

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KASTAMONU MERKEZDEKİ OKUL BİNALARINDA HAVADAKİ
RADON AKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Gülseren ARAS

FİZİK ANABİLİM DALI

**KASTAMONU
2011**

Her hakkı saklıdır

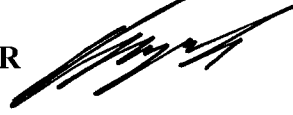
TEZ ONAYI

Gülseren ARAS tarafından hazırlanan “**Kastamonu Merkezdeki Okul Binalarında Havadaki Radon Aktivitesinin Ölçülmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

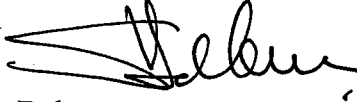
Danışman : Doç.Dr.Sezai YALÇIN

Jüri Üyeleri :

Doç.Dr. Orhan GÜRLER
Uludağ Üniversitesi
Fizik Anabilim Dalı



Doç.Dr. Sezai YALÇIN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilgisi Eğitimi Bilim Dalı



Yrd.Doç.Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi
Fizik Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Güray ÜNAL
Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KASTAMONU MERKEZDEKİ OKUL BİNALARINDA HAVADAKİ RADON AKTİVİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Gülseren ARAS

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sezai YALÇIN

Bu çalışmada Kastamonu ili merkezindeki ilk ve ortaöğretim binalarının içindeki radon aktivitesi, Genitron Instruments tarafından üretilen AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile ölçülmüştür. Seçilen okullar kentin değişik yerlerindeki, eski ve yeni oluşlarına, kentin içindeki konumlarına göre belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama radon aktivitesi Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulunda $15,95 \pm 6,68 \text{ Bq/m}^3$, Kız Meslek Lisesinde $23,46 \pm 8,76 \text{ Bq/m}^3$, Gazi Paşa İlköğretim Okulunda $58,98 \pm 19,77 \text{ Bq/m}^3$, Endüstri Meslek Lisesinde $33,78 \pm 11,86 \text{ Bq/m}^3$, Ali Fuat Darendede İlköğretim Okulunda $11,87 \pm 5,53 \text{ Bq/m}^3$, Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulunda $36,94 \pm 12,85 \text{ Bq/m}^3$, İsfendiyarbey İlköğretim Okulunda $18,03 \pm 7,24 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, evlerde radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye’de Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre evler için izin verilen limit değer 400 Bq/m^3 , işyerleri için 1000 Bq/m^3 tür (TAEK 2009). Ölçüm yapılan okullarda elde edilen ortalama radon aktivitesi, Uluslararası ve Türkiye standartlarına göre izin verilen değerlerin altındadır.

2011, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radon, Doğal radyasyon, Hava, AlphaGUARD, Kastamonu.

ABSTRACT

MSc Thesis

MEASUREMENT OF RADON ACTIVITY IN AIR IN SCHOOL BUILDINGS IN KASTAMONU CENTER

Gülseren ARAS

Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Sezai YALÇIN

In this study, the radon activity in the primary and secondary school buildings in Kastamonu centre were measured with AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detector produced by Genitron Instruments. The selected schools were identified according to them being old and new and there places around the city. The radon activities were measured $15,95 \pm 6,68 \text{ Bq/m}^3$ in Vali Aydın Arslan Primary School, $23,46 \pm 8,76 \text{ Bq/m}^3$ in Girls' Vocational High School (Kız Meslek Lisesinde), $58,98 \pm 19,77 \text{ Bq/m}^3$ in Gazi Paşa Primary School, $33,78 \pm 11,86 \text{ Bq/m}^3$ in Industrial Vocational High School (Endüstri Meslek Lisesinde), $11,87 \pm 5,53 \text{ Bq/m}^3$ in Ali Fuat Darendede Primary School, $36,94 \pm 12,85 \text{ Bq/m}^3$ in Mehmet Akif Ersoy Primary School, $18,03 \pm 7,24 \text{ Bq/m}^3$ in Isfendiyarbey Primary School.

In the frame of International Nuclear Energy Agency basic Security Standards (IAEA-BSS) the advised radon levels for houses is 200-600 Bq/m^3 . According to the Turkish Nuclear Energy Institution's (TAEK) Radiation Security Regulation the limit value permitted for houses is 400 Bq/m^3 , 1000 Bq/m^3 for workplaces (TAEK 2009). The average radon activities measured in schools were under the value of the permitted International and Turkish standards.

2011, 94 pages

Key Words: Radon, Natural radiation, Air, AlphaGUARD, Kastamonu.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın gerçekleşmesini sağlayan, her aşamasında benden yardım ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Sezai YALÇIN'a teşekkür ederim.

Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Anabilim Dalı öğretim üyesi Doç.Dr. Orhan GÜRLER'e AlphaGUARD PQ 2000 PRO detektörünü temininden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Deneylerin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan Uludağ Üniversitesi Arş. Gör. Ürkiye AKAR'a, ayrıca dolaylı da olsa bana destek veren Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümündeki bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Kastamonu Valiliğine ve Milli Eğitim Müdürlüğüne ve ölçüm yaptığım okulların yetkililere izinleri ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, gerek tez çalışmam ve gerekse tüm eğitim hayatım boyunca bana karşı gösterdikleri özverilerden dolayı değerli anneme, tezin her türlü aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen, kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

Gülseren ARAS
Kastamonu, Haziran 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1 Radyoaktivite.....	8
2.2 Radyasyon ve Çeşitleri.....	10
2.2.1Radyoaktif bozunma ve bozunum türler	11
2.2.1.1 Alfa bozunumu	11
2.2.1.2 Beta bozunumu.....	14
2.2.1.3 Gamma bozunumu	17
2.2.2 X- Işınları	18
2.3 Radyoaktif bozunma yasası.....	18
2.4. Radyasyon ölçüm yöntemleri.....	25
2.4.1 Gazlı detektörler.....	25
2.4.2 Yarıiletken detektörleri.....	29
2.4.3 Sintilasyon detektörler.....	30
2.5 Radon.....	32
2.6 Radon gazı kaynağı.....	34
2.6.1 Evlerde Radon.....	35
2.6.2 Havada Radon.....	39
2.6.3 Toprak ve kayalardan gelen radon.....	40
2.6.4 İnşaat malzemelerinden gelen radon.....	41
2.6.5 Sulardan gelen radon.....	42
2.6.6 Doğal gazdan gelen radon.....	43
2.7 Radon Gazının İnsan Sağlığına Etkisi.....	43
2.8 Radonla İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler	45
2.9 Türkiye’de Ev İçi ²²² Rn Konsantrasyonunun Şehirlere Göre Dağılımı.....	46
2.10 Radon ölçme yöntemleri	47
2.10. 1. İyonizasyon odası.....	47
2.10.2 Kollektör yöntemi.....	47
2.10.3 Lucas hücresi	48
2.10.4 İz kazıma yöntemi.....	49
2.10.5 Elektrostatik toplama yöntemi	49
2.10.6 Filtre yöntem.....	59
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1 AlphaGUARD Radon Detektörü.....	51
3.2 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı ve Çalışma İlkesi.....	54
3.2.1 Detektörün dış yapısı.....	55
3.2.2 Detektörün iç yapısı.....	58
3.3 AlphaGUARD PQ 2000 PRO’nun Teknik Özellikleri.....	62
4. BULGULAR.....	66

4.1 AlphaGUARD Detektörü İle Yapılan Ölçümler ve Hesaplamalar.....	66
4.2 AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Havadaki Radon Ölçümü.....	68
4.2.1 Kastamonu Vali Aydın Arslan ilköğretim okulunda alınan ölçümler	70
4.2.2 Kastamonu kız meslek lisesinde alınan ölçümler.....	72
4.2.3 Kastamonu Gazi Paşa ilköğretimi okulunda alınan ölçümler.....	74
4.2.4 Kastamonu Endüstri meslek lisesinden alınan ölçümler.....	76
4.2.5 Kastamonu Ali Fuat Darendel ilköğretiminden alınan ölçümler.....	78
4.2.6 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy ilköğretiminden alınan ölçümler.....	80
4.2.7 Kastamonu İsfendiyarbey ilköğretiminden alınan ölçümler.....	82
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	84
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	93

SİMGELER DİZİNİ

α	Alfa
Bq	Becquerel
β	Beta
Bi	Bizmut
dk	Dakika
DSP	Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme
γ	Gamma
g	Gün
ICRP	Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (International Committee on Radiological Protection)
kg	Kilogram
MeV	Mega Elektron Volt
μ Bq	Mikro Becquerel
mSv	Mili Sievert
Pb	Kurşun
Po	Polonyum
ppm	Parts per Million (Milyonda Bir Birim)
Ra	Radyum
Rn	Radon
s	Saniye
Sv	Sievert
U	Uranyum
UNSCEAR Komitesi	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel (The United Nation Scientific Committeon the Effects of Atomic Radiation)
y	Yıl
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çevremizdeki radyasyonun etmenlerine göre yüzde dağılımı.....	1
Şekil 2.1	Radyasyon çeşitlerine göre zırhlama.....	9
Şekil 2.2	Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ -ışınlarının saptırılmalarını gösteren denel düzenek (Arya 1983).....	10
Şekil 2.3	α (alfa) bozunumu.....	11
Şekil 2.4	Bir α parçacığının ve çekirdeğin potansiyel enerjileri.....	13
Şekil 2.5	Bir sis odasından geçen α taneciklerinin bıraktığı izler.....	14
Şekil 2.6	β^- (negatron) bozunumu.....	15
Şekil 2.7	β^+ (pozitron) bozunumu.....	15
Şekil 2.8	Bi^{210} bozunumu sonrasında yayımlanan elektronların enerji spektrumlarına bir örnek	16
Şekil 2.9	a) fotoelektrik olayı b) x-ışını olayı	17
Şekil 2.10	Silindirik orantılı sayaç geometrisi ve ölçme süreci.....	27
Şekil 2.11	Tipik bir gazlı detektörün farklı voltaj bölgelerine göre şematik Gösterimi.....	28
Şekil 2.12	Bir sintilasyon detektörünün şematik diyagramı (Price 1964).....	31
Şekil 2.13	Radyumun α bozunumu yaparak radona dönüşmesi.....	32
Şekil 2.14	^{238}U serisinin ^{222}Rn 'ye kadar olan bozunum şeması.....	33
Şekil 2.15	Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirler.....	34
Şekil 2.16	Evlere radonun girişi	37
Şekil 2.17	Topraktaki radon geçirgenliği.....	41
Şekil 2.18	Polonyum 218 in α bozunumunun sağlığı etkisi.....	44
Şekil 3.1	Kastamonu ili merkez haritası	50
Şekil 3.2	AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.....	50
Şekil 3.3	AlphaGUARD ile havada radon ölçümü için kullanılan sistem.....	53
Şekil 3.4	AlphaGUARD sudaki radon ölçümü (Aqua kit kullanılarak) için kullanılan sistem.....	53
Şekil 3.5	AlphaGUARD ile yapı malzemelerindeki radon ölçümü için kullanılan sistem.....	54
Şekil 3.6	AlphaGUARD ile toprakta radon ölçümü için kullanılan sistem.....	54
Şekil 3.7	AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları.....	55
Şekil 3.8	AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.....	56

Şekil 3.9 AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları.....	56
Şekil 3.10 AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.....	57
Şekil 3.11 AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.....	59
Şekil 3.12 AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi.....	60
Şekil 3.13 AlphaGUARD' ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.....	61
Şekil 4.1 ²²² Rn konsantrasyonu ölçümü örnek grafiği.....	66
Şekil 4.2 Sıcaklık ölçümü örnek grafiği.....	67
Şekil 4.3 Basınç ölçümü örnek grafiği.....	67
Şekil 4.4 Bağıl nem ölçümü örnek grafiği.....	68
Şekil 4.5 Kastamonu Vali Aydın Arslan ilköğretim okulunda alınan ölçümler.....	70
Şekil 4.6 Kastamonu Vali Aydın Arslan İlköğretimi radon-sıcaklık radon ve basınç radon-nem grafikleri	71
Şekil 4.7 Kastamonu kız meslek lisesinde alınan ölçümler	72
Şekil 4.8 Kastamonu Kız Meslek Lisesi radon,-sıcaklık, radon-basınç, radon- nem grafikler.....	73
Şekil 4.9 Kastamonu Gazi Paşa ilköğretimi okulunda alınan ölçümler	74
Şekil 4.10 Kastamonu Gazi Paşa İlköğretim okulu radon- sıcaklık, radon ve basınç radon-nem grafikleri	75
Şekil 4.11 Kastamonu endüstri meslek lisesinde alınan ölçümler	76
Şekil 4.12 Kastamonu Endüstri Meslek Lisesi radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon- nem grafikleri	77
Şekil 4.13 Kastamonu Ali Fuat Darende ilköğretim okulunda alınan ölçümleri.....	78
Şekil 4.14 Ali Fuat Darende İlköğretim okulu radon- sıcaklık, radonvebasınç,radon-nemgrafikleri	79
Şekil 4.15 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy ilköğretim okulunda alınan ölçümler....	80
Şekil.4.16 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy ilköğretim okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç ,radon-nem grafikleri.....	81
Şekil 4.17 Kastamonu İsfendiyarbey ilköğretim okulundan alınan ölçümler.....	82
Şekil 4.18 Kastamonu İsfendiyarbey ilköğretim okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç,radon-nem grafikleri.....	83
Şekil 5.1 Ölçüm yapılan okul binalarında havadaki radon aktivitesi.....	85

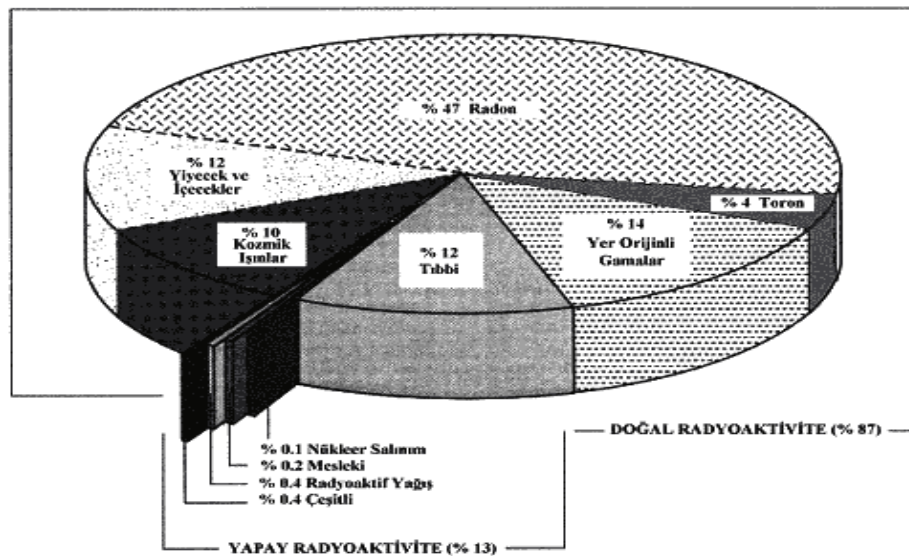
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu.....	35
Çizelge 2.2	Farklı ülkelerde ev içi ortalama radon konsantrasyonları.....	37
Çizelge 2.3	Evlerde ve İşyerlerinde Radon ve Ürünleri İçin Önerilen Eylem Seviyeleri.....	38
Çizelge 2.4	Çeşitli Ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m ³).....	39
Çizelge 2.5	İnşaat malzemeleri içindeki ²²⁶ Ra ve ²²² Rn değerleri.....	42
Çizelge 2.6	²²² Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri.....	46
Çizelge 3.1	AlphaGUARD monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikleri.....	64
Çizelge 4.1	Radon ölçümü yapıldığı okullar, ölçüm tarihi ve ölçüm zaman aralığı ortalama radon aktivitesi.....	69

1. GİRİŞ

Radyasyon sürekli iç içe olduğumuz yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır. Radyasyonun temel kaynakları kozmik radyasyon, kayalar ve toprakta bulunan doğal radyasyon havadaki ve yiyeceklerde bulunan doğal radyoaktif maddelerdir. Radyasyon, yaptığı etki bakımından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. Genelde doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyon maddeyle etkileşerek atomların elektronik yapısını değiştirebilir ki buda sağlık sorunlarına neden olur. Sağlık sorunlarının oluşumunda temel iki neden vardır: bünyesel ve çevresel etmenler. Çevresel etmenler arasında yer alan radyasyon halk sağlığı açısından giderek daha önemli olmaktadır ve bu etmenlerin toplum sağlığı üzerindeki etkileri kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır.

Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun neredeyse %50 si radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünlerinden kaynaklanmaktadır. İnsanlar, yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle beraber yılda ortalama 2,5 mSv yıllık doza maruz kalmaktadırlar. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi; toplum dozunun yaklaşık %87'si doğal kaynaklardan, %12'si tıbbi uygulamayla, geri kalan kısmı ise mesleki ışınlamalar ve diğer yapay kaynaklardan meydana gelmektedir.



Şekil 1.1 Çevremizdeki radyasyonun etmenlerine göre yüzde dağılım

İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli doğal radyasyona maruz kalmaktadır. 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 bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer; bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirler.

Doğal radyasyon; Bozunuma uğrayan çekirdek doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyasyon denir. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa ömürlü bozunma ürünleridir

(http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html).

Yapay radyasyon; 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 ışın daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise, alternatifleri yok gibidir. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi, belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine, tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

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 ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır

(Togay 2002). Radyasyon, tıpta teşhis etmek ve kanserli hücreleri öldürmek gibi iki farklı amaçla kullanılır. Uzun zamandır kullanılmakta olan teşhis yönteminde X ışınları hastadan geçirilerek görüntüsü elde edilmektedir. Bazı hastalıkların teşhisi için hastaya yutturulan radyoaktif maddelerden çıkan gamma ışınlarının görüntüsünden bilgi elde edilir. Kanser hücreleri radyoterapi ile tedavi edilir. Radyoterapide yüksek enerjili X-ışınları, Cobalt-60 veya benzeri kaynaklardan yayınlanan gamma ışınları kullanılır. Radyasyonun tıpta kullanılması, toplum için en çok radyasyon alınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Alınan radyasyon dozunun yıllık dünya ortalaması 0,3 mSv'dir

(http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html).

Yeryüzünde birikmiş veya yerleşmiş radyoaktif maddeler vücudumuzu dışarıdan ışınlarken, solunum ve sindirim sistemiyle vücudumuz içine girenler de iç ışınlamaya neden olurlar. Nükleer güç endüstrisi, nükleer yakıt çevriminin her safhasında çevreye çok az miktarda radyoaktif madde salar. Bu salınımlardan alınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,008 mSv'dir

(http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html).

Radon haricindeki doğal radyoizotopların solunum yoluyla vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkıları oldukça azdır. Radon tarafından maruz kalınan yıllık doz değeri ise, doğal radyoaktif kaynaklardan yıllık maruz kalınan doz değerinin yaklaşık olarak yarısı (1,3 mSv) olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 1988).. 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, 1899 senesinde Ernest Rutherford ve 1900 senesinde Friedrich Ernest Dorn tarafından, bozunma ürünü olarak yaydığı alfa parçacığı sayesinde keşfedilmiştir. Tarihsel olarak bakıldığında, 16.yüz yıldan beri; Almanya ve Çekoslovakya'daki yer altı maden işçileri aşırı derecedeki solunum sistemi ve ona bağlı hastalıklara maruz kalmışlardır. 18. yüz yılın sonunda yer altı uranyum madenlerinde çalışan pek çok işçinin ani ölümü, problemi had safhaya getirmiştir.

Tıbbi tarih ve otopsi çalışmalarına bakıldığında bu ölümlerin %50'sinin akciğer kanserinden kaynaklandığı görülmüştür. 1924 yılında, radonun akciğer kanserine ve solunum yolu hastalıklarına neden olabileceğine dikkat çekilmiştir. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri'ndeki madenlerde yapılan çalışmalar ^{222}Rn (radon) ve onun kısa ömürlü bozunum ürünlerine maruz kalmayla akciğer kanseri arasında pozitif bir ilişki olduğu göstermiştir (Qureshi et al. 1999, Kapdan 2009). Binalarda radon yoğunluk ölçümü ilk kez 1956 yılında İsviç'te yapılmıştır. Bazı evlerde yüksek yoğunlukta Radon bulunmasına rağmen önemsenmeyen bu durum 20 yıl sonra Radon yoğunluğundan kaynaklanan kanser vakalarının artmasından sonra önem kazanmaya başlamıştır (Güler ve Çobanoğlu 1997).

İnsanlar zamanlarını hemen hemen %90'ını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalırlar ve buda insan sağlığı için önemli bir problem olarak ortaya çıkar. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon gazı, toprak boyunca yükselerek binanın altında hapsolür ve bir basınç oluşturur. Bina altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boşlukları, duvar arası boşluklardan bina içine sızılmaktadırlar. Ayrıca yapı malzemeleri, mutfakta veya ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz ve içme sularında bulunan radon da bina içi yoğunluğunu artırmaktadır. Bina içi radon yoğunluğunu değiştiren diğer etmenler ise topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyum miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve yalıtım niteliği, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç- dış hava sıcaklık ve basınç farkıdır. Evlerde hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardaki çatlak ve boşluklardan, bina içine sızarlar. Binalarda radon miktarını etkileyen diğer önemli bir unsur da binanın yapıldığı malzemenin özelliğidir. Yapı malzemesi olarak kullanılan toprak, taş ve çimento elde edildikleri bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak az veya çok uranyum içerebilir ve meydana gelen radon sürekli olarak bina içine sızabilir. Soğuk havalarda binaların ısıtılması sonucu bina içindeki basınç dış ortamdaki basınca göre daha az olacağından bina içindeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerli

olduğundan radon oranı bina içerisinde artmaktadır. Yaz aylarında iyi havalandırılmış binalar dış ortama ile yaklaşık eşit basınca sahip olacağından ortamdaki radon seviyesi azalmaktadır.

Türkiye’de havada, suda ve toprakta radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Kastamonu’da İncirci tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında Kastamonu il ve ilçelerinin kaynak ve içme suları radon aktivitesi ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre maksimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 12,734 Bq/L, yaz dönemi için 19,213 Bq/L dir. Minimum radon aktivitesi ilkbahar dönemi için 0,362 Bq/L, yaz dönemi için 0,312 Bq/L olarak bulunmuştur (İncirci 2011).

Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında AlphaGUARD PQ 2000 PRO detektörü kullanılarak radon konsantrasyonu ölçülmüş, radon konsantrasyon değerleri $2,513 \pm 0,286$ Bq/L ile $94,347 \pm 4,361$ Bq/L aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Akar 2010).

Isparta’da havada radon yoğunluğu ölçülmüş ve haritalandırılmış, ölçüm sonuçlarına göre ^{222}Rn yoğunluklarına ait ortalama değerler, Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde 372 Bq/m^3 , Isparta il merkezinde 118 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Akyıldırım 2005).

Adapazarı’nda Kapdan tarafından yapılan çalışmasında ilçe merkezindeki binalarda radon konsantrasyonu belirlenmiş, yıllık maruz kalınan doz hesaplanmış, ilçe merkezindeki evlerde ortalama radon aktivitesi 59 Bq/m^3 , ilçe geneli için ortalama yıllık doz miktarı $1,47 \text{ mSv}$ olarak bulunmuştur (Kapdan 2009).

Tekirdağ’da çevresel doğal radyoaktivite konsantrasyonunu belirlemek için yapılan çalışmada Tekirdağ evlerinde radon konsantrasyon değerleri $11-247 \text{ Bq/m}^3$ arasında elde edilmiş ve ortalama radon konsantrasyonu 87 Bq/m^3 olarak bulunmuştur (Kam 2004).

Afyon jeotermal sularında Pylon AB-5R detektörü kullanılarak radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, maksimum radon konsantrasyonu 44,57 Bq/L ve minimum radon konsantrasyonu 0,085 Bq/L olarak bulunmuştur (Akkurt 2006).

Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (^{222}Rn) aktivitesi ölçülmüş, 0,94 Bq/L ile 15,61 Bq/L değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir 2006).

İzmir-Çeşme yer altı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları yapılmış, termal ve kuyu sularında CR-39 nükleer iz kazıma detektörü kullanılarak radon aktivitesi ölçülmüş, termal sularda radon konsantrasyonu 0,073-0,294 Bq/L arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0,207 Bq/L olarak hesaplanmış, kuyu sularında radon konsantrasyonu 0,086-0,493 Bq/L arasında, ortalama radon konsantrasyonu 0,303 Bq/L olarak hesaplanmıştır (Barış 2006).

Çorum ili genelinde faaliyet gösteren 3 farklı kömür ocağında CR-39 radon gazı detektörüyle ölçümler yapılmış, 1 nolu kömür ocağında 22 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu 292,83 Bq/m³, 2 nolu kömür ocağında 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu 198,54 Bq/m³ ve 3 nolu kömür ocağında ise 30 adet detektörün ortalama radon gazı konsantrasyonu 285,89 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Üzbey 2009).

Kam ve Bozkurt tarafından Kastamonu'da yapılan çevresel radyoaktivite ölçüm çalışmalarında; ev içi radon aktivite konsantrasyonu 98,4 Bq/m³ olarak ölçülmüş, bu aktiviteye uygun yıllık efektif doz 2,48 mSv olarak hesaplanmış, ev içi ve dışı gamma absorblanmış doz sırasıyla 54,81 ve 48.03 nGy/h olarak, buna uygun toplam gamma radyasyon düzeyi (yeryüzü ve kozmik kaynaklı) 0,33 mSv/y olarak hesaplanmış, toplanan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktiviteleri sırasıyla 32.93, 27.17, 431.43 Bq/kg, fisyon ürünü ^{137}Cs için 8,02 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Kam ve Bozkurt 2007).

İstanbul'da Karahan ve arkadaşlarının içme suları ve yüzey suları için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyon değerleri 0,019 Bq/L ile 0,048 Bq/L arasında değişim göstermiştir (Karahan vd. 2000).

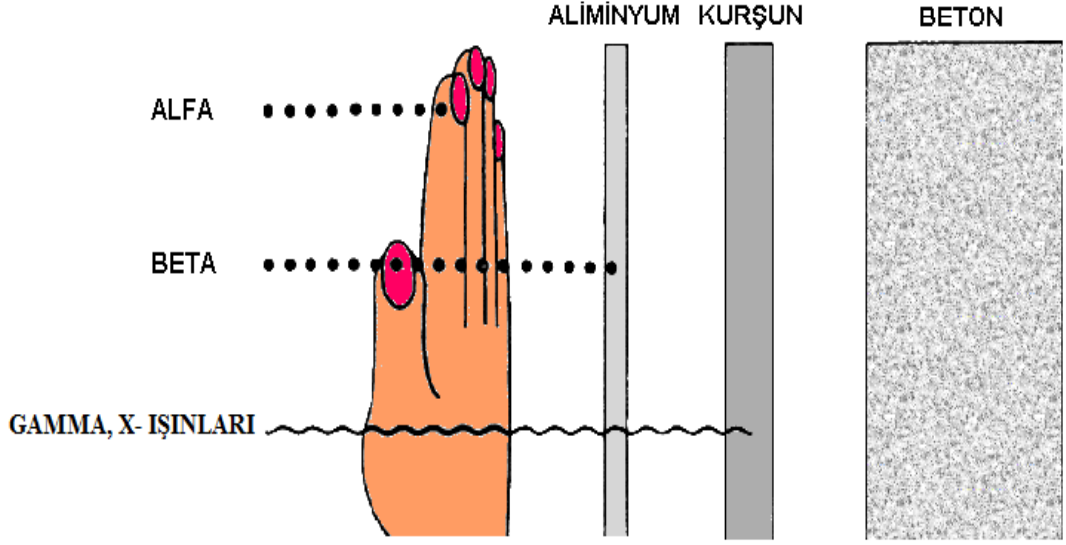
Sivas'ta Mihçi tarafından il merkezinde yapılan çalışmada radon gazı dağılımı yaz dönemi kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 98 Bq/m³ iken kış dönemi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 89 Bq/m³ olarak ölçülmüştür (Mihçi 2008).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Radyoaktivite

Radyoaktivite, 24 Şubat 1896'da Antoine Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel radyoaktivite olayını tesadüfen keşfettiğinde belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktifledikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. Şans eseri olarak kalın bir kağıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bıraktı. Levhalar banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş olmalarına rağmen ışıktaki kalmış gibi bir sonuç verdiler. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu göstermiştir. Fotoğraf levhalarını etkileyen bazı tür radyasyonların uranyum tuzundan yayınladıkları neticesine varmıştır (İncirci 2011).

Becquerel'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerinin çalışılmasına yönelik büyük çabalar sarfedilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie'ler, William Crokes, Ernest Rutherford ve Rutherford'un Cambridge'teki arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlı olarak üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır (Şekil 2.1). Birinci grup, girici güçleri çok zayıf olanları kapsamaktadır. Bunlar herhangi bir kağıt parçası tarafından bile durdurulabilmekte, fakat havada yoğun iyonlaşmalara sebep olmaktadır. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları (α -parçacıkları) olarak adlandırılır. İkinci grubu teşkil edenlerin iyonlaştırma güçleri daha azdır ancak α -parçacıklarından daha büyük girici-güce sahiptirler ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca geçebilmektedirler. Bunlara da beta parçacıkları (β -parçacıkları) adı verilir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlar da gama ışınları (γ -ışınları) adını alır. Gamma ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler ve alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler (Arya 1983).



Şekil 2.1 Radyasyon çeşitlerine göre zırhlama

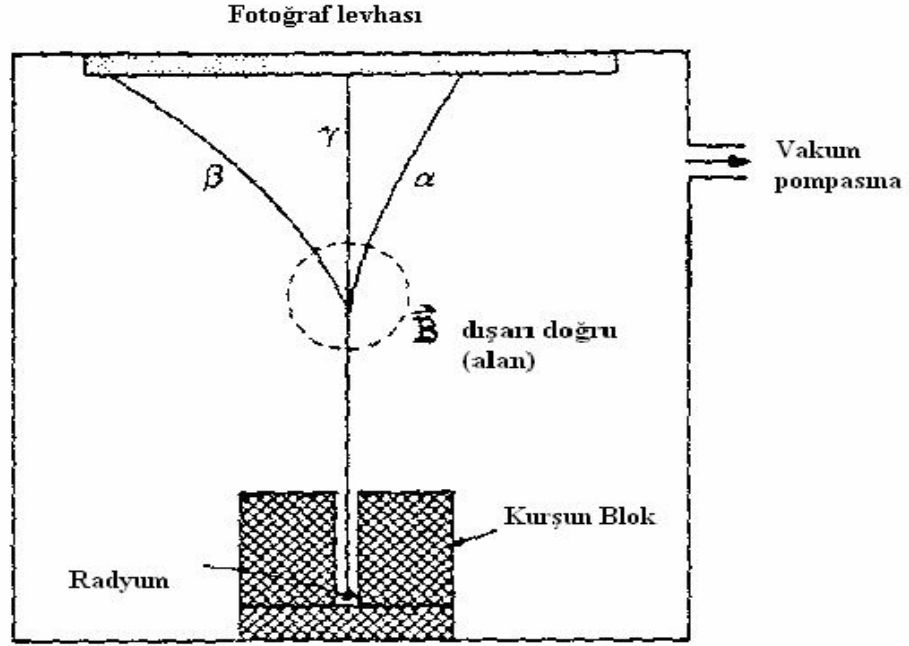
Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlarak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır ve radyoaktif ışın yayan maddelere de radyoaktif maddeler denir.

1898 yılında Marie Curie ve eşi Pierre Curie, uranyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkan polonyum (Po) ve radyum (Ra) radyoaktif elementlerini keşfetmişlerdir (Arya 1983). Pierre ve Marie Curie, Becquerel ile birlikte radyum elementinin doğal radyoaktifliği üzerine yaptıkları çalışma ile 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmışlardır (Krane 2001).

Doğal radyoaktifliğin yanı sıra laboratuarlarda nükleer reaksiyonlarla radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Bu ilk kez alüminyumun, 1934'te Irene Curie ve Pierre Joliot tarafından polonyumun doğal radyoaktif bozunmasından çıkan α -parçacıkları ile bombardıman edilmesi sonucunda ^{30}P izotopunun elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu izotop 2,5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlarak bozunur (Krane 2001).

Radyoaktif elementlerden yayınlanan α , β ve γ yüklerinin tespitini yapabilmek için kullanılan deney düzeneği Şekil 2.2'de görülmektedir. Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ - ışınlarının saptırılmalarını gösteren deney düzenekte α - parçacıkları pozitif yüklü olduklarından sağa, β -parçacıkları negatif yüklü

olduklarından sola saparlar. β - parçacıklarının α -parçacıklarına oranla kütlelerinin çok az, hızlarının çok yüksek oluşundan sapmaları α -parçacıklarından fazladır. γ - ışınları yüksüz olduklarından manyetik alan tarafından saptırılmazlar (Arya 1983).



Şekil 2.2 Bir manyetik alan tarafından α ve β -parçacıkları ile γ -ışınlarının saptırılmalarını gösteren deney düzenek (Arya 1983).

2.2 Radyasyon ve Çeşitleri

Bir çekirdeğin başka bir çekirdeğe dönüşmesi sürecinde elektromanyetik dalga yoluyla yada yayınlanan bir parçacığın kinetik enerjisi yoluyla enerji yayınlanmasına radyasyon denir. Elektromanyetik radyasyonlar artan frekans sırasına göre; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X-ışınları, gamma ışınları ve kozmik ışınlardır. Kaynakları farklı olan bu ışınların ortak yönü; maddeye ve insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Farklı radyasyonların giricilikleri de farklıdır. Düşük enerjili ışınlar mesela görünür ışık girici değildir. Fakat X-ışınları ve gamma ışınları, özelliklerinin görünür ışıkla tamamen aynı olmasına rağmen, giricilik yönüyle ondan ayrılırlar; çünkü enerjileri yüksek, dalga boyları kısadır.

Radyasyon, madde üzerinde meydana getirdiği etki bakımından iki grupta incelenebilir (Davutoğlu 2008):

1. İyonlaştırıcı radyasyon

- a) X-ışınları, gama ışınları
- b) Alfa parçacıkları
- c) Beta parçacıkları

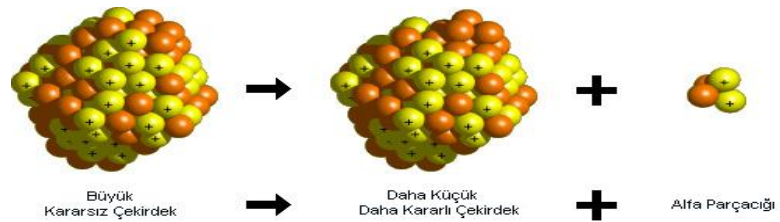
2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

- a) Ultraviyole ışınlar
- b) Kızılötesi ışınlar
- c) Radyo dalgaları
- d) Kozmik ışınlar
- e) Baz istasyonları

2.2.1 Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri

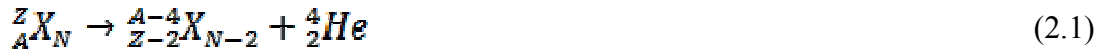
2.2.1.1 Alfa bozunumu

α parçacıkları, doğal radyoaktif maddeler tarafından yayınlanan ışınımlar içinde delme gücü en zayıf olandır. 1903’de Rutherford, α parçacıklarının yükünün kütleyle oranı, radyumun bozunmasından oluşan α parçacıkları elektrik ve manyetik alanda sapmalarından yararlanarak ölçtü. İlk deneylerin güçlüğüne rağmen, Rutherford’un sonucu bugün kabul edilen değerden yalnızca yaklaşık %25 daha yüksekti. 1909’da Rutherford, α parçacıklarının, şüphelendiği gibi gerçekte helyum çekirdekleri olduklarını gösterdi (Krane 2001).



Şekil 2.3 α (alfa) bozunumu (Davutluoğlu 2008).

Alfa bozunması, kararsız bir atom çekirdeğinin iki proton ve iki nötrondan oluşan α parçacığının salınmasıyla oluşan bozunumdur. Bozunma sonucunda oluşan ürün çekirdek ana çekirdekten iki birim daha küçük bir atom numarasına ve dört birim daha küçük bir kütle numarasına sahiptir. A, çekirdeğin kütle numarasını, Z de atom numarasını göstermek üzere, eğer ana çekirdeği ve ürün çekirdeği sırasıyla X ve Y ile temsil edersek α bozunumu sürecini şu şekilde yazabiliriz:



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. Bir α parçacığı, hepsi $S_{1/2}$ kabuğundaki iki proton ve iki nötrondan oluşan, sıfır toplam spine ve pariteye (değer eşitliğine) sahip iki kat sihirli bir parçacıktır. Alfa parçacığı sıra dışı bir kararlılığa sahiptir ve bundan dolayı birçok durumda tıpkı proton ve nötron gibi tek bir parçacık gibi davranır. Eğer,

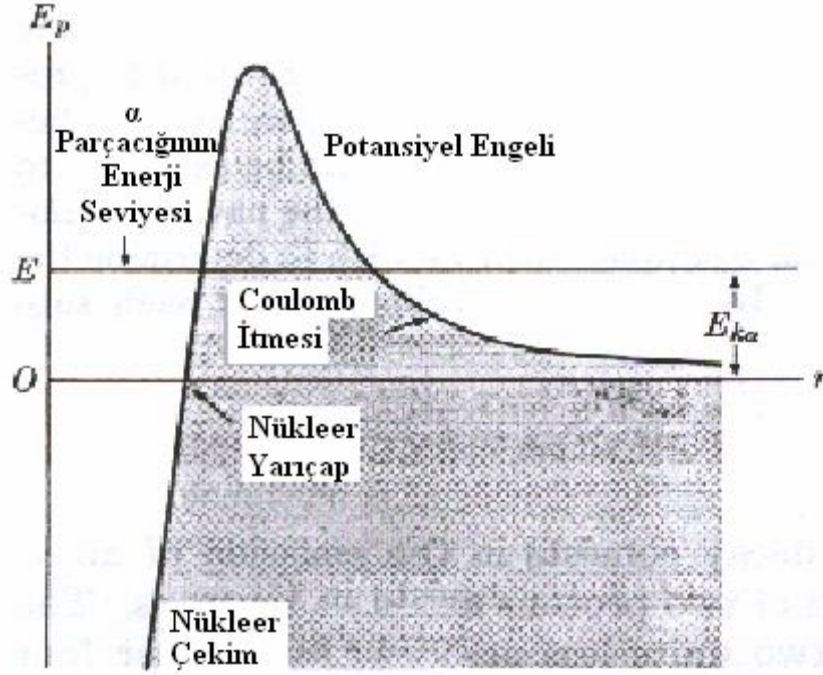
$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha)c^2 = 931,48 (M_X - M_Y - M_\alpha) \quad (2.2)$$

laboratuvar çerçevesinde durgun olarak kabul edilen X ana çekirdeğinin bozunmasıyla yayılan enerji ise, parçalanmadan sonra α parçacığının ve ürün çekirdek Y' nin enerjileri şöyle verilir:

$$E_\alpha = \frac{M_Y}{M_\alpha + M_Y} Q \quad \text{ve} \quad E_Y = \frac{M_\alpha}{M_Y + M_\alpha} Q \quad (2.3)$$

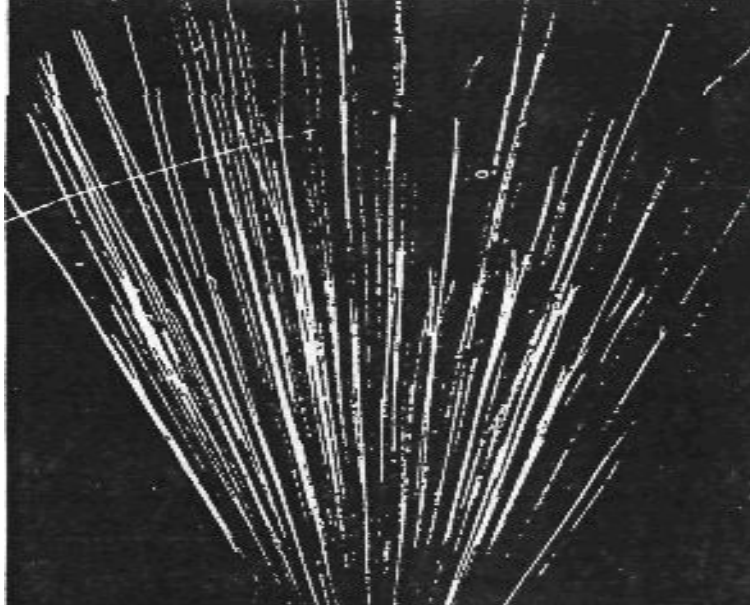
Bununla birlikte, fiziksel açıdan bakıldığında, çekirdek içerisinde α parçacıkları bulunduğu düşünülmemelidir. Bunun yerine nükleonların hareketinde, kendilerini, kısa bir an için dinamik bir birim olarak davranmaya iten, α parçacığına benzer yapılar oluşturacak guruplaşmalara sokan bir uyum olduğu farz edilmektedir. Böyle bir yapı da çekirdek yüzeyine yakın olduğunda ise bu nükleon guruplarının α

parçacığı olarak kaçabilmesi için kesin bir olasılık vardır. Bir α parçacığının çekirdeğin geri kalan kısmıyla etkileşme potansiyel enerjisi Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Alfa parçacığının enerjisi yaklaşık 4-9 MeV arasındadır ve çekirdek yüzeyindeki yaklaşık 40 MeV'lik Coulomb engelinden daha azdır ve α parçacığı sadece potansiyel engelini aşarak kaçabilir.



Şekil 2.4 Bir α parçacığının ve çekirdeğin potansiyel enerjileri (Akyıldırım 2005).

α 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. Şekil 2.5 radyoaktif bir örnek tarafından yayımlanan α parçacıklarına ait izleri gösteren bir sis odası fotoğrafı verilmiştir. İki farklı menzile karakterine sahip demetler seçilebilmektedir. İyonizasyonun sonucunda α parçacıkları yeteri kadar yavaşlayarak iki elektron yakalayıp yüksüz helyum atomları oluncaya dek enerji kaybederler.



Şekil 2.5 Bir sis odasından geçen α taneciklerinin bıraktığı izler (Akyıldırım 2005).

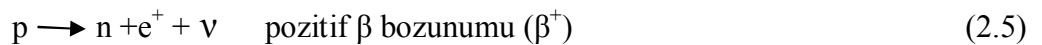
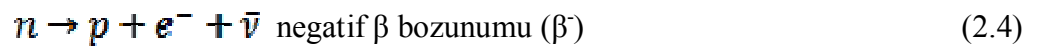
2.2.1.2 Beta bozunumu

Çekirdeklerin negatif elektron yayınlamaları ilk gözlenen radyoaktif olaylardan biridir. Bu olayın tersi, yani bir çekirdeğin atom elektronlardan birini yakalaması ise 1938'de Alvarez'in çekirdek tarafından yakalanan atom elektronunun boşalttığı yerlerin doldurulması sırasında yayınlanan karakteristik X-ışınlarını bulmasına kadar gözlenememiştir. 1934'de Joliot-Curies ilk kez radyoaktif bozunmada pozitif elektron (pozitron) yayınlanması olayını gözlediler. Bundan yalnızca iki yıl sonra pozitron kozmik ışınlarda keşfedildi. Bu üç nükleer olay birbiri ile yakından ilgili olup beta (β) bozunumu olarak adlandırılır (Krane 2001).

En temel β bozunuma reaksiyonu, bir protonun bir nötrona veya bir nötronun bir protona dönüşmesidir. β bozunumu hem Z hemde N ' yi bir birim değiştirir:

$Z \rightarrow Z \pm 1$, $N \rightarrow N \pm 1$, böylece $A=Z+N$ sabit kalır.

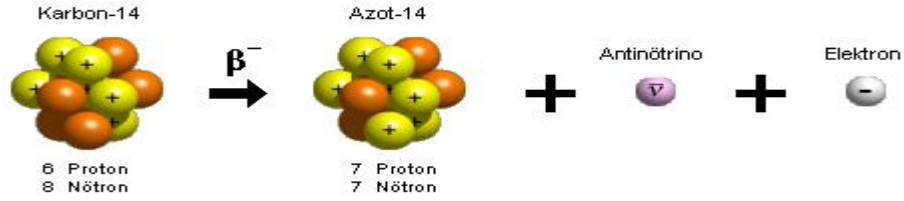
Temel β bozunumu işlemleri:



$$p + e^- \rightarrow n + \nu \quad \text{elektron yakalaması } (\epsilon) \quad (2.6)$$

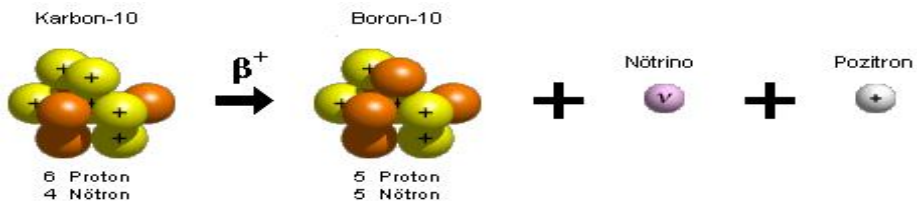
β^- bozunumu: Eğer bir radyoaktif çekirdeğin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek, enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır.

Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (veya negatron) adı verilir. Bu şekilde beta radyoaktif çekirdeğin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilir.



Şekil 2.6 β^- (negatron) bozunumu (Davutoğlu 2008).

β^+ bozunması: Pozitron bozunması çekirdekten bir pozitif elektron fırlatılması sonucu oluşur. Radyoaktif izotoplar çekirdeklerinde çok fazla protonlara sahip olabilirler. Aşırı sayıda proton içeren çekirdekler bozunmaya uğrayarak proton sayısı bir azalarak, kütle numarası sabit kalacak şekilde yeni bir izotop oluştururlar. Pozitron elektronla aynı değerde kütleyle sahip bir parçacıktır, fakat pozitif olarak yüklenmiştir. Pozitron pozitif olarak yüklenmiş beta parçacığı olarak da adlandırılır. Burada bir proton bir nötrona dönüşerek yeni çekirdek oluşur (Şekil 2.7).

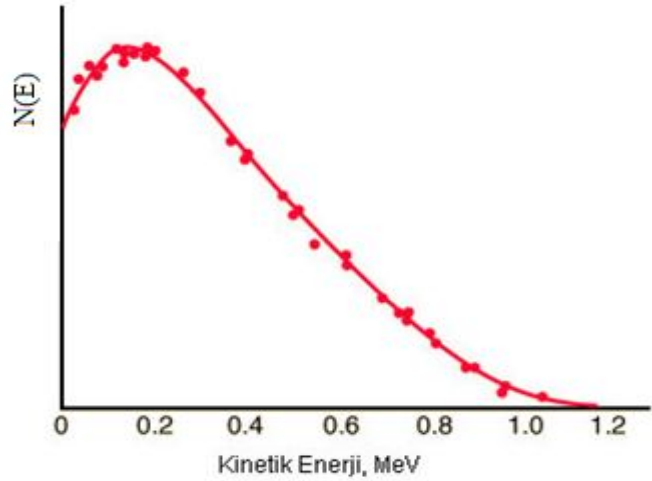


Şekil 2.7 β^+ (pozitron) bozunumu (Davutluoğlu 2008).

Elektron yakalama olayı: Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve X-ışınları yayınlanır.



Yukarı da bahsedilen her üç beta bozunumunda da proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası sabit kalır. Ayrıca her üç bozunumda nötrino ve anti-nötrino denilen yüksüz ve kütesiz parçacıkların yayımlandığı görülmektedir. Bu parçacıkların varlığı ilk olarak Pauli tarafından 1930'da önerilmiş ve daha sonra Fermi tarafından nötrino olarak adlandırılmışlardır. Beta bozunumunda yayımlanan elektronların enerjileri sürekli bir spektruma sahiptir.



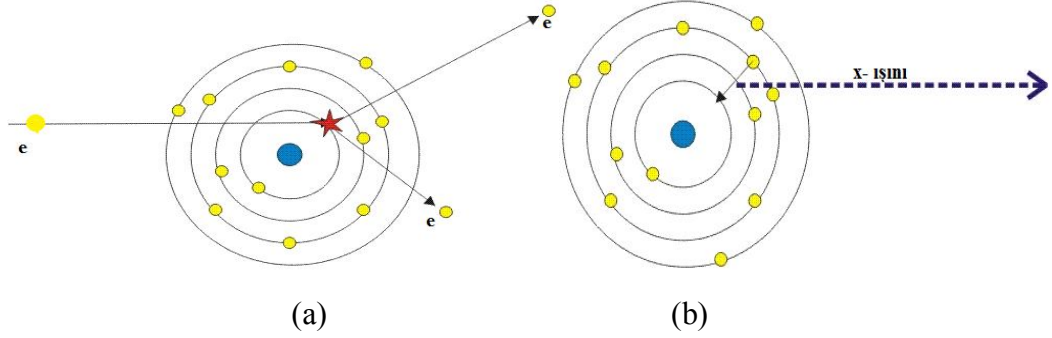
Şekil 2.8 ${}^{210}\text{Bi}$ bozunumu sonrasında yayımlanan betaların enerji spektrumlarına bir örnek. (N(E), E enerjisi ile yayımlanan elektronların sayısıdır)

2.2.1.3 Gamma bozunumu

Çekirdek tepkimelerinin birçoğunda olduğu gibi hemen hemen tüm alfa ve beta bozunmaları sonucunda ürün çekirdek ya da çekirdekler uyarılmış durumdadırlar. Taban duruma geçiş kısa bir süre sonra bir veya daha fazla foton salınmasıyla mümkün olur ki bu geçiş de gamma ışınımı oluşturur. Gamma (γ) ışınları, tüm ışık türleri gibi elektromanyetik radyasyon sınıfına girer ve enerjileri tipik olarak 0,1 MeV - 10 MeV arasındadır. Radyoaktif gamma yayınlanması, optik veya X-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlanmasına benzer. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma iki durum arasındaki fark kadar bir enerjiye sahip bir γ ışını (fotonu) yayınlayarak geçer. Yani dışarı salınan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar bir enerji farkıyla. Gamma yayınlanması uyarılmış bağlı durumları olan ($A > 5$) tüm çekirdeklere gözlenir ve genellikle α ve β bozunmalarını izler. Bunun nedeni, bu bozunumlarda ana çekirdeğin ürün çekirdeğin uyarılmış durumunda kalmasıdır.

γ yayınlanmasının yarı-ömrü çok kısadır, genellikle bir nano saniyeden (10^{-9} s) daha küçüktür. Ancak saat, hatta gün mertebesinde yarı-ömürlü gamma yayınlanmaları da vardır. Bu geçişlere izomerik geçişler ve uzun ömürlü uyarılmış durumlara izomerik durumlar veya izomerler (metastable) denir. Bir durumun izomerik bir durum olup olmadığını belirtmenin kesin bir kıstası yoktur. γ yayınlanması ile yarışan bir olay iç dönüşümdür. Bu olayda bir çekirdek enerjisini doğrudan doğruya bir atom elektronuna aktararak bozunur ve laboratuarda bir serbest elektron gözlenir. Bu beta bozunumundan çok farklıdır: Z ve N sayıları değişmez, aynı kalır ve atom uyarılmış durumdadır.

2.2.2 X- Işınları



Şekil 2.9 a) Fotoelektrik olayı b) X-Işını olayı

X ışını yapay olarak, röntgen tüplerinden elde edilebilir. Tüp içerisinde, hedefe doğru yüksek voltaj altında hızlandırılan elektronlar hedefle çarpışır ve X ışınları üretilir. İnsan vücudunu delip geçebilme yeteneğine sahip olmalarından dolayı tıpta teşhis amacıyla yaygın olarak kullanılırlar

2.3 Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda, saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel yasaya uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktifliğin tüm numunede değil de tek tek atomlarda değişikliği temsil ettiğinin anlaşılması için daha birçok yılın geçmesi gerekmiştir. Bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunun, yani herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilinememesi ve bu hipotezin doğrudan üstel yasaya uyduğunun anlaşılması ise iki yıl almıştır. Parçacıkların tek tek davranışlarının önceden kestirilememesi günümüzde birçok bilim adamını rahatsız etmez, ancak kuantum teorisinin gelişmesinden önce, bu durumun kabul edilmesi oldukça zor olmuştur. Bu konuda çalışan araştırmacıların, bugün açıkça bilinen gerçekleri yerleştirebilmek için çok çaba göstermeleri gerekmiştir.

Eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır:

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (2.8)$$

Burada λ , bozunma veya parçalanma sabitidir. Denklem (2.8)'in sağ tarafı bir atomun birim zamanda bozunma olasılığıdır, yani bu olasılık, atomun yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel varsayımdır. Denklem (2.8)'in integrali alınırsa,

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

bağıntısı elde edilir. Deneysel bulgularla uyuşan bu üstel bağıntı “radyoaktif bozunma yasası” olarak bilinir. Burada, N , t anındaki var olan bozunmamış çekirdeklerin sayısını, N_0 , $t=0$ anında var olan bozunmamış çekirdeklerin sayısını gösterir (Krane 2001).

Yarı Ömür

Radyoaktif maddelerin bir diğer önemli niceliği de yarı-ömürdür ve $t_{1/2}$ ile gösterilir. Yarı-ömür, var olan bozunmamış çekirdeklerin yarıya düşmesi için geçen süreyi göstermektedir. Denklem (2.9)'de $N = N_0/2$ ve $t=t_{1/2}$ konulursa

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.10)$$

bulunur.

Ortalama Ömür

Radyoaktif bozunma yasası üstel bir işlev olması nedeniyle var olan bozunmamış çekirdeklerin tümünün bozunması için geçen süre sonsuz olacaktır. Bir sonraki bozunacak çekirdeğin hangisi olacağı kestirilemeyeceği için örnek içindeki bir

çekirdeğin ömrü sıfır ile sonsuz arasında olacaktır. Bu nedenle çekirdeklerin bozunması için bir ortalama ömür tanımlanması gerekir. Ortalama ömür bütün çekirdeklerin ömürlerini toplayıp toplam çekirdek sayısına bölünerek hesaplanabilir. dN_1 çekirdeğin ömrü t_1 , dN_2 çekirdeğin ömrü t_2 , dN_3 çekirdeğin ömrü t_3 ,olsun. Buradan ortalama ömür τ ,

$$\tau = \frac{dN_1 t_1 + dN_2 t_2 + dN_3 t_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots} \quad (2.11)$$

olacaktır. Yukarıdaki Denklem integrasyon şeklinde yeniden yazılırsa,

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{\int_0^{N_0} dN} = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{N_0} \quad (2.12)$$

elde edilir. Denklem (2.12) te dN yerine Denklem (2.9) nin diferansiyeli alınarak elde edilen değeri konulursa

$$\tau = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt \quad (2.13)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14)$$

bulunur (Yalçın 1992). Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir.

Aktiflik

Denklem 2.9 ile ancak t süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı (N) bulunabilir. Ancak uygulamada bu niceliğini ölçmek çok zor olduğu için bunun yerine belli bir zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısını ölçmek

(yayınlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. **Aktiflik** veya **bozunma hızı** olarak tanımlanan “**birim zamanda bozunan çekirdek sayısını**” bulabilmek için Denklem (2.9) nin zamana göre diferansiyeli alınır,

$$dN = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt \quad (2.15)$$

Bulunur ve aktiflik için,

$$\text{Aktiflik} = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.16)$$

sonucu elde edilir. Burada dN, dt zaman aralığında bozunan çekirdek sayısını, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, t anındaki var olan bozunmamış çekirdek sayısını gösterir. Aktiflik genellikle A simgesi ile gösterilir. Bir radyoaktif numunede λ bozunma sabiti ile karakterize edilen çekirdeğe ait t anındaki aktiflik,

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

olarak yazılabilir. t=0 anındaki başlangıç aktifliği, $A_0 = \lambda N_0$, Denklem (2.17) da yerine yazılırsa,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

üstel aktiflik bağıntısı elde edilir.

Radyoaktivite araştırmalarının başlangıcında aktiflik birimi olarak curie (Ci), 1 gram saf radyumun(^{226}Ra) saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanmıştır. 1950' lilerde curie(Ci) birimi yeniden tanımlanarak radyum veya herhangi bir radyonüklitten bağımsız olarak

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

şeklinde tanımlanmıştır. 1970'lerin ortalarında SI birim sistemine geçişle birlikte radyoaktivitenin keşfini yapan H. Becquerel adına atıfla aktiflik birimi becquerel (Bq) olarak adlandırılmıştır (Lapp and Andrews 1972, Lowenthal and Airey 2004).

1 Bq = 1 bozunma/s

1 Bq küçük bir aktifliği ifade eder. Bu nedenle radyoaktif kaynakların aktifliği becquerel biriminin üst katları olan 1 kBq = 10^3 Bq, 1 MBq = 10^6 Bq ile ifade edilir. 1 Ci ise çok büyük bir aktifliği gösterir ve uygulamada curie biriminin alt katları olan 1 mCi= 10^{-3} Ci, 1 μ Ci= 10^{-6} Ci, 1 nCi= 10^{-9} Ci, 1 pCi= 10^{-12} Ci birimleri kullanılır. Aktiflik birimi olarak becquerel kullanılmakla birlikte tıp ve laboratuvar uygulamalarında curie birimi de halen kullanılan bir birimdir.

Aktiflik sadece saniyedeki parçalanma sayısını vermekte, yayımlanan radyasyonun türü veya enerjileri ile ilgili hiçbir bilgi vermemektedir (Krane 2001).

Işınlama dozu, soğurulmuş doz ve doz eşdeğeri

Bir nesnenin aldığı radyasyon miktarı birkaç farklı birimle ölçülür. Radyasyon, maddeyi oluşturan atom ve molekülleri iyonlaştırarak veya uyararak (eksitasyon) etkileştirdiğinden bu birimler ya oluşan iyonlaşma miktarını ya da madde içinde depolanan enerji miktarını ölçer (William 1987).

Işınlama Dozu: En eski ışınlama doz birimi röntgendir(R). 1 röntgen(R), X-ışını veya γ -ışınlarının 0 $^{\circ}$ C ve 760 mm Hg basıncında 1 cm³ kuru havada 1 elektrostatik(esu) yük birimi iyonlaşma yükü oluşturması olarak tanımlanır.

1 R= 1 esu/cm³

SI birim sisteminde ışınlama dozu C/kg olarak ölçülür ve havanın verilen bir m kütlesinde oluşan iyonlardaki toplam Q elektrik yükü, Işınlama Dozu X olarak tanımlanır ve γ -ışınlarının enerjileri ve kaynakların aktiflikleri tamamen farklı olsa

bile, aynı ışınlama dozunu oluşturan γ -ışını kaynakları aynı şiddetli olarak kabul edilir (Krane 2001).

İşınlama dozu X (C/kg) = Q / m

1 R = 2.58×10^{-4} C/kg

Soğurulmuş doz: Havadan başka iyonize eden radyasyona maruz kalan diğer materyallerde enerji soğurulma oranları farklı olacaktır. Böylece farklı materyallerde iyonlaşmayla enerji soğurulmasını tanımlama için bir standarda sahip olmak gerekir. Bu niceliğe “soğurulmuş doz (D)” denir ve maddenin birim kütlesi başına iyonize eden radyasyon tarafından ortama aktarılan enerjiyi ölçer. Soğurulmuş doz için yaygın kullanılan birim “**radiation absorbed dose**” sözcüklerinin baş harfleri ile gösterilen “**rad**”dır. 1 rad maddenin gramı başına 100 erg enerji soğurulmasına eşittir.

1 rad = 100 erg/g

SI birim sisteminde “soğurulmuş doz” birimi gray (Gy) dir ve maddenin kg’ı başına 1 J enerji soğurulmasına eşittir.

1 Gy = 1 J/kg

1 Gy = 100 rad

Doz eşdeğeri: İnsan varlığının radyasyondan korunmasına yönelik standartlar tanımlamak için farklı radyasyon çeşitlerinin biyolojik etkilerini ölçmek gerekir. Bazı radyasyonlar enerjilerini uzun bir yol boyunca ortama aktarırlar, öyle ki herhangi bir küçük yol aralığı boyunca (tipik bir insan hücresi boyutu) bağlı olarak küçük enerji aktarırlar; β ve γ ışınları bu tür radyasyonlardır. α parçacıkları ve benzer diğer tip radyasyonlar enerjilerini çok hızlı kaybederler ve çok kısa yol uzunlukları boyunca başlangıç enerjilerinin tümünü etkileştikleri ortama aktarırlar. Bir biyolojik ortamın 1 rad’lık α radyasyonundan hücre hasarı olasılığı, 1 rad’lık γ radyasyonuna

göre çok daha büyüktür. Bu farkları nitelemek için “bağlı biyolojik etkinlik” (RBE) tanımlanır.

$$RBE = \frac{\text{Bir biyolojik etkiyi meydana getiren X- ışını dozu}}{\text{Aynı biyolojik etkiyi meydana getiren diğer radyasyon dozu}}$$

RBE, 1 ile 20 arasında değerler alır. RBE göreceli olarak ölçülmesi zor bir nicelik olduğu için RBE yerine alışıldığı gibi kalite faktörü (QF) kullanılır. QF radyasyonun enerjisi ve tipi için birim yol başına aktarılan enerjiye göre hesaplanır. Birim yol başına bağlı olarak küçük enerji aktaran radyasyonlar (β ve γ gibi) 1 ‘e yakın QF ne sahipken α ’lar gibi birim yol başına daha çok enerji aktaran radyasyonların kalite faktörü 20 ‘ye yakındır. Bir biyolojik sistem üzerinde belli bir radyasyonun etkisi, soğurulmuş doz ve kalite faktörüne(QF) bağlıdır. Doz eşdeğeri DE bu iki niceliğin çarpımı ile elde edilir.

$$\text{Doz Eşdeğeri} = \text{Soğurulmuş Doz} \times \text{QF}$$

$$\text{DE} = \text{D} \cdot \text{QF}$$

Doz eşdeğeri, eğer soğurulmuş doz “**rad**” biriminde ise “**roentgen equivalent man**” sözcüklerinin baş harfleri ile gösterilen “**rem**” birimiyle ölçülür.

$$\text{DE (rem)} = 1 \text{ rad} \cdot \text{QF}$$

SI birim sisteminde soğurulmuş doz için gray(Gy) birimi kullanılır ve Doz eşdeğeri birimi SI birim sisteminde “sievert”(Sv) dir.(Krane 2001).

$$\text{DE (Sv)} = 1 \text{ Gy} \cdot \text{QF}$$

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

2.4 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan bütün detektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir: Radyasyon detektöre girer, detektör materyalinin atomları ile etkileşir (enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder) ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi, ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında edinilecek bilgiye bağlıdır (Krane 2001). Nükleer radyasyonların ölçümünde yaygın olarak kullanılan detektör türleri arasında; gazlı, sintilasyon ve yarıiletken detektörler sayılabilir.

2.4.1 Gazlı detektörler

Radyasyon detektörlerinin pek çoğu, detektöre gelen radyasyonun oluşturduğu iyonları (veya elektronları) ayırmak ve saymak için bir elektrik alan kullanır.

İyonlaşma odası: İyonlaşma odaları, plakalarının arasına gaz (ekseriyetle hava) doldurulmuş paralel düzlem kondansatörlerdir. Plâkalar arasındaki elektrik alan iyonların elektronlarla tekrar birleşmesini engeller. Elektron bulutu daha yüksek potansiyelde tutulan plâkaya (artı yüklü plakaya) doğru sürüklenirken, artı yüklü iyonlar da daha düşük potansiyeldeki (eksi yüklü) diğer plâkaya doğru sürüklenirler. Havada bir iyon üretmek için gerekli ortalama enerji yaklaşık olarak 34 eV'dir. Böylece 1 MeV'lik radyasyon en çok 3×10^4 civarında iyon ve elektron üretir. Orta büyüklükte bir iyonlaşma odası (örneğin plakalarının arası 1 cm olan 10 x 10 cm ebatlı) için sığa $8,9 \times 10^{-12}$ farad ve oluşan gerilim atmaları yaklaşık olarak,

$$\frac{(3 \times 10^4 \text{ iyon})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C\iyon})}{8,9 \times 10^{-12} \text{ F}} \cong 0,5 \text{ mV} \quad (2.19)$$

mertebesindedir. Bu nispeten küçük bir sinyaldir. Analizden önce, standart elektronik düzeneklerle 10 çarpanı kadar yükseltilmelidir.

Sinyalin genliği, oluşan iyonların sayısı ve dolayısıyla radyasyonun iyonlaşma odasında bıraktığı enerji ile orantılıdır ve plâkalar arasındaki gerilimden bağımsızdır. Uygulanan gerilim, elektrotlar arasında sürüklenen iyon ve elektron bulutunun hızlarını belirler. Tipik bir gerilim değeri kabaca 100 V'dir. İyonlar yaklaşık 1 m/s hızlarla hareket ederler ve 1 cm'lik odayı 0,01 saniyede geçerler. Elektronlar daha hareketlidirler ve yaklaşık 1000 kat daha hızlı hareket ederler. Nükleer sayma standartlarına göre bu süre son derece uzun bir zamandır. Aktifliği 1 μ Ci olan zayıf bir radyoaktif kaynak her 30 μ s' de ortalama 1 bozunma verir ve bu nedenle iyon odaları her pulsu saymada kullanılamazlar. Radyasyon monitörü olarak geniş bir kullanım alanı bulur ve pek çok ticarî radyasyon monitörleri gerçekte iyon odalarıdır. Radyasyon şiddeti, sayacın cevap süresi esnasında pek çok radyasyonun etkileşmesini gösteren akım olarak kaydedilir. Çıkış akımı hem kaynağın aktifliği ile hem de radyasyonların enerjisi ile orantılıdır. Daha yüksek enerjili radyasyonlar daha çok iyonlaşmaya ve dolayısıyla daha büyük bir tepkiye neden olur(Akyıldırım 2005).

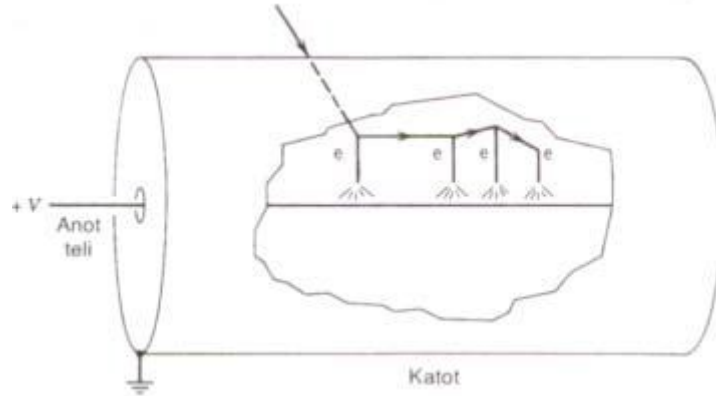
Orantılı sayaç: Bir gazlı detektörü her atmayı gözlemek için kullanmak istenildiğinde atmalar önemli derecede yükseltilmelidir. Bunu yapmanın yollarından birisi gerilimi genellikle 1000 volta kadar artırmaktır. Daha büyük elektrik alan, iyonlaştırma işleminin sonucunda ortaya çıkan elektronları daha çok hızlandırır ve gaz atomlarıyla daha çok esnek çarpışmalar (kinetik enerjinin korunduğu) yaparak sürüklenen elektronlar bu kez esnek olmayan çarpışmalar (kinetik enerjinin korunmadığı) yapmak için yeterli enerjiyi kazanabilirler ve hatta yeni iyonlanmış atomlar üretebilirler. Bu ikincil iyonlaştırmayla üretilen 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 değişir. Bu yüzden bu sayaçlara orantılı sayaç denir.

Bir gazlı sayaç genellikle Şekil 2.10' de gösterildiği gibi silindriktir.

Bu geometride r yarıçapındaki elektrik alan,

$$E(r) = \frac{V}{r \ln(b/a)} \quad (2.20)$$

ifadesiyle verilir. Burada b katodun iç yarıçapı ve a anot telinin dış yarıçapıdır. Çığların anot telinin yakınındaki yüksek alan bölgesinde oluşacakları açıktır. Ancak bu bölge sayaç hacminin çok küçük bir kısmıdır. İlk iyonların çoğu bu merkezî bölgeden uzakta meydana gelir, elektronlar çığ oluşturma işlemine başlayıncaya kadar yavaşça sürüklenirler. Anot bölgesinde meydana gelen bir birincil olay, biraz daha küçük bir çoğalma çarpanına sahip olacaktır, çünkü çok fazla sayıda çarpışma yapma şansına sahip değildir. Orantılı sayacın çıkış sinyalleri esas olarak çok hızlı oluşan çığ işleminden kaynaklandığı için bu süre birincil iyonların oluştuğu noktadan çığın oluştuğu anot telinin civarına kadar birincil elektronların sürüklenme zamanı ile belirlenir. Bu zaman μs mertebesinde ve sayaç $10^6/\text{s}$ mertebesinde sayma hızındaki bir atma modunda çalıştırılabilir.

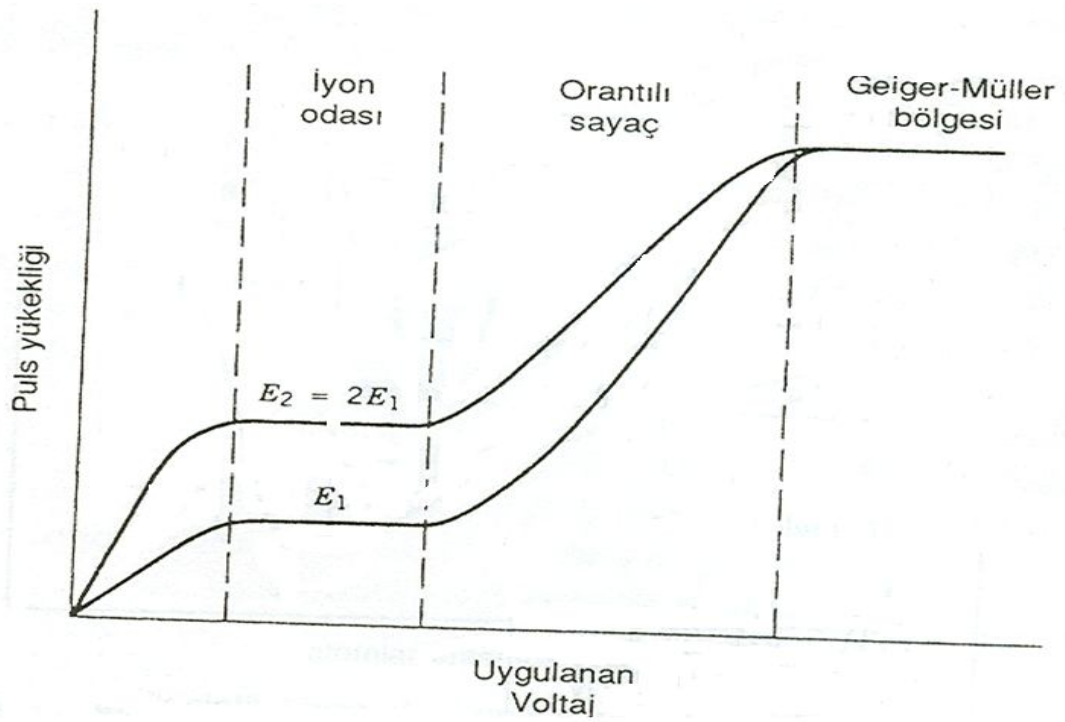


Şekil 2.10 Silindirik gazlı sayaç (Krane 2001)

Geiger Müller sayacı: Elektrik alanın daha büyük değerlere çıkması halinde ise ikincil çığlar oluşur. Bunları ilk çığdaki uyarılmış atomlar tarafından yayınlanan elektron başlatır. Bu elektronlar birincil çığın olduğu bölgeye göre biraz daha uzakta hareket ederler ve hemen hemen tüpün tamamı işleme katılmış olur. Yükseltme çarpanı 10^{10} kadardır. Bütün tüp her olay için işleme katıldığından asıl radyasyon enerjisi hakkında tam bilgi mevcut değildir, gelen tüm radyasyonlar özdeş çıkış atmaları üretirler. Bu çalışma bölgesine Geiger-Müller bölgesi denir ve sayaçlar bu ilkeye dayandıkları için Geiger sayacı olarak adlandırılırlar. Geiger sayaçları

taşınabilir radyasyon monitörleridir. Bir Geiger sayacının çıkış sinyalleri pek çok çığ işlemi sonucu birikmiş elektronları içerir. Bu sinyal 1 volt civarındadır ve genellikle daha fazla yükselme gerekli değildir. Elektronların birikme süresi 10^{-6} s kadardır. Bu süre içinde artı iyonlar çığ bölgesinden çok uzağa gidemezler. Böylece anot teli civarı artı yüklü iyon bulutuyla çevrilir. Bu bulut elektrik alan şiddetini düşürür ve sonunda çığ işlemi durur.

Artı iyonların katoda sürüklenmeleri ile çevrim tamamlanır (10^{-4} - 10^{-3} s) fakat bu süredeki hareketleri esnasında iyonlar hızlanırlar ve katottan elektron sökebilecek kadar yeterli enerji kazanabilirler ve işlem tekrar başlamış olur.



Şekil 2.11 Farklı gazla doldurulmuş sayaçlar tarafından meydana getirilen puls yükseklikleri. Geiger –Müller bölgesinde tüm radyasyonlar aynı çıkış puls yüksekliğini verir; diğer bölgelerde çıkış puls yüksekliği, birinci iyonlaşmada radyasyon tarafından verilen enerji ile orantılıdır (Krane 2001).

Gazlı sayaçların çalışma bölgeleri Şekil 2.11’ da özetlenmiştir. Uygulanan düşük gerilimlerde birincil elektron ve iyonlar tekrar birleşebilirler. V artırıldıkça iyon

odası bölgesine ulaşılır. Buradaki çıkış atmaları radyasyon tarafından üretilen birincil iyonlaşma ve radyasyon enerjisi ile orantılıdır fakat V'den bağımsızdır. Orantılı bölgede analizi daha kolay hale getirmek için atma genliği V ile artar, fakat çıkış atmaları yine iyonlaşma ile oluşan radyasyon enerjisi ile orantılıdır. Son olarak. Geiger platosuna ulaşılır. Burada tüm radyasyonlar aynı çıkış atmalarını verirler, başlangıçtaki iyonlaşmanın miktarına veya ışınım enerjisine bağlı değildir. Geiger-Müller bölgesinde tüm radyasyonlar eşit puls yüksekliğine sahiptir. Diğer bölgelerde ise yükseklik birincil iyonlaşma enerjisine bağlıdır (Krane 2001)

2.4.2 Yarı-iletken Detektörler

Yarıiletkenler isminden de anlaşılacağı üzere elektrik iletkenliği iletkenlerden daha az yalıtkanlardan daha fazla olan materyallerdir. 1940 ve 1950 lilerde geliştirilmeye başlanan yarıiletken detektörler ve 1960 larda nükleer radyasyon detektörü olarak kullanılmaya başlamıştır. Yarıiletken detektörün temel çalışma ilkesi gazlı detektörlerde olduğu gibi radyasyonun detektörde oluşturduğu iyonlaşmaya dayanır. Burada gazın yerini yarıiletken detektör materyali alır. Yarıiletken içinden iyonize eden radyasyon geçtiğinde bir elektrik alan yardımıyla toplanan elektron-hole çifti (gazlı detektörlerdeki elektron-iyon çifti yerine) oluşur. Yarıiletkenlerin üstün taraflarından biri bir elektron-hole çifti oluşturmak için gereken enerjinin gaz iyonlaşması için gereken enerjiden 10 kat daha az olmasıdır. Bir yarıiletken detektörde, verilen bir radyasyon enerjisi için oluşan elektron-hole çiftlerinin (yük taşıyıcıların) çok büyük sayıda olması, bu sayıdaki istatistiksel düzensizliklerin etkisinin çok az olmasına neden olur. Sonuçta yarıiletken detektörlerde enerji rezülasyonu da diğer detektörlere oranla çok daha iyidir.

Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarıiletkenler IV A grubu elementleri olan Silisyum ve Germanyum'dur. Ge ve Si içinde 4 değerlik atomunun komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturduğu kristaller şeklindedir. Yani tüm değerlik elektronları kovalent bağa katılırlar ve bant yapısı bir dolu valans (değerlik) bandı ve bir boş iletim bandı gösterir. Valans bandı olarak isimlendirilen bant, kristal içinde kovalent bağa katılan valans elektronlarını içeren banttir. İletim bandında ise

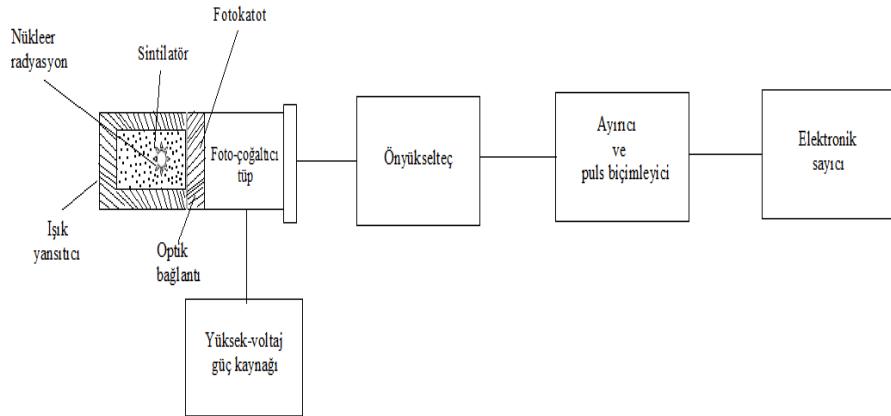
kristal içinde herhangi bir spesifik atoma bağımlı olmayan ve hareket etmek için serbest olan elektronlar bulunur. Bu banttaki elektronlar, materyalin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunurlar. Silisyum kristalinde, iletim bandında hiç elektron yoktur ve bu nedenle silisyum elektrik için zayıf bir iletkendir. Bu iki bant (valans ve iletim bandı), materyalin yarıiletken ya da yalıtkan oluşunu belirleyen ve yasak enerji aralığı olarak isimlendirilen bir enerji aralığı ile ayrılırlar. Bu aralık bir yalıtıkanda 5 eV, bir yarıiletkende ise 1 eV'dir. Yasak enerji aralığı oda sıcaklığında silisyum için 1,12 eV ve 80 K'de germanyum için 0,74 eV'dir.

Yasak enerji aralığının darlığı, materyalin sıcaklık hassasiyeti ile ilgilidir. Bu özelliklerden faydalanılarak bu materyallerin detektör olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek pratik olarak mümkündür. Germanyum detektörlerin maksimum çalışma sıcaklıkları silisyumdan yapılmış detektörlere göre daha düşüktür. Bu nedenle Ge detektörlerini termal yük taşıyıcı üretimini uygun bir seviyeye düşürebilmek için soğuk tutmak gerekir. Detektörün soğukta tutulması aynı zamanda elektronların enerji aralığını geçerken termal uyarılmalarını ve detektörün ürettiği tabansayım elektriksel gürültülerini de azaltır. Detektörlerin soğutulması için en yaygın kullanılan ortam sıvı azottur. Detektörler, gürültü düzeyini düşük tutmak için 77 K'deki sıvı azot içinde bulunan bir vakum odasında tutulurlar (Zorer 2006, İncirci 2011).

2.4.3 Sintilasyon Detektörleri

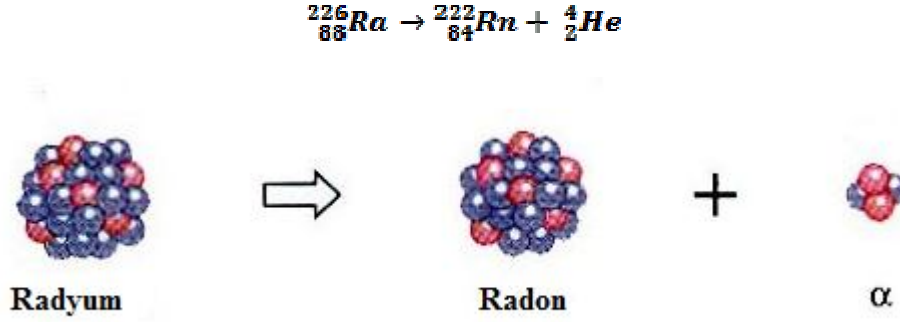
İyonlayıcı nükleer parçacıklar etkileştikleri ortamda uyarma (eksitasyon) ve iyonlaşmaya (iyonizasyon) neden olurlar. Gamma ışınları ise etkileştikleri ortamda fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu sonucu ortaya çıkan elektron ve pozitron yoluyla eksitasyon meydana getirir. Bazı maddeler uyarılma sonucu görünür bölgede veya görünür bölgeye çok yakın ışık yayımlarlar. Bu tür kristallere veya amorf (şekilsiz) maddelere sintilatör, ışık yayınlanmasına sintilasyon (ışıldama) denir. Bu tür maddelerden ışık yayınlanması uyarılma son bulduktan sonra en az 10^{-10} s devam eder. Bazı maddelerde ışık yayınlanması saniye, saat, hatta aylarca sürebilir. Radyasyon detektörü olarak kullanılan sintilatörlerde ışık yayınlanması 10^{-6} - 10^{-9} s arasındadır.

Sintilasyon sayaçlarının çalışma ilkesi, sintilatörde radyasyon tarafından uyarılma sonucu oluşan görünür ışığın bir elektrik pulsuna dönüştürülmesine dayanır. Şekil 2.13’de genel sayma sisteminde kullanılan bir sintilasyon dedektörünün şematik diyagramı verilmiştir. Bir sintilatörle bir “fotoçoğaltıcı tüp” optik bir ortam aracılığı ile uyumlu biçimde bağlanarak bir sintilasyon detektörü oluşturulur. Fotoçoğaltıcı tüp bir fotokatot ile 8-10 adet gerilim uygulanabilen “dynod” adı verilen elektrottan oluşmuştur. Nükleer radyasyon sintilatörde iyonlaşma ve uyarma meydana getirerek başlangıç enerjisinin tümünü veya bir kısmını kaybeder. Soğurulan enerji sintilatörde sintilasyona neden olur. Sintilasyon sonucu oluşan ışık fotonları optik bağlantı aracılığıyla fotokatot üzerine düşerler. Fotokatottan fotoelektronlar yayınlanır. Yayınlanan elektronlar fotokatota gelen ışık şiddetiyle dolayısıyla yüklü parçacığın sintilatörde kaybettiği enerjiyle orantılıdır. Fotoçoğaltıcı tüpte dynodlarla elektronlar çoğaltılır. Çoğaltılmış elektronlar toplayıcı elektrot “anot” ta toplanır ve bir gerilim (voltaj) pulsu üretilmiş olur. Gerilim pulsu bir ön yükselticide (preamplifier) yükseltildikten ve bir diskriminatörden (ayırıcı) geçtikten sonra sayıcıya ulaşır (Yalçın 1999, İncirci 2011).



Şekil.2.12 Bir sintilasyon detektörünün şematik diyagramı (Price 1964).

2.5 RADON



Şekil 2.13 Radyumun α bozunumu yaparak radona dönüşmesi

Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni radondur. 1900 yılında Alman kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilen radon aslında ilk kez 1898 yılında ünlü fizikçi Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Friedrich Ernst Dorn bugünkü adıyla radona parıldayan manasına gelen *niton* adını vermiştir. 1923 yılına kadar bu adla anılan elemente radyumdan sonra keşfedildiği için *radon* denilmiştir.

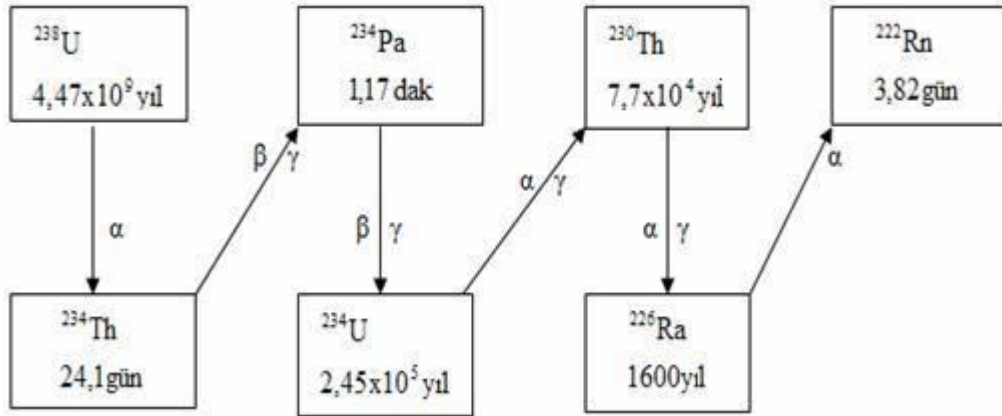
Radon elementlerin periyodik tablosunda asal gazlar (soygazlar) grubu denilen 8A grubunda, 6. periyotta bulunmaktadır ve son keşfedilen asal gazdır. Normal sıcaklık ve atmosfer basıncında gözle görülemeyen, renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır (Akkurt 2006).

Erime noktası $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($202,15\text{ }^{\circ}\text{K}$, $-95,8\text{ }^{\circ}\text{F}$), kaynama noktası ise $-61,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($211,35\text{ }^{\circ}\text{K}$, $-79,24\text{ }^{\circ}\text{F}$)'dir. Bütün dünyada yalnız 100 ton, toprakta ise ortalama 1 pCi/L civarında bulunmaktadır (Özdemir 2006). Radon donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğutulursa, sıcaklık düşüğüyle orantılı bir şekilde sarılığı artan parlak bir görünüm alır (Davutoğlu 2008).

Radon gazı elektrik iletkenliği hiç olmayan ve ısı iletkenliği de $3,64 \times 10^{-5}\text{ W/cmK}$ gibi çok düşük bir değere sahip olan bir asal gazdır. Radonun atomik yarıçapı $1,34 \times 10^{-10}\text{ m}$ ve atomik kesitinin alanı $0,72 \times 10^{-24}\text{ cm}^2$ 'dir (Akkurt 2006).

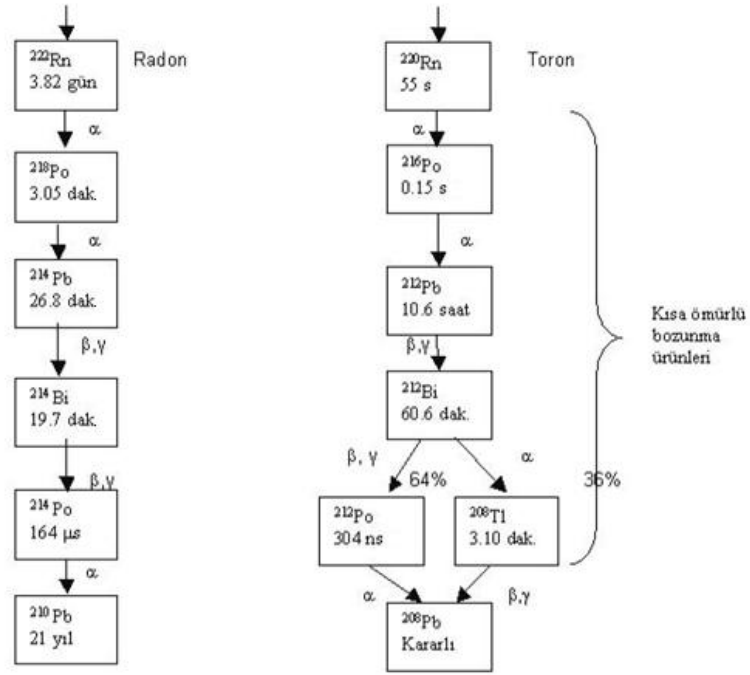
Havadan 7,5 kez, hidrojenден ise 100 kez daha ağırdır ve tek atomlu şekilde bulunur. Bu yüzden kağıt, deri, plastik, boya ve yapı malzemeleri gibi materyallere kolayca nüfuz eder. Elektron ilgisinin düşük ve iyonlaşma enerjisinin yüksek olması nedeniyle ^{222}Rn diğer elementlerle kolayca bağ yapamaz. Ancak elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşip kararlı bileşikler yapabilir. Suda ve organik çözücülerde iyi çözünür, çözünürlüğü artan sıcaklıkla azalır; sudaki çözünürlüğü 0 °C, 25 °C ve 50 °C’de sırasıyla 510, 220 ve 130 cm³/L’dir (UNSCEAR 1993).

Radon elementinin çok çeşitli yarı ömürlere sahip 33 tane izotopu vardır. En uzun ömürlü üç izotopu ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn ’dur. ^{222}Rn , radon elementinin en uzun yarı ömürlü izotopudur. Uranyumun doğada en çok bulunan izotopu ve en ağır doğal radyoaktif element olan ^{238}U ’in bozunum zinciri içerisinde yer almaktadır. Diğer iki izotop ise ^{232}Th ve ^{235}U serilerine ait ürünlerdir. Bu izotoplar sırasıyla 55,1 saniye ve 3,96 saniye yarı ömürlüdürler. ^{220}Rn (toron) ve ^{219}Rn (aktinon) kısa yarı ömürleri nedeniyle çok çabuk yok olacağından doğadaki radon radyasyonunun hemen hemen tamamı 3,82 gün yarı ömürlü ilk izotopun sonucudur (Akkurt 2006).



Şekil 2.14 ^{238}U serisinin ^{222}Rn 'ye kadar olan bozunum şeması.

Serinin bu kısmında ^{238}U , beş radyoaktif çekirdekle ^{222}Rn 'ye ulaşır. ^{222}Rn 'den hemen önce gelen ^{226}Ra , 1600 yıllık yarı ömürle 3.82 günlük yarı ömre sahip olan ^{222}Rn için sabit hızlı bir üreteç görevi yapmaktadır. ^{222}Rn , ^{238}U bozunma zincirinden gelirken, Radon izotoplarının bozunma zinciri ve izotopların yarı ömürleri Şekil 2.15'te verilmiştir (Akkurt 2006).



Şekil 2.15 Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirleri (Özdemir 2006).

2.6 Radon Gazı Kaynağı

Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucu oluşur. Uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Sıcaklık, basınç farklılıkları, nem gibi faktörler bu kaçıışı hızlandırmaktadır.

Radon; özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini arttırıcı etmenlerden birisidir.

- 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
- Binadaki havalandırma kapasitesi ve bina zemini
- İç-dış hava sıcaklık, iklim koşulları ve basınç farkı

binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

Bu yüzden yapılan Radon çalışmalarında özellikle ^{222}Rn üzerinde durulmaktadır.

Çizelge 2.1 Çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonu (Çelebi, 1995).

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm-parts per million)
Volkanik Kayalar	3.0
Fosfat Kayalar(Florida)	120.0
Fosfat Kayalar (Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4.0
Kireçtaşı	1.3
Tortul Kayalar	1.2

2.6.1 Evlerde Radon

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

Konutta ya da kapalı ortamda fiziksel zararlı etkenler arasında zehirli gazlar, solunabilir özellikteki asılı parçacıklar, asbest lifleri, radyasyon (özellikle radon), iyonize olmayan radyasyon ve sigara dumanı sayılabilir. Sigara dumanının içerisinde benzen, xilen, etil benzen ve styren bulunmaktadır. Organik yükü fazla sularda

kaynatıldığında, kloroform çıkmaktadır. Deodorantların ve mantar öldürücülerinin içerisinde p-diklorobenzen bulunmaktadır. Bu durumda bir yandan dış ortamı kirleten ögeler ya da dış ortam kirliliği kapalı ortam havasını etkilerken, kapalı ortamdaki kullanılan araç gereç malzeme ve yaşama koşullarına bağlı önemli kirleticiler de bulunmakta, bunlar sürekli olarak birikmektedir. İnşaat malzemeleri, yanan yakıtlar, giyecek ve dokumalar, petrol ürünleri, pestisitler, toprak, değişik tüketim ürünleri, kimyasal maddeler, bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar kapalı ortam havasının kirlenmesine neden olabilmektedir. Havanın tozlar, polenler ve mikroorganizmalarla kirlenebilmesi mümkün olabilmektedir.

Radon gazı kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda da olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır (Harley and Harley 1990).

Radon havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 santimetre mesafede kalma eğilimindedir. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Günümüzde petrol krizinden sonra artan bina yalıtım işlemi söz konusu basınç farkının daha da artmasına neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu 1997). Bununla birlikte binaların üst katlarındaki radon yoğunlukları, zemin katlardakinden daha az olmaktadır (Köksal 1997).

Norveç'te yapılan bir araştırmada, ağaçtan gelen radon gazı salınımı olmamasına rağmen, ağaçtan yapılan evlerin, diğer evlerden daha çok radon gazı içerdiği gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni ağaç evlerin genel olarak daha alçak ve dolayısıyla odaların toprağa daha yakın olmasıdır. Diğer taraftan Chicago'da yapılan bir araştırmada; tabanı kaplanmamış ve çıplak toprak üzerine kurulmuş evlerde, topraktaki radon yoğunluğu normal olmakla birlikte, evlerde ölçülen radon miktarının, tipik dış radon seviyelerinin 100 katından çok da yoğun olduğu görülmüştür (UNSCEAR 1982).

Ilıman bölgelerde evlerin içindeki radon konsantrasyonunun, dışarıdaki radon konsantrasyonundan 8 kez fazla olduğu belirlenmiştir (UNSCEAR 1982). Bugüne

kadar, tropik ülkelerde bir radon seviyesi ölçümü yapılmamıştır. Bunun nedeni, bu bölgelerde havanın çok sıcak olması ve binaların daha açık bir şekilde yapılmış olması nedeniyle iç ve dış radon yoğunlukları arasında fazla bir fark olmamasıdır. 1970'li yılların sonlarına doğru İsveç ve Finlandiya' daki evlerde yapılan ölçümlerde, açık havadaki radon seviyesinden 5000 kat daha fazla radon bulunmuştur (UNSCEAR 1977). Çizelge 2.2'de değişik ülkelerde ölçülen ortalama ev içi radon konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 2.2 Farklı ülkelerde ev içi ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m³)
(Taşkın, 2006).

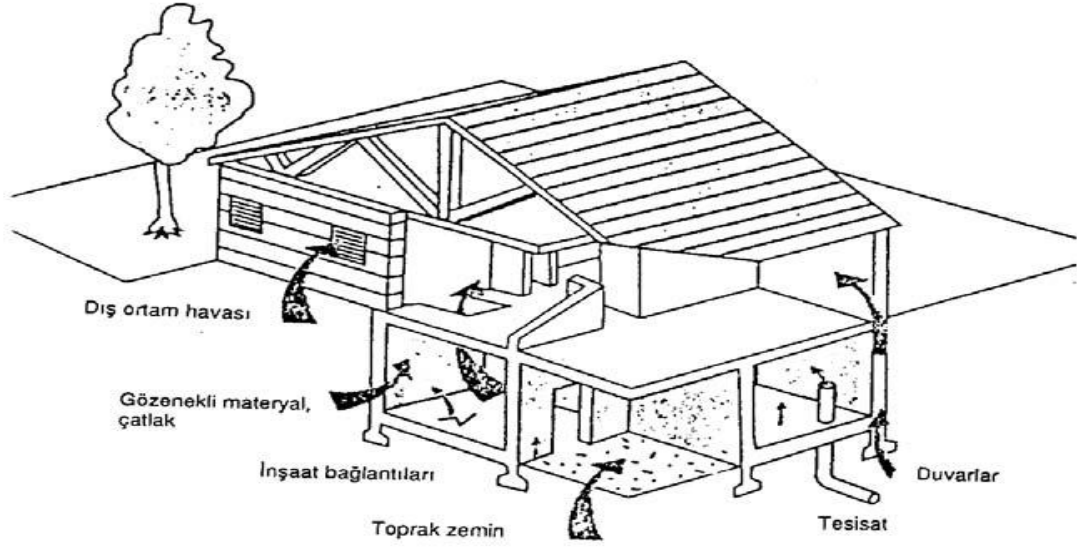
ABD	46	Fransa	62	Macaristan	107
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	73
Avustralya	11	İngiltere	20	Polonya	41
Belçika	48	İran	82	Portekiz	62
Cezayir	30	İspanya	86	Romanya	45
Çek. Cum	140	İsveç	108	Slovakya	87
Çin	24	İsviçre	70	Suriye	87
Danimarka	53	İtalya	75	Tayland	44
Ermenistan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

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 radon yayımlanmaktadır. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemesi, eğer radon içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radonun kaynağını oluşturabilmektedir.

Radon gazı evlere:

- Zemindeki çatlaklar,
- Yapı bağlantı noktaları,
- Duvar çatlakları,

- Asma kat boşlukları,
- Tesisat boru boşlukları,
- Duvar arası boşlukları,
- İçme suyu ile girer.



Şekil 2.16 Evlere radonun girişi

Ev ve iş yerlerinde radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için eylem seviyesi tespit edilmiştir. Çizelge 2.3’ de verildiği gibi eylem seviyesinin 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için $200- 600 \text{ Bq/m}^3$ (evde geçirilecek süre 7000 saat), iş yerlerinde ise $500-1500 \text{ Bq/m}^3$ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (Çelebi, 1995).

Çizelge 2.3 Evlerde ve İşyerlerinde Radon ve Ürünleri İçin Önerilen Eylem Seviyeleri(Çelebi 1995).

Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yerleri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye, limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, Kanada’da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, evlerde radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye’de Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre evler için izin verilen limit değer 400 Bq/m³, işyerleri için 1000 Bq/m³ tür (TAEK 2009). Çizelge 2.5’de çeşitli ülkeler ve uluslar arası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için izin verilen radon konsantrasyonları verilmektedir (EPA, 1992).

Çizelge 2.4 Çeşitli Ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (Çelebi 1995).

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

(AB: Avrupa Birliği, ICRP: Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komitesi, WHO: Dünya Sağlık Örgütü.)

2.6.2 Havada Radon

Açık havadaki radon gazının başlıca kaynağı yer kabuğunda bulunan radyum izotopudur. Radyumun bozunmasıyla açığa çıkan radon topraktaki gözeneklerden atmosfere difüzyon yoluyla karışır ve atmosferik radon yoğunluğunu artırır. Bu hareketi etkileyen temel etkenler şunlardır:

- Materyallerden kaynaklanan radon yayılımı
- Toprak ve hava arasındaki basınç farkı
- Toprağın suya doyma seviyesi
- Kayaç ve toprağın gözenekli yapısı
- Radyumun yoğunluğu

Atmosfer basıncının düşük olması durumunda, toprak içerisindeki havada da basınç düşük olacaktır ve böylece derinden yüzeye yönelen radon miktarı artacaktır. Yağmurlu ya da yağışlı havalarda yüzeydeki toprak nem oranı artar ve toprak gözenekleri kapanır. Alttan yüzeye yönelmiş radon toprağın üst gözeneklerinde tutulur ve radonun aşağıdan yukarıya difüzyon yoluyla geçişi zorlaşır. Sonuçta toprak yüzeyindeki radon yoğunluğunda azalma olur. Çok kuru katı içinde, katı içindeki çatlak ve gözeneklerdeki yüzeylerde radonun yeniden bağlanmasıyla (tutunmasıyla) radon salımı azalır. Eğer katı hafif nemli ise radon salımı belli nem düzeyine kadar artar, belli nem düzeyinin üstünde su dolu gözeneklerde difüzyon oranı düşük olacağından tekrar azalır (UNSCEAR 1982). Radon yoğunluğunun mevsimsel bazı incelemeleri yapıldığında günün öğle saatlerinde minimum, gece yarısı ise maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür (Akyıldırım 2005).

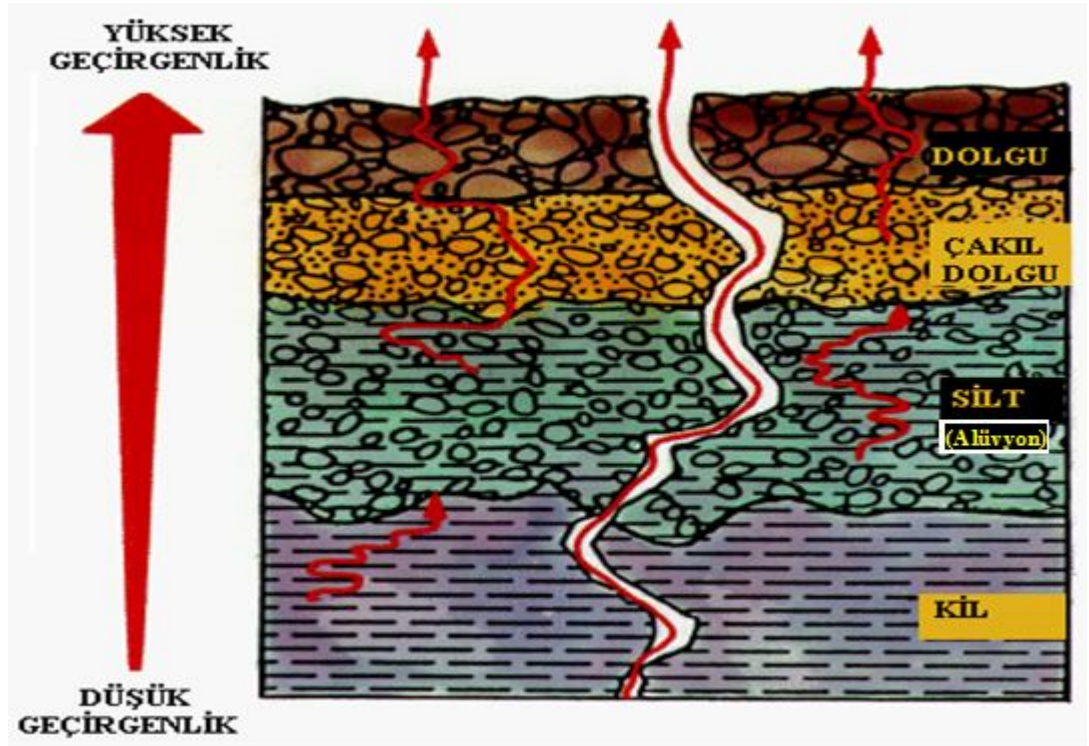
2.6.3 Toprak ve Kayalardan Gelen Radon

Radonun gaz olması onu, toprak içinde bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketli kılar. Bu yüzden toprak taneleri arasındaki gözeneklerden ve kaya içindeki açıklıklardan, kırıklardan kaçarak toprak ve kayaları kolaylıkla terk edebilir. Gözenekler içinde serbest hareket edebilme yeteneğine sahip olması, uzun mesafeler boyunca hareket edebilmesini sağlar. Böylece bina içlerinde yüksek konsantrasyonlarda radon birikme ihtimali yüksek olur (Günaydın 2004).

Radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Radon konsantrasyonları için coğrafi yerleşim önemlidir. Kutup bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonları düşüktür.

Topraktan Radon salınımı;

- ❖ Topraktaki radyum konsantrasyonuna,
- ❖ Toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine
- ❖ Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)
- ❖ Meteorolojik koşullara (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü)
- ❖ Bölgenin yüksekliğine, bağlıdır ((Kapdan 2009).



Şekil 2.17 Topraktaki radon geçirgenliği (Günaydın 2004).

2.6.4 İnşaat Malzemelerinden Gelen Radon

Kökeni toprak ve kum olan yapı malzemesi bileşiminde de uranyum ve radyum bulunmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan az miktardaki uranyum binalardaki radon düzeyini arttırıcı etkenlerden birisidir. Bu nedenle dış solunum adı verilen bir doğal mekanizma ile duvarlardan sürekli olarak radon gazı çıkar ve bina içi ortamda artan bir yoğunluk oluşturur.

Bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları Çizelge 2.5 'de verilmiştir. Beton ve tuğla, en yaygın kullanılan inşaat malzemeleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda betondaki ^{226}Ra konsantrasyonunun, tuğlaya göre dahaz, ^{222}Rn çıkış oranının ise betonda tuğladan daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Kaptan 2009).

Çizelge 2.5 İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri(Çelebi 1995)

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

2.6.5 Sulardan Gelen Radon

Bir bölgede bulunan göller, akarsular, göletler, kuyular ve membalar o bölgenin jeokimyasal ve jeofiziksel yapısı ve radyoaktiflik içeren madenleri hakkında bilgi verir. Yeraltı uranyum yataklarının keşfinde yapılan çalışmalar genellikle kuyu ve kaynak sularında radon yoğunluğu ölçerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi bu suların kaynağının, yeraltı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer uranyum yatağından geçen bir kol varsa yatağı yıkayan sularda uranyum ve radyum çözünür ve tabii ki radon gazı çıkışı gözlenir. Bu yüzden kaynak sularının çıkış noktalarında radon gazı yoğunluğu artar (Akyıldırım 2005).

Sularda bulunan radon ev içlerine, sular kullanıldığı zaman girer. Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon miktarı da artar (UNSCEAR 1993).

Radon miktarının termal sular söz konusu olduğunda ise daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli sebepleri termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla uranyum tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkıyor olmalarıdır. Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar radon içermektedir. Bu miktar, ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır (Akyıldırım 2005).

2.6.6 Doğal Gazdan Gelen Radon

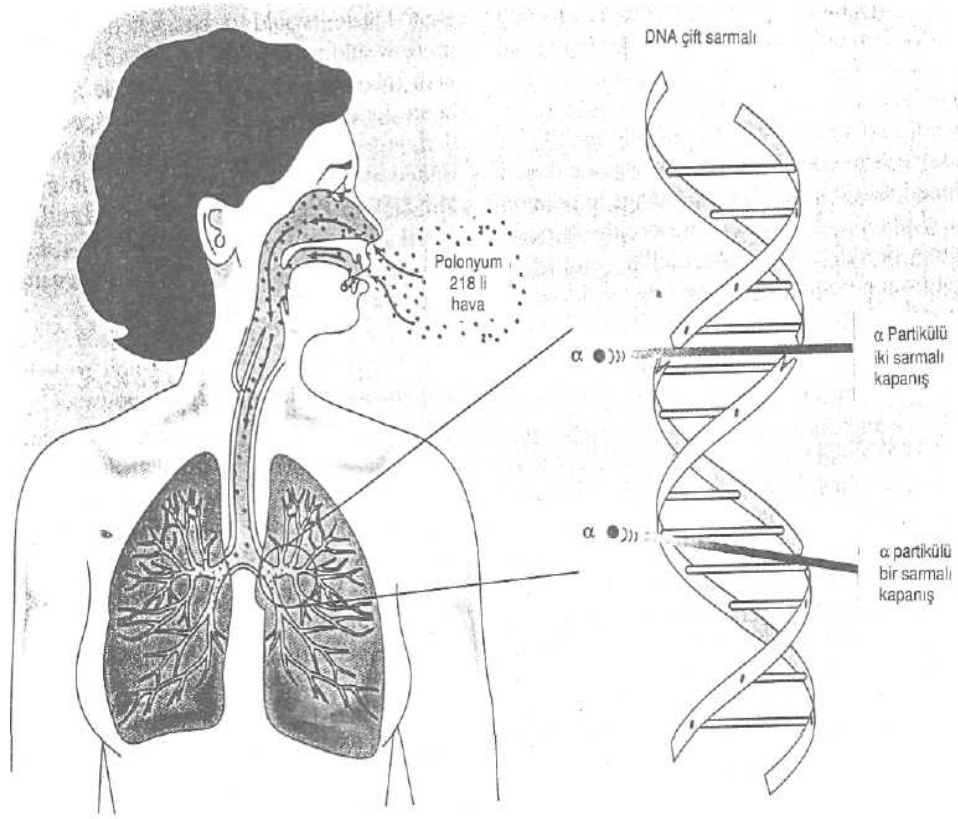
Doğalgazın üretimi ve depolanması esnasında doğalgazın bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Doğalgazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, dedekte edilemeyen seviyelerden, 50 kBq/m³ seviyesine kadar değişik değerler vermektedir (Çelebi 2007).

Doğalgaz topraktan çıkartılır. Bundan dolayı uranyumun olduğu bir yerden çıkartılırsa kendisinin yanı sıra uranyumun bozunması ile meydana gelen radon ile birlikte üretilir ve depolanır. Doğalgazın önemli bir ev içi radon kaynağı olması bundan kaynaklanır. Doğalgaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında da radon gazı ortaya çıkar ve buda ev içi radon seviyesini arttırır (Çelebi 2007). Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilebilir. Ayrıca radon yanıcı bir gaz olmadığı için ortama kolaylıkla yayılabilir.

2.7 Radon Gazının İnsan Sağlığına Etkisi

Radonun kendisinin sağlığa olumsuz etkisi oldukça azdır denebilir. Bir soygaz olarak radon, teneffüs edildiğinde dikkate değer ölçüde vücut tarafından tutulamaz. Gene teneffüs yoluyla dışarı atılır. Çünkü radon nefes alma süresiyle kıyaslandığında daha uzun yarı ömre sahip bir asal gazdır.

Radon soygaz olduğundan dolayı teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Potansiyel sağlık zararı radonun gaz olmayan radyoaktif bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Radonun bozunum ürünlerinin bir kısmı atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa tutunmak, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalma eğilimindedirler. Radonun bozunum ürünlerinden, serbest olarak kalma eğiliminde olanları taşıyan hava solunduğu zaman bunlar üst solunum yollarında, yapışma eğiliminde olanlar ise akciğerlerin derinliklerinde tutulma eğilimi gösterirler. Ve ciğerler temizlenmeden önce bozunmaya başlarlar bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan alfa parçacıkları, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içinde kansere neden olur.



Şekil 2.18 Polonyum 218 in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır.

2.8 Radonla İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler

Radon ölçümlerinin mevsimsel, zamana bağlı hatta gece ve gündüz farklılıklarını gösterecek biçimde yapılması gerekmektedir

1. Giriş çatlaklarının ve yerlerinin tıkanması (geçirgen olmayan bir çimento tabakasıyla toprağın örtülmesi)
2. Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olmasının sağlanması.
3. Suyun radon kapsamının azaltılması (suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi],
4. Radyoaktif içeriği düşük materyal kullanılması,
5. Havanın süzülmesinde elektrostatik presipitasyon yapan temizleyiciler mekanik filtreler, negatif iyon jeneratörü tipi temizleyiciler kullanılması
6. Yeni inşaatların yapımında radon kapsamı az olan materyalin kullanılması
7. Havalandırma sisteminin duvarın üst seviyesinden havayı atıp, alt seviyeden hava almak içimindeki döngüsünün tersine çevrilmesi. Tabana yakın olan radon gazının oda atmosferinin üst tabakalarına çıkmasının engellenmesi
8. Binalarda doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmesi.
9. Eğer alınan temsil edici örneklerde bölgede radon kirliliği tehlikesi yüksekse toplum bireylerinin kendi ev radon izlemelerini yapma yönünde özendirilmeleri.

2.9 Türkiye’de Ev İçi ^{222}Rn Konsantrasyonunun Şehirlere Göre Dağılımı

Ev içi ^{222}Rn oranının belirlenmesi, soğuk iklime sahip bölgeler için daha önemlidir. İklim koşullarına bağlı olarak kapı ve pencerelerde yapılan izolasyon, bina içi havalandırmayı önlemekte, bu da radon oranını artırmaktadır. Aynı şekilde, kapı ve pencerelerin iklim nedeniyle kapalı tutulması da oranı artırmaktadır.

Şimdiye kadar ^{222}Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri Çizelge 2.6’de verilmektedir. Antalya, Mersin, Adıyaman gibi illerimizde ^{222}Rn oranı düşük çıkarken; Isparta, Eğirdir, Dinar, Çanakkale vb illerimizde ise oran oldukça yüksektir. Bunun yanında bölgenin fay hattı üzerinde olup olmaması da oranı değiştirmektedir. Çanakkale, Dinar, Isparta, Eğirdir, Yalvaç gibi fay hattı üzerinde bulunan il ve ilçelerimizde oran yüksek

çıkarken, Bolu ve Kocaeli'nde oran düşüktür. UNSCEAR tarafından, ev içi radon konsantrasyonunun dünya aritmetik ortalama değeri 40 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. ²²²Rn konsantrasyon oranı ölçülen illerimizin çoğunun ortalama ²²²Rn değeri bu değeri aşmaktadır (Uluğ ve Çelebi 2005).

Çizelge 2.6 ²²²Rn konsantrasyon ölçümü yapılan il ve ilçelere ait ev içi ortalama radon konsantrasyon değerleri (Uluğ ve Çelebi 2005).

İstanbul	50.00	Kocaeli	16.97	Düzce	67.78
Zeytinburnu (İstanbul)	43.18	Köprübaşı	54.33	Antalya	28.12
Eskişehir	61.80	Tosya	55.76	Finike	42.02
Adana	63.00	Kastamonu	75.50	Manavgat	41.55
Mersin	35.60	Balıkesir	41.00	Serik	38.86
K. Maraş	25.22	Sındırgı	55.00	Boğazkent	31.86
Adıyaman	16.62	Çanakkale	154.13	Isparta	163.67
Ş. Urfa	73.75	Kestanbolu (Çanakkale)	154.70	Eğirdir	123.89
Elazığ	71.00	Bursa	47.40	Yalvaç	111.54
Erzurum	65.43	Yatağan Termik Santrali	90.38	Burdur	85.88
Afyon	65.80	Sakarya	80.78	Gaziantep	50.58
Dinar	186.50	Gölcük	65.96		
Rize	70.58	Bolu	84.44		

2.10 Radon ölçme yöntemleri

Radon ölçüm teknikleri aktif ve pasif olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Aktif ölçüm tekniğinde, anlık radon ölçümleri yapılmaktadır. İyon odaları, sintilasyon hücresi, filtreler aktif radon ölçümlerinde kullanılan aletlere örnek olarak verilebilir.

Pasif ölçüm tekniğinde ise, Katı Hal Nükleer iz detektörleri kullanılarak uzun süreli radon ölçümleri yapılmaktadır. Katı Hal Nükleer iz detektörleri ile radon konsantrasyon ölçümleri çeşitli plastik maddelerden yapılmış film tabakaları kullanılarak gerçekleştirilir (Fişne vd. 2004)

Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon ölçümleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

- a) Detektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerini toplandığı gaz akışlı aktif cihazlarda
- b) Gaz akışı olmayan difüzyon yoluyla radon girişi olan ağzı kapalı odacıklarla
- c) Açık bir detektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlarla.

2.10.1. İyonizasyon odası

İyonizasyon odası paslanmaz çelikten silindir şeklinde yapılmaktadır. Merkez ekseninde silindir şeklinde yapılmış bir elektrot bulunur. Radon konsantrasyonu belirlenmek üzere örneklenen hava iyonizasyon odasına aktarılarak, odanın duvarları (metal iç yüzeyleri) ile elektrot arasında bir potansiyel farkı uygulanır. Oluşan iyonizasyon akımı çok duyarlı elektrometre ile ölçülür.

2.10.2 Kollektör yöntemi

Bu yöntemin temel prensibi, bir kap içerisinde bulunan örnekteki radonun bozunumu ile oluşan radon ürünlerinin kollektör ve kap arasına uygulanan potansiyel yardımıyla kollektör yüzeyinde toplanması ve biriken ürünlerin toplam alfa aktivitesinin sayımıdır.

Kollektör yöntemi ölçüm sistemi 3 bölümden oluşur:

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

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

Sayım sistemi: Yüksek güç kaynağı ile alfa radyasyon sayım cihazından oluşur. Kollektör yönteminde, suyun çıktığı ana kaynaktan şişelere 100 mL örnekler alınır, şişelere doldurulan su köpürtülerek radon gazı ve ürünleri, içinde bakır disk bulunan kollektör odasına aktarılır, 600 voltluk potansiyel uygulanarak radon ve ürünleri arasındaki dengenin sağlanması için 4 saat bekletilir. Bu süre sonunda bakır disk üzerine biriken radon ve ürünleri dedektörde sayılır (Barış 2006).

2.10.3 Lucas hücresi

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

2.10.4 İz kazıma yöntemi

Radyonüklidlerin yayınladıkları alfa parçacıkları bazı maddeler ve özellikle plastik filmler üzerinde etkilidirler. Alfa iz kazıma filmleri genel olarak dielektrik veya organik maddelerden yapılır. Alfa parçacığı bu filmlere çarptığı zaman onun yapısında bir hasar oluşturur. Bu hasar film üzerinde normal mikroskop altında görülemeyecek kadar küçük çukurlar şeklindedir. Bu olaya maruz kalmış bir film laboratuarda belirli şartlar altında kimyasal işleme tabi tutulursa alfa parçacığının oluşturduğu izler normal mikroskop altında görülebilir hale gelir. Bu işlemlerden dolayı bu ölçüm sistemine iz kazıma tekniği adı verilmiştir. İz kazıma filmleri genelde üzerine gelen alfa parçacığının sayısını verir ve bu olay alfa parçacığının kendine özel bir durumudur. Çünkü filmler diğer radyasyon türlerine karşı duyarlı değildirler. Böylece uygun kalibrasyon ve hesaplama tekniği ile iz sayısından ortam radon konsantrasyonunu bulmak mümkün olmaktadır.

2.10.5 Elektrostatik toplama yöntemi

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

2.10.6 Filtre yöntemi

Bu yöntem, havadaki radon ürünleri konsantrasyonunu ölçen tek filtre yöntemi ile havadaki radon ve ürünlerini ayırarak radon bozunma oranını ölçen çift filtre yönteminden oluşur. Tek filtre yönteminde havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengenin olduğu kabul edilerek ölçümler alınır. Çift filtre yönteminde ise havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengeye bağlı olmaksızın ölçümler alınır (Barış 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kastamonu ili sınırları içinde 7 ayrı ilk ve orta öğretimlerde radon gazı yoğunluğu ölçüldü. Ölçümler 11/03/2011 – 18/03/2011 tarihleri arasında 24 saatlik dilimler arasında yapıldı.



Şekil 3.1 Kastamonu il merkezi haritası(★” : Ölçüm alınan okulların konumu).

3.1 AlphaGUARD Radon Detektörü

Bu bölümde ilk olarak radon yoğunluk ölçümlerinde kullanılan AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörün yapısı, çalışma ilkesi, teknik özellikleri, kullanılan aparatlar ve yazılım tanıtılmıştır. Daha sonra detektörün kullanıldığı alanlar, kalibrasyonun tekniği ve deneysel çalışma yöntemi verilmiştir.

Radon ölçümlerinde kullanılan AlphaGUARD PQ 2000PRO temel olarak Radon (Radon222), Radon220 (Thoron) ve Radon yan ürünlerine ait radyasyon yoğunlukları ile Gamma (γ) doz oranını ölçmekte kullanılan taşınabilir bir radyasyon detektörüdür. AlphaGUARD havada, suda, toprakta ve yapı malzemelerinde

radasyon ölçümleri yapabilmektedir. Ölçüm sonuçlarını Bq (Becquerel) yani Bq/m^3 cinsinden veren AlphaGUARD detektörü, eş zamanlı olarak sıcaklık, atmosfer basıncı ve nem oranı gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir: Bu parametrelerin birimleri sırasıyla °C, mbar ve %rH.dir.

AlphaGUARD Radon detektörü gelişmiş bir “atma (puls) iyonlaşma çemberi” veya alfa (α) spektroskopisi yöntemi kullanmaktadır. Yüksek Radon ölçüm hassasiyetine sahiptir ve yoğunluk gradientleri ile küçük yoğunluk dalgalanmalarını algılayabilecek derecede hassas elektronik yapıya sahiptir. Uzun süreli ölçümler yapabilmektedir ve ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli pilleri sayesinde seçilen ölçüm moduna göre 6 aya kadar ölçüm yapabilmektedir. Bunların yanı sıra AlphaGUARD olumsuz sayılabilecek koşullarında, mesela yüksek nem, yüksek sıcaklık, yüksek titreşim gibi, bakım gerektirmeden ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.2 de AlphaGUARD detektörü görülmektedir (Akyıldırım 2005).



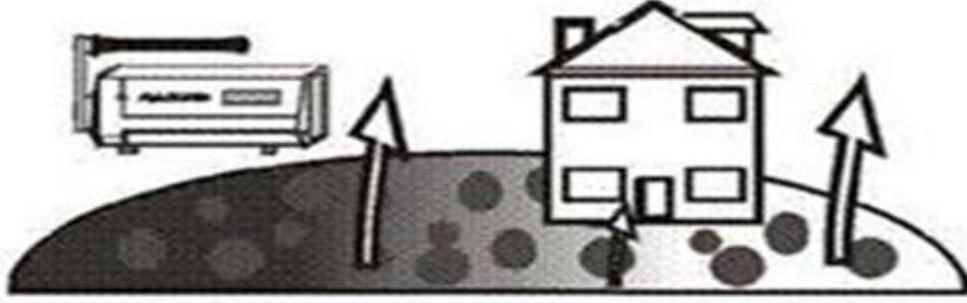
Şekil 3.2 AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü (Akyıldırım 2005).

AlphaGUARD Radon detektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı detektör iyonlaşma odasına çeker. Emme sonucunda iyonlaşma odasına giren ^{222}Rn ve ^{220}Rn izotopları bozularak oda içerisinde iyonizasyona sebep

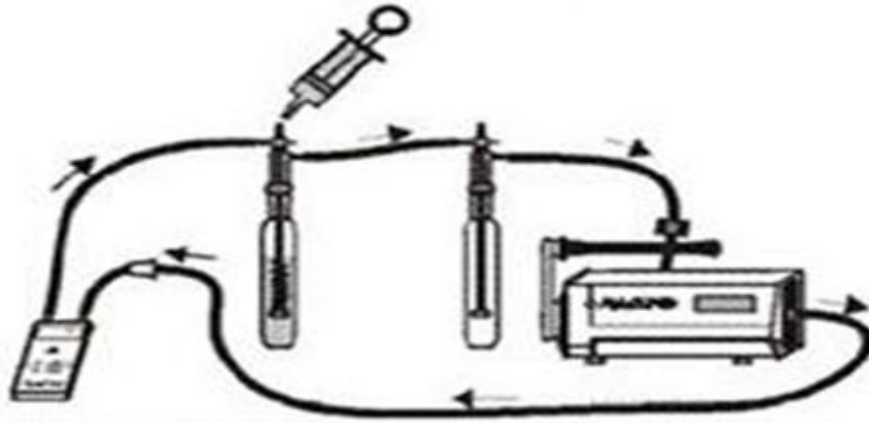
olarak bir elektrik sinyalleri meydana getirirler. Bu sürekli emme esnasında Radon yan ürünleri bir plaka şeklindeki filtre tarafından tutulur ve filtre plakası üzerinde biriken Radon yavru ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemcili modülü olan, alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü vasıtasıyla ölçülür. Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilir ve detektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından okunabilir veriler haline dönüştürülür.

Alınan verilerin grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, arşivlenmesi ve sanal ortamda sunulması için ise AlphaGUARD için geliştirilmiş çeşitli yazılım paketleri kullanılmıştır. Bunlar AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve en son geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımlarıdır. İlk iki yazılım türü sadece DOS ortamında çalışmaktadır ve AlphaGUARD detektörü ile bir RS232 port ile haberleşmektedirler. Bu çalışma süresince kullanmış olduğumuz DataEXPERT ise Windows ve Linux gibi işletim sistemleri altında çalıştırılabilmektedir ve RS232 bağlantısına ek olarak internet üzerinden de detektör haberleşme sağlanabilmektedir.

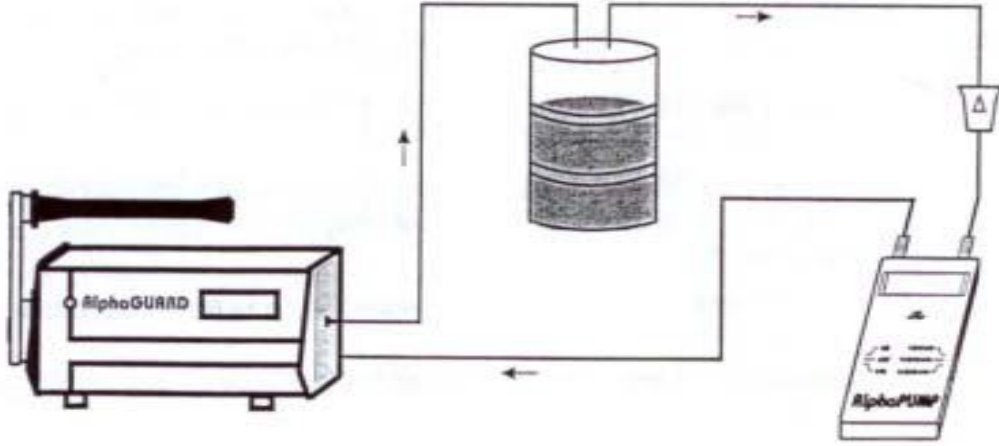
AlphaGUARD'ın atmosferde veya havada yapacağı ölçümler için ayrıca bir aparat kullanmak gerekmemektedir (Şekil 3.3). Ancak suda, toprakta ve yapı malzemelerinde Radon ve yan ürünlerin yoğunluklarının tayin edilebilmesi için bazı aparatlar kullanılması gerekmektedir. Suda yapılacak ölçümler için AquaKit(Şekil 3.4), toprakta yapılacak ölçümler için Soil Gas Probe (Toprak Gaz Sondası) kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Ayrıca AlphaGUARD ile gerek sudaki, gerek topraktaki ve gerekse yapı malzemelerindeki ölçümlerin (Şekil 3.6) yanı sıra kalibrasyon işlemlerinde de kullanılması gerekli olan AlphaPUMP, cihaz iyonizasyon odasına hava pompalayan bir diğer alettir. Bahsi edilen bu bileşenlerle ilgili daha ayrıntılı bilgi daha sonraki kesimlerde verilmiştir (Akyıldırım 2005).



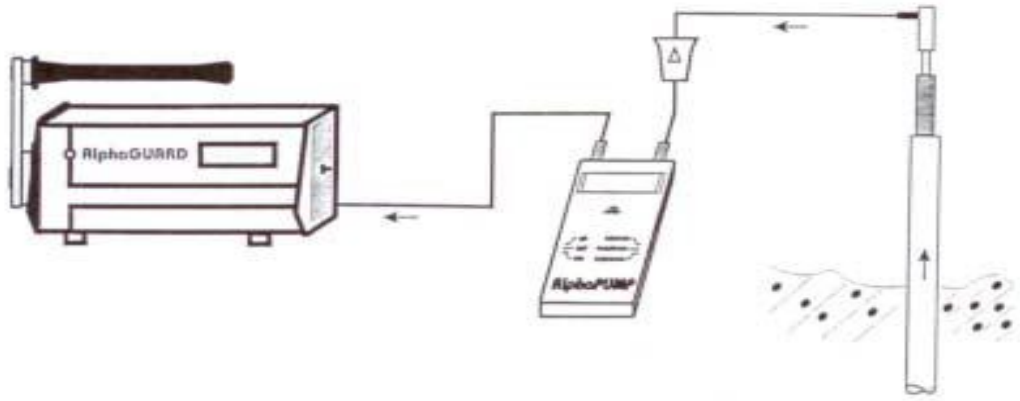
Şekil 3.3 AlphaGUARD ile havada radon ölçümü için kullanılan sistem (Akyıldırım 2005).



Şekil 3.4 AlphaGUARD sudaki radon ölçümü (Aqua kit kullanılarak) için kullanılan sistem (Akyıldırım 2005).



Şekil 3.5 AlphaGUARD ile yapı malzemelerindeki radon ölçümü için kullanılan sistem. (GENITRON INSTRUMENTS, 12/98, 08/2001).



Şekil 3.6 AlphaGUARD ile toprakta radon ölçümü için kullanılan sistem. (GENITRON INSTRUMENTS, 12/98, 08/2001).

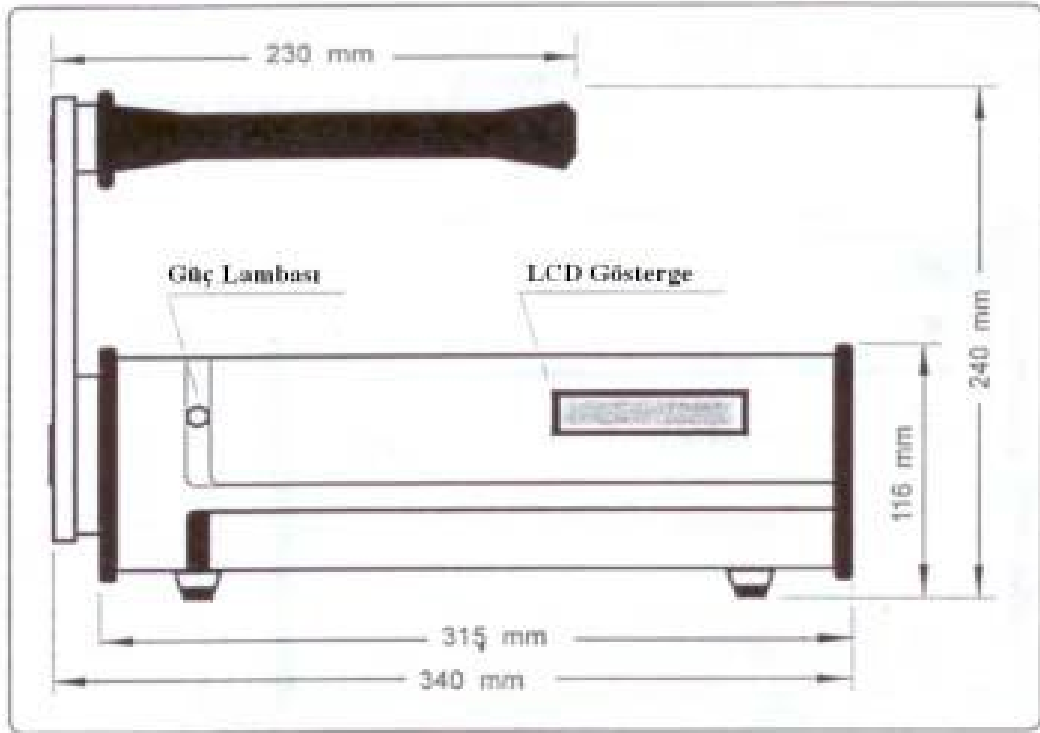
3.2 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı ve Çalışma İlkesi

AlphaGUARD PQ 2000PRO Radon detektörünün yapısı iki temel kısma ayrılarak incelenebilir:

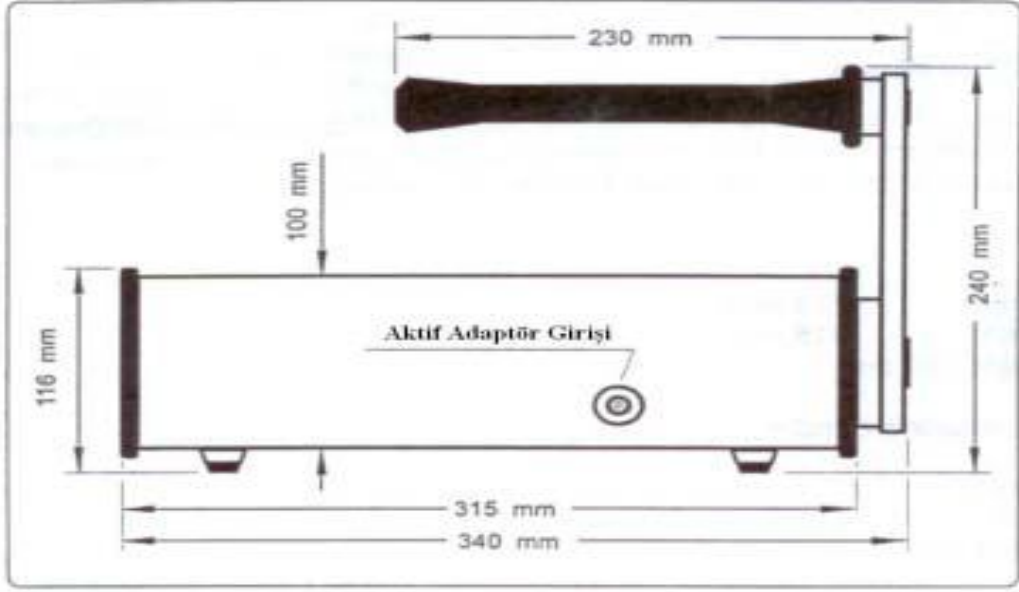
- 1) Detektörün dış yapısı, ebatları ve dışarıdan görülen bazı özellikleri.
- 2) Detektörün iç yapısı ki iç yapısını oluşturan iki ana bileşen olan ölçüm ve veri işleme birimleri.

3.2.1. Dedektörün dış yapısı

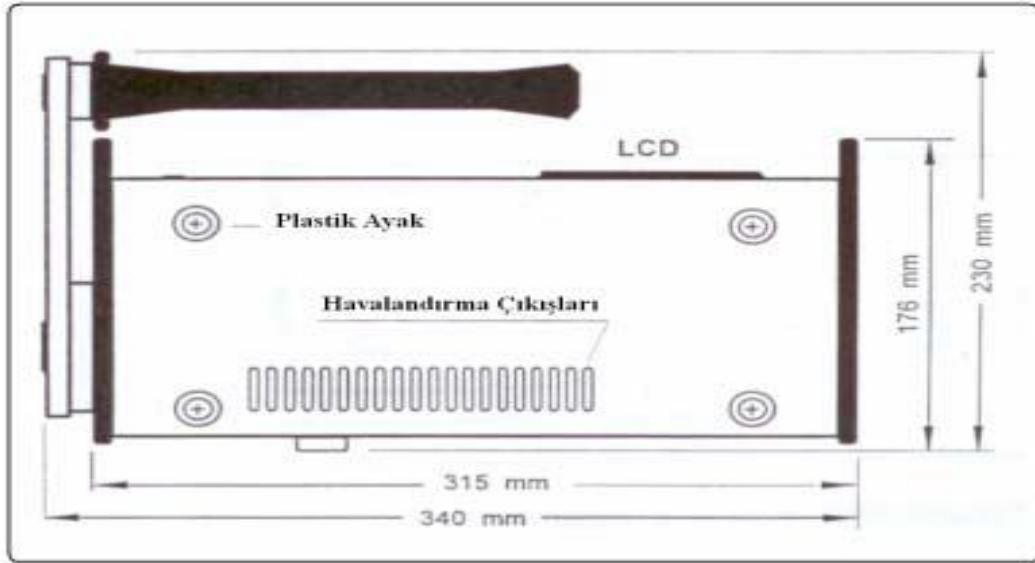
AlphaGUARD PQ 2000PRO Radon detektörünün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri dayanıklı bir alüminyum dış gövde içine yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekillerde AlphaGUARD cihazın farklı görünüşleri ile bazı ebatları verilmiştir.



Şekil 3.7 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları (Akyıldırım 2005).



Şekil 3.8 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları (Akyıldırım 2005).

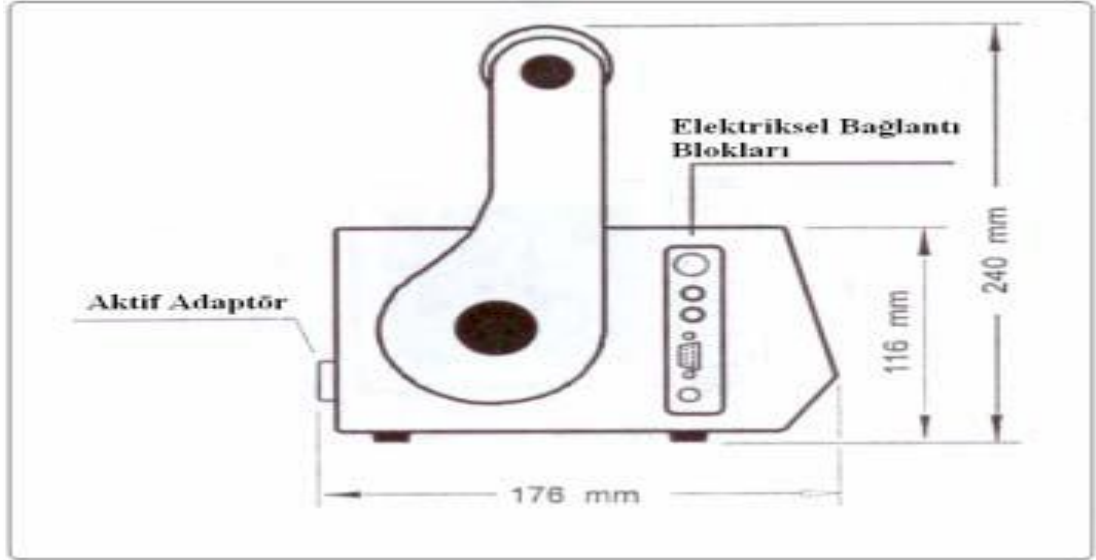


Şekil 3.9 AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları (Akyıldırım 2005).

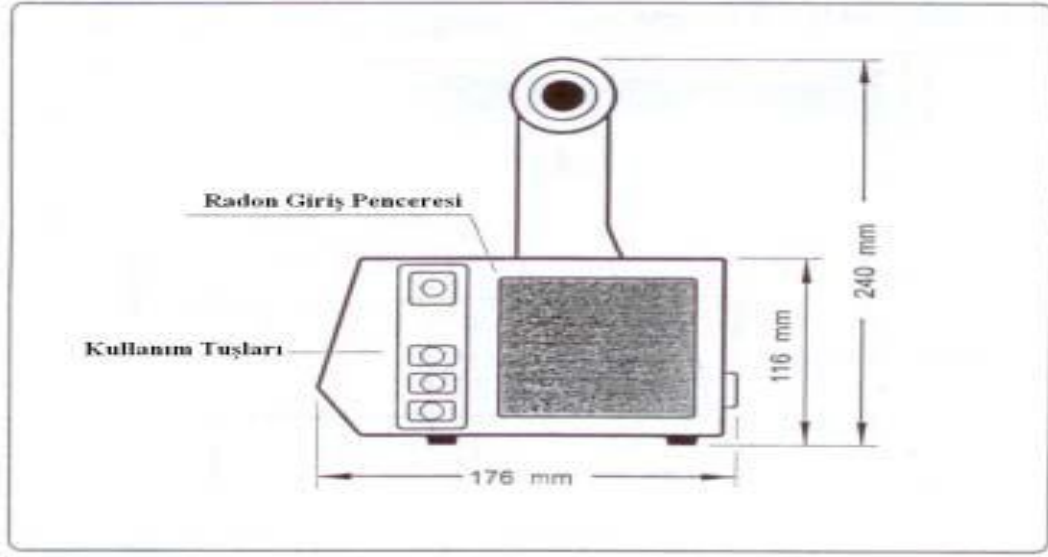
Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan detektör içerisine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 3.8). Bu da AlphaPUMP ile yapılır. Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma kanalları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde,

özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır (Şekil 3.9).

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensor girişi için bir adet MINI-DIS-85 soketi, 2 adet 4mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için 1 adet RS232 girişi ve 12V DC adaptör girişi bulunmaktadır (Şekil 3.10). Cihazın sağ tarafında korumayla kapatılmış Radon gazı giriş paneli ve AlphaGUARD menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10 AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları (Akyıldırım 2005).



Şekil 3.11 AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları (Akyıldırım 2005)

Radon giriş penceresinin filtre yüzey ile koruyucu grid arasında teknik açıdan gerekli ve tüm yönlerde açık olan bir hava aralığı bulunmaktadır. Bu demektir ki koruyucu gridi herhangi bir şeyle kaplamak Radon gazı girişi penceresini gaz sızdırmaz hale getirmez, yani iyonizasyon odasına yine Radon gazı girişi sağlanır (Akyıldırım 2005).

3.2.2 Dedektörün iç yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO Radon dedektörünün asıl önemli kısmı iç yapısıdır. Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan dedektör (atma iyonizasyon çemberi) ve dedektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal veri haline getiren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır.

^{222}Rn , ^{220}Rn (Toron) ve bunların yan ürünlerinin sürekli ölçülmesini amaçlayan birçok cihaz ve bunların kullandıkları çeşitli tiplerde dedektörler mevcuttur. Seçilecek dedektörler ölçümün amacına, hassasiyet sınırlarına, ölçümün yapılacağı yerlere ve buralardaki radyasyon yoğunluğuna ve tabii ki maliyete göre belirlenmektedir. Örneğin radyasyon yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde ölçü zamanı daha küçük bir

detektör seçilmesi gerekmektedir. Bir radyasyon detektörü için “ölü Zaman” detektörün algılayabileceği iki en yakın bozunma arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanabilir. Tersine daha az yoğunlukta radyasyon bulunan bir noktada bu kadar hassas bir detektöre, dolayısıyla daha karmaşık bir sisteme ihtiyaç duyulmayacaktır. Aşağıda AlphaGUARD benzeri yedi çeşit detektör sıralanmıştır (Akyıldırım 2005).

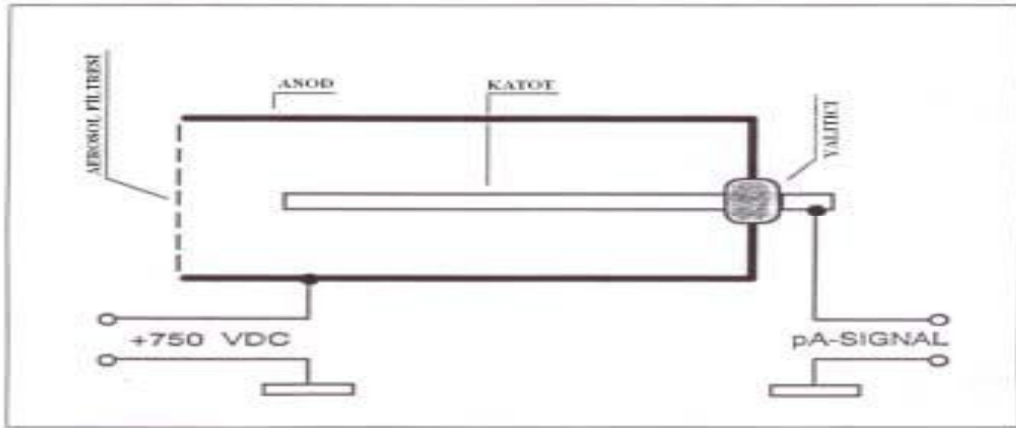
1. Silikon yüzeyli bariyer diyotu (Analog işletim modu)
2. Alfa duyarlı mikroçip
3. PMT detektörlü (Lucas Hücresi) ZnS(Ag) sintilasyon çemberi
4. İyonizasyon çemberi - Elektrometre DC entegral modlu
5. İyonizasyon çemberi - Tek kanal analiz edici toplam sayma modu
6. İyonizasyon çemberi - Multi kanal analizörlü 2D (iki boyutlu) alfa spektrumu
7. İyonizasyon çemberi - 3D (üç boyutlu) doğrusal sinyal işlemcisi (DSP)

Yukarıdaki detektör sistemleri kendi aralarında bazı fiziksel ilkeler bakımından karşılaştırıldığında DSP özelliğine sahip iyonizasyon çemberinin daha üstün niteliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırmadan anlaşıldığı üzere mevcut detektörler içerisinde en avantajlı olanı 3D DSP teknolojisine sahip iyonizasyon çemberidir. AlphaGUARD detektörü, tasarım optimizasyonu yapılmış silindirik atma iyonizasyon çemberine sahiptir.

Düzenli işletimde Radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada sadece Rn^{222} 'nin geçmesine izin verilirken yan ürünlerin iyonizasyon odasına girmesi engellenmektedir. Aynı zamanda filtre, çemberin iç kısmının toz zerreciklerinin birikmesiyle oluşacak kirlenme ve paslanmadan etkilenmemesini sağlamaktadır. Buna destek olarak cihaz içine dışarıdan miktarı kontrol edilebilen temiz hava girişi sağlayacak bir pompa (AlphaPUMP) da kullanılmaktadır.

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0,56 litrelik bir etkin hacme sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin

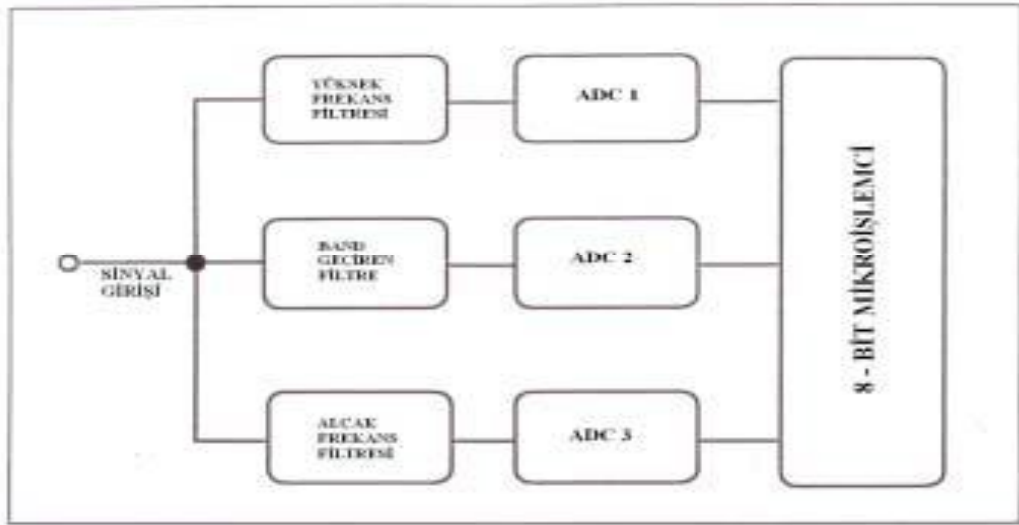
metal iç yüzeyleri 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek detektörün anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık detektörün yatay eksenine denebilecek eksen boyunca yatay olarak uzanan paslanmaz çelikten yapılmış çubuk ise 0 volt seviyesindedir ve katot vazifesini görür. Anot ve katot arasındaki yalıtım elektrot çubuğunun iyonizasyon çemberi içerisine girdiği noktadaki bir plastik parçayla sağlanır. Anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı sayesinde detektör etkin hacmi içerisindeki iyonizasyon sonucu ortaya çıkan iyonlardan katyonlar (- yüklü iyonlar) anoda, anyonlar (+ yüklü iyonlar) ise katoda hareket ederler. Böylece yüklerin hareketi sonucu devrede bir akım meydana gelir. Bu akım da AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi tarafından işlenerek anlamlı veriler haline getirilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.12) AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun atma iyonizasyon odasının şematik bir çizimi görülmektedir.



Şekil 3.12 AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi (Akyıldırım 2005).

Cihazın iyonizasyon odası içinde Radon ve Toron bulunduğu zaman detektör her ikisine de aynı algılama hassasiyetini göstermektedir. Detektör odasının dolması sürecinde Radon yoğunluğunda herhangi bir değişiklik olmamasına karşın Torun'un neredeyse tamamı bozunacaktır çünkü 10 dakikalık bir gecikmeye sahiptir. Pratikte AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Torun'a karşı hassaslığı Radon'a karşı hassaslığının %1.i ile %10.u arasındadır.

Cihazının iç yapısının ikinci temel bileşeni elektronik birimdir. Bu elektronik birim detektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen Radon verilerini alıp işlemekle sorumlu birimdir. Sayısal sinyal işleme birimi DSP, birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalına sahiptir. Her bir kanalın kendine ait analog-dijital çevirici devresi vardır. Böylece devreye detektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı özelliğine göre aynı anda analiz edilebilmektedir. DSP birimine ait blok diyagram Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13 AlphaGUARD’ ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı (Akyıldırım 2005).

Bir numaralı kanal AlphaGUARD PQ 2000PRO’nun spektroskopik kanalı olarak adlandırılır. Burada sadece sinyallerin atma derinliklerine göre değil, aynı zamanda atma şekillerine göre de bir sınıflandırmaktadır. Bu sinyal analizi sonucunda üç boyutlu bir görüntü elde edilir. DSP teknolojisine sahip olmayan iyonizasyon odalı detektörlerde yüksek seviyedeki Radon yoğunluklarında meydana gelen α olayları multiplere (üçlülere) ayrılma eğilimindedirler ve bu sinyalleri daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak AlphaGUARD PQ 2000PRO’da da detektör sisteminde kullanılan DSP teknolojisi bu durumu daha karmaşık bir matematiksel algoritma, çapraz korelasyon (cross-correlation) algoritması kullanarak meydana gelen gürültüyü seçerek Radon sinyalinden ayırt edebilmektedir. Elde edilen sinyal (primer sinyal) kısa zaman aralıklarında örneklenir ve orijinal sinyalin sayısal değerler

halinde örnekleri çıkarılarak AlphaGUARD elektronik devresinin son kısmı olan hızlı mikro kontrolör tarafından işlenir.

ADC1 yoluyla spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her α pikinden elde edilen atma genliği (= klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Detektör tarafından toplanan bu: bilgiler x eksenini α piki genliğini (= alfa enerjisini), y eksenini zaman birimi başına meydana gelen α bozunumu ve z eksenini de atma şekli olmak üzere üç eksenli bir spektrum halinde sunulabilir. ADC2 yani ikinci kanal sadece yüksek Radon seviyelerinde devreye girmektedir. Kanalin girişindeki bant geçiren filtre devresi doğru boyutlandırıldığında gürültünün genliği çemberin toplam iyonizasyon akımının kareköküyle doğru orantılı olarak değişmektedir ve bu bağıntı kullanılarak piko amper seviyesindeki iyonizasyon akımı kesin olarak ölçülebilmektedir. ADC3'lü üçüncü kanal ise klasik bir DC integratörlü akım ölçümü gerçekleştiren devredir.

Bu üç sinyal karakteristiğinin temelinde altı değişik matematiksel algoritma yatmaktadır. Tüm işlemler sonucunda optimize edilmiş yoğunluk prosedürü vasıtasıyla gerçek Radon yoğunluğu belirlenmektedir. Her bir Radon değeri yaklaşık olarak 50 milyon matematiksel işlemin sonucunda elde edilir ve bu işlemler için AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun ihtiyaç duyduğu akım ise sadece 3 mA'dır.

3.3 AlphaGUARD PQ 2000 PRO'nun Teknik Özellikleri

AlphaGUARD PQ 2000PRO, daha önce de belirtildiği gibi ^{222}Rn kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılır. Bu radyasyon maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan detektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihazdır. Detektör toplam hacmi 0,62 litredir ancak bununun 0,56 litrelik kısmı etkin detektör olarak kullanılmaktadır. Bu detektör silindirik olup besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 voltur. Ayrıca cihazın dâhili bataryası sayesinde 10 gün sürekli veri alabilmektedir.

Detektör hassasiyeti oldukça düşüktür. Hata payı 20 Bq/m^3 'te 1 CPM ya da 100 Bq/m^3 'te 4,5 CPM olarak verilmektedir. ^{222}Rn yoğunluğu ölçüm aralığı ise oldukça geniştir. Alman veriler $2 \text{ Bq/m}^3 - 2 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ aralığındadır. Bu geniş menzile rağmen sistemin kendisinden gelen %3 gibi bir doğrusallık hata payı bulunmaktadır.

Cihaz amaca ve zaman seçimine bağlı olarak ölçümleri iki şekilde yapabilmektedir. Difüzyon modu ve akış modu. Uzun süreli ve devamlı ölçümlerde (cihaz menzili 6 aydır) difüzyon modu kullanılır. Bu modda cihaz detektörü 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydeder. Radon akış modunda ise veri alma aralıkları 1 dakika veya 10 dakika olarak ayarlanabilir. Bu mod daha çok kısa süreli ölçümlerde çok sayıda veri noktası elde etmek için seçilir.

Çizelge 3.1 AlphaGUARD monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikler (GENRICH 2006).

Toplam ağırlık	4,5 kg
Rn detektör tipi	İyonizasyon odası
Detektör gerilimi	DC 750 v
İşletim modu	Akım modu ve 3D α spektroskopisi
Toplam detektör hacmi	0,62 litre
Etkin detektör hacmi	0,56 litre
Detektör dolum mekanizması	Hızlı pasif difüzyon veya aktif adaptörle otomatik dolma
Detektör sinyal işleme birimi	3 ayrı ADC kanallı hızlı sinyal işleme
Spektral sinyal üretme birimi	DSP(Digital Signal Processing), on-line çapraz korelasyon algoritması
Detektör hassaslığı	1 CPM/20 Bq/m ³
²²² Rn ölçüm sınırları	2 Bq/m ³
Alt sınırÜst sınır	2x10 ⁶ Bq/m ³
LCD ekran çözünürlüğü	1 Bq/m ³
Sistem doğrusallık hatası	< %3
²²² Rn kalibrasyon hatası	± % 3
Ölçüm sıklıkları Difüzyon modu	10 veya 60 dak
Akış modu	1 veya 10 dak
Veri depolama kapasitesi	1 dak döngüyle 3 gün 10 dak döngüyle 1 ay 60 dak döngüyle 6 ay
Dâhili batarya kapasitesi	10 gün
İklim parametreler Sıcaklı	-10°C - +50°C
Atmosfer basıncı Nem	700 mbar - 1100 mbar 0 %rH - 95 %rH

AlphaGUARD PQ 2000PRO ^{222}Rn yanında yine bir Radon izotopu olan Toron (^{220}Rn) yoğunluklarını da aynı birimle ölçmektedir. Ayrıca üç farklı iklimsel parametre, sıcaklık, nemlilik ve basınç da aynı anda ölçülebilmektedir.

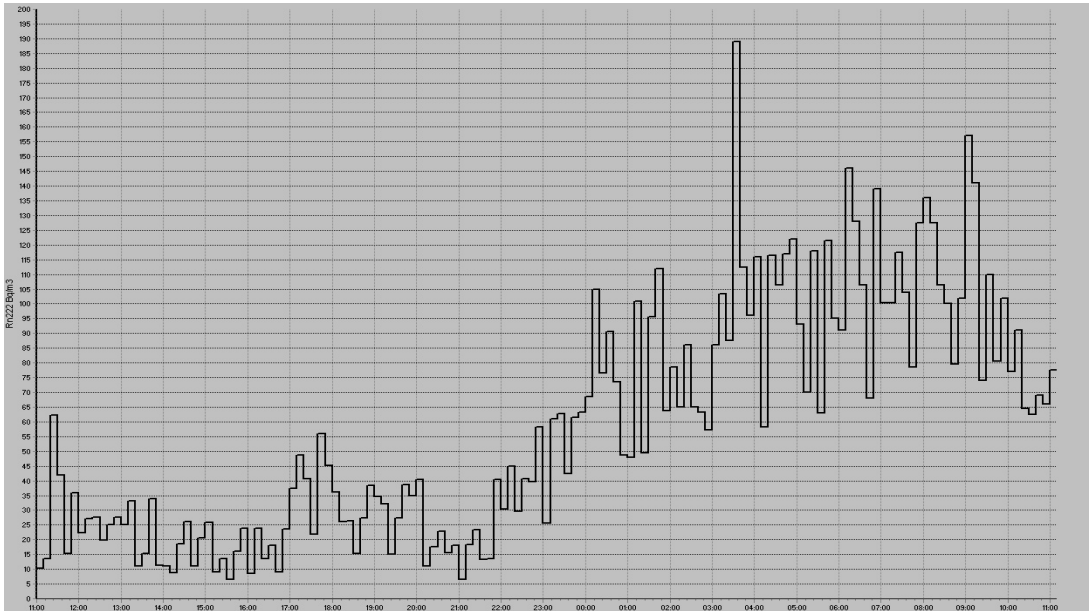
Çizelge 3.1’de AlphaGUARD PQ 2000PRO radon monitörüne ait ayrıntılı teknik veriler gösterilmiştir (Akyıldırım 2005).

4. BULGULAR

Kastamonu ili sınırları içinde ilk ve orta öğretimlerde radon gazı yoğunluğu ölçümlerine ait veriler grafikler halinde verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için elde edilmiş olan veri seti beş farklı parametreden oluşmaktadır. Bunlar radon konsantrasyon ölçümü, ölçüm hatası, sıcaklık, atmosfer basıncı ve bağıl nemdir. Radon konsantrasyonu ve ölçüm hatası değerleri aynı grafikte verilmiştir.

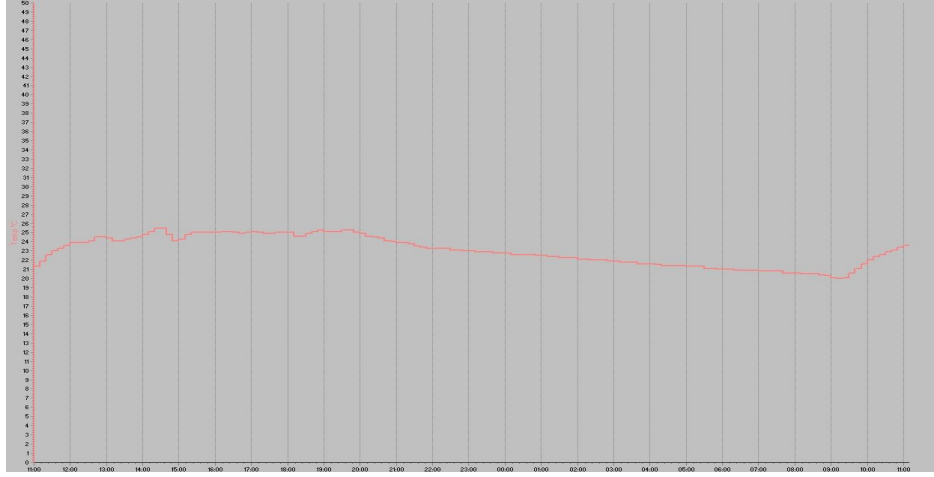
4.1 AlphaGUARD Dedektörü İle Yapılan Ölçümler

Şekil 4.1’de ölçümler sonunda AlphaGUARD için geliştirilmiş olan AlphaEXPERT yazılımında elde edilen grafiklerden bir örnek verilmiştir. Grafikte x eksenini zamanı saat cinsinden, y eksenini ise ^{222}Rn konsantrasyonunu Bq/m^3 biriminde göstermektedir.



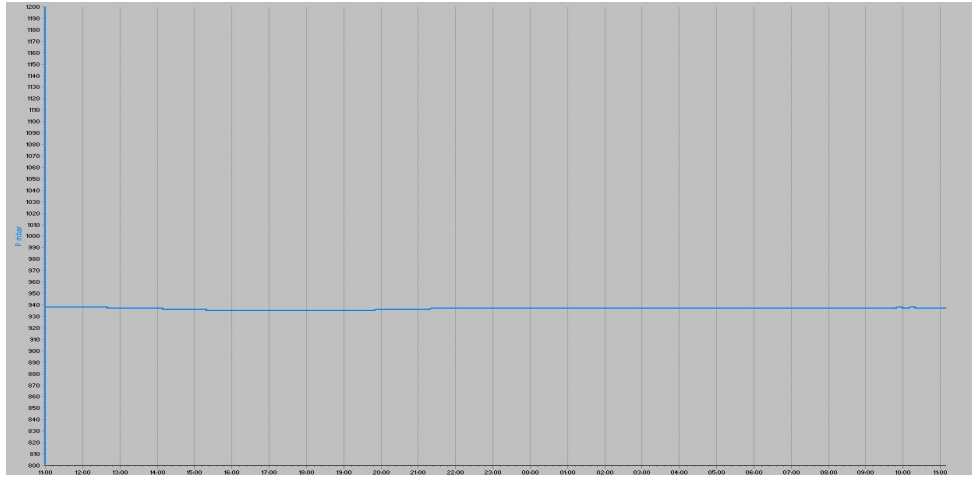
Şekil 4.1 ^{222}Rn konsantrasyonu ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.2’de ölçümler sırasında elde edilen sıcaklık verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman, y eksenini ise santigrad derece cinsinden sıcaklıktır.



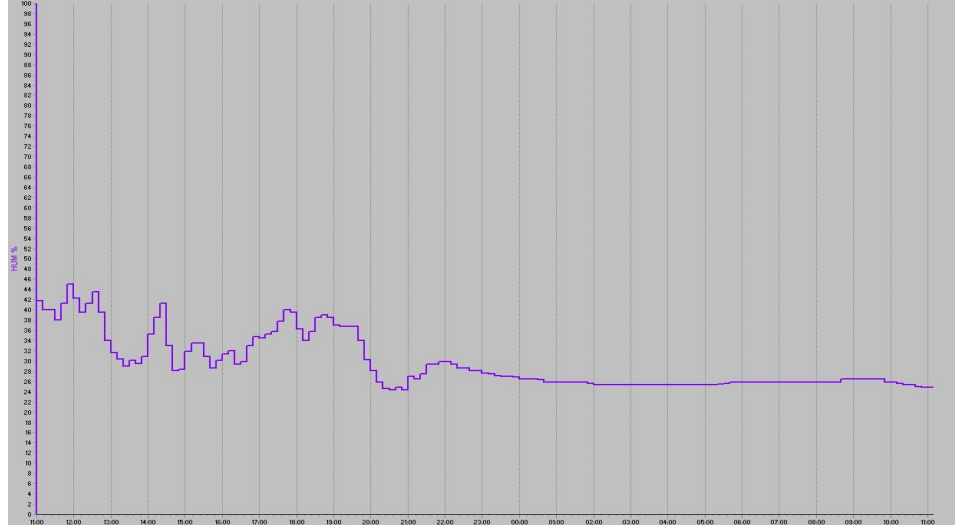
Şekil 4.2 Sıcaklık ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.3'te ölçümler sırasında elde edilen atmosferik basınç verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman, y eksenini ise mbar olarak verilmiştir.



Şekil 4.3 Basınç ölçümü örnek grafiği.

Şekil 4.4'te ölçümler sırasında elde edilen bağıl nem verilerinin zamana karşı grafiklerinden bir örnek görülmektedir. x eksenini saat cinsinden zaman, y eksenini ise % rH olarak verilmiştir.



Şekil 4.4 Bağlı nem ölçümü örnek grafiği.

Tez çalışmasında ölçümlerin yapılacağı okullar tayin edilirken binaların birbirine olan uzaklığı, eski ve yeni yapılar olması tercih edilmiştir. Ölçüm yapılan yerlerin zemin kat, bodrum katı, kütüphane ve laboratuvar ölçüm noktaları olarak belirlenmiştir. Buralarda ortamın havalandırılma durumu göz önünde tutulmuştur. Böylece herhangi bir şekilde havalandırılmayan veya uzun süre havalandırılmayan ortamlar ile havalandırması yapılanlar arasındaki farkın aynı veri seti üzerinde görülmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışma esnasında ölçümler gün aşırı olacak şekilde alınmıştır. Böylece gece-gündüz arasındaki yoğunluk farkının gözlenmesi sağlanmıştır.

4.2 AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Havadaki Radon Ölçümü

1. Havadaki radon konsantrasyonu ölçümü için detektör ile birlikte ek bir donanıma ihtiyaç yoktur.
2. AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu '10 min DIFFUSION' olarak seçilir (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya AlphaEXPERT yazılımı ile yapılabilir).
3. Detektör çalışma ortamlarında yerden yaklaşık olarak 1,5-2 m yüksekte konumlandırılır.
4. AlphaGUARD radon detektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı detektör iyonlaşma odasına çeker.

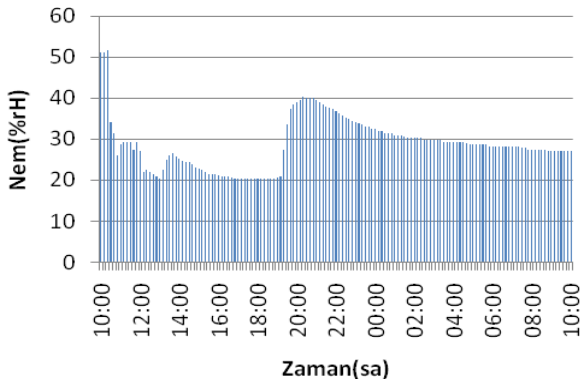
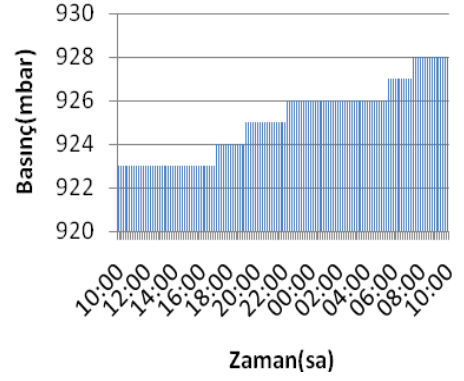
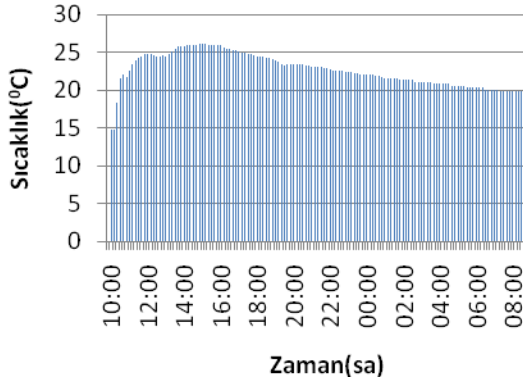
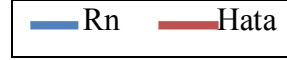
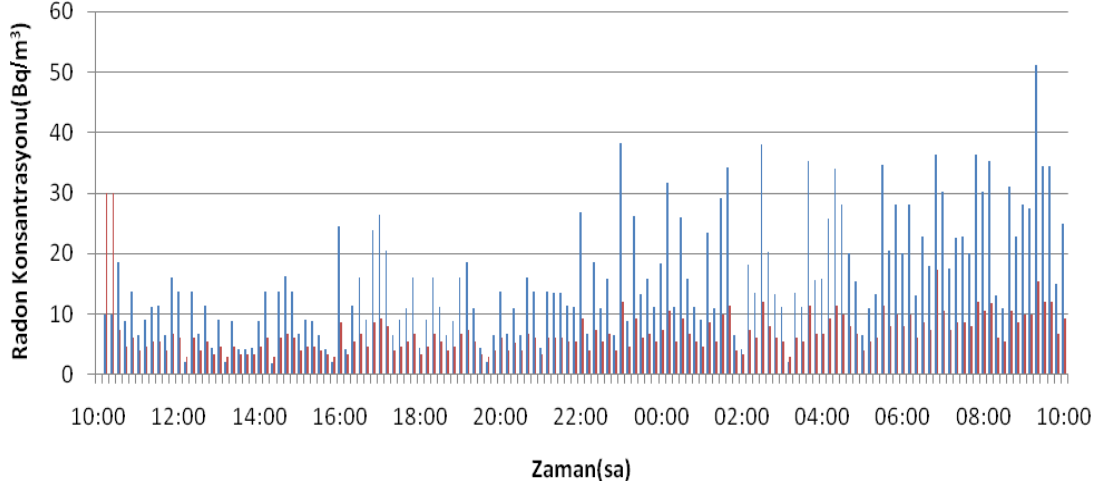
5. Her çalışma alanı için 24 saat boyunca ölçüm yapılmış; gece ve gündüz arasındaki geçişler ile havalandırmanın ortamdaki radon konsantrasyonuna etkisi gözlenmeye çalışılmıştır.
6. Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (AlphaEXPERT) ile birlikte çalışır.

Ölçüm yapılan ilk ve orta öğretimlerin ölçüm tarihleri ve ölçümün yapıldığı zaman aralığı çizelge, Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kastamonu ili sınırları içinde belirlenmiş ilk ve orta öğretimlerde radon konsantrasyonu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Radon ölçümü yapılan okullar, ölçüm tarihi, ölçüm saati ve ölçülen ortalama radon aktivitesi.

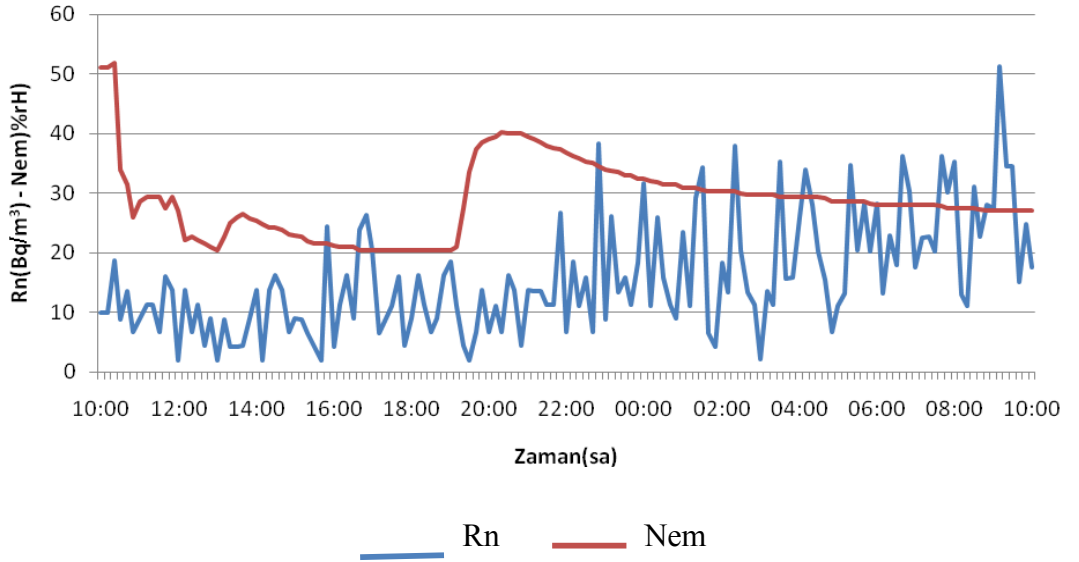
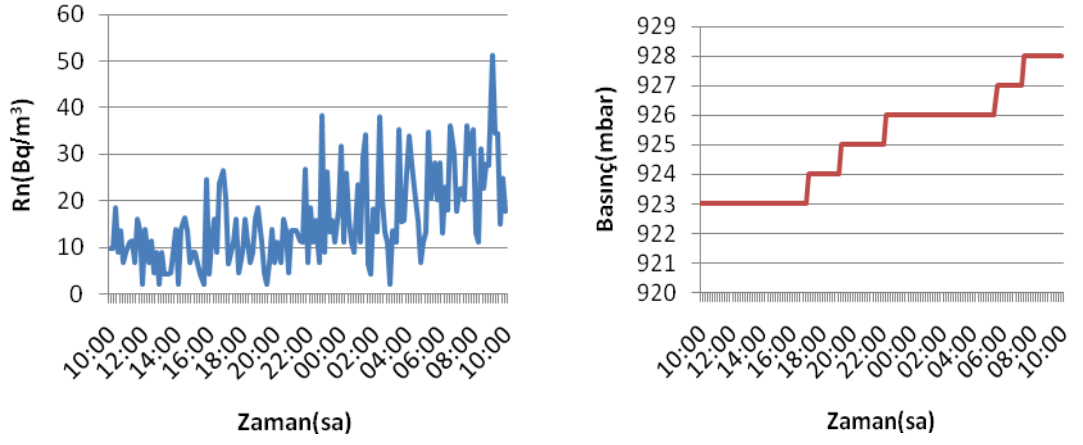
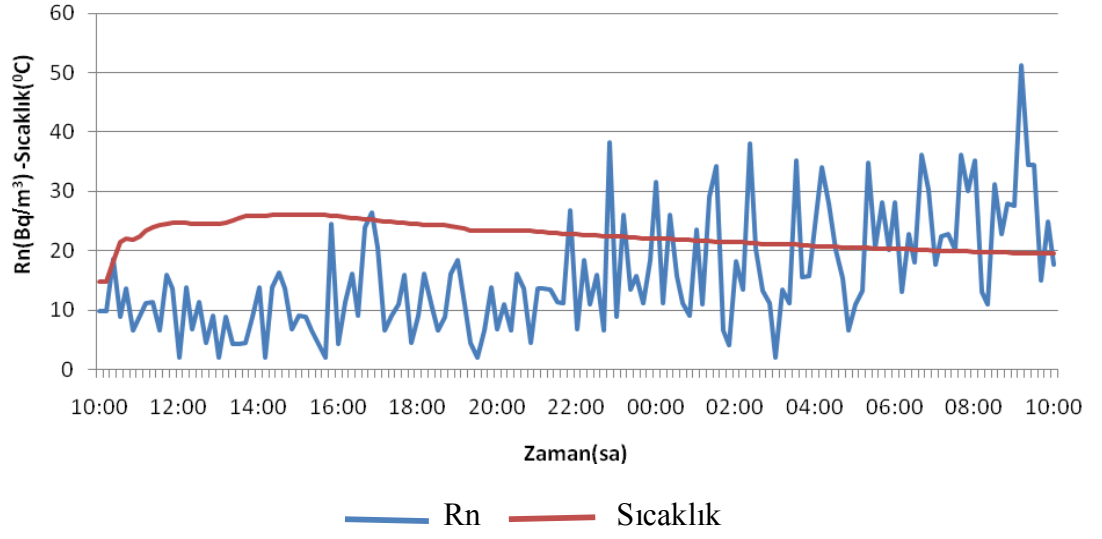
Ölçüm Yapıldığı Okul	Ölçümün Yapıldığı				Ortalama Radon Aktivitesi
	Başlangıç Tarihi	Başlangıç Saati	Bitiş Tarihi	Bitiş Saati	
Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulu	11/03/2011 Cuma	10:00	12/03/2011 Cumartesi	10:00	15,95 ± 6,68
Kız Meslek Lisesi	12/03/2011 Cumartesi	12:00	13/03/2011 Pazar	12:00	23,46 ± 8,76
Gazi Paşa İlköğretim Okulu	14/03/2011 Pazartesi	09:00	15/03/2011 Salı	09:00	58,98 ± 19,77
Endüstri Meslek Lisesi	15/03/2011 Salı	10:00	16/03/2011 Çarşamba	10:00	33,76 ± 11,86
Ali Fuat Darendede İlköğretim Okulu	16/03/2011 Çarşamba	11:00	17/03/2011 Perşembe	11:00	11,87 ± 5,53
Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu	17/03/2011 Perşembe	12:00	18/03/2011 Cuma	12:00	36,94 ± 12,85
İsfendiyarbay İlköğretim Okulu	18/03/2011 Cuma	13:00	19/03/2011 Cumartesi	13:00	18,03 ± 7,24

4.2.1 Kastamonu Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulunda Alınan Ölçümler



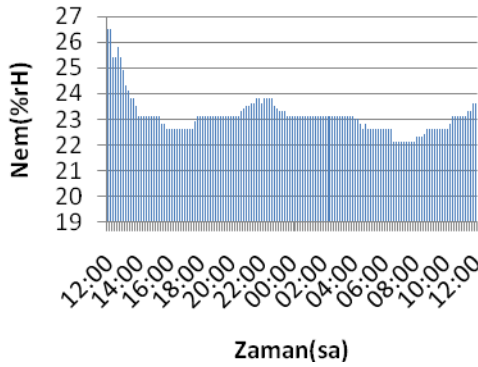
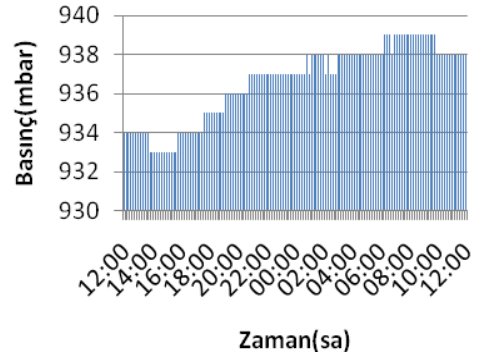
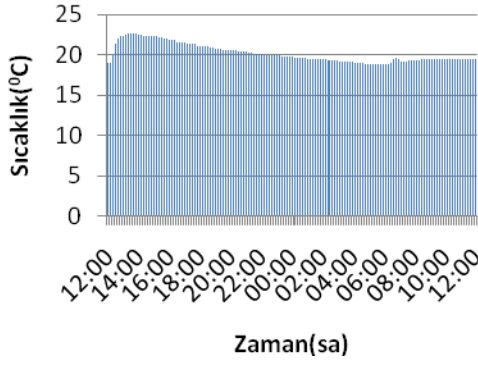
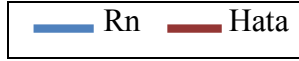
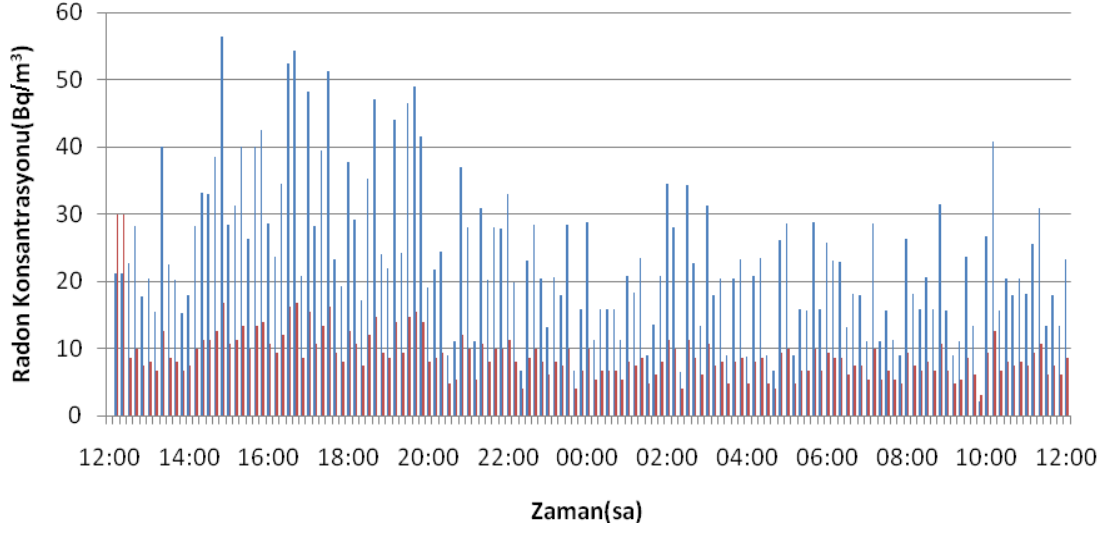
Parametre	Ortalama
Rn(Bq/m ³)	15,95
Hata	6,68
Sıcaklık(°C)	22,6
Basınç(mbar)	925
Nem(%rH)	28,5

Şekil.4.5 Kastamonu Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulunda alınan ölçümler.



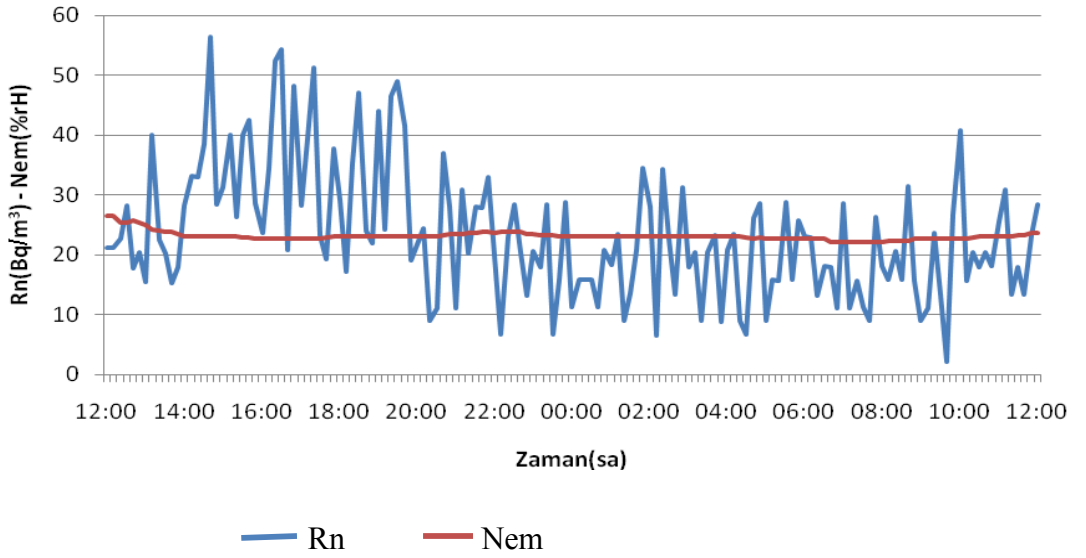
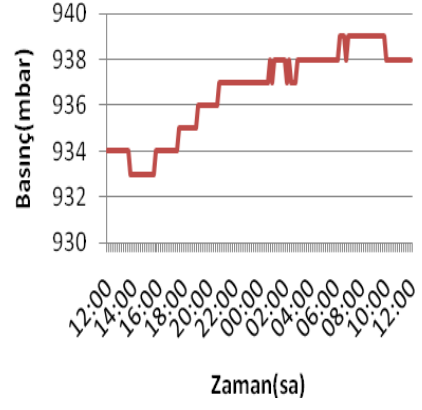
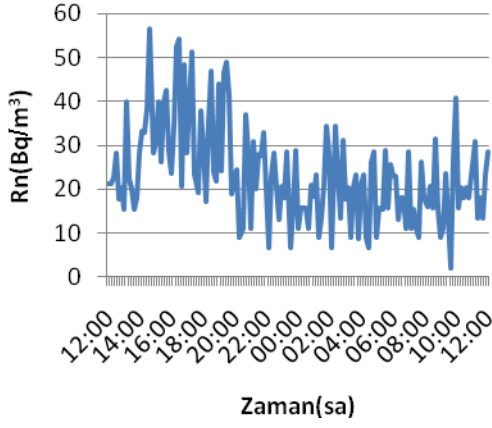
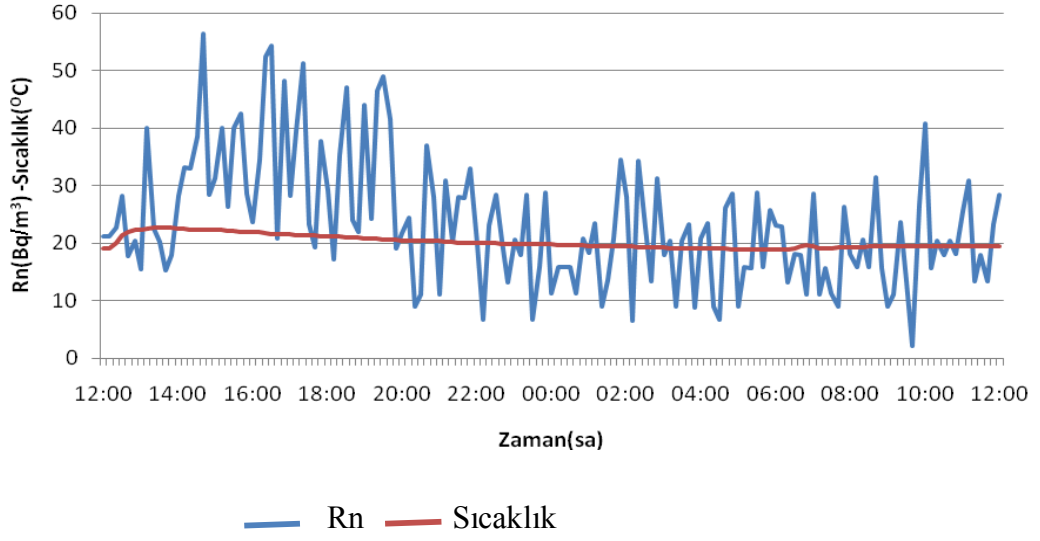
Şekil 4.6 Kastamonu Vali Aydın Arslan İlköğretim Okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

4.2.2 Kastamonu Kız Meslek Lisesinde Alınan Ölçümler



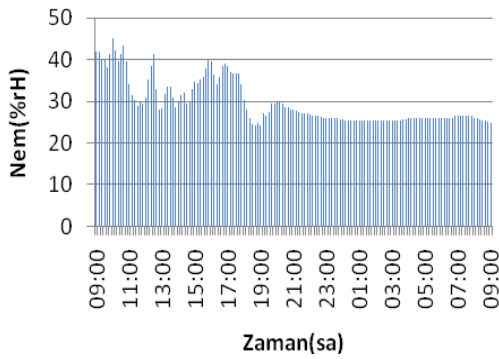
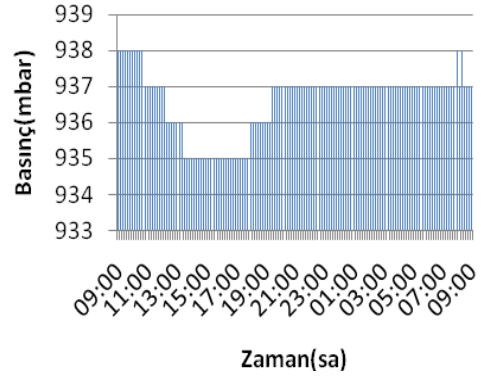
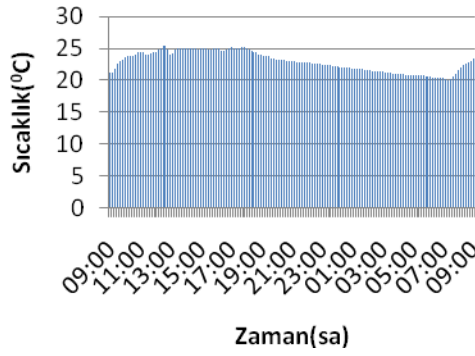
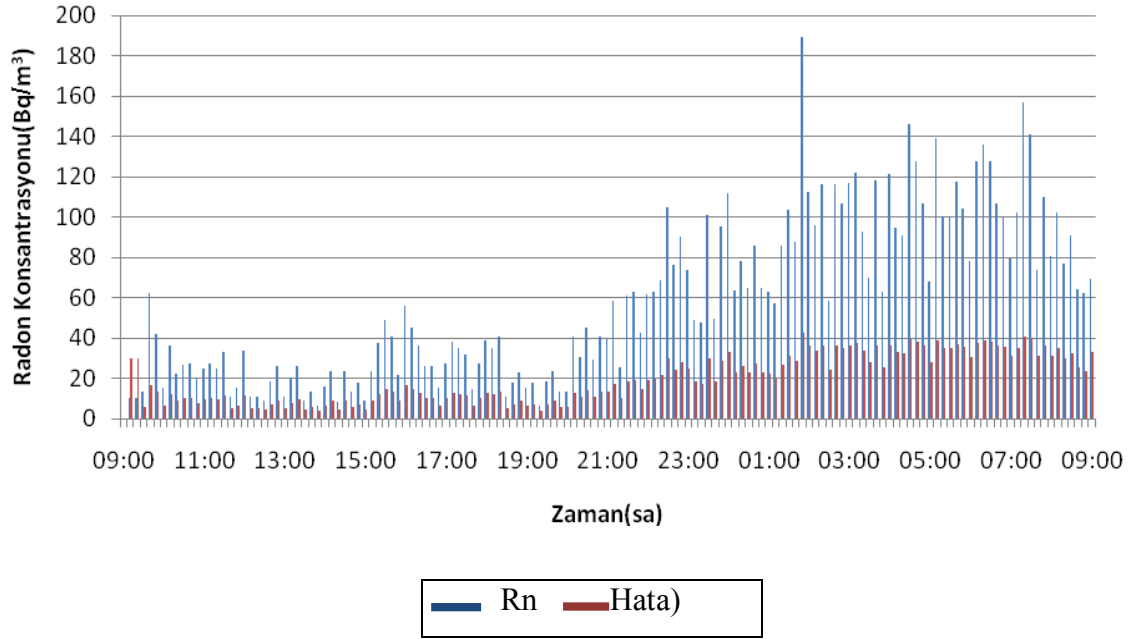
Parametre	Ortalama
Rn(Bq/m ³)	23,46
Hata	8,76
Sıcaklık(°C)	20,2
Basınç(mbar)	937
Nem(%rH)	23,1

Şekil.4.7 Kastamonu Kız Meslek Lisesinde alınan ölçümler



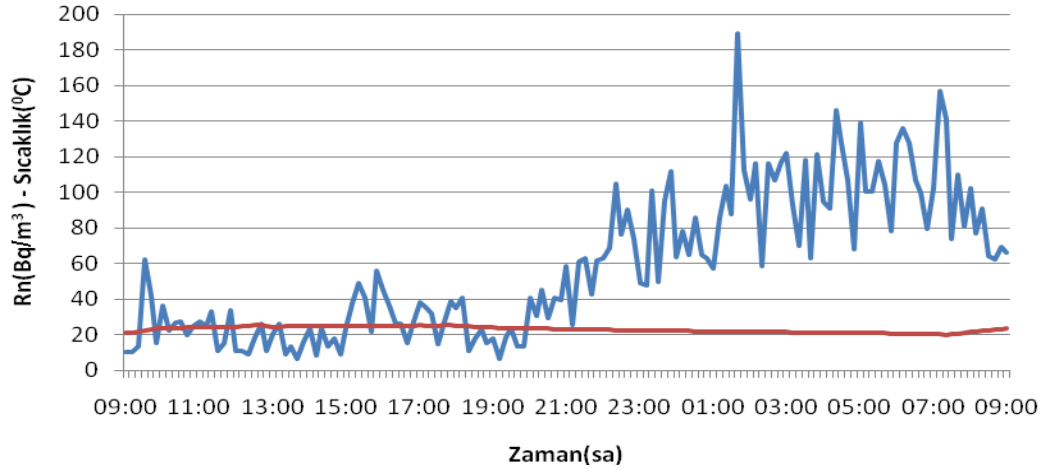
Şekil 4.8 Kastamonu Kız Meslek Lisesi radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri

4.2.3 Kastamonu Gazi Paşa İlköğretimi Okulunda Alınan Ölçümler

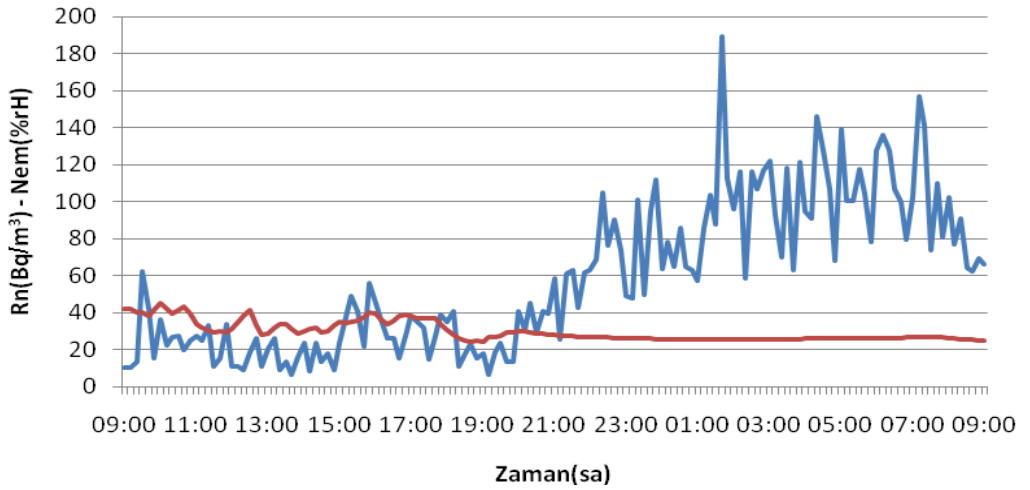
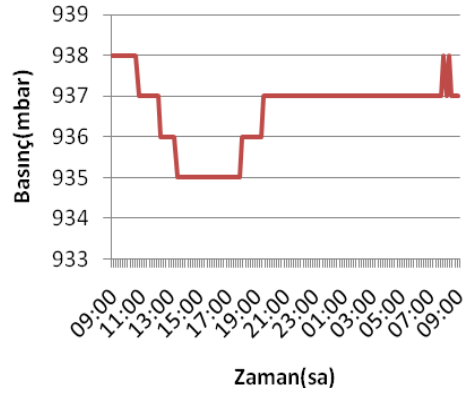
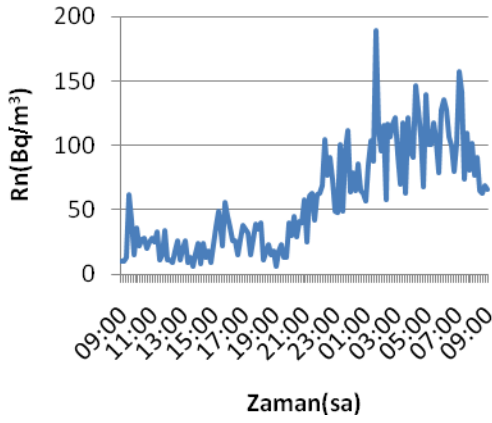


Parametre	Ortalama
Rn(Bq/m ³)	58,98
Hata	19,77
Sıcaklık(°C)	23
Basınç(mbar)	937
Nem(%rH)	29,5

Şekil.4.9 Kastamonu Gazi Paşa İlköğretimi Okulunda alınan ölçümler.



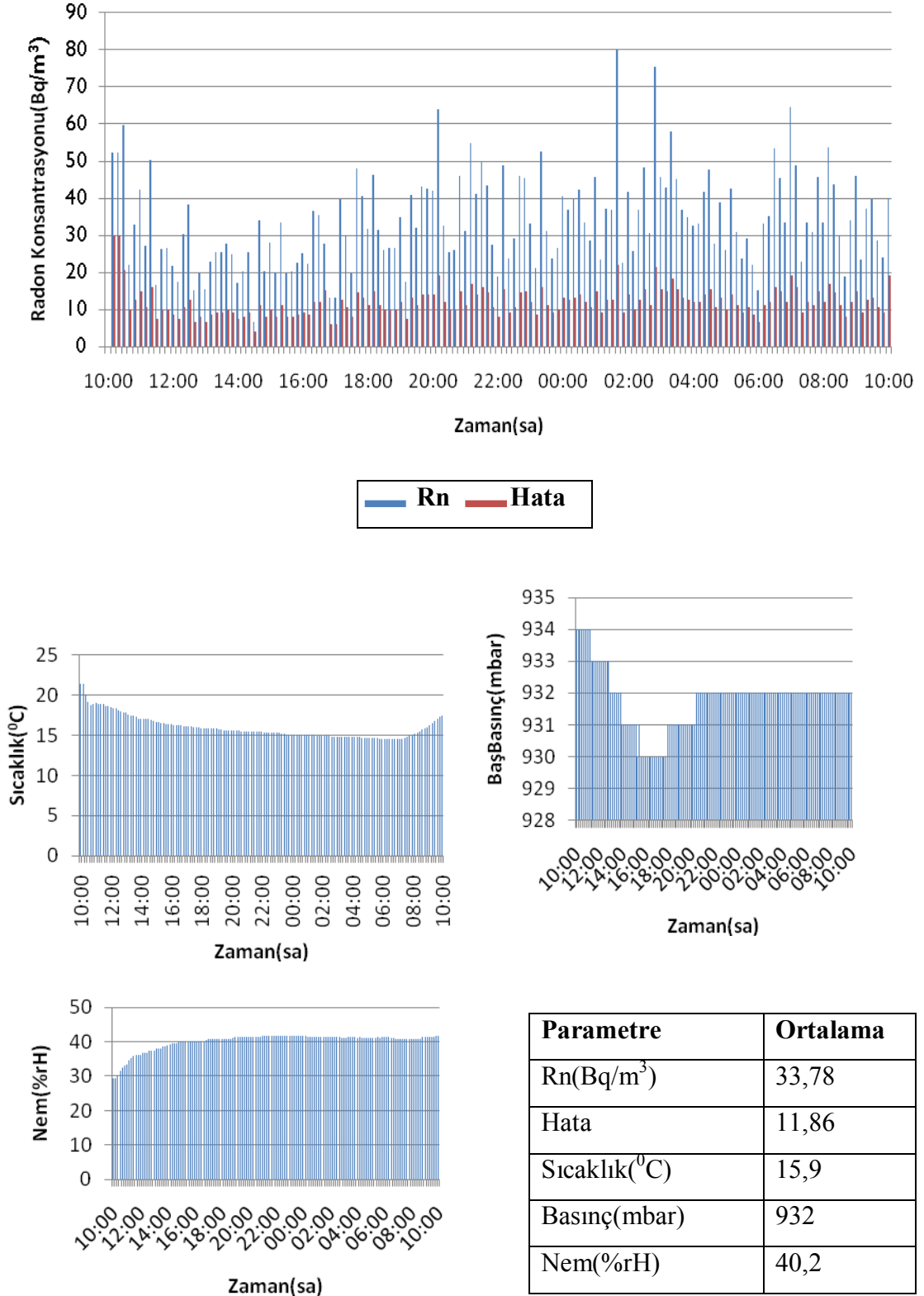
— Rn — Sıcaklık



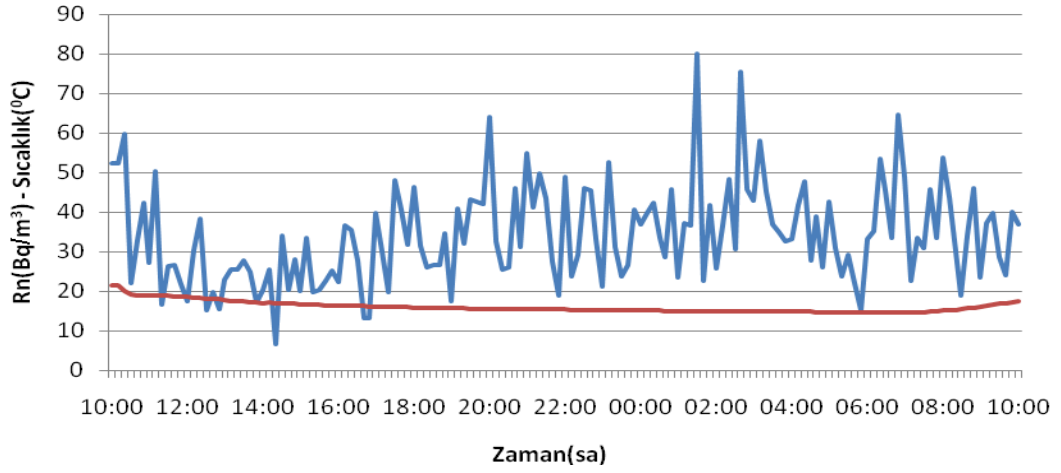
— Rn — Nem

Şekil 4.10 Kastamonu Gazi Paşa İlköğretim Okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

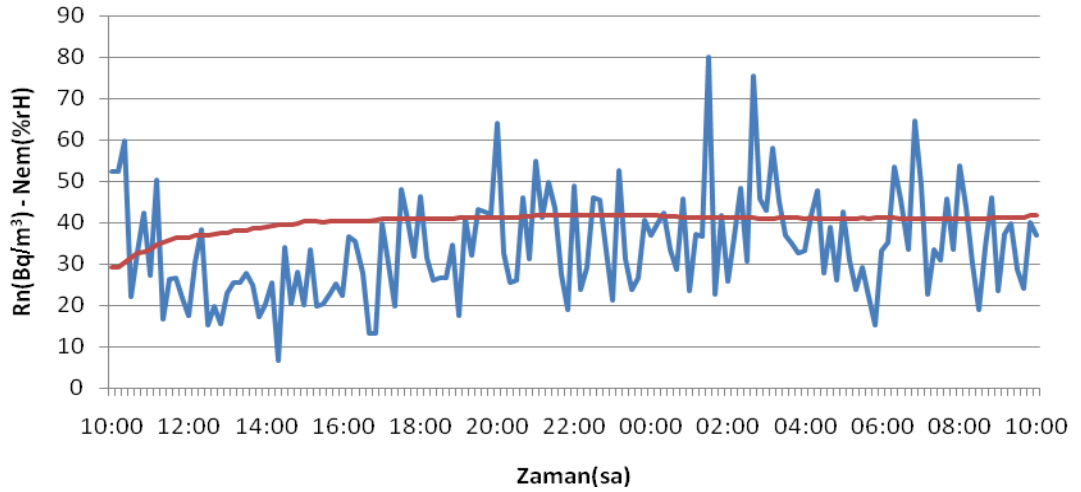
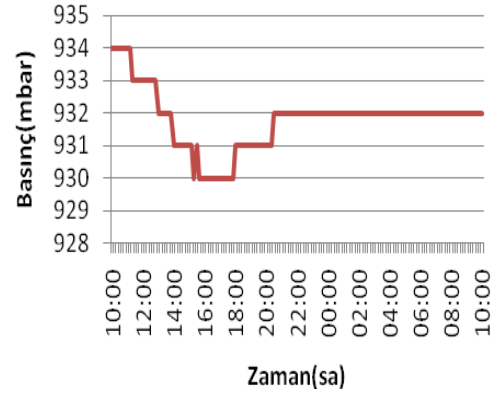
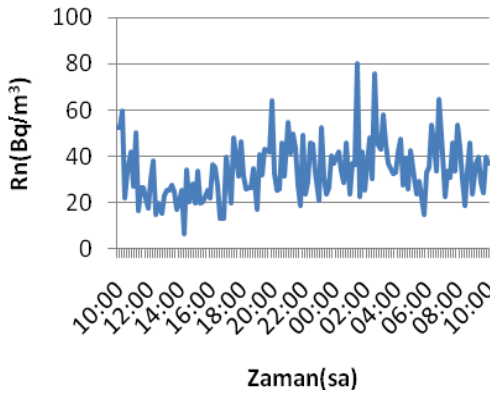
4.2.4 Kastamonu Endüstri Meslek Lisesinde Alınan Ölçümler



Şekil 4.11 Kastamonu Endüstri Meslek Lisesinde alınan ölçümler.



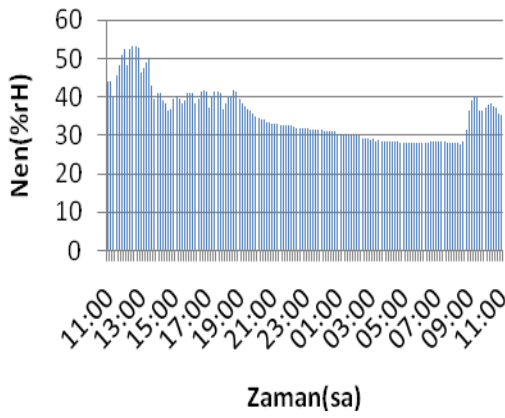
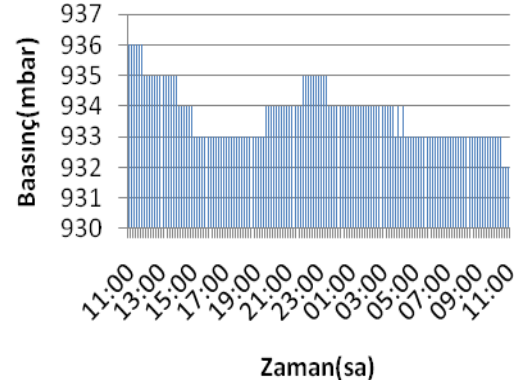
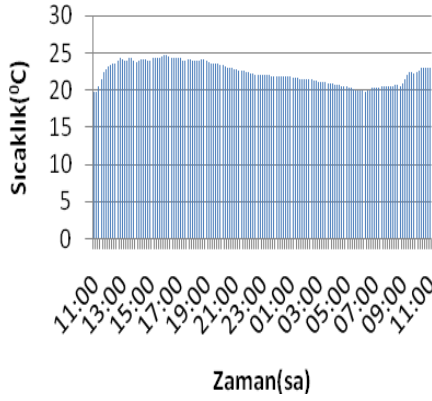
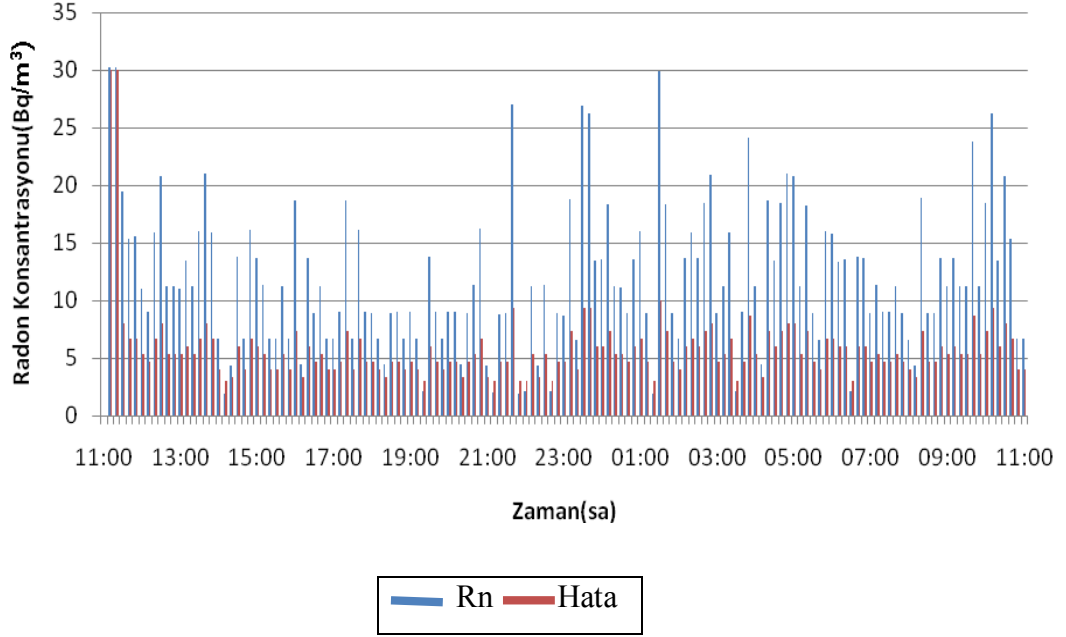
— Rn — Sıcaklık



— Rn — Nem

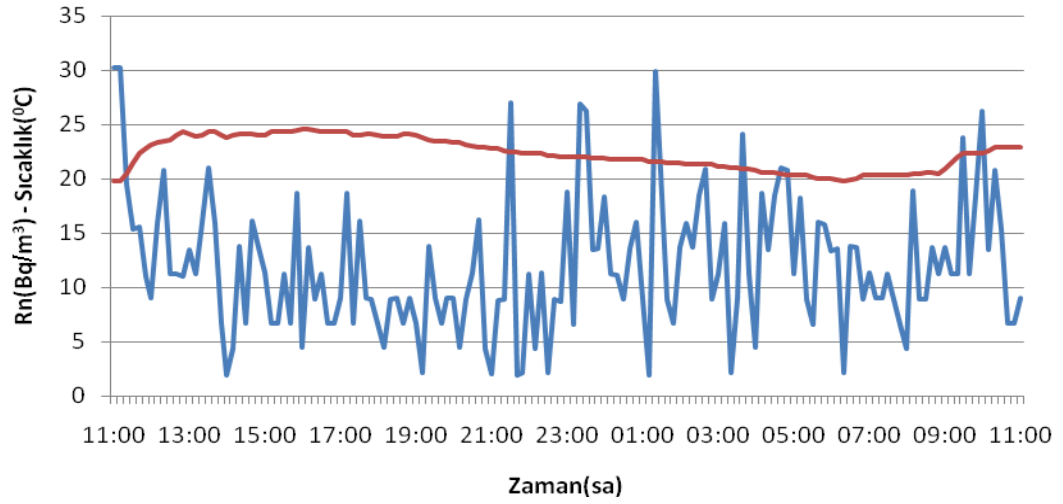
Şekil 4.12 Kastamonu Endüstri Meslek radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

4.2.5 Kastamonu Ali Fuat Darendede İlköğretim Okulunda Alınan Ölçümler

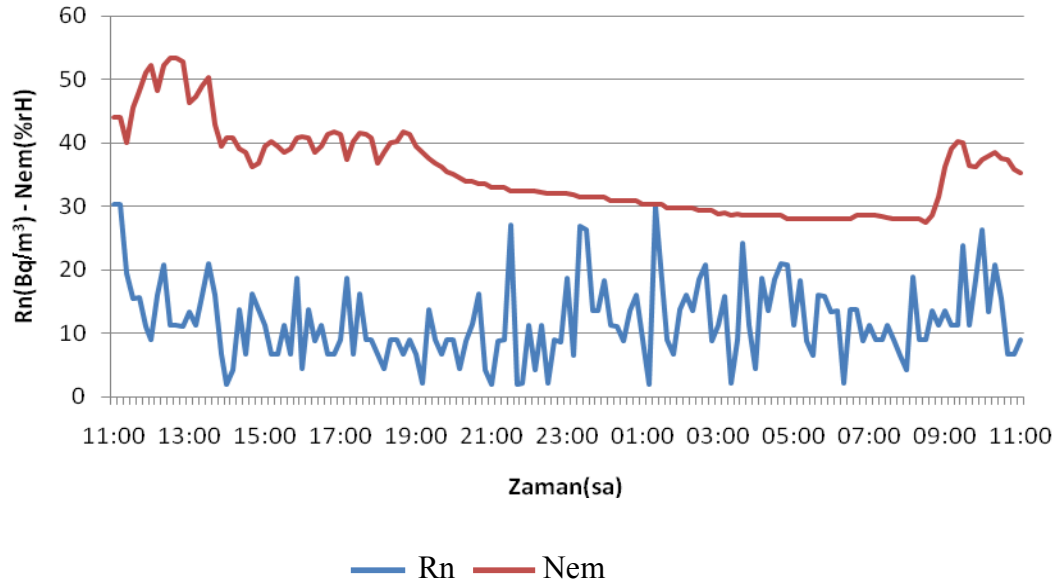
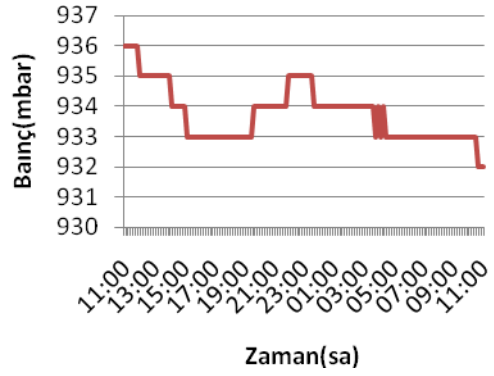
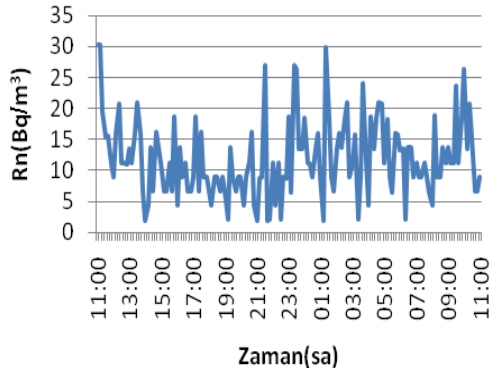


Parametre	Ortalama
Rn(Bq/m ³)	11,87
Hata	5,53
Sıcaklık(°C)	22,3
Basınç(mbar)	934
Nem(%rH)	35,1

Şekil 4.13 Kastamonu Ali Fuat Darendede İlköğretim Okulunda alınan ölçümleri.



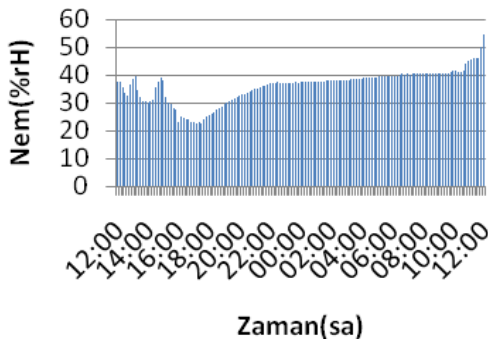
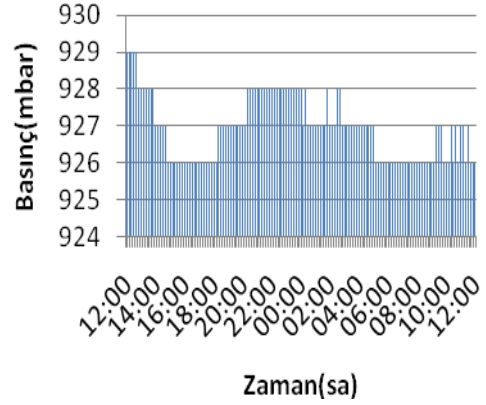
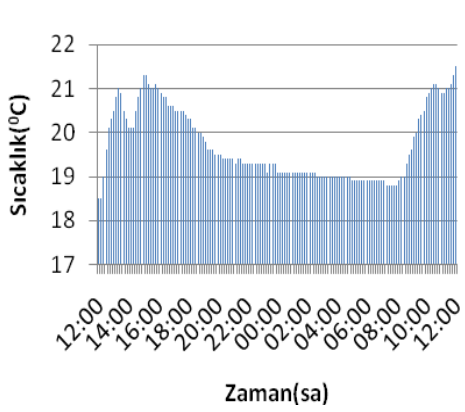
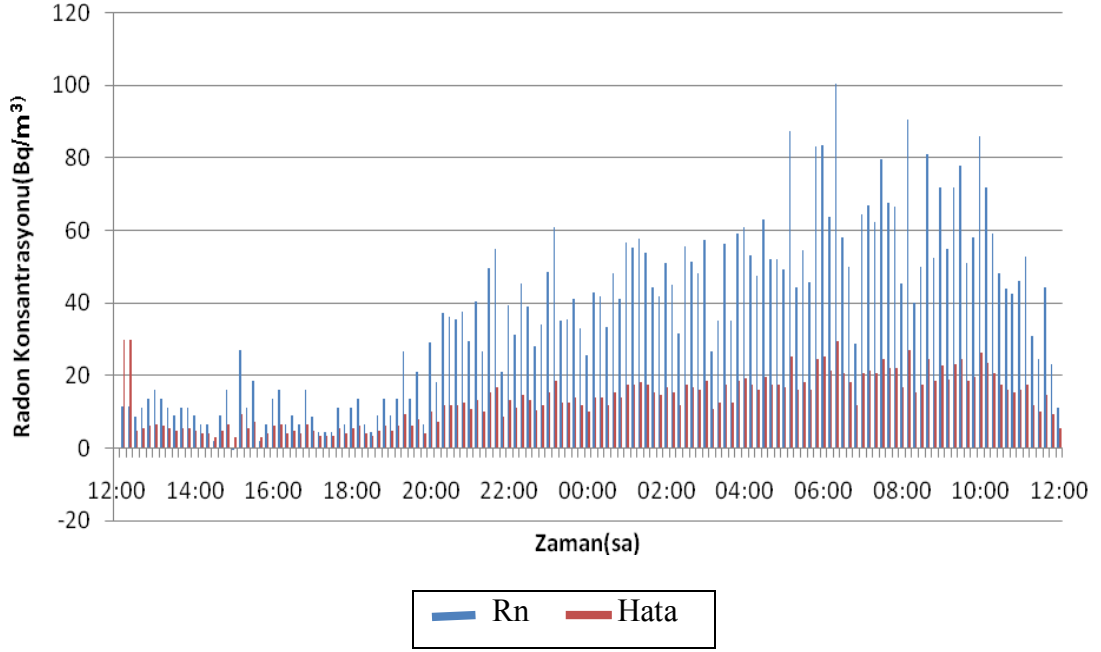
— Rn — Sıcaklık



— Rn — Nem

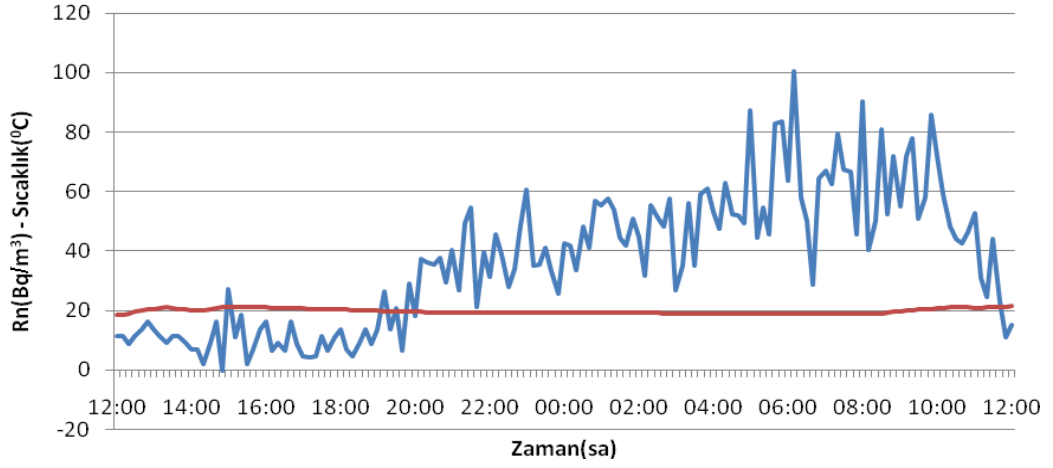
Şekil 4.14 Ali Fuat Darend e İlköğretim Okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

4.2.6 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulunda Alınan Ölçümler

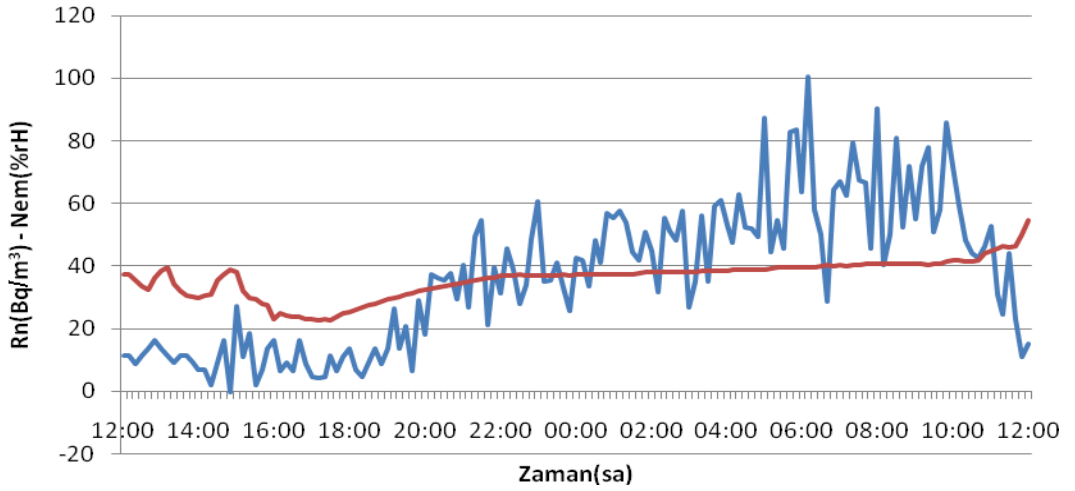
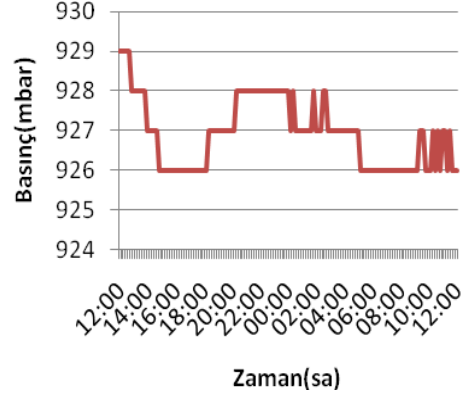
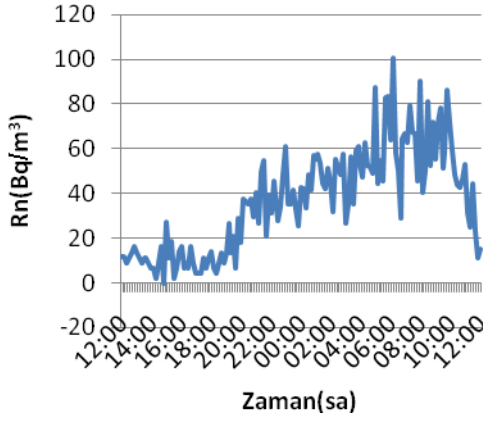


Parametre	Ortalama
Rn222(Bq/m ³)	36,94
Hata	12,85
Sıcaklık(°C)	19,7
Basınç(mbar)	937
Nem(%rH)	36,1

Şekil 4.15 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulunda alınan ölçümler



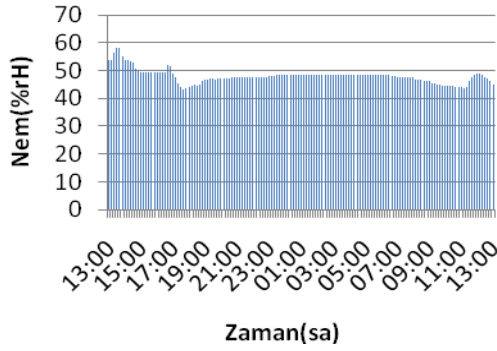
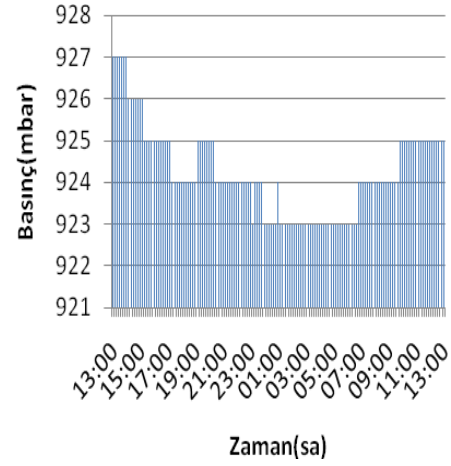
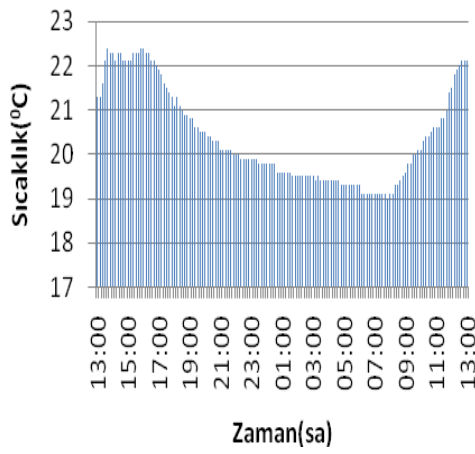
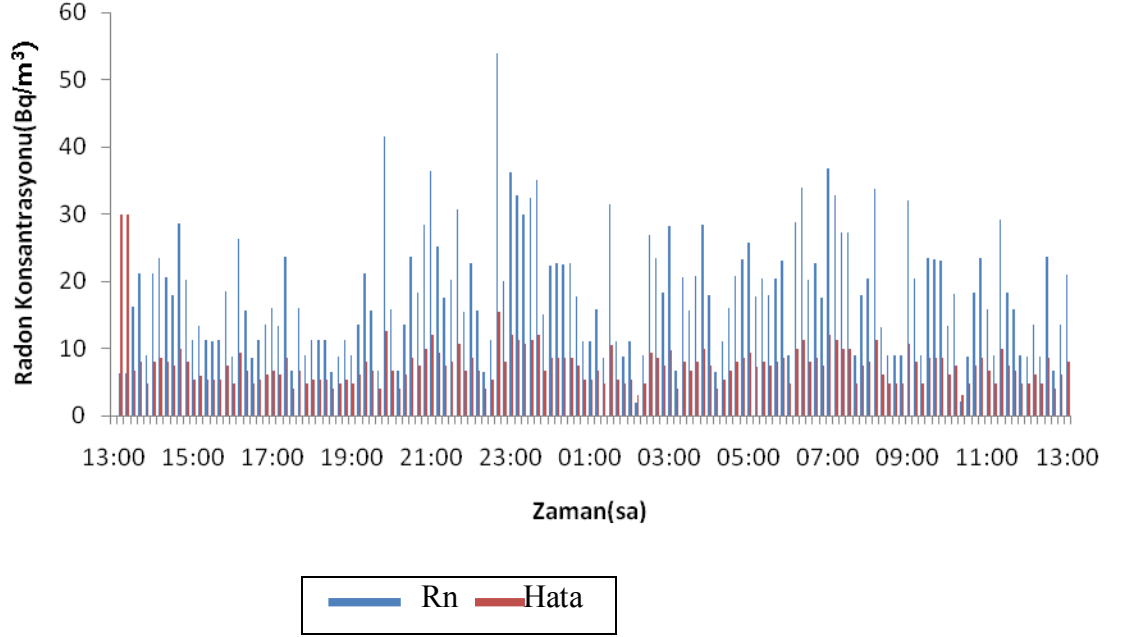
— Rn — Sıcaklık



— Rn — Nem

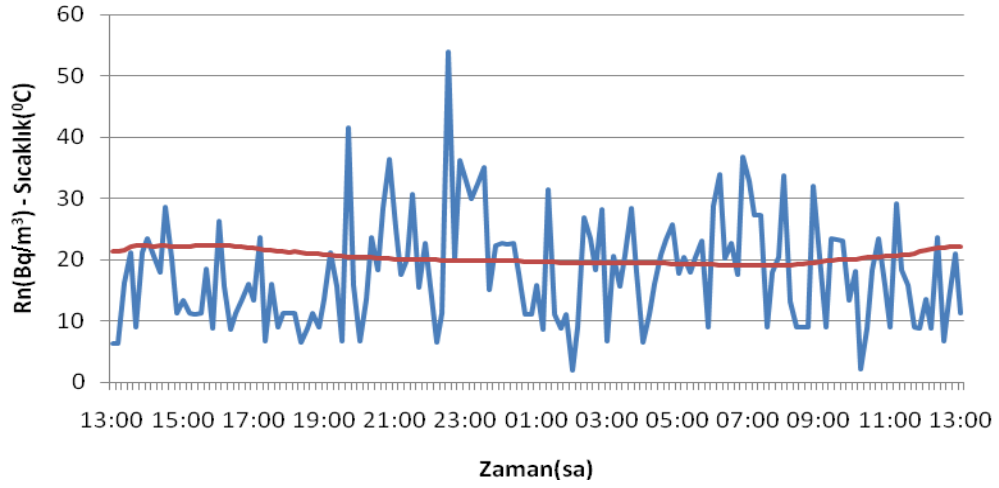
Şekil 4.16 Kastamonu Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

4.2.7 Kastamonu İsfendiyarbey İlköğretim Okulunda Alınan Ölçümler

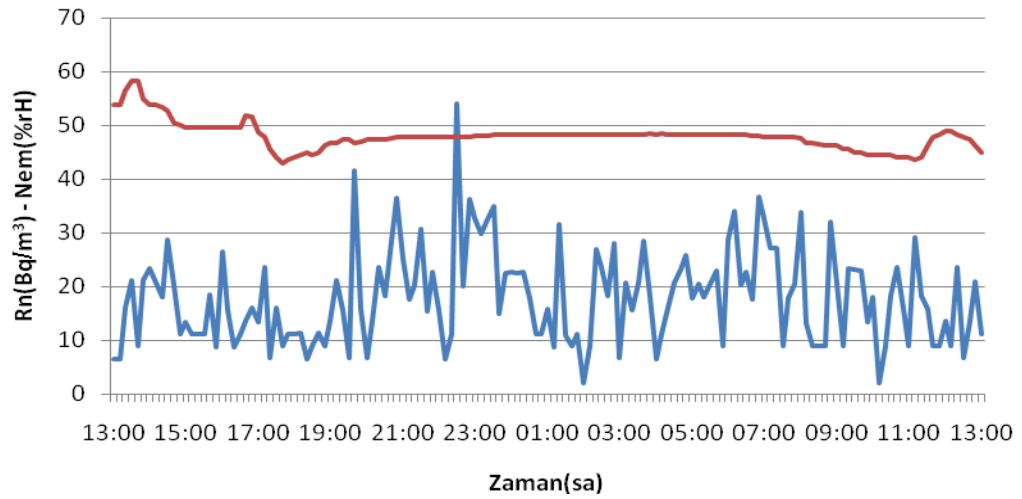
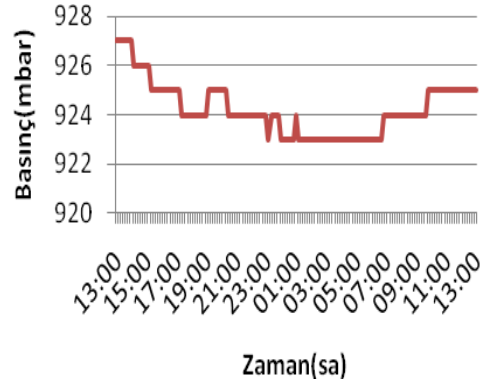
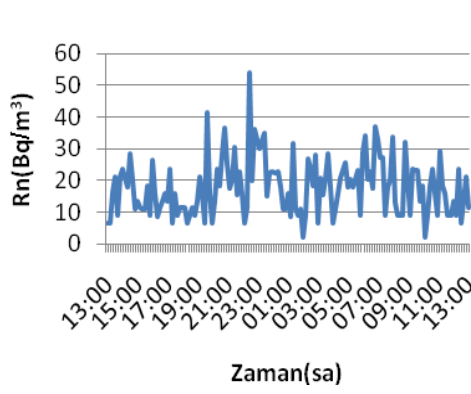


Parametre	Ortalama
Rn(Bq/m ³)	18,03
Hata	7,24
Sıcaklık(°C)	20,4
Basınç(mbar)	924
Nem(%rH)	47,9

Şekil 4.17 Kastamonu İsfendiyarbey İlköğretim Okulundan alınan ölçümler.



— Rn — Sıcaklık



— Rn — Nem

Şekil 4.18 Kastamonu İsfendiyarbey İlköğretim Okulu radon-sıcaklık, radon ve basınç, radon-nem grafikleri.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Literatür taramasında Kastamonu'da ilk ve orta öğretim okullarında bina içi radon konsantrasyonu ölçümüne rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışma ilk ve orta öğretim okullarında Kastamonu'da bina içi radon ölçümü yapılan ilk çalışma olarak değerlendirilebilir.

Vali Aydın Arslan İlköğretim okulu betonarme bir bina olup 1993 tarihinde yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $15,95 \pm 6,68 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Kız Meslek Lisesi taş bina olup 1945 tarihinde yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $23,46 \pm 8,76 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Gazi Paşa İlköğretim okulu taş bina olup 1932 yılında yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $58,98 \pm 19,77 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

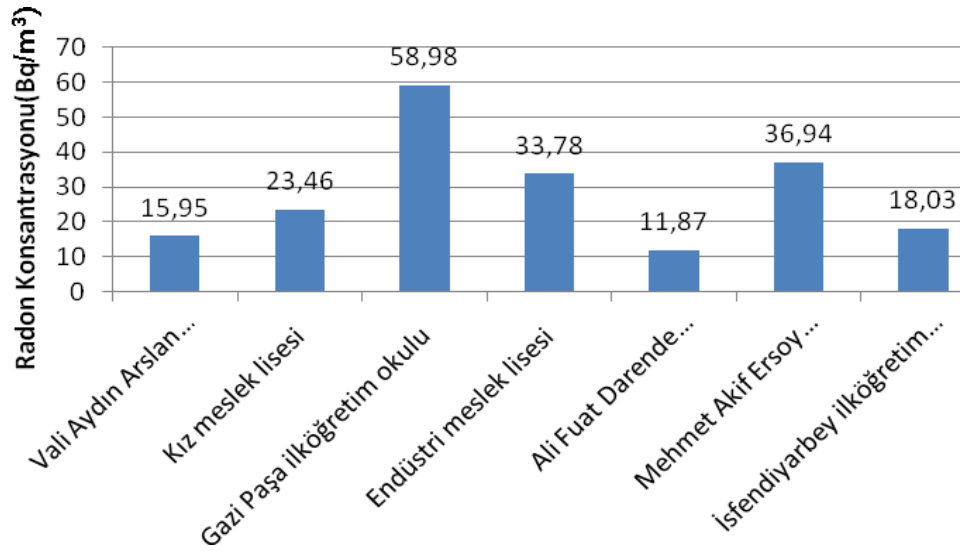
Endüstri Meslek Lisesi taş bina olup 1916 tarihinde yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $33,78 \pm 11,86 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Ali Fuat Darendel İlköğretim okulu betonarme bina olup 1984 tarihinde yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $11,87 \pm 5,53 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Mehmet Akif Ersoy İlköğretim okulu betonarme bina olup 1979 tarihinde yapılmıştır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $36,94 \pm 12,85 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

İsfendiyarbey İlköğretim okulu betonarme bina olup yapımı 2010 yılında tamamlanan en yeni binadır. Yapılan ölçümde ortalama radon aktivitesi $18,03 \pm 7,24 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Yukarıdaki sonuçlara göre maksimum radon aktivitesi Gazi Paşa İlköğretim okulunda $58,98 \pm 19,77 \text{ Bq/m}^3$, minimum radon aktivitesi Ali Fuat Darendede İlköğretim okulunda $11,87 \pm 5,53 \text{ Bq/m}^3$ olarak ölçülmüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Ölçüm yapılan okul binalarında havadaki radon aktivitesi.

Ölçülen ortalama radon aktivitesi ile sıcaklık, basınç ve nem arasındaki ilişki incelenmiş ve aşağıda yorumlanmaya çalışılmıştır.

Vali Aydın Arslan İlköğretim okulundaki ölçüm Şekil 4.5' de verilmiştir. Yapılan ölçümde radon aktivitesi sıcaklığın arttığı saatlerde bir azalma gözlenmiştir. Nem ve basıncın arttığı saatlerde radon aktivitesinin arttığı görülmüştür. Radon aktivitesi öğrencilerin sınıfta olduğu saatlerde daha düşük çıkmıştır. Radon aktivitesin havalandırılmanın az yapıldığı veya hiç yapıldığı saatlerde arttığı gözlenmiştir.

Kastamonu Kız Meslek Lisesindeki ölçüm Şekil 4.7' de verilmiştir. Kız meslek lisesine AlphaGUARD detektörü cumartesi konulduğundan hafta sonu olduğu için havalandırma yapılmamıştır. İçeride biriken radon gazı miktarı artmıştır buda daha fazla sayıda bozunma anlamına gelmektedir. Radon aktivitesinde artmaya sebep

olmuştur. Sıcaklığın arttığı saatlerde radon aktivitesinde artma gözlenmiştir. Nem ve basınçla ters orantılı bir şekilde değişim gözlenmiştir.

Kastamonu Gazi Paşa İlköğretim okulundaki ölçüm Şekil 4.9'da verilmiştir. Gazi Paşa ilköğretim okuluna detektör Pazartesi konulduğundan gündüz saatlerinde radon aktivitesinin düşük olması sebebi öğrencilerin sınıfları sürekli havalandırmasından kaynaklanmıştır. Öğrencilerin olmadığı ve havalandırmamın yapılmadığı saatlerde radon aktivitesinin arttığı görülmüştür. Sıcaklığa bağlı bir değişme gözlenmemiştir. Basıncın sabit kaldığı saatlerde radon aktivitesinde bir artma gözlemlenmiştir. Nem ile ise ters orantılı bir değişim gözlenmiştir.

Kastamonu Endüstri Meslek Lisesindeki ölçüm Şekil 4.11'de verilmiştir. Endüstri Meslek Lisesine detektör kütüphaneye konulmuştur. Kütüphane öğrenciler tarafından kullanılan bir yer olduğu için sürekli havalandırılmıştır. Havalandırılmanın yapıldığı saatlerde radon aktivitesi çok az miktarda değişmiş, havalandırılmanın az yapıldığı veya hiç yapılmadı öğrencilerin olmadığı saatlerde radon aktivitesi artmıştır. Sıcaklığın arttığı saatlerde radon aktivitesinde artma gözlenmiştir.

Ali Fuat Darendede İlköğretim okulunda ölçüm Şekil 4.13'de verilmiştir. Ali Fuat Darendede ilköğretim okulunda radon aktivitesindeki değişim sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği, nemin azaldığı saatlerde ise radon aktivitesinde bir artma gözlenmiştir.

Kastamonu Mehmet Akif Ersoy İlköğretim okulunda ölçüm Şekil 4.15'de verilmiştir. Mehmet Akif Ersoy ilköğretim okulunda ölçüm bilgisayar laboratuvarında yapılmıştır. Öğrencilerin sınıfta olduğu saatlerde (12:00-18:00) radon aktivitesinde bir azalma olduğu, öğrencilerin olmadığı saatlerde (20:00-10:00) kapı ve pencerelerin kapandığı zamanlarda radon aktivitesinde artma gözlenmiştir. Sıcaklığın arttığı saatlerde radon gazında bir azalma gözlenmiştir. Nem ile radon gazı arasındaki değişim doğru orantılı değiştiği gözlenmiştir.

Kastamonu İsfendiyarbey İlköğretim okulundaki ölçüm Şekil 4.17’de verilmiştir. İsfendiyarbey ilköğretim okulunda havalandırılmanın yapılmadığı saatlerde radon gazında bir artma gözlenmiştir. Sıcaklık ve basınçla ters orantılı şekilde değiştiği gözlenmiştir. Radon gazına nemdeki değişimin bir etkisi olmadığı gözlenmiştir.

Yapılan ölçümlerde gözlenen en önemli nokta radon yoğunluklarının uzun süre kapalı kalmış veya havalandırılmayan mekânlar ile havalandırması iyi olan mekânlar karşılaştırıldığında ortaya çıkmaktadır. Kapalı veya iyi havalandırılmayan yerleşim noktalarında sürekli olarak gaz birikeceği için daha fazla radyoaktif bozunum olacaktır. Bodrum katlarında ölçüm alınmasında amaç bu etkiyi gözleyebilmektir. Çünkü buralar zeminden gelen radon gazıyla ilk temasın sağlandığı yerlerdir. Yeteri derecede havalandırılabilen mekânlarda hava döngüsü sonucu iç radon yoğunluğu azalacaktır. Bu da detektörün daha küçük yoğunluklar kaydetmesi demektir.

Grafiklerde görülen önemli bir özellik de bazı noktalarda radon aktivitesinin sürekli bir artıştan sonra ani azalmalar göstermesidir. Sürekli artışın nedeni ölçüm yapılan sınıfların bu zaman içerisinde havalandırılmamasıdır. Sınıfların kapılarını ve pencerelerinin kapandıktan sonra özellikle geceleri radon aktivitesinin arttığı gözlenmektedir. Böylece içerde biriken radon gazı miktarı artmaktadır bu da daha fazla sayıda bozunma anlamına gelmektedir. Azalmanın sebebi ise gündüzleri öğrenciler tarafından sınıfların sürekli havalandırılmasıdır.

Ölçümlerde elde edilen radon ortalama değerleri Genitron Instruments tarafından üretilen AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörü ile analiz edilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Uluslararası ve Türkiye için izin verilen değer belirlendiği değerin çok altında olduğu belirlenmiştir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, evlerde radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye’de Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre evler için izin verilen limit değer 400 Bq/m^3 , işyerleri için 1000 Bq/m^3 tür (TAEK 2009).

KAYNAKLAR

- Akar, Ü. 2010. Bursa-Çekirge bölgesi termal sularında radon konsantrasyonunun tayini. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 30-32s.,43-46s., Bursa.
- Akkurt, A. 2006. Afyon jeotermal sularında radon (Rn^{222}) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s.,13s., Afyon.
- Akkurt, İ. Radyasyon ölçüm teknikleri ve korunma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 6s., 11s.,Isparta. <http://thm.ankara.edu.tr/tac/yazokulu/yazokulu4/dersnotlari/iakkurt.pdf>. Erişim Tarihi: 08.01.2011.
- Akyıldırım, H. 2005. Isparta İli'nde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s., 10s.,18.-32, 60-63s.,108s, Isparta.
- Arya, A. P. 1983. Çekirdek fiziğinin esasları (Çeviri: Y. Şahin). Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü. Sayı 3. 28-30s., Erzurum.
- Barış, C. 2006. İzmir-Çeşme yeraltı-termal suları ve çevresindeki topraklarda radyoaktivite araştırmaları. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 11s., Manisa.
- Bayata, S. Şubat 2007. Çatalağzı termik santrali ve çevresinde radyoaktivite ölçümü. Bilim uzmanlığı tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Baykara, O. 2005. Kuzey anadolu ve doğu anadolu fay hatlarının kesişim bölgesindeki doğal radyoaktivite tayini. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bora, H. 2001. Radyasyon güvenliği. Ankara Üniversitesi dikimevi sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu yıllığı Cilt 2 Sayı 1, 92s.
- Çelebi, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi
- Çelebi, N. 2007. Konutlarda radon konsantrasyon değerlerinin yapı biyolojisi açısından incelenmesi. VIII. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, 400s., İzmir.
- Davutoğlu, H. Haziran 2008. Radon gazı ölçme metotları. Yüksek lisans tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 22 -30sKütahya.

- EPA, 1992: A Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K92-001.
- Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N. 2004. Türkiye Taşköprü kurumu (TTK) yer altı maden ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı. 195-196s., Zonguldak.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, 1997. Z. Radon kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44 19, 25-32, Ankara.
- GENITRON INSTRUMENTS, 08/2001. Soill Gas Measurements, Instruments GmbH HeerstraBe 149, 6-7s., Germany.
- GENITRON INSTRUMENTS, 12/98. User Manuel Portable Radon Monitor "AlphaGUARD", Instruments GmbH HeerstraBe 149, 31-32 s., Germany.
- Genrich, V. 2006. GENITRON INSTRUMENTS AlphaGUARD PQ2000/MC50, Multiparameter radon monitor, Characterisation of its physical properties under normal climatic and severe environmental conditions, 3s. Germany.
- Günaydın, T. 2004. İzmir-Dikili jeotermal sahalarına yakın yerleşim alanlarında radon konsantrasyonlarının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 10 s., İstanbul.
- Harley, N. H., Harley, J. H., 1990: Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exporsure. Ca, A Cancer Journal for Clinician. 40. 5, Sept/Oct.,
- İncirci, F. 2011. Kastamonu bölgesindeki sularda radon aktivitesinin ölçülmesi. Yüksek lisans tezi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 7, 13s, 20-25s Kastamonu.
- Kam, E. 2004. Tekirdağ'ın çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2 s., İstanbul.
- Kam, E., Bozkurt, A. 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. [Applied Radiation and Isotopes](#), Vol., 65 (4); 440-444.
- Kapdan, E. 2009. Adapazarı merkezi kış dönemi radon ölçüm ve analizleri. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul. 1s, 2s., 6s., 28s., 32-42s., 48-53s., İstanbul.
- Karahan, G., N. Öztürk, A. Bayülken. 2000. Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul. Water Research 34, 4367-4370.

- Kıvacı, S. R. Radon²²². Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Bilimsel Raporlar Serisi. Rapor No:01., İzmir.
- Koksal, M.E., Çelebi N., Özçınar. B., 1993: Indoor Rn-222 Concentrations in Istanbul Houses, Health Phys.
- Krane, K. S. 2001. Nükleer fizik 1. cilt (Çeviri Editörü: Başar Şarer). Palme Yayıncılık. No: 173. 161-162 s.,192, 204-206 s., Ankara.
- Kumbur, H. Zeren, O. ve diğ. İçel’de evlerde radon düzeylerinin araştırması. Ekoloji dergisi Ekim Kasım Aralık 1997 sayı: 25 Mersin Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendislik Bölümü, 27-28s MERSİN
- Lapp and Andrews 1972. Nuclear Radiation Physics. SIR ISAAC PITMAN AND SONS LTD. 178-179 s. London.
- Lowenthal and Airey 2004. Practical Applications of Radioactivity and Nuclear Radiations. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. 35-35 s. Cambridge, UK.
- Mıhçı, M. 2008.Sivas Merkez Yerleşiminde Radon Gazı Dağılımının Belirlenmesi ve Türkiye’de Yapılaşma Öncesi Radon Gazı Ölçümüne Yönelik Yönetmelik Taslağı Hazırlanması.Yüksek lisans tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı. Sivas.
- Price, W.J. 1964. Nuclear Radiation Detection. McGraw-Hill Book Company, Inc. 160-168 s. U.S.A.
- Qureshi, A.A., Kakar, D.M., Akram, M., Khattak, N.U., Tufail, M., Mehmood, K., Jamil, K. ve Khan, H.A., 2000. Radon concentrations in coal mines of Baluchistan, Pakistan, Journal Of Enviromental Radioactivity, 48, 203 209s.
- Özdemir, F. B. 2006. Afyon ve çevresindeki kuyu sularında radon (²²²Rn) aktivitesi tayini. Yüksek lisans tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s., 25-32s., Afyonkarahisar.
- TAEK (Türkiye Atom Enerji Kurumu),
<http://www.taek.gov.tr/component/content/article/125-saglik-fizigi/473dunyada-ve-turkiyede-musaade-edilebilir-radon-konsantrasyonu-nedir.html>. Erişim Tarihi: 14.09.2009.
- Taşkın H., 2006: Yüksek Lisans Tezi; İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması
- Togay, Y.,E., 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, 37s. Ankara.

- Uluğ, A. ve Çelebi, N., 2005. Evimizdeki görünmeyen tehlike radon gazı: Türkiye değerleri ve diğer ülkelerle karşılaştırılması. 2-3s.,
- UNSCEAR, 1977: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E.77.IX.1. New York.
- UNSCEAR, 1982: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly.
- UNSCEAR, 1982:United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Levels and Effects of Ionizing Radiation, New York, UN, UNSCEAR Report.
- UNSCEAR, 1988: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources,Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7.New York.
- UNSCEAR, 1993: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York.
- UNSCEAR, 2000: Sources,Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York.
- URL.1. http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.htm 11.04.2009
- URL.2.http://www.rcs.k12.va.us/chemistrynhs/advanced/01_adv_atomic/advanced_atomic.htm 11.04.2009
- URL.3 http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html).
- Üzbey, S. 2009. Çorum ili genelinde faaliyet gösteren kömür ocaklarındaki radon gazının ölçülmesi. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 4s., Ankara.
- William, R.Leo.1987. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag Heidelberg, Germany.
- Yalçın, S. 1992. Güney Marmara bölgesinde çeşitli ortamlarda radyoaktif kirliliğin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 10-13s., Bursa.

Yalçın, S. 1999. İki inçlik CaF₂(Eu) ve NaI(Tl) kristalli Phoswich sintilasyon dedektörünün α , β , γ sayma veriminin kuramsal ve deneysel olarak tayini. Doktora tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-15s., Bursa.

Yücel, B. ve ARIKAN, İ.H. Binalarda radon ve sağlık etkileri. 1s., 3s.,
<http://me.emu.edu.tr/haybar/Radon/BinalardaRadon.pdf>.
Erişim Tarihi: 12.07.2010

Zorer, S. Ö. 2006. Bendimahi çay'ında ve çayın Van göl'üne döküldüğü noktada doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi. Doktora tezi Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2s., 11-15s., Erzurum

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülseren ARAS
Doğum Yeri : Karakoyunlu / İĞDIR
Doğum Tarihi : 05. 06. 1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İğdır Lisesi
Lisans : Gazi Üniversitesi Kastamonu Fen Edebiyat Fakültesi Fizik
Bölümü / (2003-2008).