durumuna bozunması şeklinde olur.

2.7.2 Alfa Bozunması

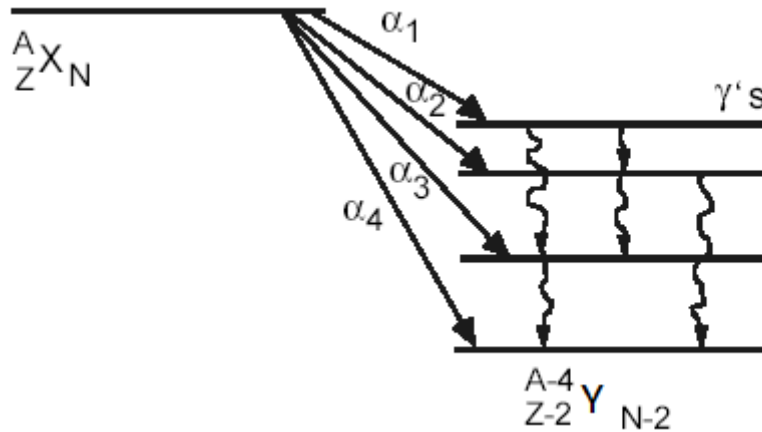
Kararsız bir atom çekirdeğinin iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı çıkarması ve farklı bir elemente dönüşmesine alfa bozunumu denmektedir. Alfa parçacığı yapısal olarak helyum atomunun çekirdeğine eşittir. İki proton ve iki nötron içerir α ile gösterilir.

α bozunumu sürecini şu şekilde yazabiliriz:



$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(Y) - m({}^4_2\alpha)] \times c^2 \quad (2.7)$$

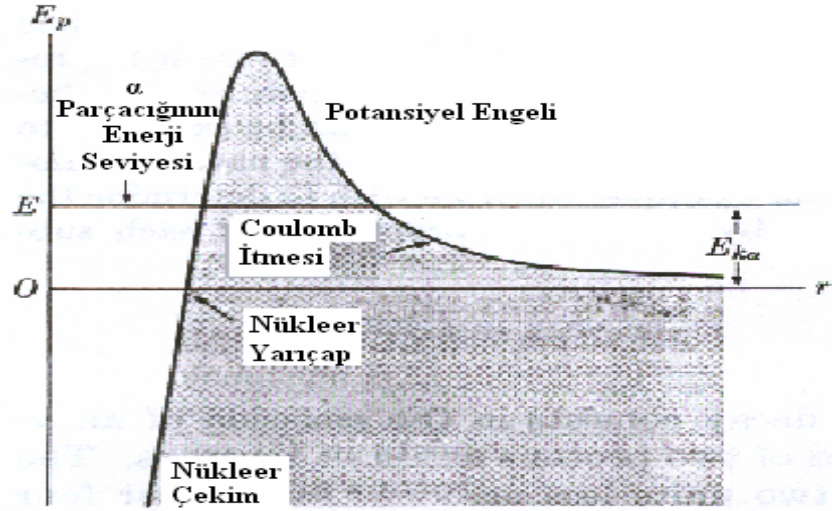
Alfa parçacığı aslında helyum çekirdeğinin iki kere iyonlaşmış halidir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır. Şekil 2.7 de kararsız bir çekirdeğin kararlı hale gelebilmek için yaptığı alfa bozunumu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Alfa bozunumu [3].

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

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



Şekil 2.8 Alfa parçacığının potansiyel engeli.

Alfa bozunma işlemi genelde proton zenginleştirmede görülür. İlave olarak, Şekil 2.8 de gösterildiği gibi yayınlanan parçacığın potansiyel duvarını geçmek için yeterli enerjisi olmalıdır. Potansiyel duvarının yüksekliği yaklaşık olarak 25 MeV'dir. Kuantum tüneli yoluyla alfa parçacıkları bu duvardan kaçabilir.

Alfa parçacıklarının madde ile etkileşmesinde, alfa parçacıkları enerjilerini verir ve nötr helyum atomlarına dönüşür. Sıvılarda ve katılarda menzilleri çok kısadır, mikrometre mertebesinde. Havadaki menzilleri ise birkaç santimetredir. Bu kısa menzillerinden dolayı sağlık açısından zarar sağlamazlar. Hasara yol açmadan önce derinin üst kısmı tarafından soğurulurlar. Vücuda soluma veya sindirim yoluyla alınırsa, yüksek enerjilerinden dolayı dokular için zararlıdır. Bu özellik tedavide kanserli hücreleri öldürmek için de kullanılabilir.

2.7.3 Beta bozunumu

Beta bozunumunun üç farklı çeşidi vardır. Bunlar β^- , β^+ ve elektron yakalama olayıdır.

2.7.3.1 β^- Bozunması

β^- bozunması kararsız bir çekirdekten eksi elektron yayınlandığında görülmektedir. Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa,

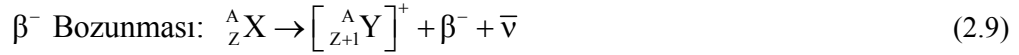
çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır. Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (negatron) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası da bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmektedir.



Teorik kabuller, çekirdekte elektron olmasını kabul etmez. Bu sebepten dolayı beta parçacığının nötronun protona dönüştüğü nükleer dönüşümden çıktığı kabul edilir:

Burada $\bar{\nu}$, anti nötrinodur. Nötrininonun sıfır yükü vardır ve kütlesi neredeyse sıfırdır.

Beta yayınlanması alfa yayınlanmasından farklılık gösterir. Beta yayınlanmasında parçacığın sürekli enerji spektrumu vardır, bu değer sıfır ile maksimum bir bitiş enerjisi değeri arasında değişir, bu o izotopun karakteristiğidir. Aynı zamanda beta eksi parçacıklarının alfa parçacıklarına göre daha uzun menzili vardır. Beta parçacıklarının maksimum enerji menzili 10 keV ile 4 MeV arasında değişir. Beta eksi bozunması işlemi denklem (2.9) ile tanımlanmaktadır. Bitiş enerjisi enerji korunumundan ana çekirdek ile ürün arasındaki kütle farkına karşılık gelir. Beta parçacığının ortalama enerjisi, maksimum enerjisinin 1/3'ü kadardır.



Beta bozunmasını takiben, ürün çekirdeğinin ana çekirdek ile aynı sayıda elektronu vardır ve pozitif yüklüdür. Çok çabuk bir şekilde ürün atom elektron toplar ve nötr hale gelmektedir.

2.7.3.2 β^{+} Bozunması (Pozitron yayınlanması)

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğin içinde proton nötrona, pozitrona ve nötrinoya dönüşür.



Nötron proton oranının düşük olduğu çekirdeklerde alfa yayınlanması mümkün değildir, çekirdek pozitron yayınlarak daha kararlı duruma geçer. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmemektedir.

β^- bozunmasına benzer olarak, pozitron β^+ karakteristik maksimum enerjiye kadar sürekli düzgün dağılım gösterir. Pozitron çekirdekten yayınlandıktan sonra atomik elektronlarla kuvvetli bir elektrostatik etkileşme geçirir. Pozitron ve negatif elektronların birbirlerini yok etmesi sonucu 0.511 MeV enerjili farklı yönlerde giden iki foton oluşturmaktadır.

Pozitronların yol açtığı riskler β^- 'lerin yol açtıklarına benzer. İlave olarak, pozitron elektron yok olması sonucunda oluşan gama radyasyonu dış sağlık tehlikesine yol açmaktadır.

β^+ bozunması şu şekilde tanımlanabilir:



Pozitron yayınlanmasına takiben, bozunma ürününün ana atomun yörünge elektron sayısı kadar elektronu vardır ve yükü negatiftir. Çok çabuk bir şekilde ürün atom elektriksel olarak nötr hale geçmek için elektronlarını kaybetmektedir [7].

2.7.3.3 Elektron yakalama

Bazen çekirdek pozitron salmak yerine en içteki kabuklardan elektron yakalar. Elektron yakalaması denilen bu süreç çekirdekteki bir protonun bir nötronla yer değiştirmesiyle sonuçlanır. Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise kararlı duruma geçmek için atomik yörüngesinin K veya L kabuklarından elektron yakalayarak kararlı duruma ulaşır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşmektedir.



İşlem β^+ bozunmasına benzer. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınımı olmaz fakat proton sayısı bir eksilir, çekirdeğin yükü 1 azalır, kütle numarası ise aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçerek boşalan yörüngeyi doldurmaktadır.



Ürün genelde uyarılmış durumda oluşur. Son çekirdek kararsızdır ve K veya L kabukları dış yörünge elektronu tarafından doldurulduğunda gözlemlenemeyen X-ışını karakteristiği gösteren bir nötrino yayınlamaktadır.

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

2.7.3.4 Gama yayımlanması

Çekirdek tepkimelerinin birçoğunda olduğu gibi hemen hemen tüm alfa ve beta bozunmaları sonucunda ürün çekirdek ya da çekirdekler uyarılmış durumdadırlar. Taban duruma geçiş kısa bir süre sonra bir veya daha fazla foton salınmasıyla mümkün olur ki bu geçiş de gamma ışınımını oluşturmaktadır.

Gama yayımlanması uyarılmış bağlı durumları olan ($A > 5$) tüm çekirdeklerde gözlenir ve genellikle α ve β bozunmalarını izlemektedir. Bunun nedeni, bu bozunumlarda ana çekirdeğin ürün çekirdeğin uyarılmış durumunda kalmasıdır. Uyarılmış durum çok hızlı bir şekilde gama yayımlayarak taban duruma döner.

$$\gamma \text{ bozunması: } {}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma \quad (2.14)$$

Burada *'lı durum uyarılmış durumu tanımlar[6].

Bu olayda bir çekirdek enerjisini doğrudan doğruya bir nükleona aktararak bozunur. Bu beta bozunumundan çok farklıdır: Z ve N sayıları değişmez ve atom uyarılmış durumdadır, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmektedir[6].

Alfa ve beta parçacıkları gibi iyi tanımlanmış bir menzile yerine, gama ışınları madde içerisinde karakteristik olarak birim uzunluk başına enerjilerinin bir kısmını kaybeder. Gama ışınları yüksek oranda içe işleyicidir ve önemli derecede organik hasara sebep olur. Gama yayımlayıcı parçacıklar iyi bir şekilde zırhlmalıdır ve uzaktan kullanılmalıdır.

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

2.8 Radyoaktif Seriler

Nükleer Fizik'te bozunma zinciri radyoaktif bozunmaya karşılık gelir. Radyoaktif bozunmada neredeyse tüm bozunma ürünleri radyoaktiftir. Bundan dolayı birçok radyoaktif element, kararlı hale doğrudan geçemez. Bunun yerine geri dönüşü olmayan seriler halinde kararlı hale geçinceye kadar bozunmaya devam eder. Bozunma aşaması, önceki ve sonraki

aşamalar arasındaki ilişki ile tanımlanır. Ana çekirdek, alt ürünleri oluşturmak için bozunmaya uğrar. Alt ürün kararlı olabilir veya kararlı hale geçmek için bozunma yapabilir. Alt ürünün alt ürünü olan çekirdek, bazı zamanlarda torun ürün olarak adlandırılabilir.

Bir tek ana çekirdeğin alt ürünlere bozunması geniş bir zaman aralığında değişir, sadece farklı ürün-alt ürün zincirinde değil, aynı zamanda özdeş ana ürün çekirdekleri içinde bu geçerlidir. Tek bir atomun bozunması rastgele oluşurken, özdeş atomların t süresi boyunca başlangıçtaki sayının bozunması üssel bir dağılım gösterir, $e^{-\lambda t}$, burada λ bozunma sabitidir. Bu üssel ifadenin doğasından dolayı, çekirdeklerin özelliklerinden birisi de yarı ömrüdür, başlangıçtaki atom sayısının yarıya inmesi için geçen süredir. Yarı ömür laboratuvarlarda binlerce radyoaktif izotop için belirlenir. Bu an 10^{19} yıl veya daha fazlasına kadar değişebilir. Bu ara aşama orijinal radyoaktif izotoptan daha fazla radyoaktivite yayımlar. Dengeye ulaşıldığında torun izotopun bulunması yarı ömrüyle orantılıdır; fakat aktivitenin yarı ömür ile ters orantılı olduğunu göz önünde bulundurursak, bozunma zincirindeki herhangi bir çekirdek ana zincirin başındaki ürün kadar katkı sağlar. Mesela doğal uranyum belirgin bir şekilde radyoaktif değildir, fakat uranyum maden cevheri içerdiği radyum ve diğer bozunma ürünlerinden dolayı 13 kat daha fazla radyoaktiftir. Sadece kararsız durumdaki radyum izotopu belirgin bir şekilde radyoaktif yayımlayıcı değildir, diğer aşamada radyum radyoaktif gaz radon oluşturur. Toryum ve/veya uranyum içeren kayalardan (granitler gibi) radon gazı yayımlanır ve bu gaz zemin katlar veya madenler gibi kapalı mekânlarda toplanır. Radona maruz kalındığında kanser riski ortaya çıkar.

2.8.1 Radyoaktif bozunma çeşitleri

Doğada bulunan radyonüklitlerin sayısı 340 civarındadır. Bunların 70 tanesi bilinen ağır radyoaktif elementler içinde yer alır. Atom numarası $Z=82$ ’ den büyük elementler radyoaktif özelliğe sahiptirler. Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar üç seri altında toplanırlar.

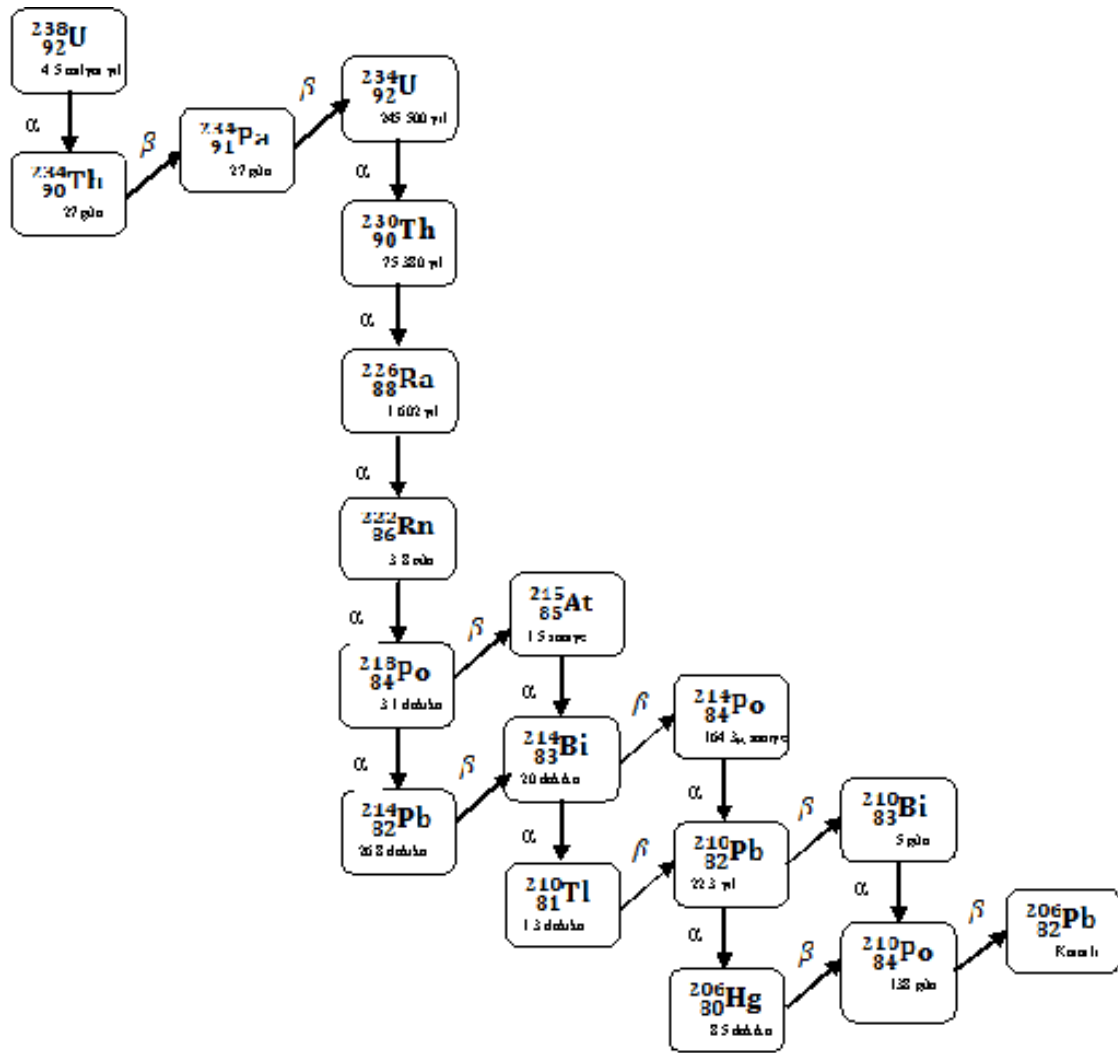
- 1) Uranyum serisi (^{238}U kaynaklı)
- 2) Toryum serisi (^{232}Th kaynaklı)
- 3) Aktinyum serisi (^{235}U kaynaklı)

Ayrıca, dördüncü bir aile olan Neptünyum serisinin ^{241}Pu orijinli olduğu ve bir zamanlar mevcut olduğu zannedilmektedir. Yapay bir seridir. Bu seride bulunan diğer elementlerin yarı ömürlerinin çok kısa olduğu biliniyor. Bu zincirin son izotopu şu anda ^{205}Tl olarak

bilinmektedir. Bazı eski kaynaklar son izotopu ^{209}Bi olarak vermektedir, fakat ^{209}Bi 'un radyoaktif olduğu ve yarı ömrünün 1.9×10^{19} yıl olduğu bulunmuştur. Bu seriler evrenin başlangıcından bu yana var olan uzun ömürlü izotoplar ile başlarlar, bu izotoplar sırasıyla ^{232}Th , ^{238}U ve ^{235}U 'tir. Plütonyum izotoplarından olan ^{244}Pu ve ^{239}Pu , dünya üzerinde izlenebilecek miktarlarda bulunmaktadır.

2.8.1.1 Uranyum serisi

Doğada bulunan ^{238}U elementi ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlایarak RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{206}Pb kararlı bir atoma dönüşür. Bu serinin kütle sayıları $(4n+2)$ şeklindedir. (n bir tamsayıdır) ^{238}U 'in $4n+2$ zinciri radyum serisi olarak da adlandırılır, uranyum bozunum zincirindeki bütün çekirdekler doğada bulunmaktadır [10, 11]. Şekil (2.9) da uranyumun bozunum şeması gösterilmektedir. Ayrıca Çizelge 2.4 de uranyum serisinin bozunum ürünleri ve bu ürünlerin yarı ömürleri açık bir şekilde verilmektedir.



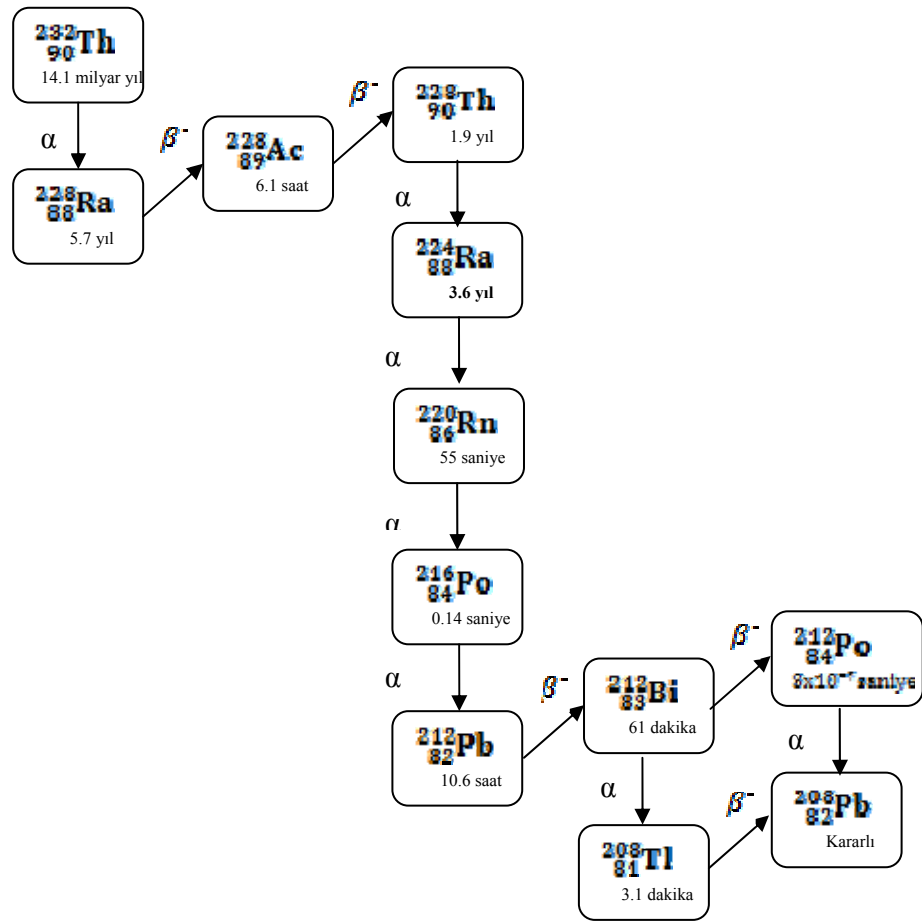
Şekil 2.9 Uranyumun bozunum şeması[11].

Çizelge 2.4 Uranyum serisinin bozunum ürünleri [9].

Çekirdek	Yayınlanan Parçacık Türü	Yarı Ömür	Ürün Çekirdek
^{238}U	α	$4.468 \times 10^9 \text{ y}$	^{234}Th
^{234}Th	β^-	24.10 g	^{234}Pa
^{234}Pa	β^-	6.70 s	^{234}U
^{234}U	α, γ	245500 y	^{230}Th
^{230}Th	α, γ	75380 y	^{226}Ra
^{226}Ra	α, γ	1602 y	^{222}Rn
^{222}Rn	α, γ	3.8235 g	^{218}Po
^{218}Po	α β^-	3.10 dk	^{214}Pb ^{218}At
^{218}At	α	1.5 sn	^{214}Bi
^{214}Pb	β^-, γ	26.8 dk	^{214}Bi
^{214}Bi	β^- α, γ	19.9 dk	^{214}Po ^{210}Tl
^{214}Po	α, γ	0.1643 m.sn	^{210}Pb
^{210}Tl	β^-, γ	1.30 dk	^{210}Pb
^{210}Pb	β^-, γ	22.3 y	^{210}Bi
^{210}Bi	β^- α	5.013 g	^{210}Po ^{206}Tl
^{210}Po	α, γ	138.376 g	^{206}Pb
^{206}Tl	β^-	4.199 dk	^{206}Pb
^{206}Pb	-	Kararlı	-

2.8.1.2 Toryum serisi

Doğada kendiliğinden görülen ^{232}Th elementi ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarak ThD denilen kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb 'a dönüşür. Bu serinin kütle sayısı (4n) şeklindedir. Toryum bozunum zincirindeki bütün çekirdekler doğal toryum içeren örneklerde metal, bileşik veya mineral olarak bulunmaktadır [10, 12]. Şekil 2.10 da toryum serisi gösterilmektedir ve Çizelge 2.5 de toryum serisinin bozunum ürünleri verilmektedir.



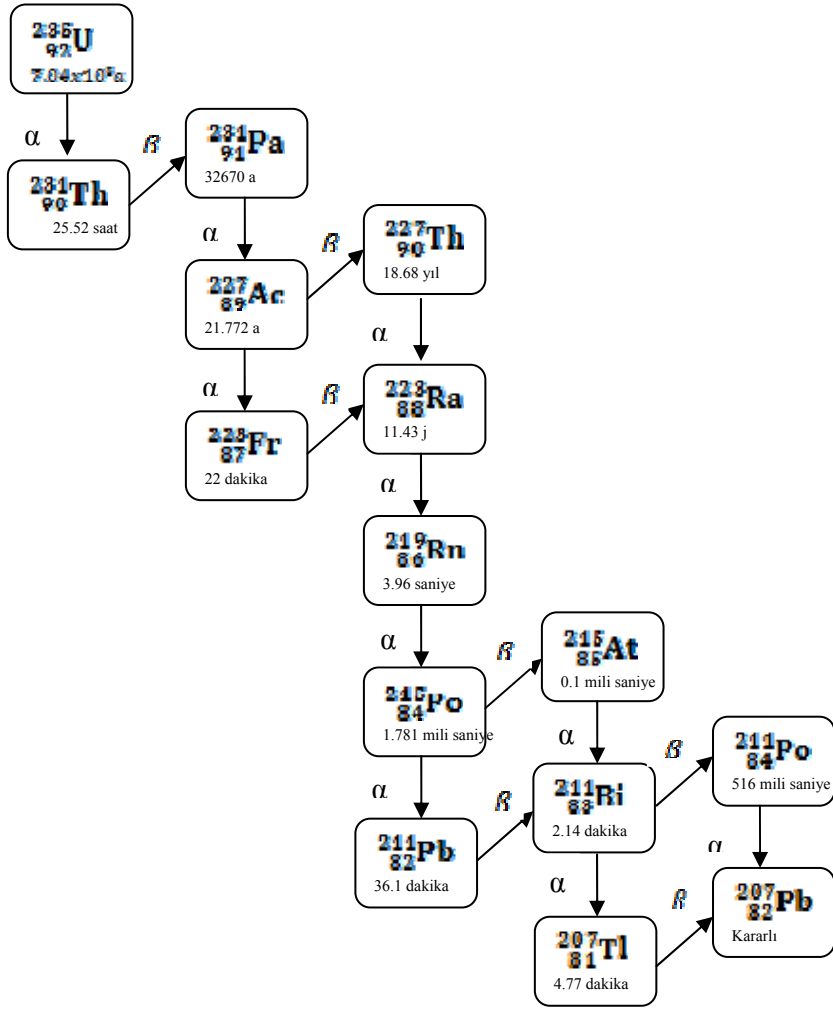
Şekil 2.10 Toryum serisi[12].

Çizelge 2.5 Toryum serisi bozunum ürünleri[10].

Çekirdek	Yayınlanan Parçacık Türü	Yarı Ömür	Ürün Çekirdek
²⁵² Cf	α	2.645 y	²⁴⁸ Cm
²⁴⁸ Cm	α	3.4×10^5 y	²⁴⁴ Pu
²⁴⁴ Pu	α	8×10^7 y	²⁴⁰ U
²⁴⁰ U	β^-	14.1 s	²⁴⁰ Np
²⁴⁰ Np	β^-	1.032 s	²⁴⁰ Pu
²⁴⁰ Pu	α	6561 y	²³⁶ U
²³⁶ U	α	2.3×10^7 y	²³² Th
²³² Th	α, γ	1.405×10^{10} y	²²⁸ Ra
²²⁸ Ra	β^-	5.75 y	²²⁸ Ac
²²⁸ Ac	β^-, γ	6.25 s	²²⁸ Th
²²⁸ Th	α, γ	1.9116 y	²²⁴ Ra
²²⁴ Ra	α, γ	3.6319 g	²²⁰ Rn
²²⁰ Rn	α, γ	55.6 sn	²¹⁶ Po
²¹⁶ Po	α	0.145 sn	²¹² Pb
²¹² Pb	β^-, γ	10.64 s	²¹² Bi
²¹² Bi	β^- α, γ	60.55 dk	²¹² Po ²⁰⁸ Tl
²¹² Po	α	299 n.sn	²⁰⁸ Pb
²⁰⁸ Tl	β^-	3.053 dk	²⁰⁸ Pb
²⁰⁸ Pb	-	Kararlı	-

2.8.3 Aktinyum serisi

Doğal ²³⁵U elementi ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak AcD denilen ve kurşunun bir izotopu olan ²⁰⁷Pb'a dönüşür. Bu serinin kütle sayıları (4n+3) şeklindedir. Aktinyum bozunum zincirindeki bütün çekirdekler doğada mevcuttur [10, 13]. Şekil 2.11 de aktinyum serisi gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Aktinyum serisi[13].

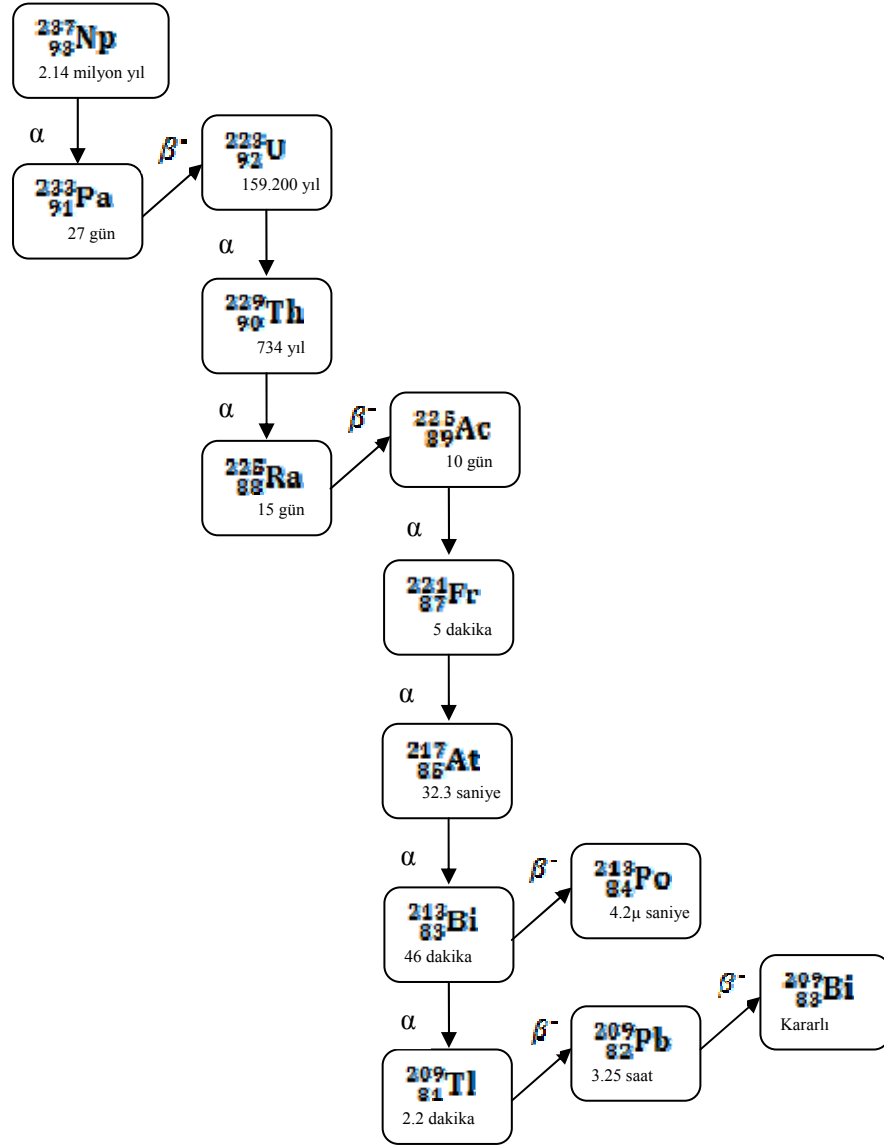
Çizelge 2.6 da aktinyum serisi bozunum ürünleri ve bu ürünlerin yarı ömürleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.6 Aktinyum serisi bozunum ürünleri[10].

Çekirdek	Yayınlanan Parçacık Türü	Yarı Ömür	Ürün Çekirdek
²³⁹ Pu	α	2.41×10^4 y	²³⁵ U
²³⁵ U	α, γ	7.04×10^8 y	²³¹ Th
²³¹ Th	β^-, γ	25.52 s	²³¹ Pa
²³¹ Pa	α, γ	32760 y	²²⁷ Ac
²²⁷ Ac	β^- α, γ	21.772 y	²²⁷ Th ²²³ Fr
²²⁷ Th	α, γ	18.68 g	²²³ Ra
²²³ Fr	β^-, γ	22.00 dk	²²³ Ra
²²³ Ra	α, γ	11.43 g	²¹⁹ Rn
²¹⁹ Rn	α, γ	3.96 sn	²¹⁵ Po
²¹⁵ Po	α β^-	1.781 m.sn	²¹¹ Pb ²¹⁵ At
²¹⁵ At	α	0.1 m.sn	²¹¹ Bi
²¹¹ Pb	β^-, γ	36.1 dk	²¹¹ Bi
²¹¹ Bi	α β^-, γ	2.14 dk	²⁰⁷ Tl ²¹¹ Po
²¹¹ Po	α, γ	516 m.sn	²⁰⁷ Pb
²⁰⁷ Tl	β^-, γ	4.77 dk	²⁰⁷ Pb
²⁰⁷ Pb	.	Kararlı	.

2.8.4 Neptünyum Serisi

Yapay bir seridir. Kütle sayılar $(4n+1)$ şeklindedir. ²³⁷Np'nin $4n+1$ zinciri genelde “neptünyum serisi” olarak adlandırılır. Bu seride sadece 2 element doğada bulunur, bizmut ve talyum. Bu seri üstüne yapılan çalışmalar çok eski değildir. Şekil 2.12 de neptünyum serisi gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Neptünyum serisi[12].

Çizelge 2.7 de yapay seri olan neptünyum serisinin bozunum ürünleri ve bu ürünlerin yarı ömürleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.7 Neptünyum serisi bozunum ürünleri[10].

Çekirdek	Yayınlanan Parçacık Türü	Yarı Ömür	Ürün Çekirdek
²⁴⁹ Cf	α	351 y	²⁴⁵ Cm
²⁴⁵ Cm	α	8500 y	²⁴¹ Pu
²⁴¹ Pu	β^-	14.4 y	²⁴¹ Am
²⁴¹ Am	α	432.7 y	²³⁷ Np
²³⁷ Np	α	2.14×10^6 y	²³³ Pa
²³³ Pa	β^-	27.0 g	²³³ U
²³³ U	α	1.592×10^5 y	²²⁹ Th
²²⁹ Th	α	7.34×10^4 y	²²⁵ Ra
²²⁵ Ra	β^-	14.9 g	²²⁵ Ac
²²⁵ Ac	α	10.0 g	²²¹ Fr
²²¹ Fr	α	4.8 dk	²¹⁷ At
²¹⁷ At	α	32 m.sn	²¹³ Bi
²¹³ Bi	α	46.5 dk	²⁰⁹ Tl
²⁰⁹ Tl	β^-	2.2 dk	²⁰⁹ Pb
²⁰⁹ Pb	β^-	3.25 s	²⁰⁹ Bi
²⁰⁹ Bi	α	1.9×10^{19} y	²⁰⁵ Tl
²⁰⁵ Tl	.	Kararlı	.

3. RADYUM VE RADON

3.1 Radyum

Beyaz, parlak, gümüş renkli ve radyoaktif bir maden olan radyum, Latince, ışın anlamına “radius” tan gelir ve kanserojen bir elementtir. Simgesi mısır güneş tanrısı olan radır’dır. Radyoaktifliği çok olan bir elementtir. Çizelge 3.1 de radyum elementinin temel özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Radiumun özellikleri [10].

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 ³
Periyodik Cetveldeki Yeri	7 periyod 2A grubu
Yarılanma Süresi	1602 yıl

²²⁶Ra, Uranyum serisinin doğada bulunan bir elementidir ve yarı ömrü 1602 yıldır. ²²⁶Ra alfa yayımlayarak bozunduğunda, yarı ömrü 3.8 gün olan alt ürünü ²²²Rn’ye dönüşmektedir. Benzer şekilde ²³²Th bozunma zincirinde bulunan ²²⁴Ra bozunma yaptığında, yarı ömrü 54 saniye olan ve toron olarak bilinen ²²⁰Rn’ye bozunmaktadır. Aktinon olarak bilinen ²¹⁹Rn, ²³⁵U bozunma zincirinin bir üyesidir ve çok hızlı bir şekilde bozunur, yarı ömrü 3.92 saniyedir. Tüm radon izotopları soy gazdır, polar olmayan, tek atomlu moleküllerdir ve pratik olarak tepkimeye girmezler.

Çizelge 3.2 Radiumun doğal izotopları [3].

İzotop	Bozunma serisi	Ana Element	ÜrünElement	Yarı Ömür	Bozunma Türü
Ra-223	U-235	Th-227	Rn-219	11.4 gün	α, γ
Ra-224	Th-232	Th-228	Rn-220	3.66 gün	α, γ
Ra-226	U-238	Th-230	Rn-222	1620 yıl	α, γ
Ra-228	Th-232	Th-232	Ac-228	5.8 yıl	β, γ

Bütün izotopları radyoaktiftir, kararlı izotopu yoktur, çok ender bulunan bir metaldir. Soğukta suyu ayırıştıran radyum, çok az miktarda kullanılması gereken bir madendir. Çizelge 3.2 de radyumun doğal izotopları ve hangi bozunum serisinden geldikleri gösterilmektedir.

Radyum, sürekli olarak atom yapısında bozunma gösteren bir maddedir. Bu bozunma sırasında ışın yaydığı gibi helyum ve radon gazını da (radyoaktif gazlar) açığa çıkarmaktadır. Bu tepkimeden çok büyük miktarda ısı doğar. 1 gram radyum 340 kilo kömürün verdiği kadar enerji sağlamaktadır.

^{226}Ra , sağlık riski oluşturmasından ve jeokimyasal işlemlerde bir izleyici olarak görev almasından dolayı sularda ölçümü siktir. Radyum sindirildiğinde, kalsiyum gibi davranır ve iskelette tutunur. ^{226}Ra kemiklerde düzgün olmayan bir dağılım içinde depolanmaktadır. Başlangıçta kemik yüzeyine tutunur ve daha sonra orantılı olarak kemik mineraliyle birleşir. ^{226}Ra alfa parçacıkları yayınlar ve ^{222}Rn 'ye bozunur. ^{226}Ra 'nın kemik içerisinde bozunmasıyla oluşan radonun %70'i dışarı atılır ve kalan kısmı kana karışmaktadır.

^{228}Ra beta parçacıkları yayımlar fakat ürünleri ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn gibi alfa yayınlayıcılarıdır. Alfa parçacıklarının kısa menziline dolay (yumuşak dokuda 40-50 μm , kemik mineralinde daha az) doku yüzeyine yakın yerlerde bozunan atomlar etkilenir. ^{226}Ra ve ^{228}Ra , ikisi birlikte kemik uruna sebep olabilir. Kanseri riski ^{226}Ra 'nın radona bozunmasına dayandırılabilir. Bozunmadan sonra ^{222}Rn 'nin paranazal sinüsler ve mastoid işlemi ve sonrasında epitel yapıdaki hücreler radon ürünleri olan alfa parçacıklarına maruz kalır. ^{220}Rn 'nin ana ürünü ^{228}Ra 'den bozunup yayılma ihtimali kısa yarı ömründen dolayı oldukça düşüktür [14]. Kanseri hücrelerin yok edilmesinde radyumun radyoaktif ışınları kullanılmaktadır.

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[15, 16].

3.2 Radon

Radyasyon, yaşadığımız çevrenin doğal bir parçasıdır. Tüm insanlar topraktaki, sudaki, havadaki ve yiyeceklerimizdeki doğal radyasyona maruz kalır. Maruz kaldığımız doğal radyasyonun en büyük kısmı radyoaktif gaz olan radondan gelir. Radon kimyasal olarak tepkimeye girmeyen, kokusuz, renksiz, tatsız ve doğada kendiliğinden görülen radyoaktif bir gazdır. Uranyumun bozunma zincirinde bulunan radyumdan üretilir. Çizelge 3.3 de radonun temel özellikleri verilmektedir. Radon miktarı, uranyum miktarı ile orantılıdır. Toprakta

bulunan uranyum konsantrasyonu değişkenlik gösterdiği için, radon konsantrasyonu da değişkendir. Yarı ömrü 3.8 gün olan radon, kimyaca pasif reaktif bir asal gaz olmasına rağmen radonun bozunması ile ortaya çıkan alfa ve beta yayınlayan, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po kimyaca aktif katı elementlerdir. Kısa ömürlü ürünleri, yaklaşık olarak yarım saat yarı ömürlüdür. İlk uzun ömürlü ürün Kurşun-210'nun yarı ömrü ise 22.3 yıldır. Şekil 3.1 de radonun kısa ve uzun ömürlü ürünleri gösterilmektedir.

Radon terimi bazı durumlarda yalnızca Radon-222 için kullanılır. Diğer iki doğal izotopu Toron, Radon-220 ve Aktinon ise Radon-219'dur. Radon-220'nin yarı ömrü 51.5 saniyedir [17]

Günümüzde bazı ülkelerde yapılan ölçümler, bazı durumlarda Toronun miktarı ve ürünlerinin de önemli olduğunu ve radon ile karşılaştırılabileceğini göstermiştir[18].

Çizelge 3.3 Radonun özellikleri[10].

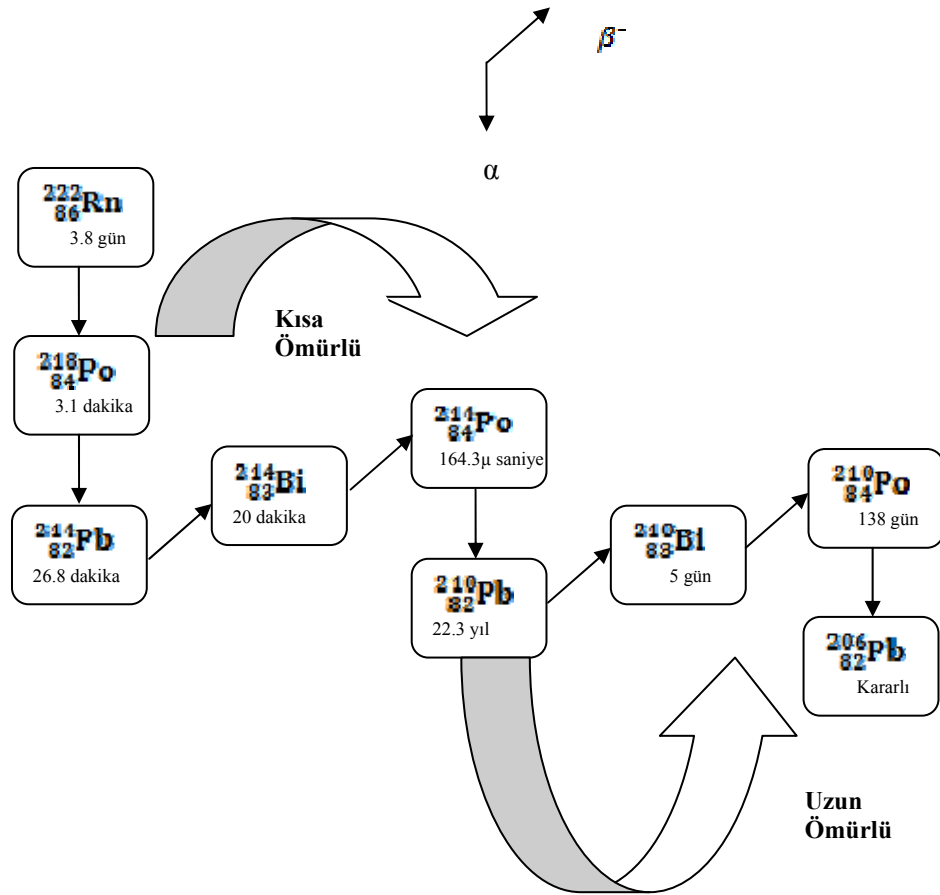
Sembol	Rn
Atom Numarası	86
Atomik yığın	(222.0) amu
Erime Noktası	-71.0 °C (202.15 °K, -95.8 °F)
Kaynama Noktası	-61.8 °C (211.35 °K, -79.24 °F)
Proton ve Elektron Sayısı	86
Nötron Sayısı	136
Sınıfı	Soygazlar
Kristal Yapısı	Kübik
Yoğunluk	9.73 g/cm ³
Periyodik Cetveldeki Yeri	O grubu (soy gazlar)
Yarılma Süresi	3.8 gün

Radon gazı, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılır. Binalarda birikebilmekte ve kimi zaman yüksek derişimlere ulaşabilmektedir. Çeşitli miktarlarda tüm kayalarda ve toprakta dünyanın her yerinde bulunur[32].

Radon, yer kabuğundan kolayca sızabilir ve radon ürünleri adı verilen kısa ömürlü parçacıklara bozunur. Kısa ömürlü ürünleri alfa parçacıkları yayımlar. Ortaya çıkan atomlar, radon ürünü olarak adlandırılır. Elektriksel olarak yüklüdür ve kapalı ortamdaki toz parçacıklarına tutunabilirler. Bu toz parçacıkları ise kolayca solunabilir ve akciğerlere tutunabilir. Alfa parçacıkları akciğer hücrelerinin DNA'sında hasara yol açabilir. DNA'da hasar oluşması, kansere kadar götüren olaylar zincirinde ilk adımdır. Alfa parçacıkları

vücudumuz içinde oldukça kısa yol almaktadır. Böylece radon ürünlerinin bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları diğer organların hücrelerine ulaşamaz bundan dolayı soluduğumuz havada bulunan radonun en büyük potansiyel tehlikesi akciğer kanseridir.

Maden veya zemin kat gibi kapalı bir alanda kaldığında, radon ürünlerinden dolayı radyasyon tehlikesi artmaktadır. Radon gazı atmosfere dağıldığında, katı radon ürünleri toprakta, suda depolanır, yiyecek zincirine dahil olur.



Şekil 3.1 Radon bozunum şeması.

3.2.1 Radon gazının kaynakları

Radon binaların yapı malzemesinde, yer altı suyunda ve doğal gazda bulunur. Yine de asıl radon kaynağı yer kabuğudur. Evlerdeki düşük hava basıncı, mahzen ve zemindeki çatlaklar yoluyla radonca zengin toprağın hava akışıyla girişi basıncı artırır. Belirli kaya ve topraklar;

granit, kireç taşları, volkanik topraklar gibi uranyum içeriği açısından diğerlerinden daha zengindir. Bununla birlikte orta seviyede uranyum veya radyum içeren topraklar ev içinde yüksek radon konsantrasyonu verebilir. Radonun içeriye akışı, geniş miktarda binanın yapı malzemesine ve toprağın geçirgenliğine bağlıdır. Bina yapı malzemesi daima uranyum ve radyum içeren toprak, kil tuğla vb. veya kayadan oluşur. İçeriği genelde düşüktür.

Birçok araştırmacı dünyanın değişik yerlerinde, farklı kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması değerleri ölçmüşlerdir. Bilindiği gibi radon ve jeofiziksel olaylar arasında güçlü bir ilişki vardır [32].

3.2.1.1 Bina içi radon kaynakları

Konut, insan hayatının önemli bir bölümünün geçtiği yapay ortam koşullarının belirleyicisidir. Konutla sağlık arasındaki bağlantılar önceden beri bilinmektedir. Konut, işyerleri ve kamuya açık yerlerin kapalı alanlarının radon gazı değerlendirmeleri önemlidir. Kapalı ortamda birçok kirleticinin oranının, dış ortamdakinin çok üzerine çıktığı belirlenmiştir. Gelişmiş ülkelerde kapalı ortam hava kirliliği 1970'li yıllarda petrolün pahalılaşması nedeniyle enerji tüketimini azaltmaya yönelik önlemlerin alınmaya başlamasıyla artış göstermiştir.

Konutta ya da kapalı ortamda fiziksel zararlı etkenler arasında zehirli gazlar, solunabilir özellikteki asılı parçacıklar, radyasyon (özellikle radon), iyonize olmayan radyasyon ve sigara dumanı sayılabilir. Bu durumda bir yandan dış ortamı kirleten öğeler ya da dış ortam kirliliği kapalı ortam havasını etkilerken, kapalı ortamdaki kullanılan araç gereç malzeme ve yaşama koşullarına bağlı önemli kirleticiler de bulunmakta, bunlar sürekli olarak birikmektedir. İnşaat malzemeleri, yanan yakıtlar, giyecek ve dokumalar, petrol ürünleri, toprak, değişik tüketim ürünleri, kimyasal maddeler, bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar kapalı ortam havasının kirlenmesine neden olabilmektedir[1].

1) Toprak ve kayalardan gelen radon

Konuta giren radonun asıl kaynağı, binanın inşa edildiği arazide bulunan toprak ve kayalardır. Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan ve topraktan gelmekte olup gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarından ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Çizelge 3.4'de toprak ve kaya çeşitlerinin tipik radyoaktivite konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 3.4 Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu [32].

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Volkanik kayalar	3.0
Fosfat kayaları (Florida)	120.0
Fosfat kayaları(Kuzey Afrika)	4.0
Granit	20-30
Kireçtaşı	1.3
Tortul kayalar	1.2

2) İnşaat malzemelerinden gelen radon

İnşaat malzemeleri, ev içlerinde bir radyasyon kaynağı gibi davranırlar. İnşaat malzemelerinde doğal olarak bulunan ^{226}Ra 'un varlığı, bina içlerinde gama radyasyon dozlarının ve radon konsantrasyonunun artmasının en büyük nedenidir. Özellikle fosfat kayaların, inşaat malzemesi olarak kullanılması, gama radyasyon dozlarını artırmaktadır. Ev içi ısınmalar, dış havadaki ısınmalar ile karşılaştırıldığında inşaat malzemelerinin etkisinin doz oranını % 40 -% 50 arttırdığı görülmüştür. Çizelge 3.5’de bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları verilmektedir. Beton ve tuğla en yaygın kullanılan inşaat malzemesidir. Betondaki ^{226}Ra konsantrasyonu, tuğlaya göre daha az, ^{222}Rn çıkış oranı ise betonda tuğladan daha yüksektir [30].

Çizelge 3.5 İnşaat malzemeleri içinde ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri [32].

İnşaat Malzemesi	^{226}Ra konsantrasyonu (Bq kg ⁻¹)	^{222}Rn çıkış oranı ($\mu\text{Bqkg}^{-1}\text{sn}^{-1}$)
Tahta	-	0.2
Beton	9-32	2.5-20
Tuğla	45	1.0
Alçı taşı	12	6.3
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0.13-0.20
Çimento	50	1.0
Kum	10	3.0

3) Doğalgazdan gelen radon

Doğalgazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğalgazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, dedekte edilmeyen seviyelerden, 50 kBqm⁻³ seviyesine kadar değişik değerler göstermektedir. Doğalgazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve

hidrokarbonlardan ayrıştırma işlemlerini içerir. Bu hidrokarbonların bazıları yakıt olarak kullanılırken, bazıları sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak, basınç altında şişelenerek satılmaktadır. Doğalgaz evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında radon gazı ortaya çıkarak ev içi radon konsantrasyon seviyesini artırır. Yanma ürünleri havalandırmayla dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilir[1].

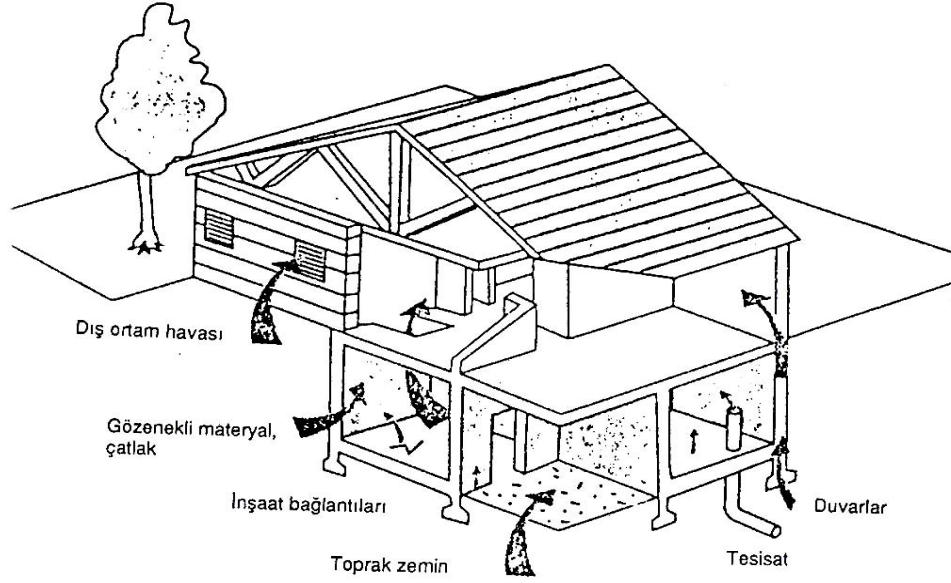
4) Sulardan gelen radon

Sudan gelen radonun miktarı, sudaki miktarına bağlıdır. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar. Suda ölçülen radon, sadece suyun içerisinde bulunan radyumdan kaynaklanmamakta, aynı zamanda suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda radyumdan da ileri gelmektedir. Evlerdeki alışkanlıklar ve uygulamalar; duş ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan gelir. Yer altı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. İnşaat malzemesinden gelen ısıtılmalara, yüzeysel sulardan katkı % 0.2, yer altı sularından ise % 20'dir. Ev içi havasına musluk suyundan radon transferi çalışmalarında bir günde kişi başına ortalama $0.2 - 0.4 \text{ m}^3$ su kullanıldığı varsayılarak, bu miktarın transfer veriminin 0.5 - 0.6 olduğu rapor edilmiştir [30].

3.2.3 Evlerde Radon Gazı

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Radon gazı kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda da olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır [33].

Evlerde bulunan radon gazının büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Zemin topraksa, radon gazı kolayca penetre olabilmektedir. Zemin çimento ise radon gazı zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisat, duvar arası boşluklar radon gazının sızmasını kolaylaştırmaktadır. Radyoaktif materyalden yapılmışsa duvardan da radon gazı yayılabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemesi, radon gazı içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radon gazının kaynağını oluşturabilmektedir [34].



Şekil 3.2 Evlere radonun girişi [30].

Gelişmiş ülkelerde radon gazı etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır (EPA, 1986). Özellikle özel toprak cinsleri ile sıvanmış kırsal kesim evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır.

1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon gazı yayılımının söz konusu olduğu gösterilmiştir. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Buna karşılık aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmektedir.

Sağlam çimentolu duvarlardan radon gazının yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur[36]. Kullanılan çimento karışımıyla bağlantılı olarak radon gazı miktarı değişmektedir. Evin içerisine sızan radon gazı evin içinde kalma eğilimindedir. Çünkü radon gazı havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 santimetre yüksekliğe kadar yayılır. Ayrıca özel bir mekanizma söz konusu değilse evin içerisindeki basınç, dışarıdaki basınçtan biraz daha düşüktür. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalmaktadır. Ancak yapım sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması ve yeterince havalandırma ile bu durum önlenebilmektedir.

Taban tahta döşemesinin altına çakıl ve kırma taş yerleştirilmesi durumunda radon gazı yoğunlaşmasında büyük oranda artış olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar açık havada

yapılan ölçümün gerçek oranda radon gazı kirliliğini göstermediği, ancak kapalı ve oda ortamını andıran düzeneklerde yapılan ölçümlerle fikir sahibi olunabileceği belirtilmektedir [35].

Değişik ülkelerde radon gazı ölçüm değerleri Çizelge 3.6’de verilmiştir[34].

Çizelge 3.6 Değişik ülkelerde iç mekân radon ölçüm değerleri [34].

Ülke	Örnek hane sayısı	Ortalama (Bq/m^3)	200 Bq/m^3 ’ün üzerindeki hane sayısı	400 Bq/m^3 ’ün üzerindeki hane sayısı
Avusturya	3499	75	19	7.4
Belçika	300	48	1.7	0.3
Bulgaristan	841	28	2.4	0
Çek Cumhuriyeti	75000	140	32	11.3
Danimarka	495	47	2.2	0.4’den az
Almanya	7500	50	1.5-2.5*	0.5-1.0*
Finlandiya	50 000	123	12.3	3.6
Fransa	6878*	68*	5.8*	1.8*
Yunanistan	571	92	3.3	1.4
Macaristan	1000	55	17	4
İrlanda	211	60	17.5	7.7
İsrail	17000*	*		5’den az
İtalya	4800	77	5	1
Litvanya	120*	37*	4*	1.7*
Lüksemburg	2500 *	-	-	-
Norveç	7525	51-60	7	2.5
Hollanda	1000	29	0.1	0.01
Polonya	5’den az	0	-	-
Portekiz	4200		8.6	2.6
Romanya	-	-	0.9	0.4
İspanya	239	-	6.46	2.84
İsveç	350 000	108	25*	4-5
İsviçre	9000	70	15	7
İngiltere	270000	20	8	2.5

Japonya’daki evlerde toryum yoğunlaşması ortalama kapalı ortam değeri olarak 15 Bq/m^3 , sınırlar ise 0,04-8,2 Bq/m^3 bulunmuştur [29].

Standardize aktif kömür kutularıyla Hongkong’ta değişik yaşlardaki 32 binada yapılan değerlendirmede radon gazı yoğunlaşmasının binanın yaşıyla azaldığı sonucuna varılmıştır [28].

Sigara ve radon gazının aynı ortamda birlikte bulunması akciğer kanseri riskinin çok artmasına neden olmaktadır. ABD’de ölçülen her 12 evden birisinin radon gazı değerinin 150 Bq/m^3 değerinin üzerinde olduğu belirtilmektedir [33].

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 [19].

V. Radolic et al çalışmasında Hırvatistan'daki kaplıcalardaki jeotermal sularda 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 [20].

Halil Kumbur et al 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 tartışmalar yapılmıştır [21].

Abdullah Vişne et al CR-39 "allil diglikol karbonat" pasif nükleer iz detektörü kullanılarak Zonguldak Taş Kömürü Havzasında doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu ışınlamalar 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 al YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesinin yıllık ortalama radon konsantrasyon değerini belirlenmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada CR-39 (Allil diglikol karbonat) plastik detektörler kullanılmıştır. Araştırma yaz dönemi, birinci sömestr ve ikinci 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 al 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].

M. Mıhçı yüksek lisans tez çalışmasında Sivas ilinde merkez yerleşkesinde, kapalı ortam radon konsantrasyonu ölçümleri toplam 98 evde yapılmıştır ve CR-39 alfa iz dedektörü kullanılmıştır. Dedektörler, evlere iki aylık süre için yerleştirilmiştir. 98 adet dedektörün evlere yerleştirilmesi aynı dönemde yapılmamıştır. 66 adet ölçüm yaz döneminde, 32 adet ölçüm ise kış döneminde yapılmıştır. Ölçümlerin aritmetik ortalaması 98 Bq/m^3 arasında değişmiştir. Ayrıca toprak radon gazı ölçümü de yapılmıştır [25].

A.Çoşkun yüksek lisans tezi deneysel çalışmalarında Antalya ilinde bulunan, Antalya adliye binasında ve 3 adet eğitim kurumunda yapılmıştır. Deneysel ölçümlerde RSFS tip 2 adet radon dozimetre kullanılmıştır. Her iki numune ilgili yerlerde 2,5 ay süreyle bekletilmiştir. Bu süre zarfında diğer yapılan iç hava kalitesi ölçümleri sırasında dozimetre numuneleri de ayrıca kontrol edilmiştir. Antalya adalet binasında yapılan ölçüm sonucunda 307 Bq/m^3 olarak saptanmıştır. Aynı ölçümleme Antalya Nadire Konuk - Atilla Oğuz Konuk İlköğretim okulunda yapılmış ve radon değeri 287 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür [26].

H.Akyıldırım yüksek lisans tez çalışmasında Isparta ilinde radon konsantrasyonu ölçümü için AlphaGUARD PQ 2000PRO kullanılmıştır. Bu dedektör temel olarak ^{222}Rn (Radon), ^{220}Rn (Toron) ve Radon yan ürünlerine ait radyasyon yoğunlukları ile Gamma (γ) doz oranını ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. ^{222}Rn yoğunluklarına ait ortalama değerler, Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde 372 Bq/m^3 , Isparta İl merkezinde 118 Bq/m^3 olarak bulunmuştur[27].

3.3 Dünyada Radon Gazı Çalışmaları

Birçok ülkede evlerde izin verilebilir radon gazı sınırları belirlenmiştir. Sınır seviyesinin güvenli veya güvenli değildir diye bir değeri yoktur, fakat radon gazı seviyesinin azaltılması gereken bir sınır olarak genellikle doğruluğu kanıtlanmıştır. Birçok ülkede 200 Bq/m^3 ü evlerde en fazla olması gereken radon gazı yoğunlaşması limiti olarak düşünülür. Bazı ülkelerde bu değer 400 Bq/m^3 kabul edilmektedir. Radon gazı sınır değerleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Ükelere göre sınır değerler Çizelge 3.7 da verilmektedir.

Çizelge 3.7 Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m³) [2].

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

İngiltere

İngiltere’ye ait Radon gazı programında iki konu vardır, evlerde var olan yüksek radon gazı seviyelerinin iyileştirilmesi ve yeni binalarda önleyici ölçümler yapılmasıdır. İngiltere politikası esas olarak 1980’lerin başında yaklaşık 2100 evde tamamlanmış olan İngiltere ulusal araştırmasına dayanmaktadır. Daha çok yeni yapılan ölçümler hedeflenmiş ve İngiltere’nin ortalamasının tahmini bu araştırmaya dayanmaktadır. Bu araştırmada, 10 kez yapılan ölçümlerin ortalaması bulunarak aktif radon seviyesi belirlenmiştir.

1993 yılında yapılan araştırmalar, evlerdeki radon yayılımı açısından iyileştirilmenin %10’dan %20’ye yükseldiğini göstermiştir. İngiltere’nin yeni radon gazı programı çok daha fazla yerel uzman gerektirmektedir. Bu programın başarısı yerel sorumluluğa bağlı olmasına rağmen, yararlı olacağı düşünülmektedir. Örneğin, yerel uzmanların ilgilendiği bölgelerde %25-30 oranında ölçümler daha da artmıştır. Yeni program ile birlikte evlerde radon gazının yayılımının ortadan kaldırılması ile ilgili önerilerin arttığı ve insanların iyileştirmeye olan yöneliminin geliştiği gözlenmiştir.

İsviçre

İsviçre radon gazı programı çerçevesinde yapılan araştırmalara göre, radon gazının ana kaynağı olarak toprak tanımlanmıştır. İsviçre’deki bina malzemesi radon gazı yoğunlaşmasının yükselmesine sebep olmamaktadır, sudaki çözünmüş radon gazı miktarı da düşüktür.

İsviçre radon gazı politikasının iki ana hedefi vardır: en yüksek radon gazı yoğunlaşmış binalardaki radon gazı seviyelerini azaltmak ve yüksek radon gazı yoğunlaşmasına sahip yeni binaların yapılmamasını garantiye alarak ortalama değeri düşürmek.

İsviçre nükleer korunma yönetmeliğinin amacı, yeni binaların kirlenmesini önlemek, yaşanılan ve çalışılan alanlar arasında temiz bir sınır geliştirmek, iyileştirici programlar oluşturmak, konfederasyon ve eyaletler arasında iyi bir işbirliği sağlamaktır.

Brezilya

Brezilya tropikal iklime sahip olmasına ve evlerin iyi havalandırılmasına rağmen, yaşamsal alanlarda yüksek radon gazı yoğunlaşması gözlenebilmektedir. Bunun nedeni yüksek uranyum içeren toprak ve yapı malzemesidir. Son zamanlarda, radon gazı yoğunlaşması 1000 Bq/m³'den fazla olan çalışma alanlarında, iyileştirme yapılmasını önermek için bir ulusal yönetmelik onaylanmıştır. Bir ulusal proje ile de uranyum madeni dışındaki yeraltı madenlerindeki radon gazı yoğunlaşmasını bulmak için girişim başlatılmıştır.

Çin Halk Cumhuriyeti

Çin ulusal standart kurumu radon gazı seviyelerini yeni inşa edilecek yapılar için 200 Bq/m³ ve var olan yapılar için 400 Bq/m³ olarak belirlemiştir. Çin, WHO radon gazı projesine katılmayı planlamaktadır. Ancak evlerdeki radon gaz seviyelerinin haritalanmasını tamamlamak için diğer ülkelerden teknik yardım istemektedir.

Finlandiya

Finlandiya'da sağlık uzmanları, evlerdeki radon gazı yoğunlaşmasını araştırmak ve ev sahiplerine radon gazı seviyelerini azaltmak için bilgilendirmekten sorumlu tutulmuşlardır. Finlandiya Ulusal Bina Kodlama programı içinde radon gazı düzenlemeleri yapılmakta ve ev sahipleri radon gazı konusunda bilgilendirilmekte ve yalıtım konusunda yardım edilmektedir.

İsveç

İsveç yönetmelikleri, radon gazı emisyon değerini yeni binalar, var olan binalar ve halka açık tüm binalarda 200 Bq/m³ olarak belirlemiştir. İşyerleri için bu seviye 400 Bq/m³ dür. Su seviyeleri için ise tüketime uygun olan su için 100 Bq/litre'den az olmalıdır. Radon gazı için geçici hedefler 1999'da İsveç Parlamentosu tarafından kabul edilmiştir.

Slovenya

Bugüne kadar Slovenya Sağlık Bakanlığı ile Eğitim, Bilim ve Spor Bakanlığı'nın katkılarıyla 730 anaokulu ve gündüz bakım evinde (1994-1998) ve 890 ilköğretim ve lisede (2000-2001) ev içi radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Binaların %69'unda ölçülen değerler

100 Bq/m³ den daha düşüktür, yaklaşık %2 sinde 1000 Bq/m³ den yüksektir. Genelde en yüksek değerlere alüvyon ve karstik alanlarda rastlanmıştır. Yerden radon gazı yayılımı, boşluklar ve kırıklar boyunca kolaylaşmaktadır. Daha çok radon gazı seviyelerinin beklendiği radyumca zengin termal ve mineral sularının bulunduğu alanlarda, bu durum gözlenmemiştir.

3.4 Radonun Sağlık Üzerine Etkileri

Radon'un radyoaktif bozunmasıyla, polonyum, bismut ve kurşun gibi bir dizi radyoaktif izotoplar ortaya çıkar. Ana madde olan radonun aksine bu ürünler inert olmayıp, aktif maddeler olup, toz parçacıkları ve diğer yüzeylere ve solunum sırasında akciğerin solunum yollarına yapışabilirler. Bu ürünlerden ikisi akciğer zarından geçerken kansere neden olabilen alfa ışınımı yaymaktadırlar. Böylece radon'la ilgili sağlık etkileri, daha çok radonun bozunma ürünleri miktarına bağlı olup, risk düzeyinin de tamamen toplam miktara bağlı olduğu varsayılmaktadır.

Uranyum ve diğer yeraltı mineralleri hakkında sağlıkla ilgili temel bilgiler edinmek amacıyla yapılan araştırmalar, sağlık risklerinin radon nedeniyle olduğunu göstermiştir. Bu araştırmalar, radon ürünleri ile sigara içme arasında sinerjik etkileri de ortaya koymuştur. Her ikisi de aynı miktarlar da radon ürünlerine maruz kalan iki kişiden sigara içenin akciğer kanserine yakalanma riski, sigara içmeyene oranla çok daha yüksektir. Epidemiyolojik çalışmalar, uranyum madencilerinin en yüksek kanser riskine maruz meslek grubu olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP) radona maruz kalmayı sınırlandırarak limit değerler tavsiye etmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir. Eylem seviyesinin 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500 - 1500 Bq/m³ arasında olacak şekilde bir değer tespit edilmesi önerilmiştir.

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeni radon konsantrasyonu yerkabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle radon konsantrasyonundan izin verilen limit değerlerde ülkeler arasında değişiklikler gösterilmektedir. İngiltere'de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, yeni inşa edilecek binalarda 200 Bq/m³, Kanada da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir [30]. Türkiye de ise bu değer radyasyon güvenliğinde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir [31].

3.5 Katı Hal İz Kazıma Dedektörleri (SSNTD)

Radon ve ürünlerini ölçmek için iki temel yöntem geliştirilmiştir. Bunlar aktif ölçüm yöntemi ve pasif ölçüm yöntemidir.

Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirir. Aktif sistemde iyon odaları, ZnS(Ag) sintilasyon detektörü veya spektroskopik sayım cihazları kullanılır.

Pasif ölçüm yöntemlerinde termoluminesans detektörler veya katıhal iz kazıma detektörleri; selüloz nitrat (LR-115) veya allil diglikol karbonat (CR-39) kullanılır. Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri üç farklı yolla oluşturulabilir:

1. Dedektör önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlar.
2. Gaz akısı olamayan ağzı kapaklı odacıklar; radon oda içine difüzlenerak, oda hacmi içinde ürünlerini de oluşturarak, radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacık izlerini bu odacık içine yerleştirilmiş bir alfa detektörü üzerinde bırakır.
3. Açık bir radon üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlar.

Bilim ve teknolojinin hemen her alanına uygulanabilen katı hal iz kazıma dedektörleri (SSNTD), basit dedeksiyon teknikleri, ucuz olmaları, çok az ekipmana ihtiyaç duymaları ve çevresel koşullardan fazla etkilenmemeleri nedeniyle yüklü parçacık yayımlayan radyonüklidlerin niteleyici ve kantitatif analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır[34].

Bu doğrultuda, inceleme altındaki örneklerin radon salınım hızı LR-115 (selüloz-nitrat alfa duyarlı) katı hal iz kazıma dedektörleri kullanılarak saptanmıştır.

Katı hal nükleer iz detektörleri radon ölçümlerinde kullanılan; küçük, pahalı olmayan ve uzun süreli ölçüm olanağı sağlayan detektörlerdir [34]. Doğal yapı taşlarının radon emisyon hızı, katı hal nükleer iz detektörlerinden (SSNTD), alfa duyarlı LR-115 (tipII) selüloz nitrat plastik film kullanılarak ölçülmüştür. 100 μ m selüloz nitrat kaplanmış olan bu plastik detektörler üzerine alfaların bıraktığı iz kırmızı zemin üzerine beyaz benekler şeklinde olmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Yöntem

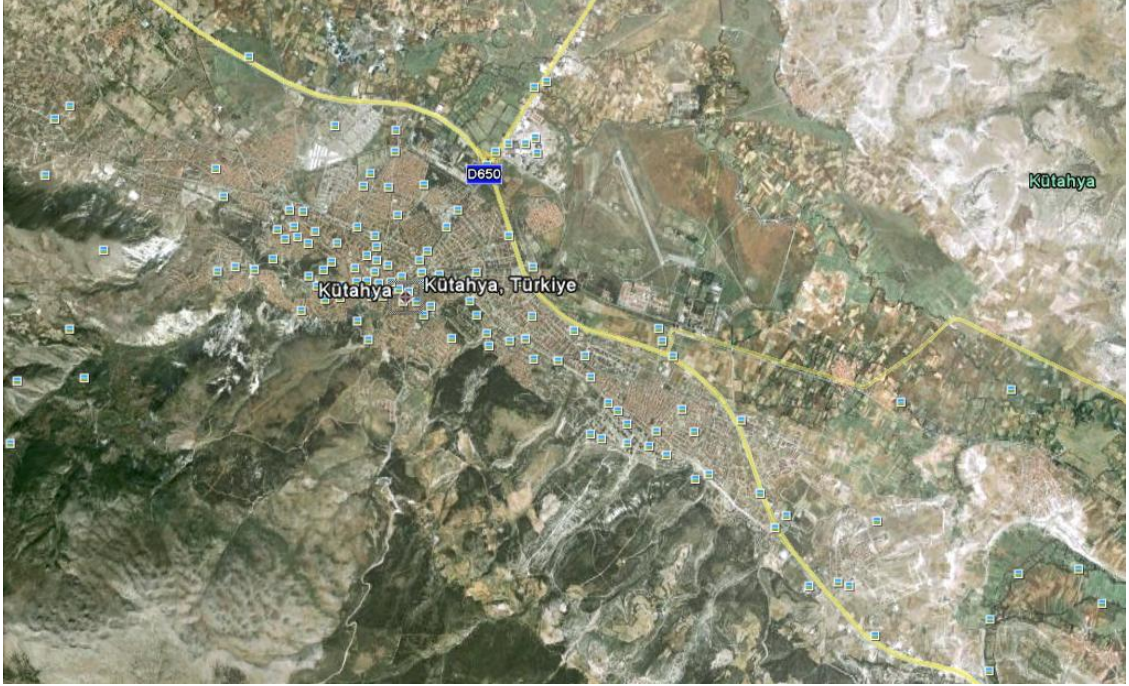
Radon ve ürünlerinin aktiviteleri belirlenirken yaydıkları alfa radyasyonunun dedekte edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerin bir kısmı doğrudan arazide bir kısmı da araziden getirilen numunelerin değerlendirilmesi ile uygulanmıştır.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada katıhal iz kazıma dedektörü olan LR-115 SSNT kullanılmaktadır. Katıhal iz kazıma dedektörleri alfa radyasyonu yayımlayan radyonüklidlerin havadaki yoğunluklarını ölçmek için kullanılır. Alfa iz kazıma dedektörleri genel olarak dielektrik veya organik maddelerden yapılır. Atmosferde bulunan radon ve ürünlerinin yayımladığı alfa radyasyonu bu dedektörlerin yüzeyinde izler oluşturur. Bu izler kimyasal işlemlerle optik mikroskoplarda görülebilecek düzeye büyüklüğe getirilir. Dedektör 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.

4.2 Örneklem Alanı

Kütahya ili Türkiye'nin batısında, İç Ege bölgesinde yer almaktadır. Yüz ölçümü 11,875 km²'dir, Türkiye'nin yüz ölçümünün yaklaşık %1,5'ini oluşturmaktadır. Kütahya ili, 38 derece 70 dakika ve 39 derece 80 dakika kuzey enlemleri ile 29 derece 00 dakika ve 30 derece 30 dakika doğu boylamları arasında yer almaktadır.

Kütahya ili merkez ilçelerinde bulunan 100 ailelerin yaşadığı kapalı ortama LR-115 SSNT detektörü radon miktarını tayin etmek için bırakılmıştır. Bu detektörler plastik bardakların içerisine yerleştirilmiştir. Örneklem işlemi 14.02.2010 ve 20.06.2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir



Şekil 4.1 Örneklem noktaları.

100 örneklem noktası Kütahya merkez ilçesinde nüfus yoğunluğuna göre bir dağılım göstermektedir. Örneklem noktaları mahallelere göre şekil 4.1 de gösterilmektedir.

4.3 Örneklem İşlemi

Bu çalışmada Kütahya ili merkez ilçesinde seçilen evlerdeki radon gazı ölçümünü belirlemek için katıhal iz kazıma detektör yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen noktalara Kodak LR-115 alfa duyarlı film 1.5 cm × 1.5 cm boyutunda kesilerek şekil 4.2 de görüldüğü gibi ağız açık bir şekilde plastik bardak içerisine konularak yerleştirilmiştir.

Dedektörler birer aylık periyotlar halinde belirlenen evlere üçer kez yerleştirilmiştir. Dedektörler özellikle evlerin salonlarına yerleştirilmiştir ayrıca yerleştirirken pencere kenarlarına, kapı yanlarına, kısacası hava akımının olmadığı yerlere yerleştirilmeye özen gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Deney düzeneği.

Örnekleme işlemi esnasında evler rastgele seçilmiş, genellikle Kütahya merkez yerleşimini temsil edecek şekilde düzgün dağılımlı olması hedeflenmiştir. Dedektörlerin evlere yerleşimi öncesinde hazırlanmış olan bir anket formu ile sorgulama yapılmıştır.

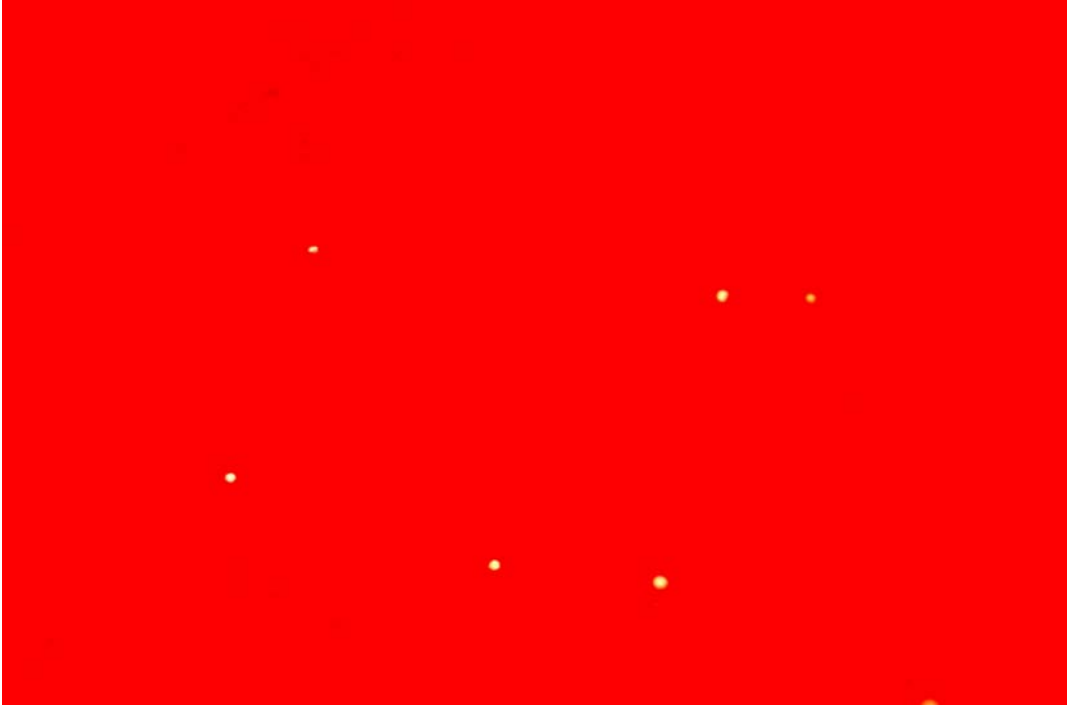
Ankette; dedektörün yerleştirilme tarihi ve geri alım tarihleri, evin tipinin nasıl olduğu yani apartman ya da müstakil olup olmadığı, bodrumlu ya da bodrumsuz olup olmadığı, evin kaç yıllık olduğu, evin taban, tavan ve duvarlarının yapımında kullanılan malzemeler, pencerelerin durumuyla evin havalandırma koşulları, kış dönemindeki ısıtma sistemi, dedektörün yerleştirildiği odanın alanı, radon gazı ve sigara arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yönelik olarak evde yaşayan insanların sigara alışkanlıklarının olup olmadığı sorulmuştur. Son olarak, geçmişte evde yaşanan herhangi bir kanser vakasının olup olmadığı, olduysa ölümle sonuçlanıp sonuçlanmadığı sorulmaktadır. Dedektörler genellikle yaşamsal faaliyetlerin daha fazla olduğu oturma odalarına yerleştirilmiştir (Ek-1 de anket formu verilmektedir).

4.4 Deneysel İşlemler

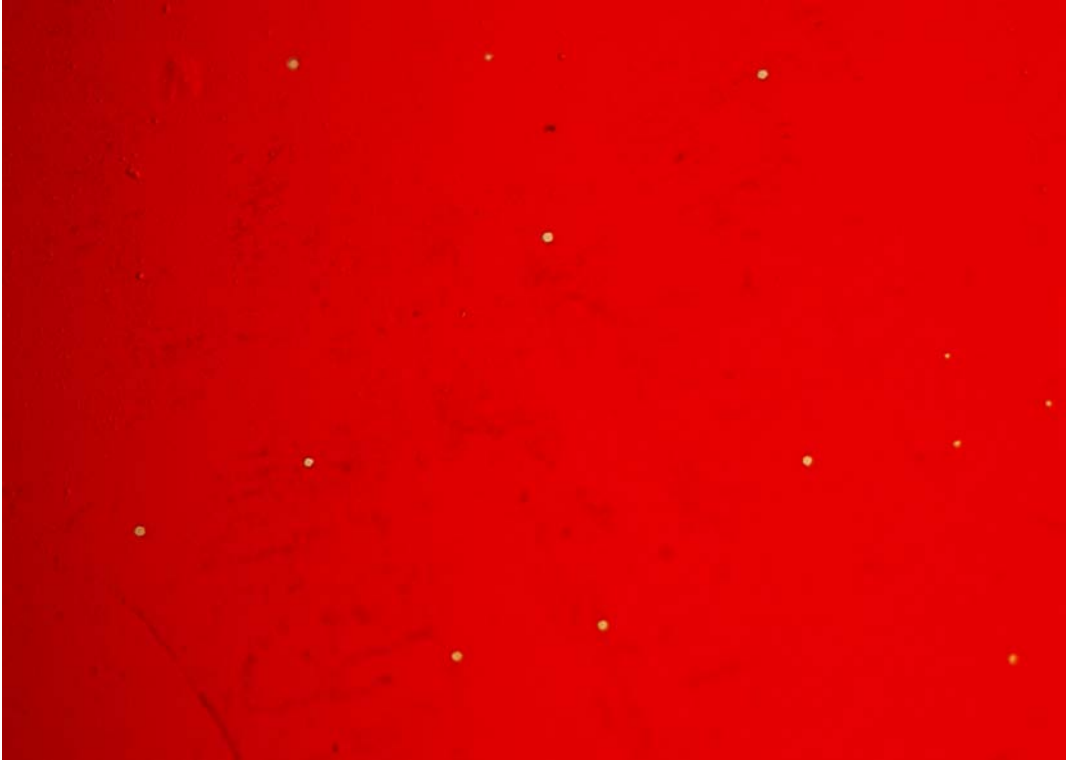
Dedektörler bir ayın sonunda toplandıktan sonra her bir dedektör için 25 ml olmak üzere saf su ile hazırlanan %10' luk NaOH çözeltisi içerisinde 60 °C sıcaklıkta, 97 dakika bekletilerek kimyasal iz kazıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem su banyosunda gerçekleşmektedir. Arka plan iz yoğunluğu ise radon gazına maruz kalmamış dedektörler kullanılarak belirlenmiştir.

Su banyosu işleminden sonra dedektörler 30 dakika boyunca oda sıcaklığındaki saf suda manyetik karıştırıcı yardımı ile karışmaktadırlar. Son olarak da 40 °C sıcaklığındaki fırında 20 dakika kurutulmaktadırlar.

Alfa ışınları duyarlı kimyasal madde ile kaplı film üzerinde noktasal bir iz bırakmaktadır. Dedektörler kuruduktan sonra dijital mikroskop kullanılarak alfa ışınlarının bıraktığı izler sayılmaktadır. Şekil 4.3 ve şekil 4.4)de ayrı iki dedektörden sayılan alfa izleri görülmektedir.



Şekil 4.3 Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.



Şekil 4.4 Alfa ışınlarının fotoğraf filmi üzerinde bıraktığı izlerin resmi.

Birim alan başına iz sayısı (iz/cm²) daha sonra uygun kalibrasyon faktörü kullanılarak bina içinde depolanan Radon miktarı Bq/m³ cinsinden hesaplanmıştır.

4.5 Kalibrasyon İşlemi

Bu çalışmada pasif nükleer iz dedektörlerinin kalibrasyonu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde Sağlık Fiziği Bölümü'nde yapılmıştır. Radon kalibrasyon odası, tabanına alfa ışını yayımlayan bir ²²⁶Ra kaynağı yerleştirilmiş, 225 litrelik bir bidondan oluşmaktadır. Radon odası şekil 4.5 de gösterilmektedir. Radon kalibrasyon odasının konsantrasyonu 3,2 kBq/m³'tür. Dedektörler kalibrasyon odasında belirli sürelerle radona maruz bırakılır ve dedektörler üzerinde oluşan radon izleri, kimyasal kazıma işleminden sonra mikroskopta sayılarak değerlendirilirler [36]. Böylece bilinen konsantrasyona göre iz sayısı belirlenerek bir kalibrasyon faktörü bulunmuş olur.

Kalibrasyon faktörünün hesaplanması denklem 4.1 deki ifade ile yapılmaktadır.

$$C_F = \frac{X/h}{3,2 \left(\text{kBq/m}^3 \right)} \quad (4.1)$$

C_F = Kalibrasyon faktörü

h = Radona maruz kalma süresi(saat)

X =Radon odasına yerleştirilen dedektörlerde sayılan birim alan başına iz sayısı (iz/cm²)

Kalibrasyon faktörünün birim analizini yaptığımızda denklem 4.2 de verilen sonuca ulaşılmış olur.

$$C_F = \frac{\text{iz} \times \text{m}^3}{\text{kBq} \times h \times \text{cm}^2} \quad (4.2)$$

Yaptığımız bu çalışmada kalibrasyon faktörünü 3,475 (iz.m³)/(kBq.sa.cm²) olarak bulunmuştur.

4.6 Eşdeğer Doz Oranının ve Efektif Dozun Hesaplanması

Birim alan başına iz sayısını kalibrasyon faktörüne böldükten sonra, filmlerin ışınlamaya maruz kaldığı süreye (saat) böldüğümüz zaman radon konsantrasyonu kBq/ m³ cinsinden sonuçlar elde edilmiştir.

$$F = \frac{D_M}{C_F} \quad (4.3)$$

F = Radon konsantrasyonu

D_M = Evlere yerleştirilen dedektörlerde sayılan birim alan başına iz sayısı (iz / cm²)

Radon konsantrasyonunun birim analizini yaptığımızda denklem (4.5) de verilen sonuca ulaşılmış olur.

$$F = \frac{\text{iz/cm}^2}{(\text{iz} \times \text{m}^3)/(\text{kBq} \times h \times \text{cm}^2)} \quad (4.4)$$

$$F = \frac{\text{kBq}}{\text{m}^3} = 1000 \times \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \quad (4.5)$$

Doz hesapları, yıllık etkin eşdeğer dozlar için UNSCEAR-2000 raporu kullanılarak yapılmıştır. Dedektörlerin yerleştirildiği odalarda ev halkının ortalama yılda 2000 saat kaldığı kabul edilmiştir. Aşağıda 1 Bq/m³'lük radon konsantrasyonuna karşılık maruz kalınan doz değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Radon gazı ürünleri arasındaki denge birkaç faktöre

bağlıdır. Bu faktörler, temel olarak aerosol yoğunlaşması ve hava değişim oranıdır. Ölçümler, yaşamsal alanların 0,2 ve 0,8 arasında değişen değerlerde denge faktörü olduğunu göstermektedir. UNSCEAR ve International Commission on Radiological Protection dünya çapında denge faktörünü 0,4 olarak kabul etmiştir. Aynı zamanda F değeri, UNSCEAR 2000 raporunda, 0,4 olarak verilmektedir. Denge eşdeğer konsantrasyonu, etkin doza çevirme katsayısı ise; 1Bqsaat/m³ (EEC) denge eşdeğer radon konsantrasyonunun solunması ile alınan etkin doz 9 nSv olarak belirlenmiştir [35, 36].

$$H_E = \frac{9(\text{nSv/yıl})}{1(\text{Bq/m}^3)} \times 0,4 \times 2000(\text{sa/yıl}) = 7,2 \times 10^3 \frac{(\text{nSv/yıl})}{(\text{Bq/m}^3)} = 7,2 \times 10^{-3} \frac{(\text{mSv/yıl})}{(\text{Bq/m}^3)} \quad (4.5)$$

9(nSv/sa) = Etkin doz dönüşüm faktörü

0,4 = Denge faktörü

$$E_D = F \times 7,2 \times 10^{-3} \frac{(\text{mSv/yıl})}{(\text{Bq/m}^3)} \quad (4.6)$$

Birim analizini yaptığımızda denklem 4.7 de verilen sonucu bulmuş oluruz.

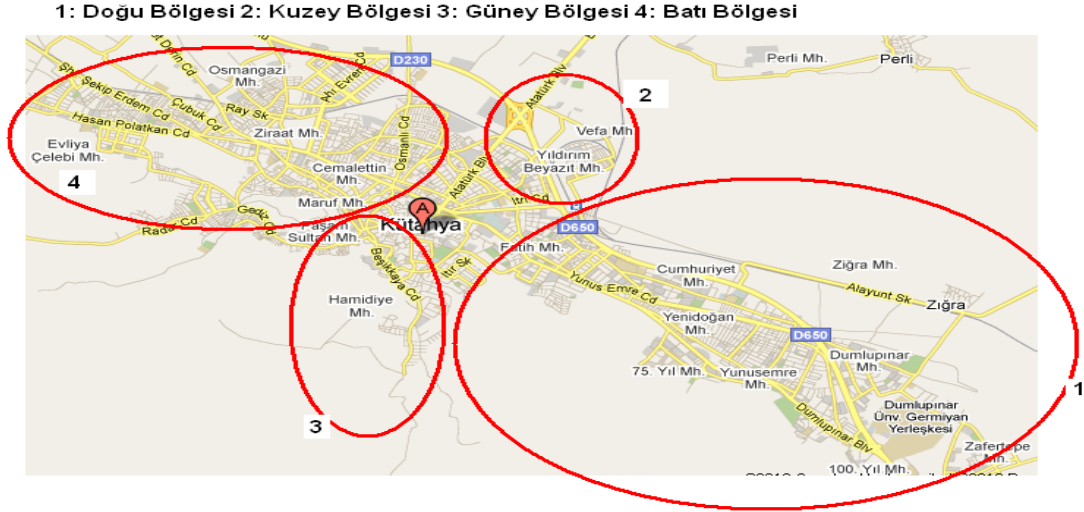
$$E_D = (\text{Bq/m}^3) \times \frac{(\text{mSv/yıl})}{(\text{Bq/m}^3)} = \text{mSv/yıl} \quad (4.7)$$



Şekil 4.5 ÇNAEM radon odası.

4.7. Deneysel Veriler ve Yorumlanması

Kütahya ilinde yaptığımız çalışmada şekil 4.6 da da görüldüğü gibi ilimizi dört farklı bölgede inceledik. Toplam 100 dedektörün 21 tanesi doğu bölgesine, 23 tanesi kuzey bölgesine, 41 tanesi güney bölgesine ve 15 tanesi de batı bölgesine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Kütahya ili çalışılan bölgelerin haritası.

Yaptığımız bu çalışmada 100 eve yerleştiren dedektörlerdeki alfa iz sayıları okunarak evlerin radon konsantrasyonu hesaplanmış ve çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Sayılan izler ve Bq/m³ cinsinden karşılıkları.

Dedektör Numarası	Ortalama Net İz Sayısı	Zaman (saat)	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
1	473	720	84
2	1053	720	187
3	629	720	112
4	1397	720	248
5	701	720	124
6	613	720	109
7	1037	720	184
8	1059	720	188
9	641	720	114
10	448	720	80
11	1192	720	212
12	1186	720	211
13	1245	720	221
14	616	720	109

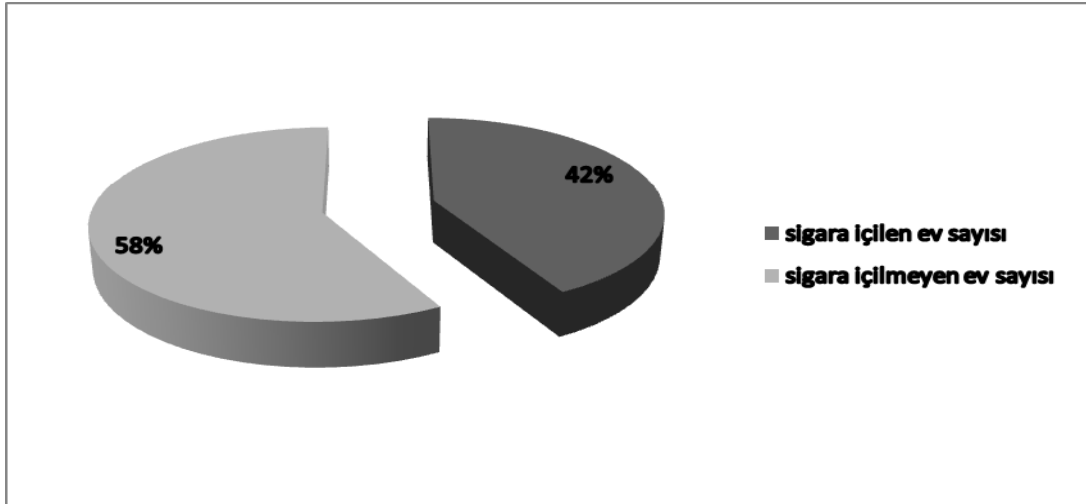
Çizelge 4.1 (devam)

15	549	720	98
16	561	720	100
17	572	720	102
18	831	720	148
19	942	720	167
20	472	720	84
21	486	720	86
22	812	720	144
23	916	720	163
24	618	720	110
25	887	720	158
26	489	720	87
27	610	720	108
28	689	720	122
29	528	720	94
30	731	720	130
31	572	720	102
32	217	720	39
33	502	720	89
34	1038	720	184
35	1009	720	179
36	1529	720	272
37	861	720	153
38	579	720	103
39	439	720	78
40	637	720	113
41	1847	720	328
42	427	720	76
43	582	720	103
44	635	720	113
45	712	720	126
46	470	720	83
47	371	720	66
48	743	720	132
49	1005	720	178
50	1053	720	187
51	921	720	164
52	1533	720	272
53	520	720	92
54	688	720	122
55	429	720	76
56	809	720	144
57	672	720	119
58	721	720	128
59	701	720	124
60	645	720	115

Çizelge 4.1 (devam)

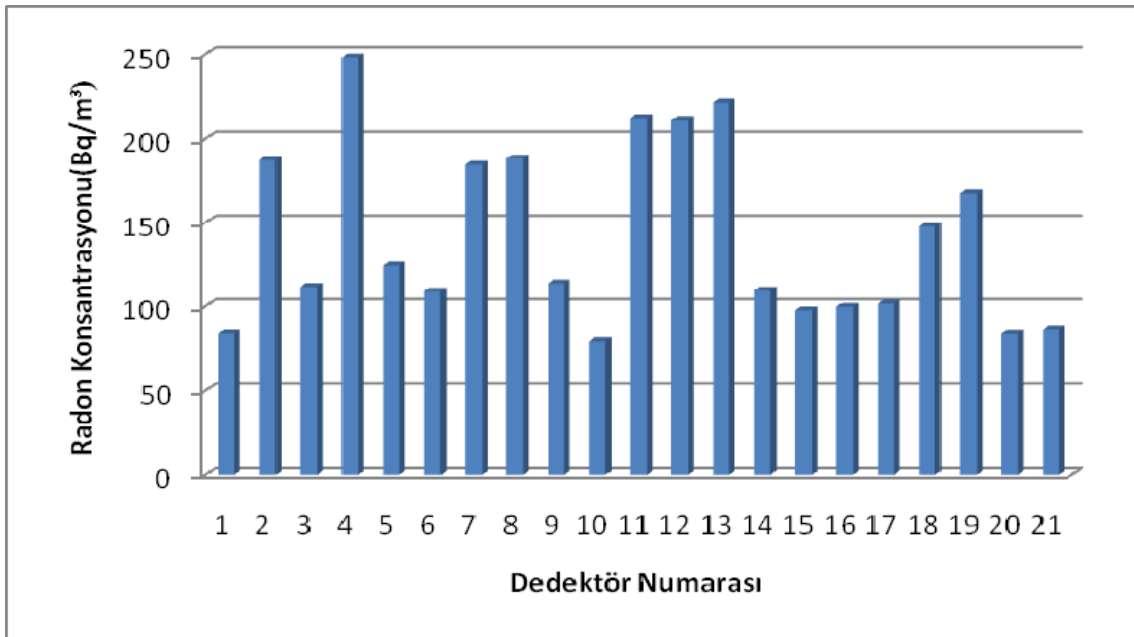
61	597	720	106
62	789	720	140
63	498	720	88
64	589	720	105
65	451	720	80
66	623	720	111
67	729	720	129
68	352	720	63
69	422	720	75
70	392	720	70
71	458	720	81
72	251	720	45
73	820	720	146
74	757	720	134
75	1219	720	216
76	351	720	62
77	427	720	76
78	398	720	71
79	412	720	73
80	420	720	75
81	422	720	75
82	529	720	94
83	628	720	112
84	496	720	88
85	417	720	74
86	447	720	79
87	503	720	89
88	545	720	97
89	711	720	126
90	551	720	98
91	519	720	92
92	447	720	79
93	603	720	107
94	712	720	126
95	585	720	104
96	560	720	99
97	476	720	85
98	816	720	145
99	657	720	117
100	601	720	107

Yaptığımız anket sorgulamasına göre örnek evlerde sigara içilme dağılımı şekil 4.7 gösterilmektedir. Buna göre örnek evlerimizin 58 tanesinde sigara içilmekte diğerlerinde ise içilmemektedir.



Şekil 4.7 Filmi yerleştirdiğimiz evlerin sigara içilme durumları grafiği.

4.7.1 Kütahya ilinin doğu bölgesi



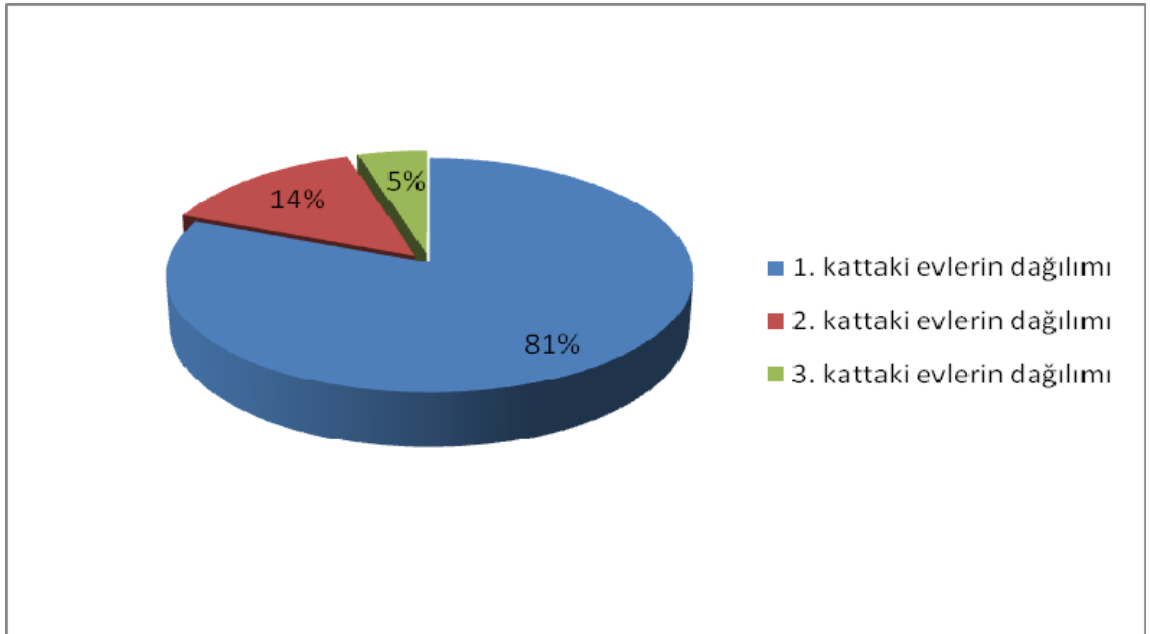
Şekil 4.8 Doğu bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m³)sonuç grafiği.

Kütahya'nın doğu bölgesindeki yerleşim yerlerinden bir kısmının zemini kayalık kalan kısmı da normal topraktır. Ayrıca kayalık kısmı olan yerler diğer bölgeye göre daha yüksektir.

Şekil 4.8 de doğu bölgesine yerleştirilen dedektörlerin ortalama radon konsantrasyonu sonuçları verilmektedir. Buna göre bu bölgedeki 2, 7, 10, 11 ve 13 numaralı evler birbirlerine yakın olan evlerdir. Bu evlerden sadece 2 ve 11 numaralı evlerde sigara içilmektedir. 7, 10 ve 13 numaralı evlerin de diğerlerine göre yüksek çıkması evlerin yapısından ve zemin çatlaklarından kaynaklanıyor olabilir. Bu evlerin yapımı oldukça eski tarihlere dayanmaktadır.

4, 8, 18 ve 19 numaralı evler aynı mahallede seçilen evlerdir. Buradaki evlerin zemini kayalık zemindir ve sadece 4 numaralı evde sigara içilmektedir. Buradaki evlerin radon konsantrasyonun yüksek çıkması da zeminlerinin kayalık olmasından kaynaklanmaktadır.

Doğu bölgesindeki diğer ölçüm yapılan evlerin radon konsantrasyonları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 3, 5, 6, 13, 14, 16, 17 ve 20 numaralı evlerde sigara içilmesine rağmen iyi havalandırma sayesinde radon konsantrasyonu düşük çıkmıştır.



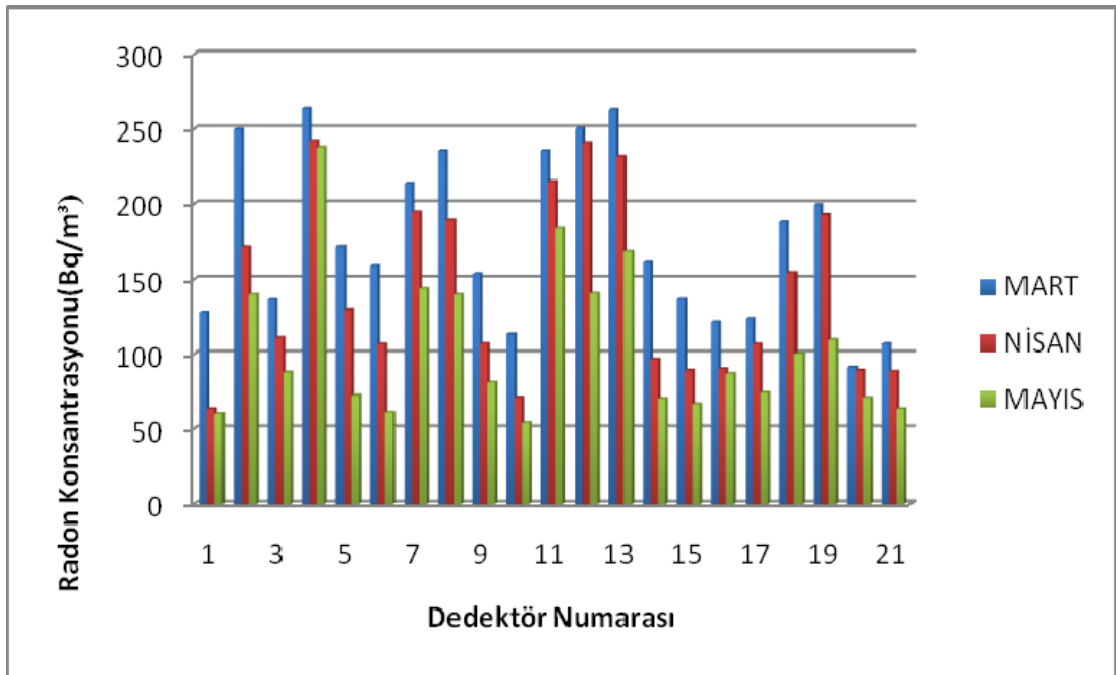
Şekil 4.9 Doğu bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.

Doğu bölgesindeki 21 tane evin 17 tanesi birinci kat, 3 tanesi ikinci kat ve 1 tanesi üçüncü kattır. Bölgedeki evlerin katlara göre dağılımı şekil 4,9 de verilmektedir.

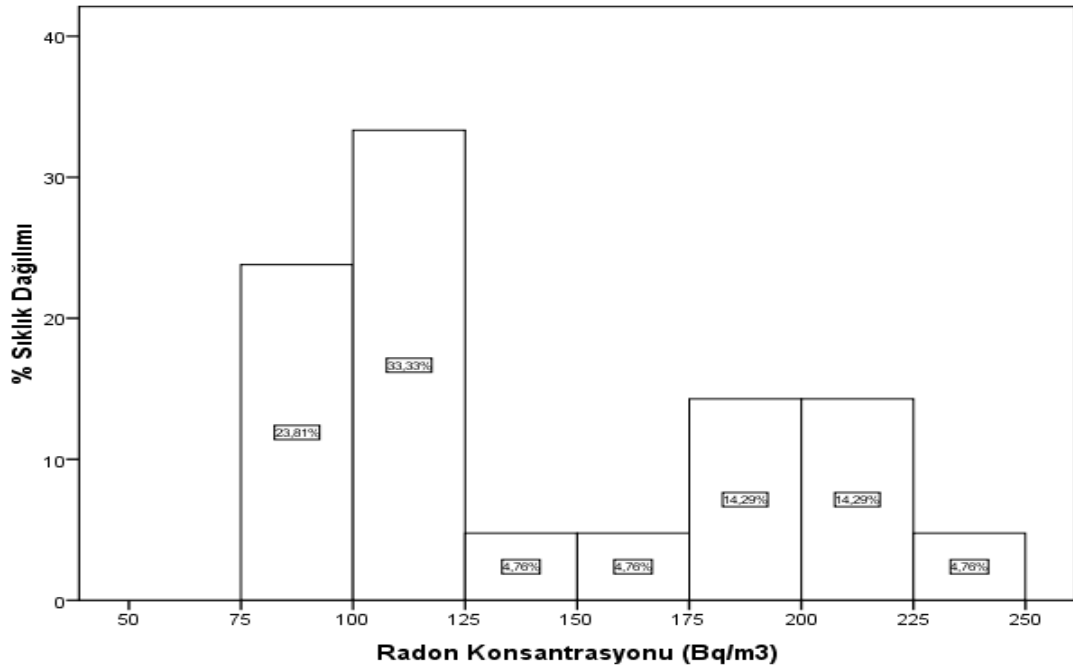
5, 14 ve 20 numaralı evler 2 kattır, 10 ise üçüncü kattır. Buralarda radon konsantrasyonunun düşük çıkması katlar arttıkça konsantrasyonun azalmasından kaynaklanıyor olabilir.

Doğu bölgesindeki evlerde radon konsantrasyonuna aylık periyotlar halinde baktığımızda konsantrasyonun her geçen ay azaldığı şekil 4.10 de görülmektedir. Radon konsantrasyonu kış aylarında daha yüksek çıkmasına rağmen bahar aylarında daha azdır. Bunun nedeni evlerde kullanılan yakıt sisteminden kaynaklanmaktadır.

Bölgedeki radon konsantrasyonu % sıklık dağılımı şekil 4.11 de verilmektedir. Bu bölgedeki evlerin büyük çoğunluğu 100 - 125 Bq/m³ aralığında radon konsantrasyonuna sahiptir.

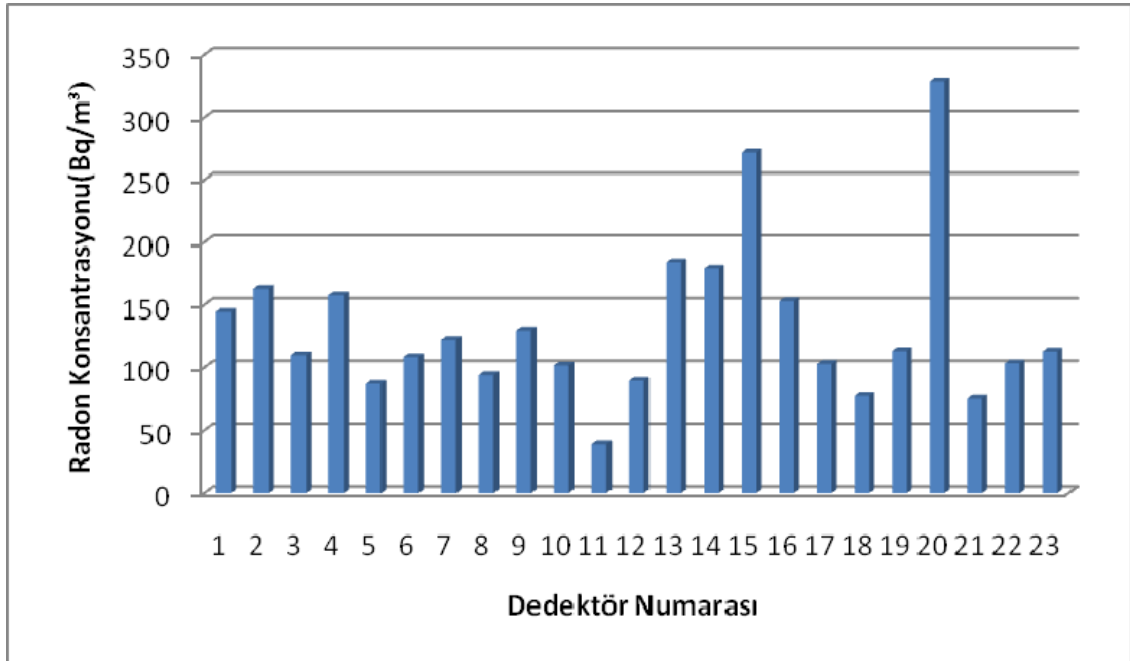


Şekil 4.10 Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.



Şekil 4.11 Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.

4.7.2 Kütahya ilinin kuzey bölgesi



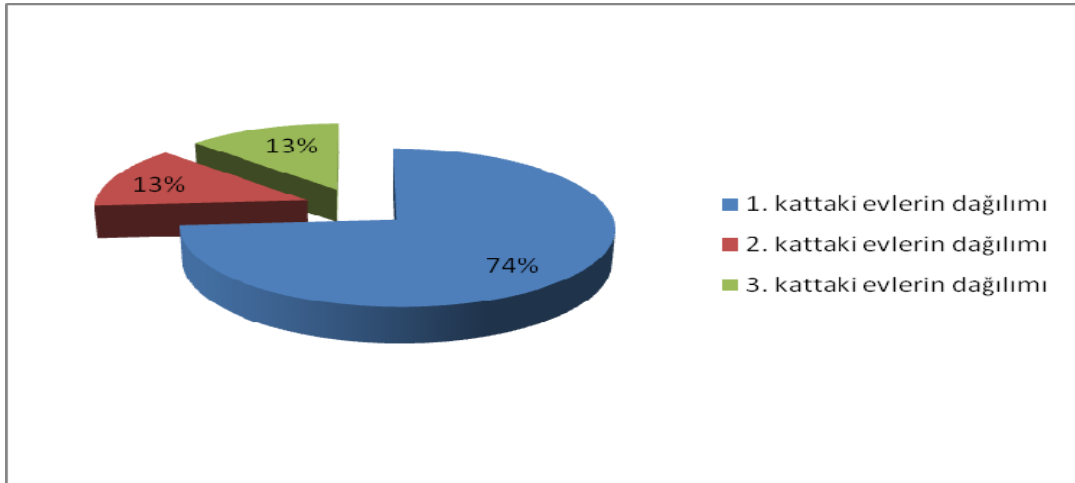
Şekil 4.12 Kuzey bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m³)sonuç grafiği.

Kuzey bölgesinde yaptığımız çalışmada evlerin genel radon konsantrasyonu ortalaması doğu bölgesine göre daha düşük çıkmıştır.

Kuzey bölgesindeki yerleşim alanının yüksekliği diğer bölgelere göre daha azdır ve tamamı toprak zemin üzerine kurulmuştur.

Kuzey bölgesine yerleştirilen 23 dedektörün ortalama radon konsantrasyonları şekil 4.12 verilmektedir. 2, 4, 13, 14, 15 ve 20 numaralı evler bölgedeki diğer evlere göre yüksek radon konsantrasyonuna sahiptirler. Özellikle 20 numaralı ev bütün çalışmanın en yüksek radon konsantrasyonuna sahiptir. Bu evde çok fazla sigara içilmekte ve iyi havalandırma yapılmamaktadır. Ayrıca bu ev bodrum katta yer aldığı için zemin, boşlukları duvar çatlakları gibi etmenlerden dolayı da yüksek konsantrasyona sahip olabilir.

Kuzey bölgesindeki evlerden 11, 12, 18 ve 21 numaralı evlerde sigara içilmemek de diğer evlerde ise içilmektedir.



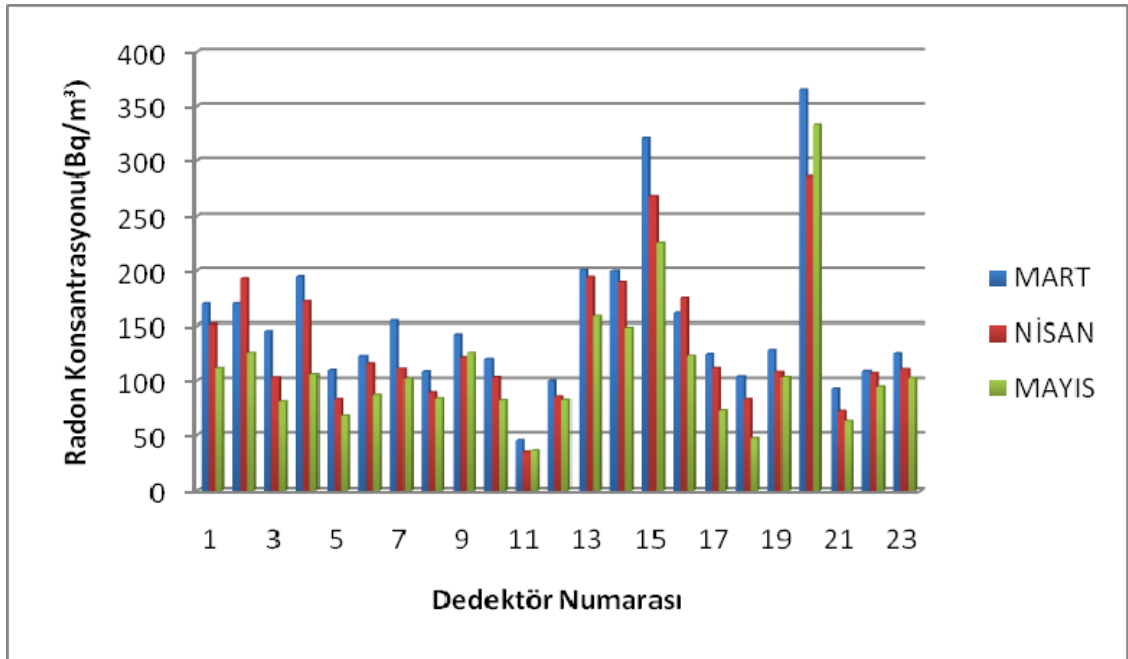
Şekil 4.13 Kuzey bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.

Kuzey bölgesindeki 23 evin 17 tanesi birinci kat, 3 tanesi ikinci kat ve 3 tanesi de üçüncü kattadır. Şekil 4.13 de bölgedeki evlerin katlara göre yüzdelik dağılımı verilmektedir. 5, 12 ve 22 numaralı evler ikinci kat evleri, 8, 11 ve 18 numaralı evler de üçüncü kat evleridir. Burada da kat sayısı arttıkça radon konsantrasyonunun azaldığı gösterilmektedir.

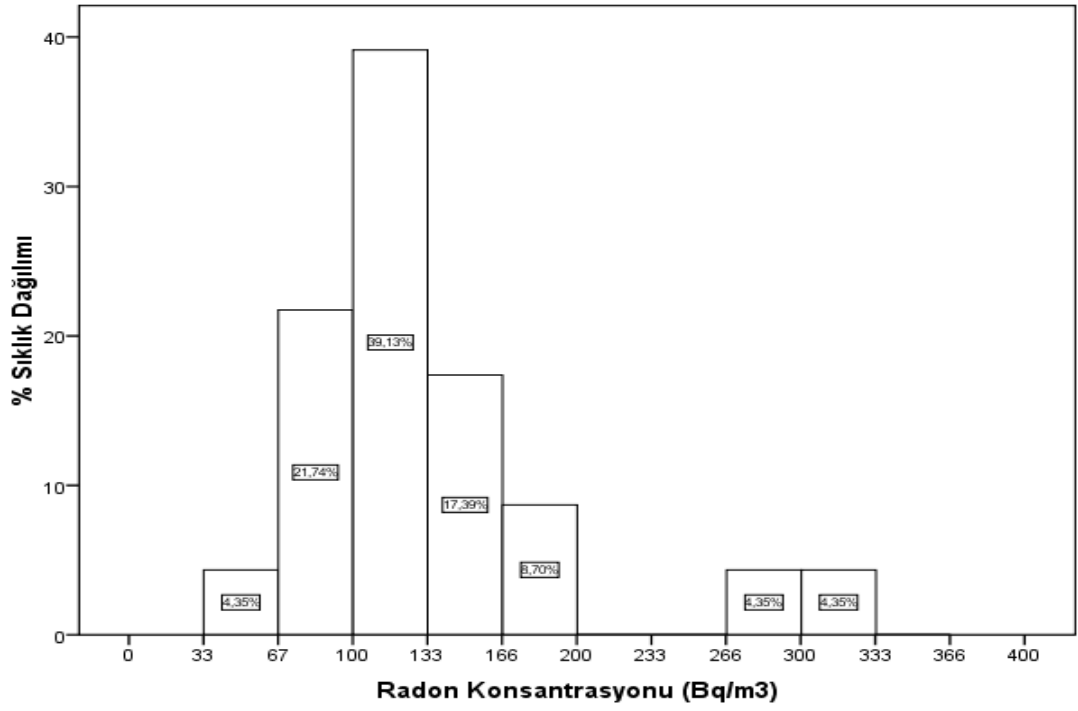
Kuzey bölgesindeki evlerde radon konsantrasyonuna aylık periyotlar halinde baktığımızda konsantrasyonun doğu bölgesinde olduğu gibi şekil 4.14 de görülmektedir. Radon konsantrasyonu kış aylarında daha yüksek çıkmasına rağmen bahar aylarında daha azdır. Bunun

nedeni evlerde kullanılan yakıt sisteminden kaynaklanmaktadır. Fakat 20 numaralı evde Mayıs ayındaki radon konsantrasyonu da yüksek çıkmıştır. Buun sebebi de evde fazla sigara içimi ve iyi havalandırılmaması gösterilebilir.

Bölgedeki radon konsantrasyonu % sıklık dağılımı şekil 4.15 de verilmektedir. Bu bölgedeki evlerin büyük çoğunluğu 100 - 133 Bq/m³ aralığında radon konsantrasyonuna sahiptir.

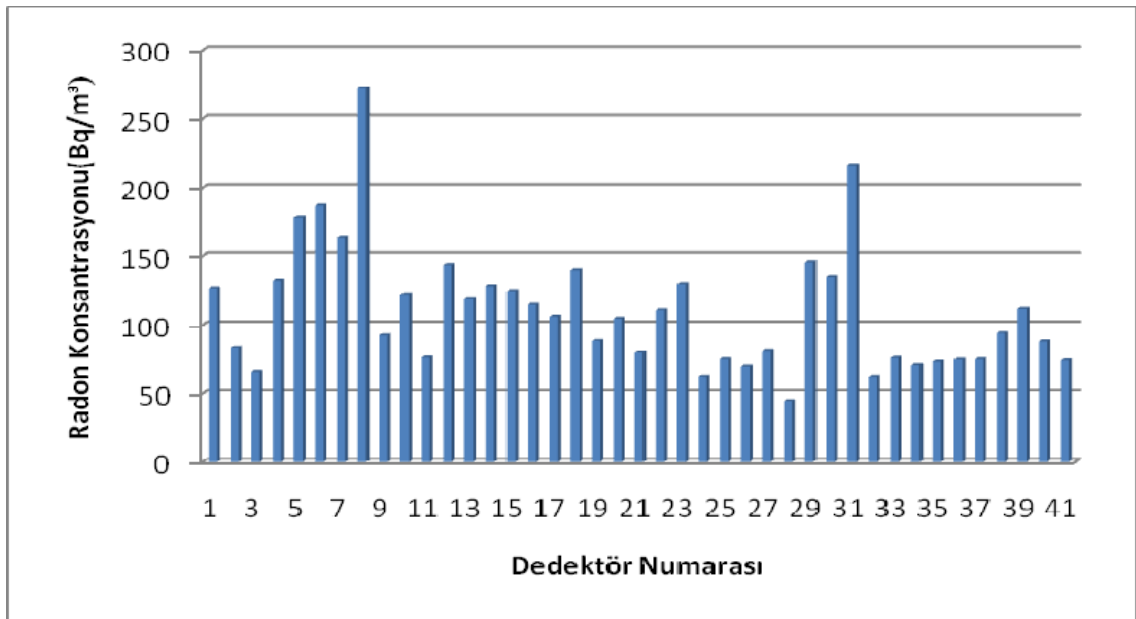


Şekil 4.14 Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.



Şekil 4.15 Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.

4.7.3 Kütahya ilinin güney bölgesi



Şekil 4.16 Güney bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m³)sonuç grafiği.

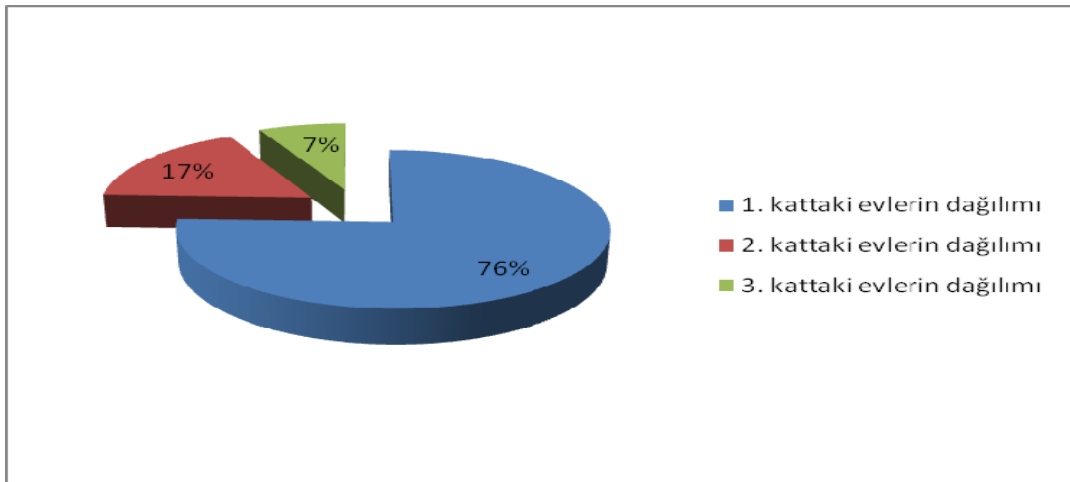
Kütahya'nın nüfus yoğunluğu güney bölgesinde daha fazla olduğu için buradaki örnek sayımız daha fazladır. Bu bölgede 41 adet ev incelenmiştir.

Güney bölgesindeki yerleşim alanlarının da yükseklik farklılıkları bulunmaktadır. Özellikle ilk 10 ev daha basık bir bölgede yer almaktadır. bundan dolayı da radon konsantrasyonu daha fazla çıkmıştır.

Güney bölgesine yerleştirilen 41 adet dedektörlerin ortalama radon konsantrasyonları şekil 4.16 de verilmektedir. Bu bölgede beş mahalle incelenmiş ve mahallelerde ölçümler birbirine çok yakın çıkmıştır. 5, 6, 8, 27, 28, 29 ve 30 numaralı evler bodrum katlardır ve buralardaki konsantrasyonlar yüksek çıkmıştır. Bu evlerde dedektörlerin konulduğu odaların daha küçük hacimli olması, ayrıca odaların ve binaların duvarlarında meydana gelen olası çatlaklar ve bulundukları zeminlerden dolayı yüksek radon konsantrasyonuna sahiptirler. Güney bölgesindeki evlerin eski binalar olmasına rağmen radon konsantrasyonları çok yüksek çıkmamıştır.

Güney bölgesindeki 41 evin katlara göre yüzdelik dağılımı şekil 4.17 da verilmektedir. Bu evlerden 31 tanesi birinci kat 7 tanesi ikinci kat 3 tanesi üçüncü katta bulunmaktadır.

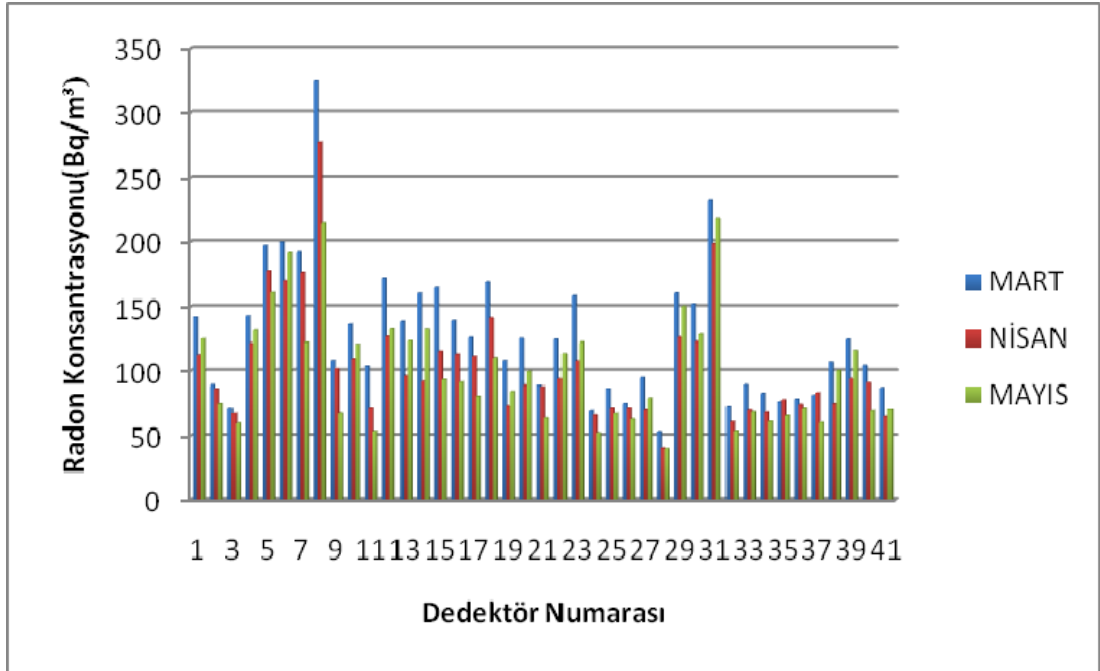
Özellikle 8 ve 31 numaralı evlerde birden fazla kişi çok fazla sigara içmektedir ayrıca dedektörlerin konulduğu odalar sürekli kullanılmaktadır buda radon konsantrasyonunu arttırmaktadır.



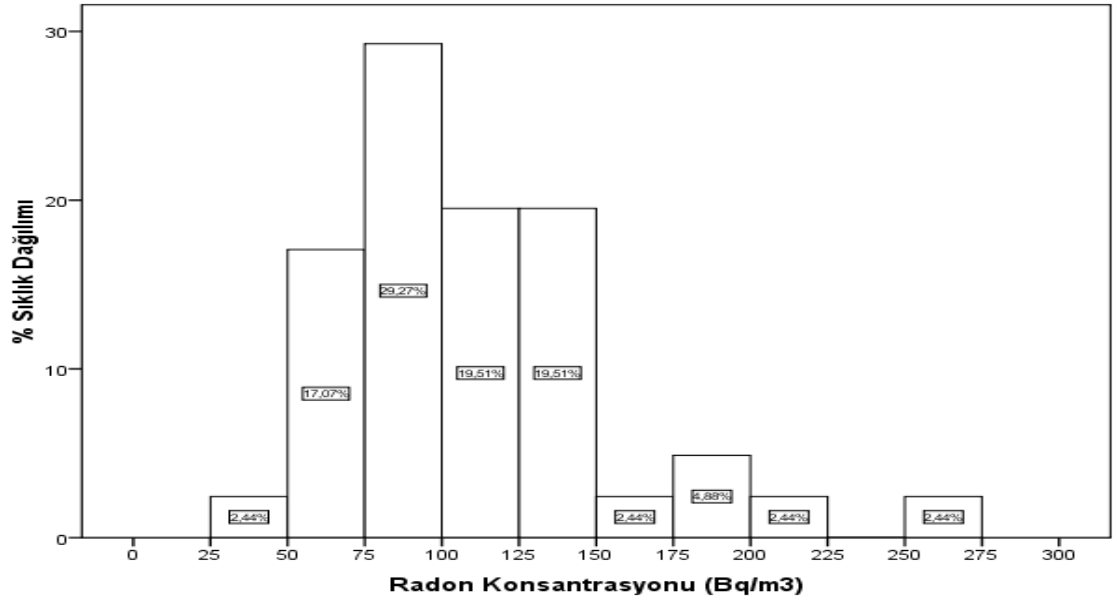
Şekil 4.17 Güney bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı grafiği.

Güney bölgesindeki evlerde radon konsantrasyonuna aylık periyotlar halinde baktığımızda konsantrasyonun her geçen ay azaldığı şekil 4.18 de görülmektedir. Radon konsantrasyonu kış aylarında daha yüksek çıkmasına rağmen bahar aylarında daha azdır. Bunun nedeni evlerde kullanılan yakıt sisteminden kaynaklanmaktadır.

Bölgedeki radon konsantrasyonu % sıklık dağılımı şekil 4.19 da verilmektedir. Bu bölgedeki evlerin büyük çoğunluğu 75 - 150 Bq/m³ aralığında radon konsantrasyonuna sahiptir. Bu bölgede bulunan 41 evden 14 tanesinin radon konsantrasyonu 75 - 100 Bq/m³ aralığındadır.

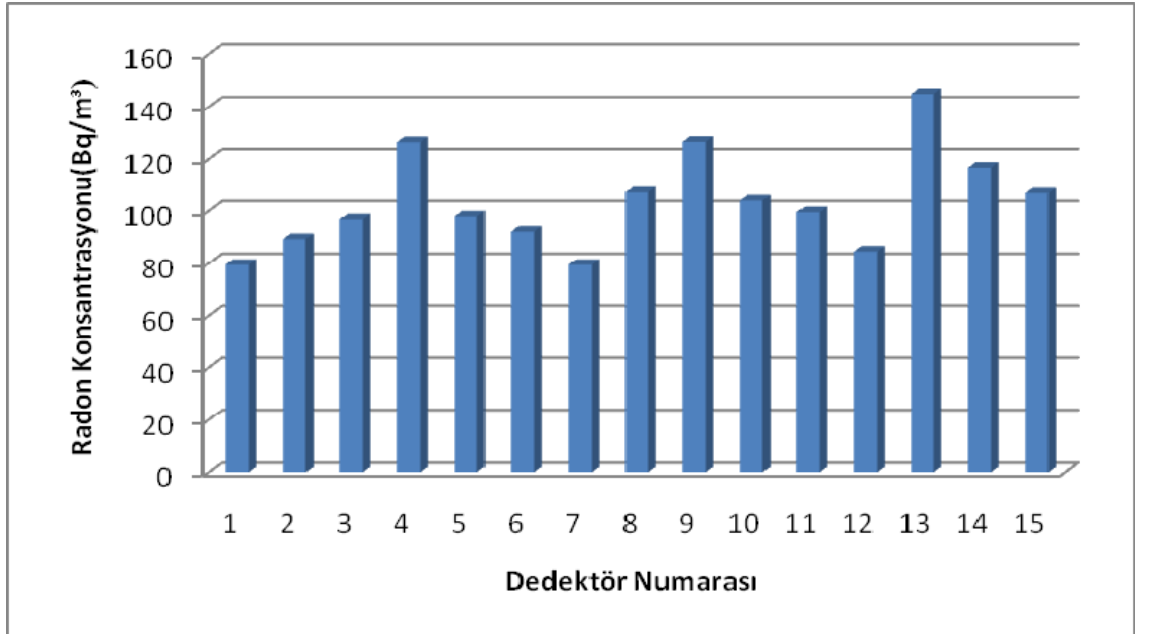


Şekil 4.18 Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.



Şekil 4.19 Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı

4.7.4. Kütahya İlinin Batı Bölgesi

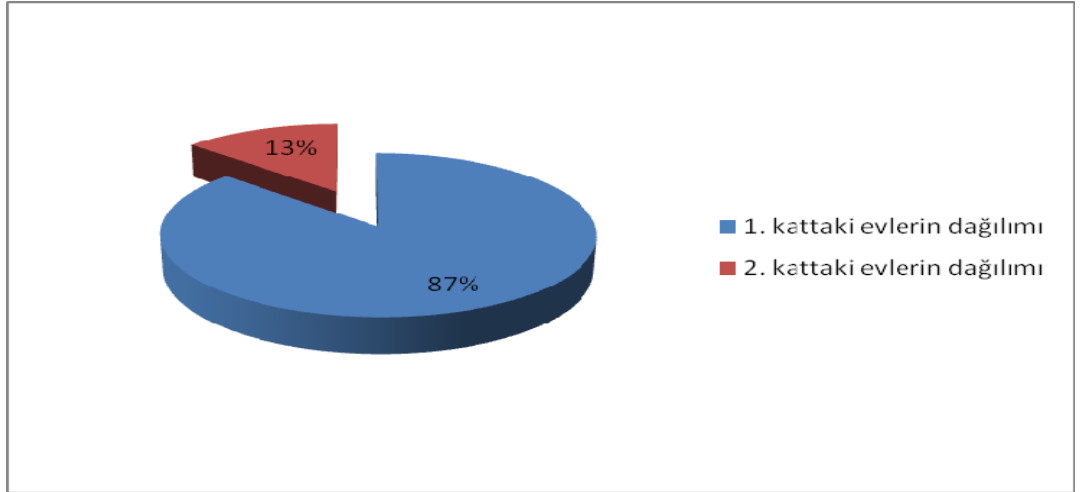


Şekil 4.20 Batı bölgesi radon konsantrasyonu (Bq/ m³)sonuç grafiği.

Kütahya' nın batı bölgesinde yerleşim alanı daha az olduğu için burada sadece 15 ev incelenmiştir.

Bu bölgedeki evlerin geneli gecekondudur ve kömür ile ısıtma sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak da bölgedeki radon konsantrasyonu diğer bölgelere göre daha yüksektir.

Batı bölgesine yerleştirilen 15 dedektörün radon konsantrasyon sonuçlarının aylara göre ortalaması şekil 4.20 de verilmektedir. Batı bölgesindeki 4, 8, 9, 13, 14 ve 15 numaralı evler tek katlı evlerdir ve evlerde sigara içimi oldukça fazladır ve havalandırılma yeterince sağlanamamaktadır.

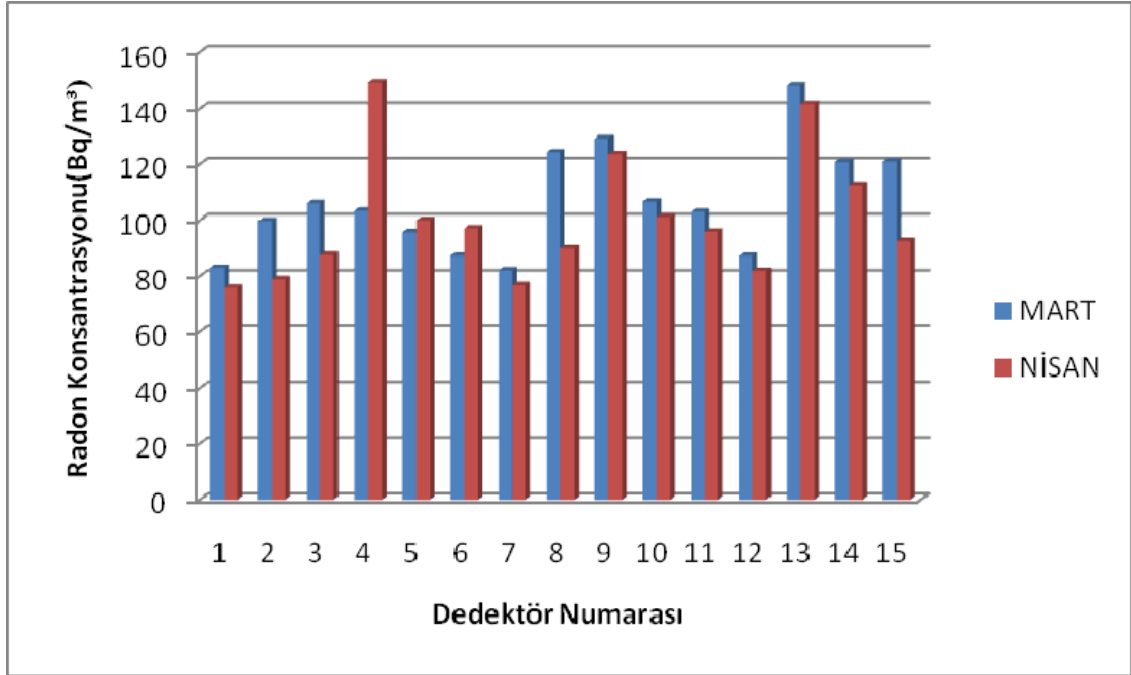


Şekil 4.21 Batı bölgesindeki evlerin katlara göre dağılımı

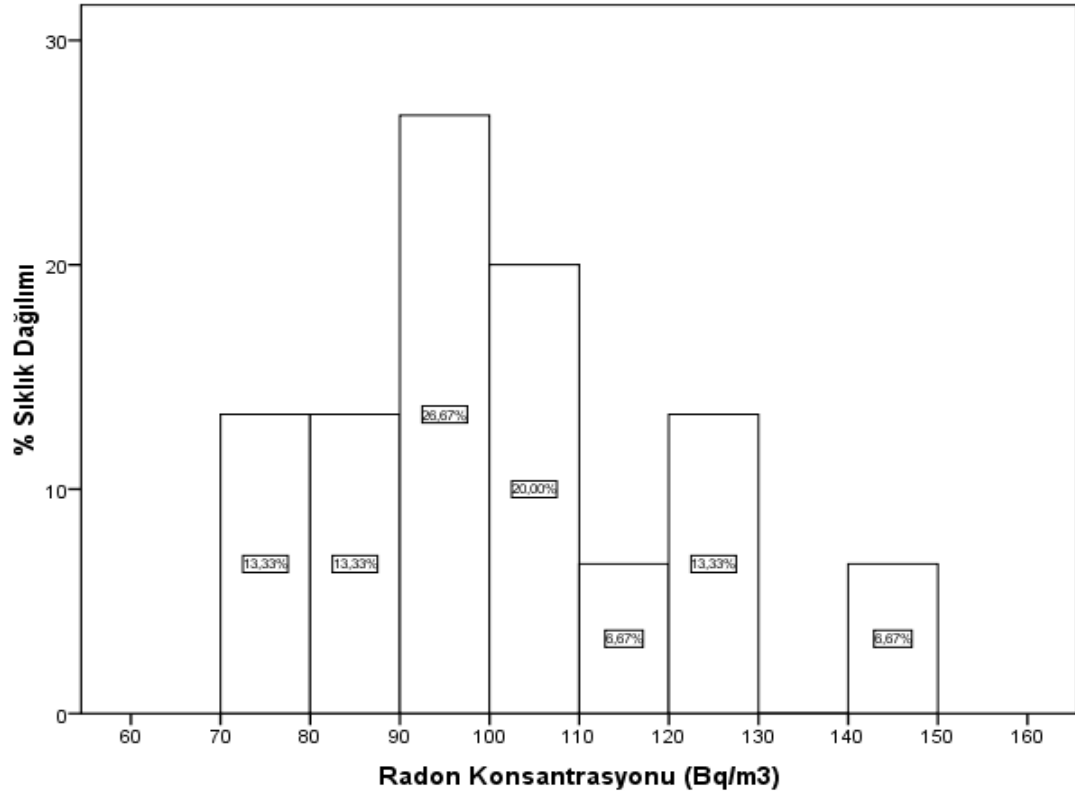
Bölgedeki evlerin katlara göre dağılımı şekil 4.21 de verilmiştir. Batı bölgesindeki evlerden sadece 7 ve 12 numaralı evler iki kattır ve bu evlerin radon konsantrasyonları da diğerlerine göre daha azdır.

Bu bölgede 2 adet arazi çalışması yapılmıştır. Bölgesindeki evlerde radon konsantrasyonuna aylık periyotlar halinde baktığımızda konsantrasyonun her geçen ay azaldığı şekil 4.22 de görülmektedir. Radon konsantrasyonu kış aylarında daha yüksek çıkmasına rağmen bahar aylarında daha azdır. Bunun nedeni evlerde kullanılan yakıt sisteminden kaynaklanmaktadır.

Bölgedeki radon konsantrasyonu % sıklık dağılımı şekil 4.23 de verilmektedir. Bu bölgedeki evlerin büyük çoğunluğu 100-120 Bq/m³ aralığında radon konsantrasyonuna sahiptir.



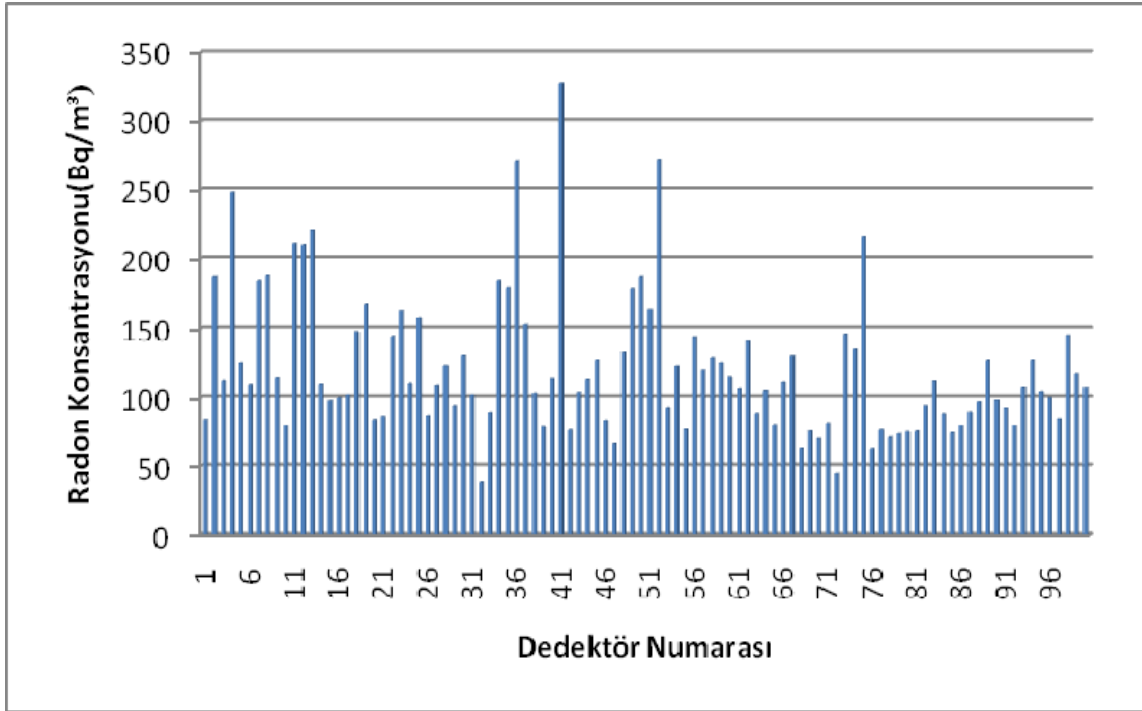
Şekil 4.22 Radon konsantrasyonun aylara göre ölçümü grafiği.



Şekil 4.23 Radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.

4.7.5 Kütahya ilinin genel sonuçları

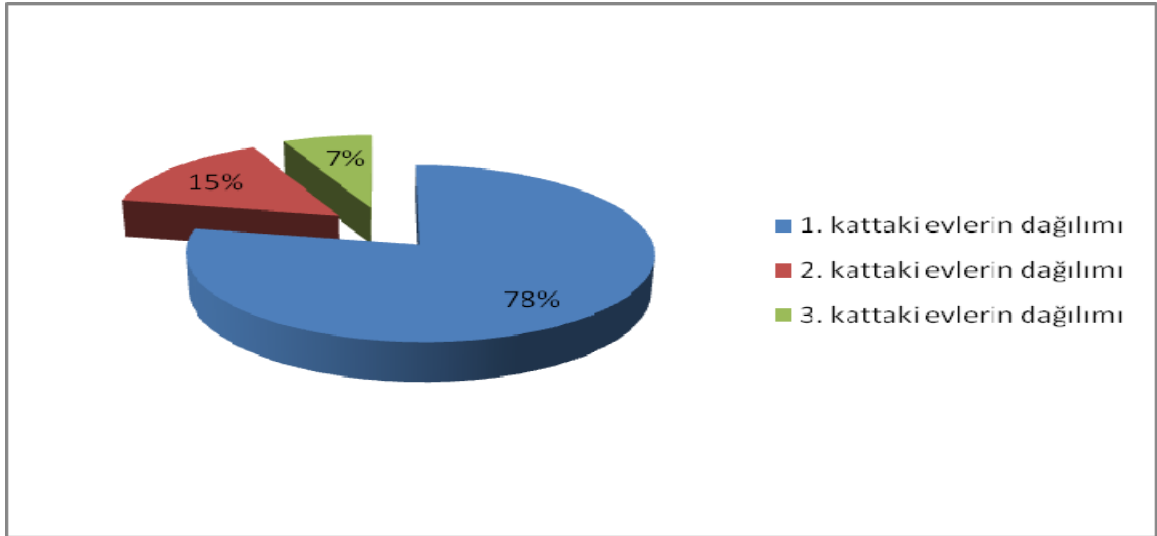
Kütahya ilinde 100 evde birer aylık periyotlar halinde 3 kez yaptığımız çalışmamızın ortalama sonuçları şekil 4.24 de verilmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre radon konsantrasyonu ortalaması 39-328 Bq/m³ arasında değişmektedir.



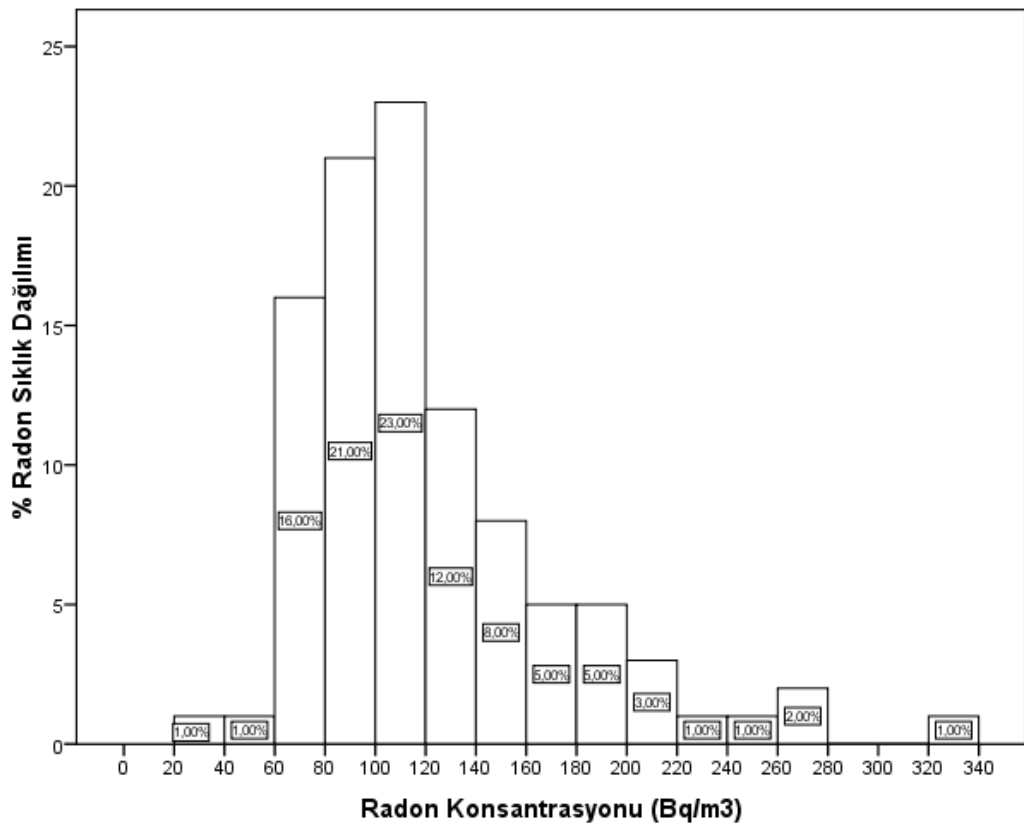
Şekil 4.24 Kütahya genel radon konsantrasyonu(Bq/ m³)sonuç grafiği.

Şekil 4.25 da çalıştığımız 100 evin katlara göre dağılımı verilmektedir. Buna göre evlerin % 78 birinci katta yer almaktadır.

Şekil 4.26 de tüm evler için radon konsantrasyonunun yüzde sıklık dağılımı verilmektedir. Kütahya ilinin genel radon konsantrasyonu sıklığı çoğunlukla 80-120 Bq/m³ arasındadır. Deneysel çalışmamızın sonunda elde ettiğimiz bu sonuçlar sınır değerin oldukça altındadırlar. Buna göre Kütahya ili merkez ilçesindeki evlerde radon gazı herhangi bir sağlık sorunu teşkil etmemektedir.



Şekil 4.25 Evlerin katlara göre dağılımı grafiği.



Şekil 4.26 Genel radon konsantrasyonunun % sıklık dağılımı grafiği.

Çizelge 4.2 Radondan gelen yıllık etkin dozlar.

Dedektör Numarası	Etkin Doz Katkısı (mSv/yıl)	Dedektör Numarası	Etkin Doz Katkısı (mSv/yıl)	Dedektör Numarası	Etkin Doz Katkısı(mSv/yıl)
1	0,61	35	1,30	69	0,54
2	1,35	36	1,96	70	0,50
3	0,80	37	1,10	71	0,59
4	1,79	38	0,74	72	0,32
5	0,90	39	0,56	73	1,05
6	0,78	40	0,81	74	0,97
7	1,33	41	2,36	75	1,56
8	1,35	42	0,55	76	0,45
9	0,82	43	0,74	77	0,55
10	0,57	44	0,81	78	0,51
11	1,52	45	0,91	79	0,53
12	1,52	46	0,60	80	0,54
13	1,60	47	0,47	81	0,54
14	0,79	48	0,95	82	0,68
15	0,70	49	1,29	83	0,80
16	0,72	50	1,35	84	0,63
17	0,73	51	1,18	85	0,53
18	1,06	52	1,96	86	0,57
19	1,20	53	0,67	87	0,64
20	0,60	54	0,88	88	0,70
21	0,62	55	0,55	89	0,91
22	1,04	56	1,03	90	0,71
23	1,17	57	0,86	91	0,66
24	0,79	58	0,92	92	0,57
25	1,13	59	0,90	93	0,77
26	0,63	60	0,83	94	0,91
27	0,78	61	0,76	95	0,75
28	0,88	62	1,01	96	0,72
29	0,68	63	0,64	97	0,61
30	0,93	64	0,75	98	1,04
31	0,73	65	0,58	99	0,84
32	0,28	66	0,80	100	0,77
33	0,64	67	0,93		
34	1,33	68	0,45		

Çizelge 4.2 de Kütahya ilinde çalıştığımız evlerde bulduğumuz ortalama radon konsantrasyonuna göre bu evlerde yaşayan bireylerin yıllık aldıkları etkin dozlar hesaplanıp verilmiştir.

SONUÇ VE YORUMLAR

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye’de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu üst sınırı 400 Bq/m^3 ’tür[2].

100 veriden aldığımız sonuçlarının ortalamasını aldığımızda 121 Bq/m^3 bulunmuştur. Çıkan sonuç kapalı ortamlar için müsaade edilen limitin bir değerdir. Yaptığımız çalışma sonucunda verilerden elde ettiğimiz sonuçlar 39 ile 328 Bq/m^3 arasında farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar radon gazı seviyesinde değişikliklere sebep olmaktadır. Bunları özetlersek; evlerde sigara içilme faktörü, evlerin havalandırılması, ortamın büyüklüğü, filmlerin konulduğu yerin zeminden yüksekliği, evlerin yapıldığı zemin yapısı ve olası ölçüm hataları olarak sayılabilir.

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. Yaptığımız bu çalışmada Kütahya ilinde kapalı mekanlarda radon konsantrasyonu incelenmiştir.

UNSCEAR tarafından 2000 yılında yayınlanan rapora göre dünya genelinde doğal kaynaklardan alınan doz miktarının $1-10 \text{ mSv}$ değerlerinin arasında olduğu tahmin edilmektedir. Radondan kaynaklanan doz miktarının $2,4 \text{ mSv}$ olarak kabul edilmektedir [17].

Aldığımız ölçümlere göre örnekleme alanında yaşayan bireylerin yıllık aldıkları efektif doz da $0,27 - 1,96 \text{ mSv/yıl}$ arasında değişmektedir. Ortalama değer ise $0,87 \text{ mSv/yıl}$ dır. Kütahya ilinde yaptığımız bu deneysel çalışmada aldığımız sonuçlara göre dedektör yerleştirilen evlerde yaşayan bireylerin yıllık aldığı efektif dozlar izin verilen limit değerinin altında çıkmıştır. Buna göre evlerde yaşayan bireylerin radondan aldıkları radyasyon miktarı zararlı seviyede değildir.

Bu çalışmadaki amacımız Kütahya ili radon seviyesini ölçmektir ve bu sayede Kütahya da yaşayan insanların radon gazı açısından bir risk altında olup olmadığını belirlemektir.

100 örnekleme noktasından elde edilen ortalama radon konsantrasyonu 131 Bq/m^3 olup, insan sağlığı açısından bir risk taşımamaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, Radon Kirliliği, 1.Baskı Ankara
- [2] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK, <http://www.taek.gov.tr>. Erişim Tarihi 27.03.2010
- [3] <http://www.bilgilik.com> Erişim Tarihi : 20.05.2010
- [4] http://www.fizik.sakarya.edu.tr/MehmetB/Saglik_fizigi/saglik.htm#radyoaktivite. Erişim Tarihi : 21.05.2010
- [5] Cember, H., 1996, Introduction to Health Physics, Third Edition, 733 p.
- [6] Joseph Magill and Jean Galy, 2004, Radioactivity Radionuclides Radiation, Springer, 19-31
- [7] <http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers/06.pdf> Erişim Tarihi: 10.05.2010
- [8] <http://www.doh.wa.gov/ehp/rp/factsheets/factsheets-htm/fs10bkvsman.htm> Erişim Tarihi: 10.05.2010
- [9] Unscear 2000 Report Vol. I, Annex B, Dose assessment methodologies Erişim Tarihi: 10.01.2009
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_series Erişim Tarihi : 05.05.2010
- [11] <http://www.csupomona.edu/~pbsiegel/www/decaychain/U238>. Erişim Tarihi: 04.05.2010
- [12] <http://www.csupomona.edu/~pbsiegel/www/decaychain/Th232.html> Erişim Tarihi: 04.05.2010
- [13] <http://www.csupomona.edu/~pbsiegel/www/decaychain/U235.html> Erişim Tarihi : 04.05.2010
- [14] Harrison, J.D. and Muirhead, C.R., Quantitative comparisons of cancer induction in humans by internally deposited radionuclides and external radiation, Int. j. radiat. biol 2003, vol. 79, no. 1, 1-13
- [15] <http://www.bilgilik.com/bilim/maden-ve-elementler/radyum.html> Erişim Tarihi: 18.05.2010
- [16] <http://www.populermedikal.com>. Erişim Tarihi: 14.05.2010
- [17] Sources and effects of ionizing radiation : UNSCEAR 1993
- [18] Sciocchetti, G., 1992. Indoor radon and thoron survey in high radioactivity areas of Italy. Radiation protection dosimetry, 45, 509-513.
- [19] Amrani, D. and Belgaid, M. Some Investigations and Use of LR-115 track detectors for Radon Measurements, Radiation Physics and Chemistry 61(2001) 639-641 p.
- [20] 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.

KAYNAKÇA (devam)

- [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
- [25] M. Mıhçı, yüksek lisans tezi,2008, Sivas Merkez Yerleşiminde Radon Gazı Dağılımının Belirlenmesi ve Türkiye’de Yapılaşma Öncesi Radon Gazı Ölçümüne Yönelik Yönetmelik Taslağı Hazırlanması, Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
- [26] A.Çoşkun, yüksek lisans tezi, 2008, Antalya İlinde Bazı Toplu Çalışma Alanlarındaki İç Hava Kalitesi Üzerine Bir Araştırma, Sakarya Üniversitesi Makina Eğitimi
- [27] H.Akyıldırım,yüksek lisans tezi, ISPARTA 2005, Isparta İlinde Radon Yoğunluğu Ölçülmesi ve Haritalandırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümü
- [28] Yamasaki, T. and Iida, T., 1995. Measurements of Thoron Progeny Concentration Using a Potential Alpha-Energy Monitör in Japan. Health Phys., 68(6), 840-4.
- [29] Yu KN: Chan TF; Young EC, 1995. The Variation of Radon Exhalation Rates from Building Surfaces of Different Ages, Health Phys. 68(5), 716-8.
- [30] N. Çelebi, “Konutlarda Radon Konsantrasyon Değerlerinin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi”, VIII.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TESKON, İzmir, Y.No:E/2007/436, s.397-492, 25-28 Ekim 2007.
- [31] TAEK, “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği”, 24.03.2000, R.G.sayı: 23999, mad. 37.
- [32] Zmazek, B., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupoti, J., Kobal, I.,2003. Application of Decision Trees to the Analysis of Soil Radon Data for Earth - quake Prediction, Applied Radiation and Isotopes, 56, 697-706.
- [33] Harley, N. H. and Harley, J. H. 1990. Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure. Ca, A Cancer Journal for Clinician. 40 (5), 265-275.
- [34] Yaprak, G., 1999, Indoor 222Rn concentrations in The Vicinity of a Turkish Coal-Fired Power Plant. Journal of Environmental, Radioactivity 46, 131-135.
- [35] Unscear 2000 Report Vol. I, Annex B: Exposures From Natural Radiation Sources
- [36] Unscear 2000 Report Vol. I, Annex B, Dose assessment methodologies
- [37] Çelebi, N. (1995) Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER**EK 1****EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI
BİLGİ FORMU**

Lütfen bu kısmı boş bırakınız

Araştırma yapılan dedektör no:.....

Radon dedektörünün eve Konuş Tarihi:.....Alınış Tarihi:.....

Görüşmenin yapıldığı tarih :.....

Lütfen bu kısmı doldurunuz**Radon ölçüm talebinde bulunanın:**

Adı Soyadı:.....

Telefon No:..... Cep Telefon:.....

Detektör Konacak Evin Adresi:
.....
.**Lütfen Radon ölçümü yapılacak olan bağımsız bölümün (evin) ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.****1. Evin tipi:**

- ☐ Apartman bodrumlu ☐ Apartman bodrumsuz Kaçınca Kat:.....
☐ Müstakil bodrumlu ☐ Müstakil bodrumsuz

2. Evin yapıldığı yıl:

- ☐ 1900'dan önce ☐ 1900-1949 ☐ 1950- 1969
☐ 1970-1979 ☐ 1980-1989 ☐ 1990- 2000 ☐ 2000+

3.Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:

- Taban : ☐ Toprak ☐ Beton ☐ Ahşap
 Tavan : ☐ Beton ☐ Ahşap ☐ Diğer
 Duvarlar : ☐ Beton ☐ Tuğla ☐ Ahşap ☐ Taş ☐
 Diğer.....

4. Pencereilerin durumu:

- ☐ Pencereiler tek camlı ısı yalıtımı iyi ☐ Pencereiler tek camlı ısı yalıtımı zayıf
☐ Pencereiler çift camlı ısı yalıtımı iyi ☐ Pencereiler çift camlı ısı yalıtımı zayıf

6. Havalandırma sistemi:

- ☐ Doğal havalandırma ☐ Cihaz ile havalandırma

7. Havalandırma durumu:

- ☐ İyi havalanıyor ☐ Az havalanıyor ☐ Hiç havalanmıyor

8. Kışın ısıtma sistemi:

- ☐ Kalorifer ☐ Kömür sobası ☐ Tüp gaz ☐ Diğer.....

9.Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.

- (a) Evin kullanım alanım² (b) Oda sayısıadet. (c) Oturma salonunun alanı.....m²

10. Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?

- ☐ 5 yıldan az ☐ 5-10 yıl ☐ 10-20 yıl ☐ 20-30 yıl ☐ 30-40 yıl ☐ 40 yıldan fazla

11. Evde yaşayanların yaşı, cinsiyet, mesleği ve sigara içme alışkanlıkları:

Yaş	Cinsiyet (K) (E)	Meslek	Sigara içme alışkanlığı Var (+) Yok(-)

Bu evde yaşayanlardan hiç **Akciğer Kanseri** veya **Lösemi** olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu? Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.

	Yaşı, Cinsiyeti (K)(E)	Yıl	Kanser Cinsi
☐ Öldü			
☐ Hasta			
☐ Öldü			
☐ Hasta			

EK 2 Kalibrasyon Faktörünün Hesaplanması

Süre	iz sayısı(1)	iz sayısı(2)	Arkaplan iz sayısı
1. gün iz sayısı	525	973	40
2. gün iz sayısı	865	1387	40
3. gün iz sayısı	1340	2039	40

$$C_F = \frac{X/h}{3,2(kBq/m^3)}$$

C_F = Kalibrasyon faktörü

h = Radona maruz kalma süresi(saat)

X = Radon odasına yerleştirilen dedektörlerde sayılan birim alan başına iz sayısı (iz / cm^2)

İz sayısı (1) e göre kalibrasyon faktörü

$$\text{birinci gün } \frac{X}{h} = \frac{485/2,25}{24} = 8,98 \text{ iz/saat} \times cm^2$$

$$\text{ikinci gün } \frac{X}{h} = \frac{825/2,25}{48} = 7,64 \text{ iz/saat} \times cm^2$$

$$\text{üçüncü gün } \frac{X}{h} = \frac{1300/2,25}{72} = 8,02 \text{ iz/saat} \times cm^2$$

$$\text{ortalama iz sayısı} = 8,22 \text{ iz/saat} \times cm^2$$

$$C_F = \frac{8,22}{3,2} = 2,57 \frac{iz \times m^2}{kBq \times h \times cm^2}$$

Aynı işlemleri iz sayısı (2) içinde yaptığımızda kalibrasyon faktörü

$$C_F = 4,38 \frac{iz \times m^2}{kBq \times h \times cm^2}$$

Bulduğumuz bu iki kalibrasyon faktörünün ortalamasını aldığımızda kullandığımız kalibrasyon faktörü bulunmuş olur.

$$C_F = 3,475759 \frac{iz \times m^2}{kBq \times h \times cm^2}$$

Kalibrasyon faktörünün birim analizini yaptığımızda aşağıda verilen sonuca ulaşılmış olur.

$$C_F = \frac{iz \times m^3}{kBq \times h \times cm^2}$$