

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAMSUN İLİNDE DEĞİŞİK KONUM VE DURUMLARDA BİNA İÇİ  
ORTAMLARDA HAVADA, AKTİF ÖLÇÜM YÖNTEMİ (ALPHA GUARD) İLE  
RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONU ÖLÇÜMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali ÇAKMAK

Fizik Anabilim Dalı

MAYIS 2014  
SAMSUN





T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FİZİK ANABİLİM DALI

SAMSUN İLİNDE DEĞİŞİK KONUM VE DURUMLARDA BİNA İÇİ ORTAMLARDA  
HAVADA, AKTİF ÖLÇÜM YÖNTEMİ (ALPHA GUARD) İLE RADON AKTİVİTE  
KONSANTRASYONU ÖLÇÜMLERİ

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Mehmet Ali ÇAKMAK  
11210383

Tezin Savuma Tarihi : 30 Mayıs 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU



**Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Fizik Anabilim Dalında**

**Mehmet Ali Çakmak Tarafından Hazırlanan**

**SAMSUN İLİNDE DEĞİŞİK KONUM VE DURUMLARDA BİNA İÇİ  
ORTAMLARDA HAVADA, AKTİF ÖLÇÜM YÖNTEMİ (ALPHA  
GUARD) İLE RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONU  
ÖLÇÜMLERİ**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 30/05/2014 tarihinde yapılan sınav ile  
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

**Başkan : Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU .....**  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bekir BATI .....**  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

**Doç. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN .....**  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

**..../..../...2014**

**Prof. Dr. Hüseyin DEMİR**

Enstitü Müdürü



*Pek muhterem, sayın hocam Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım da ders aldığım ve imkanlarından yararlandığım Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalı başkanı Sayın Prof. Dr. Muharrem DİNÇER ve öğretim üyeleri Prof. Dr. Emin ÖZTEKİN ve Yrd. Doç. Şehriman ATALAY'a değerli nükleer fizik öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ ve Doç. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN'a, deneyimiz için bize Alpha Guard cihazını ödünç veren K.T.Ü. Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU ve öğrencisi Dr. Selcen UZUN DURAN'a, Sayın Mahmut GEZER'e ve Samsun'daki camilerde çalışma yapmamızda bizlere her türlü kolaylığı sağlayan Samsun İl Müftülüğü'ne, ve Tez çalışmam süresince benden hiçbir desteğini esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren ve her zaman yanımda olan, hakkını asla ödeyemeyeceğim sevgili annem Hanife KARA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Mehmet Ali Çakmak  
Nükleer Enerji Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	xv
SAMSUN İLİNDE DEĞİŞİK KONUM VE DURUMLARDA BİNA İÇİ ORTAMLARDA HAVADA, AKTİF ÖLÇÜM YÖNTEMİ (ALPHA GUARD) İLE RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONU ÖLÇÜMLERİ .....	xvii
ÖZET.....	xvii
MEASUREMENTS OF RADON ACTIVITY CONCENTRATIONS OF AIR INDOORS AT VARIOUS PLACE AND CONDITIONS IN SAMSUN BY ACTIVE METHOD (ALPHA GUARD).....	xix
ABSTRACT .....	xix
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Tezin Amacı.....	6
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1 Radyoaktivite .....	7
2.2 Radyasyon Tanımı Ve Türleri .....	8
2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyon .....	9
2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon .....	10
2.3 Radyoaktif Bozunma Şekilleri.....	10
2.3.1 Alfa bozulması .....	11
2.4 Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	12
2.4.1 Radyoaktif numunenin yarı ömrü ve ortalama ömrü .....	13
2.4.2 Peşpeşe (ardışık) bozunma kanunu .....	14
2.5 Radyasyon Birimleri .....	15
2.5.1 Aktivite birimi.....	16
2.5.2 Işınlama birimi .....	16
2.5.3 Soğrulmuş doz birimi .....	17
2.5.4 Eşdeğer doz birimi .....	17
2.6 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	18
2.7 Radyasyon Kaynakları.....	19
2.7.1 Doğal radyoaktivite ve doğal radyasyon kaynakları .....	19
2.7.1.1 Kozmik radyasyonlar .....	23
2.7.1.2 Karasal radyasyonlar .....	25
2.8 Radon .....	27
2.8.1 Doğal radyoaktif radon gazının yeryüzüne yükselişi.....	27
2.8.2 Termal sularda radyoaktivite ve radon.....	35
2.8.3 Radon gazının sağlık etkileri.....	36
2.8.4 Radon konsantrasyon limitleri .....	39

2.9 İyon Dedektörleri .....	40
2.9.1 Gazlı dedektörler .....	41
2.9.2 İyonlaşma odaları .....	42
2.10 Radon Ölçümü.....	44
2.10.1 Radon ölçüm yöntemleri .....	44
<b>3. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>47</b>
3.1 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı .....	47
3.2 Deneysel Sistem.....	50
3.3 Aktif Radon Ölçümleri .....	54
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>55</b>
4.1 Zemin Kat .....	56
4.1.1 Konutlarda havalandırmasız (kapalı) ölçümler .....	56
4.1.2 Ofis konut ve okulda havalandırmasız (kapalı) ölçümler.....	59
4.1.3 Ofislerde havalandırılmalı (açık) ölçümler .....	62
4.2 1. Ve 2. Katlar.....	65
4.2.1 Konutlarda havalandırılmalı (kapalı+açık) ölçümler.....	65
4.2.2 Konutlarda havalandırılmalı (açık) ölçümler.....	71
4.2.3 Ofislerde havalandırmasız (kapalı) ölçümler.....	73
4.2.4 Ofislerde havalandırılmalı (kapalı+açık) ölçümler .....	76
4.2.5 Ofislerde havalandırılmalı (açık) ölçümler .....	80
4.3 Park Çevresi Ve Vadi Evi.....	82
4.3.1 Havalandırmasız (kapalı) ölçümler.....	82
4.4 3. Katlar .....	85
4.4.1 Konutta havalandırılmalı (kapalı + açık) ölçüm .....	85
4.4.2 Konutta havalandırılmalı (açık) ölçüm .....	86
4.5 Camiler.....	87
4.5.1 Havalandırılmalı (kapalı+açık) ölçümler .....	87
<b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>89</b>
<b>6. ÖNERİLER.....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>97</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>103</b>

## ÇİZELGELER LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri.....	11
Çizelge 2.2. Radyasyon terimleri ve özel birimleri ile SI birimleri.....	16
Çizelge 2.3. Kişilere yıllık müsaade edilen maksimum doz miktarları .....	18
Çizelge 2.4. Farklı konsantrasyonlardaki tahmini radon dozları özeti .....	19
Çizelge 2.5. Doğada bilinen dört radyoaktif seri .....	21
Çizelge 2.6. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri .....	23
Çizelge 2.7. Kozmik radyoizotoplar .....	25
Çizelge 2.8. Bazı kayaç türlerindeki ve topraklardaki ortalama radyoaktivite konsantrasyonları .....	26
Çizelge 2.9. <sup>222</sup> Rn nükleer özellikler tablosu .....	27
Çizelge 2.10. Evlerde Ortalama Radon Konsantrasyonu.....	39
Çizelge 2.11. Radon Konsantrasyon Limitleri.....	40
Çizelge 3.1. Alpha Guard monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikleri .....	50
Çizelge 5.1. Giriş ve Zemin Katlarında Radon Konsantrasyonları .....	89
Çizelge 5.2. 1. Ve 2. Katlarda Radon Konsantrasyonları .....	90
Çizelge 5.3. Vadi Evi, Park ve 3. Katlardaki Radon Konsantrasyonları .....	91



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Çekirdeklerdeki nötron sayılarının atom numarasıyla değişimi .....	8
Şekil 2.2. Elektromanyetik Spektrum .....	9
Şekil 2.3. $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ Radyasyonlarının maddelerdeki girciliği .....	10
Şekil 2.4. Radyoaktif çekirdek sayısının zamanla değişimi .....	13
Şekil 2.5. Peşpeşe bozunmada N1,N2 ve N3'ün zamanla değişimi .....	15
Şekil 2.6. Yıllık doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon miktarları .....	20
Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri .....	21
Şekil 2.8. Uranyum (4n+2) serisi .....	22
Şekil 2.9. Radonun bozunma şeması .....	22
Şekil 2.10. Kozmik ışınlardan alınan dozun yüksekliğe göre değişimi .....	24
Şekil 2.11. Toryum ve Uranyumun yerin üst kabuğu içinde dağılımı .....	26
Şekil 2.12. Farklı katmanların radon gazı geçirgenliği .....	28
Şekil 2.13. Radon konsantrasyonun ortamlara göre değişimi .....	29
Şekil 2.14. Radon gazının topraktan bir eve giriş yolları .....	30
Şekil 2.15. Almanyada yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bq/m <sup>3</sup> aşan evlerin bağıl sayısı .....	30
Şekil 2.16. Radon konsantrasyonunun havalandırma ile değişimi .....	31
Şekil 2.17. Radon sıcaklık (basınç) ilişkisi .....	31
Şekil 2.18. Bina içi radon konsantrasyon düzeyinin dış rüzgar hızıyla ilişkisi .....	32
Şekil 2.19. Akciğer (Trakea) resmi .....	37
Şekil 2.20. Kanserli akciğer resmi .....	37
Şekil 2.21. Bir gazlı detektörün kesiti .....	41
Şekil 2.22. Çeşitli tiplerdeki gazlı detektörlerde gaz amplifikasyonu .....	41
Şekil 2.23. İyonlaşma odası ve x-ışınları, parçacıkların deteksiyonu için devre .....	42
Şekil 2.24. Bir iyonlaşma odasından çekilen puls şekilleri .....	43
Şekil 2.25. Radon ölçüm yöntemleri .....	44
Şekil 2.26. Pasif Radon Testinde Bir Plastik Alfa Tutucu .....	45
Şekil 2.27. Kömür Süzgeci ve Kömür Sıvı Sintilasyon Detektörleri .....	45
Şekil 2.28. Elektret iyon dedektörleri .....	46
Şekil 2.29. Elektret iyon dedektörleri çalışma şeması .....	46
Şekil 2.30. Alfa iz sürme dedektörleri .....	46
Şekil 2.31. Alfa iz sürme dedektör sistemi .....	46
Şekil 3.1. Alpha Guard cihazının önden görünüşü ve ebatları .....	47
Şekil 3.2. AlphaGUARD iyonizasyon odasının şematik gösterimi .....	48
Şekil 3.3. Kalibrasyon Ölçüm Örneği .....	51
Şekil 3.4. Alpha Guard ölçüm cihazı ile çeşitli yerlerdeki ölçümler .....	51
Şekil 3.5. Alpha GUARD PQ 2000PRO Detektörü .....	52
Şekil 3.6. Alpha Guard Dedektörü .....	52
Şekil 3.7. Alpha Guard Dedektörü Okuma Paneli .....	52
Şekil 3.8. Alpha Guard Dedektörü Bilgisayara Bağlanma .....	52

Şekil 3.9. Alpha Guard detektörü ile uzun süreli ölçüm örneği.....	53
Şekil 3.10. Ofis. Radon Spektrumu: 10 .....	53
Şekil 4.1. Konut. Radon Spektrumu: 27 .....	56
Şekil 4.2. Konut. Radon Spektrumu: 1 .....	57
Şekil 4.3. Konut. Radon Spektrumu: 31 .....	58
Şekil 4.4. Ofis. Radon Spektrumu: 15 .....	59
Şekil 4.5. Konut. Radon Spektrumu: 24 .....	60
Şekil 4.6. Okul. Radon Spektrumu: 30 .....	61
Şekil 4.7. Ofis. Radon Spektrumu: 14 .....	62
Şekil 4.8. Ofis. Radon Spektrumu: 23 .....	63
Şekil 4.9. Ofis. Radon Spektrumu: 18 .....	64
Şekil 4.10. Konut. Radon Spektrumu: 16 .....	65
Şekil 4.11. Konut. Radon Spektrumu: 17 .....	66
Şekil 4.12. Konut. Radon Spektrumu: 20 .....	67
Şekil 4.13. Konut. Radon Spektrumu: 19 .....	68
Şekil 4.14. Konut. Radon Spektrumu: 32 .....	69
Şekil 4.15. Konut. Radon Spektrumu: 4 .....	70
Şekil 4.16. Konut. Radon Spektrumu: 21 .....	71
Şekil 4.17. Konut. Radon Spektrumu: 3 .....	72
Şekil 4.18. Ofis. Radon Spektrumu: 5 .....	73
Şekil 4.19. Ofis. Radon Spektrumu: 7 .....	74
Şekil 4.20. Ofis. Radon Spektrumu: 8 .....	75
Şekil 4.21. Ofis. Radon Spektrumu: 12 .....	76
Şekil 4.22. Ofis. Radon Spektrumu: 2 .....	77
Şekil 4.23. Ofis. Radon Spektrumu: 10 .....	78
Şekil 4.24. Ofis. Radon Spektrumu: 11 .....	79
Şekil 4.25. Ofis. Radon Spektrumu: 9 .....	80
Şekil 4.26. Ofis. Radon Spektrumu: 6 .....	81
Şekil 4.27. Park Çevresi. Radon Spektrumu: 22.....	82
Şekil 4.28. Vadi Evi. Radon Spektrumu: 25 .....	83
Şekil 4.29. Vadi Evi. Radon Spektrumu: 26 .....	84
Şekil 4.30. Konut. Radon Spektrumu: 13 .....	85
Şekil 4.31. Konut. Radon Spektrumu: 3 .....	86
Şekil 4.32. Cami 1. Radon Spektrumu: 14* .....	87
Şekil 4.33. Cami 2. Radon Spektrumu: 12* .....	88



## KISALTMALAR VE SEMBOLLER

<b>A</b>	: Aktivite
<b>BEIR</b>	: İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri
<b>Bq</b>	: Becquerel
<b>Ci</b>	: Curie
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>DSP</b>	: Sayısal Sinyal İşleme
<b>EPA</b>	: ABD Çevre Koruma Ajansı
<b>GM</b>	: Geiger-Müller
<b>Gy</b>	: Gray
<b>IAEA-BSS</b>	: Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları
<b>ICRP</b>	: Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu
<b>N</b>	: Nötron sayısı
<b>NRPB</b>	: Ulusal Radyoloji Koruma Kurulu, İngiltere
<b>NIST</b>	: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, ABD
<b>P</b>	: Basınç
<b>R</b>	: Röntgen
<b>Ra</b>	: Radyum
<b>RAK</b>	: Radon aktivite konsantrasyonu
<b>rH</b>	: Bağıl Nem
<b>Rn</b>	: Radon
<b>Sv</b>	: Sievert
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>TAEK</b>	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<b>U</b>	: Uranyum
<b>URL</b>	: İnternet Kaynak Adresi (Uniform Resource Locator)
<b>UNSCEAR</b>	: Atomik Radyasyonun Etkileri Üzerine BM Bilimsel Komitesi
<b>UV</b>	: Ultraviyole
<b>WHO</b>	: Dünya Sağlık Örgütü
<b>Z</b>	: Atom numarası
<b><math>\lambda</math></b>	: Bozunma Sabiti



**SAMSUN İLİNDE DEĞİŞİK KONUM VE DURUMLARDA BİNA İÇİ  
ORTAMLARDA HAVADA, AKTİF ÖLÇÜM YÖNTEMİ (ALPHA GUARD)  
İLE RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONU ÖLÇÜMLERİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, Samsun il merkezinde değişik konum ve durumlarda, Nisan-Haziran ayları döneminde, bina içi hava ortamında, aktif ölçüm yöntemi (Alpha Guard) ile radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) aktivite konsantrasyonları ölçümleri yapıldı. Bütün durumlar için bina içi hava Radon düzeyleri 1 - 131 Bq/m<sup>3</sup> arasında ve ortalama 26 Bq/m<sup>3</sup> bulundu. Bu değer EPA standardının çok altındadır. Yerleşim birimleri ve çalışma ofislerinin zemin katları için ortalama değer  $34,67 \pm 3,20$  Bq/m<sup>3</sup> ; 1. ve 2. Katlar için ortalama değer  $25,63 \pm 1,20$  Bq/m<sup>3</sup>; 3. ve yukarı katlar için ortalama değer  $10,50 \pm 2,50$  Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçüldü. Uzun süre kapalı ofislerdeki ortalama değer  $49,66 \pm 1,25$  Bq/m<sup>3</sup> olarak saptandı. Bu değer literatürdeki Samsun İli yaz dönemi için ölçülen ev içi Radon konsantrasyonu değeriyle (48 Bq/m<sup>3</sup>) uyumludur. Ölçüm yapılan camilerin birinde 1,9 kBq/m<sup>3</sup> gibi yüksek bir değer ölçüldü. Bu sonuç muhtemelen cami zemin Radon izolasyonunun iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada ayrıca 1. ve 2. kattaki konutların camlarının sürekli açık tutulduğu durumda ortalama değer  $9,50 \pm 1,50$  Bq/m<sup>3</sup> olarak bulundu. Böylece, havalandırmanın Radon radyasyonundan korunmak için çok önemli olduğu deneysel olarak saptandı.

**Anahtar Kelimeler:** Radon, Ev içi Radon Konsantrasyonu, Alpha Guard, Aktif Radon ölçümü , Samsun, Konutlar, Ofisler, Camiler.



**MEASUREMENTS OF RADON ACTIVITY CONCENTRATIONS OF AIR  
INDOORS AT VARIOUS PLACE AND CONDITIONS IN SAMSUN BY  
ACTIVE METHOD (ALPHA GUARD)**

**ABSTRACT**

In this study, the indoor radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) activity concentrations of air were measured at various places and conditions throughout Samsun by the active method (Alpha Guard) between April and June 2013. For all cases, the indoor radon activity concentration levels of air varied between 1 and 131  $\text{Bq/m}^3$  with the average value of 26  $\text{Bq/m}^3$ . This value is far below the EPA standards. The average radon activity concentrations for the ground floors of residential areas and offices is found to be  $34.67 \pm 3.20 \text{ Bq/m}^3$ . For the first and second floors and for the third and above floors the average values were  $25.63 \pm 1.20 \text{ Bq/m}^3$  and  $10.50 \pm 2.50 \text{ Bq/m}^3$  respectively. The average radon activity concentration for long term closed doors and windows in the offices were  $49.66 \pm 1.25 \text{ Bq/m}^3$ . This result is also consistent with the value in the literature, which was measured in Samsun province during the summertime. During the experiments in one of the mosques indoor radon concentrations with a maximum value of 4.5  $\text{kBq/m}^3$  and an average of 1.9  $\text{kBq/m}^3$  were measured. This result is well above the EPA limit of 400  $\text{Bq/m}^3$ , and must be due to poor radon insulation of floor of the mosque. Also in this study, the average radon activity concentration is detected as  $9.50 \pm 1.50 \text{ Bq/m}^3$  for the long term open doors and windows in the first and second floors of the residential and office areas. Therefore, it has been shown experimentally that ventilation is very important for protection from Radon radiation.

**Key Words:** Radon, Indoor Radon Concentrations, Active Radon Measurements, Alpha Guard, Samsun, Residential Areas, Offices, Mosques.



## 1. GİRİŞ

İnsanlar yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte yılda yaklaşık 2,5 miliSievert (mSv) dozluk radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu dozun % 20'si yeryüzü, %12' si su ve yiyecek, %18' i kozmik ışın ve %50' si de radon gazı kaynaklı radyasyondan ileri gelmektedir (Ilari, O., 1992).

Radon ve bozunum ürünlerinin solunması ile insanların maruz kaldığı radon dozu, doğal kaynaklardan alınan toplam radyasyon dozunun %50'sinden daha fazladır (UNSCEAR, 1993).

Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Solunum sistemindeki radyasyon dozu, solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Yüksek seviyede radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklanan radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğu görülmüştür. NRPB (The National Radiological Protection Board), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü; ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının sigara içmeyenlerden 5.000'ini ve sigara içenlerden ise 15.000'ini; International Commission on Radiological Protection (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadır. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (EPA, 1992).

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için müsaade edilebilir konsantrasyon değerleri 200-600 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir (URL-1).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde ve İşyerinde <sup>222</sup>Rn'ye Karşı Korunma" konusunda bir rapor hazırlamıştır ve bu rapora göre radona senelik maruz kalma doz sınırları 3-10

mSv arasında kabul edilmiştir. Evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 200-600 Bq/m<sup>3</sup>'dür. Bu komisyon tarafından evlerdeki radon konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m<sup>3</sup>, yeni evlerde 200 Bq/m<sup>3</sup>, iş yerlerinde 500-1.500 Bq/m<sup>3</sup> arasında, radyasyon ve maden bölgelerinde ise 1.500 Bq/m<sup>3</sup>'dür. 400 Bq/m<sup>3</sup> lük sınır değerinde akciğer kanseri meydana gelme riski %6'dır. Bu risk sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir (ICRP, 1987; ICRP, 1993).

Avrupa ülkelerinde evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 400 Bq/m<sup>3</sup>, Kanada'da ise 800 Bq/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir (URL-2).

Türkiye'de TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) 'Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde izin verilen radon konsantrasyonu yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bq/m<sup>3</sup>, iş yerlerinde ise 1000 Bq/m<sup>3</sup> değerini aşmayacağını belirtmiştir (Er, Z., 1995).

Radonun insan sağlığı üzerindeki bu etkileri nedeniyle, ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ülkemizde ve dünyada çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde doğal radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalara örnek vermek gerekirse;

Samsun ilinde CR-39 SSNTD nükleer iz detektörleri kullanılarak ev içi radon çalışması yapılmıştır. Ferhan Özderya (2009) tarafından Radon ölçümleri her mevsim olmak üzere Samsun ilinde 127 eve mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde dağıtım yapılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda Samsun'da evlerde kış dönemi ortalama radon konsantrasyonu 194 Bq/m<sup>3</sup>, yaz dönemi 48 Bq/m<sup>3</sup>, ilkbahar dönemi 125 Bq/m<sup>3</sup> ve sonbahar dönemi ise 58 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Minimum radon konsantrasyon değeri yaz mevsiminde belirlenmiş olup 10 Bq/m<sup>3</sup>, maksimum radon konsantrasyon değeri ise kış mevsiminde belirlenmiş olup 425 Bq/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Radon konsantrasyonlarının, 23 Bq/m<sup>3</sup> ile 230 Bq/m<sup>3</sup> arasında olduğu yıllık ortalama konsantrasyonun 106 Bq/m<sup>3</sup> ve etkin doz değeri 2,67 mSv/yıl olduğu saptanmıştır (Özderya, F., 2009).

Aynı çalışmada ayrıca <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs ortalama aktiviteleri sırasıyla 30,88 Bq/kg, 21,65 Bq/kg, 341,18 Bq/kg, 16,01 Bq/kg ve doğal radyonüklitlerden dolayı yıllık ortalama dış gama radyasyon doz eşdeğeri 51,74 µSv/yıl olarak hesaplanmıştır. ICRP'nin evlerde müsaade edilebilir doz değeri olarak belirlediği 400 Bq/m<sup>3</sup>'ü geçen evlerin oranı Samsun ili için, kış döneminde (5 ev) % 3,94'dir.



İlkbahar, sonbahar ve yaz dönemlerinde ise  $400 \text{ Bq/m}^3$ 'ü geçen değer olmamıştır (Özderya, F., 2009).

Uluğ ve arkadaşlarının Isparta, Eğirdir ve Yalvaç'ta ilçelerinde yaptığı ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında CR-39 pasif radon dozimetreleri kullanılarak ortalama radon konsantrasyonu sırasıyla,  $164 \text{ Bq/m}^3$ ,  $124 \text{ Bq/m}^3$  ve  $112 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Uluğ vd., 2004).

Kestanbol (Çanakkale-Ezine) kaplıcasında ve Körüktaş kasabasında 50 evde iç ve dış radon konsantrasyonu yaz ve kış sezonunda iç ortamda ortalama  $159 \pm 22 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur (Çelebi ve Alkan 1997).

Gebze ve Armutlu mevkiğinde havadaki radon konsantrasyonları Radon Scout aktif radon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Seyis vd., 2010). Gebze'de  $400 \text{ Bq/m}^3$ 'den oldukça düşük, Armutlu'da ise çok yüksek radon konsantrasyon değerleri ölçülmüştür.

İzmir- Dikili jeotermal bölgesinde beş yerleşim yerinde yapılan çalışmada (Yarar vd., 2006) havada radon ölçümleri CR-39 detektörleri kullanılarak yapılmıştır ve  $31-280 \text{ Bq/m}^3$  değerleri elde edilmiştir.

İstanbul ilinde 524 evde radon dozimetreleriyle yapılan ölçümlerde ortalama ev içi radon konsantrasyon değeri  $50 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur (Köksal vd., 1993).

Kars ili için evlerde yapılan ev içi radon konsantrasyonu ölçümü çalışmalarında yıllık ortalama radon konsantrasyonu  $114 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur (Çelik vd., 2008).

Zonguldak'ta Gököl ve Cehennemagzı mağaralarında radon gazı konsantrasyonları ölçülmüş ve ortalama konsantrasyon sırasıyla  $1.918,8 \text{ Bq/m}^3$  ve  $657 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Aytekin vd., 2005).

İzmir Balçova Termal Tesislerinde suda bulunan radon ve radyum seviyesi ve Balçova'daki evlerde yaz ve kış dönemlerinde bina içi radon konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır (Özbal, Ö., 1999).

İçel'de evlerde yaz ve kış aylarındaki radon düzeyleri araştırılmış ve farklılıkları tespit edilmiştir (Kumbur, H. , 1997).

Zonguldak Taş Kömürü Havzasında radon gazı yayılımı incelenmiş, işçilerin radon ürünlerine maruz kalma dozları ve işçilerin maruz kaldığı etkin eşdeğer doz hesaplanmıştır. Ölçülen radon konsantrasyonları  $253 - 1.470 \text{ Bq/m}^3$ , hesaplanan yıllık etkin eşdeğer dozlar  $4,72 - 5,08 \text{ mSv}$  ve radon ürünlerine maruz kalma dozları ise  $0,32 - 1,85 \text{ WLM}$  arasında değişmektedir (Vişne, A., 2004).

Nilgün Çelebi'nin Türkiye'de radon ölçümleri makalesinde (URL-3) 2007 yılı sonuna kadar 54 ilde 4.337 evde radon konsantrasyon ölçümleri yapılmış ve illerin aritmetik ortalaması  $74 \pm 38 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu çalışma devam etmekte olup, Türkiye'nin radon haritası tamamlanmaya çalışılmaktadır. Türkiye istatistiksel radon konsantrasyon dağılımına göre ev içi radon konsantrasyonu 40-49  $\text{Bq/m}^3$  arasında bir maksimum göstermektedir. Evlerin % 99'u 200  $\text{Bq/m}^3$ 'ün altında kalmaktadır.

Dış ülkelerde yapılan çalışmalara bakılırsa:

Pakistan'ın Pencap şehrinde Eylül-Aralık ayları arasında yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında 30 evin oturma ve yatak odalarında CR-39 tipi radon dozimetreleri kullanılarak ayrı ayrı ölçüm alınmıştır. Oturma odalarındaki değerler  $\sim 40 \pm 5$  ile  $\sim 173 \pm 4 \text{ Bq/m}^3$ , yatak odalarında ise  $\sim 38 \pm 5$  ile  $\sim 193 \pm 4 \text{ Bq/m}^3$  arasında tespit edilmiştir. Etkin doz oranı ise  $0,60 \pm 0,08$  ile  $3,27 \pm 0,08 \text{ mSv}$  olarak hesaplanmıştır (Faheem ve Matiullah, 2005).

Pakistan'ın kuzey-batı illerinde yapılmış olan bir çalışmada ise ev içi radon konsantrasyonu 47-189  $\text{Bq/m}^3$  arasında, yıllık ortalama radon konsantrasyonu ise 72  $\text{Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Rahman vd., 2007).

Suudi Arabistan'ın Riyad şehrinde yapılan ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmasında CR-39 dozimetreleriyle Ekim - Haziran arası dönem için radon konsantrasyonu 2  $\text{Bq/m}^3$  ile 69  $\text{Bq/m}^3$  arasında olup ortalama değeri ise 18  $\text{Bq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır (Ferdoas ve Al-Saleh, 2007).

Suudi Arabistan'ın Yemen şehrinde CR-39 radon detektörleriyle yapılan araştırmada radon konsantrasyonunun 3 ile 270  $\text{Bq/m}^3$  arasında değiştiğini ve ortalama değerinin ise 42  $\text{Bq/m}^3$  olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yükseltilmeye çıktıkça arttığı tespit edilmiştir (Khayrat vd., 2003).

İspanya'nın Madrid ve Barcelona şehirlerinde yıllık ortalama radon konsantrasyonu değerleri sırasıyla 68,5  $\text{Bq/m}^3$  ile 40,2  $\text{Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur (Gutierrez vd., 1992).

Meksika'da, Marina ve arkadaşları (Marina vd., 2001) LR-115 tipi dedektörleriyle uzun dönem ve **Alpha Guard** radon detektörü ile kısa dönemli radon konsantrasyonu ölçümleri yapmış ve ortalama radon konsantrasyonunu 145  $\text{Bq/m}^3$  olarak bulmuşlardır (Marina vd., 2001).

Quirino ve arkadaşları (Quirino vd., 2006) Meksika'nın Zacatecas şehrinde 228 evde yaz döneminde radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada ortalama radon konsantrasyonunu  $67 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit etmişlerdir. Evlerin % 2,7 si EPA (Environmental Protection Agency)'nın tavsiye ettiği değeri ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ) geçtiğini bulmuşlardır.

Yunanistan'ın Patras şehrinde LR-115 radon detektörleri kullanılarak yapılan radon konsantrasyonu ölçümlerinde, mevsimsel ve ev tipine göre değerlendirmeler yapılmıştır ve müstakil ev, apartman ve tüm evlerin ortalama radon konsantrasyonları sırasıyla  $41 \text{ Bq/m}^3$ ,  $28 \text{ Bq/m}^3$  ve  $38 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir (Papaethymiou vd., 2003).

Yunanistan Levsos Adasında yapılan çalışmada **Alpha Guard** dedektörü kullanılarak termal kaplıcalardaki radon konsantrasyonu ölçülmüştür (Vogiannis, E., 2004).

Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesinde evlerdeki radon konsantrasyonunu belirlemek için LR-115 tipi radon detektörleri kullanılmış, 18 köydeki 80 evde 3 aylık periyotlarla 1 yıl boyunca yapılan çalışmalarda ortalama radon konsantrasyonunun minimum değeri  $123 \text{ Bq/m}^3$  ve maksimum değeri ise  $658 \text{ Bq/m}^3$  olarak bulunmuştur (Singh vd., 2002).

Hindistan'ın Nurpur bölgesinde ise LR-115 tipi radon detektörleri kullanılarak yapılan araştırmada konsantrasyonların  $168 \text{ Bq/m}^3$  ile  $429 \text{ Bq/m}^3$  arasında değiştiği tespit edilmiştir (Singh vd., 2004).

Hamori ve arkadaşları (Hamori vd., 2006) Macaristan'da 1994 ve 2004 yılları arasında 15.277 tek katlı evde, 325 de daha fazla kata sahip olan evde yaptıkları radon konsantrasyonu araştırmasını CR-39 radon detektörleri kullanarak yapmışlardır. Minimum ve maksimum radon konsantrasyon değerleri sırasıyla  $10 \text{ Bq/m}^3$  ve  $5.800 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Değerlerin lognormal dağılımı oluşturulduğunda geometrik ortalama değerini  $58 \text{ Bq/m}^3$  bulmuşlardır.

Zunic ve arkadaşlarının (Zunic vd., 2006) Sırbistan'nın Niska Banja bölgesinde yaptıkları ev içi radon konsantrasyonu ölçümlerinde yıllık ortalama radon konsantrasyonu traverten bölgede  $1.500 \text{ Bq/m}^3$ , alüvyum sediment oluşumunun olduğu bölgede  $650 \text{ Bq/m}^3$ , maksimum değeri ise  $6.000 \text{ Bq/m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Literatürde bir çok çalışmada radon konsantrasyonunun mevsimlerde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (D. Amrani ve M. Belgaid,2001, Özdeya, F., 2011, Uzun Duran, S. 2013 ve oradaki referanslar).

Hırvatistan'daki kaplıcalardaki, jeotermal sulardaki ve havadaki radon konsantrasyonu **Alpha Guard PQ2000 PRO** detektörü kullanılarak ölçülmüştür (Radolic, V., 2005).

## **1.1 Tezin Amacı**

Radon gazı aktivite konsantrasyonu ölçümleri geçmişten bu yana çeşitli illerimizdeki termal sulara, mağaralarda, toprakta, evlerde ve tarihi binalarda yukarıda belirtilen çalışmalarda araştırılmıştı. Ancak, Samsun ilinde aktif yöntemle konutlarda, ofislerde, park civarı vadi evlerinde bina içi Radon konsantrasyonu ölçümü yapılmamıştı. Ayrıca, literatürde Türkiye'de camiler gibi zemini toprak üzerine yakın yerlerde yapılan Radon konsantrasyonu ölçümüne rastlanmadı. Bu nedenle bu çalışmada Samsun ilinde konut, ofis, vadi evi – park civarı, cami gibi yerlerde ve değişik durumlarda (Kapalı, Kapalı + Açık, Açık) bina içi ortamlarda havada, aktif ölçüm yöntemi (Alpha Guard) ile radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapıldı.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Radyoaktivite

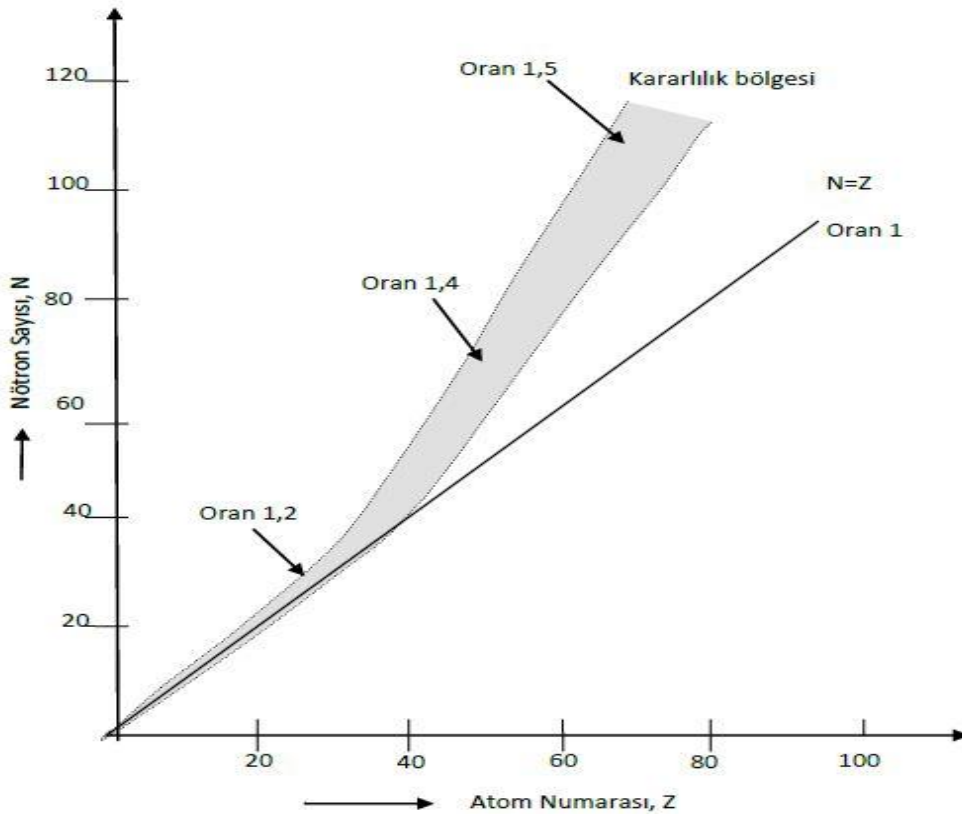
Kararsız atom çekirdeklerinin dışarıdan enerji almadan kendiliğinden bölünerek; elektromanyetik radyasyonlar, alfa ve beta parçacıkları yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesine radyoaktivite veya radyoaktif bölünme denir. Radyoizotopların bölünme şekilleri; alfa bozunmaları, beta bozunmaları ve gama yayınımları şeklinde olur.

En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdekler nükleon adı verilen, doğadaki temel yük birimi olan pozitif elektron yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardan (n) oluşurlar. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek etkileşimleri ile bir arada bulunurlar. Coulomb kuvvetleri hesaba katılmadığı takdirde, bir çekirdek içinde optimum kararlılığa proton ve nötron sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman erişecektir. Coulomb itme kuvvetlerinin kısa menzilli nükleer kuvvetlere göre önemsiz olduğu hafif çekirdeklerde durum böyledir. Coulomb kuvvetleri atom numarasının 20'den fazla olması halinde gittikçe önem kazanır. Çekirdek içindeki bu itme kuvvetlerindeki önemli artışlar çekirdek içi kararlılık durumunu bozacak ve atom numarasının artması ile çekirdeğin kararlı kalabilmesi için bir nötron fazlalığına ihtiyaç duyulacaktır. Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı protonlarınkinden fazla ise, bu çeşit bir madde kararsızlık göstermektedir. Kararsız çekirdekler radyonüklit olarak adlandırılırlar ve bu fazla enerjiye sahip çekirdekler ışınlar salarak parçalanırlar.

Periyodik tabloda, nötron sayılarının (N) proton sayılarına (Z) oranları (N/Z oranı) yaklaşık 1'e eşit olan elementler kararlı olacaktır. Atom numarası 20'nin üstüne yükseldikçe kararlılık için gerekli olan N/Z oranı da yavaş yavaş artar ve atom numarası 83 olduğunda 1,5 değerini alır. Bu atom numarasının üstünde periyodik tabloda kararlı çekirdek yoktur yani  $N/Z > 1,5$  olan tüm çekirdekler kararsızdır. Kararsız olan bir element parçacıklar salarak veya ışıma yaparak bozunacak ve bu

olay çekirdek kararlı hale gelene kadar devam edecektir. Her çekirdek kararsız olmadığından radyoaktivite ayırt edici bir fiziksel özelliktir.

Şekil 2.1’de bilinen çekirdeklerin nötron ve proton sayılarının dağılımı görülmektedir. Bu şekilde, proton ve nötron sayıları eşit olan ( $N=Z$ ) hafif çekirdekler kararlılık eğrisi ve etrafındaki dar kararlılık bölgesi ile temsil edilirken, daha ağır çekirdeklerde  $N/Z > 1$  olan bölge ile temsil edilirler. Atom numarası arttıkça elementlerin kararlılık bölgesinden uzaklaştığı görülmektedir ve kararlı en ağır çekirdek için bu oranın yaklaşık 1,5 olduğu düşünülürse  $N/Z > 1,5$  olan tüm çekirdeklerin kararsız olacağını anlaşılabilmektedir (Krane, 2001).



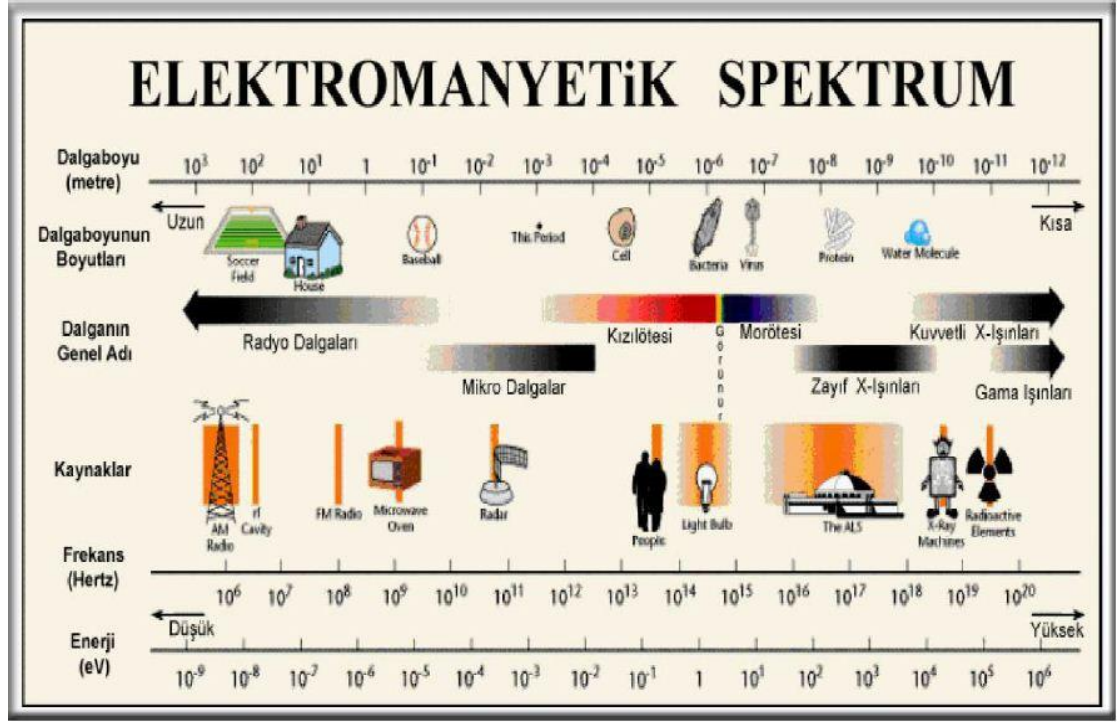
Şekil 2. 1. Çekirdeklerdeki nötron sayılarının atom numarasıyla değişimi

## 2.2 Radyasyon Tanımı Ve Türleri

Kararsız çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromagnetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır;

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon )
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

Her gün elektromanyetik dalgaların etkisinde kalınmaktadır. Bu enerjiye örnek olarak, görünür ışık, radyo, televizyon dalgaları ile ultraviyole (UV) dalgaları ve mikrodalga gibi çok geniş bir spektrumu verebiliriz. Şekil 2.2’de kozmik ışınlardan radyo ve T.V. dalgalarına kadar uzanan elektromanyetik enerji spektrumu görülmektedir. Radyasyon yaptığı etki bakımından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2. 2. Elektromanyetik Spektrum (URL-4)

### 2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyon

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü enerji seviyesine sahip, alfa ve beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacıkların meydana getirdikleri etki iyonlaştırma (iyonizasyon) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir. Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekte yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa X-ışını adını alır.

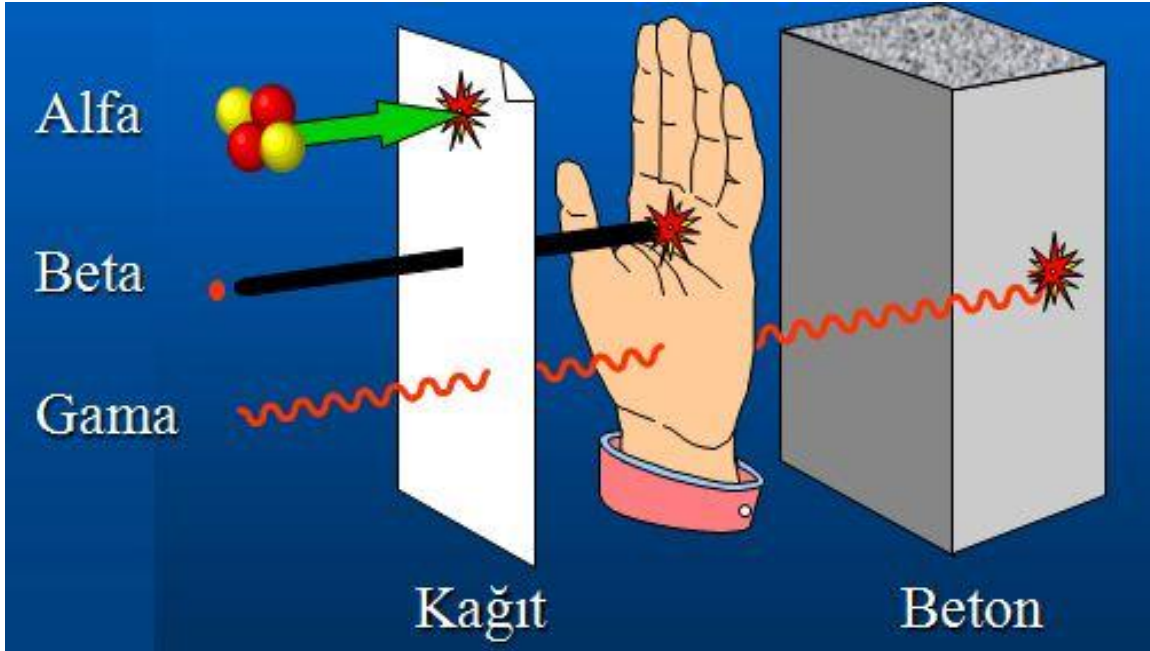
### 2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan enerji seviyelerindeki elektromanyetik dalgaların atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır.

Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo, televizyon dalgaları ile ultraviyole (UV) dalgaları örnek olarak verilebilir.

### 2.3 Radyoaktif Bozunma Şekilleri

Radyoaktif bozunma, kararsız bir atom çekirdeğinin daha kararlı bir duruma geçebilmek için radyasyon yayması olayıdır. Çekirdekler, alfa parçacıkları (helyum çekirdekleri), beta parçacıkları ve gamma ışınları yayınlayarak daha kararlı hale dönmeye çalışırlar. Gama ışınları genellikle beta parçacıkları ile bazen de alfa parçacıkları ile beraber yayınlanırlar. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) radyasyonları bazı maddelerden geçebilmekte bazıları tarafından bloke edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  Radyasyonlarının maddelerdeki giriciliği



### 2.3.1 Alfa bozulması

Alfa parçacıkları ( ${}^4_2\text{He}_2$ ), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir.

$\alpha$  -parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonla ifade edilebilir.



Burada A, çekirdeğin kütle numarasını, Z, atom numarasını göstermektedir.

X, ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir.  $\alpha$  bozunmasına bir örnek:



Alfa parçacığı yayınlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıkları, radyoaktif bir çekirdekte  $1,6 \times 10^7$  m/sn gibi büyük bir hızla dışarı fırlatıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altında ve dalga boyları küçük olması sebebiyle bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum vs. yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (BEIR VI, 1999).

Çizelge 2.1'de alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotopların MeV cinsinden enerjileri ve yarı ömürleri verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Alfa parçacığı yayımlayan bazı radyoizotoplar ve özellikleri

Radyoizotop	Alfa Enerjisi (MeV) (Oluşma Yüzdesi)	Yarı Ömrü
${}^{232}\text{Th}$	4,012 (%77) 3,953 (%23)	$1,4 \times 10^{10}$ yıl
${}^{238}\text{U}$	4,196 (%77) 4,149 (%23)	$4,5 \times 10^9$ yıl
${}^{226}\text{Rd}$	4,871 (%100)	1602 yıl
${}^{241}\text{Am}$	5,48 (%85,2) 5,44 (%12,8)	433 yıl
${}^{242}\text{Cm}$	6,11 (%74) 6,06 (%26)	163 gün
${}^{222}\text{Rn}$	5,49 (%100)	3,8 gün

## 2.4 Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir atomun çekirdeğinin bir alfa parçacığı, bir beta parçacığı, bir gama ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlaması ya da çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması işlemine radyoaktif bozunma adı verilir.

Fiziksel açıdan, bir radyoaktif numune içindeki herhangi bir çekirdeğin ne zaman bozunacağını bilmek mümkün değildir. Radyoaktif bozunma zamana göre geliştiği güzel ve rastgele gerçekleşir ve ancak istatistik ve olasılık kuramları çerçevesinde bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım çekirdeklerle tek tek ilgilenmek değil zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak adlandırılmakta ve genellikle  $\lambda$  ile gösterilmektedir. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı  $\lambda$  sabittir.

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır.

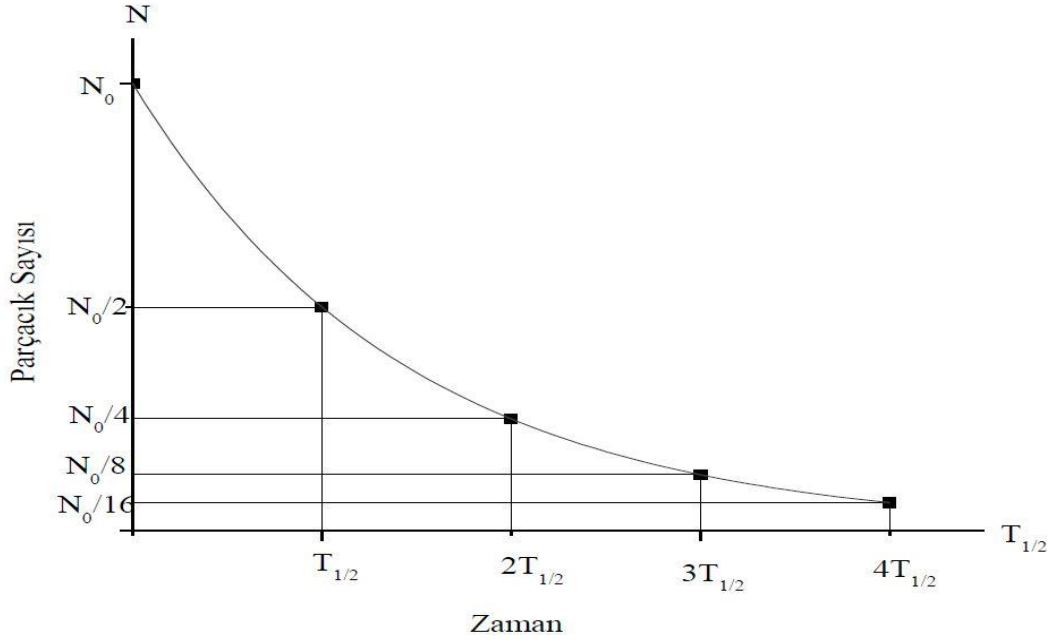
$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.3)$$

Eksi (-) işareti N ile t'nin değişiminin zıtlığından doğar. Denklem 21'deki diferansiyel denklemin çözümünden

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

elde edilir.

Denklem 2.4'te,  $N_0$ ,  $t = 0$ 'da henüz bozunmamış,  $N(t)$  ise t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısıdır (Krane, 2001). Şekil 2.4'te radyoaktif bir numunedeki çekirdek sayısının ( $N(t)$ ), yarılanma zamanıyla ( $T_{1/2}$ ) değişimi gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.** Radyoaktif çekirdek sayısının zamanla değişimi

#### 2.4.1 Radyoaktif numunenin yarı ömrü ve ortalama ömrü

Radyoaktif bozunma yasasını ifade eden denklem (2.3) herhangi bir t anında bozunmadan kalabilen çekirdek sayısını vermektedir. Radyoaktif izotopların sayısının yarıya düştüğü zamana yarı ömür denir. Radyoaktif çekirdeklerin ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek 10-21 sn ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 1017 yıl ile  $^{204}\text{Pb}$  'dür. Yarı ömür ile bozunma sabiti arasında

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.5)$$

bağıntısı vardır.

İstatistiksel karakteri nedeniyle radyoaktif çekirdeklerin ancak ortalama ömründen söz edilebilir.

Ortalama ömür,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

bağıntısından hesaplanır.

Aktiflik A, numunede birim zamanda bozunma sayısı, yani bozunma hızı olarak tanımlanır ve

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

ifadesi ile verilir.

Denklem 2.7'de t = 0 'daki başlangıç aktiflik,  $A_0 = \lambda N_0$  'dır (Krane, 2001).

## 2.4.2 Peşpeşe (ardışık) bozunma kanunu

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif çekirdeklerde hem de yapay olarak üretilen radyoaktif çekirdeklerde parçalanmalar peşpeşe (ardışık) bozunma şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif çekirdek başka bir ürüne bozunur ve eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka bir çekirdeğe bozunur. Birçok durumlarda bu peşpeşe bozunma, ana çekirdeğin ürüne ve ürünün de kararlı bir radyoaktif çekirdeğe bozunması şeklindedir. Ardışık bozunma denklemleri Denklem 2.8'da verilmiştir.

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ \frac{dN_3}{dt} &= -\lambda_2 N_2\end{aligned}\tag{2.8}$$

Denklem 2.8'de  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  ardışık bozunması yapan ve sayıları  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  ile gösterilen çekirdeklerin bozunma sabitleridir.

$t = 0$  iken  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20}$  ve  $N_3 = N_{30}$  olduğu varsayılarak Denklem 2.8'deki denklemler çözülürse  $N_1$ ,  $N_2$  ve  $N_3$  için sırasıyla

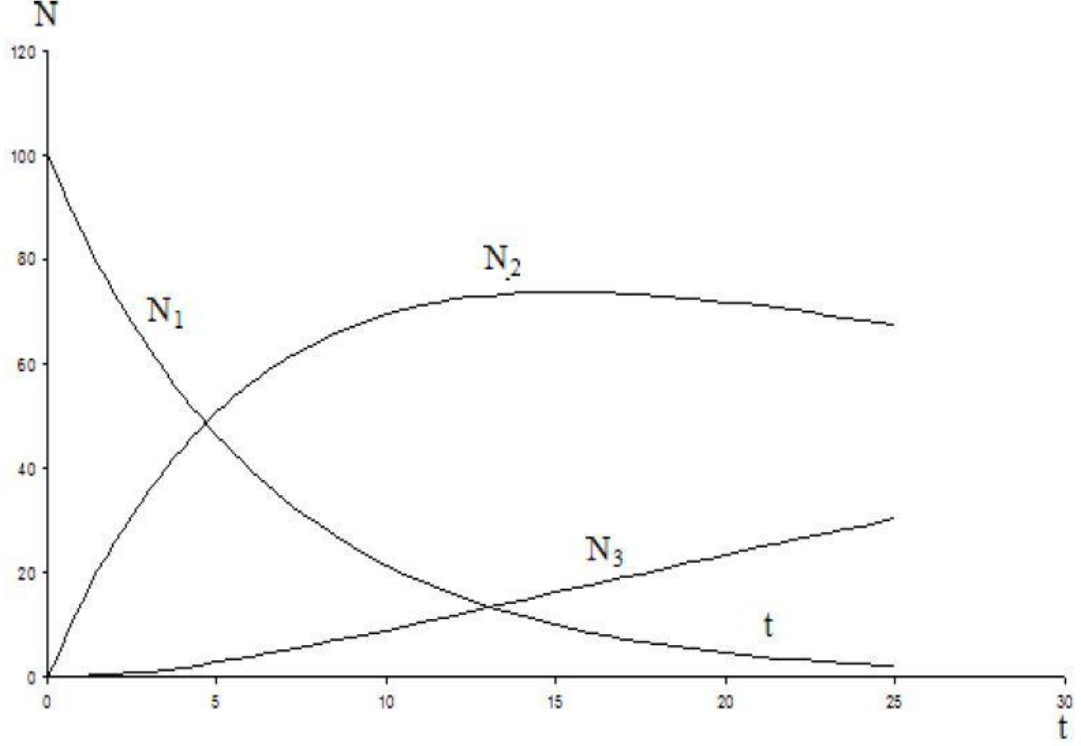
$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t}, \tag{2.9}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}), \tag{2.10}$$

$$N_3 = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \tag{2.11}$$

bulunur (Arya, A., 1999).

(2.9), (2.10), (2.11) denklemleri yardımıyla herhangi bir  $t$  anında mevcut olan çekirdeklerin sayısı bulunabilir.  $t=0$  iken  $N_{10} = 100$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  şartları altındaki oluşan bir bozunmada  $N_1$ ,  $N_2$  ve  $N_3$  'ün  $t$ 'ye göre değişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Peşpeşe bozunmada  $N_1, N_2$  ve  $N_3$ 'ün zamanla değişimi

## 2.5 Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon miktarının ölçülebilmesi için her şeyden önce radyasyonun soğurulmalarını ölçebilecek birimlerin bulunması gerekir.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu'nun (ICRU) 1925 yılından beri yaptığı çalışmalar neticesinde soğurulan doz için Rad, ışınlama için Röntgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise Rem'i özel radyasyon birimleri olarak tanımlamıştır. MKS sistemini esas alan Uluslar albrası Birimler Sistemi'nin (International System of Unit - SI) kabul edilmesi ile ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Çizelge 2.2'de radyasyon terimleri ve özel birimleri ile SI birimleri arasındaki ilişki görülmektedir.

**Çizelge 2.2.** Radyasyon terimleri ve özel birimleri ile SI birimleri (URL-5)

TERİM	ESKİ BİRİMİ	YENİ BİRİMİ	DÖNÜŞÜM
AKTİVİTE	Curie(Ci)= $3,7 \times 10^{10}$ ; parçalanma/ 1 saniye	Becquerel (Bq); parçalanma/ 1 saniye	1 Ci= $3,7 \times 10^{10}$ Bq 1 Ci=37 GBq
IŞINLAMA DOZU	Röntgen(R);normal hava şartlarında ( $0^{\circ}\text{C}$ ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1 kg 'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	Coulomb/kilogram(C/kg); Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.	1 C/kg=3876 R 1 R= $2,58 \times 10^{-4}$
SOĞRULMUŞ DOZ	Radiation absorb doz (rad); Işınlanan maddenin 1kg'ında $10^{-2}$ Joule'luk enerji soğurması meydana getiren bir radyasyon miktarıdır.	Gray(Gy); Işınlanan maddenin 1kg'ında 1 Joule'luk enerji soğurması meydana getiren bir radyasyon miktarıdır.	1 Gy=100 rad 1 rad=0,01 Gy
DOZ EŞDEĞERİ	Röntgen equivalent man; 1 Röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{rem}=(\text{rad}) \times (W_R)^*$	Sievert (Sv); 1Gy'lik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. $\text{Sv}=(\text{Gy}) \times (W_R)^*$	1Sv=100rem 1rem=0,01Sv

\*WR."Radyasyon ağırlık faktörü" olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyon korunma hesaplarını birleştirmek için kullanılan bir faktördür.

### 2.5.1 Aktivite birimi

Aktivite birimi radyasyon etkinliğini (aktivitesini) belirten birimdir.

Yapay radyoizotopların elde edilemediği dönemlerde radyum standart alınıp radyoaktif madde miktarı birimi olarak Curie tanımlanmıştır. Daha sonra Uluslararası Standartlar ve Radyoaktivite Birimleri komisyonu tanımı, bütün radyonüklitler için genişleterek, Curie'yi bir saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarının aktivitesi olarak tanımlamıştır.

SI birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, 1 Bq, saniyede bir parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla Ci ve Bq arasında dönüşüm

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.12)$$

şeklinde dir.

### 2.5.2 Işınlama birimi

Işınlama X ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırma kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Röntgen(R), Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

SI birimlerinde ışınlama birimi olarak Röntgen eşdeğeri karşılığının Coulomb / kg normal hava şartlarında (0 °C ve 760 Hg basıncı) havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve - iyonlar oluşturan X ve  $\gamma$  radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ C / kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R} \quad (2.13)$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg} \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir

### 2.5.3 Soğurulmuş doz birimi

Soğurulmuş doz birim kütle başına depolanan enerji miktarıdır. Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyoaktif bir madde tarafından salınan radyasyon etkileştiği maddelere enerjisini bırakmaktadır. Birimi rad'dır. 1 rad=100 erg/gr 'a eşittir. SI birimlerinde 1 kilogramlık maddeye 1 joule'luk enerji bırakan radyasyona 1 Gray (Gy) adı verilmiştir. Rad ve Gy arasındaki ilişki

$$1 \text{ Rad} = 0,01 \text{ Gy} \quad (2.15)$$

şeklindedir.

### 2.5.4 Eşdeğer doz birimi

Eşdeğer Doz, vücutta yutulan radyasyonun tipine ve enerjisine göre yaptığı biyolojik hasarları da (etkileride) içeren bir kavramdır. Yutulan ağır parçacıklar hücrelere daha fazla zarar verirken, hafif parçacıklar daha az zarar vermektedir. Dolayısıyla doz eşdeğerini göstermek, radyasyon türünü ve enerjisini de hesaba katarak radyasyonun biyolojik etkisini belirtmek için,

$$\text{Eşdeğer Doz} = D \times Q \quad (2.16)$$

bağıntısıyla tanımlanmıştır. Denklem 2.16' da D, soğurulan Doz, Q ise yutulan radyasyon türünü ve enerjisini dikkate alan radyasyon kalite çarpanıdır. Eşdeğer Doz için önceleri kullanılan birim **Rem**, bugün kullanılan SI bsistemindeki karşılığı ise **Sievert (Sv)** tir. Doğada, günlük hayatta karşılaştığımız radyasyon seviyelerine göre Sv çok büyük bir miktardır. Bu nedenle miliSievert (**mSv**) kullanımı daha yaygındır. **Rem** ve **Sv** arasındaki ilişki,

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J/kg} \quad (2.17)$$

şeklindedir.

Çizelge 2.3'te bir senede maruz kalınabilecek eşdeğer doz sınırları gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Kişilere yıllık müsaade edilen maksimum doz miktarları (URL-6)

<b>MÜSAADE EDİLEN MAKSİMUM DOZ</b>			
		<b>Radyasyon Çalışanları</b>	<b>Toplum üyesi kişiler</b>
<b>Etkin Doz Sınırı</b>	<b>Ardışık 5 yılın ortalaması</b>	20 mSv	1 mSv
	<b>Herhangi bir yılda</b>	50 mSv	5 mSv
<b>Yıllık Eşdeğer Organ Dozu Sınırı</b>	<b>Göz Merceği</b>	150 mSv	15 mSv
	<b>Deri</b>	500 mSv	50 mSv
	<b>Eller ve ayaklar</b>	500 mSv	50 mSv
<b>Hamile bir radyasyon çalışanınin abdomen Eşdeğer dozu</b>		Hamileliğin bildirilmesinden sonra 2 mSv	

## 2.6 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Bu değer, insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayılan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kaldığı gerekse yediği gıdalar ve soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak suretiyle bir yıl içerisinde alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır ve birimi Sievert'tir.

Her radyonüklitin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak, her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenir ve birim hacim veya ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur.

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü evlerinde veya genel olarak kapalı ortamlarda geçirmektedirler. Bu da insanların radondan dolayı maruz kaldığı yıllık ortalama ev içi etkin doz hesabı yapılırken önemli bir kriterdir. İnsanlar zamanlarının %80'ini evlerinde geçirirler. Bu yüzden radondan dolayı maruz kalınan etkin doz hesabı yapılırken, aşağıda kullandığımız formülde insanların bina ya da evde kaldıkları zaman yani işgal faktörünü 0,8 olarak alınmıştır. Radondan dolayı maruz kalınan **yıllık etkin doz** hesabı denklem (2.18)'dan hesaplanır (UNSCEAR, 2000).

$$\text{Doz} = C * E * F * T * D \text{ (mSv/yıl)} \quad (2.18)$$

C: Radon Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)

E: Denge Faktörü (ev için 0,4)

F: İnsanların bina ya da evde kaldıkları zaman (işgal faktörü) (0,8)

T: Bir yıllık zaman (8760 saat/yıl)

D: Doz dönüşüm faktörü [ 9 x 10<sup>-6</sup> mSv(Bq/m<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup>]



$$E.F.T.D = 0,0252288$$

Ev içinde yılda 7000 saat vakit geçirildiği, denge faktörü 0,4 ve işgal faktörü %80 varsayılarak  $1 \text{ Bq/m}^3$  eşdeğeri  $1,56 \times 10^{-2} \text{ mJ.h.m}^{-3}$ 'dür. ICRP radon doz dönüşümüne göre  $100 \text{ Bq/m}^3$ 'te yıllık etkin doz 1,72'dir. Aynı şekilde ev içinde yılda 7000 saat vakit geçirildiği, denge faktörü 0,4 ve işgal faktörü %80 varsayılarak, ICRP yayınına göre akciğere giren  $100 \text{ Bq/m}^3$ 'te yıllık radon konsantrasyonu 2,5 mGy'dir (Çizelge 2.4, Chen,J., 2005).

**Çizelge 2.4.** Farklı konsantrasyonlardaki tahmini radon dozları özeti (Chen,J., 2005)

Radon Konsantrasyonu $\text{Bq/m}^3$	100	200	400	600	800
ICRP "Risk Eşdeğeri" radon dozu, mSv	1,7	3,4	6,9	10	14
UNSCEAR tarafından tavsiye edilen radon dozu, mSv	2,5	5	10	15	20
Radon etkin dozu (dozimetrik), mSv	6	12	24	36	48
Akciğere giren radon etkin dozu ( $W_r=20$ ), mSv	50	100	200	300	400
Akciğere giren radon etkin dozu ( $W_r=10$ ), mSv	25	50	100	150	200

## 2.7 Radyasyon Kaynakları

Çevredeki doğal ortam, insanın maruz kaldığı en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının %85'i doğal, %15'i yapay radyasyondan kaynaklanmaktadır (URL-7).

### 2.7.1 Doğal radyoaktivite ve doğal radyasyon kaynakları

Doğal radyoaktiflik çevremizde, toprakta, havada, suda ve bitkilerde yaygın miktarda bulunmaktadır. İnsanlar ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmaktadır (Şekil 2.6).

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların

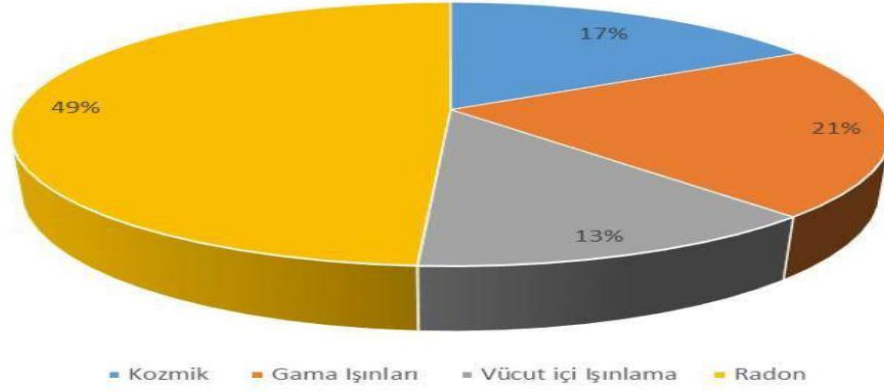
araştırılmaya başlanması ile hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonun yanı sıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonda hangi oranlarda maruz kaldıklarının tespiti açısından önemlidir.



**Şekil 2.6.** Yıllık doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon miktarları (TAEK, 2002)

Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak kozmik ışıklardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır.

Şekil 2.7’de Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri görülmektedir.  $^{238}\text{U}$  elementinin bozunma ürünü olan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) gazı olup %49 luk bir oranla en büyük etkiye sahiptir. Kozmik ışıklar %17 ve gama ışınları ise %21 lik oranla önemli yer tutmaktadır (URL-8).



**Şekil 2. 7.** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (URL-8)

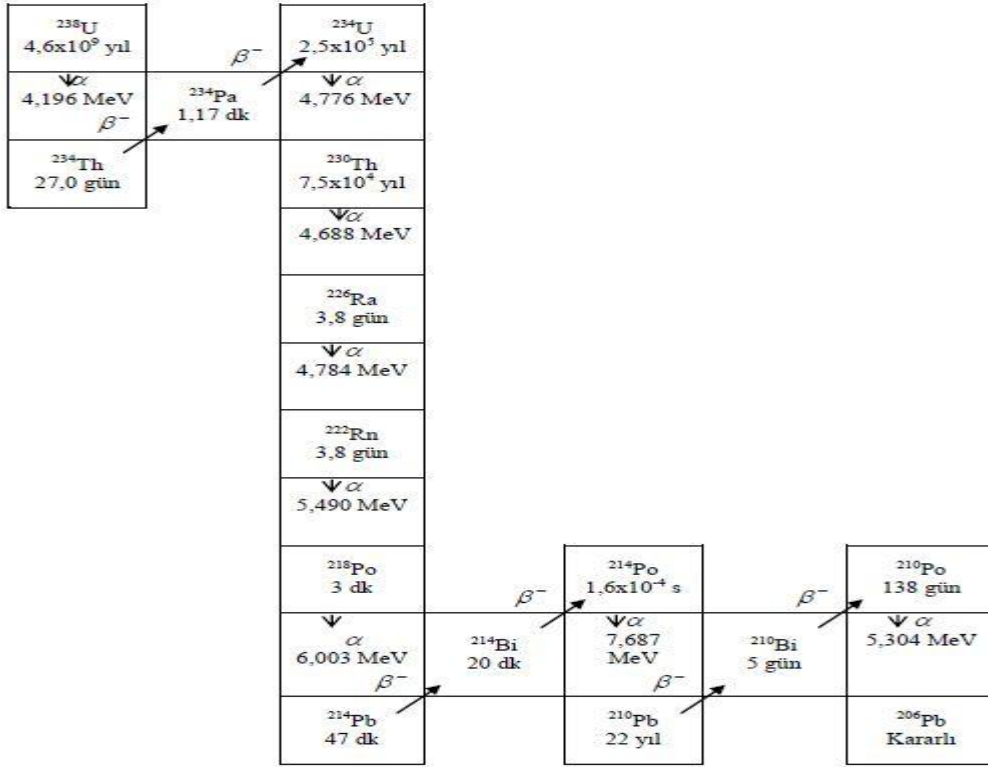
Uzun ömürlü doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır elementlerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu radyoaktif çekirdekler  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  ışınları yayınlamaya sonuça kararlı bir çekirdeğe ulaşırlar. Bozunma süreci çekirdeği, zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından dünya'nın yaşı mertebesindeyse bu aktiflik bugün de gözlenebilmektedir. Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar şu radyoaktif serilere üyedir: Toryum, Uranyum Aktinyum ve Neptünyum (Çizelge 2.5).

**Çizelge 2.5.** Doğada bilinen dört radyoaktif seri

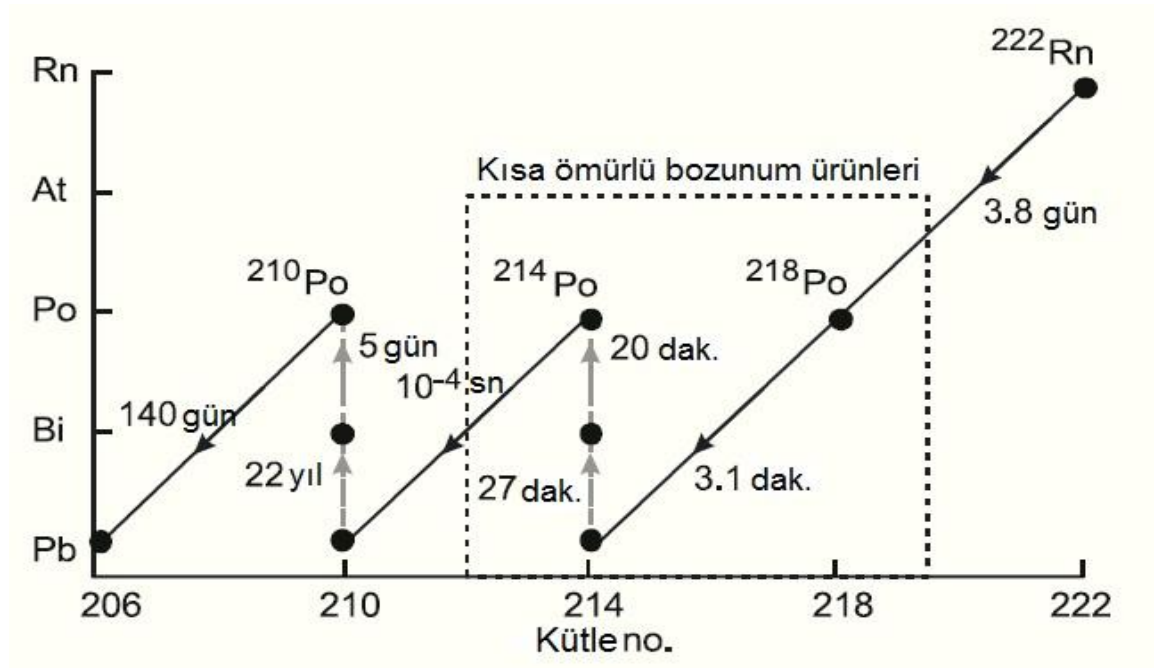
Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür(yıl)
Toryum	$4n$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	$4n+1$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n+2$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n+3$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. Bu serinin diğer serilere nazaran yarılanma ömrü ( $2,14 \times 10^6$  yıl) daha kısa olup üyeleri tabiatta doğal olarak bulunamazlar ve nükleer reaksiyonlar neticesinde yapay olarak üretilebilirler (Krane, 2001).  $n$  bir tamsayı olmak üzere bu doğal radyoaktif seriler sırayla  $4n$ ,  $4n+2$ ,  $4n+3$  ve  $4n+1$  ile temsil edilirler. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Uranyum, Toryum ve Aktinyum sırasıyla Kurşunun kararlı olan  $^{206}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{208}_{82}\text{Pb}$  ve  $^{207}_{82}\text{Pb}$  çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan  $^{209}_{83}\text{Bi}$  bizmuta dönüşür. Şekil 2.8'de

Uranyum ( $^{238}\text{U}$ ), serisine ait yarı ömürler, bozunma çeşitleri ve maksimum bozunma enerjileri ile Şekil 2.9'da bu serinin üyesi olan  $^{222}\text{Rn}$ 'nin daha ayrıntılı bozunma şeması verilmektedir.



Şekil 2.8. Uranyum (4n+2) serisi (Arya, A., 1999)



Şekil 2.9. Radonun bozunma şeması (URL-9)

Çizelge 2.6’da dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri verilmektedir. Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'in üzerindedir.

**Çizelge 2.6.** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (URL-8)

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri ( mSv )	
	Ortalama	Değişim Aralığı
<b>KOZMİK RADYASYON</b>		
•Foton bileşeni	0,28	
•Nötron bileşeni	0,10	
<b>KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR</b>	0,01	0,3 – 1,0 (a)
Toplam	0,39	
<b>YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA</b>		
•Bina dışı	0,07	
• Bina içi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 (b)
<b>SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA</b>		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon ( Rn -222)	1,15	
• Toron ( Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 (c)
<b>BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA</b>		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 (d)
<b>GENEL TOPLAM</b>	2,4	1 – 10
(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı		
(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı		
(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı		
(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı		

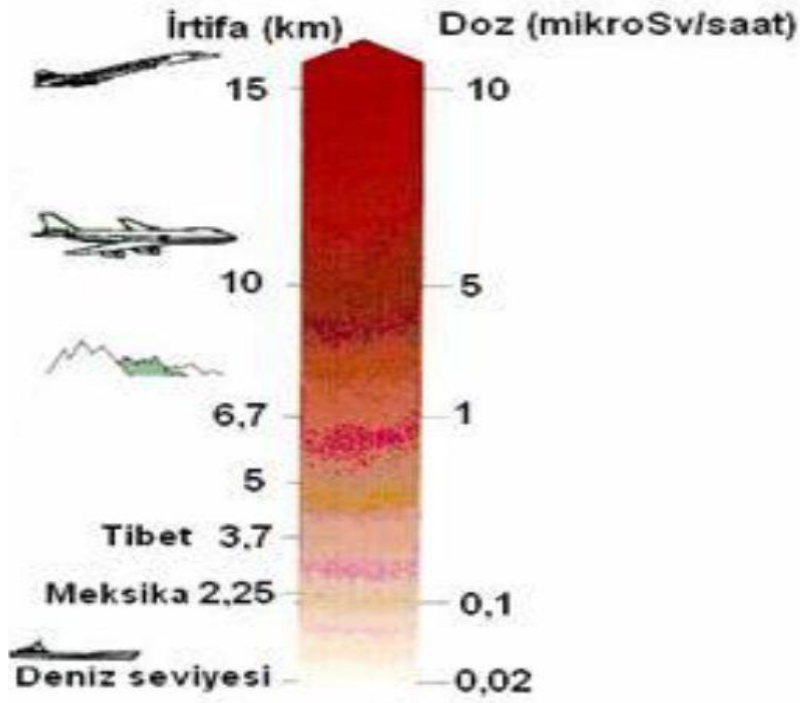
### 2.7.1.1 Kozmik radyasyonlar

Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna (güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe (irtifa) bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar.

Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarı da azalır. UNSCEAR tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır (URL-8).

İnsanların büyük çoğunluğu rakımı düşük bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bununla birlikte dünyada önemli sayılabilecek yoğunlukta nüfus barındıran yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların aldıkları yıllık dozlar deniz seviyesinde yaşayan insanlara oranla birkaç kat daha fazla olabilir (Örneğin And Dağlarındaki Quito ve La Paz, Himalayalardaki Lhasa). Şekil 2.10' da kozmik ışınlardan alınan radyasyonun dozunun yüksekliğe göre değişimi görülmektedir.

Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu uçuş süresine, uçuş rotasına ve irtifaya bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık dozun üzerine 0,01 mSv 'lik ek doz alınmasına sebep olur ancak, dünya ortalaması olan 0,4 mSv değerini etkilemez.



Şekil 2.10. Kozmik ışınlardan alınan dozun yüksekliğe göre değişimi (URL-10)

Yüksek enerjili kozmik ışınlara ait nötronlar ve protonlar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak bu bölgelerde de atmosferde bulunan elementlerle etkileşerek çeşitli



radyoizotoplar (trityum, karbon-14, berilyum-7, sodyum-22) oluşturabilmektedir. Çizelge 2.7’de bazı kozmik radyonüklitler verilmektedir. Atmosferik şartlara bağlı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile iç ışınlanmaya neden olurlar. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz değerleri trityum için 0,01  $\mu\text{Sv}$ , berilyum-7 için 0,03  $\mu\text{Sv}$ , karbon-14 için 12  $\mu\text{Sv}$  ve sodyum-22 için 0,15  $\mu\text{Sv}$  ' dir.

Gerçekte kozmik radyasyon birincil (primer) ve ikincil (sekonder) olmak üzere iki kısma ayrılmıştır.

Dış uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili radyasyon birincil (primer) kozmik ışınlar olarak bilinir. Bunlar, atmosferde atom çekirdekleri ile etkileşmeye girdiğinde ikincil (sekonder) kozmik ışınlar olarak adlandırılan ikincil parçacıklar ve elektromanyetik radyasyon üretilir.

**Çizelge 2.7.** Kozmik radyoizotoplar (URL-1)

Radyoizotoplar	Sembol	Yarı ömür	Kaynak	Doğal aktivite
Karbon-14	$^{14}\text{C}$	5730 yıl	Kozmik ışın etkileşimleri $^{14}\text{N}(n,p) ^{14}\text{C}$	6pCi/g (0,22 Bq/g) organik maddelerde
Trityum-3	$^3\text{T}$	12,3 yıl	Kozmik ışınların N ve O ile etkileşimi; kozmik ışın saçılmaları, $^6\text{Li}(n, \alpha ) ^3\text{H}$	0,032 pCi/kg ( $1,2 \cdot 10^{-3}$ Bq/kg)
Berilyum-7	$^7\text{Be}$	53,28 gün	Kozmik ışınların N ve O ile etkileşimi	0,27 pCi/kg (0,01 Bq/kg)

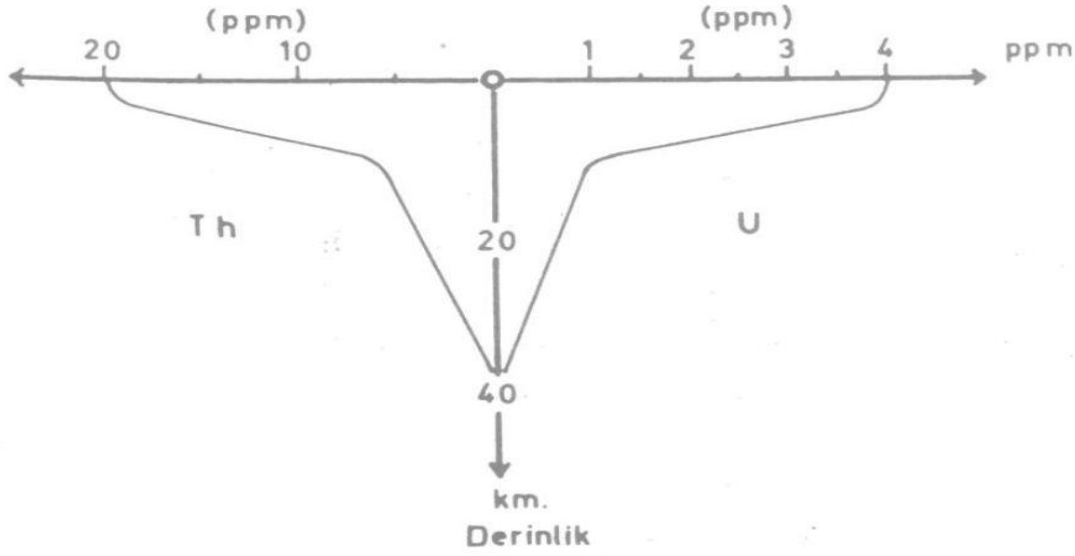
### 2.7.1.2 Karasal radyasyonlar

Doğal olarak oluşan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerindeki radyonüklitler ile  $^{40}\text{K}$  çevremizde değişik seviyelerde bulunmaktadır ve bu radyoaktif elementler karasal radyasyonun büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar.

Doğal radyonüklitlerin ana kaynağı toprak ve toprağı oluşturan jeolojik kaya yapıları olup daha çok granit, fosfat, volkanik ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar zamanla ufalanarak toprağı karışırlar ve topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına sebep olurlar. Dünyanın yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarına rastlanır. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmı 0-25 cm derinliğindeki toprak tabakasından kaynaklanmaktadır (Karahana, 1997).

Şekil 2.11 U, Th ve K gibi radyoaktif elementlerin yerin üst kabuğuna taşınmalarını göstermektedir. Günümüze dek ulaştığımız jeokimyasal ve jeofiziksel bilgi düzeyi U,

Th ve K gibi uyumsuz elementlerin üst kabuğa taşınmalarına, dolayısı ile alt kabuğun bu elementlerce tüketilmiş olmalarına neden olmaktadır (Çağatay, 1994).



**Şekil 2.11.** Toryum ve Uranyumun yerin üst kabuğu içinde dağılımı (Çağatay, 1994)

$^{238}\text{U}$  birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı  $^{206}\text{Pb}$  haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu ( $^{222}\text{Rn}$ ) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve  $^{232}\text{Th}$ , başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Bazı bölgelerde geniş alanlara yayılmış olan granit kayalar önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir. Çizelge 2.8'de bazı toprakların (UNSCEAR, 2000) içerdiği radyoaktivite düzeyleri verilmektedir. Yerkabuğunun ağırlık olarak %2,4'ünü oluşturan  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu genelde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'den büyüktür.

**Çizelge 2.8.** Bazı kayaç türlerindeki ve topraklardaki ortalama radyoaktivite konsantrasyonları (UNSCEAR, 2000)

Kayaç Türü	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Granit	35	70	1200
Bazalt	12	15	230
Kireçtaşı	25	8	70
Toprak	35	30	400



## 2.8 Radon

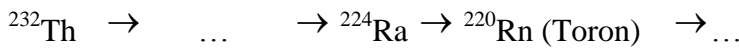
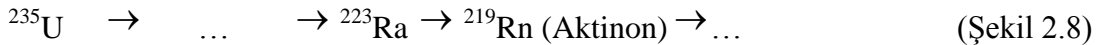
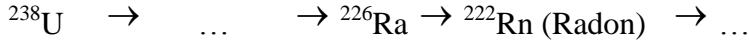
Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radon kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Erime noktası  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kaynama noktası ise  $-61,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir (URL-9).

Radon'un nükleer özellikleri Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 2.9.**  $^{222}\text{Rn}$  nükleer özellikler tablosu (Krane, 2001)

Z	A	Atomik Kütle (u)	$I^{\pi}$	Bolluk veya Yarı-ömür
<b>Rn 86</b>	<b>207</b>	<b>206.990690</b>	$\frac{5}{2}^{-}$	<b>9.3 dak (<math>\epsilon</math>)</b>
	<b>210</b>	<b>209.989669</b>	$0^{+}$	<b>2.4 h (<math>\alpha</math>)</b>
	<b>211</b>	<b>210.990576</b>	$\frac{1}{2}^{-}$	<b>14.6 h (<math>\epsilon</math>)</b>
	<b>212</b>	<b>211.990697</b>	$0^{+}$	<b>24 dak (<math>\alpha</math>)</b>
	<b>218</b>	<b>218.005580</b>	$0^{+}$	<b>35 ms (<math>\alpha</math>)</b>
	<b>222</b>	<b>222.017571</b>	$0^{+}$	<b>3.82 gün (<math>\alpha</math>)</b>
	<b>224</b>		$0^{+}$	<b>107 dak (<math>\beta^{-}</math>)</b>

Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Radonun  $^{222}\text{Rn}$  (radon),  $^{220}\text{Rn}$  (toron),  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon) olmak üzere üç izotopu bilinmektedir. Bunlar sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{235}\text{U}$ 'in radyoaktif parçalanması sonucunda oluşmaktadır.

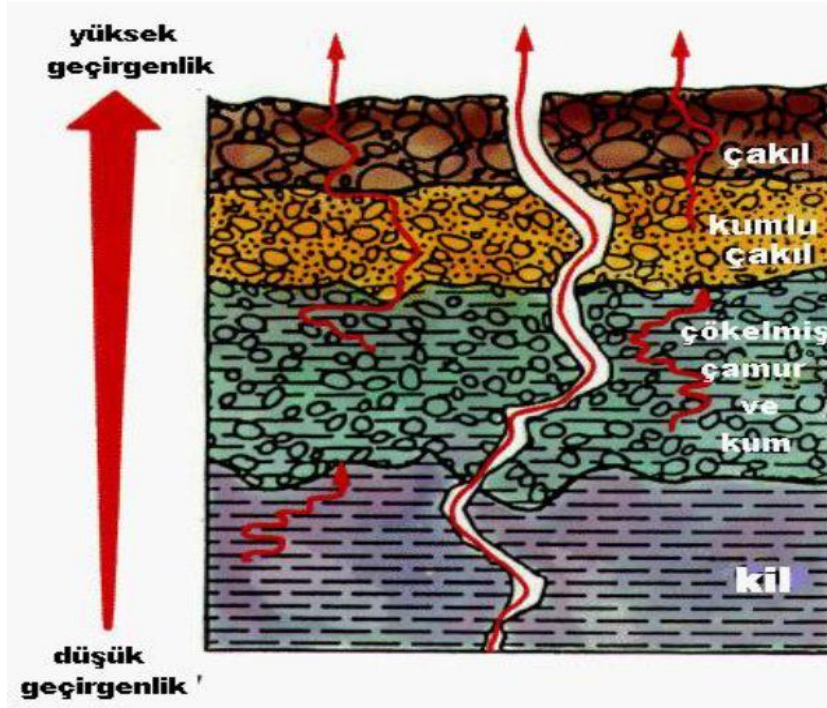


Radonun yarılanma ömrü 3,82 gün, toronun yarılanma ömrü 55,6 saniye ve aktinonun yarı ömrü 3,96 saniyedir. Aktinonun yarı ömrünün çok kısa ve doğal uranyumdaki  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  oranının 0,00725 gibi çok düşük seviyelerde olması sebebiyle havada oluşturacağı konsantrasyon seviyesi düşük olacaktır (Yeşilbağ, 2008).

### 2.8.1 Doğal radyoaktif radon gazının yeryüzüne yükselişi

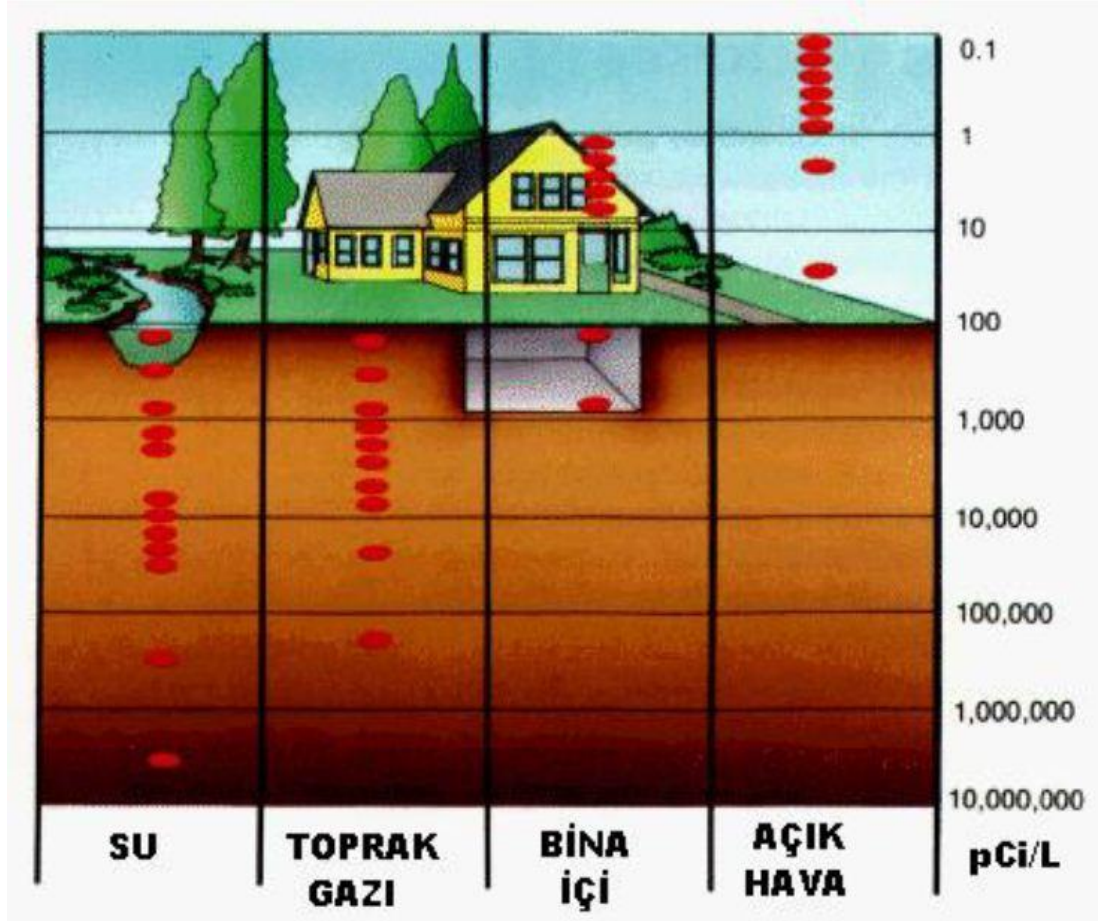
Radon doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. Coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Radon gazı, Şekil 2.12'te görüldüğü gibi kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0,1 pCi / litrelik bir ortalama radon konsantrasyonu

bulunmaktadır. Yer kabuğundaki kayalarda bulunan Radon ya doğrudan gaz olarak ya da yeraltı suyundan çözünerek yeryüzüne ulaşır (Özmen, 1995).



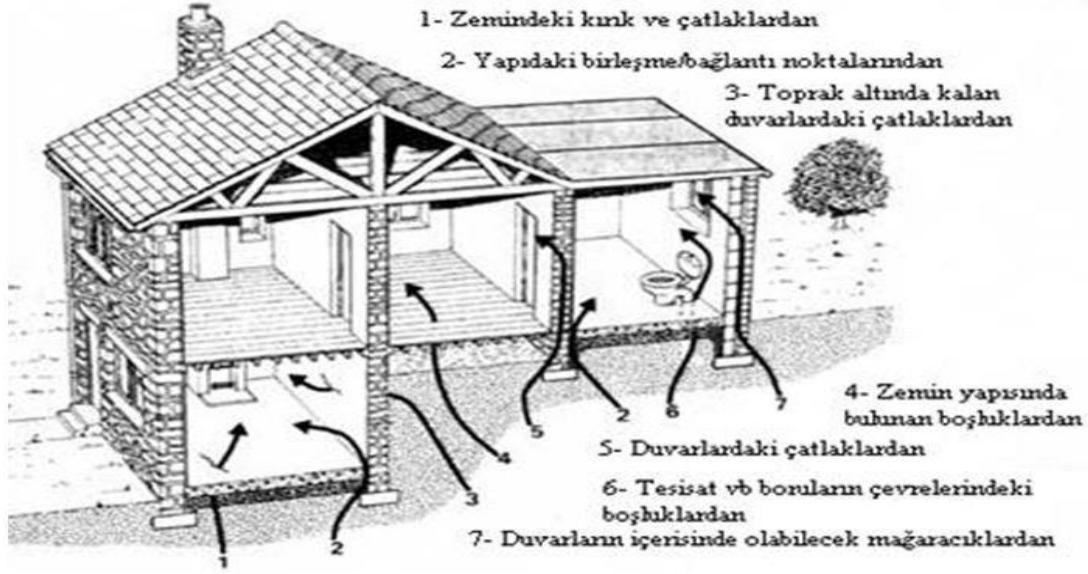
Şekil 2.12. Farklı katmanların radon gazı geçirgenliği (URL-11)

Radyoaktivite yeraltında iki şekilde gözlenir. Bunlar geçici ve kalıcı radyoaktivitedir. Sıcak sulara gözlenen radyoaktivite genellikle geçici radyoaktivitedir. Geçici radyoaktivite suların radyoaktif kütlelerden geçerken kazandığı radyoaktivitedir. Sürekli radyoaktivitede ise radyoaktif elementlerin ışıması sonucu oluşan radyoaktivitedir. Suyun radyoaktifliği, suda çözülmüş halde bir veya birkaç radyoaktif elementin bulunmasından ileri gelmektedir. Radon gazının nispeten uzak mesafelere göçü ancak sulu ortamlarda mümkün olmaktadır. Yerkabuğu içindeki radyoaktif elemanların difüzyona uğraması sonucu kayalarda ve bunlar içindeki sulara radyoaktivite oluşmaktadır. Suların içindeki radon derin kökenli değildir. Çünkü bu gazın suda erimesi sıcaklık yükselince birdenbire azalmaktadır. Geldiği yerlerin 100 °C den az sıcaklıkta olması gerekir. Bu yüzden soğuk ve ılık sular daha çok radyoaktiftir. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi radon difüzyon sonucunda kayaç çatlaklarında taşınma ile günde 100 m kadar göç etmektedir (Özmen, 1995).



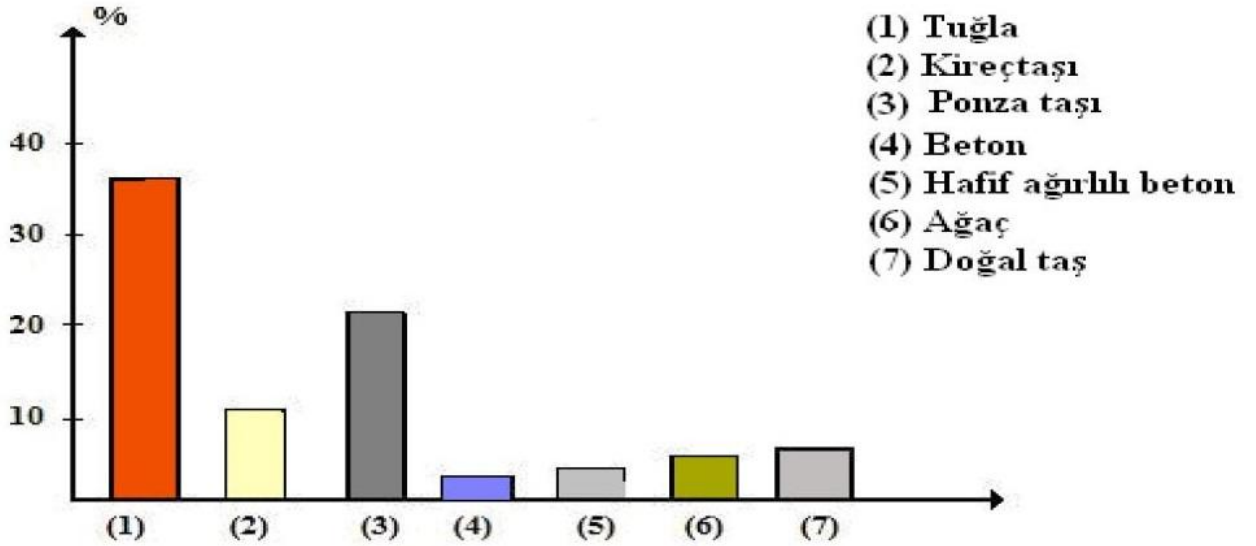
**Şekil 2.13.** Radon konsantrasyonunun ortamlara göre değişimi (URL-11)

Topraktan havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktörü olarak belirmektedir. Normal atmosferde hava olaylarına bağlı olarak düşük konsantrasyonlara ulaşır. Ancak kapalı ortamlarda veya radyoaktif su kaynaklarından oluşan kapalı havuz sistemlerinde yüksek konsantrasyona ulaşabilir. Binalarda birikebilmekte ve kimi zaman yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir (Kulalı, 2009).



**Şekil 2.14.** Radon gazının topraktan bir eve giriş yolları

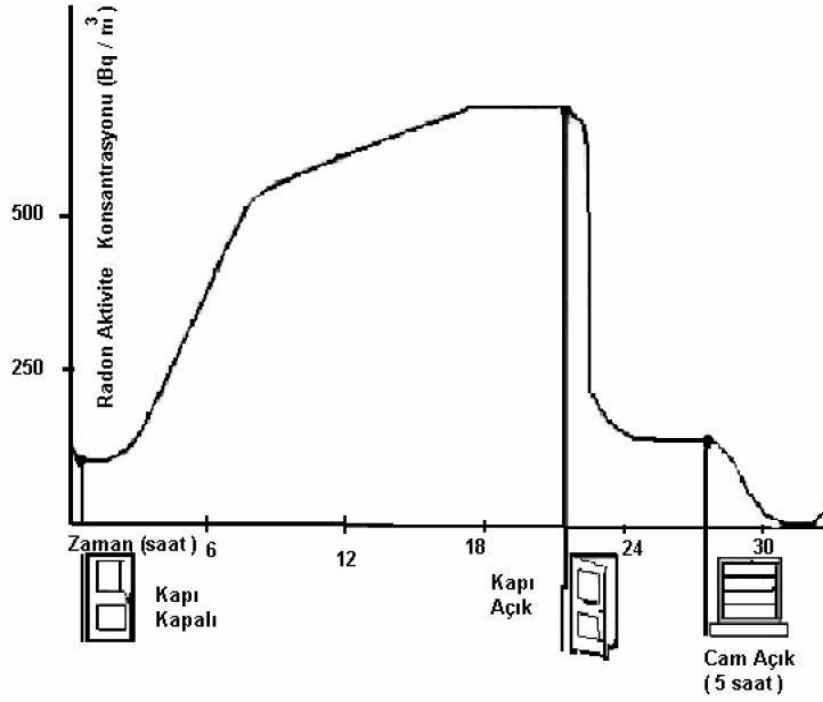
Radon gazı, toprak boyunca yükselerek, binanın altında hapsolmakta ve basınç oluşturmaktadır. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, özellikle çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar (Şekil 2.14).



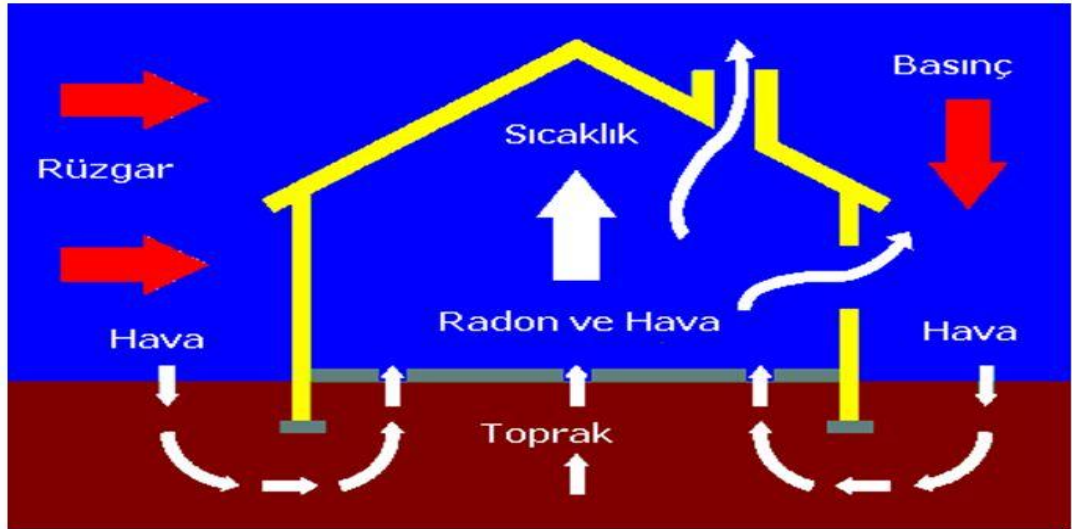
**Şekil 2.15.** Almanyada yapı malzemelerinin farklı türleri için radon seviyesi 100 Bq/m<sup>3</sup> aşan evlerin bağlı sayısı (Heller and Poulheim, 1992; Durani and Bull, 1987)

Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra-226 miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-

dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır (Şekil 2.15). Bina içi radon konsantrasyonunun havalandırma ile değişimi deneysel olarak gözlemlenmiştir ve Şekil 2.16’da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Radon konsantrasyonunun havalandırma ile değişimi (URL-12)

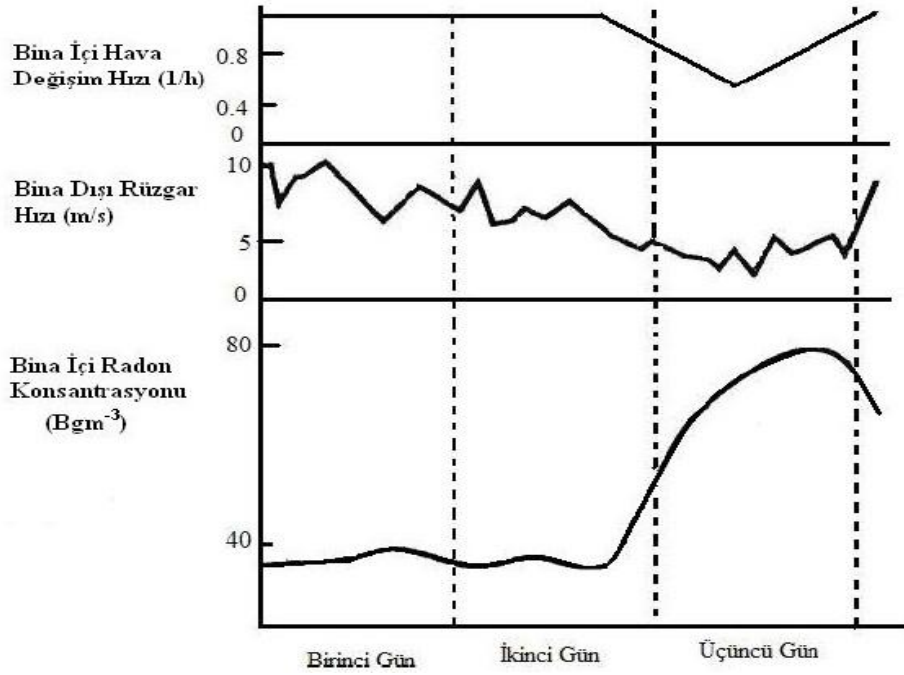


Şekil 2.17. Radon sıcaklık (basınç) ilişkisi

Özellikle soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalarda için de geçerli olduğu için radon oranı içerde artar. Yaz aylarında ise iyi



havalandırılmış işyeri ve evlerde dışarı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon seviyesi azalır (Şekil 2.17).



**Şekil 2.18.** Bina içi radon konsantrasyon düzeyinin dış rüzgar hızıyla ilişkisi (Jönsson, 1992; Durani, 1987)

Yağış, basınç ve diğer etkenler radon düzeylerinde aylık hatta günlük farklılıklara neden olabilirler.

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %90'ını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar

Havadaki radonun ana kaynağı topraktaki radonun sızıntısıdır. Toprağın yapısal özellikleri, nemi sıcaklığı ya da meteorolojik koşullar radon konsantrasyonunu etkiler (Şekil 2.18). Radon hareketi ilk olarak toprak gözeneklerinin içindeki sızıntılarla başlar (Şekil 2.12).

Radon gaz formunda olduğu için, uranyum ve radyum'dan çok daha fazla hareketlidir. Radonun hareketliliği, toprağın nem içeriği, toprağın gözenekliliği ve

toprağın geçirgenliğine bağlıdır. Dolayısıyla radon en kolay kum ve çakıl gibi iri taneli malzemeler içerisinde hareket eder. Bu sebeple, granit kayalarda en yüksek radon konsantrasyonu ve bazalt kayalarda ise en düşük radon konsantrasyonu saptanmıştır (Şekil 2.8). Radon suda, topraktakta olduğundan daha yavaş hareket eder. Bu nedenle, kuru ya da yüksek geçirgenlikli toprak ya da kayaların üzerine inşa edilen evlerin daha yüksek radon konsantrasyonu taşınması muhtemeldir (Şekil 2.12). Gözenekli malzemeler vasıtasıyla radonun hareketi konsantrasyondaki farklılık ve basınç gradyanı ile yönelir. Radonun hareket mekanizması difüzyon ve konveksiyonla olur. Difüzyon süreci, radonun atmosfere tahmini hacimsel üretim oranı  $0,027 \text{ Bq.s/m}^3$  ve tahmini yaklaşık akı  $0,026 \text{ Bq.s/m}^2$  olan girişimim ile konveksiyon üzerinde bir baskınlık oluşturmaktadır (Yumurtacı, E., 2014).

Radon ve ürünlerinin konsantrasyonu atmosferde fazlasıyla değişkendir. Bu değişkenlik sonraki ortam konsantrasyonundaki değişkenliğe çok etki eder. Havadaki radon konsantrasyonu günlük olarak değişmektedir. Bu değişim gündüz minimum gece ise maksimumdur. Hava gün vakitleri içinde genel olarak sabahın erken saatlerinde soğuktur ve ağırdır. Bu nedenle radon konsantrasyonu da yüksektir. Gün içerisinde sıcaklıktaki artış havanın ısınmasına ve dolayısıyla yükselmesine neden olur. Böylece ortamdaki radon konsantrasyonu, üst atmosfer katmanlarına doğru hareket ederek azalır. Atmosferdeki radon konsantrasyonu, yayılma etkisiyle topraktakine göre daha düşüktür. Bununla beraber radon konsantrasyonu her bölgedeki farklı meteorolojik özelliklerden dolayı değişiklik gösterir.

Yağış, havadaki radon konsantrasyonunu azaltır. Çünkü yüksek miktarda radon suyun içinde çözünerek toprağın içine sızar.

Baraj ile benzeri açık su kaynakları (ve dolayısıyla kentsel su kaynakları) atmosfere doğrudan açık olduğu için radon konsantrasyonları düşüktür.

Yer altı suları genellikle tortul kayalardan beslendiği için bu suların düşük radon konsantrasyonuna sahip olması beklenir. Ancak küçük su kaynakları ve şahsa ait kuyular gibi kapalı sistemde muhafaza edilen kaynaklardaki radon konsantrasyonu yüksek değerlerde olabilir.

İyonize radyasyona maruz kalmamızın en büyük nedeni bina içi radon ve radonun bozunma ürünleridir. Akciğerlerde ışıma yapan radonun kısa ömürlü bozunum ürünleri (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) akciğer kanseri riskini artırır.

Bina içine sızan radon konsantrasyonunun binanın yapı malzemesi kadar binanın temelindeki toprak ve kayalar ile binanın etrafındaki su kaynakları da etkiler

(Şekil 2.12 ve 2.13). Bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen en önemli faktörlerden biri de havalandırmadır. Evlere sızan konsantrasyon miktarı, toprağın gözeneklerinden ve kayaçlardan çıkan radon miktarına bağlıdır. Radon gazının taşınımını, toprağın geçirgenliği kadar toprağın gözenek boyutları da etkiler. Radon gazı bina içine zemindeki çatlaklardan yayılır. Bina zeminindeki sadece %1'lik bir boşluk ya da çatlak evin içindeki radon difüzyon oranında %20'lik bir artış sağlayabilir (Yumurtacı, E., 2014).

Bina içine giren radon konsantrasyon oranı bina duvarlarında ve bina zemininde kullanılan malzemelere de bağlıdır (Şekil 2.14, Şekil 2.15). Boşluk ve çatlaklardan difüzyonla radon girişinin  $37 \text{ Bq.s/m}^3$  olduğu bir bina temelinde, temele atılan betondan sonra radon girişin  $2,6 \text{ Bq.s/m}^3$  'e düştüğü görülmüştür (Yumurtacı, E., 2014). İri taneli toprak büyük boşluklara ve yüksek geçirgenliğe sahiptir. Binaya giren radon konsantrasyonun oranı zeminin koşulları ve toprağın geçirgenliği ile büyük ölçüde değişir. Dolayısıyla binanın yapısal özellikleri binaya giriş yapan radon konsantrasyonunda yüksek değişkenlik sağlar. Ayrıca bodrum katına yakın olan birinci ve ikinci katlardaki evler, kayaç ve toprakla temas eden zemine yakın bağlantıda oldukları için bu evlerde de giren radon konsantrasyonu oranında artış görülür.

Konveksiyon da bina içi radon konsantrasyonunu etkiler. Basınç ve havalandırma radon konsantrasyonunu değiştiren faktörlerdendir. Konveksiyon bina içine giren radon konsantrasyonunun giriş mekanizması olan difüzyon ile doğrudan bağlantılıdır.

Radonun yeni binalarda ve mevcut binalara girişini engellemek amacıyla kurulan radon kontrol sistemini üç farklı ilkeye dayandırabiliriz:

- 1- Binanın zemininde membran ya da radon bariyeri uygulanmalı
- 2- Binanın zemininin havalandırılması için toprak basıncını almak suretiyle bina içi hava ve toprak arasındaki basınç farkını aktif (fanla) ya da pasif (fansız) yöntemlerle dengeleme
- 3- Hem kullanılan hem de kullanılmayan odaları havalandırma (Jelle, 2012).

Sonuç olarak bina içi radon konsantrasyonunu etkileyen faktörleri; meteorolojik faktörler, topraktaki ve yer altı sularındaki yüksek radon konsantrasyonları ve yapı malzemelerinin seçimi olarak sıralayabiliriz.



## 2.8.2 Termal sularda radyoaktivite ve radon

Yeraltı suları, içerisinde geçtikleri kayalardan radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanırlar. Yeraltı sularında en çok rastlanan radyoaktif elementler  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{235}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$ 'dir. Ayrıca,  $^{238}\text{U}$ 'in bozunumu sonucunda ortaya çıkan  $^{222}\text{Rn}$  (radon),  $^{226}\text{Ra}$  ile beraber kozmik ısınların etkisiyle radyoaktif özellik kazanan  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$  ve  $^{40}\text{Ar}$  da yer altı sularında bulunabilir (Camgöz, 2010).

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10.000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artar.

Doğal radyoaktivite olan alfa radyoaktivitesi, suların uranyum ve toryum elementini içeren ortamlarla teması sonucu yüksek seviyelere ulaşır. Uranyum, toryum, radyum ve radonun zengin olarak bulunduğu kayaç grupları ise metamorfik kayaçlar, granit türü kayaçlar, organik madde içeren tortullar, kumtaşları ve karbonatlı tortul kayaçlardır. Ayrıca, bu tür kayaçlardaki fay zonlarının ayrışmanın yoğun olarak gözlemlendiği ve suların depolanmasına elverişli yerler olmasından dolayı bu bölgelerde depolanan sulara radyoaktif elementlerin geçmesi kolaylaşır (Varol, 2011).

Radyoaktif elementlere, magmatik oluşumlarda, kil ve şeyl gibi tortul kütlelerde de rastlanır. Kum-çakıl, kumtaşı, çatlaklı kireçtaşı gibi akifer özelliğindeki tortul kayaçlarda ise çok az miktarda da olsa radyoaktif madde bulunabilir. Sulardaki radyoaktif maddelerin miktarı, büyük oranda ana kaya tipine bağlıdır. Granit tipi kayalardaki doğal radyoaktif maddelerin radyoaktivitesi diğer kaya çeşitlerine kıyasla daha yüksektir (Kumru, 2002).

Mağmatik kayaçlarda bulunan radyoaktif elementlerin en önemlileri uranyum ve toryum'dur. Mağmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum bulunabilirliği, mağmanın kökenindeki uranyum ve toryum konsantrasyonlarının değişimi ve mağmatik kristalizasyon ile yakından ilişkilidir. Mağmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum içeriği asit kayaçlardan bazik kayaçlara doğru gidildikçe azalır.

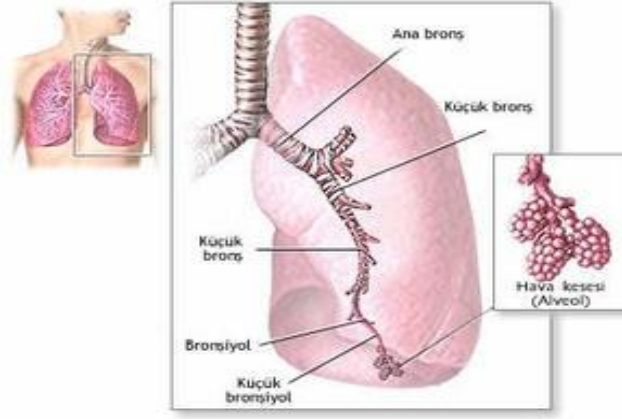
Granit ve granit ailesinden kayaçlar asit karakterleri nedeniyle uranyum taşıyıcısı durumundadırlar ve bazen 10-14 ppm.' e kadar uranyum içerebilirler. Ayrıca bu tür granitler primer kökenli damar tipi uranyum yatakları yönünden de zengin olabilir. Uranyum ve toryumun bazik mağmadan kristalize olamamaları, bunların silisli mağmalarda zenginleşmelerine sebep olur. Bu sebeple, silisçe zengin olan kayaçlar,

oldukça çok miktarda uranyum ve toryum içerir. Granitik kayalar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleri dolayısıyla yeraltı suyuna geniş ölçüde uranyum sağlar (Varol, 2011).

Pınar ve kuyu sularının kaynağı yer altı suları olduğu için Uranyum yataklarının keşfi için yapılan çalışmalarında radon ölçümleri genellikle pınar ve kuyu sularında gerçekleştirilir. Eğer bu yeraltı suları uranyum yataklarından geçiyorsa bu yatağı yıkayan sularda uranyum ve radyum elementleri çözünür ve suların içinde çözelti olarak kalır. Radon ise bu sulara ve içindeki taneciklere soğrulur. Böylece yeraltı sularının çıkış noktalarında yani pınar ve kuyu sularının bileşiminde uranyum, radyum ve radon bulunur. Yeraltı sularının uranyum yataklarından geçmesi nedeniyle yeraltı sularındaki radon konsantrasyonunu yüzeysel sulardan daha yüksektir. Bina içi kullanılan sudaki radon seviyesi, bina içi radon seviyesini önemli derecede etkiler. Bina içinde kullanılan ve özellikle kaplıca ortamlarındaki çeşmelerden gelen suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktarda radonun salınmasına neden olur (Özdemir, 2006).

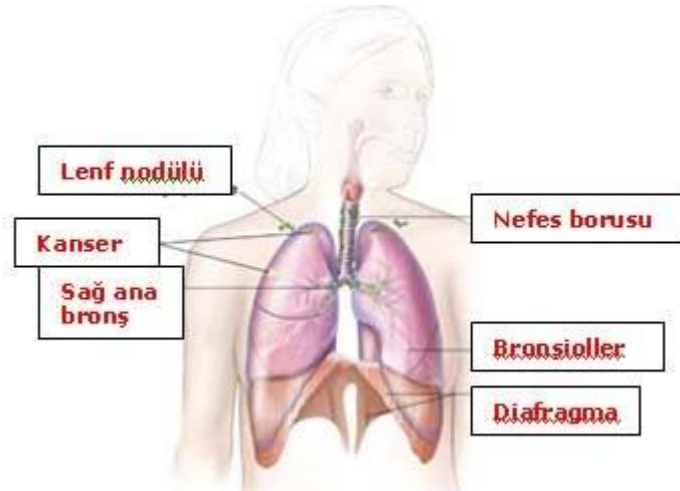
### **2.8.3 Radon gazının sağlık etkileri**

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda (Şekil 2.19) olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır (URL-13).



**Şekil 2.19.** Akciğer (Trakea) resmi (URL-14)

Radon gazının solunması, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Ancak radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalmaktadır. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, tenneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur (Şekil 2.20). Ancak bu, yüksek dozda radona maruz kalmış herkes akciğer kanserine yakalanacak anlamına gelmez (URL-13).



**Şekil 2.20.** Kanserli akciğer resmi (URL-14)

Radon yeraltından ya gaz ya da suda erimiş olarak yeryüzüne çıkmaktadır. 3,8 günlük yarılanma süreli radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) bozunarak kısa yarılanma süreli (radyoaktif bozunmayla yarıya inene kadar geçen süre) Polonyum 218, Kurşun 214,

Bizmut 214 ve Polonyum 214 gibi ağır metalleri üretir. Radyoaktif bir asal gaz olan radon, hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşılık, 2 proton ve 2 nötrondan oluşan alfa ışınları yoluyla ve ürettiği ağır metallere vücutta etkilemektedir. Bu nedenle radondan türeyen ağır metallere vücuttaki etkileri, radonunkinden daha çok olmaktadır.

Radyoaktif radona bağlı akciğer kanseri bir meslek hastalığıdır. Radon ev ortamının yanında özellikle maden ocaklarında, tünellerde, mağaralarda ve yeraltı sularında görülmektedir.

BEIR (Biological Effects of Ionizing Radiation; a committee of the National Research Council of the USA) Rapor No: VI'ün yayınına göre kapalı madenlerde yapılan epidemiyolojik araştırmada madenlerde çalışan 68.000 maden işçisinin içinde 2.700 işçi radona bağlı mesleki akciğer kanserine yakalanmıştır.

Öte yandan radonun zararlı etkilerinin yanı sıra bazı çalışmalar, radonun tedavi amaçlı kullanabileceğinin de göstermektedir. Amerika, Japonya ve bazı Avrupa devletleri bazı hastalıkların tedavisinde terapi amaçlı radon gazı kullanmaktadır. Radon gazının insan vücutta üzerindeki etkilerini gösteren araştırmaların sayısı azdır. Bu sebeple kaplıcalardan olumlu sonuçlarla evlerine dönen insanların buldukları şifalarının radon gazından kaynaklandığını söylemek zordur. Ancak Japonya'da Yamaoka çalışmalarında (Yumurtacı, E., 2014) radonla zenginleştirilmiş suyun vücutta aktif oksijenin bir miktarını uyardığı ve bu özellikle de eklem iltihabı, astım, damar sertliği gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde olumlu yönde rol üstlendiğini savunmuştur. Radon bir soy gazdır dolayısıyla vücudumuzdaki herhangi bir kimyasal bileşenle etkileşmeye girmez. Cildimizden ya da solunum yoluyla akciğerlerimize giren radon kana karışır ve vücutta yayılmaya başlar. Radon, salgı bezleri, sinir lifleri gibi yağ tabakalı yani yağca zengin organlarda birikir. Radonun vücutta tutulma zamanı kısadır. Sadece 15-30 dk sonra dokuda %50'si bozunur. Bu kısa zaman içerisinde radon dokuyla etkileşim halindedir. Alfa verici olan radon, dokularda yalnızca 20µm uzaklığa gidebilir.

Yamaoka ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada ise (Yumurtacı, E., 2014), 50-70 yaş aralığında eklem iltihabı olan 11 erkek ve 9 kadın ortamdaki radon konsantrasyonunun 2.080 Bq/m<sup>3</sup> ve oda sıcaklığı 42 °C olan bir odada her iki günde bir 2 saat gözlem altında tutulmuşlardır. Altıncı haftanın sonunda hastaların eklem iltihaplarında azalma gözlemlenmiştir.

#### 2.8.4 Radon konsantrasyon limitleri

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir (Çizelge 2.10).

**Çizelge 2.10.** Evlerde Ortalama Radon Konsantrasyonu (URL-14)

**Evlerde Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>)**

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

Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. İngiltere'de NRPB (The National Radiological Protection Board) radon miktarını dışarıda ortalama 4 Bq/m<sup>3</sup>, evlerde ortalama 20 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiş eğer radon miktarı evlerde **200 Bq/m<sup>3</sup>**'ün üzerine çıkar ise müdahale edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. USA Çevre Koruma Ajansı (EPA)'da benzer bir limit koymuştur. EPA'ya göre saptanan maksimum limit 4 piCi/L ~ **148 Bq/m<sup>3</sup>**'tür. ICRP'nin evlerde müsaade edilebilir doz değeri olarak belirlediği **400 Bq/m<sup>3</sup>**'tür. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise **400 Bq/m<sup>3</sup>** 'tür. Uluslararası Radyasyondan Korunması Komitesi, Radona maruz kalma konusunu inceleyerek "Evde ve İşyerinde Radon-222 ' ye Karşı Korunma" konusunda 65 nolu bir rapor hazırlamıştır ve bu rapora göre Radona maruz kalma sınırları belirlenerek, bazı sınır değerler tavsiye edilmiştir. Bu değerler senelik doz için 3-10 mSv arasında kabul edilmiştir. Bu dozlara karşılık gelen Radon yoğunluğu evlerde 200-600 Bq/m<sup>3</sup>, iş yerlerinde ise 500-1.500 Bq/m<sup>3</sup> arasındadır (ICRP-65,1993). İçme sular için maksimum izin verilen sınır değer 11 Bq/L dir (EPA).

**Çizelge 2.11. Radon Konsantrasyon Limitleri (URL-14)**

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

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

\*Avrupa Birliği, \*\*Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, \*\*\*Dünya Sağlık Örgütü

## 2.9 İyon Dedektörleri

İyonlaştırıcı ışın (UV, X-ışını, v.s.) bir gaz içinden geçtiğinde gaz molekülleriyle çarpışarak iyon çiftlerinin (yükü moleküller ve serbest iyonlar) meydana gelmesine neden olur. Ortamda bir elektrik alanı bulunuyorsa her bir iyon zıt işaretli kutba doğru göç eder. Bir iyon odacığı bu sisteme göre çalışan bir iyonizasyon ışını algılayıcısı, yani detektördür.

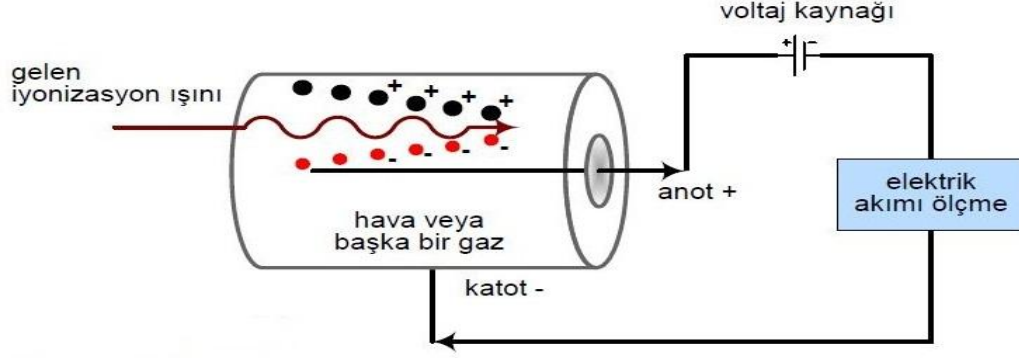
Odacık, genellikle metal bir kaptır; merkezinde, kabın kenarlarından izole edilmiş tel bir elektrot bulunur. Kap uygun bir gazla doldurulur ve kabın dış kısmıyla elektrot arasına doğru akım voltajı uygulanarak bir elektrik alanı oluşturulur. Gazdan ışın geçirildiğinde meydana gelen iyonlar kendileriyle ters işaretli elektrotlara doğru giderler. Kabın dışı topraklandığından merkezdeki elektrotun potansiyeli yaklaşık olarak sıfır voltur; işlem sonunda bu elektrota meydana gelen akım ölçülür.

Kütle spektrografisi dedektörleri iyon dedektörleridir.

Argon, ksenon veya kripton gibi bir inert gazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını kuvantumuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonlar ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur ve iletkenlik artar. İyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar, Geiger-Mueller tüpleri, nötron sayıcılar ve sintilasyon sayıcıları gibi bu tip dedektörler iyon dedektörleridir (URL-15).

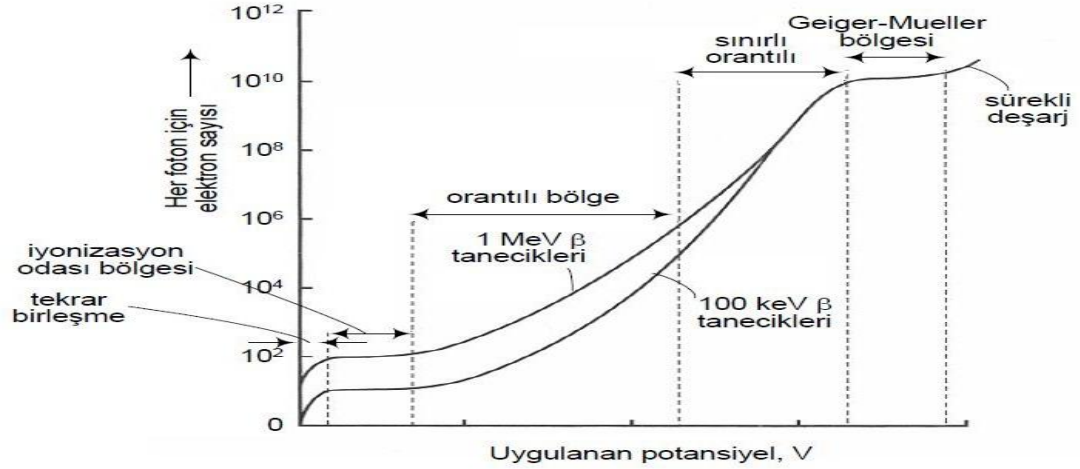
## 2.9.1 Gazlı detektörler

Argon, ksenon veya kripton gibi bir inert gazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını kuvantumuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonları ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur ve iletkenlik artar (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Bir gazlı detektörün kesiti (URL-16)

Anoda ulaşan elektronların sayısına uygulanan potansiyelin etkisi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Şekil 2.22’de birkaç özel voltaj bölgesi bulunmaktadır.



Şekil 2.22. Çeşitli tiplerdeki gazlı detektörlerde gaz amplifikasyonu (URL-17)

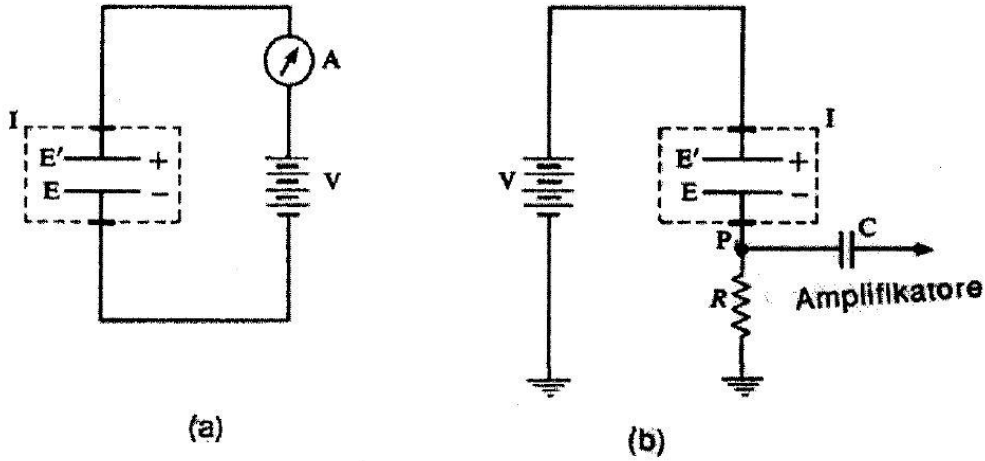
Tekrar birleşme potansiyellerinde iyon çiftleri üzerindeki hızlandırma kuvveti düşüktür ve pozitif ve negatif tanecikleri ayıran hız kısmi bir birleşmeyi engelleyebilecek seviyede değildir. Bunun sonucunda anoda ulaşan elektronların sayısı, gelen ışının başlangıçta oluşturduğu sayıdan daha azdır.

İyonizasyon odası bölgesinde anoda ulaşan elektronların sayısı sabittir ve tek bir fotonun oluşturduğu sayıya eşittir.

## 2.9.2 İyonlaşma odaları

İyonizasyon odalarında akımlar küçüktür ( $10^{-13} - 10^{-16} A^0$  gibi) ve uygulanan voltajdan bağımsızdır. Işın odacığındaki gazı iyonlaştırdığında gaz iletkenleşir, bir elektrik akımı meydana gelir ve bu akım ölçülür (Arya, A., 1999).

Şekil 2.23'te (a) bir iyonlaşma odasını göstermektedir. İyonlaşma Odası, içinde dışarıdaki bir voltaj kaynağı (V) vasıtasıyla yüksek potansiyel farkına maruz kalan iki elektrodu bulunan (E,E') ve yaklaşık atmosfer basıncında bir gazla dolu bulunan bir kutudan (I) yapılmıştır. Kutuya giren radyasyon burada iyonlaşmaya sebep olur. Meydana gelen iyonlar + ve - elektrotlarda toplanırlar. Voltaj, yüklerin yeniden birleşme miktarı ihmal edilebilecek kadar küçük yapacak yükseklikte tutulur.



**Şekil 2.23.** İyonlaşma odası ve x-ışınları, parçacıkların deteksiyonu için devre

Şekil 2.23 (a)'da görülen düzenek x-ışınları gibi sürekli bir radyasyon ışın demetinin şiddet ölçümleri için kullanılır. Mevcut radyasyon miktarı iyonlaşma miktarıyla orantılı olup elektrometre gibi akım ölçer bir aletle (A) belirlenebilir. Bununla beraber bu düzenek tek parçacıkların ölçümünde tatminkar değildir; çünkü bu durumda tek parçacıkların meydana getirdiği akım, göstergeyle okunamayacak kadar küçüktür. Tek parçacıklar için Şekil 2.23 (b)'deki düzenek kullanılmaktadır. Parçacığın kutuya varışıyla iyon çiftleri meydana gelir (negatif iyonlar elektroda pozitif iyonlardan daha önce ulaşırlar). Her iki iyonun etkisiyle kolektör (toplayıcı)

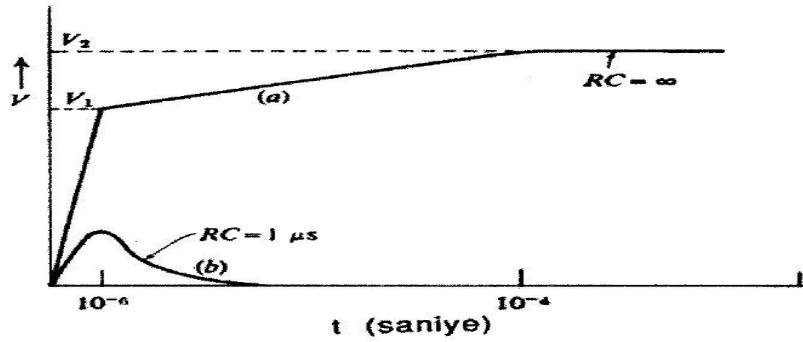


potansiyeli deęiřir. Bu, dıř devrede bir iyonlařma akımı meydana getirir, bu ise R direnci üzerinde bir potansiyel dūřmesiyle neticelenir.

Bir parçacık geçiřinden sonar iyonlařma akımı ve direnç üzerindeki potansiyel dūřmesi sıfıra dūřer. P noktası gibi bir noktada, R üzerindeki potansiyel dūřmesinden ileri gelen voltaj deęiřimleri bir elektrik pulsu veya bir puls sinyali olarak alınabilir. Bu puls bŸyŸtŸlerek (amplified) scalar olarak bilinen bir devre tarafından kaydedilir.

Pulsun exponansiyel azalmasının ortalama mrŸ devrenin zaman sabitine (RC) eşittir. Şekil 2.24 iki farklı zaman sabiti için bir iyonlaşma odasından elde edilen puls sinyallerinin Őeklini göstermektedir.

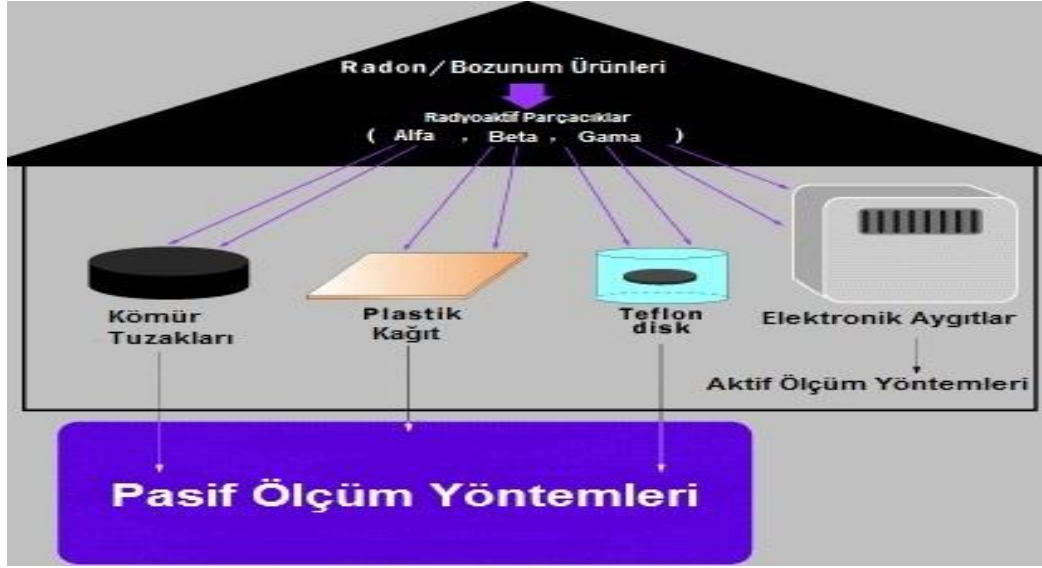
Bu cihazın dezavantajı zme zamanındadır (resolving time). Yani cihazın başka bir parçacığı detekte etmeye hazır hale gelmeden önce geçecek zaman bir kaç mili saniye mertebesindedir ki, bu iyonlaşma odasının dūřŸk sayma hızlarında kullanılmasını icap ettirir.



**Şekil 2.24.** Bir iyonlaşma odasından çekilen puls Şekilleri (D.R.Carson and R.R. Wilson, 1948)

Şekil 2.24'te  $RC=\infty$  ve (b)  $RC=1 \mu s$ 'lik zaman sabitleri için bir iyonlaşma odasından elde edilen puls Şekilleri. (a)'daki hızlı yŸkselme elektronların hareketinden ileri gelmekte ( $V_1$ 'de maksimum değere ulaşmakta); daha sonraki yavaş yŸkselme pozitif iyionların hareketinden ileri gelmektedir ( $V_2$ 'de son değere ulaşmaktadır).

## 2.10 Radon Ölçümü



Şekil 2.25. Radon ölçüm yöntemleri (URL-18)

Radon ve bozunum ürünlerinin ölçümünde kullanılan yöntemler radon ve bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıklarının algılanmasına dayanır (Şekil 2.25). Ölçüm süresine bağlı olarak; anlık radon ölçümleri, bütünleşik radon ölçümleri ve sürekli radon ölçümleri üç farklı şekilde saptanır (Yumurtacı, E., 2014).

Anlık radon ölçümleri, radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonlarının kısa süre içinde tespit edilmesi esasına dayanır. Ölçüm süresi radon konsantrasyonundaki dalgalanmaların (periyotların) ortaya çıkış süresiyle kıyaslandığında oldukça kısadır. Kısa süreli testlerde detektörün özelliğine göre 2-90 günlük radon düzeyleri ölçülür.

Bütünleşik radon ölçümlerinde, toplam radyasyon ölçümleri üzerinden bilgi toplamaktadır. Elde edilen sonuçlar ölçüm aralığındaki tahmini ortalama radon konsantrasyonunu verir. Ölçüm aralığı hafta veya ay mertebesindedir.

Sürekli radon ölçümlerinde ise uzun bir zaman periyodunda radon ve ürünleri otomatik olarak tespit edilir. Ölçüm periyotları arasındaki boşluklar oldukça kısadır (Papastefanou, 2007). Uzun süreli testlerde 90 günden fazla sürenin ortalama konsantrasyonlarının saptanmasını sağlarlar.

### 2.10.1 Radon ölçüm yöntemleri

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

Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirir. Aktif sistemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları kullanılır. Bu tez çalışmasında aktif ölçüm yönteminde kullanılan AlphaGuard dedektörü kullanıldı.

Pasif ölçüm yönteminde termoluminesans dedektörler ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  veya  $\text{LiF}$  gibi), veya katı hal nükleer iz dedektörleri; selüloz nitrat (LR-115) veya allil diglikol karbonat (CR-39) kullanılır. Pasif ölçüm cihazları elektrikle çalışmaz.



**Şekil 2.26.** Pasif Radon Testinde Bir Plastik Alfa Tutucu.

Şekil 2.26; Pasif Radon Testinde Bir Plastik Alfa Tutucunun 100 kere büyütülmüş 3 aylık ışınım görüntüsüdür.



**Şekil 2.27.** Kömür Süzgeci ve Kömür Sıvı Sintilasyon Dedektörleri.

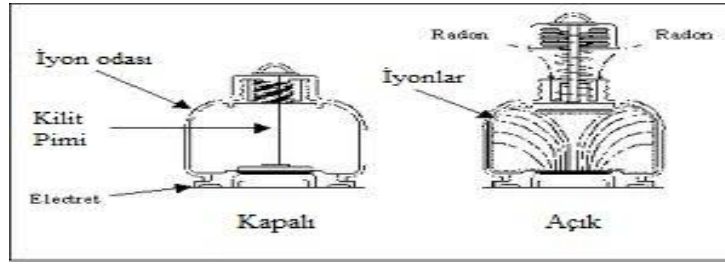
Pasif ölçüm yöntemlerinde en sık kullanılan kömür süzgeçleri, elektret iyon dedektörleri ve alfa iz sürme dedektörleridir.

Kömür süzgeci ve kömür sıvı sintilasyon dedektörleri, havadaki radon atomlarını toplaması için kullanılır . Biriken radon ve ürünleri laboratuvarında  $\text{NaI}$  sayaçlarında ve sintilasyon dedektörlerinde sayılır. Şekil 2.27'de yer alan ağaç kömürü, havadaki radon atomlarını toplaması için kullanılır. Biriken radon ve ürünleri laboratuvarında  $\text{NaI}$  sayaçlarında ve sintilasyon dedektörlerinde sayılır.

Elektret iyon dedektörleri elektik yükü indirgenmiş, yüklü Teflon disklerden oluşur. İndirgenmiş yük sayımı ile radon seviyesi hesaplanır (Şekil 2.28, 2.29).



Şekil 2.28. Elektret iyon dedektörleri.

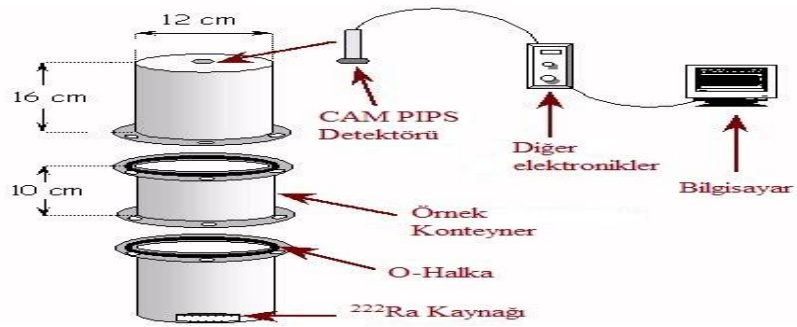


Şekil 2.29. Elektret iyon dedektörleri çalışma şeması.

Alfa iz sürme dedektörlerinde ise alfalar çarptığında üzerinde iz bırakan plastikler kullanılır. Kimyasal iz kazıma ile plastik üzerinden sayılır. (Şekil 2.30, 2.31)



Şekil 2.30. Alfa iz sürme dedektörleri

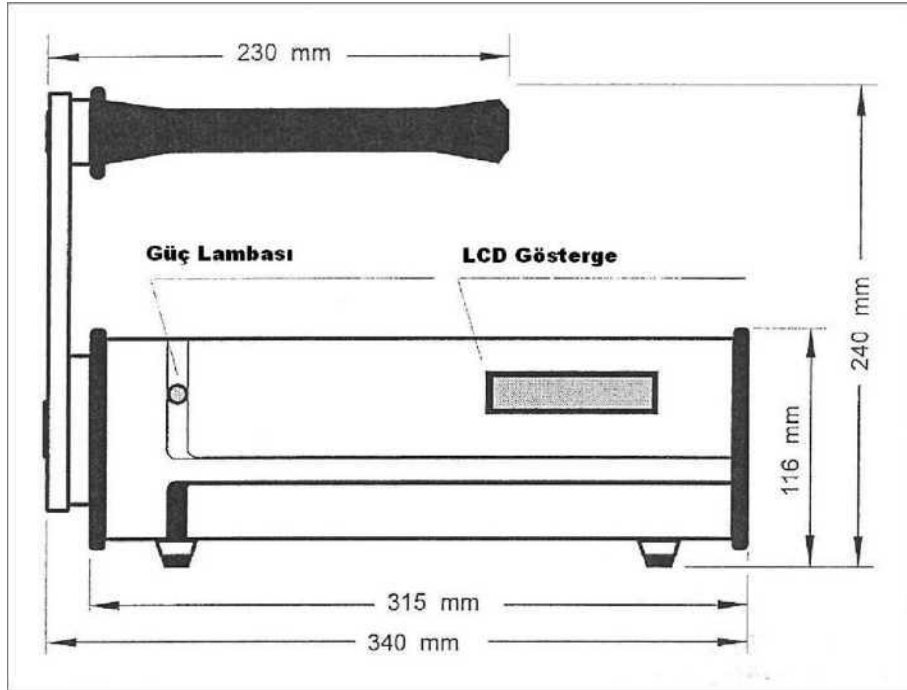


Şekil 2.31. Alfa iz sürme dedektör sistemi

### 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 3.1 AlphaGUARD Detektörünün Yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO Radon detektörünün ölçüm yapmasını sağlayan, ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri alüminyum dış gövde içine yerleştirilmiştir. AlphaGUARD cihazın önden görünüşü ile ebatları Şekil 3.1’ de gösterilmektedir.

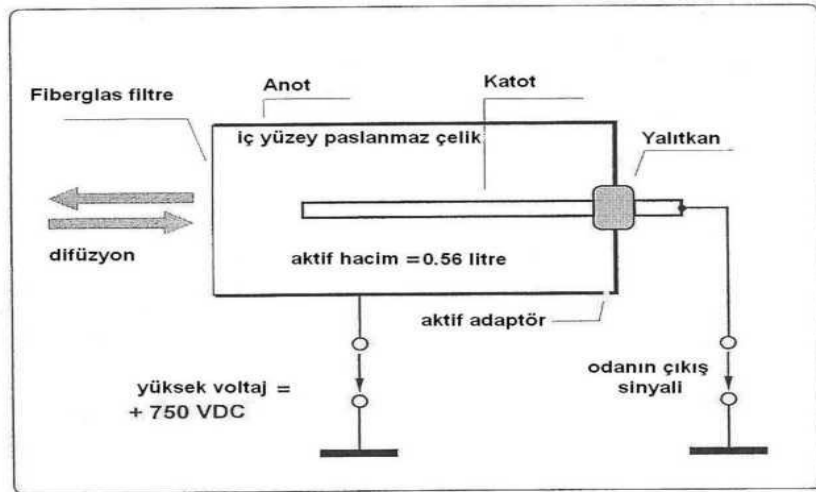


Şekil 3.1. Alpha Guard cihazının önden görünüşü ve ebatları (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu, 1994)

Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. Alpha Guard 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. 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.

Alpha Guard PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensör girişi için bir adet MINI-DIS. 85 soketi, iki adet 4 mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için bir adet RS232 girişi ve 12V DC adaptör girişi bulunmaktadır. Cihazın sağ tarafında koruyucu ızgara ile kapatılmış Radon gazı giriş paneli ve Alpha Guard menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır.

Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan detektör (Şekil 3.2, iyonizasyon odası) ve detektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal veri haline getiren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır. Düzenli işletimde Radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada sadece Rn'nin geçmesine izin verilirken yan ürünlerin iyonizasyon odasına girmesi engel olmaktadır. Aynı zamanda filtre, iyonizasyon odasının iç kısmını toz zerreciklerinin birikmesiyle oluşacak kirlenme ve paslanmadan korur. Buna destek olarak cihaz içine dışarıdan miktarı kontrol edilebilen temiz hava girişi sağlayacak bir pompa (AlphaPUMP) da kullanılmaktadır.



**Şekil 3.2.** AlphaGUARD iyonizasyon odasının şematik gösterimi (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu, 1994)

Alpha Guard'ın silindirik iyonizasyon odası 0,56 litrelik aktif hacme sahiptir. Metalik iç kısmın gerilimi alet açıkken +750 voltur. Merkezde yatay eksen boyunca uzanan potansiyeli 0V olan elektrot yer almaktadır. Merkez elektrotu yüksek hassasiyetteki ön amplifikatörün sinyal girişi ile bağlantılıdır. Ön amplifikatörün işlenen ölçüm sinyalleri daha fazla dijital işlem için elektronik bir şebekeye iletilir.

Alpha Guard PQ 2000PRO cihazının iç yapısının ikinci temel bileşeni elektronik birimdir. Bu elektronik birim detektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen Radon verilerini alıp işlemekle sorumlu birimdir.

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 Toron'un neredeyse tamamı bozunacaktır çünkü 10 dakikalık bir gecikmeye sahiptir. Pratikte Alpha Guard PQ 2000PRO'nun Toron'a karşı hassaslığı Radon'a karşı hassaslığının %1'i ile %10'u arasındadır.

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.

Bir numaralı kanal Alpha Guard 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. Alpha Guard PQ 2000PRO'da DSP teknolojisi 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 Alpha Guard elektronik devresinin son kısmı olan hızlı mikro kontrolör tarafından işlenir.

ADC1 yoluyla spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her a pikinden elde edilen atma genliği (= klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Detektör tarafından toplanan bu: bilgiler x eksenini a piki genliğini (= alfa enerjisini), y eksenini zaman birimi başına meydana gelen a 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. Kanalın 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. Bu işlemler için Alpha Guard PQ 2000PRO nun ihtiyaç duyduğu akım 3 mA dir (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu, 1994).

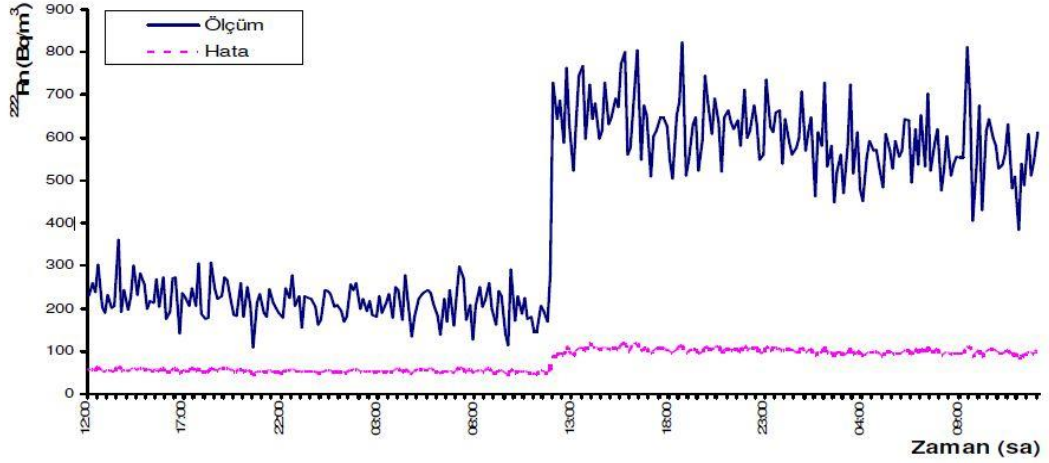
**Çizelge 3.1.** Alpha Guard monitörünün bazı teknik ve fiziksel özellikleri

Toplam ağırlık	4,5 kg
Rn detektör tipi	İyonizasyon odası
Dedektör gerilimi	DC 750 V
İşletim modu	Akım modu ve 3D $\alpha$ spektroskopisi
Toplam detektör hacmi	0,62 litre
Etkin detektör hacmi	0,56 litre
Detektör dolun 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 <sup>3</sup>
Rn222 ölçüm sınırları	
Alt sınır	2 Bq/m <sup>3</sup>
Üst sınır	2x10 <sup>6</sup> Bq/m <sup>3</sup>
LCD ekran çözünürlüğü	1 Bq/m <sup>3</sup>
Sistem doğruluk hatası	< %3
Rn222 kalibrasyon hatası	± %3
Ölçüm sıklıkları	10 veya 60 dak
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 Sıcaklık	-10°C - +50°C
Atmosfer basıncı	700 mbar . 1100 mbar
Nem	0 %rH . 95 %rH

### 3.2 Deneysel Sistem

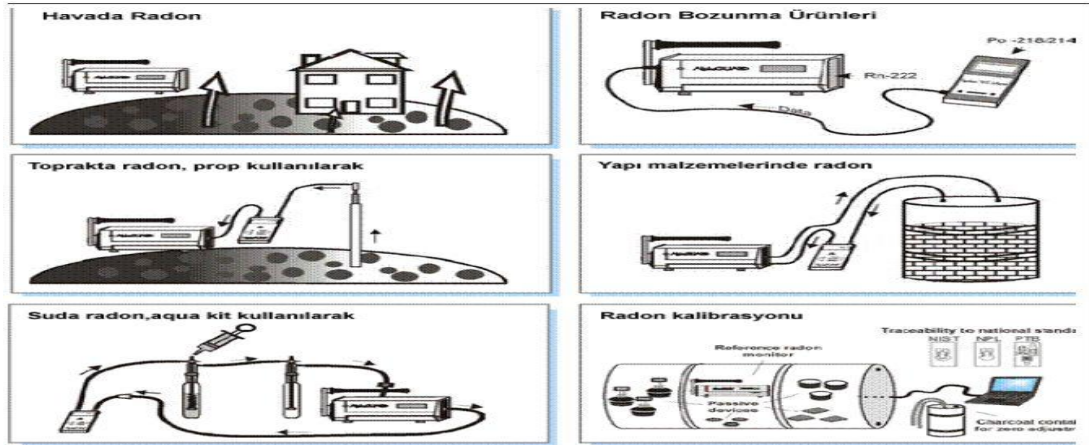
Bu tezde kullanılan AlphaGuard radon detektörü, ölçüm ünitesine tümleşik olan bir pompa yardımı ile havayı detektörün iyonizasyon odasına almaktadır. Emme sonucunda iyonizasyon odasına giren <sup>222</sup>Rn ve <sup>220</sup>Rn izotopları bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak bir elektrik 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 ölçülmektedir. Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen elektrik sinyalleri, Alpha Guard PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL 33 sinyali olarak gönderilmekte ve detektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından okunabilir veriler haline dönüştürülmektedir. Şekil 3.3'te cihazın kalibrasyon ölçüm örneği yer almaktadır.





**Şekil 3.3.** Kalibrasyon Ölçüm Örneği

Alınan verilerin grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, arşivlenmesi ve sanal ortamda sunulması için ise Alpha Guard için geliştirilmiş çeşitli yazılım paketleri kullanılmaktadır. Bunlar AlphaVIEW, AlphaEXPERT ve en son geliştirilmiş olan DataEXPERT yazılımlarıdır. Alpha Guard ölçüm cihazı ile çeşitli yerlerde ölçüm yapılabilir.(Şekil 3.4)



**Şekil 3.4.** Alpha Guard ölçüm cihazı ile çeşitli yerlerdeki ölçümler.

Bu çalışma süresince, yerinde ölçümler yapılmasında kullanılan Alpha Guard PQ 2000PRO cihazında bulunan iyon odası (alfa spektroskopi pulse sayımı) vasıtası ile ortamın o anki radon değeri ile birlikte hava sıcaklığı, hava basıncı ve havanın nemi gibi diğer parametreler de ölçüldü. Cihaz bilgisayara bağlanarak veri depolandı ve değerlendirildi. Dedektörle kullanmış olduğumuz DataEXPERT yazılımı; Windows ve Linux gibi işletim sistemleri altında çalıştırılabilmektedir ve RS232 bağlantısına ek olarak internet üzerinden de detektör haberleşme sağlanabilmektedir (Şekil 3.5-6-7-8).



Şekil 3.5. Alpha GUARD PQ 2000PRO Detektörü (Diagonal Görünüş)



Şekil 3.6. Alpha Guard Dedektörü (Önden Görünüş).

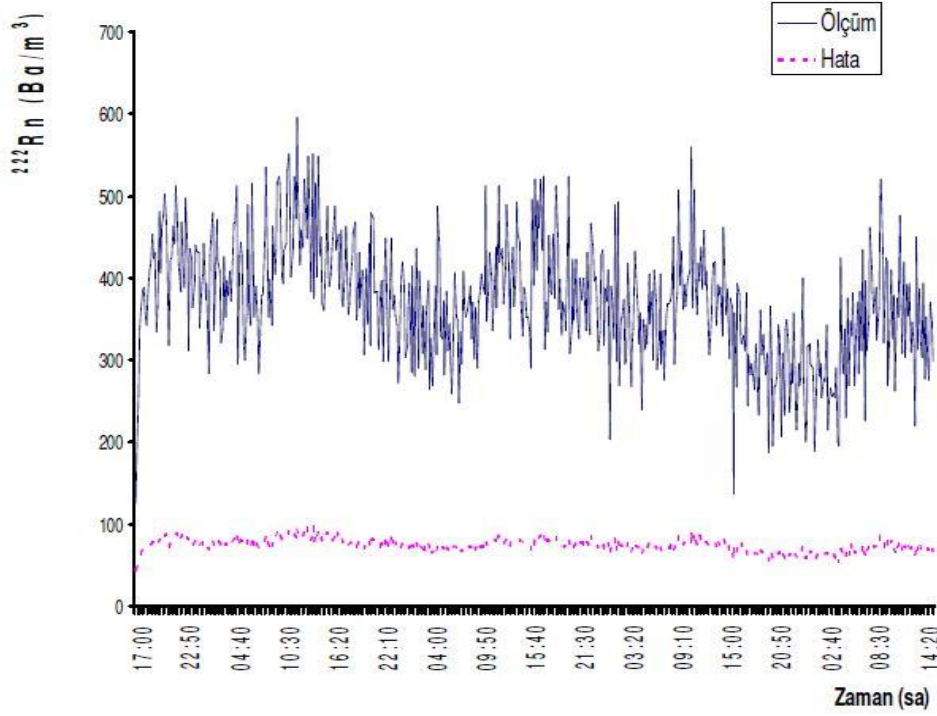


Şekil 3.7. Alpha Guard Dedektörü Okuma Paneli.

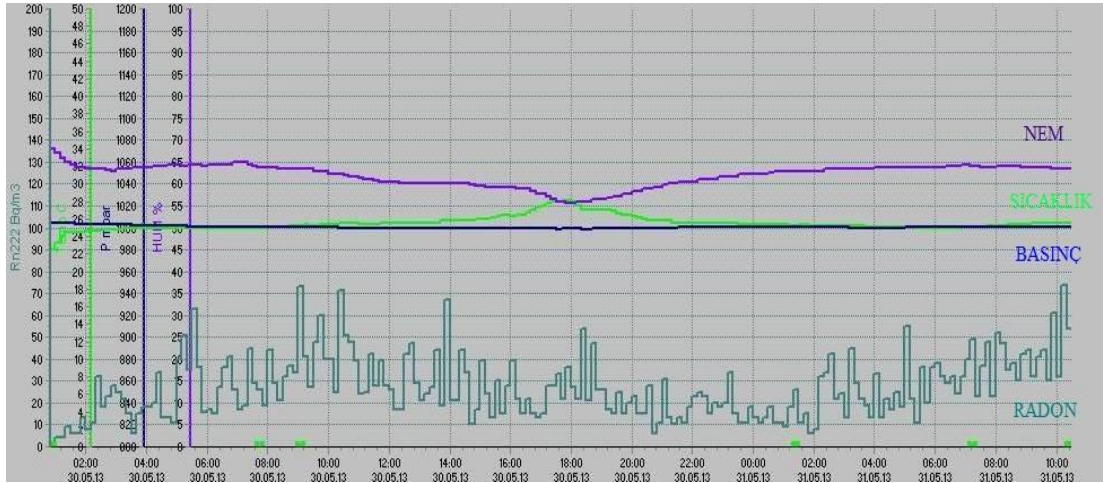


Şekil 3.8. Alpha Guard Dedektörü Bilgisayara Bağlanma.

Şekil 3.9-10'da ölçüm yapılan grafik örnekleri görülmektedir. Cihazla 30 dakika ile kısa süreli ve 244 saat aralıksız şekilde uzun süreli ölçümler alınmıştır. Cihaz ortamdaki radon gazı seviyesinin yanında nem, sıcaklık, basınç gibi parametreleri de ölçmektedir.



Şekil 3.9. Alpha Guard detektörü ile uzun süreli ölçüm örneği



Şekil 3.10. Ofis. Radon Spektrum Numarası: 10

Şekil 3.10.' da yer alan örnekte; koyu yeşil renkteki grafik radon aktivite konsantrasyon değişimini gösterirken, açık yeşil renkle görünen eğri sıcaklığı, lacivert renkle görünen eğri basıncı, mor renkle görünen eğri nem yüzdesini göstermektedir. Şekiller ile ilgili detaylı bilgilere Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te yer alan spektrum numaralarıyla ulaşılabilir.

### **3.3 Aktif Radon Ölçümleri**

Alpha Guard aktif radon ölçüm cihazı ile ölçümler 2013 yılının Nisan ayından itibaren 2013 yılı Haziran ayı sonuna kadar Samsun ilinde değişik konum ve durumlarda bina içi ortamlarda havada yapılmıştır. Aktif olarak yapılan bu ölçümlerde cihaz farklı sürelerde difüzyon modunda çalıştırılmıştır.

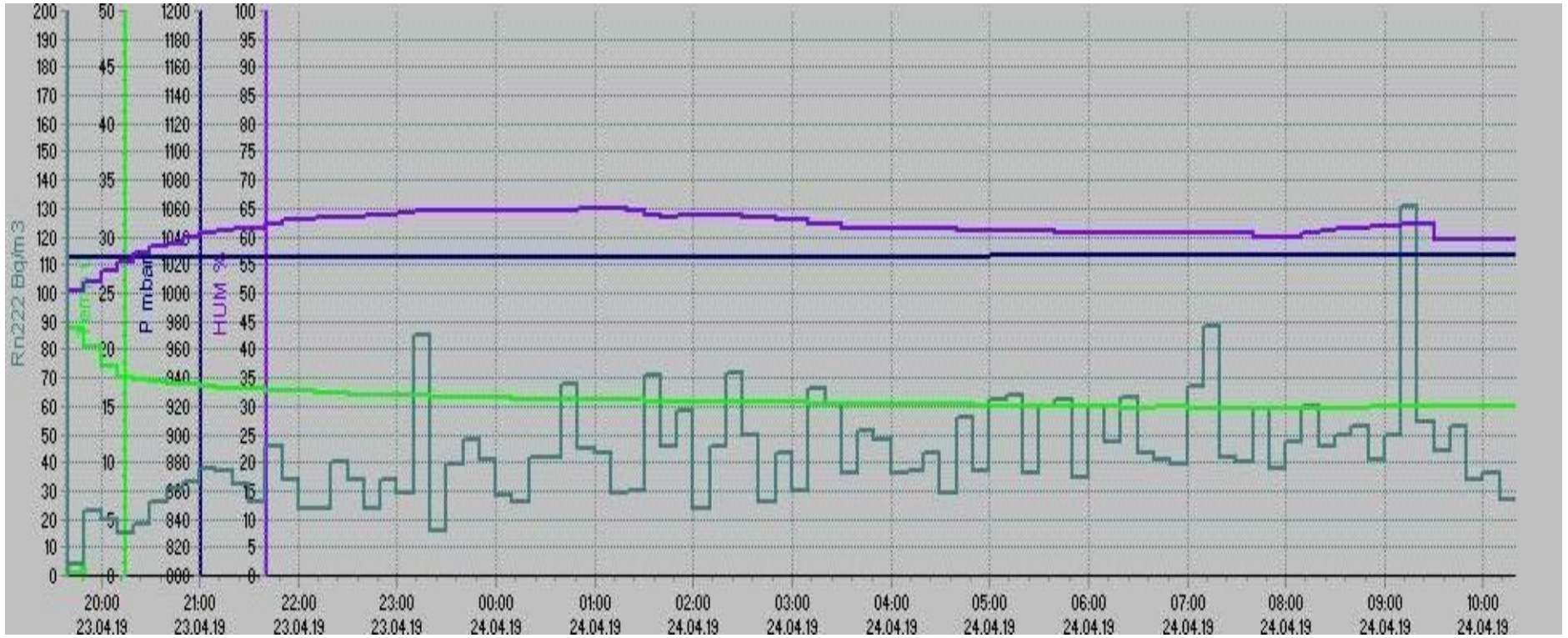
#### **4. BULGULAR**

Farklı konum ve durumlarda Alpha Guard aktif radon ölçüm sistemiyle elde edilen deneysel sonuçlarımız Şekil 4.1 – 4.33'te gösterilmiştir. Bütün şekillerdeki renk kodlaması Şekil 3.10'da olduğu gibi; koyu yeşil renk radon aktivite konsantrasyon değişimi, açık yeşil sıcaklık değişimi, lacivert renk basınç değişimini ve mor renk de nem yüzdesi değişimini göstermektedir. Ölçümler, zemin kat 1. Kat 2. Kat 3. Kat'larda ve KAPALI (sürekli kapalı), AÇIK (camlar sürekli açık ) ve KAPALI + AÇIK (giriş-çıkışlı, kısa süreli açık) şeklinde alınmıştır.

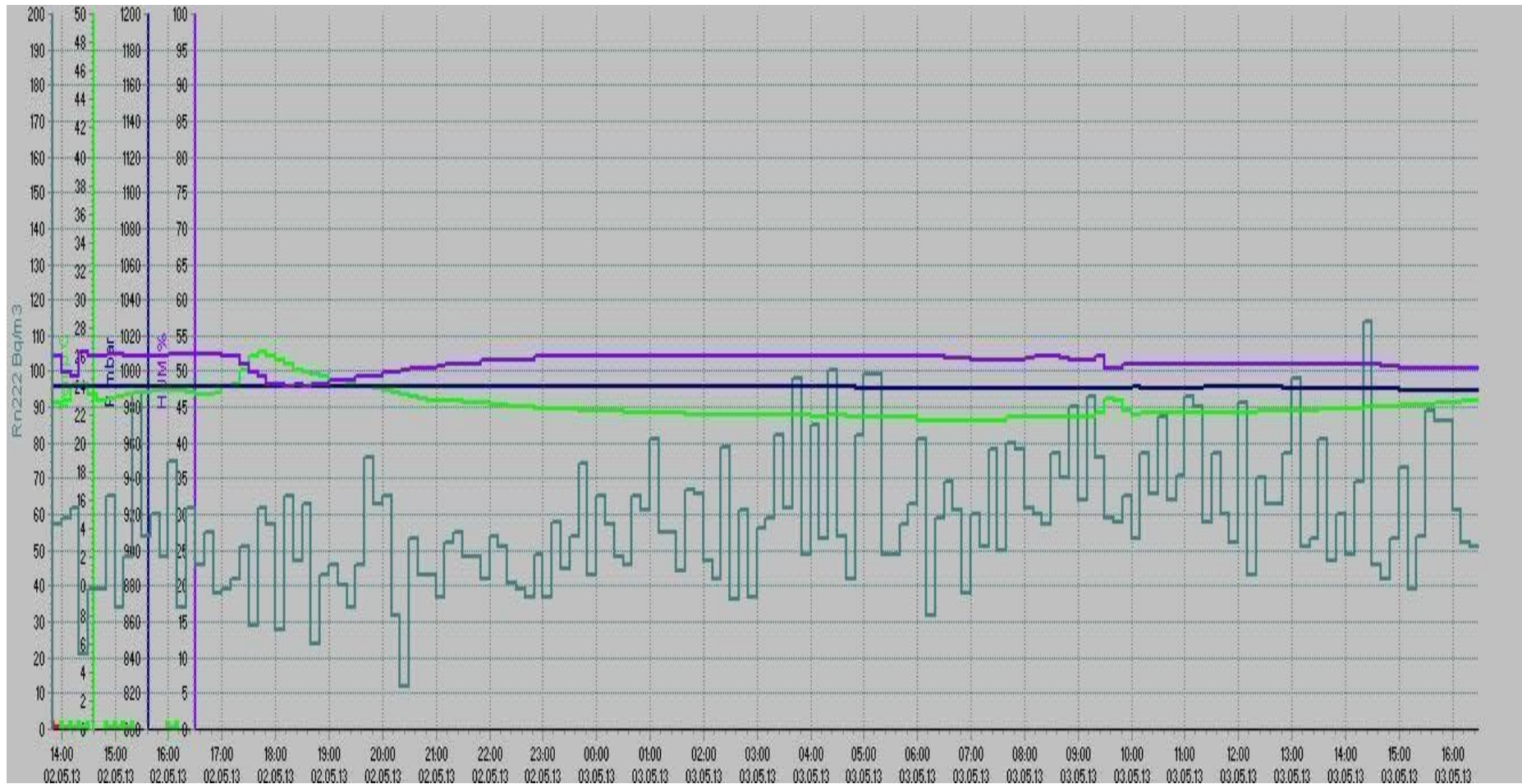


## 4.1 Zemin Kat

### 4.1.1 Konutlarda havalandırmasız (kapalı) ölçümler

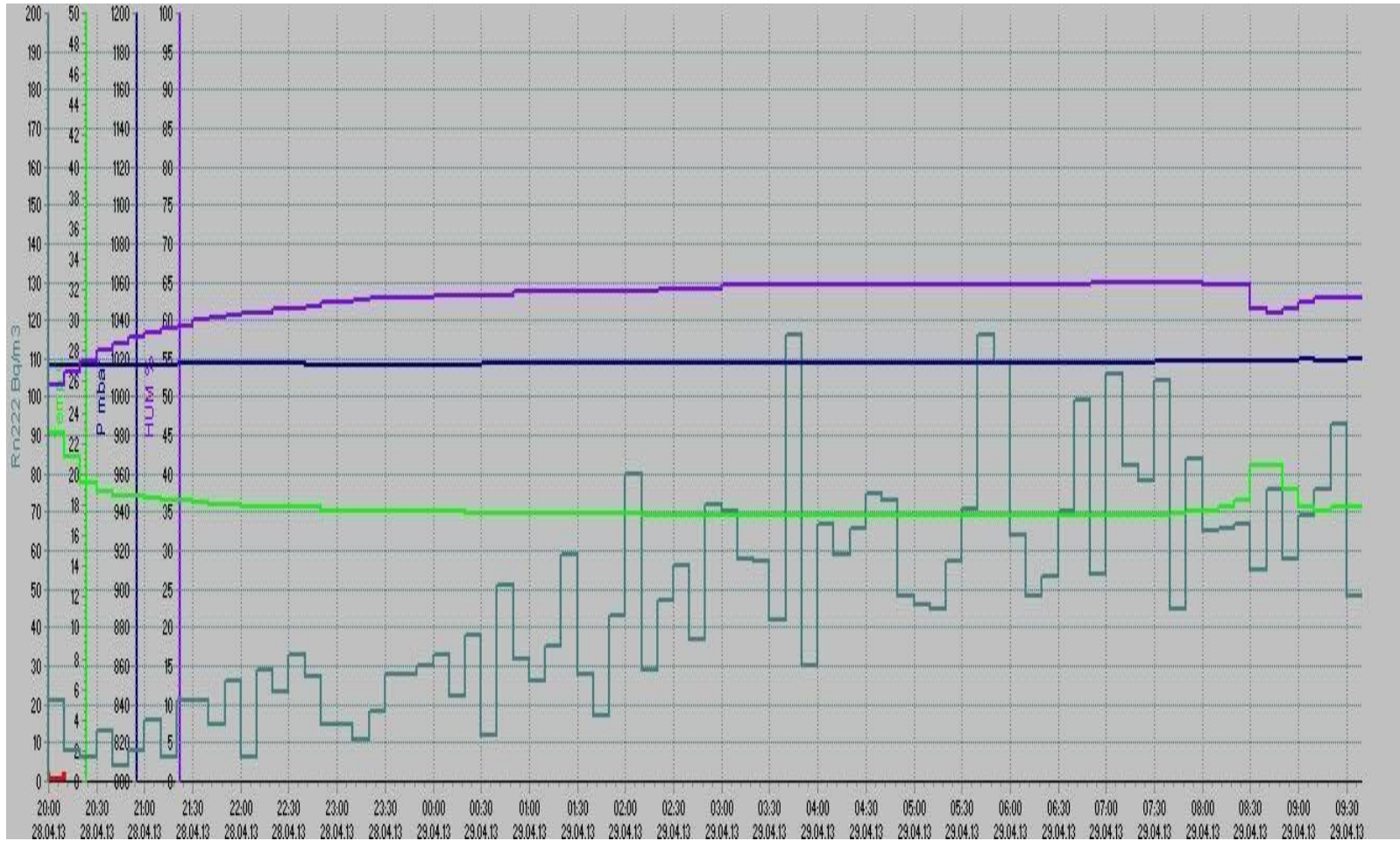


Şekil 4.1. Konut. Radon Spektrumu: 27



Şekil 4.2. Konut. Radon Spektrumu: 1

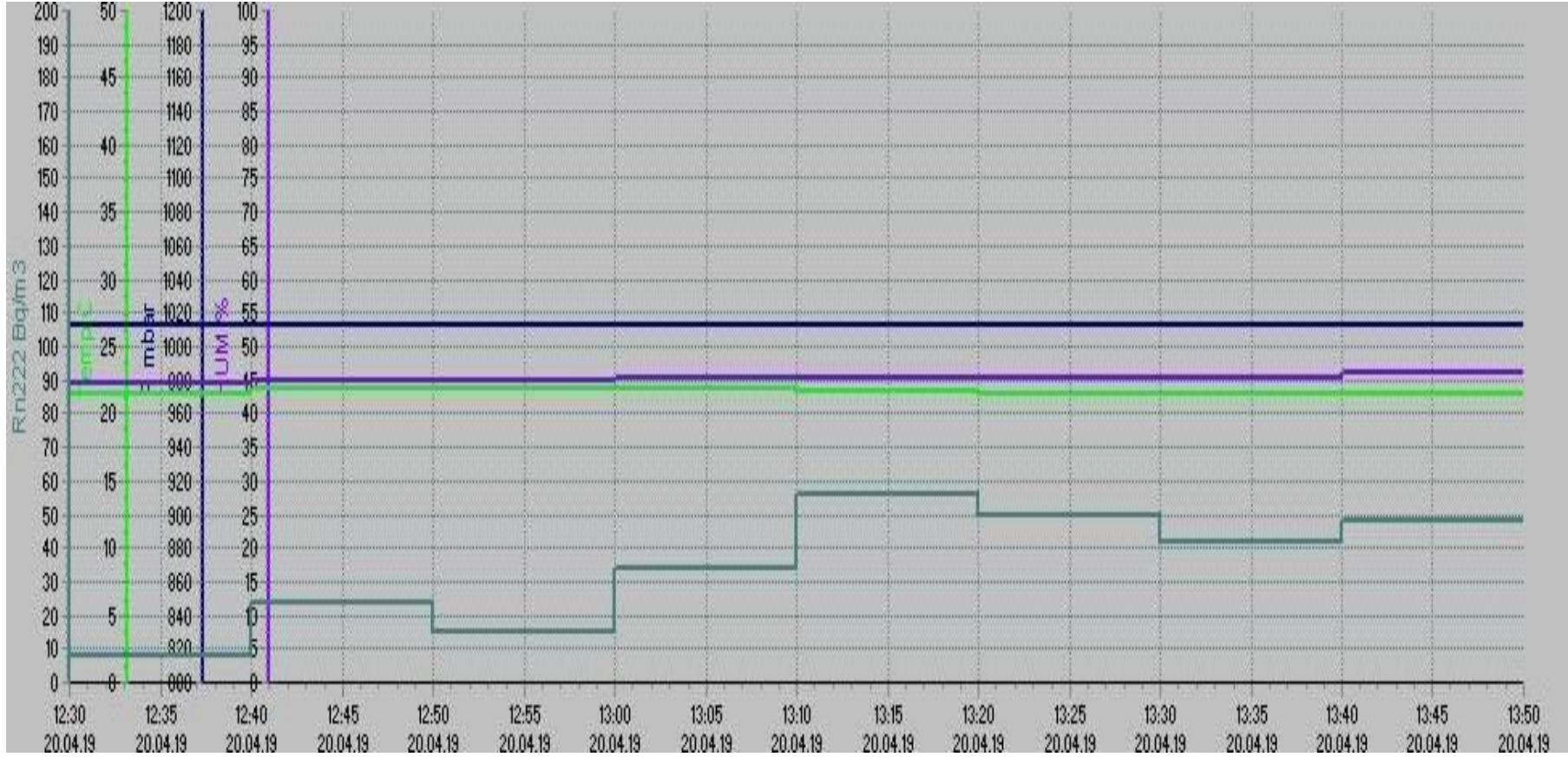




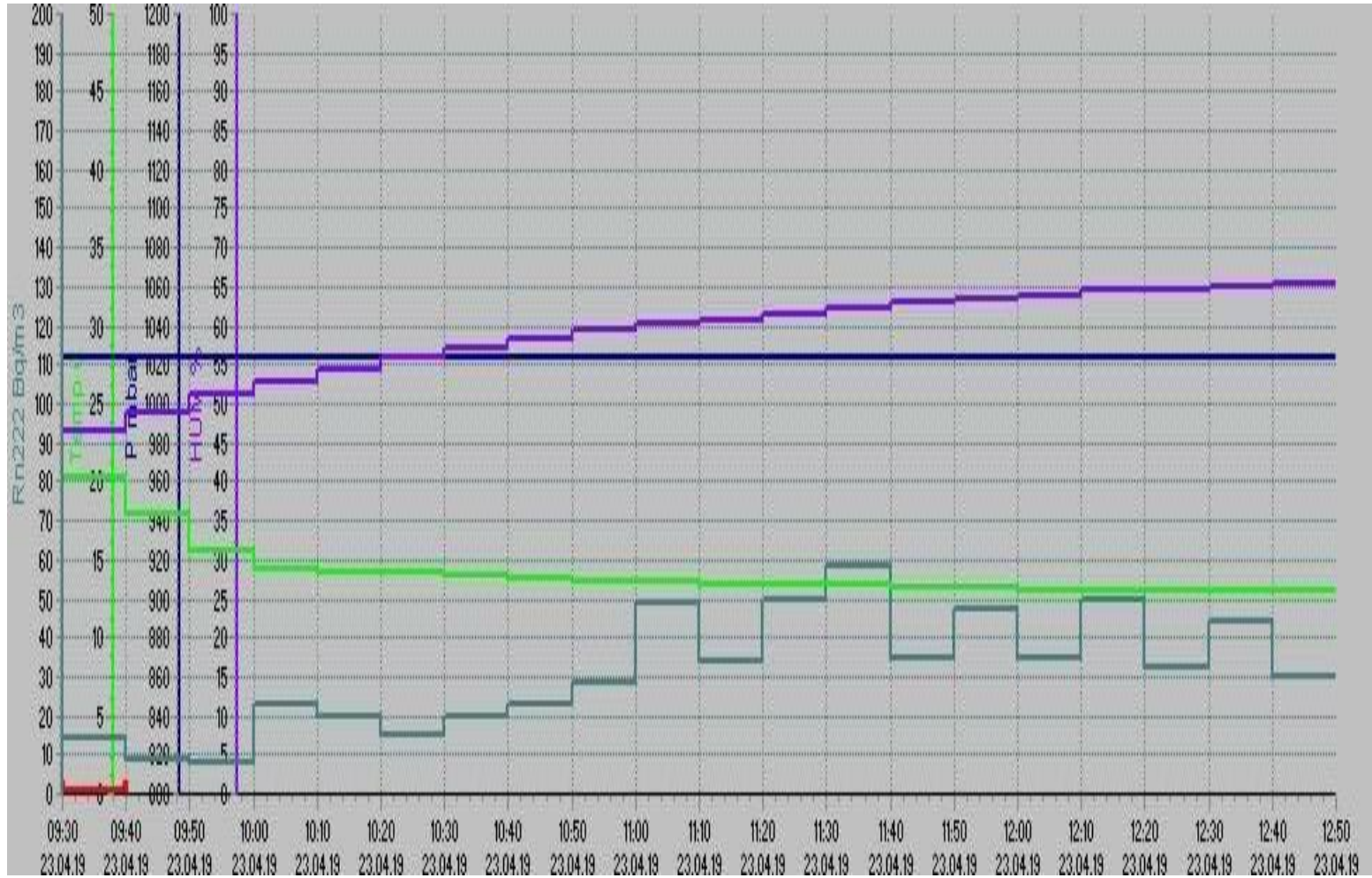
Şekil 4.3. Konut. Radon Spektrumu: 31



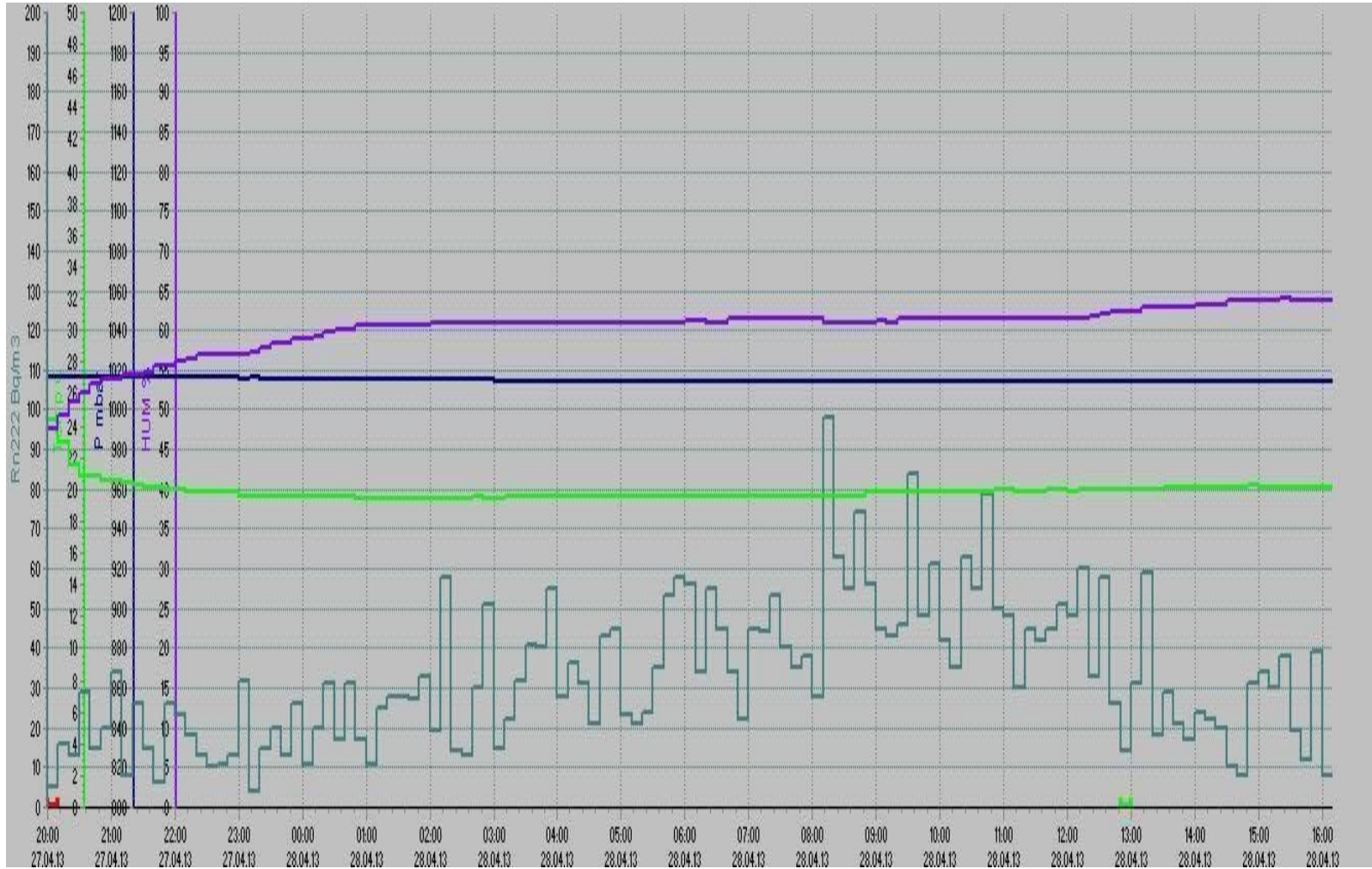
#### 4.1.2 Ofis konut ve okulda havalandırmasız (kapalı) ölçümler



Şekil 4.4. Ofis. Radon Spektrumu: 15



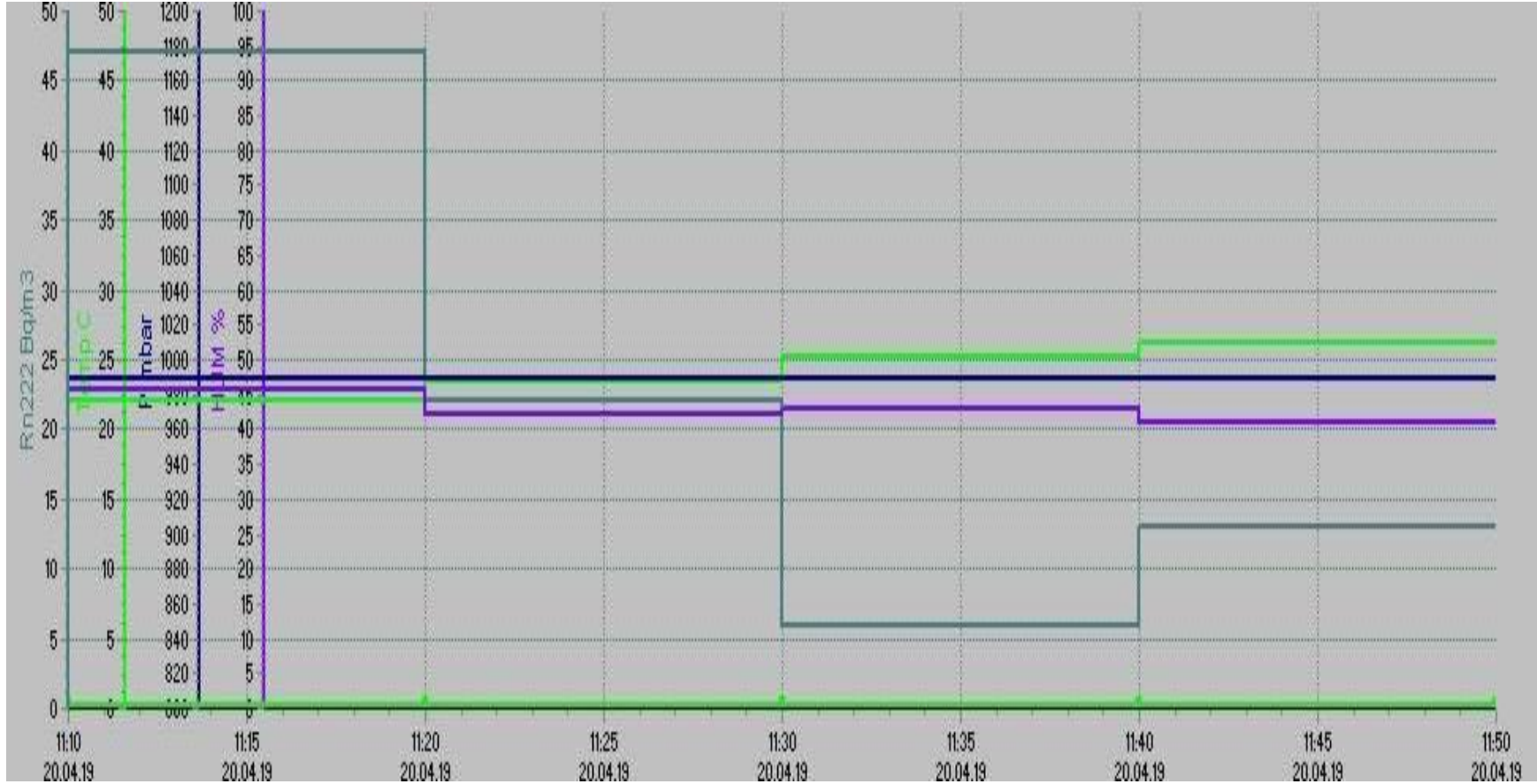
Şekil 4.5. Konut. Radon Spektrumu: 24



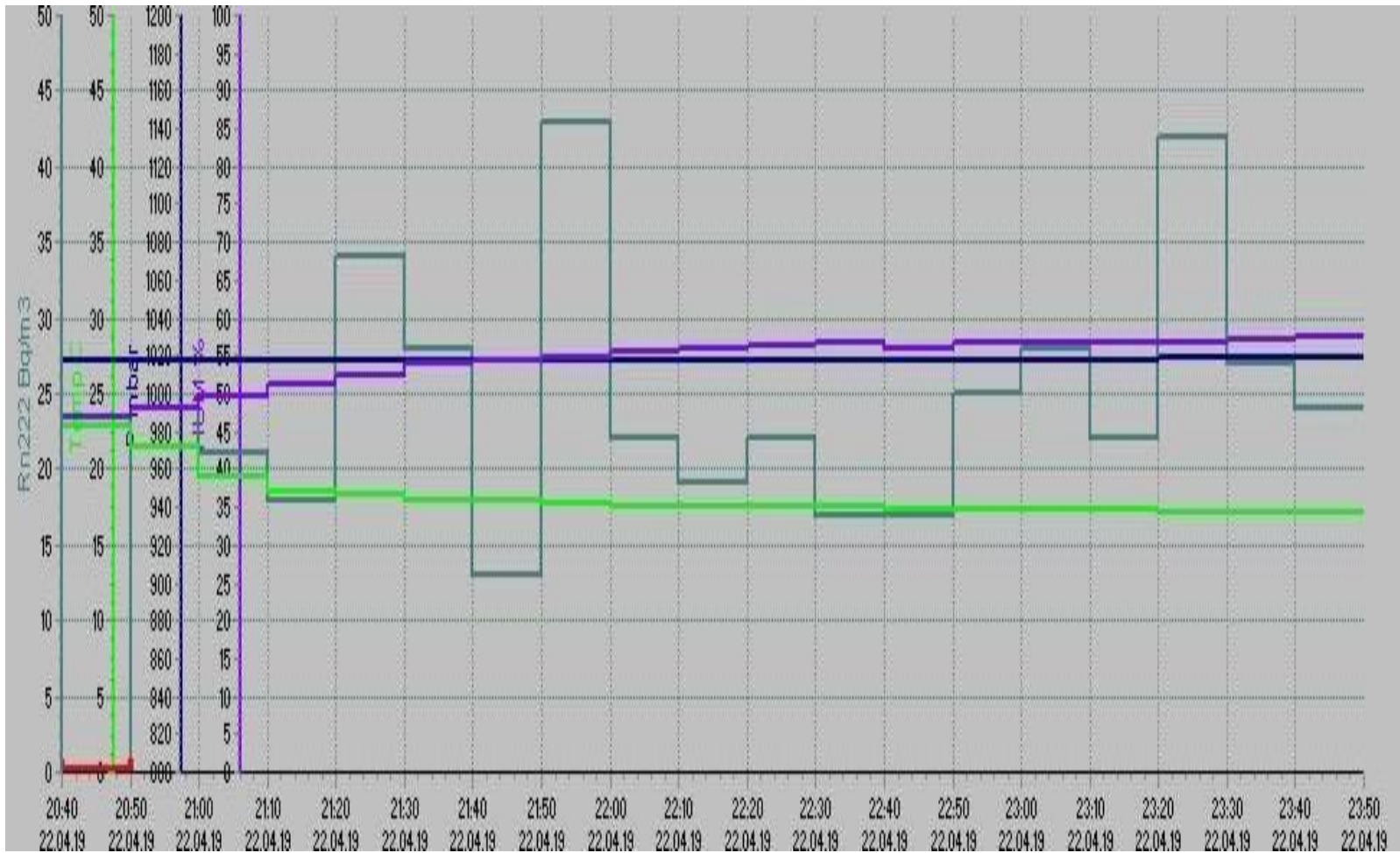
Şekil 4.6. Okul. Radon Spektrumu: 30



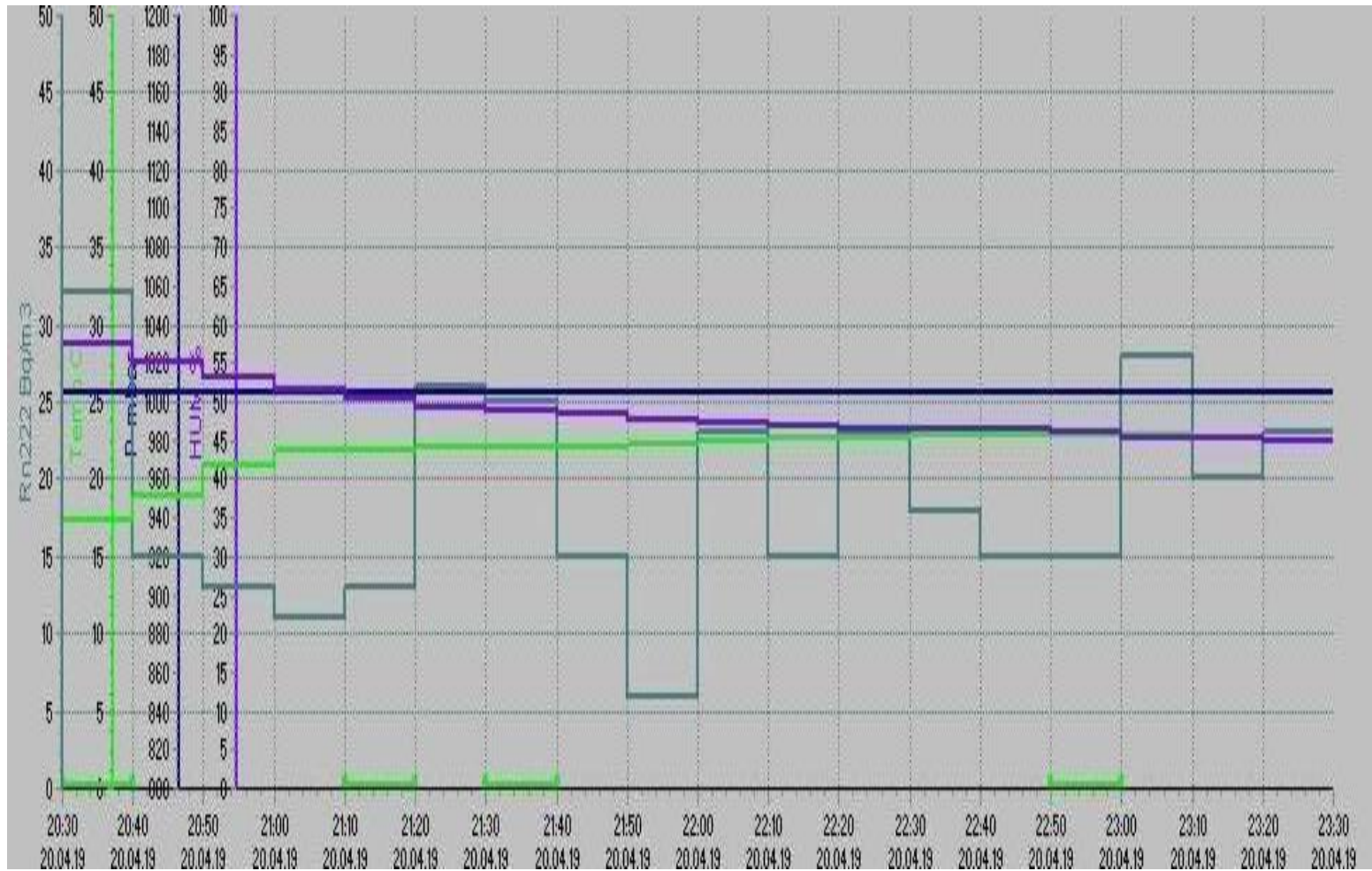
#### 4.1.3 Ofislerde havalandırmalı (açık) ölçümler



Şekil 4.7. Ofis. Radon Spektrumu: 14



Şekil 4.8. Ofis. Radon Spektrumu: 23

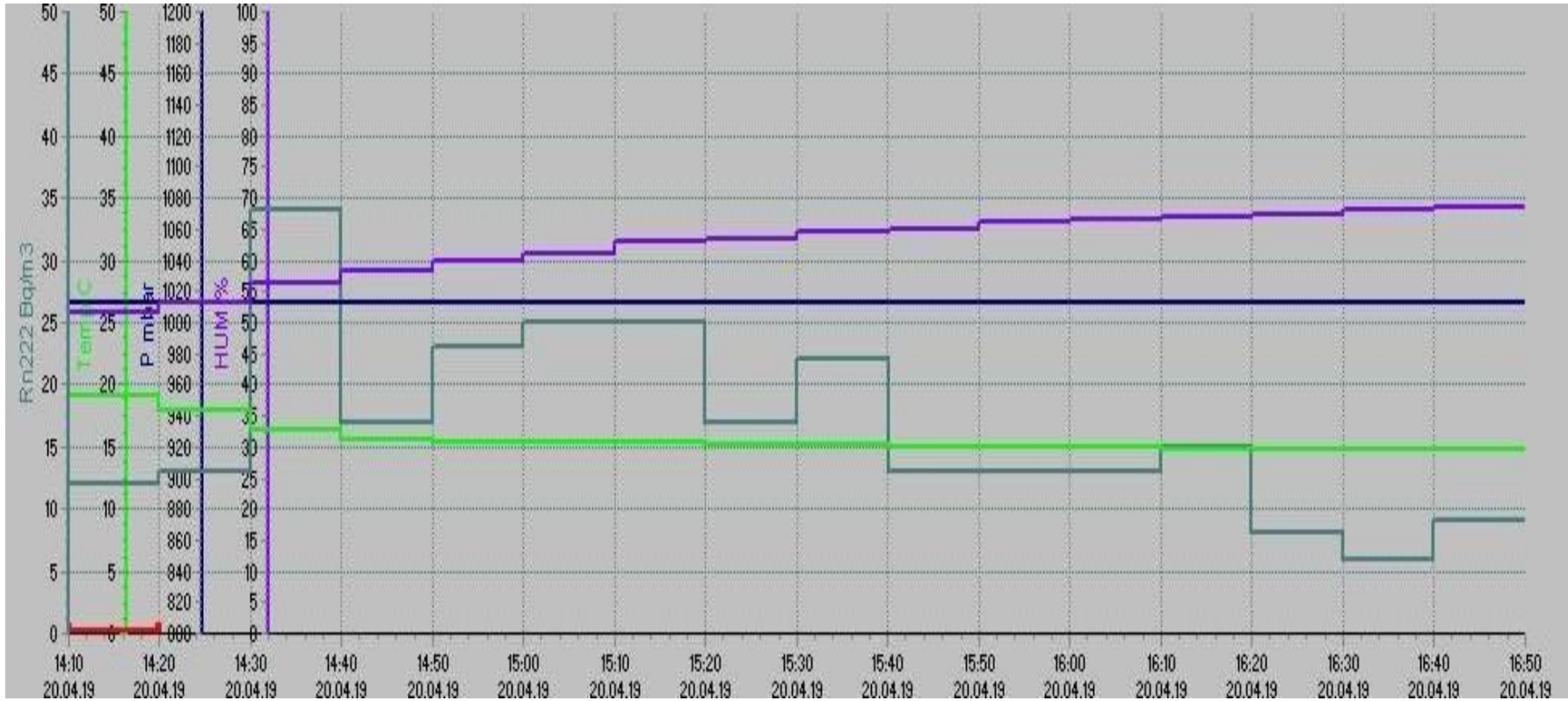


Şekil 4.9. Ofis. Radon Spektrumu: 18

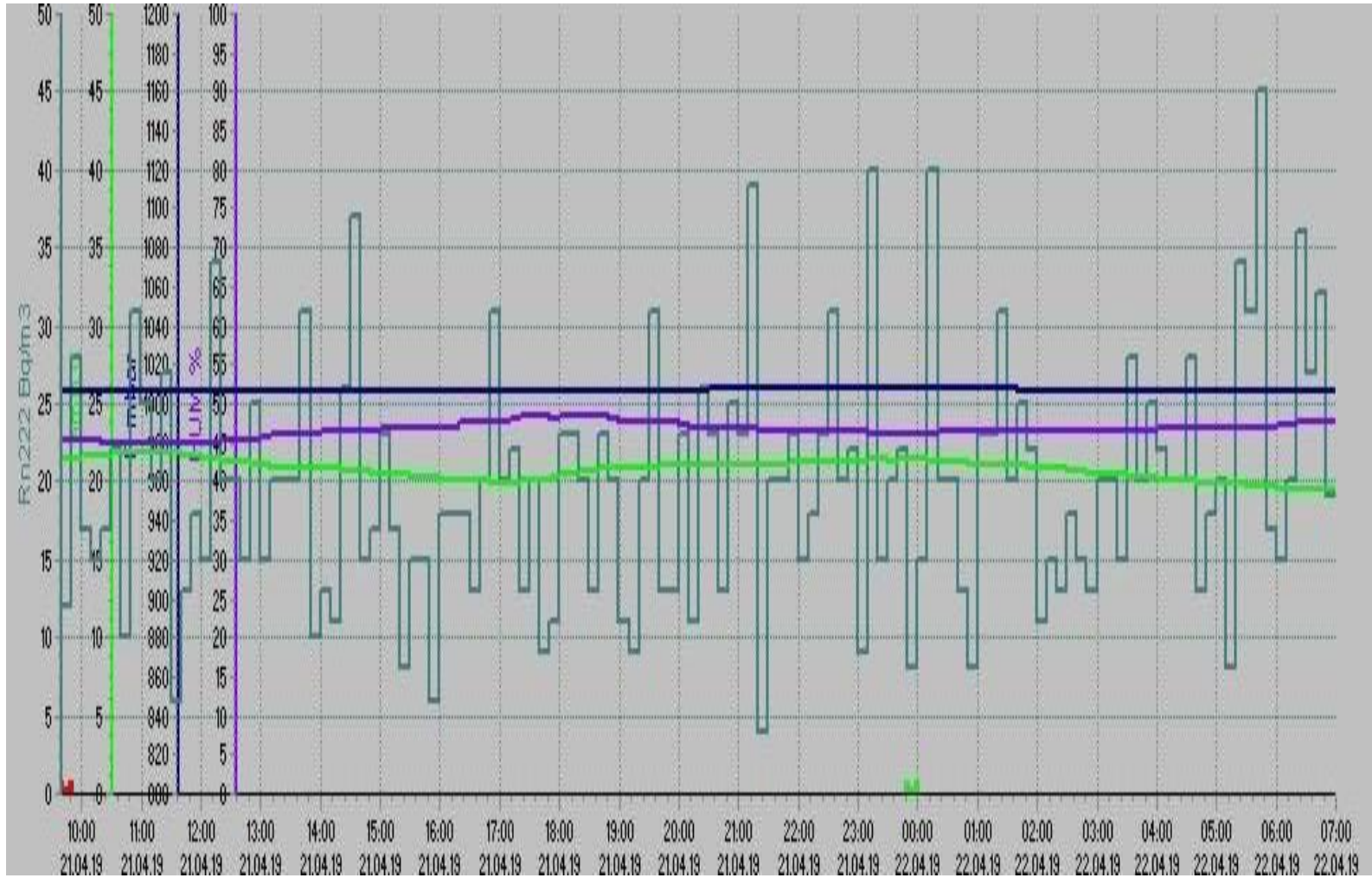


## 4.2 1. Ve 2. Katlar

### 4.2.1 Konutlarda havalandırmalı (kapalı+açık) ölçümler

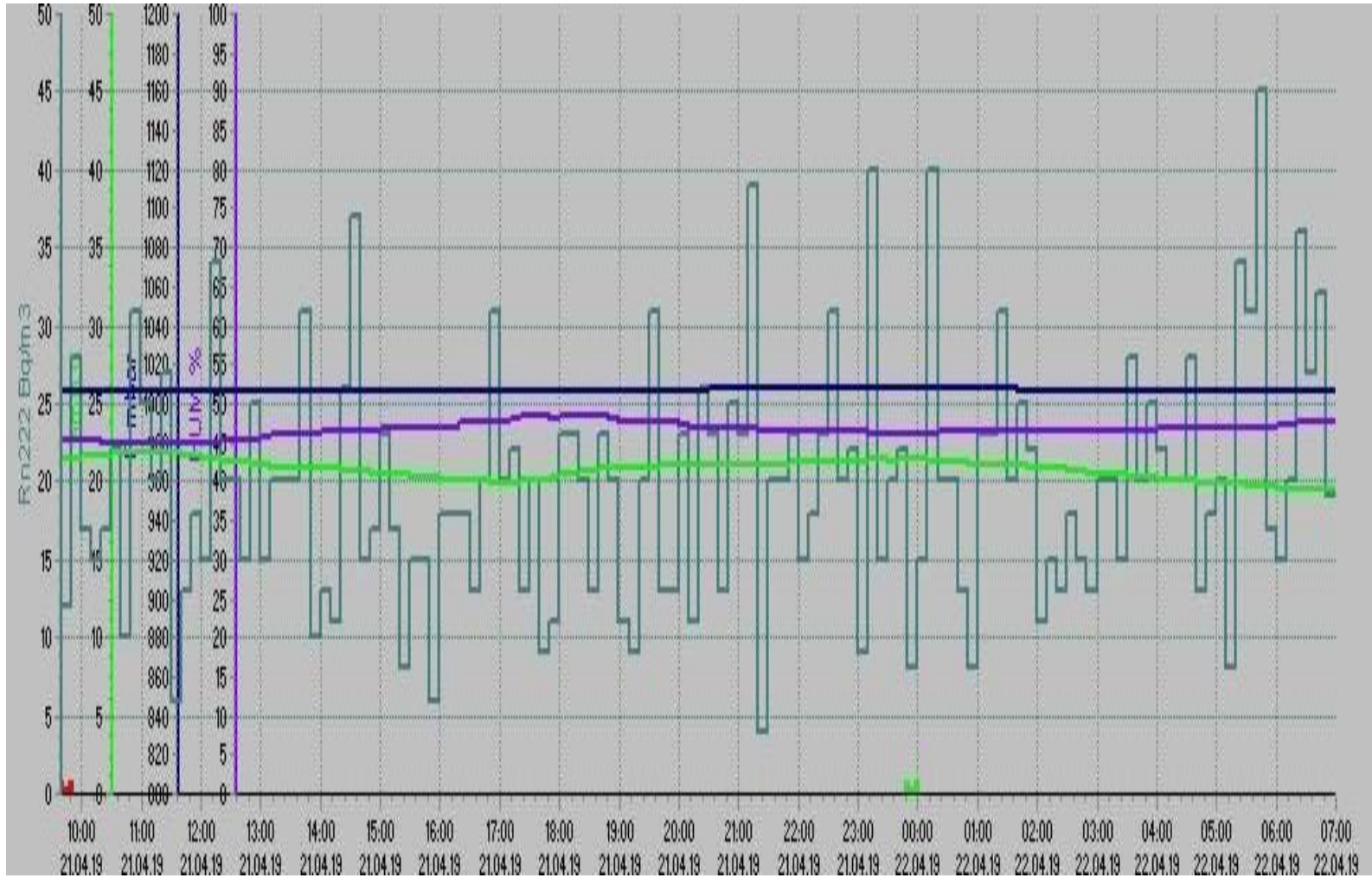


Şekil 4.10. Konut. Radon Spektrumu: 16

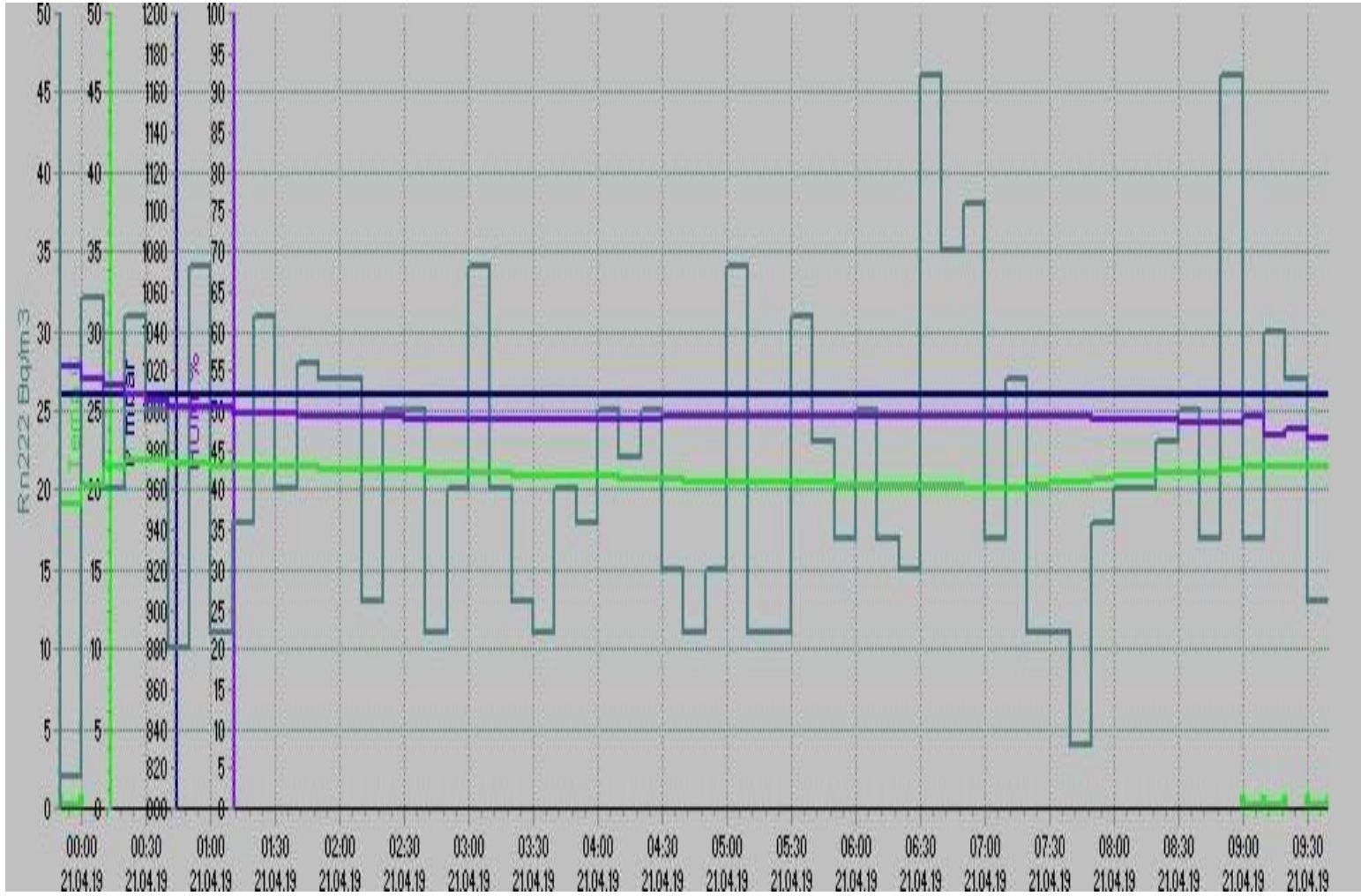


Şekil 4.11. Konut. Radon Spektrumu: 17





Şekil 4.12. Konut. Radon Spektrumu: 20

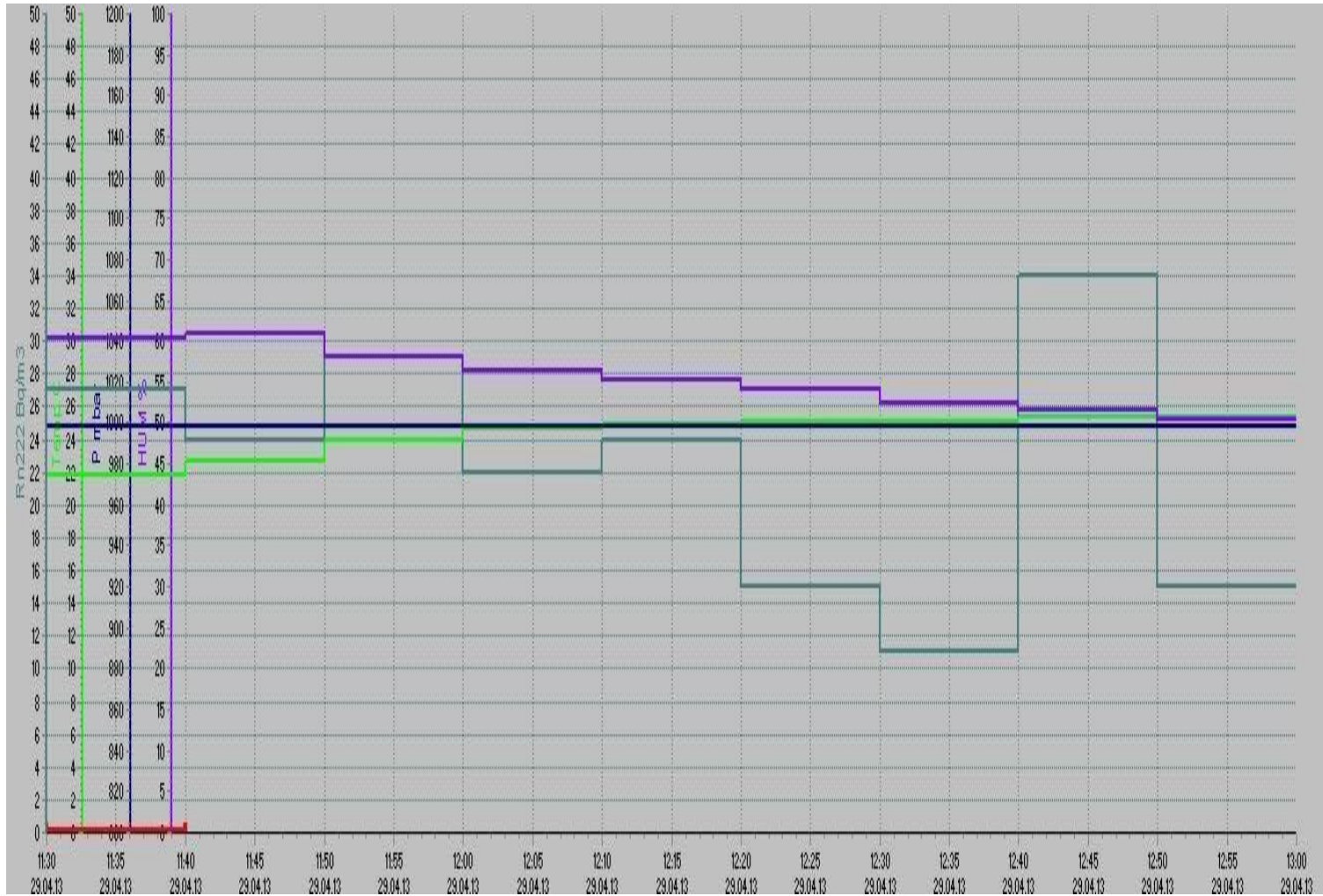


Şekil 4.13. Konut. Radon Spektrumu: 19



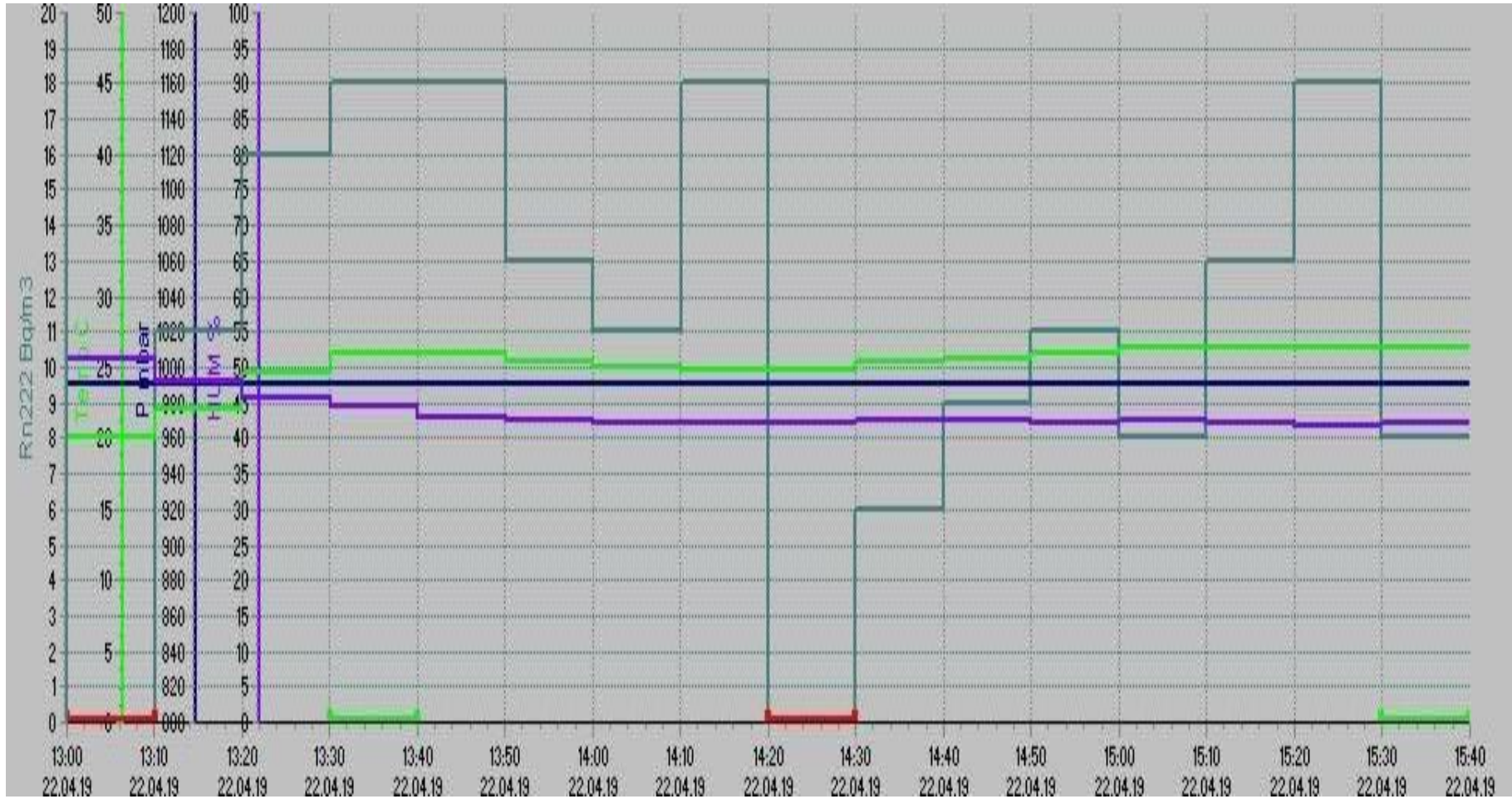
Şekil 4.14. Konut. Radon Spektrumu: 32



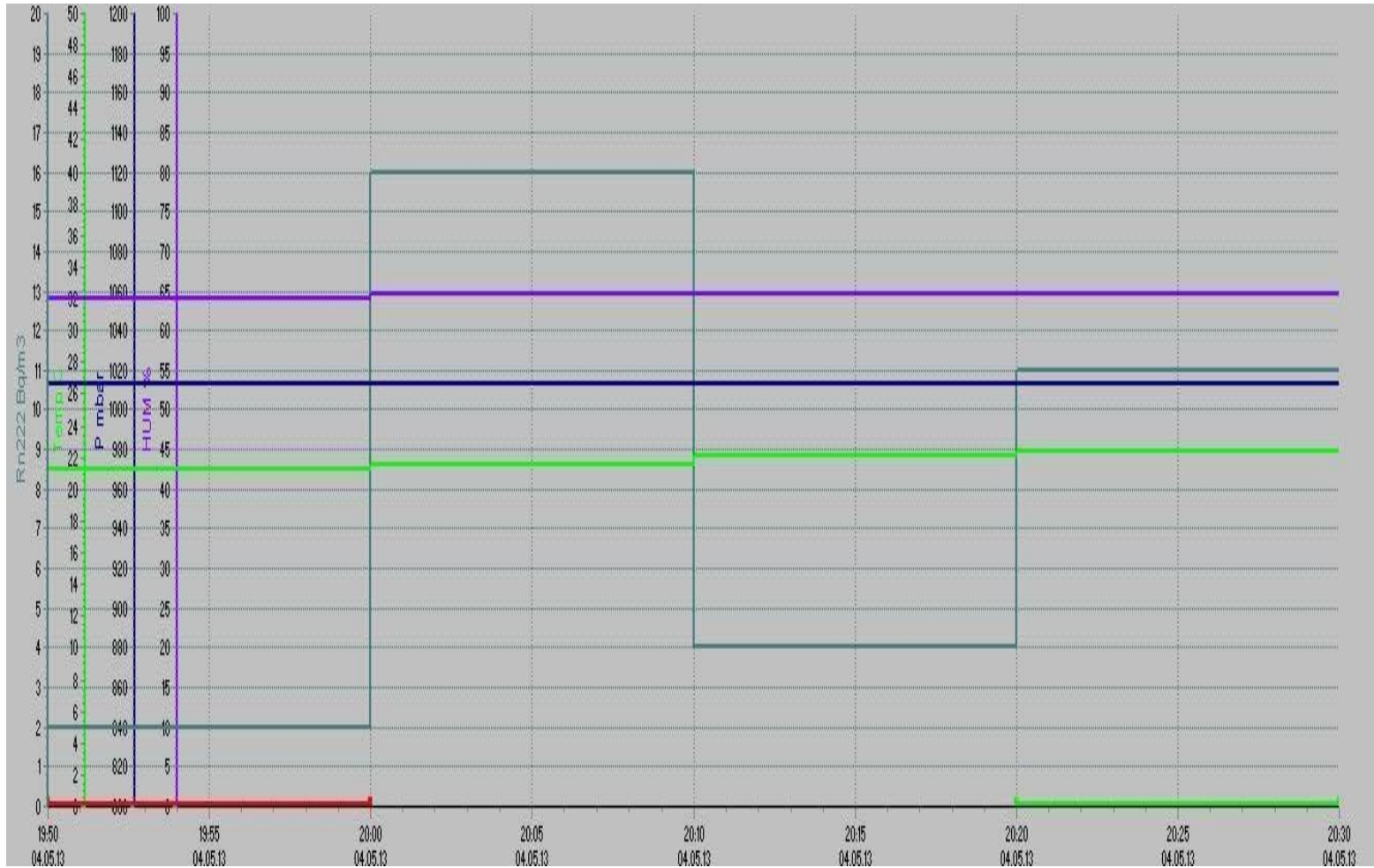


Şekil 4.15. Konut. Radon Spektrumu: 4

#### 4.2.2 Konutlarda havalandırma (açık) ölçümler



Şekil 4.16. Konut. Radon Spektrumu: 21



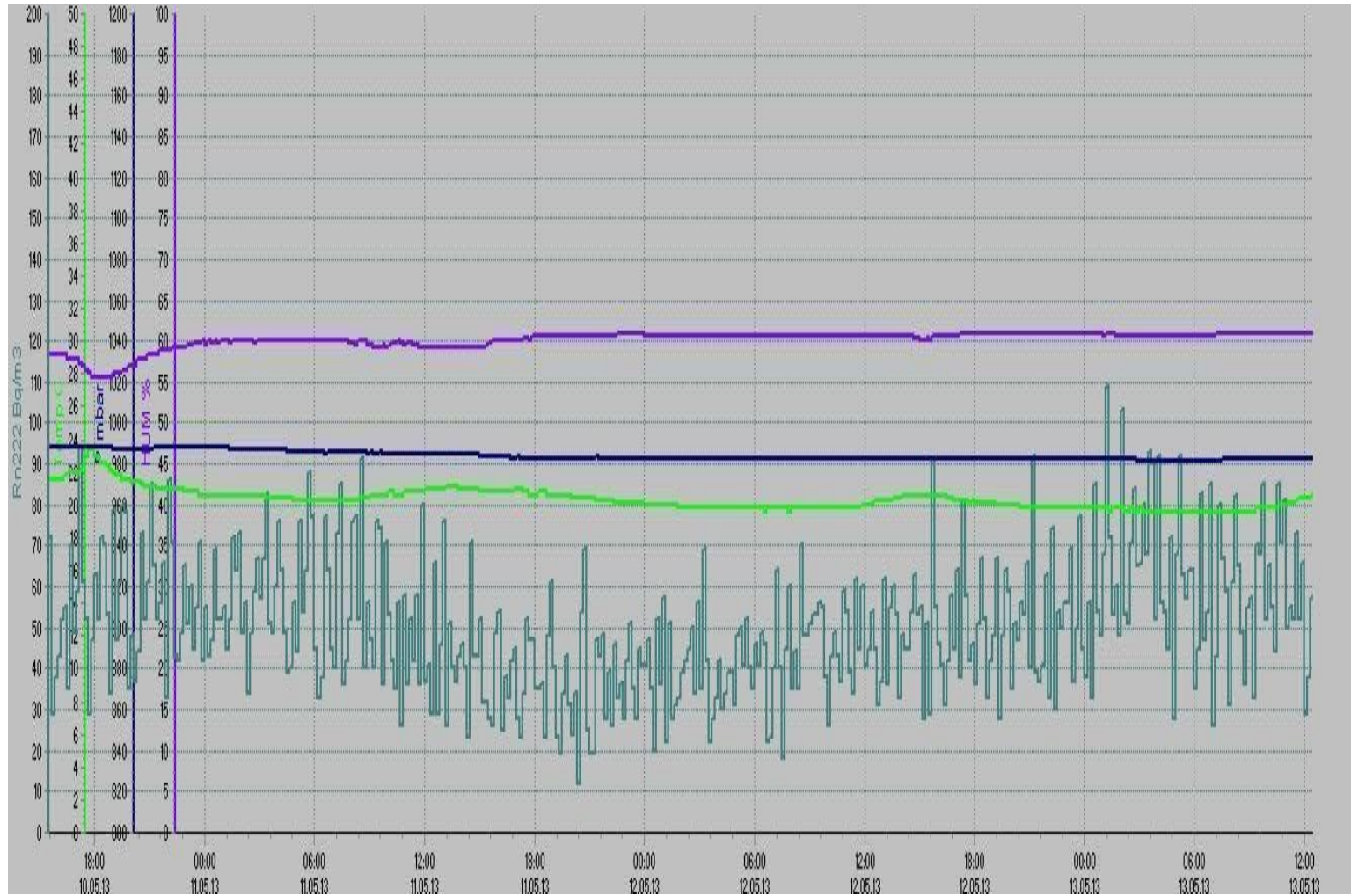
Şekil 4.17. Konut. Radon Spektrumu: 3



#### 4.2.3 Ofislerde havalandırmasız (kapalı) ölçümler

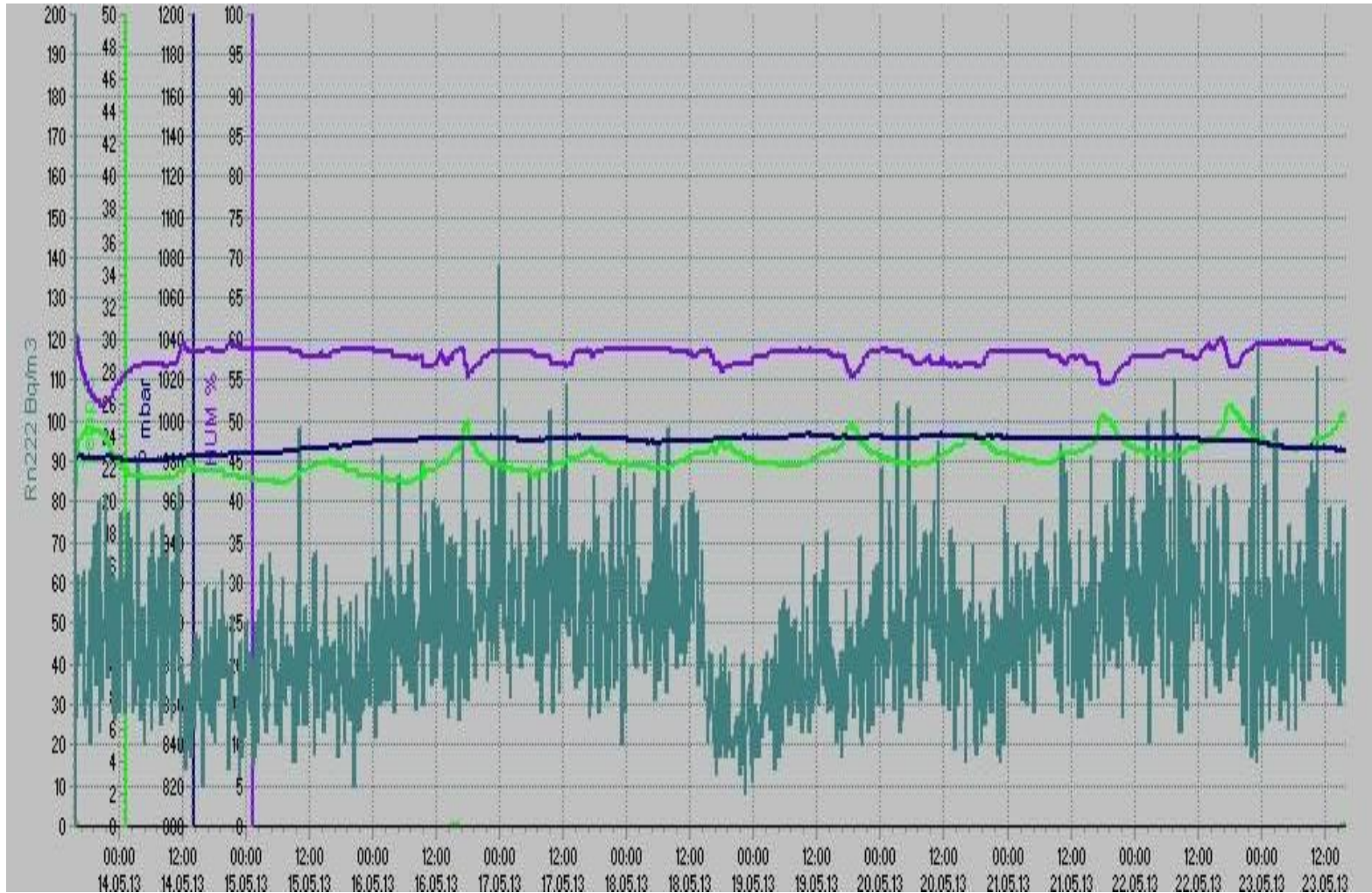


Şekil 4.18. Ofis. Radon Spektrumu: 5



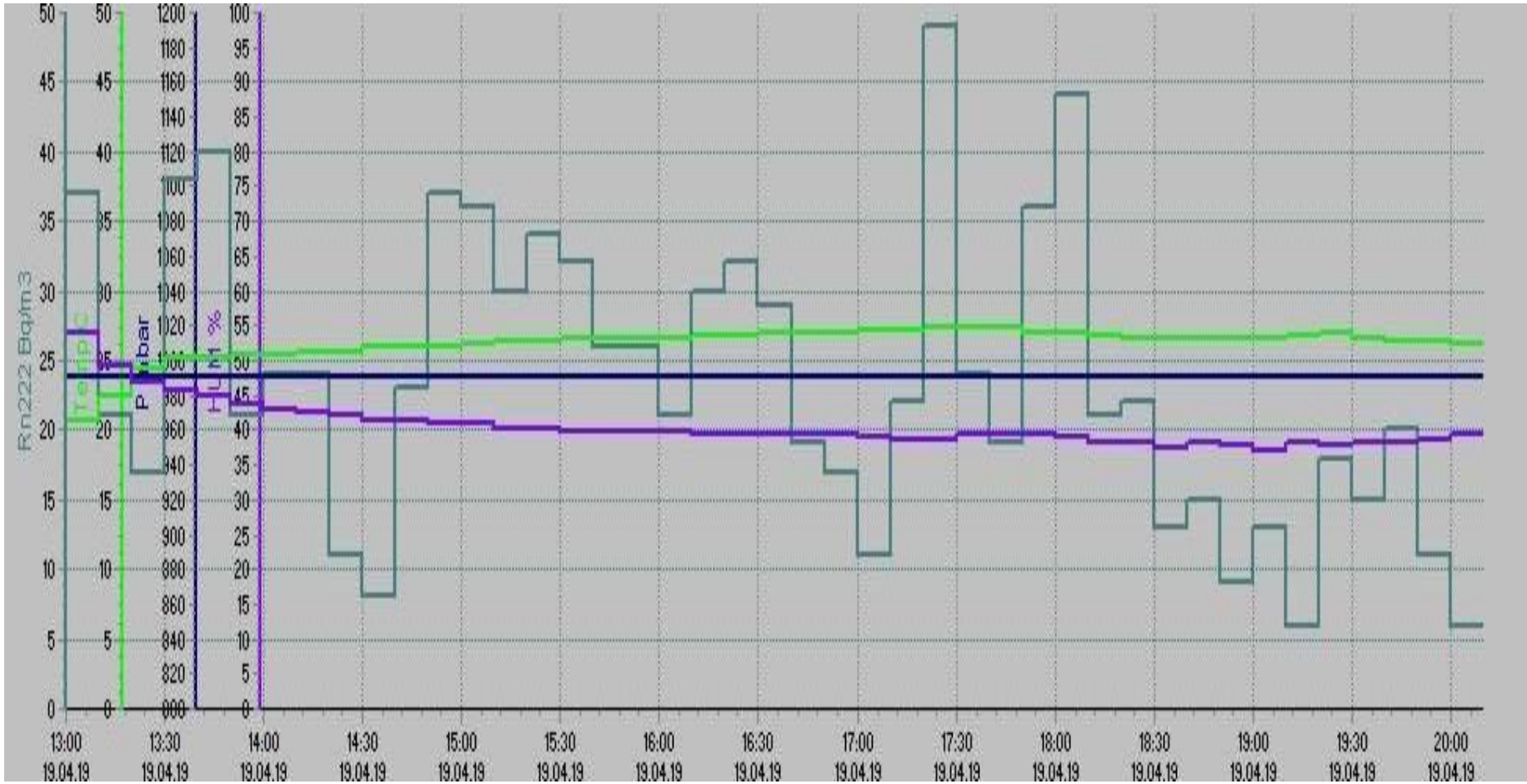
Şekil 4.19. Ofis. Radon Spektrumu: 7





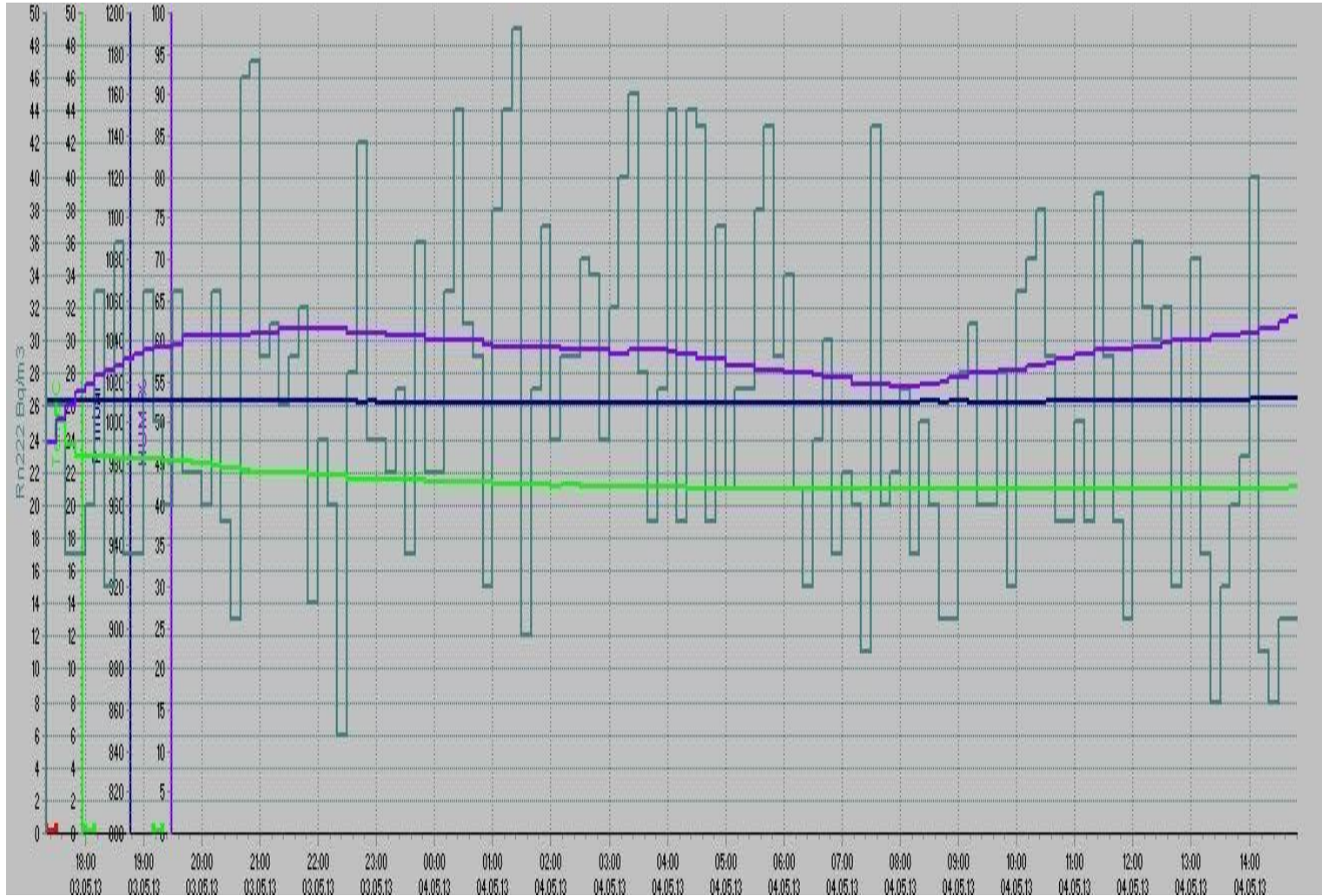
Şekil 4.20. Ofis. Radon Spektrumu: 8

#### 4.2.4 Ofislerde havalandırmalı (kapalı+açık) ölçümler

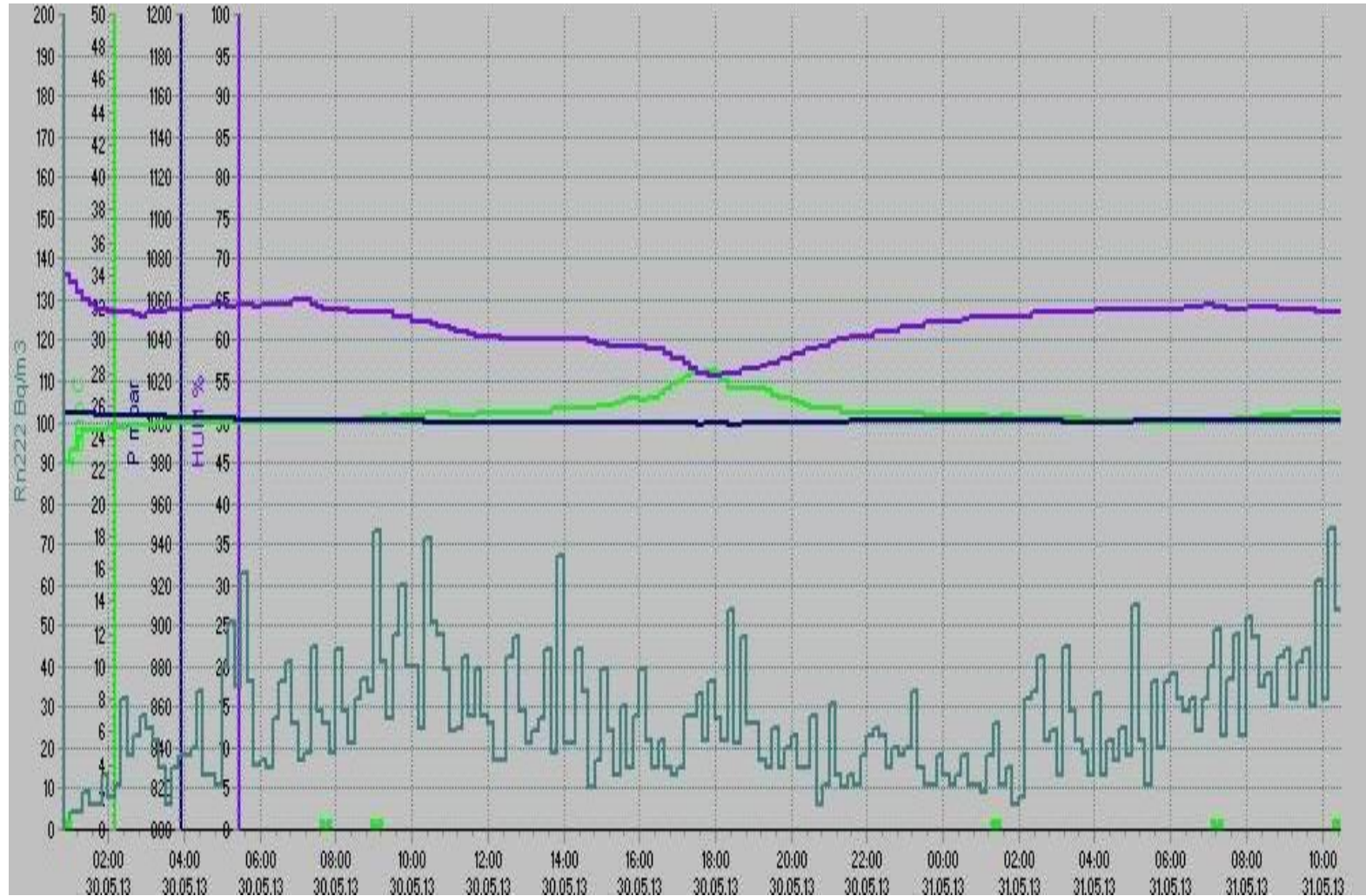


Şekil 4.21. Ofis. Radon Spektrumu: 12



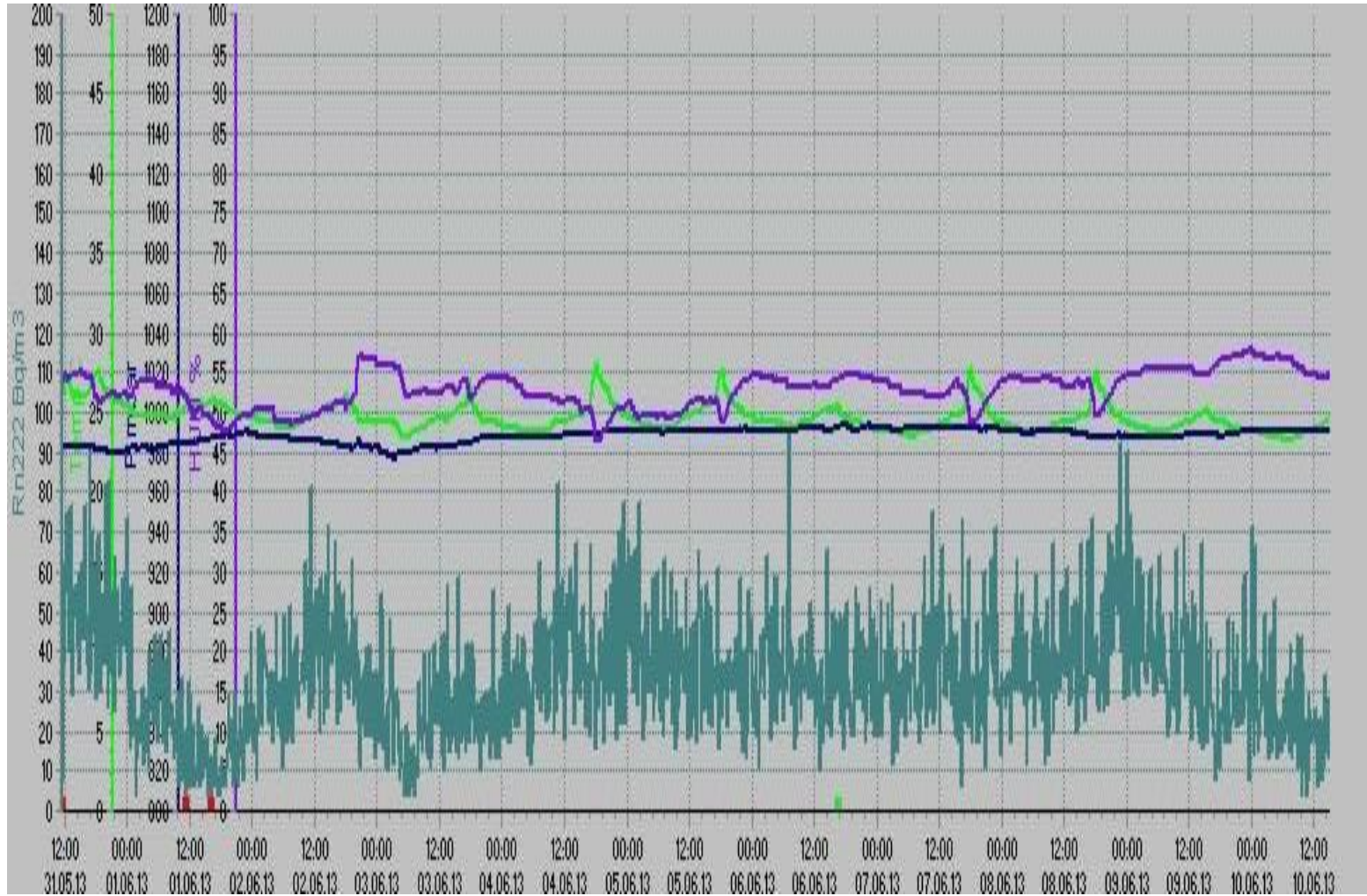


Şekil 4.22. Ofis. Radon Spektrumu: 2



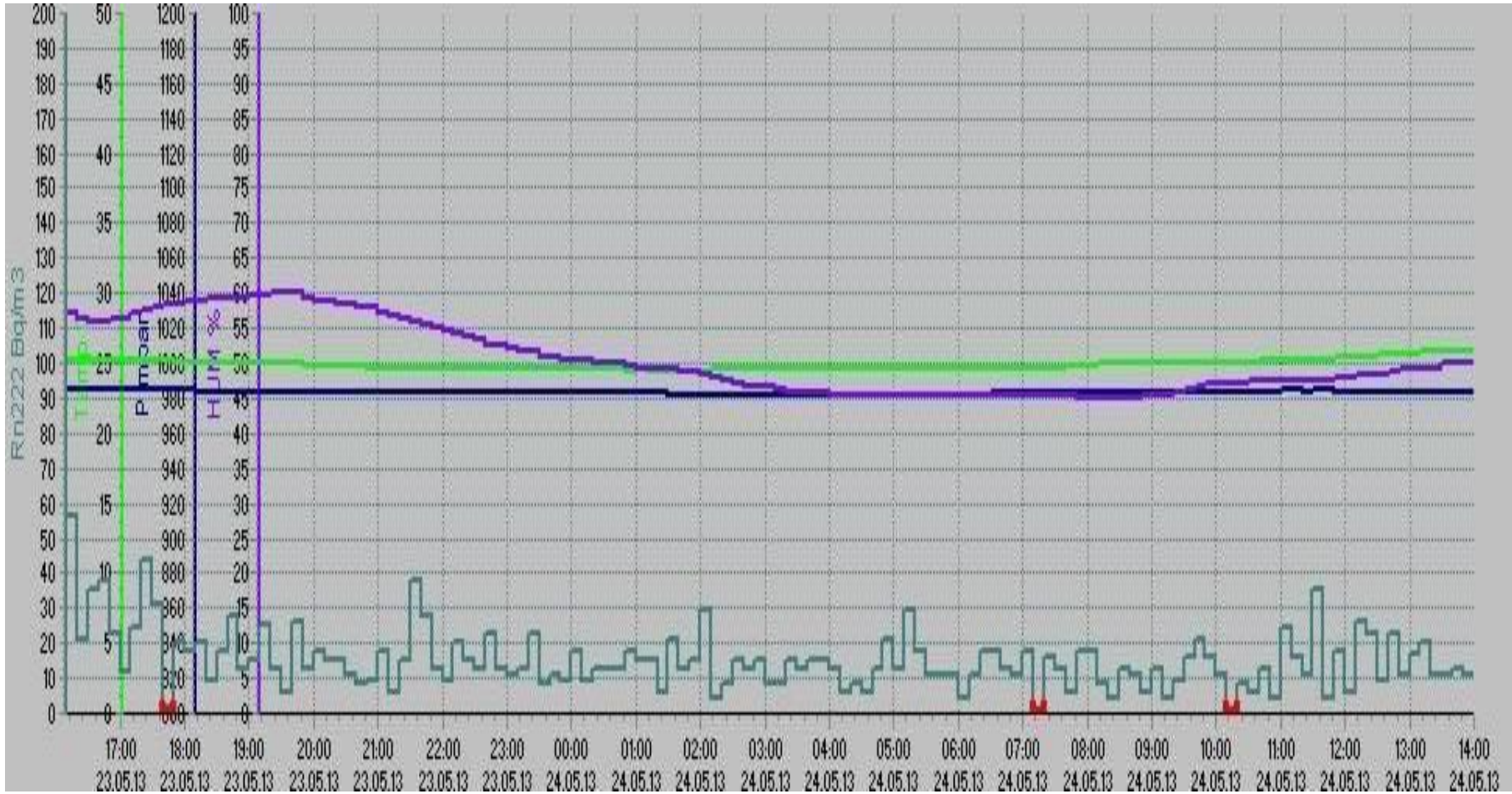
Şekil 4.23. Ofis. Radon Spektrumu: 10





Şekil 4.24. Ofis. Radon Spektrumu: 11

#### 4.2.5 Ofislerde havalandırmalı (açık) ölçümler



Şekil 4.25. Ofis. Radon Spektrumu: 9

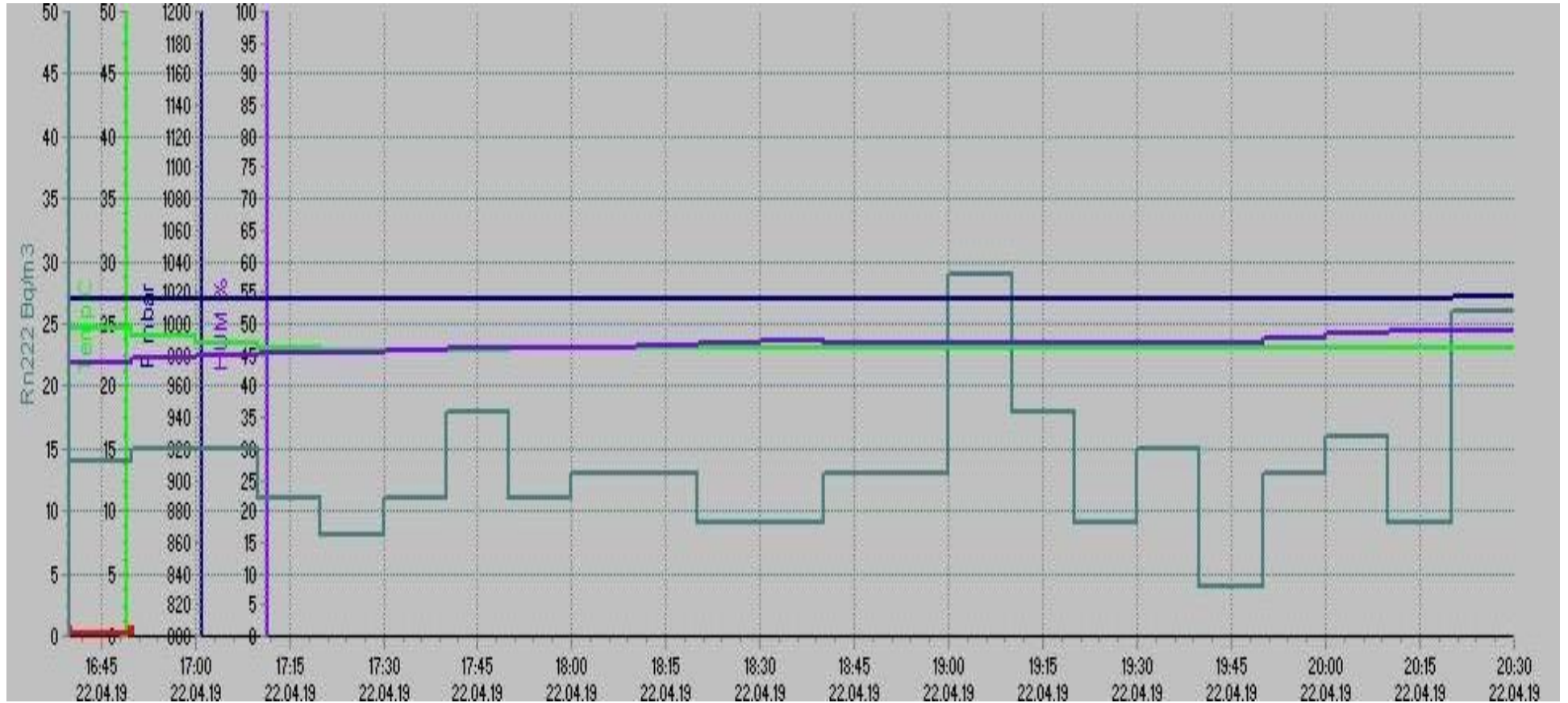




Şekil 4.26. Ofis. Radon Spektrumu: 6

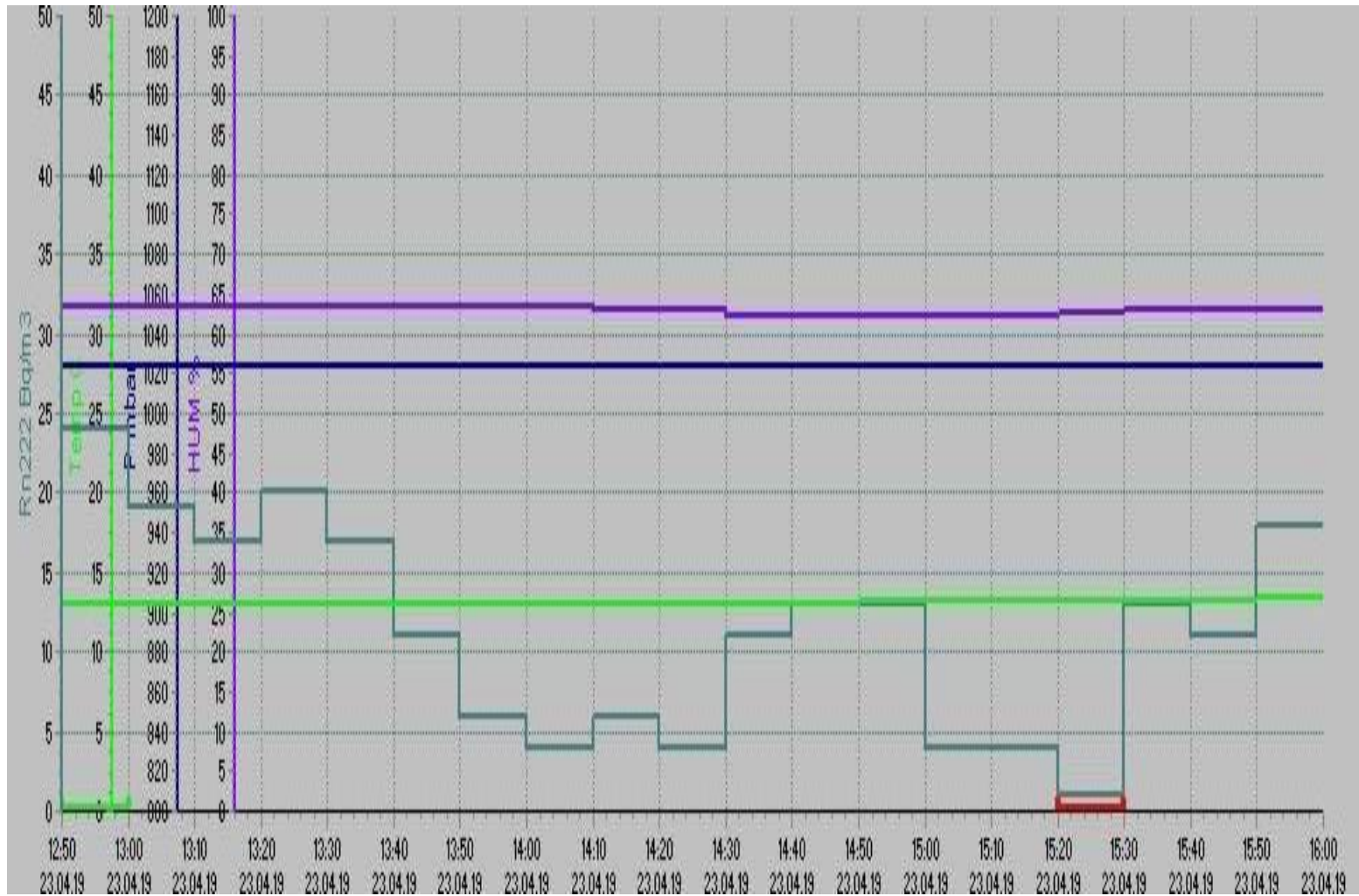
### 4.3 Park Çevresi Ve Vadi Evi

#### 4.3.1 Havalandırmaz (kapalı) ölçümler

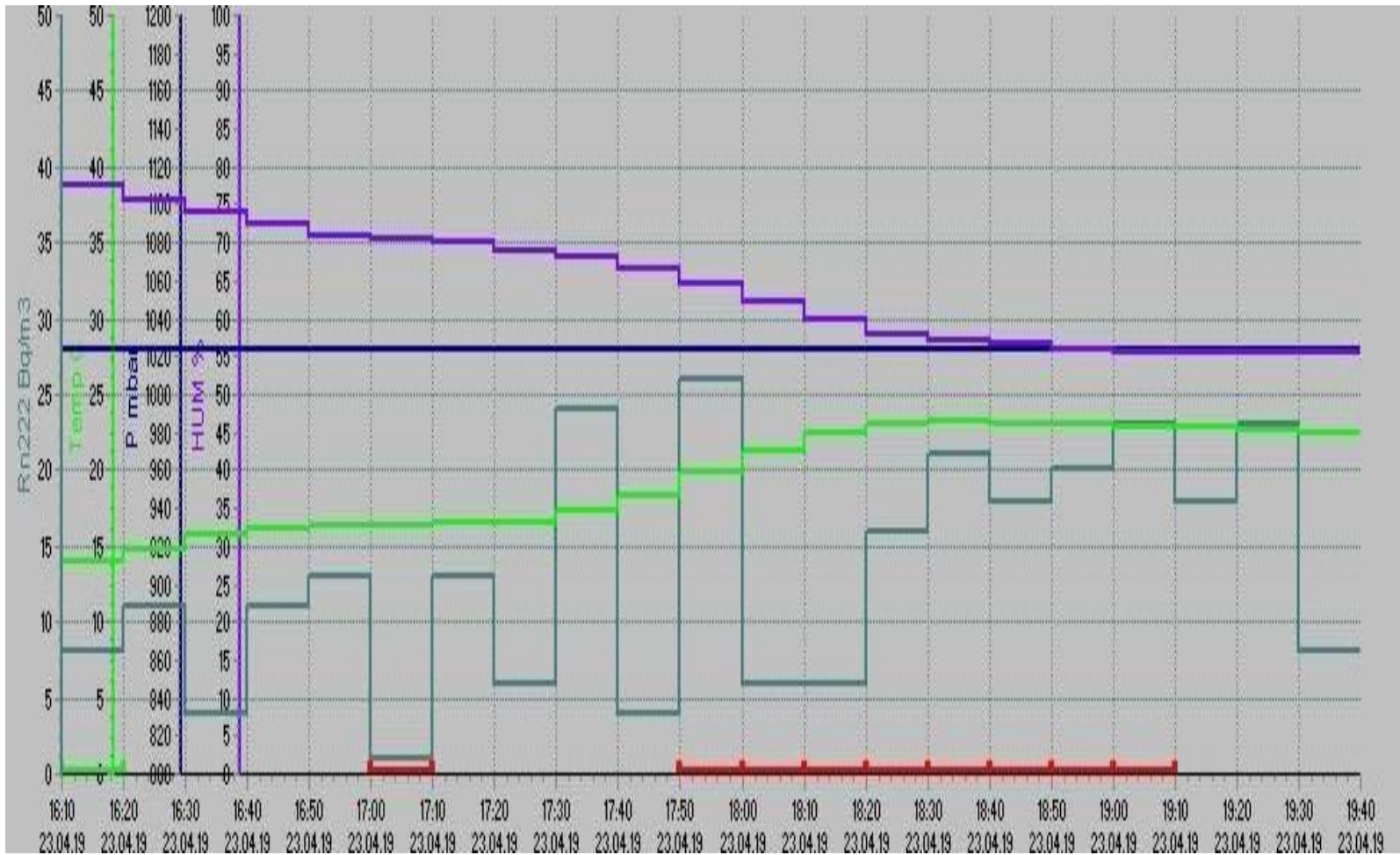


Şekil 4.27. Park Çevresi. Radon Spektrumu: 22





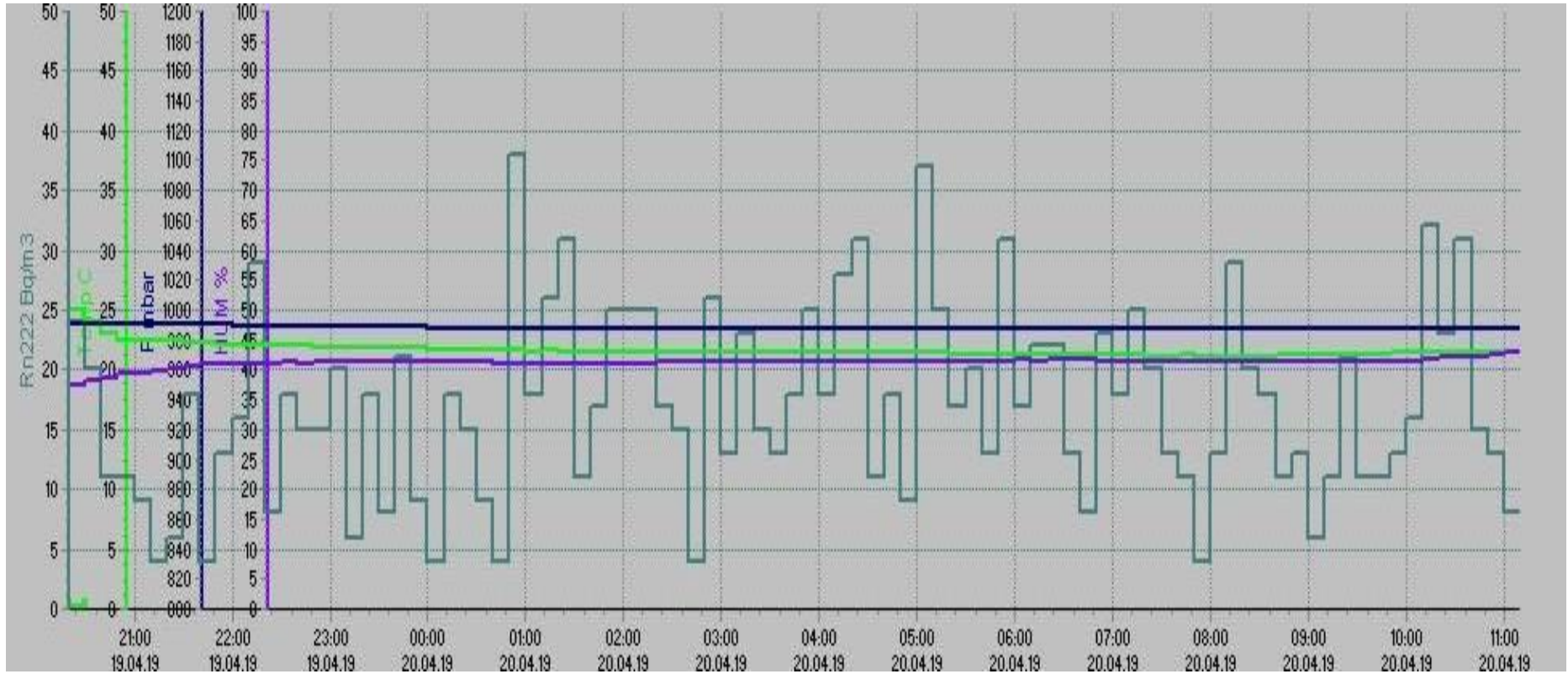
Şekil 4.28. Vadi Evi. Radon Spektrumu: 25



Şekil 4.29. Vadi Evi. Radon Spektrumu: 26

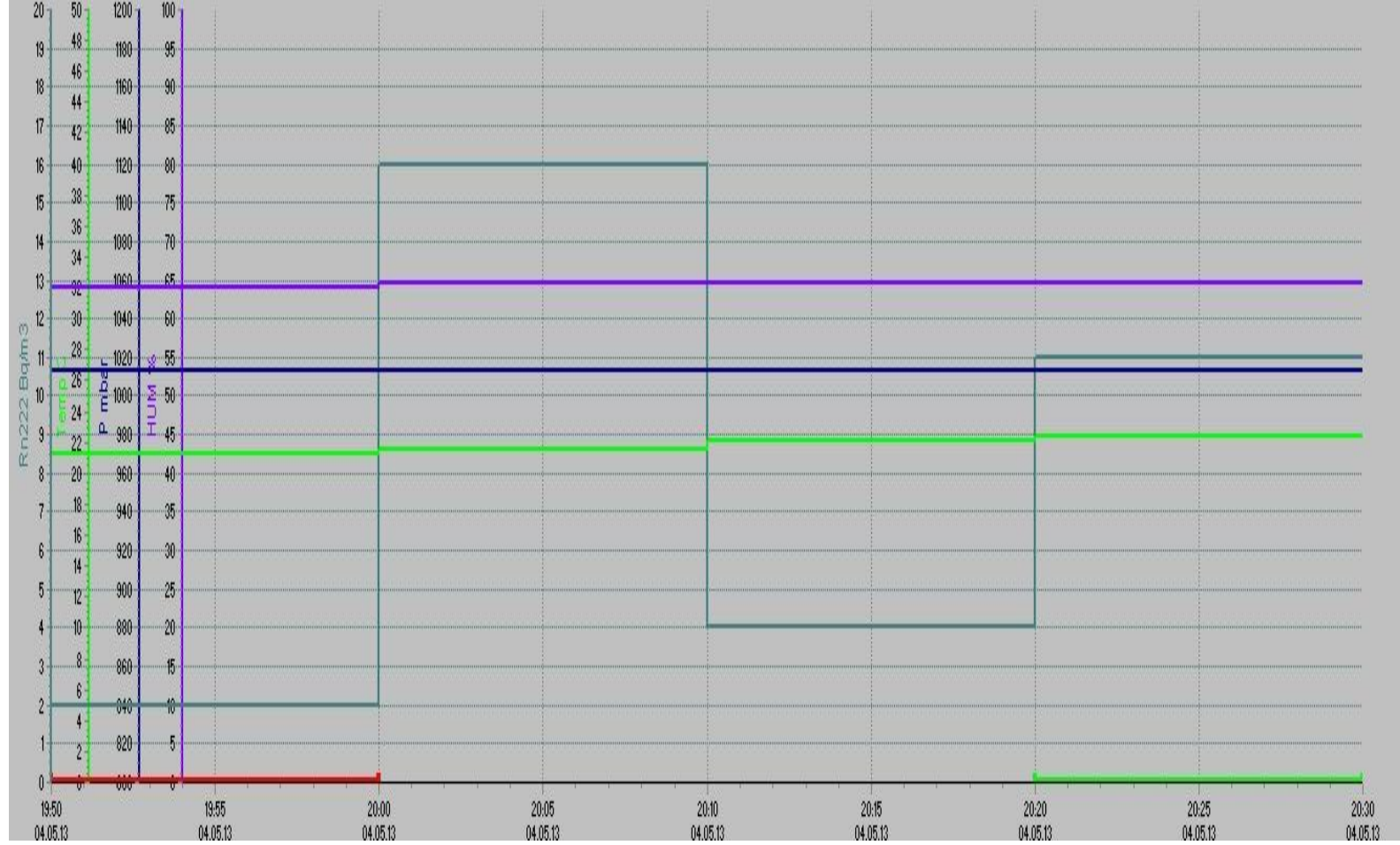
### 4.4 3. Katlar

#### 4.4.1 Konutta havalandırmalı (kapalı + açık) ölçüm



Şekil 4.30. Konut. Radon Spektrumu: 13

#### 4.4.2 Konutta havalandırmalı (açık) ölçüm

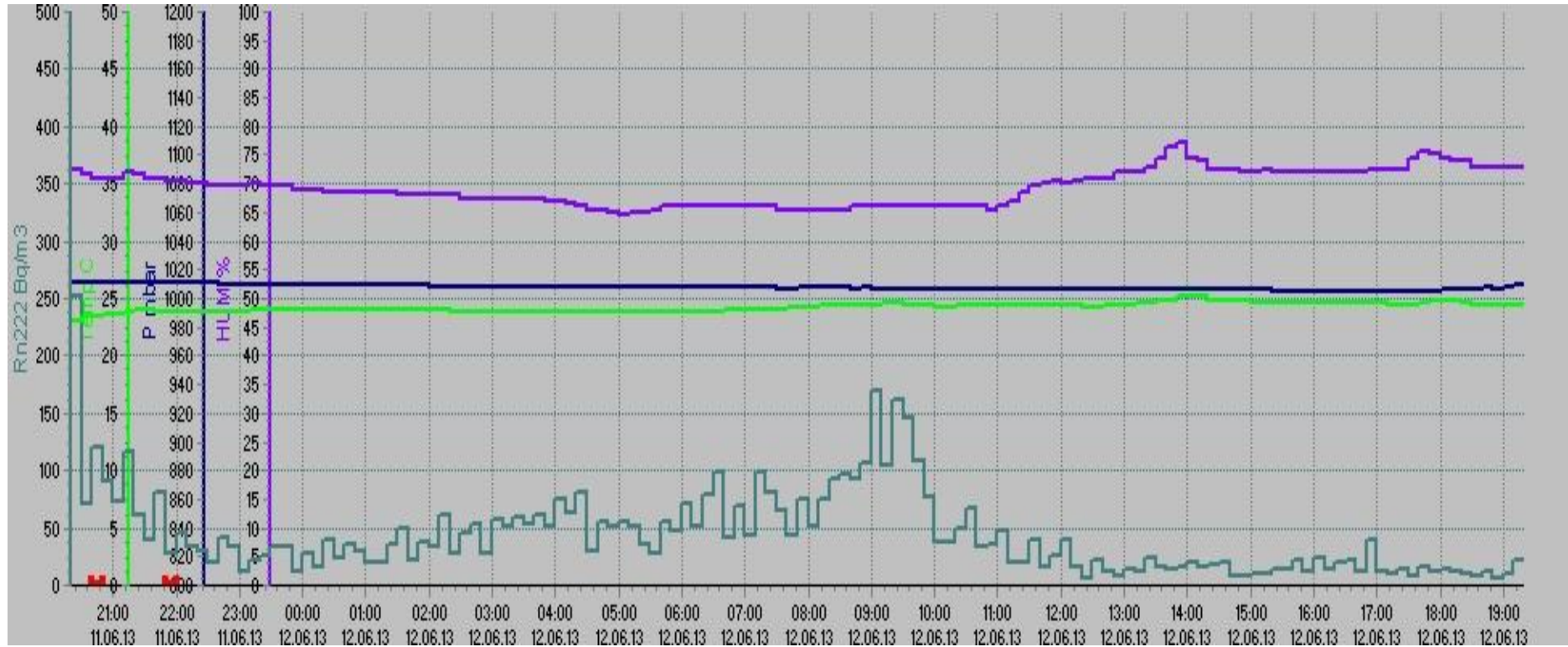


Şekil 4.31. Konut. Radon Spektrumu: 3

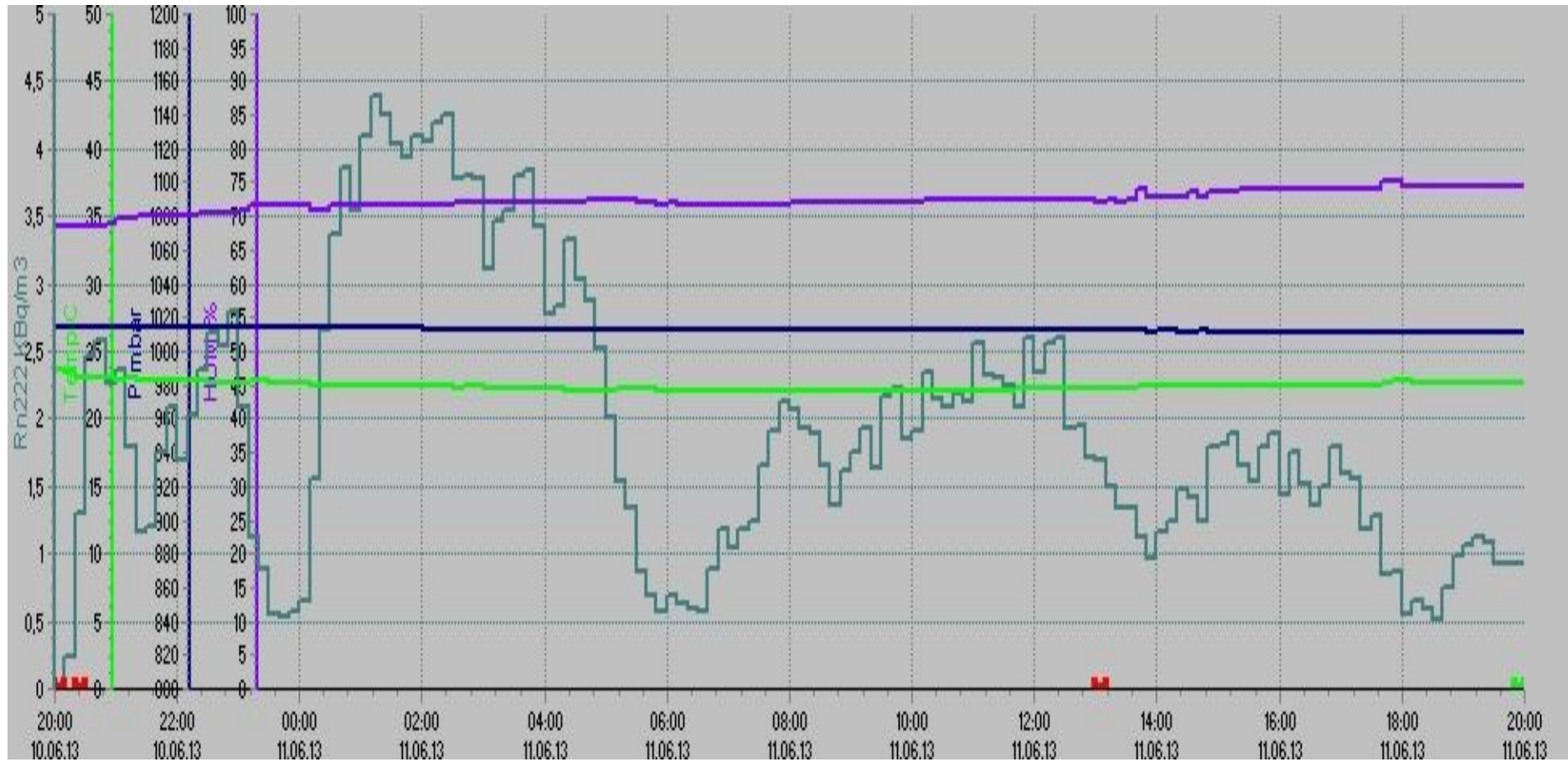


## 4.5 Camiler

### 4.5.1 Havalandırmalı (kapalı+açık) ölçümler



Şekil 4.32. Cami 1. Radon Spektrumu: 14\*



Şekil 4.33. Cami 2. Radon Spektrumu: 12\*

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bina içi Radon konsantrasyonu ölçümlerinde yer olarak konutlar (toplu konut bölgesi, park civarı), kurum ofisleri ve rüzgarı bol bir vadi evi seçilmiştir. Ölçümler binaların zemin katlarında, 1., 2. ve 3. katlarında yapılmıştır. Ölçümlerde, ölçüm yerleri a) sürekli kapalı (KAPALI) b) giriş-çıkışlı ya da kısa süreli açık (KAPALI + AÇIK) c) camlar sürekli açık (AÇIK) olmak üzere 3 farklı durumda tutulmuştur. Sonuçlar toplu olarak Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te gösterilmiştir. (Sonuç grafiklerinde gösterilen zaman, gerçek zamandan 1 saat ileridir.)

**Çizelge 5.1.** Giriş ve Zemin Katlarında Radon Konsantrasyonları

KAT	Radon Spektrumu	Maks	Min	Ort	Hata	Havalandırma	Süre	Yer
<b>GİRİŞ KATI</b>	12*	<b>4384</b>	<b>25</b>	<b>1932,00</b>	$\pm$ <b>43,95</b>	<b>KAPALI + AÇIK</b>	<b>24 saat</b>	<b>Cami 1</b>
	14*	<b>251</b>	<b>6</b>	<b>43,00</b>	$\pm$ <b>6,55</b>	<b>KAPALI + AÇIK</b>	<b>24 saat</b>	<b>Cami 2</b>
<b>ZEMİN KAT</b>	27	131	4	43		KAPALI	14,5 saat	KONUT
	1	114	12	59		KAPALI	26,5 saat	KONUT
	31	116	4	48		KAPALI	13,5 saat	KONUT
	GRUP 1 ORT	<b>120,33</b>	<b>6,66</b>	<b>50,00</b>	$\pm$ <b>6,68</b>	KAPALI	Toplam 54,5 saat	
	15	56	8	34		KAPALI	1,5 saat	OFİS
	24	58	8	31		KAPALI	3,5 saat	KONUT
	30	98	4	33		KAPALI	20 saat	OKUL
	GRUP 2 ORT	<b>70,66</b>	<b>6,66</b>	<b>32,66</b>	$\pm$ <b>1,25</b>	KAPALI	Toplam 25 saat	
	14	47	6	22		AÇIK	40 dakika	OFİS
	23	43	1	23		AÇIK	3 saat	OFİS
	18	32	6	19		AÇIK	3 saat	OFİS
	GRUP 3 ORT	<b>40,66</b>	<b>4,33</b>	<b>21,33</b>	$\pm$ <b>1,70</b>	AÇIK	Toplam 46 saat	
	<b>ZEMİN ORT</b>	<b>77,22</b>	<b>5,88</b>	<b>34,67</b>	$\pm$ <b>3,20</b>			



Çizelge 5.2. 1. Ve 2. Katlarda Radon Konsantrasyonları

KAT	Radon Spektrumu	Maks	Min	Ort	Hata	Havalandırma	Süre	Yer
1. VE 2. KAT	19	46	2	21		KAPALI + AÇIK	10 saat	KONUT
	16+17	36,5	8,5	20		KAPALI + AÇIK	5,5 saat	KONUT
	20	45	4	20		KAPALI + AÇIK	21 saat	KONUT
	4	37	8	19		KAPALI + AÇIK	6 saat	KONUT
	32	34	11	22		KAPALI + AÇIK	1,5 saat	KONUT
	<b>GRUP 1 ORT</b>	<b>39,70</b>	<b>6,70</b>	<b>20,40</b>	<b>± 1,02</b>	KAPALI + AÇIK	Toplam 34 saat	
	21	18	1	11		AÇIK	2,5 saat	KONUT
	3	16	2	8		AÇIK	30 dakika	KONUT
	<b>GRUP 2 ORT</b>	<b>17</b>	<b>1,50</b>	<b>9,50</b>	<b>± 1,50</b>	AÇIK	Toplam 3 saat	
	5	121	2	51		KAPALI	53,5 saat	OFİS
	7	109	12	50		KAPALI	70 saat	OFİS
	8	138	8	48		KAPALI	240 saat	OFİS
	<b>GRUP 3 ORT</b>	<b>122,66</b>	<b>7,33</b>	<b>49,66</b>	<b>± 1,25</b>	KAPALI	Toplam 363,5 saat	
	12	49	6	23		KAPALI + AÇIK	7 saat	OFİS
	2	49	6	26		KAPALI + AÇIK	21,5 saat	OFİS
	10	74	2	27		KAPALI + AÇIK	25 saat	OFİS
	11	97	2	33		KAPALI + AÇIK	244 saat	OFİS
	<b>GRUP 4 ORT</b>	<b>67,25</b>	<b>4</b>	<b>27,25</b>	<b>± 3,63</b>	KAPALI + AÇIK	Toplam 297,5 saat	
	9	56	1	15		AÇIK	22 saat	OFİS
	6	34	1	16		AÇIK	15 saat	OFİS
	<b>GRUP 5 ORT</b>	<b>45</b>	<b>1</b>	<b>15,50</b>	<b>± 0,50</b>	AÇIK	Toplam 37 saat	
	<b>GENEL ORT</b>	<b>59,97</b>	<b>4,78</b>	<b>25,63</b>	<b>± 1,20</b>	AÇIK		

**Çizelge 5.3.** Vadi Evi, Park ve 3. Katlardaki Radon Konsantrasyonları

KAT	Radon Spektrumu	Maks	Min	Ort	Hata	Havalandırma	Süre	Yer
1. KAT	22	29	4	13		KAPALI	4 saat	PARK CİVARI VADI EVİ VADI EVİ
	25	24	1	11		KAPALI	3 saat	
	26	26	1	13		KAPALI	3,5 saat	
	<b>GENEL ORT</b>	<b>26,33</b>	<b>2</b>	<b>12,33</b>	<b>± 0,94</b>	KAPALI	Toplam 10,5 saat	
3. KAT	13	38	4	13		KAPALI + AÇIK	15 saat	KONUT KONUT
	3	16	2	8		AÇIK	30 dakika	
	<b>GRUP 5 ORT</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>10,50</b>	<b>± 2,50</b>		Toplam 15,5 saat	

Çizelge 5.1, 5.2, 5.3 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır:

- Konutların toplu olduğu bölgelerde konutlar uzun süre kapalı tutulduğunda, zemin katlardaki radon konsantrasyonu maksimum 131 minimum 4 ve ortalama  $50,00 \mp 6,68 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Ofislerde zemin katlarda camlar sürekli açık olduğunda radon konsantrasyonu maksimum 47 minimum 1 ve ortalama  $21,33 \mp 1,70 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Ofis konut ve okullarda zemin katlar için bulunan radon konsantrasyonu ortalama maksimum 77,22 ortalama minimum 5,88 ve genel ortalama  $34,67 \mp 3,20 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Üniversite ve diğer zeminin üstündeki (1. ve 2. Kat) ofislerde, ofis uzun süre kapalı tutulduğunda radon konsantrasyonu maksimum  $138 \text{ Bq/m}^3$  minimum  $2 \text{ Bq/m}^3$ , ve ortalama değer de  $49,66 \mp 1,25 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- 1. Ve 2. Katlarda ofise girilip çıkıldığında yani (kapalı + açık) durumlarda radon konsantrasyonu maksimum 97, minimum 2, ve ortalama değer  $27,25 \mp 3,63 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Farklı yerlerdeki konutların 1. ve 2. katları giriş çıkışlı tutulduğunda radon konsantrasyonu maksimum 46, minimum 2 ve ortalama  $20,40 \mp 1,02 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.

- Farklı yerlerdeki konutların 1. Ve 2. Katlarında kapılar açık tutulduğunda, havalandırıldığında, radon konsantrasyonu ortalama  $9,50 \mp 1,50 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- 3. Katlardaki durum, havadar 2. Katlardan çok farklı değildir. Radon konsantrasyonu genel ortalaması  $10,50 \mp 2,50 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Ofislerde camlar sürekli açık tutulduğunda radon konsantrasyonu maksimum 56, minimum 1, ve ortalama değer  $15,50 \mp 0,50 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Vadide veya park civarındaki konutlarda kapalı durumda radon konsantrasyonu maksimum 29, minimum 1, ve ortalama değer  $12,33 \mp 0,94 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür. Bu değerler, EPA limit değeri  $148 \text{ Bq/m}^3$  'ün çok altındadır.
- Sınırlı sayıda (2) cami ile yapılan giriş – çıkışlı (kapalı + açık) ölçümlerden birinde radon konsantrasyonu normal, maksimum 251, minimum 6, ortalama  $43,00 \mp 6,55 \text{ Bq/m}^3$ , diğerinde ise muhtemelen zemin izolasyonu iyi değil, maksimum 4384, minimum 25, ve ortalama değer  $1932,00 \mp 43,95 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür. **Bu değerler EPA limitlerinin çok üzerindedir.**
- Havalandırmasına ve kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın, konutların ev içi ortalama radon konsantrasyonu  $24,85 \mp 1,36 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Havalandırmasına ve kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın, ofislerin ortalama radon konsantrasyonu  $29,77 \mp 1,63 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Havalandırmasına ve kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın; ofis, okul, konut, park civarı ve vadi evlerinde, radon konsantrasyonu genel ortalaması  $26 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Uzun süre kapalı koşulda; ofis, okul ve konutlarda, kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın radon konsantrasyonu ortalaması  $44,11 \mp 3,83 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Camlar sürekli açık koşulda; ofis, okul ve konutlarda, kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın radon konsantrasyonu ortalaması  $15,25 \mp 0,83 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.
- Camlar kısa süreli açık koşulda; ofis, okul ve konutlarda, kaçınıcı kat olduğuna bakılmaksızın radon konsantrasyonu ortalaması  $22,40 \mp 0,83 \text{ Bq/m}^3$  ölçülmüştür.

Değerlerimizin IAEA'nın 1996 yılında belirlemiş olduğu 200-600 Bq/m<sup>3</sup> izin verilebilir seviyeyi aşmadığını bulduk.

Uzun süreli ölçümlerde radon konsantrasyonunun nem oranıyla yakın ilişkili olduğu (nem düştüğünde konsantrasyonun da düştüğü, nem yükseldiğinde konsantrasyonun da yükseldiği) gözlemlenmiştir.(Bkz. Şekil 4.24)

Bina içi radon konsantrasyonunun havalandırma ile değişimini Şekil 2.16'da göstermiştik. Kapı açılmasına bağlı olarak ortamda gerçekleşen hava sirkülasyonunun radon konsantrasyonunu anlık değiştirdiğini gözledik. Örneğin Şekil 4.33'te her namaz vaktinde Radon seviyesi düşmektedir.

Çalışma dönemimiz (Nisan Haziran ayları) 2013 Yaz'dır. Detektör bu dönem için K.T.Ü'den sağlanabildi. Bu dönem için 1. - 2. kat uzun süre kapalı ofislerde radon konsantrasyonu sonucumuz  $49,66 \pm 1,25$  Bq/m<sup>3</sup>'tür. Bu değer, literatürdeki Ferhan Özderya'nın (Özderya, F., 2009) Samsun merkez yaz dönemi radon ortalama konsantrasyonuyla (48 Bq/m<sup>3</sup>) çok iyi uyum içindedir.

Yunanistan'ın Patras şehrinde apartmanlarda mevsimsel yapılan radon konsantrasyonu ölçümlerinde (Papaethymiou vd., 2003) tespit edilen 28 Bq/m<sup>3</sup> değeri, tezimizde yer alan 1. Ve 2. Katlarda (kapalı + açık) havalandırma durumundaki ofislerde ölçtüğümüz radon konsantrasyonu ortalama değeri  $27,25 \mp 3,63$  Bq/m<sup>3</sup> ile çok iyi uyum içindedir.

Ölçüm yaptığımız yaz dönemi için Samsun Ortalama ortalaması 26 Bq/m<sup>3</sup> için yıllık etkin doz değeri yaklaşık 0,68 mSv/yıl'dır. Ölçüm yaptığımız yaz dönemi için kapalı koşulda ortalama 49,66 Bq/m<sup>3</sup> için yıllık etkin doz değeri yaklaşık 1,23 mSv/yıl'dır. Ve maksimum gözlenen 138 için yıllık etkin doz değeri yaklaşık 3,8 mSv/yıl'dır (Denklem 2.18).

Yaz dönemi ortalamamızı Özderya'nın tezindeki (Özderya, F., 2009) diğer mevsimlere ait ortalama konsantrasyonlarıyla birleştirerek Samsun merkez için yıllık ortalama Radon konsantrasyonu 106,42 Bq/m<sup>3</sup> kestirildi ve yıllık etkin doz için de 2,68 mSv/yıl değeri hesaplandı (Denklem 2.18).

2 aylık ölçüm ile genelleme yapamayacağımız için literatürde uyuma gözlenen (Özderya, F., 2009) tezinde diğer mevsimlerdeki verilerin de uyduğuna varsayarak, Samsun için en uzun süre kapalı koşuldaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu verimizi (1. - 2. kat uzun süre ofisler) baz aldığımızda ( $49,66 \pm 1,25$  Bq/m<sup>3</sup>), yıllık Radon konsantrasyonu için 110,74 Bq/m<sup>3</sup> ve yıllık etkin doz için de 2,79 mSv/yıl değeri hesaplanmıştır.



## 6. ÖNERİLER

Isı kaybı olmasın diye (özellikle kış aylarında) evlerin havalandırılmasından kaçınılmamalıyız.

Evlerin ve çalışma ortamlarının havalandırılması radonun birikmesini önleyeceği için gereklidir.

Klimalarla serinlemenin hava sirkülasyonunu engellediği dikkatten kaçmamalıdır.

Enerji tasarrufu için yapılan mantolama ve pimapen yapılarının radon gazının binadan dışarı salınmasını engellediği bilinmelidir.

Radona dirençli evler aynı zamanda neme ve ısı kaçaklarına karşı da dirençlidir.

Birbirine komşu iki evin radon miktarları çok farklı olabilir, bu nedenle bir evde ölçülen değer komşu ev için geçerli değildir.

Ev inşa edilecek alanların radon haritası çıkarılmalı ve inşaat alanları radon seviyelerine göre belirlenmelidir.

Yeni inşaat sırasında, temelin radon korumalı olmasına ve yapı malzemelerinin seçimine dikkat edilmelidir.

Radonun sızmayacağı kalitede inşaat yapılması ve inşaat malzemesi kullanılması gereklidir.

Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.

Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.

Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan binalarda çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.

Jeolojik olarak uranyum bulunan arazilerde yapılan evlerde radona maruziyet uranyum miktarı az olan bölgelere göre daha fazladır.



Deprem olasılığı yüksek yerlerde yerkabuğundaki çatlaklardan çıkan (kaplıca vs) radon gazının sürekli ölçümü ve ani yükselmeler deprem öncesi uyarılar verebilir.

Sigara içenlerde radona bağlı akciğer kanseri riski sigara içmeyenlere göre daha fazladır.

“Sigara içmiyordum, kanser oldu” cümlesini duymuşuzdur. Radondan kaynaklanan akciğer kanseri oranının sigaradan hemen sonra geldiğini unutmamalıyız.

İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere’deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500’ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden ise 15.000’ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10’unu radona bağlamaktadırlar.

Çocuklar ve yaşlılar yetişkinlere oranla radona karşı daha hassastır.

Maruziyet süresi ve maruz kalınan radon seviyesi arttıkça risk artar.

Türkiye’de uygulanan radon tehlike sınırı standardının Amerika’nın seviyesine çekmek, ticarete ranttan önce insan sağlığı için gereklidir.

Mermeri delen su misalini düşünüp sadece günübürlük önlem almamalı, hayatımızın kalanında radona karşı gerekli dikkat ve özeni göstermeliyiz.

## KAYNAKLAR

- Amrani, D. and Belgaid, M. Some Investigations and Use of LR-115 track deectors for Radon Measurements, *Radiation Physics and Chemistry* 61(2001) 639-641 p.
- Arogunjo, A. M., Farai, I. P. ve Fuwape, A., 2004. Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta region of Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 108, 73-77.
- Arya, A., (Edit: Şahin, Y.), 1999. “Çekirdek Fiziğinin Esasları”, Aktif Yayın, Dağıtım LTD. ŞTİ., İstanbul.
- Aytekin, H., Baldık, R., Celebi, N., Ataksor, B., Tasdelen, M and Kopuz G., 2005. Radon Measurement in the Caves of Zonguldak (Turkey), *Radiation Protection Dosimetry*, 118, 117-121.
- BEIR VI, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Camgöz, B., Saçı M.M., Bolca M., Özen F., Oruç Ö.E., ve Demirel N., 2010. Termal Suların Radyoaktivite ve Kimyasal İçeriklerinin İncelenmesi; İzmir, Seferihisar Bölgesi Örneği. *Ekoloji* 19-76, 78-87.
- Chen, J. 2005. A Review of Radon Doses; Radiation Protection Bureau, Health Canada. *Radiation Protection Management* , Volume 22, No. 4
- Çağatay, N., Erler A., Güleç N., Savaşçın Y., ve Tokel S., 1994. Jeokimya Temel Kavramlar ve İlkeler. 2. Baskı TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 32.
- Çelebi, N. ve Alkan H., 1997. Evaluation of natural radiation in the Kestanbol Spa Region *Radiation Protection Dosimety*, 69,3, 227-230.
- Çelik, N., Poffijn, A., Cevik, U. ve Schepens, L., 2008. Indoor Radon Survey in Dwellings of the Kars Province ,Turkey *Radiation Protection Dosimetry* ,128, 432-436.
- Durrani, S.A. and Bull R.K., 1987. *Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Method and Applications*. Pergamon Press, Oxford.
- Ereeş, F. S., Akozcan, S., Parlak, Y. ve Cam, S., 2005. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation Measurement*, 41, 598-601.
- Faheem, M. ve Matiullah, 2008. Indoor radon concentration levels in several districts of the Punjab Province, Pakistan, *Radiation Measurements*, 43, 380–384.
- Ferdoas, S. ve Al-Saleh, 2007. Measurement of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 843-848.

- Özderya, F., 2009. Samsun ili Ev içi Radon Konsantrasyonu Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Y.Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, VI , 64
- Genitron Instruments Ltd. AlphaGUARD PQ20001 MC50. 1994. Multiparameter radon monitor (Frankfurt: Genitron InstrumentsLtd).
- Gutierrez, J., Baixeras, C., Robles, B., Saez, C. J. ve Font, L., 1992. Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities. Radiation Protection Dosimetry, 45, 495-498.
- Hamori, K., Toth, E., Pal, L., Koteles, G., Losonci, A. ve Minda, M., 2006. Evaluation of indoor radon measurement in Hungary. Journal of Environmental Radioactivity, 88, 189-198.
- Heller, H. and Poulheim K.F., 1992. Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, Gustav Fischer verlag, Stuttgart.
- ICRP Publication 50, 1987. Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters. Annals of the ICRP 17, 1-60.
- ICRP, 1993. Protection against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication No. 65, Ann. ICRP 23 (2), Pergamon Press, Oxford and New York (1993).
- Ilari, O., 1992. Translating ICRP Recommendations into practice, NEA newslette, Vol. 10, pp. 3-8.
- Jibiri, N. N. ve Bankole, O. S., 2006. Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan metropolis, southwestern Nigeria. Radiation Protection Dosimetry., 118, 453–458.
- Karahan, G., 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 118.
- Karahan, G. ve Bayulken, A., 2000. Assesment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221.
- Karakelle, B., Ozturk, N., Kose, A., Varinlioğlu, A., Erkol, A. Y. ve Yılmaz, F., 2002. Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 649–651.
- Köksal E. M, Celebi N. ve Ozcinar B, 1993. Indoor 222Rn Concentrations in Istanbul Houses, Health Physics , 65, 87-88.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım LTD. ŞTİ., Ankara. 168
- Kulalı, F. 2009. Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kumbur, H. ve Zeren. O.,İçel'de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması, Mersin Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Bölümü, TAEK. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki ve Radyasyon Güvenliği Bölümü, Çev-Kor Cilt 7 Sayı 25 (1997) 25-31

- Kumru, M. N., Aydın, B. ve Bakac, M., 2002. Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Tasınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 10,43,22-25.
- Marina, F. F., Segovia, N., Ruiz, W., Godinaz, L., Tavera, L., Lopez, A., Chavez, A., Pena, P. ve Ponciano, G., 2001. Short and long term indoor radon survey in Mexico  
City, *Radiation Measurement*, 34, 545-548.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N. 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 63, 267–275.
- Özbal, Ö., 1999, İzmir-Balçova'da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Konsantrasyonu Ve Sudaki Radonla Kolerasyonu, Y.Lisans Tezi, E.Ü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, 69 s.
- Özdemir, F. B. 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (RN-222) Aktivitesi Tayini, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Özmen, B., 1995. Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Seminer Dersi (JEO 500).
- Papaethymiou, H., Mavroudis, A. ve Kritidis, P., 2003. Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, *Journal of Environmental Radioactivity*, 66, 247-260.
- P.R.M.A (Portatif Radon Monitörü “AlphaGUARD”) Kullanım Kılavuzu.
- Radolić, V., Vuković, B. ve Planinic, J., Radon in Croatian Spas Department of Physics, University of Osijek, P.O. Box 144, 31000 Osijek, Croatia. 169
- Prasad, S., G. N., Nagaiah, N., Ashok, G. V. ve Karunakara, N., 2008. Concentrations of 226Ra, 232Th and 40K the soils of Bangalore region, India. *Health Physics*, 94.
- Quirino, L. L., Soriano, J. M., Mireles, F., Davila, J. I., Lopez, H., Pinedo, J.L. ve Rios, C., 2006. Indoor 222Rn survey in Zacatecas State, Mexico. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 371-374.
- Radolic, V., Vukoic, B., Smit, G., Stanic, D. and Planinic, J., Radon in the spas of Croatia, *Journal of Environmental Radioactivity* 83(2005) 191-198 p.
- Rahman, S., Mati, N., Matiullah ve Ghauri, B. M., 2007. Seasonal indoor radon concentration in the Nort West Frontier Province and federally administered tribal areas-Pakistan. *Radiation Measurements*, 42, 1715-1722.
- Seyis, C., İnan, S. ve Streil, T., 2010. Ground and Indoor Radon Measurements in a Geothermal Area VERSITA (*Acta Geophysica*, 58,5, 939-946).
- Singh, S., Kumar, A. ve Singh, B., 2002. Radon level in dwellings and its correlation with uranium and radium content in some areas of Himachal Pradesh ,India *Environmental International*, 28, 97-101.
- Sroor, A., El-Bahi, S. M., Ahmed, F. ve Abdel-Haleem, A. S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 873-879.

- TAEK 2002 (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), Radyasyon ve Biz, Ankara-2002.
- Todorovic, N., Forkapic, S., Bikit, I., Mrdja, D., Veskovic, M., Todorovic, S., 2011. Monitoring for exposures to Tenorm sources in Vojvodina region. Radiation Protection Dosimetry 144, 1-4, 655-658.
- Tzortzis, M. ve Tsertos, H., 2004. Determination of Thorium, Uranium and Potassium Elemental Concentrations in Surface Soils in Cyprus, Journal of Environmental Radioactivity, 77, 325-338.
- Uluğ, A., Karabulut, M. ve Çelebi, N., 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at specific Locations in Turkey, Nuclear Technology and Radiation Protection, 19, 46-49.
- UNSCEAR, Sources and Effect of Ionizing Radiations, 1993. United Nations Scientific Committees on The Effect of Atomic Radiation, UNSCEAR, NewYork.
- UNSCEAR 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources .
- URL-1: <http://physics.isu.edu/radinf/natural.html> (Ziyaret tarihi: 19 Temmuz 2013).
- URL-2: <http://www.periodictable.com/Isotopes/086.222/index.full.html> (Ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2013).
- URL-3: [http://www.esrefatabey.com.tr/upload/tibbi\\_jeoloji\\_dosya123.pdf](http://www.esrefatabey.com.tr/upload/tibbi_jeoloji_dosya123.pdf) (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2013).
- URL-4: <http://iys.inonu.edu.tr/webpanel/dosyalar/1259/file/BiyofizikDers8.pdf> (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2013).
- URL-5: [http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_03.html#1](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html#1) (Ziyaret tarihi: 27 Temmuz 2013).
- URL-6: <http://www.ctf.edu.tr/ctfhemhzmd/Sempozyum%203.%20G%C3%BCn/2.%20oturum/Didem%20%C3%96ks%C3%BCz.pdf> (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2013).
- URL-7: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/500-radyasyon-ve-yasam.html> (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2013).
- URL-8: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2013).
- URL-9: [http://www.bunkerofdoom.com/nuclear/radium/radium\\_radon\\_decay.html](http://www.bunkerofdoom.com/nuclear/radium/radium_radon_decay.html) (Ziyaret tarihi: 07 Temmuz 2013).
- URL-10: [www.periodictable.com/Isotopes/086.222/index.full.html](http://www.periodictable.com/Isotopes/086.222/index.full.html) (Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2013).
- URL-11: <http://www.usgs.gov> (Ziyaret tarihi: 9 Ekim 2013).
- URL-12: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-koşesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/233-yapay-radyasyon-kaynaklari.html> (Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2013).
- URL-13: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyon-insan-ve-cevre/radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2013).

- URL-14: <http://www.perizade.com/tag/akciger-kanseri/> (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2013).
- URL-14: [http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_02.html](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html) (Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2013).
- URL-15: [http://www.bayar.edu.tr/besergil/2\\_iyon\\_dedektorleri.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/2_iyon_dedektorleri.pdf) (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2013).
- URL-16: <http://www.physics.isu.edu/radinf/dectector1.htm> (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2013).
- URL-17:[http://fizz.phys.dal.ca/files/25\\_-\\_Radiation\\_Detection\\_&\\_Measurement\\_I.ppt](http://fizz.phys.dal.ca/files/25_-_Radiation_Detection_&_Measurement_I.ppt) (Ziyaret tarihi: 13 Aralık 2013)
- URL-18:<http://home.howstuffworks.com/home-improvement/household-safety/tips/radon3.htm> (Ziyaret Tarihi: 24 Mayıs 2013).
- Uzun Duran, S., 2013. Orta Ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki Kaplıcalarda Ve Çevresinde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Varol, S., 2011. Yeraltı Sularında Toplam Alfa Ve Beta Radyoaktivitesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 1-3,101-106.
- Vişne, A., Ökten, G. ve Çelebi, N., Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Yer altı Maden Ocaklarında Radon Gazı Yayılımının İncelenmesi, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı 01-04 Haziran 2004 Zonguldak.
- Vogiannis, E., Nikolopoulos, D., Loizi, A. and Halvadakis, C.P., Radon variations during treatment in thermal spas of Levsos Island (Greece), Journal of Environmental Radioactivity 75 (2004) 159-170 p.
- Yarar, Y., Günaydı, T., Kam, E., 2005. A radon survey in some regions of Turkey, International Congress Series 1276,385-386.
- Yeşilbağ, Y. Ö., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yumurtacı, E., 2014. Toprakta Sürekli Radon Gazı Ölçümleri İçin Eş Zamanlı İzleme Sisteminin Geliştirilmesi Ve İzmir Urla Bölgesinde Uygulanması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zunic, Z. S., Kobal, I., Vaupotic, J., Kozak, K., Mazur, J., Birovljev, A., Janik, M., Celikovic, I., Ujic P., Demajo, A., Krstic G., Jacobi B., Quarto, M. ve Bochicchio, F., 2006. High natural radiation exposure in radon spa areas: a detailed field investigation in Niska Banja (Balkan region), Journal of Environmental Radioactivity, 89, 249-260. 172





## ÖZGEÇMİŞ



**Adı Soyadı :** Mehmet Ali Çakmak

**Doğum Yeri ve Tarihi :** Anamur 1982

**Adres :** Mimar Sinan Mah. 118. Sok. No:6 Daire: 19 Atakum / SAMSUN

**E-Posta :** cakmakmali@hotmail.com

**Lisans :** Hacettepe Üniversitesi - Nükleer Enerji Mühendisliği  
Anadolu Üniversitesi - İşletme

21.08.1982 tarihinde Anamur' da doğdu. Ankara'nın Çankaya ilçesinde başladığı ilköğrenimine, Ankara'nın Etimesgut ilçesinde devam edip, Sincan ilçesinde Süleyman Demirel Anadolu Lisesi'nde ortaöğrenimini tamamladı. 2009 yılında mezun olduğu Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü'nden 3 yıl sonra Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme bölümünden de mezun olarak 2. Lisans diplomasını aldı. 2012 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Nükleer Fizik dalında yüksek lisansa başladı. Araştırmacı, halen özel bir holdinge bağlı elektrik dağıtım şirketinde Yazılım ve Projeler Uzmanı olarak görev almakta ve İngilizce bilmektedir.