

T.C
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**NİĞDE İLİNDE BULUNAN TARİHİ MEKANLARDAKİ RADON GAZI
ÖLÇÜMLERİ**

Vakkas BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi

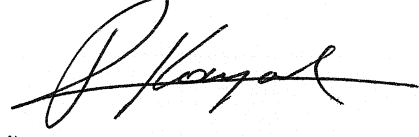
Danışman: Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Ağustos 2008

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK danışmanlığında **Vakkas BOZKURT** tarafından hazırlanan “**Niğde İlinde Bulunan Tarihi Mekanlardaki Radon Gazı Ölçümleri**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

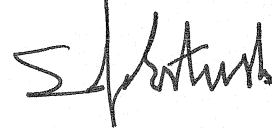
Başkan : Prof. Dr. Refik KAYALI

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Niğde Üniversitesi)



Üye : Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Niğde Üniversitesi)



Üye :Yrd. Doç. Dr. Ali GÜRTEN

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Niğde Üniversitesi)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20.... Tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../200..

Prof. Dr. Meysun İBRAHİM

Enstitü Müdürü

ÖZET

NİĞDE İLİNDE BULUNAN TARİHİ MEKANLARDAKİ RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ

BOZKURT, Vakkas

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Ağustos 2008, 67 Sayfa

Yapılan bu çalışma ile Niğde İlinde bulunan Sungur Bey Camii, Alaeddin Camii, Dışarı Camii ve Ak Medrese tarihi mekanlarında Radon gazı ölçümleri yapılarak bu yerlerde sürekli yaşayan, çalışan ve ziyaret eden insanların ne kadarlık radon konsantrasyonuna maruz kaldıkları belirlenmiştir.

Radon gazı ölçümleri için CR-39 nükleer iz dedektörleri belirlenen yerlere 63 gün zaman aralığında yerleştirilmiş olup daha sonra bu dedektörler laboratuara gönderilip ortamdaki radon konsantrasyonları tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radon, Rn Yoğunluğu

SUMMARY

RADON GAS MEASUREMENT AT HISTORICAL PLACES IN NIGDE CITY

BOZKURT, Vakkas

Nigde University
The Institute of Science and Engineering
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Sefa ERTURK

August 2008, 67 Pages

In this study, we have measured the radon gaseous at Sungur Bey mosque, Alaeddin mosque, Dışarı mosque and Ak Medrese in historical places in Nigde and try to determine how much radon concentration effects people who are working or visiting these places.

In order to measure the Radon gaseous in these places, we have used CR-39 Nuclear trace detector. We have done our measurement on 63 days period and then we have sent our data to laboratory, finally we have analyzed these results in this thesis.

Key words : Radon, Rn concentration

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamasında ve çalışmalarım boyunca değerli bilgileri ile beni yönlendiren, hiçbir konuda yardımını esirgemeyen ve her an desteğini hissettiğim tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sefa ERTÜRK başta olmak üzere, Fizik Bölümüne başladığımdan bu güne kadar kendisinden çok şey öğrendiğim sınırsız destek ve yardımlarını gördüğüm Bölüm Başkanım Sayın Prof. Dr. Refik Kayalı' ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen tüm aile bireylerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu çalışma Niğde Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Biriminin FEB 2007/012 Nolu projesiyle desteklenmiştir. Bu nedenle N.Ü. Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Birimine teşekkür ederim.

Dedektörlerin yerleştirilmesi noktasında yardımlarını esirgemeyen Niğde Valiliği ve Niğde İl Müftülüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON.....	3
2.2 Radyoaktif Bozunmayla İlgili Temel Kavramlar Bozunma (Parçalanma) Sabiti ve Hızı (Aktiflik).....	5
2.3 Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü.....	6
2.4 Radyoaktif Bozunma Serileri.....	7
2.5 Geçici Denge.....	10
2.6 Sürekli Denge.....	10
2.7 Radyoaktif Bozunma Çeşitleri.....	10
2.7.1 Alfa (α) Bozunması ve Özellikleri.....	11
2.7.2 Beta (β) Bozunması ve Özellikleri.....	12
2.7.3 Gama (γ) Bozunması ve Özellikleri.....	14
BÖLÜM 3 RADYASYON.....	16
3.2 İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Madde ile Etkileşimleri.....	17
3.3 Aktivite Ve Radyasyon Birimleri.....	20
3.4 Aktivite Birimleri.....	21
3.5 Radyasyon Birimleri.....	22
3.6 Radyasyon Kaynakları.....	24
3.7 Doğal radyasyon kaynakları.....	25
3.8 Yapay Radyasyon Kaynakları.....	27
3.9 Radyasyonun Ölçüm Yöntemleri.....	29
3.10 Gaz Dolu Dedektörler.....	30
3.11 İyon Odalı Dedektörler.....	30
3.12 Orantılı Savaşlar.....	31

3.13 Geiger Mueller Dedektörleri.....	31
3.14 Yarıiletken Detektörler.....	32
3.15 Sintilasyon Dedektörleri.....	32
BÖLÜM 4 RADON GAZI ve DOĞAL RADON DÜZEYLERİ.....	34
4.1 Radon'un Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	36
4.2 Radon' un Bozunma Ürünleri.....	38
4.3 Yeryüzünde Doğal Radon Düzeyleri.....	39
4.4 Havdaki Doğal Radon Düzeyleri.....	40
4.5 Evlerde Radon Düzeyleri.....	41
4.6 Binalarda radon.....	42
4.6.1 Binalarda Radon Girişleri.....	43
4.6.2 Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Belirleyen Unsurlar.....	44
4.7 Radon Konsantrasyon Limitleri.....	45
4.8 Radon Gazı İle İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler.....	46
4.9 Radyasyonun Sağlık Üzerine Etkileri.....	47
4.10 Radon Gazı ve Akciğer Kanseri Arasındaki İlişki.....	48
BÖLÜM 5 NİĞDE İLİNDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ YAPILAN YERLERİN	49
TANITILMASI.....	
5.1 Sungur Bey Camii.....	49
5.2 Alaeddin Camii.....	49
5.3 Dışarı Camii.....	49
5.4 Ak Medrese.....	50
BÖLÜM 6 RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE SONUÇLARIN	51
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	
6.1 CR-39 Radon Algılayıcıların Kalibrasyonu.....	51
6.2 Sayım İşlemi.....	52
6.3 DEDEKTÖR YERLEŞTİRME NOKTALARI.....	54
6.3.1 Sungur bey camii dedektör yerleştirme noktaları.....	54
6.3.2 Alaeddin camii dedektör yerleştirme noktaları.....	55
6.3.3 Dışarı camii dedektör yerleştirme noktaları.....	55
6.3.4 Ak Medrese.....	56
6.4 ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	57
6.4.1 Sungur Bey camii radon ölçüm sonuçları.....	57

6.4.2 Alaeddin camii ölçüm sonuçları.....	57
6.4.3 Dışarı camii radon ölçüm sonuçları.....	58
6.4.4 Ak Medrese radon gazı ölçüm sonuçları.....	58
6.5 DOZ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
6.5.1 Sungur Bey camii	60
6.5.2 Alaeddin camii	60
6.5.3 Dışarı camii.....	61
6.5.4 Ak Medrese için doz değeri.....	61
BÖLÜM 7 SONUÇ.....	62
BÖLÜM 8 KAYANLAR.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Özellikleri.....	17
Çizelge 3.2	SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri.....	24
Çizelge 3.3	Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları.....	25
Çizelge 3.4	Kozmik Işınlardan Bir Saatte Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliğe Göre Değişimi.....	26
Çizelge 3.5	Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri.....	27
Çizelge 3.6	Bazı Bölgelerde Doğal Radyasyon Düzeyleri.....	27
Çizelge 3.7	Yapay Radyasyon Kaynakları.....	28
Çizelge 3.8	Doğal ve Yapay Radyasyonun Kaynaklara Göre Dağılımı.....	28
Çizelge 4.1	Uranyum Bozunma Zinciri.....	36
Çizelge 4.2	Rn elementinin Periyodik Tablodaki Yeri.....	37
Çizelge 4.3	²²² Rn, ²²⁰ Rn 'nin Bozunma Zinciri.....	38
Çizelge 4.4	Radon ve Ürünlerinin Karakteristik Özellikleri.....	39
Çizelge 4.5	Toprak Düzeyinde Havadaki Ortalama Radon Konsantrasyonları.....	40
Çizelge 4.6	Bazı Yapı Malzemelerinin Ortalama Rn Yoğunlukları.....	43
Çizelge 4.7	Dünyanın Bazı Bölgelerindeki Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonları.....	44
Çizelge 4.8	İstanbul'un Bazı Semtlerinde Yapılan Ölçümlerin Sonuçları.....	45
Çizelge 4.9	Radon Konsantrasyon Limitleri.....	46
Çizelge 6.1	Sungur Bey Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları	54
Çizelge 6.2	Alaeddin Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları.....	55
Çizelge 6.3	Dışarı Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları.....	56
Çizelge 6.4	Ak Medrese Dedektör Yerleştirme Noktaları.....	56
Çizelge 6.5	Sungur Bey Camii Radon Gazı Ölçüm Sonuçları.....	57
Çizelge 6.6	Alaeddin Camii Radon Gazı Ölçüm Sonuçları.....	58
Çizelge 6.7	Dışarı Camii Radon Gazı Ölçüm Sonuçları.....	58
Çizelge 6.8	Ak Medrese Radon Gazı Ölçüm Sonuçları.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Nötron Sayısına Karşılık Proton Sayısı Grafiği.....	4
Şekil 2.2	Ardışık Bozunma Grafiği.....	9
Şekil 2.3	Alfa Bozunumu.....	12
Şekil 2.4	Beta Bozunumu.....	13
Şekil 2.5	Alfa, Beta, Gama ve Nötronların Etki Uzaklıkları.....	14
Şekil 4.1	Radon Gazının Binalara Giriş Noktaları.....	43
Şekil 4.2	Radon Gazının Havalandırmayla Olan Değişimi.....	47
Şekil 6.1	CR-39' un Yerleştirildiği Soket.....	52
Şekil 6.2	Radon Dedektörleri Üzerindeki Alfa İzlerinin analizinde Kullanılan Görüntü İzleme Seti.....	53
Şekil 6.3	Sungur Bey Camisinde Sütun Üzerine Yerleştirilen Örnek Dedektör.....	54
Şekil 6.4	Alaeddin Camisinde Pencere Kenarına Yerleştirilen Örnek Dedektör....	55
Şekil 6.5	Dışarı Camisinde Minberde Bulunan Dedektör Yeri.....	56
Şekil 6.6	Ak Medrese Kolon Üzerine Yerleştirilen Örnek Dedektör Yeri.....	57

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

Rn	Radon
Sv	Sievert
Bq	Becquerel
U	Uranyum
Ra	Radyum
eV	Elektron Volt
Ci	Curie
R	Röntgen
Gy	Gray
$T_{1/2}$	Yarılanma Süresi
Rad	Radiation Absorbed Dose
Rem	Roentgen Equivalent Man
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee On The Effects of Radiation Commission on Radiological Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
SI	System International
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
LET	Lineer Enerji Transferi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bütün canlılar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ve bunlara ek olarak da yapay kaynaklardan yayınlanan radyasyonla birlikte yaşamaktadır. İnsanlar yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 2.5 mili Sivert (mSv) yıllık doza maruz kalmaktadırlar. Bu dozun % 20'si yeryüzü, %12' si su ve yiyecek, %18' i kozmik ışın ve %50' si de radon gazı kaynaklı radyasyondan ileri gelmektedir [1].

Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun nerdeyse % 50'si Radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv' dir. 1980' li yılların ortalarından itibaren Radonun her yerde bulunduğu bilgisinin yayılması, radyasyon konusuna yeni bir bakış açısı getirmiştir ve bu tarihten itibaren de özellikle kapalı ortamlarda Radon yoğunluğunun ölçülmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır.

Radon, renksiz, gözle görülmez, tatsız, kokusuz ve radyoaktif bir gazdır. İnsan hayatında maruz kalınan doğal radyasyonun neredeyse yarısını oluşturan Radon, 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn tarafından, bozunma ürünü olarak yaydığı alfa parçacığı sayesinde keşfedilmiştir. Radon, Uranyumun ($^{232}_{92}U$) radyoaktif bozunma zinciri içerisinde ve kendisinden önce gelen Radyum ($^{226}_{88}Ra$)' un bir alfa vererek bozunması sonucu ortaya çıkmaktadır. Radon bir seri bozunma ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünleri üretir. Bu radyoaktif maddeler Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotoplarıdır. Bu ürünlerin radondan farkı, gaz halinde olmamalarıdır. Bu izotoplar havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadırlar. Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Solunum sistemindeki radyasyon dozu, solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır.

Yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri nedeniyle radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğu görülmüştür. NRPB (The National Radiological Protection Board), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının sigara içmeyenlerden 5000'ini ve sigara içenlerden ise 15000'ini, International Commission on Radiological Protection (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadır. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir [2].

Uluslararası Radyasyondan Koruma Komitesi, radona maruz kalma konusunda 'Evde ve İşyerlerinde ^{222}Rn ' ye Karşı Korunma' konusunda 65 Nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak limit değerler tavsiye edilmiştir. Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında olması önerilmiştir [3]. Türkiye'de TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) 'Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği' nde izin verilen radon konsantrasyonu yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bq/m³, iş yerlerinde ise 1000 Bq/m³ değerini aşmayacağını belirtmiştir [4].

Bu çalışmada Niğde ilinde bulunan Sungur Bey camii, Dışarı camii, Alaeddin camii ve Ak Medrese yerlerinde radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Radon ve ürünleri çeşitli yöntemler kullanılarak ölçülebilir. Her yöntemin kendine özgü bir özelliği olmakla birlikte, radon yoğunluğu, radon ürünlerinin yoğunluğu, oluşan radyasyon türleri (alfa, beta, gama parçacıkları gibi) göz önüne alınması gereken önemli faktörlerdir. Bu çalışmada radon konsantrasyonu, pasif yöntem denilen plastik esaslı nükleer iz dedektörleri kullanılarak yapılacaktır. Radon gazı ölçümleri için CR-39 (polikarbonat yapıda 500 mikron kalınlığında) filmler örnek noktaları seçilen yerlere yerleştirilecektir. Film belirli sürelerde burada bekletilip daha sonra laboratuara gönderilip ortamdaki radon konsantrasyonları tespit edilecektir.

BÖLÜM 2

2.1 RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON

Çekirdek fiziğinde önemli gelişmelere yol açan radyoaktivite 1896 yılında Fransız fizikçi Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Radyoaktivite ya da radyoaktif bozunma, enerji fazlalığı olan kararsız atom çekirdeklerinin bir parçacık veya ışın çıkararak daha kararlı başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır [5]. Her atomun çekirdeği kararsız değildir, yani radyoaktivite çekirdek için ayırt edici fiziksel bir özelliktir. Kararsız olan çekirdekler alfa (α), beta (β) ve gama (γ) gibi yüksek enerjili parçacıklar salarak kararlı hale gelirler. α parçacıkları iki nötron ve iki protonlu Helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdekleridir. β parçacıkları yüksek enerjili elektronlardır. Bazı radyoaktif süreçlerde elektronların karşıt parçacıkları olan pozitron (β^+) adı verilen ürünler ortaya çıkmaktadır. γ ise bilinen şekliyle fotonlardır ve oldukça yüksek enerjilidirler.

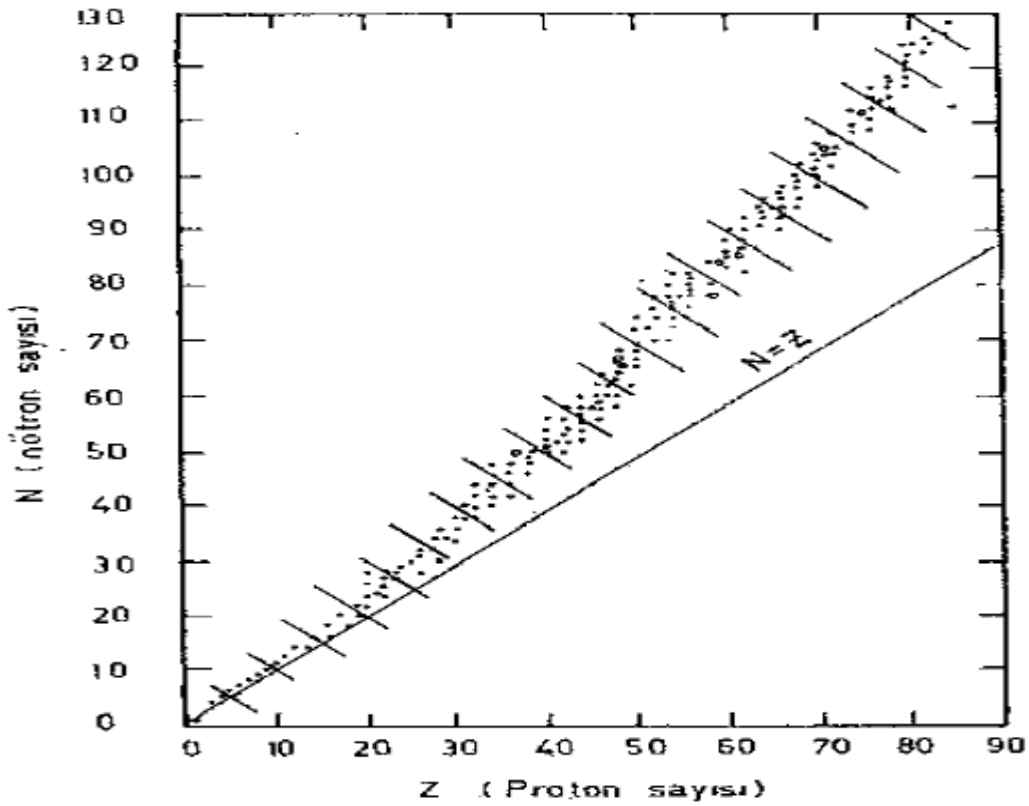
Bozunuma uğrayan radyoizotop, doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik denir. Doğal radyoaktivite, uranyum ve toryum içeren doğal minerallerin radyoaktif bozunmaları sonucu oluşmaktadır. Dünyanın yaşı mertebesinde yarı ömre sahip olan bu bozunumlar geçmişten günümüze uzanarak radyoaktif zincirler oluştururlar. ${}^{235}\text{U}$ ve ${}^{238}\text{U}$ doğal çekirdeklerin son derece uzun yarı ömürleri olmasaydı bugün doğada hiçbir uranyum olmayacak ve büyük olasılıkla nükleer sektör ya da nükleer silah olmayacaktı [6].

Doğal olarak bulunan radyoaktifliğe ek olarak laboratuvarlarda nükleer reaksiyonlar vasıtasıyla da radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. Bu ilk olarak 1934 yılında Irene Curie ve Pierre Joliot tarafından, polonyumun doğal radyoaktif bozunmasından çıkan alfa parçacıkları ile alüminyumun bombardıman edilmesiyle gerçekleştirilmiş olup reaksiyon sonucu üretilen izotop 2.5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlarak bozunmaktadır [6]. Radyoaktifliğin yapay olarak oluşturulduğu bu çalışma ile Joliot, Curie ve ekibi 1935'te Kimya dalında Nobel ödülünü kazanmışlardır.

Radyoaktivitenin atom çekirdeğinin kararlılığı ve kararsızlığı ile ilişkili olduğu açıktır. Bir atomun çekirdeğinin çekirdek fiziği açısından temel yapı taşları nükleon adı verilen,

doğadaki temel yük birimi olan +e yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardır (n). Çekirdek içerisinde nükleonlar çeşitli etkileşmeler sonucunda bir arada bulunurlar. Kütle çekim etkileşmesi, çekirdek boyutlarındaki etkisi ihmal edilebilir mertebededir. Protonları bir arada tutan güçlü etkileşme yine sadece protonlar arasında olan elektromanyetik etkileşme ve radyoaktiviteden sorumlu olan zayıf etkileşme, çekirdek içerisindeki etkileşme türleridir. Atom çekirdeğinde nötronların varlığı dengeyi artırmaktadır. Bazı çekirdeklere özgü kararlılık (nötron sayısı/proton sayısı) yani N/Z değerine bağlıdır.

Şekil 2.1’ de görülen bazı çekirdeklerin nötron ve proton sayılarına göre dağılımı verilmiştir. Kararlılık eğrisi ve civarındaki dar kararlılık bölgesi $N=Z$ olan hafif çekirdekleri temsil ederken ağır çekirdeklere gidildikçe $N/Z > 1$ olmaktadır. Kararlı en ağır çekirdek $^{209}_{83}Bi$ için bu oran yaklaşık 1.5’ tir. $N/Z > 1.5$ olan diğer tüm çekirdekler ise kararsızdır. Kararlı çekirdeklerin toplam sayısı 300 kadardır ve bunlardan 40 tanesi doğaldır. Bilinen 274 kararlı izotoptan 162 tanesinin proton ve nötron sayıları eşittir.



Şekil 2.1 Nötron Sayısına Karşılık Proton Sayısı Grafiği

2.2 Radyoaktif Bozunmayla İlgili Temel Kavramlar Bozunma (Parçalanma) Sabiti ve Hızı (Aktiflik)

Fiziksel açıdan bir radyoaktif numune içindeki herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilmek imkânsızdır. Radyoaktif bozunma zamana göre gelişigüzel ve rasgele gerçekleşir ancak istatistik ve de olasılık kuramları çerçevesinde bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım tek tek çekirdeklerle ilgilenmek değil zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak adlandırılır ve genellikle λ ile gösterilir. Radyoaktivitenin sönüm yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir.

λ radyoaktif çekirdekler için ayırt edici bir özelliktir. Mesela Radon için değeri $\lambda = 0,0075$ bozunum / saat = $0,000125$ bozunum / dakika'dır.

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı ve aktivitesi olarak tanımlanır. Eğer herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa sonsuz küçük dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (2.2.1)$$

Denklemdaki eksi işareti çekirdek sayısının zamanla azaldığını ifade eder. Yukarıdaki diferansiyel denklem çözülerek üstel radyoaktif bozunma yasası elde edilir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \rightarrow \int \frac{dN(t)}{dt} = - \int \lambda dt \rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2.2)$$

Denklemda t zamanı, $N(t)$ t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N_0 başlangıçtaki ($t=0$ iken) çekirdek sayısını ve λ radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir ve birimi s^{-1} dir.

Bozunma yasası denkleminin her iki tarafı λ ile çarpılırsa yukarıda bahsedilen aktivite için bir ifade bulunur.

$$\lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2.3)$$

İfadedeki $N\lambda$ ' ya numunenin bozunma hızı denir ve birimi bozunma/saniye' dir.

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3.4)$$

Burada $I (=N\lambda)$ t anındaki ve $I_0 (=N_0\lambda)$ da $t=0$ anındaki bozunma hızlarıdır.

2.3 Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bozunma yasasını ifade eden (2.3.4) denklemi herhangi bir t anında bozunmadan kalabilen çekirdek sayısını verir. Kuramsal olarak bakıldığında numunedeki tüm çekirdeklerin bozunması için sonsuz zaman geçmesi gerekir. Yani ancak $t \rightarrow \infty$ için $N(t)=0$ olur. Bunun yerine radyoaktif maddenin ayırt edici bir özelliği olan yarı ömür kavramı kullanılır. Yarı ömür radyoaktif bir elementin başlangıçtaki çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçen zamandır. $T_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömrü bulmak için $N=N_0/2$ kullanırsak:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \quad , \quad e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.3.1)$$

Yarı ömür çekirdeğin kimyasal ve fiziksel etkilerle değişmeyen bir özelliğidir. Buradan bozunma kanununu $\lambda = 0,693/ T_{1/2}$ yazarak yeniden tanımlayabiliriz.

$$N = N_0 e^{\frac{0.693}{T_{1/2}} t} \quad (2.3.2)$$

Bilinen radyoaktif izotopların yarı ömürleri oldukça geniş bir aralıktadır. En kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} s ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 10^{17} yıl ile ^{204}Pb ' dir.

Eğer radyoaktif bozunmaya bir olasılık fenomeni olarak bakılırsa bozunma olasılık yoğunluğu fonksiyonu tanımlanabilir.

$$P(t)dt = \lambda e^{-\lambda t} dt$$

Çekirdeğin bir t ile t+dt zaman aralığındaki bozunma olasılığını veren yukarıdaki ifadeden radyoaktif bir çekirdeğin bozunması için geçen ortalama zamanı aşağıdaki ifadeyle hesaplanabilir.

$$T_{\text{ort}} = \int_0^{\infty} P(t) t dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad \rightarrow T_{\text{ort}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3.3)$$

2.4 Radyoaktif Bozunma Serileri

Doğal ve yapay radyoaktif izotoplarda bozunma ardışık bir şekilde meydana gelebilir. Ana çekirdeğin bozunmasıyla kız çekirdek ve kızın bozunmasıyla oluşan çekirdek torun çekirdek olarak adlandırılır. Bir radyoaktif seride ana çekirdek, kız ve torun çekirdeklerinkinden daha uzun bir yarı ömre sahiptir. Bu yüzden ana çekirdek sayısı uzun bir zaman değişmiyor kabul edilebilir. Yani ana çekirdek tarafından oluşturulan kız ürün çekirdek değişmeyen bir hızla oluşturulur. Kız çekirdek sayısının artması da birim zamandaki parçalanmayı, yani aktiviteyi yükseltir. Birim zamanda oluşan kız çekirdek sayısı aynı süre içerisinde bozunan ana çekirdek sayısına ulaştığında radyoaktif dengeye ulaşıldığı söylenir. Verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün atomların sayısının hesaplanması için şu aşamalara bakılır; Herhangi bir t_1 anında, λ_1 katsayısı ile ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementinin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma katsayısı ile bir elemente bozunacaklardır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise N_3 olsun. Ek olarak $t=0$ iken $N_1=N_{10}$, $N_2=N_{20}=N_3=N_{30}=0$ olsun. Bu durumda aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.4.1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.4.2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (2.4.3)$$

(2.4.1) eşitliği N_1 in bozunma hızı,

(2.4.2) eşitliği N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla bozduklarını göstermektedir.

(2.4.3) eşitliğinden N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir.

(2.4.1) denkleminin $t=0$ da $N_1=N_{10}$ şartıyla integrali alınır;

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.4.4)$$

Bu değer (2.4.2) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (2.4.5)$$

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.4.6)$$

Denklem (2.4.5) in her iki tarafını $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılırsa

$$\frac{d}{dt}(N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (2.4.7)$$

Buradan ürün çekirdeğin t anındaki sayısı;

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{\lambda_2 t}) \quad (2.4.8)$$

N_3 için (2.4.3) eşitliğinde N_2 yerine yazılırsa;

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Her iki tarafın integrali alınır

$$\int dN_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left[\int_0^t e^{-\lambda_1 t} dt - \int_0^t e^{-\lambda_2 t} dt \right]$$

$$N_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left(-\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{1}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \right)$$

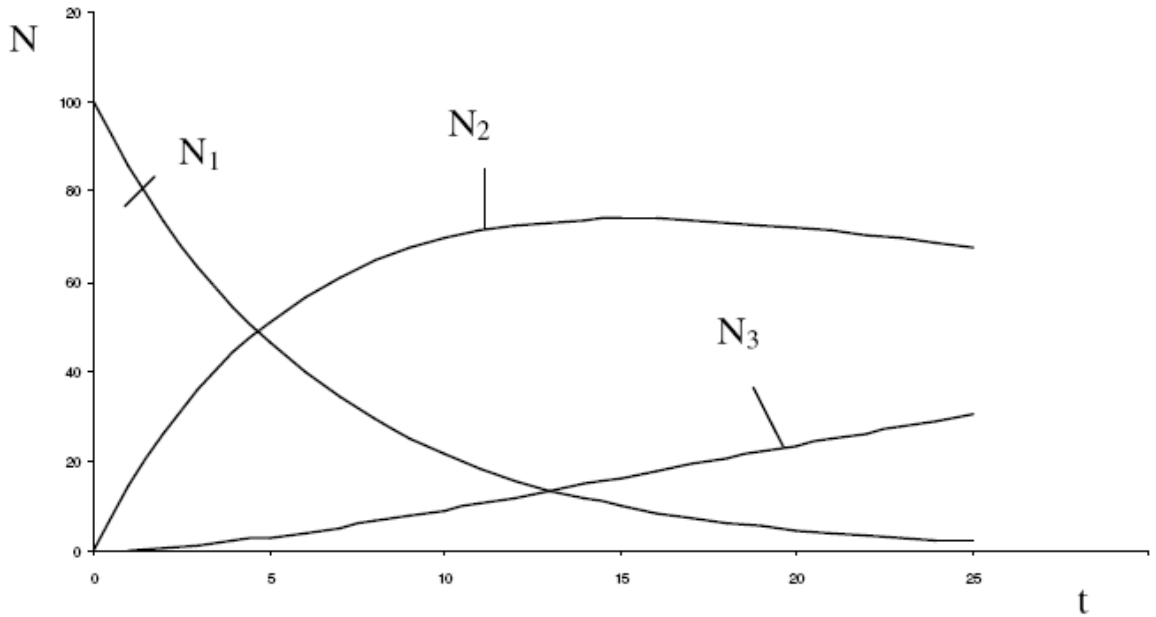
$$N_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \left(-\frac{1}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{1}{\lambda_1} e^0 + \frac{1}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} - \frac{1}{\lambda_2} e^0 \right)$$

$$N_3 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}$$

$$N_3 = N_{10} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + 1 \right)$$

$$N_3 = N_{10} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + 1 \right) \quad (2.4.9)$$

(2.4.4), (2.4.8) ve (2.4.9) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan çekirdeklerin N_1, N_2, N_3 sayıları bulunabilir. Bunların zamanla değişimi aşağıdaki şekil 2.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Ardışık Bozunma Grafiği

2.5 Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}) \text{ eşitliği yardımıyla;}$$

$\lambda_2 \ll \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uygun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ ye göre ihmal edilebilir olacağından;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \text{ elde edilir.} \quad (2.4.10)$$

Bunun anlamı belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

2.6 Sürekli Denge

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t})$$

İfadesinde $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım;

$e^{-\lambda_2 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz.

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2.4.11)$$

t , birinci ürünün ortalama ömrüne göre çok büyükse yani $t \gg \frac{1}{\lambda_2}$ ise ürün çekirdeğin

miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda $\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2$ olacaktır.

λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu görülür.

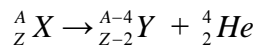
2.7 Radyoaktif Bozunma Çeşitleri

Bazı çekirdeklerin kararlı bir yapıya sahip olamayacak şekilde bir nötron ve proton düzenlenişine sahip olduklarını ve bu yüzden bu tip çekirdeklerin karasız ya da radyoaktif durumdan kararlı hale gelebilmek için bazı parçacıklar yayımladığını

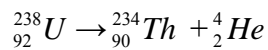
belirtmiştik. Bunların en önemli üç tanesi alfa, beta ve gamma radyasyonlarıdır. Alfa ve Beta bozunumlarında kararsız çekirdek kütle numarasına göre en kararlı izobara yaklaşır. Gama bozunmasında ise uyarılmış bir çekirdek durumundan taban durumuna geçilir. Bu üç radyasyon türü madde ile etkileşip iyonlaşmaya neden olduğu için iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılır.

2.7.1 Alfa (α) bozunması ve özellikleri

Alfa bozunması, kararsız bir atom çekirdeğinin iki proton ve iki nötrondan oluşan α parçacığının salınmasıyla oluşan bozunumdur. Alfa bozunumunun nedeni protonlar arasında Coulomb itme kuvvetidir. Alfa'nın bir Helyum çekirdeği olduğu Rutherford ve arkadaşları tarafından 1911'de bulunmuştur. Bozunma sonucunda oluşan ürün çekirdek ana çekirdekten iki birim daha küçük bir atom numarasına ve dört birim daha küçük bir kütle numarasına sahiptir. A çekirdeğinin kütle numarasını, Z ise atom numarasını göstermek üzere;



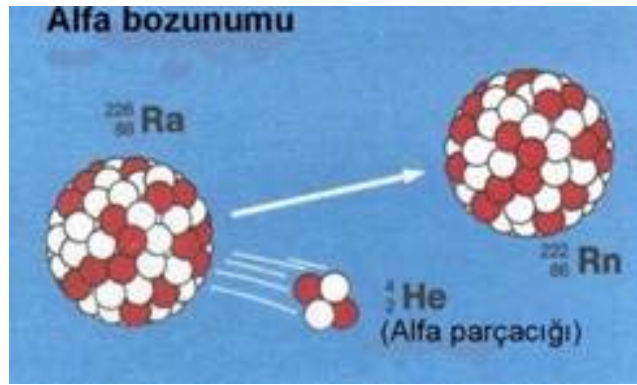
Çoğu α yayıcılar ağır çekirdeklerdir ve bunlar periyodik cetvelin sonundaki elementlere karşılık gelirler. Örnek olarak



bozunumu verilebilir. Kuramsal açıdan α bozunumunun $A > 150$ olan çekirdekler için geçerli olması gerekirken α yayıcı çekirdeklerin çoğu için $A > 200$ 'dür. Birkaç istisna dışında, daha hafif çekirdeklerin α bozunumu yarı ömürlerinin bu bozunum sürecini mümkün kılmayacak kadar uzun olduğu düşünülmektedir.

Alfa parçacıkları yüklü olduklarından içinden geçtikleri madde atomlarını iyonize ederler. Bu özellik α parçacıklarını, ya iyonizasyon miktarını ölçen (iyonizasyon odaları gibi) ya da iyonizasyonu görünür hale getiren (sis odaları gibi) cihazlar kullanarak gözlemlene yöntemlerini mümkün kılar.

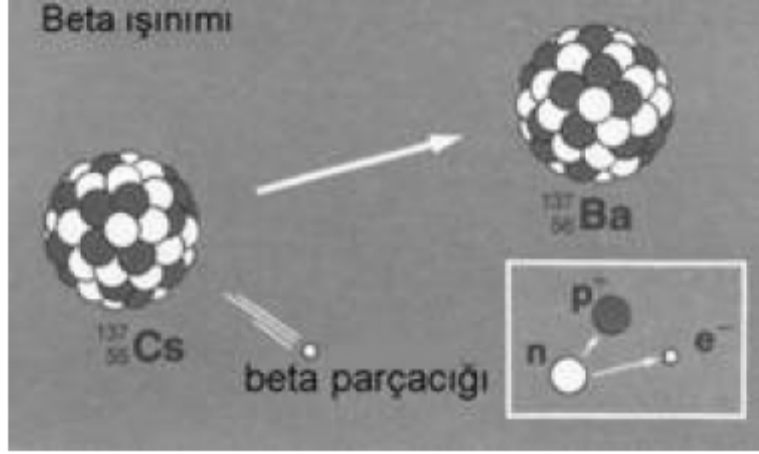
Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıklardaki maddelerle durdurmak mümkündür. Bunun nedeni diğer radyasyon çeşitlerine göre sahip oldukları büyük elektrik yükleridir. Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının bir madde içerisinde geçerken yolu üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini hızlı bir şekilde kaybetmelerine yol açar. Enerjilerini çabucak kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da çok kısa olacaktır. Bu yüzden normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler.



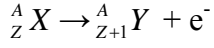
Şekil 2.3 Alfa Bozunumu

2.7.2 Beta (β) bozunması ve özellikleri

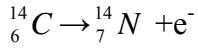
Radyoaktif çekirdekler tarafından salınan diğer bir parçacık türü de yüksek enerjili elektronlar olan β parçacıkları ya da β radyasyonudur. Elektronlarla (e^-) yük, spin, durgun kütle aynı özelliklere sahiptirler. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki ana çekirdek ile aynı kütle numarasına sahip olmasına rağmen yavru çekirdek bir birim daha büyük atom numarasına sahiptir. Yani β^- bozunmasında bir nötron bir protona dönüşmektedir.



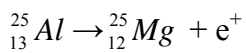
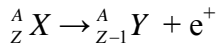
Şekil 2.4 Beta Bozunumu



Bu tür radyoaktiviteye örnek olarak ^{14}C izotopu verilebilir.

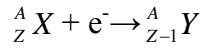


Yukarıdaki sürece ek olarak iki β bozunması şekli vardır. Birincisi β bozunumu veya pozitron bozunumudur. Pozitronlar elektronlarla aynı kütle ve spine sahip ancak pozitif elektrik yüklü olan parçacıklardır. Pozitron ilk olarak 1927 yılında P. A. M. Dirac tarafından kuramsal olarak öngörülmüş ve 1932 yılında da ilk kez C. Anderson tarafından kozmik ışınlarda gözlenmiştir. β^+ bozunmasında yavru çekirdeğin atom numarası (yükün korunumu kanunu gereğince) ana çekirdekten bir birim küçük; kütle numarası ise (nükleon korunumuna uyacak şekilde) ana çekirdekle aynıdır. Örnek olarak;

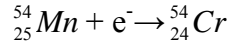


Beta bozunmasının ikinci türü ise elektron yakalaması olarak adlandırılan süreçtir. Bazen çekirdek pozitron salmak yerine en içteki kabuklardan elektron yakalar. Elektron

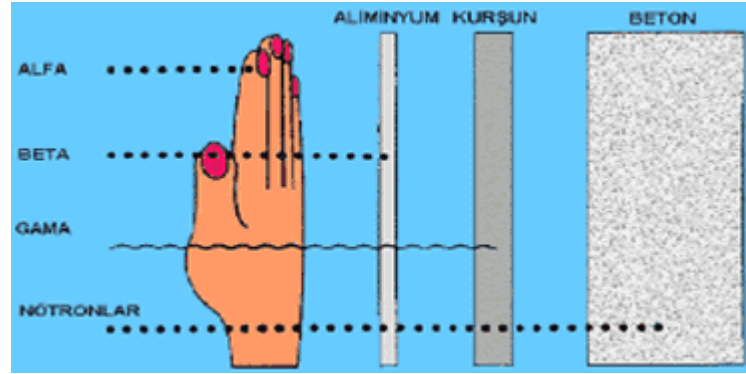
yakalaması (EC-Electron Capture) denilen süreç çekirdekteki bir protonun bir nötronla yer değiştirmesiyle sonuçlanır.



Örnek olarak Mn izotopunun Cr ye dönüşmesi;



Elektron yakalamasını, K kabuğundaki boşluğa dıştaki elektronlardan birisinin yerleşmesi sonucunda yavru çekirdekten yayımlanan X ışını takip eder.



Şekil 2.5 Alfa, Beta, Gama ve Nötronların Etki Uzaklıkları

2.7.3 Gama (γ) bozunması ve özellikleri

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 gama ışınımı oluşturur. Gama (γ) ışınları, tüm ışık türleri gibi elektromanyetik radyasyon sınıfına girer ve enerjileri tipik olarak 0.1MeV-10 MeV arasındadır ki bu da 10^4 fm-100 fm dalga boyu aralığı demektir.

Gama yayımlanması X-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayımlanmasına benzer. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma iki durum arasındaki fark kadar bir enerjiye sahip bir γ ışını (foton) yayımlayarak geçer. Yani dışarı

salınan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar bir enerji farkıyla. Gama yayınlanması uyarılmış bağlı durumları olan ($A > 5$) tüm çekirdeklerde gözlenir ve genellikle α ve β bozunumlarını izler. Bunun nedeni bozunmalarda ana çekirdeğin ürün çekirdeğin uyarılmış durumunda kalmasıdır. γ yayınlanmasının yarı ömrü çok kısadır ve genellikle bir nano saniyeden (10^{-9} s) daha küçüktür. Ancak saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanmaları da vardır. Bu geçişlere izomerik geçişler ve uzun ömürlü uyarılmış durumlara izomerik veya izomerler denir.

BÖLÜM 3

3.1 RADYASYON

Radyoaktif maddelerin üç tip radyasyon yaydığını daha önceki kısımlarda belirtmiştik. Bunlar pozitif yüklü alfa (α) parçacığı, kütleleri hafif ve elektriksel yükü olan beta (β) tanecikleri ve elektriksel alandan hiç etkilenmeden aynı doğrultuda giden yüksüz gama (γ) ışınlarıdır.

Radyasyonların ölçümleri için bunların madde ile temasa geçirilmeleri gerekir. Radyasyonlar maddeye çarpınca kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosforesans (herhangi bir şekilde uyarılmış bir yapının aniden görünür ışık salmasıdır) ve flüoresans (floresansa göre daha uzun boylu ışığın daha yavaş bir sürede salınmasıdır) gibi çeşitli olaylara sebep olur ve enerjilerini kaybederler. İşte bu özelliklerinden yararlanmak suretiyle radyasyonların ölçülmesini ve dedeksiyonunu sağlayan cihazlar yapılmıştır. Dedeksiyon ve ölçme cihazlarının bir grubu parçacıkların yüklerinden yararlanır. Fotoğraf metodu, Wilson sis odası metodu ve sintilasyon sayıcıları bu gruba girer. Bir ikinci grup ise yüklerin toplanması prensibinden yararlanır. İyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar ve Geiger Müler sayıcıları da bu gruba girerler.

Radyasyon bir maddenin içinden geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını etkileştiği ortamda kaybeder. Eğer gelen foton çarptığı atomun bir elektronunu söküp atarsa o atom iyonize olur. Negatif yüklü elektron atomdan ayrıldığı için atom pozitif yüklü iyon haline dönüşür. Bu durumda fırlayan elektron yüksek bir hıza sahiptir. Yolu üzerindeki başka atomlarla ikincil etkileşimler yaparak yeni iyonlaşmalara sebep olur. Böylece her etkileşimden sonra enerjisi giderek azalır. Şayet etkileşim ortamı yeterli yoğunlukta ise, ilk iyonize olan atomdan fırlayan elektron o ortam içinde soğurur.

Radyasyona hedef olan elektron, çarpmanın şiddetine göre bağlarından koparak serbest elektron haline geçebilir. Serbest kalan elektron ve onu kaybeden atom negatif ve pozitif elektrik yüklerine sahip bir iyon çifti oluştururlar. Bu olaya iyonlaşma, bu olayı meydana getiren radyasyon tiplerine iyonlaştırıcı radyasyon denir. Alfa, beta, gama ve

X-ışınları, elektronlar, nötronlar ve protonlar iyonlaştırıcı radyasyon grubuna girerler [7].

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ise, madde ile etkileşimlerinde iyonlaşma meydana getirmeyen radyasyonlardır. Bu gruba örnek olarak, kızılötesi (infrared) ve morötesi (ultraviolet) ışınları verilebilir [8].

Elektromanyetik radyasyonlar ise, dalga özelliği gösteren, ışık hızı ile hareket eden enerji paketlerinden oluşmuş radyasyonlardır. X-ışınları, gama ışınları, kızıl ötesi ve morötesi ışınları elektromanyetik radyasyon tipleridir [8].

Bu radyasyon tipleri arasında canlı dokular üzerinde biyolojik bozukluklara sebep olacak iyonlaştırıcı radyasyondur. Bu nedenle çeşitli türdeki iyonlaştırıcı radyasyonların özelliklerini ve bunların madde ile nasıl etkileştiğini bilmek, ortaya çıkabilecek olguların anlaşılması açısından önemlidir.

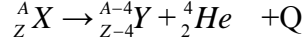
Çizelge 3.1 İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Özellikleri

Radyasyon Tipi	Yapısı	Kütlesi (a.k.b)	Ortalama Menzil	
			Havada	Dokuda
Alfa	2 proton ve 2 nötron	4	3 cm	0.04 mm
Beta	Elektron	1	3 m	5 mm
X ve gama ışınları	Elektromanyetik Enerji dalgaları	0	∞	∞
Nötronlar	Nötron	1	Çok geniş	Çok geniş

3.2 İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Madde ile Etkileşimleri

Radyasyonların madde ile etkileşimleri radyasyon tipine bağlı olarak farklı olabilmektedir. Bu yüzden, doğal radyoaktivitede sıkça karşılaşılan alfa, beta, ve gamma radyasyon tiplerinin iyi bilinmesi gerekir.

Alfa bozunumunda, kararsız durumdaki bir çekirdek, taban duruma geçmek için ${}^4_2\text{He}$ (α) çekirdeğini yayımlar. Bir alfa bozunumu reaksiyonu;



Q burada α bozunum enerjisi, X ana çekirdek, Y ürün çekirdektir. Alfa yayını bir Coulomb itme etkisidir ve çekirdeğin Z atom sayısı büyüdükçe Coulomb kuvvetleri daha hızlı artacağından ağır çekirdeklere bu etki daha baskındır. Alfa bozunumuna enerji ve momentum korunum ilkeleri uygulandığında

$$m_x c^2 = m_y c^2 + m_\alpha c^2 + T_y + T_\alpha \quad (3.1)$$

Veya

$$(m_x - m_y - m_\alpha) c^2 = T_y + T_\alpha \quad (3.2)$$

Q değeri olarak adlandırılan bu nicelik;

$$Q = (m_x - m_y - m_\alpha) c^2 \quad (3.3)$$

Eğer $Q > 0$ ise bozunma kendiliğinden gerçekleşir. Q değeri atomik kütle tablolarında hesaplanabilir. Çünkü denklem (3.3) bir nükleer reaksiyonu temsil etmesine rağmen, çıkarma işleminde elektron kütleleri birbirini götürür. Bu sorunu gidermek için kütleleri atomik kütle birimi (u) cinsinden, c^2 yi 931.502 MeV/u cinsinden ifade edersek Q değerleri MeV cinsinden elde ederiz.

Q değeri için (3.2) bağıntısında bozunma ürünlerine verilen toplam kinetik enerjiye eşittir:

$$Q = T_y + T_\alpha \quad (3.4)$$

Başlangıçtaki X çekirdeği durgun ise lineer momentum sıfırdır ve lineer momentumun korunumu, son momentumun sıfır olması için, Y ve α 'nın eşit veya zıt momentumlarla hareket etmesini gerektirir.

$$P_Y = P_\alpha \quad (3.5)$$

Alfa bozunumunda tipik olarak 5 MeV civarında enerji açığa çıkar. Böylece Y ve α için $T \ll mc^2$ dir. $T = P^2/2m$ yazılarak ve denklem (3.4) ve (3.5) kullanılarak α parçacıklarının kinetik enerjisi Q değeri cinsinden;

$$T_\alpha = \frac{Q}{1 + \frac{m_\alpha}{m_Y}} \quad (3.6)$$

Elde edilir [9].

Ağır çekirdeklerin geri tepme enerjisi tamamen ihmal edilemez. 5 MeV' lik tipik bir Q değeri için geri tepen çekirdek 100 keV mertebesinde bir enerjiye sahiptir. Bu enerji, katı içindeki atomları birbirine bağlayan enerjiden çok daha büyüktür. Eğer geri tepen çekirdek radyoaktif kaynağın yüzeyine yakınsa kaynaktan kaçar (Coulomb itmesi) ve çevreye yayılabilir. Alfa parçacığı bozunma zincirinin bir parçası ise geri tepen ürün çekirdeğin kendisi radyoaktif olabilir ve bu geri tepmeler radyoaktif maddenin yayılması ile sonuçlanabilir. Geri tepen ağır çekirdekler madde içinde son derece kısa mesafeye sahip olup yayılmaları, radyoaktif numunenin vernik gibi bir tabakaya sarılmasıyla önlenir [6].

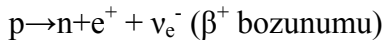
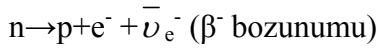
Bir parçacığın kinetik enerjisi bir manyetik spektrometre ile doğrudan ölçülebilir, böylece bozunmanın Q değeri tayin edilebilir [9].

Alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV' in altında olup madde içerisinden geçerken büyük olan elektrik yükleri nedeniyle yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek soğurular ve enerjilerini kaybederler. Dolayısı ile alfa parçacıkları zırhlaması kolay bir radyasyon tipidir.

Hava ortamı düşük enerjili alfa parçacıklarını zırhlamaya yeterli olur. Ortamda katı maddenin bulunması zırhlamayı güvenli kılar. Bu bakımdan alfa parçacıkları önemli bir dış radyasyon tehlikesi oluşturamazlar. Buna karşın vücut içine alınmaları halinde

tehlikelidirler. Çünkü vücut içinde, alfa parçacıkları menzilleri kısa olduğundan, doğrudan canlı doku ile temas edebilmekte ve bütün enerjilerini aktarmaktadırlar. Kuvvetli iyonize olduklarından canlı dokuda istenmeyen olgular meydana getirirler. Bu bakımdan canlılar için iç radyasyon tehlikesi oluştururlar. Bir başka ifadeyle, alfa parçacıkları dış ışınlanma şartları için önemsiz, ancak iç ışınlanma için tehlike arz etmektedirler [10].

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



İlk iki işlem negatif beta bozunumu veya negatron bozunumu olarak bilinir ve bir elektron yaratılıp yayınlanmasını kapsar. İkinci işlem pozitif beta veya pozitron bozunumudur ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır [9].

Bu iki olayın hepsinde de nötrino ve antinötrino adı verilen bir diğer parçacık yayınlanır. Bunlar elektrik yükü olmadığından varlığı diğer çıkan parçacıkların kimliğini etkilemez.

Beta parçacıklarının enerjileri 0.5 ile 5 MeV arasında olup küçük kütleleri ve tek eleman yükleri nedeniyle alfa parçacıkları gibi kolayca durdurulamazlar ise de yüksek enerjilere çıkmadıkça madde içine fazla nüfuz edemezler. Havada enerjilerine bağlı olarak birkaç metre gidebilirler. Bu nedenle, beta parçacıkları insanlar için dış radyasyon etkisi oluştururlar. Yüksek enerjili beta parçacıkları vücuda temas etmeleri halinde cilt yanıkları meydana getirebilirler. Ayrıca alfa parçacıkları gibi vücut içine girdiklerinde tüm enerjilerini canlı dokuda bıraktıklarında iç radyasyon etkisi oluştururlar. Buna göre beta parçacıklarının iç ve dış radyasyon tehlikesi açısından insanlar için önemli olduğunu söyleyebiliriz [11].

3.3 Aktivite Ve Radyasyon Birimleri

Radyasyon miktarını ölçmede çeşitli birimler kullanılır. Bu birimler özellikle, radyasyonun biyolojik etkilerini inceleyen radyolojide önemlidir. Birçok hastalığın tedavisinde kullanılan radyasyon özellikle kanserin tedavisinde kullanılmakta, biyolojik süreçlerin incelenmesi de radyoaktif izotoplar ile önemli bilgiler elde edilmektedir. Fakat aşırı radyasyon ciddi hastalık ve hatta ölümlere yol açabilir [12].

Radyasyon birimlerini iki gruba ayırmamız mümkündür. Radyoaktif bir kaynaktan üretilen radyasyon miktarını belirleyen aktivite birimleri ve radyasyonun maddeler üzerindeki etkisi belirleyen soğurulan radyasyon birimleridir. Bu konuda ilk çalışmaların koyduğu birimler zamanla uluslararası kabul görülen SI sistemindeki birimlere dönüştürülmüştür.

3.4 Aktivite Birimleri

Aktivite özel birimi 'Curie' (Ci) dir. Curie önceleri bir gram radyum ile ($T=1620$ yıl) dengede olan radon ($T=3.82$ gün) gazının aktivitesi olarak tanımlanmıştır.

$$A=3.7 \times 10^{10} \text{ parçalanma/saniye}$$

Olarak bulunur. Curie' nin en çok kullanılan alt birimleri milicurie ($1 \text{ mCi}=10^{-3} \text{ Ci}$) ve mikrocurie ($1 \mu\text{Ci}=10^{-6} \text{ Ci}$) dir.

Aktivite SI birimi ise 'Becquerel' (Bq) dir. 1Bq, saniyede bir parçalanma veren maddenin aktivitesidir. Bu durumda Curie ve Becquerel arasındaki ilişki;

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

Veya

$$1 \text{ Bq}=\frac{1}{3.7} \times 10^{10} \text{ Ci}=2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}=27 \text{ pCi (pikocurie)}$$

Şeklinde yazılabilir [8].

$$1\text{Bq}=1 \text{ par/sn}$$

$$1\text{kBq}=10^3 \text{ par/sn}$$

$$1\text{MBq}=10^6 \text{ par/sn}$$

3.5 Radyasyon Birimleri

Nükleer radyasyonların ortak bir özelliği etkileştikleri atomları iyonlaştırma yetenekleridir. İlk olarak X ışınlarının ve γ ışını fotonlarının hava içinden geçişlerini göz önüne alalım. Fotonlar havadaki atomlarla, Compton saçılması, fotoelektrik olay, elektron-pozitron çifti üretimi gibi işlemlerle birçok kez etkileşirler ve her etkileşimde yeteri kadar yüksek enerjili serbest elektronlar yaratılır. Havanın verilen bir m kütleinde oluşan iyonlardaki toplam Q elektrik yükü, ışınlanma olarak tanımlanır γ ışınlarının enerjileri ve kaynakların aktiflikleri tamamen farklı olsa bile, aynı ışınlanmayı oluşturan γ ışını kaynakları aynı şiddetli olarak kabul edilir. Işınlanma birimi röntgendir (R) [13].

Röntgen, bir kilogram hava başına 2.54×10^{-4} Coulomb' luk yük taşıyan aynı işaretli iyon sayısıdır. Pozitif ya da negatif işaretli bir iyon 1.6×10^{-19} Coulomb' luk yük taşır. Dolayısıyla bir kilogram havada oluşan iyon çiftlerinin sayısı 1.61×10^{15} tir. Havada bir iyon çifti oluşması için gerekli ortalama enerji 5.4×10^{-18} joule' dür. Böylece havada 1 röntgenlik ışınlanmaya karşı gelen soğurulan enerji

$$1\text{J}=(1.61 \times 10^{15})(5.4 \times 10^{-18})\text{J/kg}=8.69 \times 10^{-3}=0.00869 \text{ J/kg (havada)}$$

Radyasyonun biyolojik etkisi bir dokunun soğurduğu miktar, yani doz ile belirlenir. Radyasyon alan bir dokuda soğurulan doz (D), dokunun birim kütleinin soğurduğu enerji olarak tanımlanır. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) dir.

$$1\text{Gy}=1\text{j/kg}$$

Şeklinde tanımlanır. Buna göre bir dokuda kilogram başına 1 joule enerji soğuruluyorsa, doz 1 gray olur. Soğurulan dozun rad olarak karşılığını aşağıdaki ifadeyle veririz.

$$1 \text{ rad}=0.01 \text{ Gy}=0.01 \text{ j/kg}$$

Röntgen ile rad arasındaki ilişki ise 1R' lik ışınlama havada 0.00869 J/kg enerji bıraktığına göre, 1 röntgen aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$1R=0.00869/0.01=0.869 \text{ rad (havada).}$$

İnsanların radyasyondan korunmaları için, standartların tanımlanmasında farklı tipteki radyasyonların biyolojik etkilerinin bazı ölçümleri gereklidir. Bazı radyasyonlar enerjilerini oldukça uzun bir yol boyunca aktarırlar. Mesela α parçacıkları enerjilerini çok hızlı kaybederler ve kısa bir yol boyunca tüm enerjilerini aktarırlar. Hücrenin 1 rad'lık α radyasyonundan hasar görme olasılığı 1 rad'lık γ radyasyonuna göre çok daha fazladır [6].

Biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluktaki yolu boyunca kaybettikleri enerji miktarına (lineer enerji transferi, LET) bağlı olmakta ve LET değeri artıkça biyolojik etkide artmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü eşdeğer doz birimi olarak tanımlanmaktadır. Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) olup kilogram başına soğurulan enerji olup soğurulan doz (D) ile kalite faktörünün (QF) çarpımı olarak tanımlanmıştır [6].

$$\text{Eşdeğer Doz(Sievert)}=(D)(QF)$$

Kalite faktörü, birim mesafede aktarılan enerjiye göre belirli bir radyasyon tipi için hesaplanan bir niceliktir. Birim uzunluk başına az enerji aktaran radyasyonların (β ve γ) kalite faktörleri 1 civarındadır, birim uzunluk başına daha fazla enerji aktaran radyasyonların (α) kalite faktörleri 20' ye kadar değişir.

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

$$1\text{Sv}=100 \text{ Rem}$$

Radyasyon şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (eşdeğer doz) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır [12].

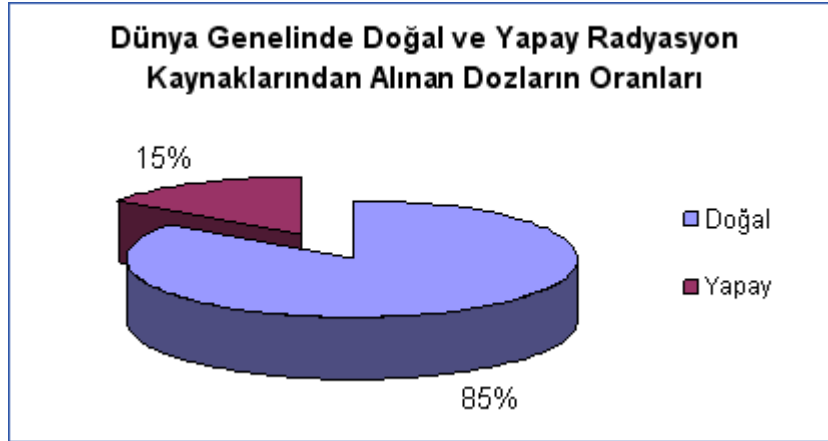
Çizelge 3.2 SI Birim Sistemindeki Radyoaktivite Birimleri

Nicelik	Ölçülen	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birim	Dönüşüm Çarpanı
Aktiflik	Bozunma Hızı	Bq	Ci	2.7×10^{-11}
Soğurulan doz	Enerji soğurulması	Gy	Rad	100
Eşdeğer doz	Biyolojik etkinlik	Sv	Rem	100
Işınlama	Havadaki İyonlaşma	Röntgen	R	3876

3.6 Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile belirli bir artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü etkileyen bir çok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, binaların yapımında kullanılan yapı malzemeleri, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler. Çevredeki radyoaktivitenin en önemli kaynakları; uranyum-radyum (^{238}U , ^{226}Ra), toryum (^{232}Th), aktinyum doğal radyoaktif seriler ve bu serilerin dışında doğal olarak var olan ^{40}K , vb. radyo-izotoplarıdır. Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz.

Çizelge 3.3 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları



3.7 Doğal radyasyon kaynakları

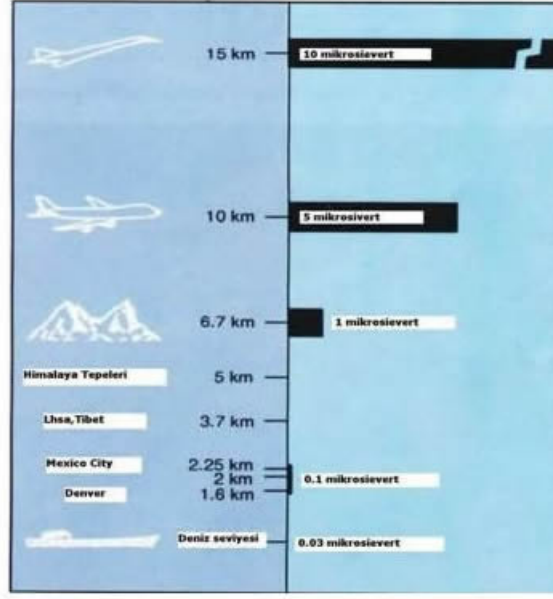
Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Kozmik ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken manyetik alan tarafından tutulurlar. Sadece küçük bir kısmı yer küreye ulaşır. Bu radyasyonların yoğunlukları atmosferin üst tabakasında yüksek, deniz seviyesinde ise daha düşüktür. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle potasyum-40) dolayı belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır [30].

Fosil yakıtlar, doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut olan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan aldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl dır [30].

Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl' dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu türleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.

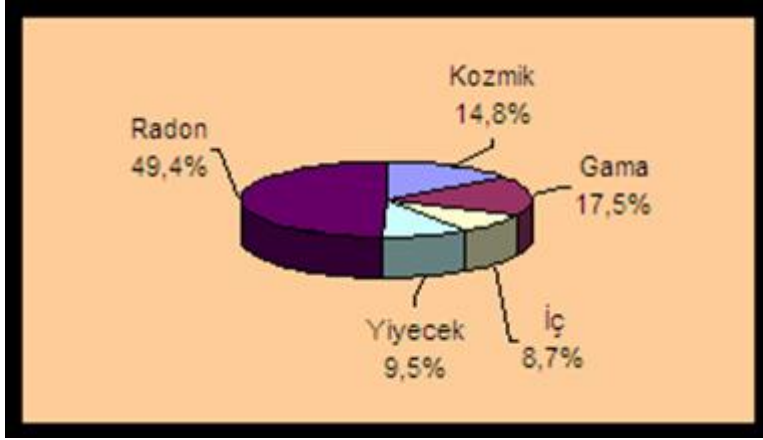
Çizelge 3.4 Kozmik ışıklardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi



Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması sırasında salınan radon gazı' dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir.

Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır [30]. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Şekil 3.5' de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir. Tablo 3.6' da ise değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri verilmektedir.

Çizelge 3.5 Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri (TAEK)



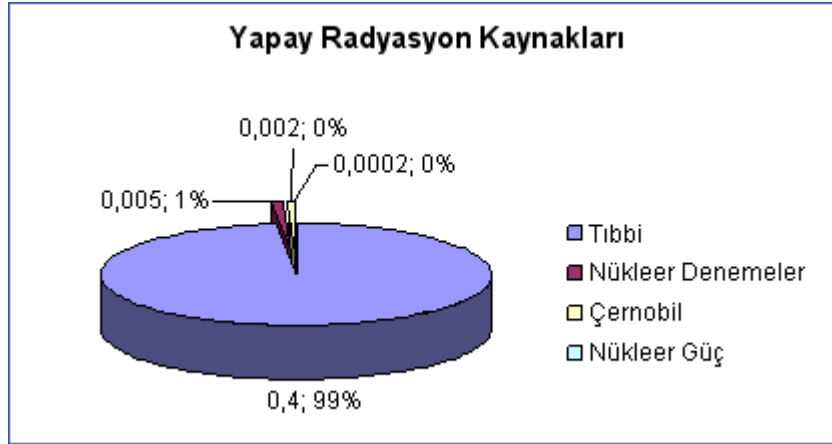
Çizelge 3.6 Bazı Bölgelerde Doğal Radyasyon Düzeyleri [31, 32].

Kars (Digor)	1,53 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl
İğdır (Alican)	0,88 mSv/yıl
Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788,40 mSv/yıl
İran (Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Hindistan (Kerela)	15,80 mSv/yıl

3.8 Yapay Radyasyon Kaynakları

Yapay radyasyon kaynakları da doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Çizelge 3.7 Yapay Radyasyon Kaynakları



Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı ise Tablo 3.8' de verilmektedir [30].

Çizelge 3.8 Doğal ve yapay radyasyonun kaynaklara göre dağılımı

Radyasyon kaynağı	Radyasyon miktarı
Radon	1.30 mSv
Gama	0.46 mSv
Kozmik	0.39 mSv
Tıbbi	0.30 mSv
İç	0.23 mSv
Serpinti	0.007 mSv
Mesleki	0.002 mSv
Atıklar	0.001 mSv
Tüketici ürünleri	0.0005 mSv

3.9 Radyasyonun Ölçüm Yöntemleri

Nükleer radyasyonları tespit etmek için kullanılan tüm detektörlerin temel çalışma ilkeleri birbirine benzer özelliklere sahiptir. Radyasyon (ışınım) detektöre girer, detektör materyalinin atomlarıyla etkileşip enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden daha düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere, elektronik devre tarafından ya akım ya da gerilim şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında mevcut bilgiye bağlıdır. Radyoaktif bozunmalar sonucunda salınan alfa parçacıkları veya düşük enerjili (MeV) nükleer reaksiyonlardan yayınlanan yüklü parçacıklar için çok ince pencereci detektörler gereklidir. Çünkü bu parçacıkların katılardaki maksimum menzili 100 μm ' den küçüktür. Beta bozunumlarında yayınlanan elektronlar için bu kalınlığın 0.1 mm – 1 mm aralığında olması gerekirken, γ ışınımı için bu aralık daha fazladır ve hatta 5 cm kalınlıktaki detektörler yüksek enerjili fotonları (enerjisi MeV seviyesinde veya daha fazla) ölçmek için yeterli olmayabilir. Radyasyonun enerjisini ölçmek için çıkış atma genliğinin radyasyon enerjisi ile orantılı olduğu detektörler seçilmelidir. Bu da sökülecek elektronların sayısının fazla olacağı bir detektör materyali seçmekle mümkündür. İstatiksel sapmalar hatalar oluştursa da bu, enerjinin doğru ölçülmesini çok fazla etkilemez. Radyasyonun yayınladığı anı tespit edebilmek elektronların hızla atma halinde geçebileceği materyali seçmekle mümkündür, elektron sayısının fazlalığı daha az önemlidir. Birçok değişik parçacığın yayınladığı bir radyoaktif tepkime durumunda yayınlanan parçacıkların tipini belirlemek için parçacığın kütle ve yükü için farklı sinyaller veren bir materyalin seçilmesi gerekir. Radyasyonun spin veya kutuplanmasını ölçmek için farklı spin veya kutuplanma durumlarını ayırıp çözebilen detektöre gereksinim duyulur. Alışılmışın dışında yüksek sayma hızı gerektiren durumlarda arka arkaya gelen her radyasyonu hızlı bir şekilde tespit edebilecek detektör seçilmelidir; düşük sayma hızları için her olayın saptanması ve taban sayım etkisinin azaltılması ile ilgilenmemiz gerekir. Son olarak, belirlenecek olan radyasyonun yörüngesinin tekrar oluşturulması ile ilgileniyorsak radyasyonun detektöre girdiği yere duyarlı olan bir detektöre sahip olmamız gerekir.

Radyasyon ölçme sistemleri, detektör yapısına bağlı olarak aşağıda listelenen şekilde sınıflandırılabilir;

1. Gaz dolu dedektörler
2. Yarıiletken dedektörler
3. Sintilasyon dedektörler

Radyasyon ölçme yöntemlerini aktif ve pasif ölçme olarak ikiye ayırabiliriz. Aktif ölçme yöntemlerinde, anlık ölçümler yapıp ölçülecek radyasyonun tipine göre yukarıda belirtilen dedektörler seçilir. Pasif ölçüm tekniğinde ise uzun süreli ölçümler yapılır. Bu teknikte nükleer iz dedektörleri kullanılır ve sadece ölçümü yapılacak ortamın atmosferindeki radon gazı ölçülmektedir.

3.10 Gaz Dolu Dedektörler

Gaz doldurulmuş dedektörler iyonizasyon dedektörleri olarak da adlandırılır. Bu tip dedektörler iyonlaştırıcı radyasyonun dedektör etkin hacmi içinde meydana getirdiği iyonların toplanması prensibine dayanır. Silindirik bir kap içerisine yüksek basınçta bir gaz (genellikle hava, helyum, argon gazı) doldurulmuştur. Bu gaz anod (pozitif) ve katod (negatif) olarak bilinen iki elektrod arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan bu elektrodlar arasında bir magnetik alan yaratılır. Pozitif iyonlar katoda, negatif iyonlar anoda göç ederler. Böylece iki kutup arasında bir iyon ya da iyonizasyon akımı meydana gelir. Oluşan bu akımın şiddeti gelen radyasyonun şiddetiyle değişir.

İyonizasyon dedektörlerinin başlıcaları; İyonizasyon odaları, Orantılı sayıcılar ve Geiger-Müller (GM) sayıcılarıdır.

3.11 İyon Odalı Dedektörler

İçindeki gaz ortamı genellikle atmosfer basıncında hava ile doludur. Hava dolu iyon odaları en çok gamma ışınlarının ölçülmesinde kullanılır. Röntgen birimi ile ölçülen ışınlanma şiddeti; hava içinde X ve gamma ışınlarının açığa çıkardığı iyonların yük miktarını içermektedir. Uygun koşullar sağlandığında hava dolu iyon odalarında iyonizasyon yükü, ışınlanma şiddetini (R-röntgen, C/kg, vb.) ve dedektörden geçen iyon

akımı da ışınlanma hızını (R/saat) vermektedir. Radyasyon monitörü olarak geniş bir kullanım alanı vardır ve pek çok ticari radyasyon monitörleri gerçekte iyon odalarıdır [14].

3.12 Orantılı Sayaçlar

Bir gazlı dedektörü her pulsu gözlemlemek için kullanmak istersek pulslar önemli derecede yükseltilmelidir. Bunu yapmanın yollarından birisi voltajı daha fazla artırmaktır. Genellikle 1000 V kadar. Daha büyük elektrik alan, iyonlaştırma işlemi sonucunda çıkan elektronları daha çok hızlandırır ve gaz atomlarıyla daha çok elastik çarpışmalar yaparak sürüklenen elektronlar bu kez elastik olmayan çarpışmalar yapmak için yeterli enerjiyi kazanabilirler ve hatta yeni iyonlanmış atomlar üretebilirler. İkincil iyonlaştırma üretimi ile gerçekleşen hızlı yükselmeye Townsend çığı denir. Her birincil iyon için çok sayıda (10^3 - 10^5) ikincil olay olmasına rağmen, sayaç daima, ikincil olayların sayısı ilk olayların sayısı ile orantılı olacak şekilde çalışır. Bu yüzden bu sayaçlara orantılı sayaçlar denir [6].

Orantılı sayaçlarda genellikle soygaz ve organik gazların karışımları kullanılmaktadır (%90 Ar, %10 CH₄ veya %95 Xe, %5 CH₄ vb.). Orantılı sayaçlar, α ve β ışınları ile birlikte daha çok düşük enerjili X ve gama ışınlarının spektroskopisinde kullanılmaktadır [14].

3.13 Geiger Mueller Dedektörleri

Radyasyonun dedeksiyonu için en çok kullanılan sistemlerden birisidir. Nükleer tıpta genellikle radyasyonun varlığının ve şiddetinin ölçülmesi amacıyla kullanılır. Herhangi bir kontaminasyon (radyoaktif bulaşma) tespiti ve dekontaminasyon (bulaşmanın temizlenmesi) işleminden sonraki güvenlik değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılır.

Bir Geiger Müller sayıcısının işleyişi iyonizasyon odasına benzer. Ancak iyonizasyon odasında gaz amplifikasyonu olmadan radyasyonun meydana getirdiği primer iyonizasyon ölçülür. Geiger Müller sayıcısında ise primer iyonların meydana getirdiği sekonder iyonlar, dolayısıyla gaz-amplifikasyonu ile ölçüm yapılır. Meydana getirilen

iyon çiftleri sayısının primer iyon çiftleri sayısına oranı yani gaz amplifikasyonu faktörü 10^9 gibi çok büyük bir değer alabilir ve dolayısıyla oluşan pulslar çok büyük olur.

G-M dedektörleri enerji ayırımı yapmaması ve düşük enerjili X ve gamma ışınlarına hassas olmamasına rağmen düşük şiddetteki radyasyona duyarlıdır. Dış etkilere dayanıklı olması ve düşük maliyetleri nedeniyle sağlık fiziği alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

Radyasyonun sadece varlığını göstermek için Geiger sayıcısının bilinen sesi yeterli olur ve gelen tüm radyasyonlar aynı çıkış sesini verirler, yani radyasyonun türünü belirleyemez.

3.14 Yarıiletken Detektörler

Germanyum (Ge) ya da silisyum (Si) gibi son yörüngelerinde dört elektron bulunan bir kristale katkı maddeleri (B-bor, P-fosfor vb.) katarak p-tipi ve n-tipi yarıiletkenler elde edilir. p ve n tipi yarıiletken maddeleri kullanarak diyod elemanında olduğu gibi p-n eklemleri yapılır. Bu ekleme uygun yönde (diyoda göre ters) bir gerilim uygulanırsa serbest yüklerden yani elektron ve holelerden (deşik) arındırılmış bir bölge elde edilir. bu bölgeye gelen radyasyonun etkisi ile iyonlaşma olur ve elektron hole çiftleri oluşur. Bunlar elektrik alanın etkisi ile dedektöre bir akım pulsu oluştururlar. Yarıiletkenlerde bir elektron hole çifti oluşturabilmek için Si' da 3.76 eV, Ge' da ise 2.96 eV enerji gereklidir. Gaz dolu dedektörlerde bu değer 30-35 eV mertebesindedir. Bu da yarıiletken dedektörlerde gaz dolu dedektörlere göre on kat fazla iyon çifti oluşturmaktadır. Bu nedenle yarıiletken dedektörlerin enerji ayırım gücü daha yüksektir [14].

3.15 Sintilasyon Dedektörleri

Radyoaktif ışınlar bir maddenin atom ve molekülleriyle etkileşime girdiğinde enerjisine göre; madde içinde iyonizasyon ya da eksitasyon meydana getirir. Şayet radyasyon enerjisi her iki olayı da meydana getiremeyecek kadar düşükse, etkileştiği ortamdaki moleküller arasında sadece bir titreşim meydana getirir ve yok olur. Üzerine düşen radyasyon enerjisi ile orantılı olarak dışarıya görünür ışık yayan cisimlere sintilatör denilir. Sintilatörden yayılan görülebilir ışıklara da sintilasyon denir. Sintilasyon

sayaçlarında radyasyon sintilatör veya fosfor adı verilen belli bir maddeyle etkileşir. Üzerine düşen radyasyonun enerjisini soğuran fosfor uyarılır ve daha yüksek enerjili elektron seviyelerine geçer. Birçok maddede gönderilen ışık soğurulan enerjiye ait olduğundan gönderilen ışık fosfor içerisinde yutulur. Bu nedenle sintilatör içerisine yabancı bir madde katılır. Bu yabancı maddeler soğurulan enerjinin geçişine ait dalga boyundan daha uzun dalga boyunda ışık gönderilmesini sağlar. Uyarılmış sintilatörden gönderilen floresans ışını optik bir ortamla bir elektron çoğaltıcısı üzerine düşürülür. Foto çoğaltıcıların katodu üzerine düşen her bir ışık fotonu oradan fotoelektrik olay yolu ile elektron söker. Sökülen elektronlar bir elektrik alanda hızlandırılır ve dinot adı verilen elektroda çarpar. Her bir elektron dinottan iki veya daha çok ikincil elektron söker. Bu olay böyle devam eder. İdeal bir sintilatörde aşağıdaki özellikler bulunmalıdır:

- 1) Gelen radyasyonu iyi bir şekilde soğurması ve dedekte edebilir ışığa dönüştürmeli.
- 2) Bu dönüşüm geniş enerji aralığında lineer olmalı
- 3) Kendi yaydığı ışığa karşı saydam olmalı.
- 4) Meydana getirdiği ışık pulsunun bozunma zamanı kısa olmalıdır ki hızlı sinyal pulsları verebilsin.
- 5) Optik bakımdan kaliteli ve radyasyonu dedekte edebilecek büyüklükte olmalı.
- 6) Foto çoğaltıcı tüp ile iyi bir ışık iletimi gerçekleştirebilmek için kırılma indisinin caminkine yakın olmalı.

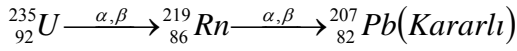
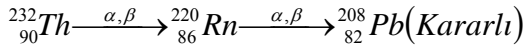
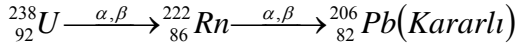
Her ne kadar bu özellikleri sağlayan maddeler olmasa bile bu özelliklere yakın bir çok inorganik ve organik sintilatörler bulunmaktadır. En eski ve çok kullanılan inorganik sintilatör çinko sülfürdür (ZnS). TV ekranlarında, osiloskoplarda ve ağır parçacıkların dedeksiyonunda geniş şekilde kullanılır.

BÖLÜM 4

RADON GAZI VE DOĞAL RADON DÜZEYLERİ

Doğal radyoaktif maddelerden doğal olanları ağır çekirdeklerin bir dizi bozunumdan sonra radyoaktif kurşun izotoplarına dönüşür. Doğada dört doğal radyoaktif seri vardır. Bunlar (Th-232, Np-237, U-238 ve U-235)' dir. Neptünyüm (Np) haricindekiler uranyum izotoplarıdır. Bunlardan en sık rastlanan U-238 dir. Uranyum bozunma serileri doğadaki radyasyonun çoğunluğunun nedenidir.

Doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisi aşağıdaki şekilde sıralanabilir;



Bu bozunma ürünlerinden birisi olan Radon doğal radyasyonun büyük kısmını oluşturmaktadır. Radon elementinin 1900 yılında Alman Kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilmektedir. Ancak bu ilk kez 1898 yılında ünlü fizikçi Ernst Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Friedrich Ernst Dorn bugünkü adıyla Radona Latince 'Parıldayan' manasındaki nitens adını vermiştir. 1923 yılına kadar bu adla anılan elemente Radium' dan sonra keşfedildiği için Radon denilmiştir. En son keşfedilen asal gaz Radon' dur.

Rn -220 ve Rn-219'un yarı ömürlerinin çok kısa olması nedeni ile atmosferik ortamlara kaçarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşüktür [7]. U-238 elementi ise doğada diğer radyoaktif elementlere göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması ve U-238 kaynaklı Rn-222 nin yarı ömrünün diğer izotoplarına göre daha uzun olması nedeniyle Rn-222 atmosferde önemli yoğunluklar oluşturabilir. Radonun bu özellikleri nedeniyle konsantrasyon ölçümlerinde Rn-222 ön planda tutulur ve radon denildiğinde bu izotop akla gelir.

Çeşitli atmosferik ortamlardaki radon konsantrasyonu aşağıdaki şekilde verilmektedir [15].

- a. Yer üstünde topraktan 1m yükseklikte 4-15 Bq/m³
- b. Kapalı ortamlarda 11-300 Bq/m³
- c. Toprak havasında 18-180 Bq/m³
- d. Havadaki doğal radon gazı etkin doz olarak 2-3 mSv kadar.

Bu etkin doz bir tehlike teşkil etmemektedir, çünkü tüm beden bir kerede aldığı 5000 mSv'lık bir doz %50 öldürücüdür. Bir defada alınan 1000 mSv doz kansere yakalanma riskini büyük ölçüde artırabilir.

Uranyum serisindeki izotoplara bakıldığında, genelde bu serinin kısa ömürlü izotoplardan oluştuğu görülmektedir. Sadece ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁶Ra ve ²¹⁰Po izotoplarının yarı ömürleri 1 yıldan daha fazladır ve 22.3 ile 4.5×10⁹ yıl arasında değişmektedir. ²²²Rn, ²¹⁰Bi ve ²¹⁰Pb izotoplarının yarı ömürleri ise 3.8 ile 138 gün arasındadır. Bunların dışında kalan diğer izotopların yarı ömürleri 30 dakikanın altındadır.

Bu seride izotop alfa ışınması yolu ile bozunuma uğrar. Bunlar ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁶Ra, ²²²Rn, ²¹⁸Po, ²¹⁴Po ve ²¹⁰Po izotoplarıdır ve yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjisi 4.2 ile 7.69 MeV arasında değişmektedir. Alfa bozunumu yapan bu izotoplardan özellikle beş tanesi ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁶Ra ve ²¹⁰Po diğerlerine göre daha tehlikelidir. Çünkü bunların yarı ömürleri uzun olduğu için buldukları ortamlarda uzun süre varlıklarını devam ettirir ve büyük miktarlarda doza sebebiyet verirler.

Bu seride beta ışınması yoluyla bozunum yapan altı radyoizotop sırası ile ²³⁴U, ²³⁴Pa, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Bi'dir. Bunlardan ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Bi radyoizotopları ²²⁶Ra radyoizotopunun bozunmasından oluşan ürün çekirdeklerdir. Bu serideki beta parçacıklarının maksimum enerjileri 0.02 ile 3.26 MeV arasındadır.

Çizelge 4.1 Uranyum Bozunma Zinciri

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

4.1 Radon'un Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Radon elementlerin asal gazlar grubunda yani 8A grubunda ve 6. periyotta bulunmaktadır. Asal gazlar periyodik tabloda sıfır ya da 8A grubunda Rn ile birlikte yer alan Helyum (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Kripton (Kr) ve Xenon (Xe) elementlerinden oluşmaktadır. Tamamı doğal şartlarda gaz halinde bulunmaktadır ve önemli bir özelliği radyoaktif olmasıdır. Helyum ilk, Radon ise son keşfedilen asal gazdır. Radon olağan şartlar altında yani normal sıcaklık ve atmosfer basıncında renksiz, gözle görülmeyen, tatsız ve kokusuz bir gazdır. Atom numarası 86, atomik ağırlığı 222gr/mol olduğu için çekirdeğindeki nötron sayısı 136'dır.

Çizelge 4.2 Rn elementinin periyodik tablodaki yeri.

Grup	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
Periyod																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* Lu	71 Hf	72 Ta	73 W	74 Re	75 Os	76 Ir	77 Pt	78 Au	79 Hg	80 Tl	81 Pb	82 Bi	83 Po	84 At	85 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** Lr	103 Rf	104 Db	105 Sg	106 Bh	107 Hs	108 Mt	109 Uun	110 Uuu	111 Uub	112 Uut	113 Uuq	114 Uup	115 Uuh	116 Uus	117 Uuo
Lantanidler	*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb			
Aktinidler	**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No			

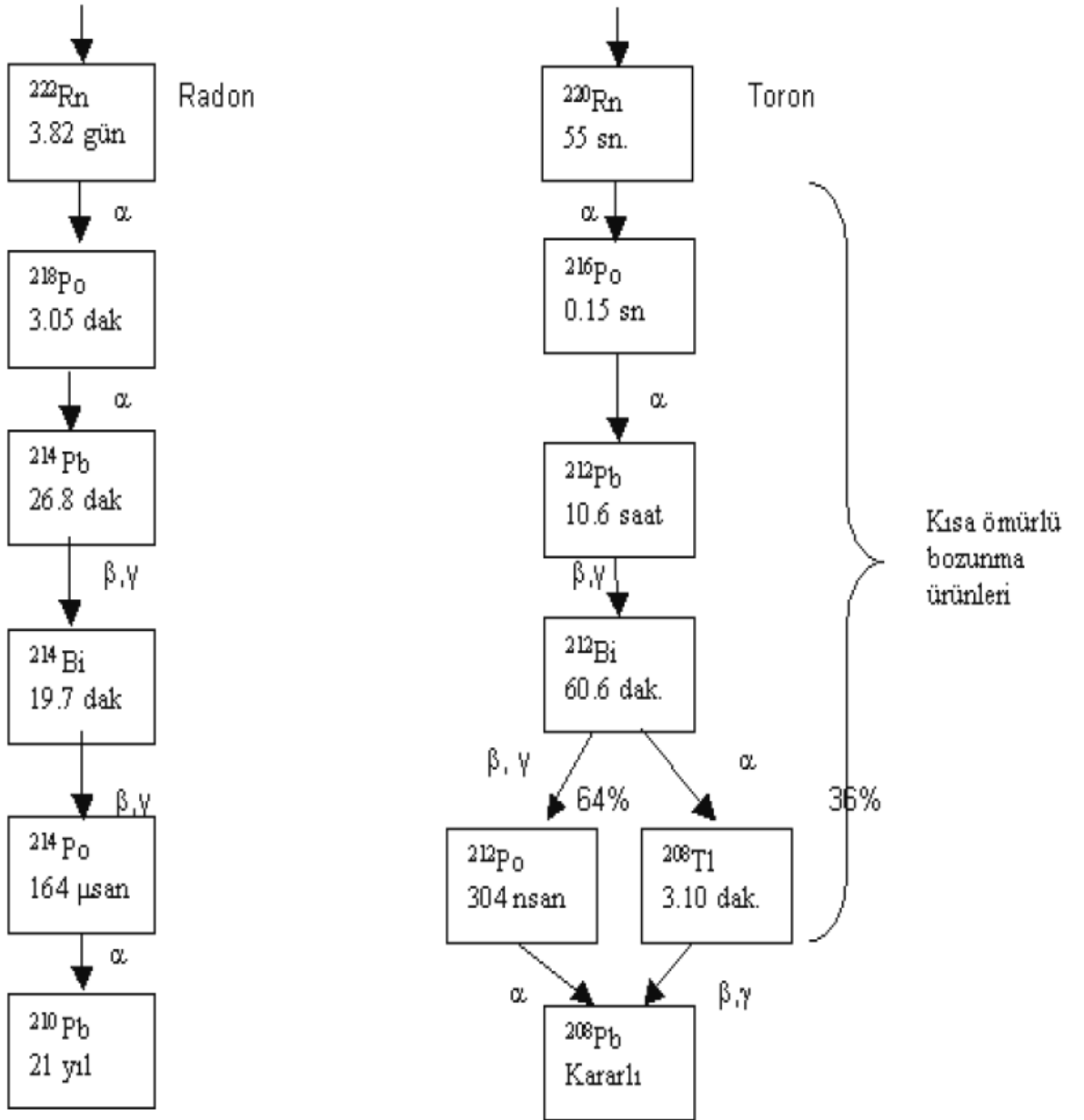
$^{222}_{86}\text{Rn}$ 'nin erime sıcaklığı ile kaynama sıcaklığı arasında oldukça az bir fark vardır. Erime sıcaklığı 202° Kelvin derece ve kaynama sıcaklığı 211° K'dir. Buharlaştırma ısısı ve entalpisi $16,4$ kJ/mol'dür. Radon-222 donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, sıcaklık düşüğüyle orantılı bir şekilde artan parlak bir fosforesans görünümünü alır. Yoğunluğu 273° K ve 1 atmosfer basınçta $9,73$ gr/L ve molar hacmi de $50,5$ cm³/mol'dür. Radon gazı elektrik iletkenliği hiç olmayan ve ısı iletkenliği de $0,0000364$ W/cmK gibi düşük bir değere sahip olan bir asal gazdır.

Radon elementi çok çeşitli yarı ömürlere sahip 33 izotopa sahiptir. En uzun ömürlü üç izotopu ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn dir. ^{222}Rn , Radon'un doğada en çok rastlanan ve 3.8 gün ile en uzun yarı ömürlü izotopudur. En ağır doğal radyoaktif element olan ^{238}U 'in bozunma zinciri içerisinde. Diğer iki izotop sırasıyla 55,1 saniye ve 3.96 saniye yarı ömürlüdürler ve yine sırasıyla ^{232}Th ve ^{235}U serisinden ortaya çıkarlar.

4.2 Radon' un Bozunma Ürünleri

^{238}U , ^{226}Ra ' ya bozunduğu zaman ağır çekirdek yerinde, yani bulunduğu kaya içinde kalırsa meydana gelen radon difüzyonlanır ve etraftaki hava içine kaçar. ^{226}Ra ' nın 1602 yıllık yarı ömrü, kendisinden meydana gelen bütün ürünlerden çok daha uzun olduğundan 3.82 gün yarı ömürlü ^{222}Rn için üretim hızı değişmeyen bir üreteç görevi yapar ve daha sonra gelen kısa yarı ömürlü ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po ile denge halinde bulunur [16].

Çizelge 4.3 ^{222}Rn , ^{220}Rn ' nin Bozunma Zinciri.



Bozunma zincirinde ^{214}Po ' u izleyen radyoizotop ^{210}Pb ' un yarı ömrü 22 yıl olduğundan kısa süreler için bozunma zincirini bloke eder. Radon ürünlerinin radyoaktif özellikleri Çizelge 4.4' de verilmiştir. Bu nedenle radonun bozunma ürünü olarak sadece ilk dört ürün ve bunların kimyasal özellikleri önemlidir.

Çizelge 4.4 Radon ve ürünlerinin karakteristik özellikleri [17].

İzotop	Yarı Ömür	Bozunma Sabiti Sn^{-1}	α (Mev)	β (Mev)	γ (Mev)
^{222}Rn	3.82 gün	2.1×10^{-6}	5.48		
^{218}Po	3.05 dk	379×10^{-3}	6.00		
^{214}Pb	26.8 dk	4.31×10^{-4}		0.65	0.295
^{214}Bi	19.7 dk	5.86×10^{-4}		3.13	1.050
^{214}Po	1.6×10^{-4} sn	4.62×10^3	7.69		

Radon radyoaktif bir gaz olduğundan, hava ortamında bozunarak yeni meydana gelen radon ürünleri (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi) atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğilimindedir. Böylece havadaki parçacıklara absorpsiyon yolu ile yapışan ürünler, bu parçacıkları radyoaktif hale getireceklerdir.

Sonuç olarak radonun bozunma ürünleri kısa yarı ömre sahip olduğundan toz taneciklerine yapışmış olsun veya olmasın, solunmaları halinde akciğer mukozasına yerleşerek önemli radyolojik tehlikelere sebep olurlar.

4.3 Yeryüzünde Doğal Radon Düzeyleri

Radon gazı radyumun, radyum da uranyumun ve toryumun bozunması sonucu oluşan doğal radyoaktif elementlerdir. Uranyum ve Toryum yer kabuğunu oluşturan kayalar ve

toprak içinde çok yaygın bir şekilde buldukları için kaya ve toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Bu radyoizotoplar daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalardaki aktifliğin kaynağı yeryüzünün oluşumuna dayanmaktadır. Topraktaki radyoaktivitenin kaynağı ise kayaların doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışmasıdır [18].

Uranyum toryuma göre yer kabuğunda çok yaygın olarak bulunan bir elementtir. Genellikle molibden, tungsten, arsenik ve berilyum ile beraber bulunmaktadır [19].

4.4 Havadaki Doğal Radon Düzeyleri

Yeryüzünün kabuk kısmında bulunan uranyumdan kaynaklanan radon ve bozunma ürünleri hava içindeki konsantrasyonları her zaman ve her yerde ölçülebilir. Havadaki radon konsantrasyonu günlük meteorolojik koşullara göre değişmektedir. Bu meteorolojik koşullar sadece havadaki radon konsantrasyonunu değil aynı zamanda gazın dünya üzerinden yayılma hızını da etkilemektedir. Hava içindeki karışmanın en az olduğu durgun hava koşulları altında havadaki radon düzeyleri artacaktır [20]. Farklı ülkelerde toprak düzeyinde havadaki ortalama radon konsantrasyonları Çizelge 4.5' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 Toprak düzeyinde havadaki ortalama radon konsantrasyonları [21].

Yer	Radon Konsantrasyonları (Bq/ m ³)
Bratislava (Slovakya)	5.18
Budapeşte (Macaristan)	2.59
Chicago (ABD)	1.11
Cincinnati (ABD)	9.62
Deniz Kıyıları (ABD)	0.07
Rio de Janerio (Brezilya)	1.85
Japonya	3.33
Flipinler	0.15
Kuzey Atlantik Okyanusu	0.22
Güney Pasifik Okyanusu	0.07
Güney Kutbu	0.02

Okyanuslar ve denizlerin üzerindeki radon düzeyleri karalar üzerindeki düzeylerden çok daha azdır. Bunun sebebi, okyanuslar ve denizler, atmosferdeki radonun kaynağını oluşturan yeryüzü ile hava arasında bir kalkan görevi görürler. Deniz kıyısı boyunca atmosferdeki radon düzeyleri rüzgârın karadan denize doğru esip esmemesiyle ilgilidir.

4.5 Evlerde Radon Düzeyleri

Evlerdeki radon düzeyleri, dış hava içindeki ve bina yapı malzemelerindeki konsantrasyona bağlıdır. Bina duvarlarının gözenekliğine ve yapı malzemesi içindeki ²²⁶Ra miktarı ile binanın havalandırma hızı radonun yayılma hızını etkilemektedir. Özellikle iyi havalandırılmayan ev ve işyerlerinde radon konsantrasyonu dış hava konsantrasyonundan çok daha yüksek olabilir [22].

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapıldı. Bazı evlerde çok yüksek konsantrasyonda radon bulunmasına rağmen fazla üzerinde durulmadı. Bunda söz konusu ölçüm bölgesine özel bir durum olduğunun düşünülmesiydi. Ancak daha sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş kapsamlı bir sistematik çalışma başlatıldı.

Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda bile etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır [28]. Gelişmiş ülkelerde radon etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır. Ülkemizde evlerde radon ölçümüyle ilgili çalışmalar yeterince yapılmamıştır. Özellikle özel toprak cinsleri ile sivanmış kırsal kesim evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmesi mümkündür [28].

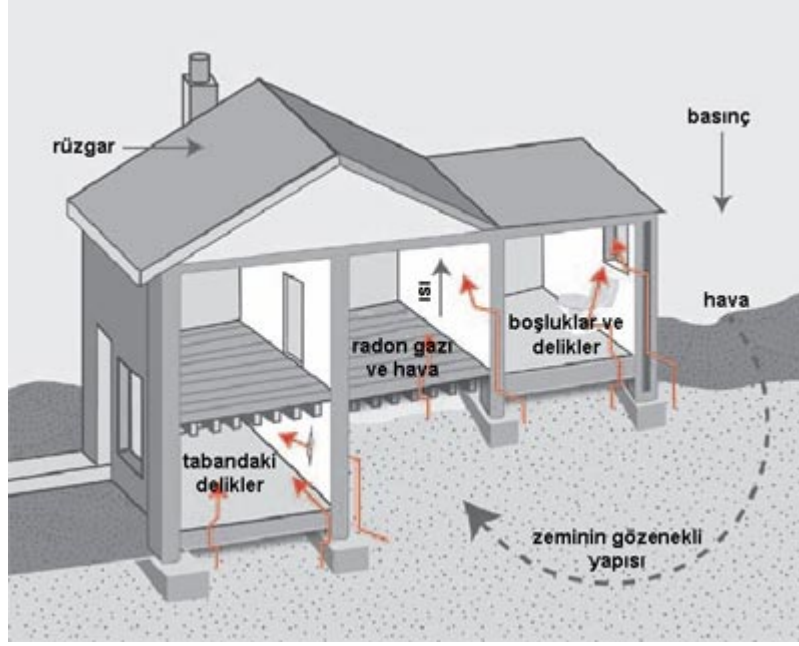
Evlerde bulunan radonun büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Eğer zemin topraksa, radon kolayca penetre olabilmektedir. Eğer zemin çimento ise radon zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisat duvar arası boşluklar radonun sızmasını kolaylaştırmaktadır. Eğer radyoaktif materyalden yapılmışsa duvardan da yayınabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemesi, eğer radon içermekte ise Radon konsantrasyonu daha

yüksek olabilir. Bunlara ek olarak musluk suyu da evlerde bulunan radonun kaynağını oluşturabilmektedir [29].

4.6 Binalarda radon

İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkarmaktadır. Binalarda bulunan radon gazı; binanın zeminindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar arası boşluklardan girmekte, ayrıca bina yapımında kullanılan malzemeler, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina için konsantrasyonu artırmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan bina içine sızarlar. Toprak ve yapı malzemelerindeki Ra-226 miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon özelliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç ve dış havanın sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

Yapılan araştırmalar radon konsantrasyon değeri olarak; dış hava için 7.5 Bq/m^3 ve binalar için 55 Bq/m^3 civarındadır. Toprak ve yerküre merkezli pek çok yapı malzemesi atmosferinkinden yaklaşık 10^3 - 10^4 daha fazla radon konsantrasyonuna sahiptir. Radon gazı su içerisinde çözünebilmektedir, özellikle yer altı sularında erimiş halde bulunan radon miktarı yaklaşık 4 - $1.000.000 \text{ Bq/L}$ arasında değişmektedir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10.000 de biri havaya yayılmaktadır. Radonun bir binaya giriş hızı, yaklaşık olarak yapı malzemeleri ve topraktan 60 kBq/gün , dış ortam havasından 10 kBq/gün , sudan 4 kBq/gün dür. Şekil 4.1 bir örnek bina için Radon gazının binaya giriş noktalarını göstermektedir.



Şekil 4.1 Radon Gazının Binalara Giriş Noktaları

4.6.1 Binalarda radon girişleri

1. Zemindeki çatlaklar
2. Yapı bağlantı noktaları
3. Duvar çatlakları
4. Asma kat boşlukları
5. Tesisat boru boşlukları
6. Duvar arası boşlukları
7. İçme suyu

Bina yapımında kullanılan malzemelerin içerdiği Radon yoğunlukları Çizelge 4.6' da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 Bazı yapı malzemelerinin ortalama Rn yoğunlukları (Bq/m^3)

Malzeme Cinsi	Konsantrasyon Bq/kg	Malzeme Cinsi	Konsantrasyon Bq/kg
Ağaç	1,1	Kırmızı Tuğla	78
Tabii Alçı	2,9	Uranyum Madeni Atıkları	4625
Portland Çimento	45	Alçı Taşı	26
Beton	98	Kireç Lime	33
Deniz Kumu	7	Kireç Taşı	3
Nehir Kumu	44	Kalsiyum Silikat	2140
Kum Tuğla	82	Şapşist	496
Granit	180		

4.6.2 Binalardaki radon konsantrasyonunu belirleyen unsurlar;

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra -226 miktarı
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma (difüzyon) potansiyeli
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği
- Bina zemini
- Binadaki havalandırma kapasitesi
- İklim koşulları
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

Çeşitli ülkelerde ev içinde ölçülmüş radon konsantrasyonları çizelge 4.3 de gösterilmiştir. Evlerdeki radon konsantrasyonu, havadaki radon konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında evlerdeki radon düzeyleri 10 kat veya daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca ahşap yapıların betonarme yapılara göre daha az radon ihtiva ettiği dikkati çekmektedir. Çizelge 4.7 farklı ülkelerde farklı yapı malzemelerine göre Radon konsantrasyonlarını göstermektedir.

Çizelge 4.7 Dünyanın Bazı Bölgelerindeki Evlerde Ölçülen Radon Konsantrasyonu [23].

Ülke	Bina Ve Yapı Malzemesinin Türü	Radon Konsantrasyon (Bq/ m ³)
İsveç	Ahşap	11-33
	Tuğla	11-78
	Beton	11-167
Rusya	Tuğla	4-159
	Beton	15
	Kerpiç	11-370
	Cüruf	148-296
İngiltere	Ev (Havalandırılması iyi)	2-12
	Ev (Havalandırılması Kötü)	7-26
ABD	Ahşap	0.2-9
	Bodrum	4-35
	Beton	1-178

Ülkemizde ise 1997 yılında İstanbul' un bazı semtlerinde evlerde radon ölçümleri yapılmış ve konsantrasyonlar 13-60 Bq/m³ arasında ölçülmüştür (Şekil 4.7). Bu semtlerde ölçümler genellikle zemin ve bodrum katlarında yapılmıştır [24].

Çizelge 4.8 İstanbul' un Bazı Semtlerinde Yapılan Ölçümlerin Sonuçları [20].

Semt	Radon Konsantrasyonu Bq/m ³
Şirinevler	60
Bostancı	47
Çekmece	45
Kemal Paşa	44
Tepeüstü	36
Ataköy	17
Etiler	15
Aksaray	13

Amerika da bazı evlerde yapılan radon ölçümleri sonucu evlerin bodrum katlarında radon seviyesinin ortalama 130 Bq/m³ olduğu saptanmıştır [14]. Bodrum katlarında bu değerlerin yüksek çıkmasının sebebi, sadece bina yapı malzemesi değil aynı zamanda yeraltında bulunan kaya ve topraktaki radonun bina altındaki boru ve çatlaklardan içeri sızarak radon konsantrasyonu artırmasıdır [24].

4.7 Radon Konsantrasyon Limitleri

Radon gazının kapalı ortamlarda konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından belirli limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirler alınması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde ve işte radon-222'ye karşı korunma" konusunda 65 Nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiştir. ICRP tarafından Evler için radon konsantrasyonu 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değerde olması önerilmiştir. Türkiye'de bu değer Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon

Güvenliği Yönetmeliği'nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir [34]. Çizelge 4.9' da çeşitli ülkelerde müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir. Bu değerlere bakıldığında Türkiye' de müsaade edilen değer diğer ülke ortalamalarına göre iki kat fazla olduğu görülmektedir.

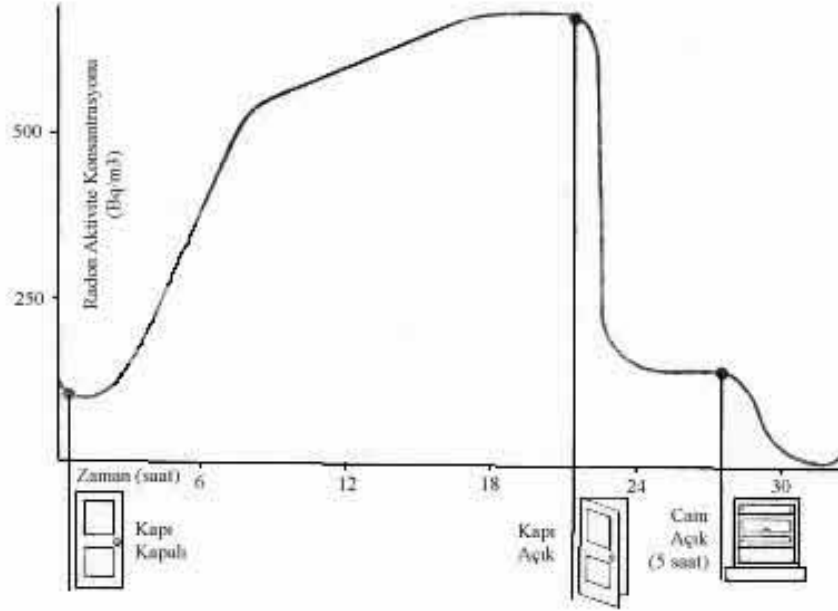
Çizelge 4.9 Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m³)

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

4.8 Radon Gazı İle İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler;

1. Giriş çatlaklarının ve yerlerinin tıkanması (geçirgen olmayan bir çimento tabakasıyla toprağın örtülmesi).
2. Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olmasının sağlanması.
3. Radyoaktif içeriği düşük materyal kullanılması.
4. Yeni inşaatların yapımında radon kapsamı az olan materyalin kullanılması.
5. Havalandırma sisteminin duvarın üst seviyesinden havayı atıp, alt seviyeden hava almak biçimindeki döngüsünün tersine çevrilmesi. Tabana yakın olan radon gazının oda atmosferinin üst tabakalarına çıkmasının engellenmesi.
6. Binalarda doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmesi.
7. Radon konsantrasyonu yüksek bölgelerde toprak tabanlı kırsal kesim evlerinde tabana polietilen bir örtü serildikten sonra üzerine çimento dökülmelidir.

Radon ve Havalandırma;



Şekil 4.2 Radon Gazının Havalandırma ile Olan Değişimi

4.9 Radyasyonun Sağlık Üzerine Etkileri

Radyasyonun canlı hücreye etkisi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde açıklanmaktadır. Doğrudan etkide, radyasyon hücreye enerji aktararak DNA molekül bağlarının kırılmasına neden olmaktadır ve dolayısıyla hücreyi öldürmektedir. Dolaylı etkide ise hücre içindeki su moleküllerinin atomlarını iyonlaştırarak serbest iyonlar meydana getirmektedir. Oluşan bu serbest iyonlar çeşitli reaksiyonlar meydana getirerek hücre içinde biyolojik etki meydana getirmektedirler [25].

Canlıda önemli bir biyolojik etkinin meydana gelmesi için hücrenin belirli bir seviyenin üzerinde radyasyona maruz kalması gerekir. Üreme hücreleri hariç vücutta bulunan tüm hücrelere somatik hücreler denir. Radyasyona maruz kalan kişilerde, yaşam süresi içinde ortaya çıkan biyolojik etkiler de somatik etkiler olarak adlandırılır. Bu etkilerin türü ve önemi birçok faktöre bağlıdır. Bunların bazıları;

1. Maruz kalınan toplam radyasyon dozu
2. Dozun alındığı zaman süresi
3. Radyasyona maruz kalan vücut kısmı ve alanı [18].

Üreme hücrelerine genetik hücre denir. Radyasyona maruz kalmış kişinin ileri nesillerinde görülen hasara genetik etki denir. Radyasyonun etkisiyle genlerden birinin yapısı değişebilir veya kromozom ipliği bir veya daha fazla yerden kırılabilir. Birinci durumda hücrenin genetik materyalini oluşturan moleküllerde bir değişiklik meydana gelir. Bu gen mutasyon olarak adlandırılır. Mutasyonun meydana gelme olasılığını belirleyen ana faktör hücrenin aldığı toplam radyasyon dozudur [26].

Hücrenin yaşadığı süre içinde meydana gelmiş olan herhangi bir mutasyon ve kromozomun yeniden düzenlenmesi, bölünme yolu ile yavru hücrelere geçer. Böylece bütün yeni kuşaklar değişikliğe uğramış hücrenin benzer bir kopyasını taşırlar [17].

4.10 Radon Gazı ve Akciğer Kanseri Arasındaki İlişki

Radon ve bozunma ürünleri akciğer ve üst solunum yolu organları için oldukça tehlikelidir. Yapılan çalışmalar sonucunda radon ürünlerinin radondan daha tehlikeli olduğunu göstermiştir. Ürünlerin bir kısmı atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa yapışır, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalırlar. Bozunma ürünlerini taşıyan hava solunduğu zaman serbest atomlar üst solunum yollarına tutulurlar. Bu ürünlerin yarı ömrü birkaç saatten bir güne kadar olduğundan yayınlanan tüm alfa parçacıkları enerjilerini akciğer hücrelerine aktararak hücreyi tahrip ederler [21].

Radonun kendisi ise akciğerlerde kalış süresine göre uzun bir yarı ömre sahip olduğundan akciğerde önemli miktarda enerji bırakmadan solukla dışarı atılmaktadır. Bir miktar radon gazı vücut sıvılarında çözünerek kan dolaşımına katılır. Kan dolaşımına katılan radon ve vücut içinde bozunması sonucu oluşan ürünleri çeşitli organların ışınlanmasına neden olsa da bu dozlar bozunma ürünlerinin akciğere verdiği doza göre ihmal edilebilecek düzeydedir [27].

BÖLÜM 5

NIĞDE İLİNDE RADON GAZI ÖLÇÜMÜ YAPILAN YERLERİN TANITILMASI

Radon gazı konsantrasyon düzeylerini belirlemek üzere seçilen alanlar, Niğde ili merkezinde yer alan Sungur Bey camii, Alaeddin camii, Dışarı camii ve Ak Medrese yerleri seçilmiştir. Burada sıralanan tarihi eski yapılar hem Niğde'ye gelen turistler tarafından hem de yöre halkı tarafından kullanılmaktadır.

5.1 Sungur Bey Camii

1335 yılında yapılmıştır. Camii, doğu-batı doğrultusunda meyilli bir arazi üzerine inşa edilmiş olup ve dıştan $28,45 \times 37,10$ m². Ölçülerindedir. Caminin inşasında sarımtrak renkte ince yonu trakit taşı kullanılmıştır. Caminin içten $24,45 \times 33,80$ m². ölçülerinde olan boyuna dikdörtgen planlı cami, dörderden altı sıra olmak üzere toplam yirmi dört (24) ahşap sütuna ayrılmıştır. Radon gazı dedektörleri bu alanda karşılıklı bulunan sütunlar üzerine ve minber üzerine olmak üzere üç adet dedektör yerleştirilmiştir.

5.2 Alaeddin Camii

Yapının inşası 1223 yılında yapılmıştır. Kuzey-güney doğrultusunda hafif eğimli bir arazi üzerine inşa edilen cami, çok hafif çarpık planlı olup dıştan yaklaşık $23,50 \times 28,30$ m². Ölçülerindedir. Caminin inşasında sarımtrak renkte ince yonu trakit taşı kullanılmıştır. Boyuna dikdörtgen planlı olup ortalama $20,90 \times 25,90$ m. ölçülerindedir. Bu alana yerleştirilen dedektörlerden bir tanesi minber üzerine, bir tanesi sütun üzerine ve diğeri pencere kenarına yerleştirilmiştir. Kesme taş minber dokuz basamaklı olup, 1.02 m. genişliğinde ve 3.78 m. uzunluğundadır.

5.3 Dışarı Camii

Niğde ili merkezinde yer alan ve en çok kullanılan camilerden biridir. 16. yüzyılda yapılmıştır. Cami dıştan $17,10 \times 17,10$ m². boyutlarında ve içten $14,30 \times 14,30$ m². boyutlarındadır. Radon gazı dedektörleri bu alan içerisinde çok eski olan minber

içersine ve minber üzerine olmak üzere iki adet, diğer dedektör ise giriş kısmının sol kısmında bulunan kolon üzerine yerleştirilmiştir.

5.4 Ak Medrese

1409–1410 yılında yapılmıştır. Kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilen yapı, dıştan 21,80×24,50 m². boyutlarındadır. Medresenin inşasında tamamen yöreye mahsus sarımsak renkte trakit taşı kullanılmıştır. Bu alana yerleştirilen dedektörlerden iki tanesi karşılıklı olarak yer alan kolon kısmının kenar süsü üzerine diğeri ise pencere kenarına yerleştirilmiştir.

BÖLÜM 6

RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma Niğde ilinde Sungur Bey camii, Alaeddin camii, Dışarı camii ve Ak Medrese mekanlarında 7 Mayıs- 8 Temmuz 2008 tarihleri arasında radon gazı konsantrasyonunu tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Radon gazı ölçümleri Aktif ve Pasif olmak üzere iki gruba ayrılır. Aktif ölçüm tekniğinde radon ölçümü anlık olarak yapılmaktadır. Bu teknikte radon gazı konsantrasyonu belirlenecek olan yerden hava numunesi alınarak numune bir radyasyon sayıcısı ile sayılarak radon konsantrasyonu hesaplanmaktadır. Bu tekniğin kullanılması pek tercih edilmemektedir. Çünkü radon dış etkenlerden (nem, basınç, hava sıcaklığı vs.) çok fazla etkilenir. Bu nedenle radon ölçümlerinde bir ortalama değer belirlemek için pasif yöntem tercih edilmektedir. Ölçümler uzun süreli (günlük, aylık, mevsimlik, yıllık) yapılır. Biz bu çalışmada belirlenen yerlerde yaklaşık 2 aylık zaman aralığını 63 gün olarak belirleyerek biraz daha geniş zaman aralığında daha hassas ortalama radon konsantrasyon değerleri elde etmeyi hedefledik.

Radon ölçümleri için nükleer iz dedektörü olan alfa ışınlarına duyarlı CR-39 (Alil-diglikol karbonat) plastik dedektörleri kullanılmıştır. Plastik dedektörlerin kullanımı radon ölçümleri için geliştirilmiş bir pasif ölçüm yöntemidir. Dedektörler 20.0×20.0×0.25 mm boyutlarında kesilerek, yüksekliği 4 cm olan plastik kaplar içine yerleştirilmiş ve kaplar plastik kapaklarla kapatılmıştır. Pasif radon dozimetreleri adını alan bu kaplar, radon konsantrasyonu belirlenecek olan ortamda belli bir süre bekletildikten sonra toplanarak, dedektörler üzerinde oluşan alfa izleri nükleer iz kazıma tekniği ile mikroskopta görünür hale getirilerek sayılmakta ve havadaki radon konsantrasyonu hesaplanmaktadır.

6.1 CR-39 Radon Algılayıcıların Kalibrasyonu

Bu dedektörlerin radon ölçümlerinde kullanılabilmesi için radon konsantrasyonu bilinen ortamlarda kalibrasyonunu yapılması gerekir. Kalibrasyon işlemleri 225 litrelik bir radon kalibrasyon odası kullanılarak yapılmaktadır. Bu kalibrasyon odasının denge

konsantrasyonu 3,2 kBq/m³ tür. Dedektörler kalibrasyon odasında belirli sürelerde radona maruz bırakılır ve dedektör üzerinde oluşan alfa izleri yardımıyla kalibrasyon iz sayısı (N_k) bulunur. Böylece bilinen konsantrasyona göre iz sayısı belirlenerek bir kalibrasyon faktörü (KF) elde edilmiş olur. Kalibrasyon faktörü bulmak için;

$$KF = \frac{3.2kBq/m^3}{\frac{N_{net}}{t_k}} \left(\frac{kBq/m^3}{iz/saat} \right) \text{ bağıntısı kullanılır.} \quad (6.1)$$

t_k: Dedektörlerin kalibrasyon odasında kalma süresi (saat)

N_{net}: Net iz sayısı olup kalibrasyon yapılmadan önce bulunan fon iz sayısının (N_f), kalibrasyon iz sayısından (N_k) çıkartılmasıyla elde edilir.

Kalibrasyon yapıldıktan sonra bu dedektörlerin analizleri yapılmaya kadar etkilenmemesi için alüminyum folyo ile sarılırlar.

6.2 Sayım İşlemi

Radon gazı konsantrasyonu belirlenecek olan yerlerde 63 gün radon gazına maruz kalan dedektörlerin tekrar hava almaması için alüminyum folyo içine sarılarak Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (SANAEM) Radon ölçüm laboratuvarında sayım işlemi yapılmak üzere gönderilmiştir. Sayım işlemi için dedektörler kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutularak dedektör üzerindeki istenmeyen izlerden arındırılıp alfa izleri görünür hale getirilmiştir. Bunun için radon difüzyon kabı açılarak CR-39 plakaları Şekil 6.1’ de gösterilen soketlere yerleştirilmiştir.



Şekil 6.1 CR-39’ un yerleştirildiği soket

Bu soketler iz kazıma ünitesinde sıcaklığı 60°C olan %30'luk NaOH çözeltisinde 4,5 saat süreyle bekletilmiştir. Bu işlemin ardından saf su içinde temizlenen dedektörler sayma işlemine hazır hale getirilmiştir. Plakalar üzerindeki iz sayısını bulmak için görüntü işleme seti kullanılmıştır (Şekil 6.2). Bu işleme seti mikroskoptan görüntüyü alan CCD kamera, kameradan elde edilen analog görüntüyü dijital hale çeviren işlemci ile donatılmış bir PC'den oluşmaktadır. Görüntü analizini Linux işletim sistemi altında çalışan Radosys adlı bir program gerçekleştirmektedir [33].



Şekil 6.2 Radon dedektörleri üzerindeki alfa izlerinin analizinde kullanılan görüntü işleme seti

Sayım işlemi her dedektör üzerinde 10 farklı bölgeden önlü arkalı olmak üzere toplam 20 resim çekilmiştir. Bu resimler üzerinde görünür haldeki izler Radosys isimli program kullanılarak sayılmıştır. Bu program radon konsantrasyon (C_{Rn}) değerini, aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilmektedir.

$$C_{Rn} = \frac{(KF) \times (N)}{t} \quad (6.2)$$

N; CR-39 dedektörü üzerindeki toplam iz sayısı

t; Dedektörlerin radona maruz kaldığı zaman (saat)

KF; Kalibrasyon faktörü

Radosys programı her bir plaka için bu işlemleri gerçekleştirmekte ve direk olarak ortalama radon konsantrasyonunu vermektedir.

6.3 DEDEKTÖR YERLEŞTİRME NOKTALARI

Sungur Bey Camii, Alâeddin Camii, Dışarı Camii ve Ak Medrese yerlerinde toplam 12 adet dedektör yerleştirilmiştir. Bu yerlerin büyüklüğü birbirine yakın olduğu için kullanılan dedektörler her birinde 3'er adet olmak üzere paylaŐtırılmıŐtır.

6.3.1 Sungur Bey Camii dedektör yerleştirme noktaları

Sungur Bey camisinin dikdörtgen yapılı olması nedeniyle dedektörler camii içerisinde karşılıklı 2 ve diğer dedektör ise yapının diğer noktasına yerleştirilmiştir. Dedektörler burada 7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında 63 gün süreyle radon gazına maruz bırakılmıştır.

Çizelge 6.1 Sungur Bey Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)
1	2.80 metre
2	3.70 metre
3	4.0 metre



Şekil 6.3 Sungur Bey Camisinde Sütun Üzerine Yerleştirilen Örneđ Dedektör.

6.3.2 Alaeddin Camii dedektör yerleştirme noktaları

Alaeddin camisinde 3 adet dedektör kullanılmış olup bu dedektörler 7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında 63 gün süre ile radon gazına maruz bırakılmıştır. Bu dedektörlerden bir tanesi minber üzerine diğer iki dedektör ise cami içerisine karşılıklı olarak yerleştirilmiştir.

Çizelge 6.2 Alaeddin Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)
1	1.80 metre
2	1.50 metre
3	1.70 metre



Şekil 6.4 Alaeddin Camisinde Pencere Kenarına Yerleştirilen Örnek Dedektör.

6.3.3 Dışarı Camii dedektör yerleştirme noktaları

7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında 63 gün süre ile radon gazına maruz bırakılan dedektörlerden 2 tanesi minberin üst ve alt kısmında kullanılmıştır diğer dedektör ise camiinin giriş kapısının sol kısmında bulunan duvar saati üzerine bırakılmıştır.

Çizelge 6.3 Dışarı Camisinde Dedektör Yerleştirme Noktaları

Dedektör No	Yerleştirilen Yüksekli (Yerden)
1	1.30 metre
2	10 cm
3	2.0 metre



Şekil 6.5 Dışarı Camisinde Minberde Bulunan Dedektör Yeri

6.3.4 Ak Medrese

7 Mayıs- 8 Temmuz 2008 tarihleri arasında radon gazı konsantrasyon ölçümü için bırakılan dedektörler 3930 m³ alanda 3 ayrı noktaya yerleştirilmiştir.

Çizelge 6.4 Ak Medrese Dedektör Yerleştirme Noktaları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)
1	2.0 metre
2	2.0 metre
3	3.10 metre



Şekil 6.6 Ak Medrese Kolon Üzerine Yerleştirilen Örnek Dedektör Yeri

6.4 ÖLÇÜM SONUÇLARI

6.4.1 Sungur Bey Camii radon ölçüm sonuçları

7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında Sungur Bey Camisinde yapılan radon konsantrasyon sonuçları aşağıda verilmiştir. Ölçüm yapılan yerdeki radon konsantrasyon ölçümü 28 ile 37 Bq/m³ arasında değişmektedir. Bu mekandaki ortalama radon konsantrasyon 31,6 Bq/m³ dür.

Çizelge 6.5 Sungur Bey Camii Radon Gazı Ölçüm Sonuçları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)	Radon Konsantrasyon (Bq/m ³)
1	2.80 metre	30
2	3.70 metre	28
3	4.0 metre	37

6.4.2 Alaeddin Camii ölçüm sonuçları

Alaeddin camisinde yapılan radon gazı konsantrasyon ölçümü 47 ile 60 Bq/m³ arasında değişmektedir. Bu alandaki ortalama radon konsantrasyonu 52 Bq/m³ olarak

belirlenmiştir. 7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında yapılan radon gazı ölçümü Çizelge 6.6’ da verilmektedir.

Çizelge 6.6 Alaeddin Camii Radon Ölçüm Sonuçları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)	Radon Konsantrasyon (Bq/m³)
1	1.50 metre	49
2	1.70 metre	47
3	1.80 metre	60

6.4.3 Dışarı Camii radon ölçüm sonuçları

7 Mayıs–8 Temmuz 2008 tarihleri arasında bu mekânda yapılan radon gazı ölçümü sonuçları 28 ile 70 Bq/m³ arasında değişim göstermiştir. Dışarı camisinde ortalama radon konsantrasyon ölçümü ise 47 Bq/m³ dür. Aşağıdaki Çizelge 6.7’ de dedektörlerden alınan radon gazı değerleri verilmektedir.

Çizelge 6.7 Dışarı Camii Radon Gazı Ölçüm Sonuçları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)	Radon Konsantrasyon (Bq/m³)
1	1.30 metre	70
2	10 cm	30
3	2.0 metre	28

6.4.4 Ak Medrese radon gazı ölçüm sonuçları

7 Mayıs- 8 Temmuz 2008 tarihleri arasında yapılan radon gazı konsantrasyon ölçümleri 26 ile 30 Bq/m³ arasında değişim göstermektedir. Bu alanda yer alan ortalama radon değeri ise 31 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 6.8’ de Ak Medrese için elde edilen radon gazı ölçümlerini vermektedir.

Çizelge 6.8 Ak Medrese Radon Gazı Ölçüm Sonuçları

Dedektör No	Yerleştirilen Yükseklik (Yerden)	Radon Konsantrasyon (Bq/m ³)
1	2.0 metre	30
2	2.0 metre	37
3	3.0 metre	26

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), radon gazına maruz kalma konusunda " Evde ve iş yerlerinde Radon-222' ye karşı korunma" konusunda 65 Nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiştir. ICRP tarafından Evler için radon konsantrasyonu 200–600 Bq/m³ arasında, iş yerlerinde ise bu değer 500–1500 Bq/m³ arasında bir değer önerilmiştir. Türkiye’de bu değer Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), radyasyon güvenliği yönetmeliğinde 400 Bq/m³ olarak bir sınır değeri belirtmiştir.

Bu çalışmada belirlenen yerlerde yapılan radon gazı konsantrasyon ölçüm sonuçlarına göre TAEK tarafından izin verilen ortalama radon konsantrasyon değerinin altında kalmaktadır. Dolayısıyla aktif kullanılan bu mekanlardaki radon konsantrasyonu insan sağlığını herhangi bir zararlı etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

6.5 DOZ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışma, radon konsantrasyon ölçümü yapılan yerlerde bu alanları kullanan insanların radon ve ürünlerinden dolayı maruz kaldıkları radyasyon dozları hesaplanmıştır. Doz hesapları UNSCEAR–2000 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) ve ICRP–65 (Uluslar arası Radyasyon Korunma Komitesi) Nolu raporunda önerilen model kullanılarak yapılmıştır.

Radon ve bozunma ürünlerinden alınan yıllık etkin doz aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$E=C_{Rn}Ftd_u \quad (6.3)$$

E; efektif doz birimi (mSv/yıl)

C_{Rn} ; radon konsantrasyonu (Bq/m³)

F; radon ve bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü

t; ölçüm yapılan yerlerde yıllık bulunma süresi (saat/yıl)

d; doz çevirme faktörü 1.4 mSv/[(mj)/(saat)(m³)]

u ; birim faktörü olup 5.6×10^{-6} (mj/m³)/(Bq/m³)

Yapılan çalışma sonucunda Sungur Bey camisinde elde edilen ortalama radon konsantrasyonu 31,6 Bq/m³ olarak elde edilmiştir. Sadece namaz saatlerinde kullanılan camilerde burada kalma süresi olarak 1,5 saat olarak verilmiştir. Bu değer yılda ortalama olarak 548 saat bu yerlerin kullanıldığı anlamına gelir. Bu alanlarda çalışan kişiler için burada kalma süresi günlük 15 saat olarak tespit edilmiştir ve bu değerde yılda ortalama olarak 5475 saat yapar. Buna göre radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla bu yerlerde alınan toplam yıllık etkin doz miktarı;

6.5.1 Sungur Bey Camii

Sadece namaz saatlerinde burayı kullanan insanlar için yıllık etkin doz miktarı;

$$E=(31.6)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(548)=0.06 \text{ mSv/yıl}$$

Görevli kişiler için bu değer;

$$E=(31.6)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(5475)=0.67 \text{ mSv/yıl}$$

6.5.2 Alâeddin Camii

Sadece namaz saatlerinde burayı kullanan insanlar için yıllık etkin doz miktarı;

$$E=(52)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(548)=0.11 \text{ mSv/yıl}$$

Görevli kişiler için bu değer;

$$E=(52)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(5475)=1.11 \text{ mSv/yıl}$$

6.5.3 Dışarı Camii

Sadece namaz saatlerinde burayı kullanan insanlar için yıllık etkin doz miktarı;

$$E=(47)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(548)=0.10 \text{ mSv/yıl}$$

Görevli kişiler için bu değer;

$$E=(47)(0.5)(1.4)(5.6 \times 10^{-6})(5475)=1.00 \text{ mSv/yıl}$$

ICRP–65 Nolu raporda radon gazı için maruz kalınan yıllık etkin doz değeri 3–10 mSv arasında sınırlandırmıştır [35]. Bu değerın aşılması durumunda gerekli olan tedbirlerin alınması gerekir.

6.5.4 Ak Medrese için doz değeri

Radon ve ürünlerinden dolayı alınan doz değerini hesaplamak için denge eşdeğer radon kondantrasyonu değeri UNSCEAR–2000 raporunda iş yerleri için 0.4 olarak belirlenmiştir [18].

Denge eşdeğer konsantrasyonunu, etkin doza çeviren katsayı ise 1 Bq/m^3 ve denge eşdeğer radon konsantrasyonu solunması ile alınan etkin doz iş yerleri için 9 nSv olarak belirtilmiştir [18]. Ak Medresede yapılan ortalama radon konsantrasyon ölçümü 31 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Burada günlük çalışma 8 saat olarak kabul edilmiştir. Buda yılda 2980 saat çalışıldığı anlamına gelir.

Burada çalışan kişilerin radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla aldıkları toplam yıllık etkin doz;

$$E=(0.4)(31 \text{ Bq/m}^3)(9 \text{ nSv.m}^3/\text{Bq.saat})(2980 \text{ saat/yıl})=0.33 \text{ mSv/yıl}$$

BÖLÜM 7

SONUÇ

Radon gazı insan duyu organları ile gözlenemeyen varlığı ve şiddeti ancak özel olarak tasarlanmış cihazlar vasıtasıyla belirlenebilen ve insanların maruz kaldığı doğal radyasyonlar arasında büyük önem teşkil etmektedir. Binalarda radon gazı yoğunluk ölçümü ilk kez 1956 yılında İsviçre’de yapılmıştır. Yapılan araştırmalar yüksek yoğunlukta radon bulunan yerlerde kanser vakalarının yüksek olduğu görülmüştür. Türkiye’de henüz çok geniş kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır ve özellikle Niğde ili için ilk kez yapılan bu tür bir çalışma yapılmış olması da bu çalışmayı daha önemli bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada Radon yoğunluk ölçümleri için pasif yöntem denilen nükleer iz dedektörü olan alfa ışınlarına duyarlı CR-39 plastik dedektörleri kullanılmıştır. Radon konsantrasyonu belirlenen yerlerde 63 gün süre göz önüne alınarak, bu yerlerde bekletilen dedektörler daha sonra SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) ne gönderilerek bu alanlarda radon konsantrasyon değerleri belirlenmiştir.

ICRP tarafında binalar için radon konsantrasyonu 200-600 Bq/m³ arasında, iş yerlerinde ise bu değer 500-1500 Bq/m³ arasında bir sınır değer tespit edilmiştir. Türkiye’de ise bu değer TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Belirlenen yerlerde yapılan Rn-222 yoğunluklarına ait ortalama değerler; Sungur Bey Camii 31.6 Bq/m³, Alaeddin Camii 52 Bq/m³, Dışarı Camii 47 Bq/m³ ve Ak Medrese için 31 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyon değerleri yapılan yerlerin geniş bir alana sahip olması ve hava akımının iyi olması nedeniyle radon konsantrasyon değerleri sınır değerinin altında çıkmasına neden olmuştur.

Yapılan bu çalışmada Sungur Bey Camii, Alaeddin Camii, Dışarı Camii ve Ak Medrese yerlerinde radon gazı ölçümlerinden elde edilen radon konsantrasyon değerlerini kullanarak bu yerlerde çalışan kişiler ve bu yerleri kullanan insanlar için maruz kalınan yıllık etkin eşdeğer dozları hesaplanmıştır.

Sadece namaz saatlerinde kullanılan Sungur Bey Camii için 0.06 mSv/yıl ve burada çalışan görevliler için ise bu değer 0.67 mSv/yıl, Alaeddin Camii için namaz saatlerinde kullanılan zaman aralığında 0.11 mSv/yıl, görevliler için ise 1.11 mSv/yıl, Dışarı Camii için bu değerler namaz saatlerinde kullanılan kısımda 0.10 mSv/yıl çalışan kişiler için 1.00 mSv/yıl yıllık etkin doz değerleri bulunmuştur.

ICRP-65 Nolu raporda belirtilen yıllık etkin doz limiti 3-10 mSv/yıl arasında olduğu açıklanmıştır. Bu yerler için yapılan radon konsantrasyon yıllık etkin doz değerlendirmeleri, limit değerinin altında çıkmıştır.

Ak Medrese işletmesinde yapılan radon gazı ölçümü değerlerinin yıllık etkin eş değer doz oranı ise 0.33 mSv/yıl' dır. Bu değerde ICRP'nin belirlediği (3-10 mSv/yıl) değerinin altındadır.

Sonuç olarak son zamanlarda insan sağlığı açısından en önemli risklerden biri olarak radyasyon gösterilmektedir. Yapılan araştırmalar insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %80' i doğal ortamdan kaynaklanmakta ve bu doğal radyasyona en önemli katkıyı radon gazı yapmaktadır. Bu nedenle radon ve radonun kaynağı olan radyum konsantrasyonlarının ve mümkünse bütün radyoaktif madde konsantrasyonlarının her bölgede belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma Niğde Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Biriminin FEB 2007/012 Nolu projesiyle desteklenmiştir. Bu nedenle N.Ü. Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Birimine teşekkür ederiz.

BÖLÜM 8

KAYNAKLAR

- [1] **Ilari, O.** (1992) Translating ICRP Recommendations into practice, NEA newsletter, Vol. 10, pp. 3-8.
- [2] **EPA** (1992) A Citizen' s Guide to Radon, Annual Report, EPA Document 402-K92-001.
- [3] **ICRP** (1992) Protection againsts ²²²Rn at home and work, International Commission On Radiological Protection (ICRP), Annals of ICRP, Publication No. 65, Oxford: Pergamon Pres.
- [4] **Er, Z.** (1995) Çeşitli Maden Suyu ve Sodaların Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, 114 s.
- [5] **Büget, N.** (1992) Genel Radyoaktivite, TAEK Yayınları, Ankara, s.1-16.
- [6] **Krane K.S.** (1987) Introductory Nuclear Physics, Wiley, New York p. 160-236.
- [7] **Durrani, S., A. And Iiç, R.** (1997) Radon Measurement by Etched Track dedectors, World Scientific, Singapore, pp. 261-313.
- [8] **Bilge, A., N.** (1985) Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, TAEK Yayınları, Ankara, s. 21-32.
- [9] **Özbey, T.**(1993) Maddenin Atom ve Çekirdek Yapısı, Akdeniz Matbaacılık, İzmir, s.1-28
- [10] **Çelebi, N.** (1995) Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı, İstanbul, 95 s.

- [11] **Yaşar, S.** (1970) Uranyum Madenciliğinde Radyasyon Tehlikeleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, İstanbul.
- [12] **Toylar, J., R.** (1996) Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik, Güven Yayıncılık, İstanbul, s. 261-286.
- [13] **Gedikoğlu, A.** (1998) Çekirdek Fiziğine Giriş, K.T.Ü Basımevi, Trabzon, s. 187-190.
- [14] **Aksu, L.** (1992) Radyasyon Ölçme Sistemleri, Taek Yayınları, Ankara, s. 21-45
- [15] **Göksel, A., S.** (1973) Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Evans, R., D.** (1968) Engineers' Guide to The Elementary Behavior of Radon Daughters, Health Physics, Vol. 38, pp. 1173-1197.
- [17] **Fişne, A.** (2002) Yer altı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Fakültesi, İstanbul, 82 s.
- [18] **UNSCEAR** (2000) Sources, Effects and Risks of İonizing Radiation, Report to General Assembly, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, New York.
- [19] **Valkoviç, V.** (2000) Radyoactivity In The Environment, Rlsevier, Vol. 12, pp. 7-18
- [20] **Karahan, G.** (1997) İstanbul' un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Dotor Tezi, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, 118 s.
- [21] **Yaşar, S.** (1970) Uranyum Madenciliğinde Radyasyon Tehlikeleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, İstanbul.

- [22] **Nazik, L., Derici, S. ve Kutay, H.** (1997) Cehennemagzı Mağaraları Araştırma Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Dairesi Başkanlığı, Zonguldak.
- [23] **Virk, H., S., and Sharma, A., K.** (2002) Radon and Helium Monitoring in Some Thermal Springs of North India and Bhutan, Current science, vol. 32, pp.1423-1424.
- [24] **Arıkan, İ., H. Ve Uslu, İ.** (2004) Günlük Hayatımızda Radyasyon, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, <http://www.taek.gov.tr>
- [25] **Köksal, E., M.** (1998) Endüstriyel Radyografi için radyasyon Korunması, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, İstanbul.
- [26] **Sengupta, M.** (1990) Mine Environmental Engineering, CRC Pres, New York.
- [27] **Rao, K., V., Reddy, B. L., Ramchander, R., B.** (2001) Airborn Radon and Its Pongeny Levels in The Coal Mines Godavarikhani, Journal of radiological Protection, Vol. 21 pp. 259-268.
- [28] **Harley, N. H. Harley, J. H.** Potential Lung Cancer Risk Form Indoor Radon Exposure. Ca, A. Cancer Journal for Clinican. 40.5, 265-275. Sept/Oct, 1990.
- [29] **Bard, D. Tirmarche, D. ,** Radon, WHO, Regional Office for Europe, March, 1996.
- [30] **INTERNARIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY,** " Radiation Safety " IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
- [31] **Stephen A. McGuire, Carol A. Peabody,** " Working Safety in Gamma Radiography, Training Manuel for Industrial Radiographess " U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/BR-0024, 1986.

[32] **Harry Johnson, Marvis Tutiah**, " Radiation is Part of Your Life " Nuclear Information Series, Atomic Energy of Canada Limited Public Affairs, 1993

[33] **Radosys User's Manual** (2000) Radosys Technical Specification.

[34] **TAEK**, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, Sayı: 23999, Madde 37.

[35] **International Commission on Radiological Protection**. Protection against Radon-222 at home and at work. Oxford: Pergamon Pres; Icrp Publication 65: 1995