

**SİVAS MERKEZ YERLEŞİMİNDE RADON GAZI  
DAĞILIMININ BELİRLENMESİ VE TÜRKİYE'DE  
YAPILAŞMA ÖNCESİ RADON GAZI ÖLÇÜMÜNE  
YÖNELİK YÖNETMELİK TASLAĞI HAZIRLANMASI**

**Metin MIHÇI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2008**

**SİVAS MERKEZ YERLEŞİMİNDE RADON GAZI DAĞILIMININ  
BELİRLENMESİ VE TÜRKİYE'DE YAPILAŞMA ÖNCESİ RADON GAZI  
ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK YÖNETMELİK TASLAĞI HAZIRLANMASI**

**Metin MIHÇI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman: Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAC**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

Üye Yrd. Doç. Dr. Rana AMCA

Üye Yrd. Doç. Dr. Funda BİLİM

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.../.../2008

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

Prof. Dr. H. Hüseyin BAŞIBÜYÜK

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

Bu tez çalışması , CUBAP komisyonunun M-312 no'lu projesi kapsamında desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Genel Tanım .....	1
1.2. Radon Gazının Kaynakları .....	1
1.3. Radon Gazının Sularda Bulunuşu .....	3
1.4. Radon Gazının Havada Bulunuşu .....	3
1.5. Evlerde Radon Gazı .....	4
1.6. Dünyada Radon Gazı Çalışmaları ve Politikaları .....	8
1.6.1. Dünyada Radon Gazı Çalışmaları ve Politikalarına örnekler .....	8
1.6.1.1. İngiltere .....	8
1.6.1.2. İsviçre .....	9
1.6.1.3. Brezilya .....	9
1.6.1.4. Çin Halk Cumhuriyeti .....	9
1.6.1.5. Finlandiya .....	10
1.6.1.6. İsveç .....	10
1.6.1.7. Slovenya .....	10
<b>2. YÖNTEM</b> .....	11
2.1. Dönüşüm Faktörleri .....	11
2.2. Analitik Yöntem .....	11
<b>3. RADON GAZININ SAĞLIK ETKİLERİ</b> .....	15
3.1. Maruz Kalma Yolları .....	15
3.2. Radon Gazı Solunumu ve Miktarları .....	15
<b>4. SİVAS İLİ RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ</b> .....	17
4.1. Giriş .....	17
4.2. Kapalı Ortam Çalışmaları .....	17
4.3. Toprakta Radon Gazı Ölçümleri .....	21
<b>5. RADON GAZININ EVLERDEN UZAKLAŞTIRILMASI</b> .....	36
<b>6. ANKET SONUÇLARI</b> .....	38
<b>7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR</b> .....	49
<b>KAYNAKLAR</b> .....	53
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	57

**EKLER**

EK-1: Dedektörlerin yerleştirildiği adresler, yerleştirilme tarihleri ve koordinatlar.....	58
EK-2: Yapılaşma Öncesi Yapı Yerlerinde toprak içi Radon Gazı Ölçüm Yönetmeliği Taslağı.....	64
EK. 3: Anket formlarından örnekler.....	86

**ÖZET****Yüksek Lisans Tezi****SİVAS MERKEZ YERLEŞİMİNDE RADON GAZI DAĞILIMININ BELİRLENMESİ VE  
TÜRKİYE'DE YAPILAŞMA ÖNCESİ RADON GAZI ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK  
YÖNETMELİK TASLAĞI HAZIRLANMASI**

Metin MIHÇI

Cumhuriyet Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) projesinin Sivas'taki çalışmalarının sürdürülmesi, aynı zamanda kapalı ortam değerleriyle kıyaslayabilmek için topraktaki radon gazı değerlerinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Radon gazı yoğunlaşması ölçümleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada TAEK tarafından sağlanacak pasif nükleer iz dedektörleri Sivas merkez yerleşimi genelinde seçilen evlere yaz ve kış dönemi olarak yerleştirilmiştir. İki ay sonra yerlerinden alınan dedektörler, TAEK laboratuvarlarında analize tabi tutularak radon gazı değerleri elde edilmiştir.

İkinci aşamada ise seçilmiş olan kapalı ortam ölçüm noktalarının bulunduğu zeminde alfametre yardımıyla toprak içi radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Böylece Sivas merkez yerleşimi için kapalı ortam ve toprak içi radon gazı dağılım haritası çıkarılmıştır. Ayrıca yapılan anketlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dünyanın birçok ülkesinde belirli bir program çerçevesinde başlatılmış olan radon programlarına dayandırılan radon gazı ölçüm yönetmelikleri dikkate alınarak, Türkiye için önemli bir eksiklik olan yapılaşma öncesi radon gazı ölçümlerinin hangi ölçütler dikkate alınarak ölçülmesi gerektiğine ilişkin bir yönetmelik taslağı hazırlanmıştır. Bu yolla ülkemiz için bir eksikliği giderme yolunda girişim başlatılmış olacaktır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Radon gazı, Sivas, CR-39 alfa iz dedektörü, alfametre, yönetmelik taslağı



**SUMMARY****MSc Thesis****DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION OF THE RADON GAS IN SIVAS  
CENTRUM AND PREPARATION OF DRAFT REGULATION CONCERNING RADON  
GAS MEASUREMENT BEFORE STRUCTURING IN TURKEY**

Metin MIHÇI

Cumhuriyet University  
Graduate School of Natural  
and Applied Sciences  
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAC

Within the scope of this thesis, it has been targeted to carry on the studies of the Turkish Atomic Energy Authority (TAEA) in Sivas as well as to measure the radon gas value in soil in order to allow comparison with indoor values. Radon gas concentration measurements have been accomplished in 2 stages. In the first stage, passive nuclear track detectors supplied by TAEA have been placed in selected houses throughout Sivas centrum in two terms of summer and winter. Detectors, taken back two months later, have been subjected to analysis at TAEA laboratories to obtain radon gas values.

Whereas, in the second stage by means of an alfameter, intra- soil radon gas measurements have been done at the ground where the selected indoor measurement spots are found. Therefore, radon gas distribution for Sivas Centrum has been mapped in terms of indoor and intra- soil. In addition, surveys have been done and compared with the obtained results.

A draft regulation, concerning which criteria should be considered while doing the radon gas measurements before the structuring which is in fact an important negation for Turkey, has been formed by taking into consideration the radon gas measurement regulations based on the radon programs launched as per a specified program frame in many counties around the world. Thus, an initiative shall be taken in order to obviate a negation for our country.

**KEY WORDS:** Radon gas, Sivas, CR-39 alfa track detector, alfameter, draft regulations

**TEŞEKKÜR**

Konusu ve çalışmalarıyla Ülkemizde bu alanda bir ilk olabileceğini düşündüğümüz, bu tez konusunun seçiminde ve çalışmaların her aşamasında desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ'a, ekipmanların temini ve laboratuvar çalışmalarında yardımcımız olan TAEK bünyesinde çalışan sayın Dr. Nilgün ÇELEBİ'ye, elde edilen verilerin hazırlanmasında yardımcı olan sayın Arş. Gör. Özcan BEKTAŞ ve dedektörlerin yerleştirilmesi ve toplanmasına eşlik eden Jeofizik Mühendisliği lisans öğrencileri Sinan Koşaroğlu, Cem Yücekaş ve M. Turgut Ezgö'ye teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1- Radon gazı bozunum şeması.....	2
Şekil 2- Radon gazının ev ortamına giriş yolları.....	6
Şekil 3- Radon gazı difüzyon kapları.....	12
Şekil 4. Banyo ünitesi ve içeriği .....	13
Şekil 5- Radon gazı yoğunlaşmasına bağlı olarak CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri .....	13
Şekil 6- Solunum yoluyla akciğerlere radon gazının ulaşımı.....	16
Şekil 7. TAEK tarafından yapılan çalışmaların örnekleri .....	17
Şekil 8. Evlerde radon gazı araştırması anket formu .....	19
Şekil 9. Kapalı ortam radon yoğunlaşma seviyeleri (Yaz dönemi).....	20
Şekil 10. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması seviyeleri (Kış dönemi)...	21
Şekil 11. Toprakta radon gazı ölçüm düzeneği.....	22
Şekil 12. Sivas'ta yapılan toprak radon gazı ölçümleri.....	22
Şekil 13. Sivas toprak içi radon gazı ölçümlerinin dağılımı .....	23
Şekil 14. R4 nolu ölçüm grafiği .....	24
Şekil 15. R5 nolu ölçüm grafiği .....	24
Şekil 16. R6 nolu ölçüm grafiği .....	25
Şekil 17. R7 nolu ölçüm grafiği .....	25
Şekil 18. R8 nolu ölçüm grafiği .....	26
Şekil 19. R9 nolu ölçüm grafiği .....	26
Şekil 20. R13 nolu ölçüm grafiği .....	27
Şekil 21. R14 nolu ölçüm grafiği .....	27
Şekil 22. R21 nolu ölçüm grafiği .....	28
Şekil 23. R23 nolu ölçüm grafiği .....	28
Şekil 24. R25 nolu ölçüm grafiği .....	29
Şekil 25. R30 nolu ölçüm grafiği .....	29
Şekil 26. R31 nolu ölçüm grafiği .....	30
Şekil 27. R32 nolu ölçüm grafiği .....	30
Şekil 28. R34 nolu ölçüm grafiği .....	31
Şekil 29. R36 nolu ölçüm grafiği .....	31
Şekil 30. R37 nolu ölçüm grafiği .....	32
Şekil 31. R48 nolu ölçüm grafiği .....	32
Şekil 32. R49 nolu ölçüm grafiği .....	33
Şekil 33. R52 nolu ölçüm grafiği .....	33

Şekil 34. R58 nolu ölçüm grafiği .....	34
Şekil 35. R63 nolu ölçüm grafiği .....	34
Şekil 36. R64 nolu ölçüm grafiği .....	35
Şekil 37. R65 nolu ölçüm grafiği .....	35
Şekil 38. Radon gazının kapalı ortamdaki uzaklaştırılması .....	36
Şekil 39. Soru 1 evin yapılış tipi (Yaz dönemi) .....	38
Şekil 40. Soru 1 evin yapılış tipi (Kış dönemi) .....	38
Şekil 41. Soru 2 evin yapıldığı yıl (Yaz dönemi) .....	39
Şekil 42. Soru 2 evin yapıldığı yıl (Kış dönemi) .....	39
Şekil 43. Soru 3 Evin tabanının yapı malzemesi (Yaz dönemi).....	40
Şekil 44. Soru 3 Evin tabanının yapı malzemesi (Kış dönemi) .....	40
Şekil 45. Soru 3 Evin tavanının yapı malzemesi (Yaz dönemi).....	41
Şekil 46. Soru 3 Evin tavanının yapı malzemesi (Kış dönemi) .....	41
Şekil 47. Soru 3 Evin duvarlarının yapı malzemesi (Yaz dönemi) .....	42
Şekil 48. Soru 3 Evin duvarlarının yapı malzemesi (Kış dönemi).....	42
Şekil 49. Soru 4 pencerelerin durumu (Yaz dönemi).....	43
Şekil 50. Soru 4 pencerelerin durumu (Kış dönemi) .....	43
Şekil 51. Soru 5 Havalandırma sistemi (Kış dönemi) .....	44
Şekil 52. Soru 5 Havalandırma sistemi (Kış dönemi) .....	44
Şekil 53. Soru 6 Havalandırma durumu (Yaz dönemi) .....	45
Şekil 54. Soru 6 Havalandırma durumu (Kış dönemi).....	45
Şekil 55. Soru 7 Kışın ısıtma sistemi (Yaz dönemi) .....	46
Şekil 56. Soru 7 Kışın ısıtma sistemi (Kış dönemi) .....	46
Şekil 57. Soru 9 Kaç yılda bu evde yaşıyorsunuz ? (Yaz dönemi).....	47
Şekil 58. Soru 9 Kaç yıldır bu evde oturuyorsunuz ? (Kış dönemi) .....	47
Şekil 59. Soru 10 Sigara içilen konut sayısı (Yaz dönemi) .....	48
Şekil 60. Soru 10 Sigara içilen konut sayısı (Kış dönemi) .....	48
Şekil 61. Bina yaşı ile radon gazı yoğunlaşmaları arasındaki ilişki .....	49
Şekil 62. Kapalı ortamda ölçülen radon gazı yoğunlaşmasına karşı dış ortam radon gazı yoğunlaşmaları .....	50
Şekil 63. Sivas ili jeolojik yapısı üzerinde alınan toprak içi radon gazı yoğunlaşması dağılımı .....	51
Şekil 64. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması dağılımının jeolojik yapıyla ilişkisi (yaz dönemi) .....	52
Şekil 65. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması dağılımının jeolojik yapıyla ilişkisi (kış dönemi) .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Evlerde ortalama radon gazı yoğunlaşması (Bq/m <sup>3</sup> ) .....	4
Çizelge 2. Kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve yoğunlaşmaları.....	5
Çizelge 3. Değişik ülkelerde iç mekân radon ölçüm değerleri .....	7
Çizelge 4. Radon Gazı Yoğunlaşma Limitleri (Bq/m <sup>3</sup> ) (UNSCEAR, 2000).....	8
Çizelge 5. CR-39 dedektörlerin özellikleri.....	12
Çizelge 6. Mikroskop ünitesi özellikleri .....	14
Çizelge 7. Evlerde yüksek, orta ve düşük seviye radon gazı yoğunlaşması nedeniyle uzun dönem radon gazına maruz kalmayla ilgili akciğer kanseri oranları <sup>a</sup> (Pershagen ve diğ., 1994) .....	16
Çizelge 8. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşma seviyelerinin aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve standart sapması (Yaz dönemi) .....	20
Çizelge 9. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşma seviyelerinin aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve standart sapması (Kış dönemi) .....	21
Çizelge 10. Toprak içi radon gazı risk sınıflaması .....	23
Çizelge EK-2.1. Haritaların hazırlanmasında kullanılan birim ve semboller.....	65
Çizelge EK-2.2. Radon gazı tehlike kategorisi.....	68
Çizelge EK-2.3. <sup>222</sup> Rn veri dosyalama yapısı .....	75
Çizelge EK-2.4. Kayaçların doğal radyoaktivite veri dosya yapısı.....	78
Çizelge EK-2.5. Suların doğal radyoaktivite veri tabanı .....	80
Çizelge EK-2.6. <sup>137</sup> Cs radyoaktivite ölçümünün veri dosyası yapısı.....	83

## 1.GİRİŞ

### 1.1. Genel Tanım

Radon, renksiz, kokusuz, tatsız doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. Yer yüzeyinde herhangi bir yerde bulunabilir. Bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılır. Binalarda birikebilmekte ve kimi zaman yüksek derişimlere ulaşabilmektedir. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan  $-195^{\circ}\text{C}$  derecede turuncu-kırmızı arası bir renk alır. Radon periyodik çizelgenin soy gazlar grubunda yer alan kimyasal bir elementtir. Hidrojenden 100, havadan ise 7.5 kez daha ağırdır.  $-61.8^{\circ}\text{C}$  sıvılaştır ve  $-71^{\circ}\text{C}$  donar (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Radon gazı, radyumun durağan özellikteki kurşuna dönüşümü sırasında meydana gelir. Radyum-226'nın bozunumundan yarı ömrü 3.8 gün olan Radon-222 ortaya çıkar. Radon bozunarak alfa ışınması ile Polonyum-218'e dönüşür. Polonyum-218'in yarı ömrü 3 dakikadır. Radon terimi bazı durumlarda yalnızca Radon-222 için kullanılır. Diğer iki doğal izotopu Toron, Radon-220 ve Aktinon ise Radon-219'dur. Radon-220'nin yarı ömrü 51.5 saniyedir (Şekil 1) (UNSCEAR, 1993). Günümüzde bazı ülkelerde yapılan ölçümler, bazı durumlarda Toronun miktarı ve ürünlerinin de önemli olduğunu ve radon ile karşılaştırılabileceğini göstermiştir (Sciocchetti ve diğ., 1992; Steinhausler ve diğ., 1994).

Radon alfa radyasyonu tarafından radyoaktif metal iyonlarına dönüşür. Radonun en önemli bozunum ürünleri alfa yayan Polonyum-218 (yarı ömrü 3.05 dak.) ve Polonyum-214'dür (yarı ömrü  $1.5 \times 10^{-4}$  saniye). Bozunumdan hemen sonra, tutturulmamış ürünler, havada asılı taneciklere veya yüzeye tutunurlar. Kısa ömürlü ürünleri, yaklaşık olarak yarım saat yarı ömürlüdür. İlk uzun ömürlü ürün Kurşun-210'nun yarı ömrü olan 22.3 yıldır (Şekil 1).

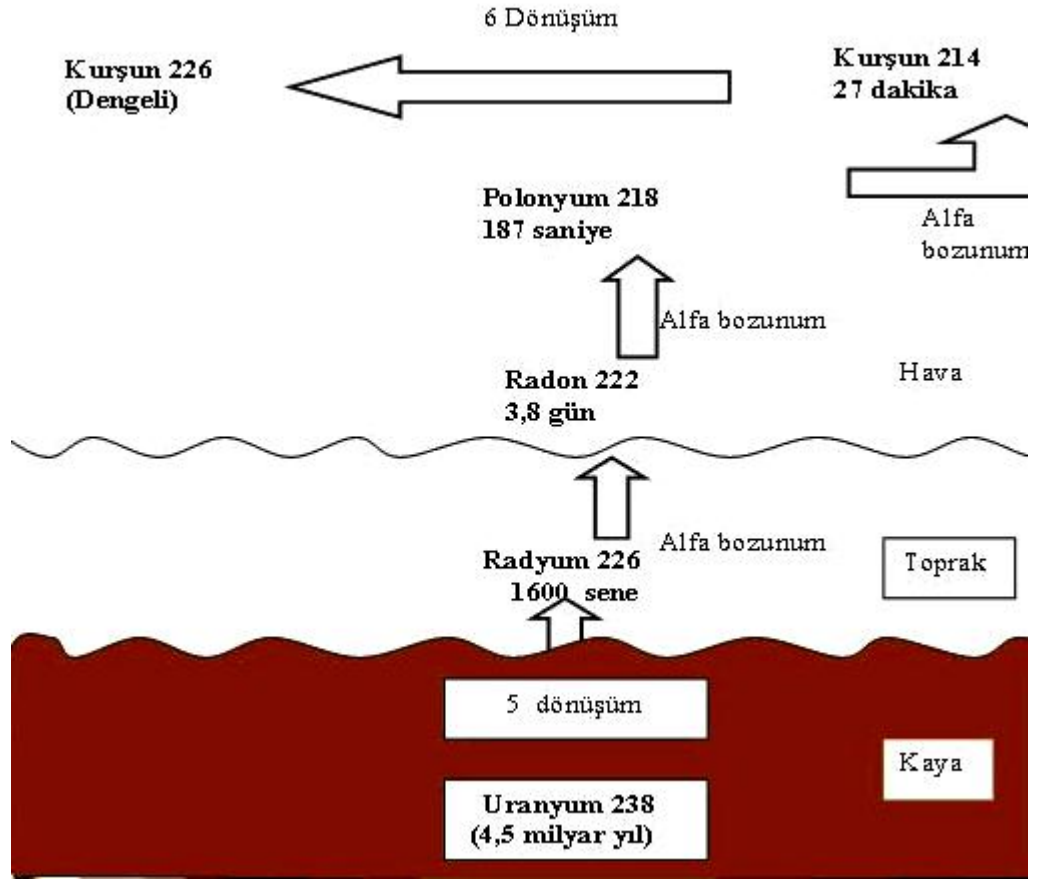
### 1.2. Radon Gazının Kaynakları

Radon, insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonucunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerden birisidir. Doğal radyoaktif elementler, yeryuvarının oluşumundan beri bulunurlar. Kısa yarı ömürlü olanlar kaybolurken uzun yarı ömürlü olan radyoaktif elementler varlıklarını sürdürmektedir. Bunlar arasında radonun ana elementi olan Radyum da bulunmaktadır.

Radyoaktivite, Marie Curie'nin Radyum üzerindeki çalışmalarıyla bulunduktan sonra, doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli boyutlarda bilimsel çalışma yapılmıştır. 1900 yılında fizikçi E. Dorn radyum tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını bulmuştur. Radon atmosferde bulunan radyoaktif bir gazdır. Radyum-226'nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönüşmektedir. Biyosferde bol miktarda bulunur. Kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi

nadir elementlerden birisidir. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır. Yoğunluğu 0° C 9. 72 g/l dir.

Radon binaların yapı malzemesinde, yer altı suyunda ve doğal gazda bulunur. Yine de yerkabuğu asıl radon kaynağıdır. Evlerdeki düşük hava basıncı, mahzen ve zemindeki çatlaklar yoluyla radonca zengin toprağın hava akışıyla girişi basıncı artırır (Şekil.2). Belirli kaya ve topraklar, granit, kireçtaşları, volkanik topraklar, tortul şistler ve şeyl gibi uranyum içeriği açısından diğerlerinden daha zengindir. Bununla birlikte orta seviyede uranyum ve/veya radyum içeren topraklar ev içinde yüksek radon konsantrasyonu verebilir. Radonun içeriye akışı, geniş miktarda binanın yapı malzemesine ve toprağın geçirgenliğine bağlıdır.



Şekil 1. Radon gazı bozunum şeması

Bina yapı malzemesi daima uranyum ve radyum içeren toprak, kil tuğla vb. veya kayadan oluşur. İçeriği genelde düşüktür. Fakat bazı malzemeler yüksek Radyum-226 yoğunlaşmasına sahip olabilir. Örneğin beton ve bina malzemesi volkanik tüfden, alçıtaşından yapılır. Radon gazı yoğunlaşması, granit kayaçlı bölgelerde açılan sondaj kuyularından alınan suyun her litresinde

birkaç bin Bekerele değerine ulaşabilir. Finlandiya ve İsveç bu duruma örnek iki ülkedir (Salonen, 1994). Birçok araştırmacı dünyanın değişik yerlerinde, farklı kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması değerleri ölçmüşlerdir. Bilindiği gibi radon ve jeofiziksel olaylar arasında güçlü bir ilişki vardır (Zmazek ve diğ., 2003).

### 1.3. Radon Gazının Sularda Bulunuşu

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 sularda radyoaktivite oluşmaktadır. Suların içindeki radon derin kökenli değildir. Çünkü bu gazın suda çözünmesi sıcaklık yükselince birdenbire azalmaktadır. Geldiği yerlerin 100°C den az sıcaklıkta olması gerekir. Bu yüzden soğuk ve ılık sular daha çok radyoaktiftir. Radon difüzyon sonucunda kayaç çatlaklarında taşınma ile günde 100 m kadar göç etmektedir.

Yerkabuğundaki şekil değişimleri ve depremlerin dış odak alanı içinde veya yakınındaki kayalarda gerilmeler nedeniyle meydana gelecek genleşmeler sonucu kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda da bir artış görülmektedir. Aktif fay zonlarında ve jeotermal alanlarda Rn-222 yayılımının 24 saat kesintisiz izlenmesiyle, depremler ve volkanizmanın önceden kestirimini hedefleyen erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

### 1.4. Radon Gazının Havada Bulunuşu

Havada radon gazı yoğunlaşması, kıtalar üzerinde denizlerden daha yüksektir. Sıcaklığın tersi olarak (normal atmosfer sıcaklık gradyanının tersi) zeminlerde uranyum ve radyum yoğunlaşmasının artması ile bazı bölgelerde seviyeler yüzlerce Bq/m<sup>3</sup>'e ulaşabilir (Tyson ve diğ., 1993). Dışarıdaki radon gazı yoğunlaşması genellikle yıllık ortalama 10 Bq/m<sup>3</sup> dolayındadır.

Evlerdeki radon gazı yoğunlaşması evin yapımına ve altındaki toprağa bağlıdır. Bununla birlikte iklim faktörü ve insan alışkanlıkları radon seviyelerini saat, gün, mevsim ve yıl içinde değiştirebilmektedir (Hubbard ve diğ., 1991). Bundan başka yoğunlaşma binadan binaya, odalarda ve odalar arasında değişebilir. Ana radon kaynağı toprak olduğu zaman, giriş katlarındaki odalar veya yer ile temas halinde olan odalar üst katlardaki odalardan daha yüksek yoğunlaşmaya sahiptir. Odalar içindeki radon gazı yoğunlaşması değişebilir, örneğin boruların giriş veya çıkış yerleri yakınlarında ve radonca zengin su veya binanın yapı malzemesi, yerden radonun içeriye akışının yüksek olduğu noktalarda olur.



Yaşamsal alanlardaki radon gazı yoğunlaşmaları yer yapısı, iklim, bina yapım malzemeleri, teknikleri ve bu mekanlarda yaşayanların farklılıkları yüzünden ülkeler arasında değişmektedir. Ülkelerin aritmetik ortalamaları  $9 \text{ Bq/m}^3$  den  $140 \text{ Bq/m}^3$  e değişmektedir. Aritmetik ortalama aynı zamanda zararlı sağlık etkilerinin tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı ülkelerin ortalama radon gazı yoğunlaşmaları Çizelge 1’de verilmektedir.

**Çizelge 1.** Evlerde ortalama radon gazı yoğunlaşması ( $\text{Bq/m}^3$ )

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

Finlandiya ve İsveç gibi ülkelerde ikametgâhların %10 undan fazlasında  $200 \text{ Bq/m}^3$  aşan seviyeler tespit edilmiştir. Halk binaları, okullar gibi binaların dışında çalışma yerlerine ait sistematik araştırmalar hala yapılmaktadır.

### 1.5. Evlerde Radon Gazı

Konut, insan hayatının önemli bir bölümünün geçtiği yapay ortam koşullarının belirleyicisidir. Konutla sağlık arasındaki bağlantılar önceden beri bilinmektedir. Günümüzde kapalı ortam terimiyle konut içerisindeki kapalı ortam iklimi ve kirlenmesi, biyolojik etkilenmeler, değişik fizik travmalar söz konusu edilmektedir. Konut, işyerleri ve kamuya açık yerlerin kapalı alanlarının radon gazı değerlendirmeleri önemlidir. Kapalı ortamda birçok kirleticinin oranının, dış ortamdakinin çok üzerine çıktığı belirlenmiştir. Gelişmiş ülkelerde kapalı ortam hava kirliliği 1970’li yıllarda petrolün pahalalanması nedeniyle enerji tüketimini azaltmaya yönelik önlemlerin alınmaya başlamasıyla artış göstermiştir.

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

bulunmaktadır. Organik yükü fazla sularda kaynatıldığında, kloroform çıkmaktadır. Deodorantların ve mantar öldürücülerinin içerisinde p-diklorobenzen bulunmaktadır. Bu durumda bir yandan dış ortamı kirleten öğeler ya da dış ortam kirliliği kapalı ortam havasını etkilerken, kapalı ortamdaki kullanılan araç gereç malzeme ve yaşama koşullarına bağlı önemli kirleticiler de bulunmakta, bunlar sürekli olarak birikmektedir. İnşaat malzemeleri, yanan yakıtlar, giyecek ve dokumalar, petrol ürünleri, pestisitler, toprak, değişik tüketim ürünleri, kimyasal maddeler, bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar kapalı ortam havasının kirlenmesine neden olabilmektedir. Havanın tozlar, polenler ve mikroorganizmalarla kirlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Endüstriyel olarak gelişmiş olan ülkelerde başlıca kapalı ortam kirleticisi olan öğeler Çizelge 2' de sıralanmıştır:

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Bazı evlerde çok yüksek yoğunlaşmada radon gazı bulunmasına rağmen fazla üzerinde durulmamıştır. Bu durum ölçüm bölgesine özel bir istisna olarak düşünülmüştür. Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır.

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

**Çizelge 2.** Kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve yoğunlaşmaları

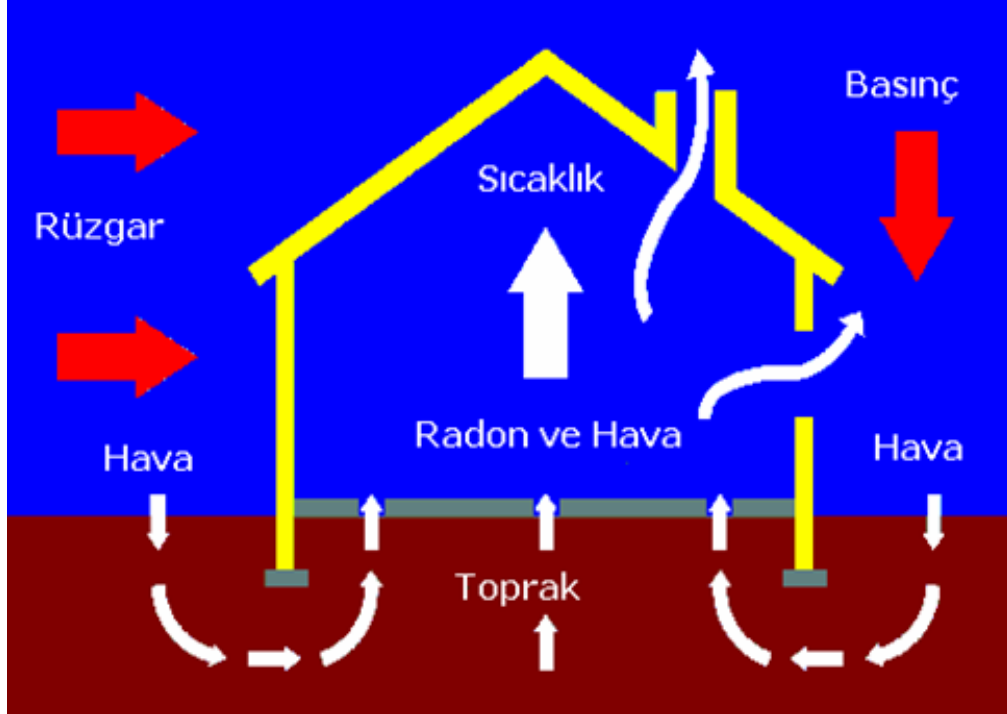
KİRLETİCİ	KAYNAK	YOĞUNLAŞMA SINIRI
Solunabilir parçacıklar	Tütün dumanı, Sobalar, spreylar, Ocaklar	0.05 - 0.7 mg/m <sup>3</sup>
Karbonmonoksit	Sobalar, Ocaklar, Gazlı ısıtıcılar	1 - 115 mg/m <sup>3</sup>
Nitrojen dioksit	Gazlı ocaklar, Sigara	0.05 - 1.0 mg/m <sup>3</sup>
Kükürt dioksit	Yanma	0.02 - 1.0 mg/m <sup>3</sup>
Karbon dioksit	Solunum	600 - 9000 mg/m <sup>3</sup>
Formaldehit	Halı yapıştırıcıları	0.06 - 2.0 mg/m <sup>3</sup>
Benzen, toluen vb.	Solvent, Yapıştırıcılar, Aerosol spreylar	0.01 - 1.0 mg/m <sup>3</sup>
Ozon	Elektrik arki, UVışık	0.02 - 0.4 mg/m <sup>3</sup>
Radon ve türevleri	İnşaat maddeleri	10 - 3000 Bq/ m <sup>3</sup>
Asbest	İzolasyon, Yangın	14 lif/cm <sup>3</sup>
Mineral lifleri	Değişik araç ve Gereçler	100 - 10 000 / m <sup>3</sup>

Gelişmiş ülkelerde radon gazı etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır (EPA, 1986). Özellikle özel toprak cinsleri ile sıvanmış kırsal kesim evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde madenler için izin verilen

miktarın üzerinde radon gazı yayılımının söz konusu olduğu gösterilmiştir. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Buna karşılık aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmektedir. New Jersey Halk Sağlığı Birimi akciğer kanserli 400 kadın ve 400 kontrolle ilgili olarak yaptığı karşılaştırmalı değerlendirmede litrede  $75 \text{ Bq/m}^3$ 'lük bir etkinin kanser riskini arttırdığını belirlemiştir. EPA litrede  $150 \text{ Bq/m}^3$  değerini düzeltici çalışmaları gerektirdiğini belirtmektedir.

Sigara ve radon gazının aynı ortamda birlikte bulunması akciğer kanseri riskinin çok artmasına neden olmaktadır. ABD'de ölçülen her 12 evden birisinin radon gazı değerinin  $150 \text{ Bq/m}^3$  değerinin üzerinde olduğu belirtilmektedir (Harley ve diğ., 1990).

Evlerde bulunan radon gazının büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Zemin topraksa, radon gazı kolayca penetre olabilmektedir. Zemin çimento ise radon gazı zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisat, duvar arası boşluklar radon gazının sızmasını kolaylaştırmaktadır. Radyoaktif materyalden yapılmış duvardan da radon gazı yayılabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemesi, radon gazı içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radon gazının kaynağını oluşturabilmektedir (Şekil 2) (Bard ve diğ., 1996).



Şekil 2. Radon gazının ev ortamına giriş yolları

Radon gazı evlere:

1. Toprak ve kayalardan evlerin zemin katlarına,
2. Yeraltı sularında eriyerek kuyular aracılığıyla,
3. Radonlu materyalden yapılmış briket vb. malzeme kullanıldığında evlere girmektedir (Botkin ve diğ., 1988).

Sağlam çimentolu duvarlardan radon gazının yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur (Renken ve diğ., 1995). Kullanılan çimento karışımıyla bağlantılı olarak radon gazı miktarı değişmektedir. Evin içerisine sızan radon gazı evin içinde kalma eğilimindedir. Çünkü radon gazı havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 santimetre yüksekliğe kadar yayılır. Ayrıca özel bir mekanizma söz konusu değilse evin içerisindeki basınç, dışarıdaki basınçtan biraz daha düşüktür. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalır. Ancak yapım sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması ve yeterince havalandırma ile bu durum önlenmektedir.

**Çizelge 3.** Değişik ülkelerde iç mekân radon ölçüm değerleri

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

\*Çalışma sürmektedir.

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

ölçümün gerçek oranda radon gazı kirliliğini göstermediği, ancak kapalı ve oda ortamını andıran düzeneklerde yapılan ölçümlerle fikir sahibi olunabileceği belirtilmektedir (Robinson, ve diğ., 1995).

Japonya'daki evlerde toryum yoğunlaşması ortalama kapalı ortam değeri olarak 15 Bq/m<sup>3</sup>, sınırlar ise 0,04-8,2 Bq/m<sup>3</sup> bulunmuştur (Yamasaki, ve diğ., 1995). Standardize aktif kömür kutularıyla Hongkong'ta değişik yaşlardaki 32 binada yapılan değerlendirmede radon gazı yoğunlaşmasının binanın yaşıyla azaldığı sonucuna varılmıştır (Yu ve diğ., 1995). Değişik ülkelerde radon gazı ölçüm değerleri Çizelge 3'de verilmiştir (Bard ve diğ., 1996).

## 1.6. Dünyada Radon Gazı Çalışmaları ve Politikaları

Birçok ülkede evlerde izin verilebilir radon gazı sınırları belirlenmiştir. Sınır seviyesinin güvenli veya güvenli değildir diye bir değeri yoktur, fakat radon gazı seviyesinin azaltılması gereken bir sınır olarak genellikle doğruluğu kanıtlanmıştır. Birçok ülkede 200 Bq/m<sup>3</sup> ü evlerde en fazla olması gereken radon gazı yoğunlaşması limiti olarak düşünülür. Radon gazı sınır değerleri ülkeden ülkeye değişmektedir (Çizelge 4.).

**Çizelge 4.** Radon Gazı Yoğunlaşması Limitleri (Bq/m<sup>3</sup>) (UNSCEAR, 2000)

ABD	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 ülkeleri	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

ABD'de içme sularında radon gazının en fazla kirlilik seviyesi 150 Bq/l olarak belirlenmiştir. Avrupa Birliğinde ise 1000 Bq/l sınır seviyesi önerilmektedir. Bu durumda içme sularında bir insanın karşılaştığı risk havada soluduğu risk ile aynıdır.

### 1.6.1. Dünyadaki Radon Gazı Çalışmaları ve Politikalarına Örnekler

#### 1.6.1.1. İngiltere

İngiltere'ye ait Radon gazı programında iki konu vardır, evlerde var olan yüksek radon gazı seviyelerinin iyileştirilmesi ve yeni binalarda önleyici ölçümler yapılmasıdır. İngiltere politikası esas olarak 1980'lerin başında yaklaşık 2100 evde tamamlanmış olan İngiltere ulusal araştırmasına dayanmaktadır. Daha çok yeni yapılan ölçümler hedeflenmiş ve İngiltere'nin

ortalamasının tahmini bu araştırmaya dayanmaktadır. Bu araştırmada, 10 kez yapılan ölçümlerin ortalaması bulunarak aktif radon seviyesi belirlenmiştir.

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

#### **1.6.1.2. İsviçre**

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

İsviçre radon gazı politikasının iki ana hedefi vardır: en yüksek radon gazı yoğunlaşmış binalardaki radon gazı seviyelerini azaltmak ve yüksek radon gazı yoğunlaşmasına sahip yeni binaların yapılmamasını garantiye alarak ortalama değeri düşürmek. İsviçre nükleer korunma yönetmeliğinin amacı, yeni binaların kirlenmesini önlemek, yaşanılan ve çalışılan alanlar arasında temiz bir sınır geliştirmek, iyileştirici programlar oluşturmak, konfederasyon ve eyaletler arasında iyi bir işbirliği sağlamaktır.

#### **1.6.1.3. Brezilya**

Brezilya tropikal iklime sahip olmasına ve evlerin iyi havalandırılmasına rağmen, yaşamsal alanlarda yüksek radon gazı yoğunlaşması gözlenebilmektedir. Bunun nedeni yüksek uranyum içeren toprak ve yapı malzemesidir. Son zamanlarda, radon gazı yoğunlaşması 1000 Bq/m<sup>3</sup>'den fazla olan çalışma alanlarında, iyileştirme yapılmasını önermek için bir ulusal yönetmelik onaylanmıştır. Bir ulusal proje ile de uranyum madeni dışındaki yeraltı madenlerindeki radon gazı yoğunlaşmasını bulmak için girişim başlatılmıştır.

#### **1.6.1.4. Çin Halk Cumhuriyeti**

Çin ulusal standart kurumu radon gazı seviyelerini yeni inşa edilecek yapılar için 200 Bq/m<sup>3</sup> ve var olan yapılar için 400 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir. Çin, WHO radon gazı projesine katılmayı planlamaktadır. Ancak evlerdeki radon gaz seviyelerinin haritalanmasını tamamlamak için diğer ülkelerden teknik yardım istemektedir.

#### **1.6.1.5. Finlandiya**

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

#### **1.6.1.6 İsveç**

İsveç yönetmelikleri, radon gazı emisyon değerini yeni binalar, var olan binalar ve halka açık tüm binalarda 200 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir. İşyerleri için bu seviye 400 Bq/m<sup>3</sup> dür. Su seviyeleri için ise tüketime uygun olan su için 100 Bq/litre'den az olmalıdır. Radon gazı için geçici hedefler 1999'da İsveç Parlamentosu tarafından kabul edilmiştir.

#### **1.6.1.7 Slovenya**

Bugüne kadar Slovenya Sağlık Bakanlığı ile Eğitim, Bilim ve Spor Bakanlığı'nın katkılarıyla 730 anaokulu ve gündüz bakım evinde (1994- 1998) ve 890 ilkokul ve lisede (2000-2001) ev içi radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Binaların %69'unda ölçülen değerler 100 Bq/m<sup>3</sup> den daha düşüktür, yaklaşık %2 sinde 1000 Bq/m<sup>3</sup> den yüksektir. Genelde en yüksek değerlere alüvyon ve karstik alanlarda rastlanmıştır. Yerden radon gazı yayılımı, boşluklar ve kırıklar boyunca kolaylaşmaktadır. Daha çok radon gazı seviyelerinin beklendiği radyumca zengin termal ve mineral sularının bulunduğu alanlarda, bu durum gözlenmemiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1 Dönüşüm Faktörleri

Radon gazının aktivitesini belirlemek için radon gazının geniş ölçekli ölçümleri yapılır. Radon gazı ürünleri arasındaki denge birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler, temel olarak aerosol yoğunlaşması ve hava değişim oranıdır. Ölçümler, yaşamsal alanların 0.2 ve 0.8 arasında değişen değerlerde denge faktörü olduğunu göstermektedir. UNSCEAR ve International Commission on Radiological Protection dünya çapında denge faktörünü 0.4 olarak kabul etmiştir (ICARP, 1993). Aktivite yoğunlaşma birimi bequerel'dir (Bq), bu birim saniyedeki radyoaktif bozunmadır (Eski birim Curie'dir (Ci), 1 pCi/lit, 37 Bq/m<sup>3</sup> e eşittir).

### 2.2 Analitik Yöntem

Radon gazı, kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda da olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde radon gazının etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan kaynaklar hazırlanmıştır (EPA, 1986). Ülkemizde, evlerde radon gazı ölçümlerinin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon gazı yayılımının söz konusu olduğunu göstermiştir (NCRP,1984).

Radon gazı yoğunlaşmasının ölçümüyle ilgili birçok araç, gereç ve yöntem vardır. Bunların büyük çoğunluğu alfa parçacıklarının ölçümü esasına dayanır. Bu araçlarla değişik bozunma aşamalarında ortaya çıkan alfa parçacıklarının miktarı ölçülür. Belirli bir bölge veya ev için genel bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu yolla binaya radon gazı giriş bölgeleri belirlenir. Bu yolla düzeltici önlemlerin alınması mümkün olur.

Bu tez kapsamında yapılan kapalı ortam radon ölçümleri için Radosys Ltd. firmasından sağlanan otomatik iz sayım sistemi kullanılmıştır. Radon iz sayım sistemi 1999 yılında Avrupa, Japonya, ABD ve Uzak Doğu'da 30'un üzerindeki çalışma da aynı anda başlatılmıştır. Bu sistem radon ile ilgilenen özel, üniversite ve kamu kuruluşlarında radyasyondan korunma birimlerinde kullanılmaktadır. Radosys sistemi ([www.radosys.com](http://www.radosys.com)) bilgisayara bağlı gelişmiş bir mikroskop, banyo ünitesi ve radon dozimetrelerinden oluşmaktadır.

CR-39 dedektörleri, (1x1) cm boyutlarında kesilmiş, kodlanmış ve radon dozimetrelerinin kapağına yerleştirilmiştir (Şekil 3). CR-39 dedektörleri 0.1 iz/mm<sup>2</sup> yoğunluğa göre kalite kontrolden geçirilmiş ve kodlanmıştır (Çizelge 5).

Banyo ünitesi bir otomatik dedektör kazıma işlemidir. İç tarafı çelik dış tarafı plastikten oluşan bu ünite aşındırıcı kazıma solüsyonu ve ısıya dayanıklıdır.




**Çizelge 5.** CR-39 dedektörlerin özellikleri

<b>Dedektör Tipleri</b>				
	RSKS	RSFS	RSFV	RSFW
<b>Form</b>				
Kapalı ortam standart süre	+	+		
Kapalı ortam- kısa süre				
Kapalı ortam- uzun süre			+	
Kapalı ortam- arttırılmış doğruluk				
Toprak/Kaplıca/Mağara				+
<b>Özellikleri</b>				
PP Difüzyon odası				
İletken difüzyon odası	+	+	+	+
Tek çip	+	+		
Çift çip			+	+
Tek oda	+	+		
Çift çip			+	+
Su geçirmez				+

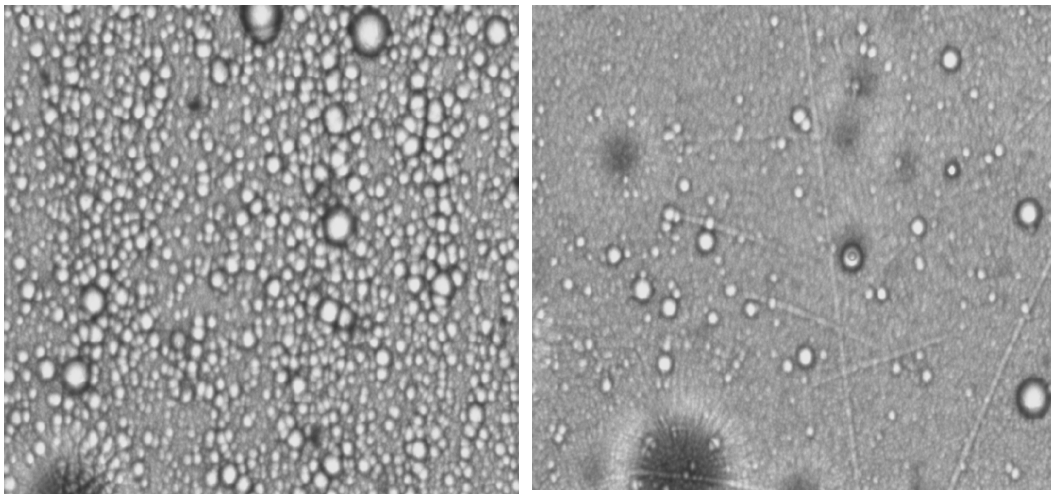
**Şekil 3.** Radon gazı difüzyon kapları

Ünite 32 odacıklı bir çarktan oluşur, böylece 432 dedektör aynı anda işleme konur. Çarkın içine yerleştirilen dedektörler 90 °C de 5000 gr. %25 NaOH çözeltisi içinde 4 saat boyunca yavaşça döndürülür (şekil 4). Bu işlemin amacı en uygun genişlik ve şekildeki izlerin otomatik olarak sayılmasıdır.

Banyo içeriği:	25% NaOH (sodyum-hidroksit) solüsyon	
Banyo sıcaklığı:	90 °C	
Banyo zamanı:	4 saat	
Aynı anda banyo edilen dedektör sayısı:	432	
Banyo solüsyon hacmi:	5000 gr.	
Banyo operasyon özellikler:	Sıcaklık ayarı, otomatik likit karıştırma	
Diğer standart özellikler:	Solüsyon seti	
Güç:	90 dan 240 VAC 50/60Hz	
Ağırlığı:	8kg	
Boyut:	ø 250mm x 350mm	

**Şekil 4.** Banyo ünitesi ve içeriği

Radometre 2000 adı verilen mikroskop ünitesi, gelişmiş bir mikroskopun bilgisayar yardımı ile CR-39 dedektörlerini analiz etmesidir. Bu ünite bir mikroskop ve bilgisayardan oluşur. Mikroskop maksimum iz değerlendirme performansına ve doğruluğuna sahip, yüksek görüş ve doğruluk ile hizmet vermektedir. Bilgisayar Pentium 4'dür, bilgisayar ve mikroskop arasında bağlantı vardır. Dedektör analiz programı ve veri tabanı aleti Linux işletim sistemi ile çalışır (Çizelge 6). İzler sayıldıktan sonra bilgisayar yazılımı yardımıyla radyoaktivite yoğunlaşmaları hesaplanmaktadır (Köksal ve diğ., 1993) (Şekil 5).



**Şekil 5.** Radon gazı yoğunlaşmasına bağlı olarak CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri

**Çizelge 6.** Mikroskop ünitesi özellikleri

<b>Mikroskop Ünitesi</b>	
Görüntüleme parçası	B&W CCD Kamera
Optik büyütme	100 x
Nesne görüşü	3 boyutlu hareket eden otomatik
Odaklama	Otomatik, görüntü netliğine bağlı
Kapasite	12 dedektör
Ağırlık	25 kg
Boyut	500 mm x 500 mm x 300 mm
<b>Bilgisayar Ünitesi</b>	
Donanım	IBM-özel program ve bileşenler yüklenmiş PC
Operasyon sistemi	Linux
Görüntü	15" Monitör
Güç	90 - 240 VAC 50/60Hz
Ağırlık	16 kg
Boyut	400 mm x 210 mm x 400 mm
<b>İşletim karakteristikleri</b>	
Her dedektör için değerlendirme	ortalama 60 sn
İz tanıma kapasitesi	Tek ve üst üste izler, 150 iz/mm <sup>2</sup>
Alfa izler için dedektör tarama alanı	47 mm <sup>2</sup>
Veri girişi	Text dosyası/veri tabanı formu
Veri belleği	SQL veri tabanı motoru (PostgreSQL)
Dedektör çip tanıma	Otomatik nokta kot okuma

### 3. RADON GAZININ SAĞLIK ETKİLERİ

#### 3.1. Maruz Kalma Yolları

Radon gazına en çok maruz kalma radon gazının solunması ve ürünlerindedir. İçerideki suyun yüksek radon gazı seviyesine sahip olması, musluktan doğrudan alınan su ile açığa çıkabilir (Kendall, 1988). Radon gazı suda çözünebilir, kolaylıkla suyun ısınması ve diğer amaçlar için kullanıldığı zaman ortaya çıkar. Radyum ve uzun ömürlü radon ürünleri, yiyeceklerde de bulunmaktadır.

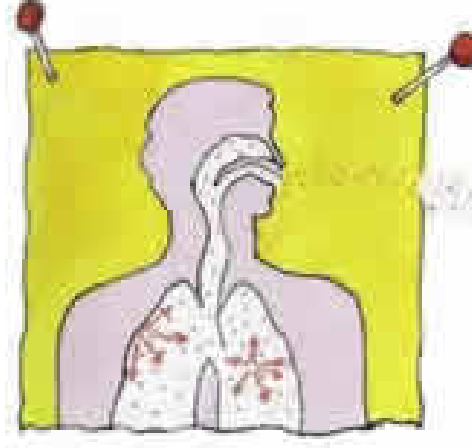
Yeraltı madencileri tarihsel dönemlerde, özellikle uranyum madenlerinde çok yüksek radon gazı yoğunlaşmasına maruz kalmışlardır. Şimdiye kadar madenlerin çoğunda seviyeler çok aşağıya düşürülmüştür. Birkaç bölgede genel nüfus, yer yapısına, binanın yapım malzemesine ve yaşamsal alışkanlıklara göre radon gazının yüksek yoğunlaşmasına maruz kalmıştır. Örneğin Finlandiya (Castren, 1987), İsveç (Swedjemark ve diğ., 1983) ve Almanya'da (Keller, 1990) 10000 Bq/m<sup>3</sup> ve daha yüksek seviyeler ölçülmüştür. Diğer binalarında yüksek yoğunlaşmaya maruz kalmış olabileceği düşünülmektedir.

#### 3.2. Radon Gazı Solunumu ve Miktarları

Solunum sonrasında, radon gazı ürünlerinin bazıları depo edilmektedir ve bronşlara yapışmaktadır. Depo edilen aktivite alfa parçacıkları ile hücrelere ışınlanacaktır. En kritik hücreler bronşlardaki temel olan ve sıvı madde içeren hücrelerdir. Depo edilen aktivitenin küçük bir kısmı diğer organlara vücut sıvıları tarafından yayılmaktadır. Tutunamayan ürünler burun ve gırtlak tarafından büyük miktarda süzülmemektedir (WHO, 2001).

Radon gazı ve uranyum zincirindeki diğer radyonükleidler yeme ile sindirim sistemi tarafından alınmakta ve diğer organlara yayılmaktadır. Suyun içilmesiyle kana geçmektedir. Solunum ile radon gazı ürünlerinin, bronşları ışınlamaya maruz bırakması için gerekli etki yarı ömrü yaklaşık 30 dakikadır. Lenf ve kandan, radon ve uranyum zinciri içindeki diğer nükleidler kan içinde diğer organlara yayılmaktadır. Solunum ile bronşlar en yüksek ışımaya maruz kalır ve böylece akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur (Şekil 6). Sigara ve radon gazının aynı ortamda birlikte bulunması akciğer kanseri riskinin çok artmasına neden olmaktadır (UNSCEAR, 1993). İngiltere Radyasyondan Korunma Ulusal Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radon gazına bağlamaktadır. Ancak bu durum yüksek dozda radon gazına maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması

arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir (ICRP publication, 1987).



**Şekil 6.** Solunum yoluyla akciğerlere radon gazının ulaşımı

Çizelge 7’de, oturmaya elverişli yerlerde radon gazı ile ilgili akciğer kanserinden aşırı ölümlerin tahminlerini göstermektedir. Toplam ölümler içerisinde akciğer kanserine dayalı ölümlerin oranı %3’tür. Hayatı boyunca ortalama  $25 \text{ Bq/m}^3$  e maruz kalan bir milyon insandan yaklaşık 600-1500’den fazla kişi akciğer kanserinden ölmektedir. Ortalama  $100 \text{ Bq/m}^3$  maruz kalanlar için ise bir milyonda 2700 den 5100 kişiye değişen bir sayıda akciğer kanserinden ölümler tahmin edilmektedir.

**Çizelge 7.** Evlerde yüksek, orta ve düşük seviye radon gazı yoğunlaşması nedeniyle uzun dönem radon gazına maruz kalmayla ilgili akciğer kanseri oranları<sup>a</sup> (Pershagen ve diğ., 1994)

	Maruz kalma kategorisi		
	Yüksek	Orta	Düşük
Radon gazı yoğunlaşması			
Aritmetik ortalama ( $\text{Bq/m}^3$ )	100	50	25
> $200 \text{ Bq/m}^3$	%15	%1.5	%0.75
> $400 \text{ Bq/m}^3$	% 5	% 0.5	%0.25
Maruz kalmaya bağlı bütün akciğer kanseri oranları			
Toplam	%9-17 <sup>b</sup>	%5-9	% 2-5
> $200 \text{ Bq/m}^3$	%4-6	%0.4-0.6	%0.2-0.3
> $400 \text{ Bq/m}^3$	% 2-3	% 0.2-0.3	%0.1-0.15
Akciğer kanseri ölümleri ( milyonda) <sup>c</sup>			
Toplam	2700-5100	1500-2700	600-1500
> $200 \text{ Bq/m}^3$	1200-1800	120-180	60-90
> $400 \text{ Bq/m}^3$	600-900	60-90	30-45

<sup>a</sup> Radon gazı ve akciğer kanseri için diğer risk faktörleri, sigara dahil artarak etkileşen bir doğrusal risk modeli varsayılmaktadır.

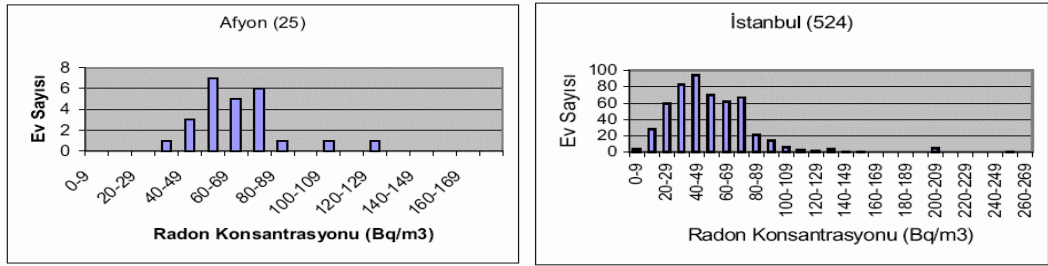
<sup>b</sup> Tahmin edilen oran sırası gözlemsel etki-cevap ilişkisinin maruz kalma tahminlerinin kesin olmayan belirsizliğine dayanmaktadır (Hubbard ve diğ., 1991)

<sup>c</sup> Toplam ölümlerin %3 ü akciğer kanserinden oluştuğu varsayılmaktadır

## 4. SİVAS İLİNDE YAPILAN RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ

### 4.1. Giriş

Ülkemizde evlerde radon gazı ölçümü çalışmaları Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziği Bölümü tarafından başlatılmıştır. 35 ilde tamamlanan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin bir bölümü ile ilgili radon gazı dağılımı bilgilerine ulaşılmıştır (Şekil 7). Ancak bu çalışmalar, evlerde yapılan kapalı ortam radon gazı ölçümlerine dayandırılmıştır (Uluğ ve diğ., 2004). Topraktaki değerler ise bilinmemektedir. Oysa Radon gazı evlere, toprak ve kayalardan, yeraltı sularında çözünerek kuyular aracılığıyla, radonlu materyalden yapılmış briket vb. malzeme kullanıldığında girmektedir.



Şekil 7. TAEK tarafından yapılan çalışmaların örnekleri

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ve Cumhuriyet Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nün ortak çalışması kapsamında, Sivas Merkez yerleşiminde aynı zamanda kapalı ortam değerleriyle kıyaslayabilmek için topraktaki radon gazı değerlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Böylece Sivas merkez yerleşimi için kapalı ortam ve toprak içi radon gazı dağılım haritası çıkarılması hedeflenmiştir.

### 4.2. Kapalı Ortam Çalışmaları

Kapalı ortam ölçümleri toplam 98 evde yapılmıştır. Evler rastgele seçilmiş, genellikle Sivas merkez yerleşimini temsil edecek şekilde düzgün dağılımlı olması hedeflenmiştir. Dedektörlerin evlere yerleşimi öncesinde hazırlanmış olan bir anket formu ile sorgulama yapılmıştır. Anket formunda toplam 11 adet soru yer almış ve dedektörlerin yerleştirildiği evler ile yaşayanların alışkanlıkları hakkında sorgulama yapılmıştır (Şekil 8). Öncelikle dedektörün üretimi sırasında verilmiş olan ve D ile başlayan numara anket formuna yazılmıştır. Bu numara aynı zamanda dedektörün kimliği niteliğinde olup, analiz sırasında da dikkate alınmıştır. Daha sonra anketin yapıldığı kişi ile görüşme tarihi, görüşme yapılan kişi gibi bilgiler yer almaktadır. Dedektörler, evlere iki aylık süre için yerleştirildiğinden dedektörün yerleştirilme tarihi ve geri

alınma tarihlerinin önemi vardır. Bu tarihler, ayrı ayrı anket formunda not edilmiştir. Bu bilgilerden sonra evin yapılış tipi ile ilgili sorgulamalar yapılmıştır. Bunlardan birincisi, evin tipinin nasıl olduğu yani apartman ya da müstakil olup olmadığı, bodrumlu ya da bodrumsuz olup olmadığı şeklindedir. Özellikle bodrumlu olup olmaması evin toprakla daha yakın temasta bulunmasını etkilediğinden önemli bir bilgidir. İkinci soru, evin yapım yılıdır. Evin eski ve yeni yapım olması radon gazı etkilenimi açısından önemli farklılıklar oluşmaktadır. Üçüncü soruda ise evin yapıldığı malzemeye ilgili bilgi derlenmeye çalışılmıştır. Evin taban, tavan ve duvarlarının yapımında kullanılan malzemeler, radon gazının eve iletimiyle ilgili farklılıklar verdiğinden, elde edilecek sonucun bu bilgiyle karşılaştırılması ve ilişkilendirilmesi önemlidir. Dördüncü soruda pencerelerin durumuyla ilgilidir. Pencerelerin yalıtımlı ya da yalıtımsız olması, evde sürekli bir dış havayla sirkülasyonun varlığı ya da yokluğunu ortaya koyacaktır. Beş ve altıncı sorular, evin havalandırma koşullarını incelemektedir. Radon gazının eve girişi kadar evden atılması da önemlidir. Bu nedenle hangi yolla eve girerse girsin evden gazın tahliyesindeki en etkin yol olan havalandırma koşullarının bilinmesi aynı zamanda evdeki yoğunlaşmayı da etkileyen bir durumdur. Yedinci soru, kış dönemindeki ısıtma sistemiyle ilgilidir. Bilindiği gibi yakıt olarak kullanılan kömür, beraberinde bir miktar radon gazı çıkışını da sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle evlerde kömür sobası kullanılması durumunda radon gazı yoğunlaşması değerleri değişebilmektedir. Bunun yanı sıra kaloriferli evlerde de yine kömürle ısınma durumunda dolaşan kalorifer suyu içinde de radon gazı iletimi olabilmektedir. Bu durum apartmanlarda üst katlarda da radon gazı yoğunlaşmasının beklenen düzeyin üzerinde çıkmasını açıklayabilir. Sekizinci soruda dedektörün yerleştirildiği odanın alansal bilgisini dolayısıyla büyüklüğünü belirlemek için oda alanı sorgulanmaktadır. Dedektörler genellikle yaşamsal faaliyetlerin daha fazla olduğu oturma odalarına ya da yatak odalarına yerleştirilmiştir. Dokuzuncu soruda radon gazı etkileniminin belirli seviyenin üzerinde çıkması durumunda evde yaşayan insanların etkilenim düzeyini belirlemeye yönelik olarak, evde yaşama süresi sorulmuştur. Onuncu soruda ise radon gazı ve sigara arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yönelik olarak evde yaşayan insanların sigara alışkanlıkları var ya da yok şeklinde sorgulanmıştır. Bu çerçevede evde yaşayanların yaş, cinsiyet ve meslek bilgileri de elde edilmektedir. Bu yolla evdeki yaşayan insanların özellikle yaş sınıflamalarına bağlı etkilenim farklılığı, cinsiyetlere göre değişim durumları incelenmektedir. Son olarak, geçmişte evde yaşanan herhangi bir kanser vakasının olup olmadığı, olduysa ölümle sonuçlanıp sonuçlanmadığı sorulmaktadır.

Sivas merkez yerleşiminde yapılan kapalı ortam radon gazı ölçümleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. 98 adet dedektörün evlere yerleştirilmesi aynı dönemde yapılmamıştır. 66 adet ölçüm yaz döneminde Mayıs-Ağustos ayları içinde, 32 adet dedektörün ise yerleşimi kış döneminde Ekim-Aralık ayları arasında yapılmıştır. Elbette bu iki dönem arasındaki en temel fark evlerdeki havalandırma koşulları ve kış aylarında ısıtma sisteminin kullanılmış olmasıdır.

EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI BİLGİ FORMU			
Araştırma yapılan dedektör no:.....			
Görüşmenin yapıldığı tarih :.....			
Görüşme yapılan kişinin adı soyadı:.....			
Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no:.....			
Radon dedektörünün eve konuş tarihi:.....Alınış tarihi:.....			
Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.			
<b>1. Evin tipi:</b>			
<input type="checkbox"/> 1.Apt. bodrumlu <input type="checkbox"/> 2.Apartman bodrumsuz <input type="checkbox"/> 3.Müstakil bodrumlu <input type="checkbox"/> 4. Müstakil bodrumsuz			
<b>2. Evin yapıldığı yıl:</b>			
<input type="checkbox"/> 1.1900'dan önce <input type="checkbox"/> 2. 1900-1945 <input type="checkbox"/> 3.1950- 1969 <input type="checkbox"/> 4. 1970-1979 <input type="checkbox"/> 5. 1980-1989			
<input type="checkbox"/> 6. 1990-2000 <input type="checkbox"/> 7. 2000'den sonra			
<b>3.Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:</b>			
Taban : <input type="checkbox"/> 1.Toprak <input type="checkbox"/> 2. Beton <input type="checkbox"/> 3. Ahşap			
Tavan : <input type="checkbox"/> 1. Beton <input type="checkbox"/> 2. Ahşap <input type="checkbox"/> 3. Diğer			
Duvarlar : <input type="checkbox"/> 1. Beton <input type="checkbox"/> 2. Tuğla <input type="checkbox"/> 3. Ahşap <input type="checkbox"/> 4. Taş <input type="checkbox"/> 5.Diğer.....			
<b>4. Pencere durumları:</b>			
<input type="checkbox"/> 1. Pencere tek camlı ısı yalıtımı iyi <input type="checkbox"/> 2. Pencere tek camlı ısı yalıtımı zayıf			
<input type="checkbox"/> 3. Pencere çift camlı ısı yalıtımı iyi <input type="checkbox"/> 4. Pencere çift camlı ısı yalıtımı zayıf			
<b>5.Havalandırma sistemi:</b> <input type="checkbox"/> 1.Doğal havalandırma <input type="checkbox"/> 2.Cihaz ile havalandırma			
<b>6. Havalandırma durumu:</b> <input type="checkbox"/> 1.İyi havalanıyor <input type="checkbox"/> 2.Az havalanıyor <input type="checkbox"/> 3. Hiç havalanmıyor			
<b>7. Kışın ısıtma sistemi:</b> <input type="checkbox"/> 1. Kalorifer <input type="checkbox"/> 2.Kömür sobası <input type="checkbox"/> 3.Doğal gaz <input type="checkbox"/> 4.Diğer.....			
<b>8.Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.</b>			
a. Evin kullanım alanı .....m <sup>2</sup> b. Oda sayısı ..... adet c. Oturma salonunun alanı.....m <sup>2</sup>			
<b>9.Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?</b>			
<input type="checkbox"/> 1.10 yıldan az <input type="checkbox"/> 2. 10-20 yıl <input type="checkbox"/> 3. 20-30 yıl <input type="checkbox"/> 4. 30-40 yıl <input type="checkbox"/> 5. 40-50 yıl <input type="checkbox"/> 6. 50 yıldan fazla			
<b>10.Evde yaşayanların yaşı, cinsiyet, mesleği ve sigara içme alışkanlıkları:</b>			
Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara içme alışkanlığı var (+) yok (-)
<b>11. Bu evde yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu? Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.</b>			
	Yaşı	Cinsiyeti (K) (E)	Yıl
<input type="checkbox"/> Öldü	(.....)	(.....)	(.....)
<input type="checkbox"/> Hasta	(.....)	(.....)	(.....)

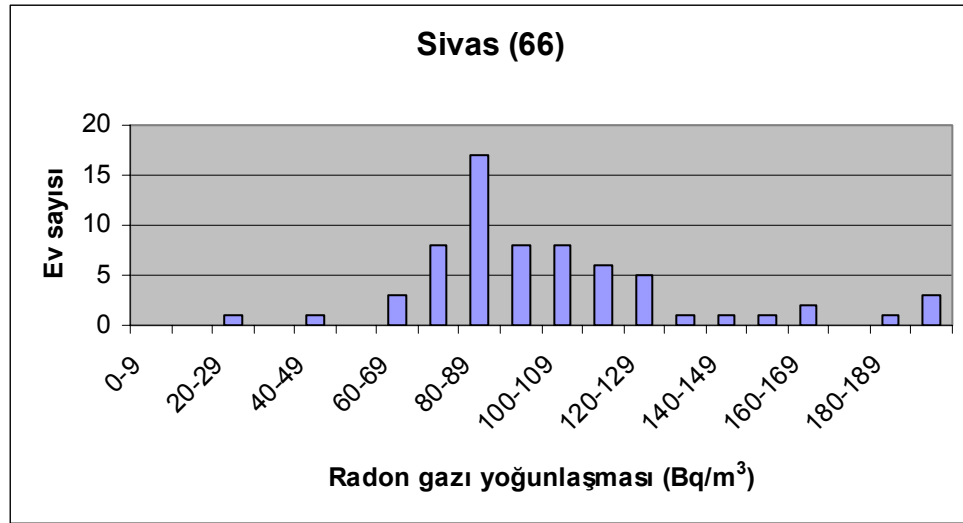
Şekil 8. Evlerde radon gazı araştırması anket formu



Sivas il merkezinde birinci grup olarak Mayıs-Ağustos döneminde 66 eve iki ay süreyle dedektörler yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi, aynı tarihlerde tamamlanmaya çalışılsa da ilk yerleştirilen dedektörler ile sonrakiler arasında tarihsel kaymalar olmuştur. Bu nedenle dedektör yerleşim tarihleri arasında yaklaşık bir aylık farklılık vardır (EK-1). Bu çalışmada, radon gazı ölçümlerinde nükleer iz dedektörü olan alfa ışınlarına duyarlı CR-39 (Alil diglikol karbonat) plastik dedektörleri kullanılmıştır. Plastik dedektörlerin kullanımı radon gazı ölçümleri için geliştirilmiş bir pasif ölçüm yöntemidir (Urban ve Piesch, 1981).

Bu dönem içinde toplanan dedektörler Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Sağlık Fiziki Bölümü'ne gönderilmiştir. Dedektörler burada bir dizi analize tabi tutulmuştur. Bu işlemden sonra mikroskofta izler sayılmış ve dedektörler için hesaplanan kalibrasyon faktörü kullanılarak radon gazı yoğunlaşmaları hesaplanmıştır.

Yaz dönemi sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Ölçümlerin aritmetik ortalaması  $98 \text{ Bq/m}^3$  arasında değişmiştir.



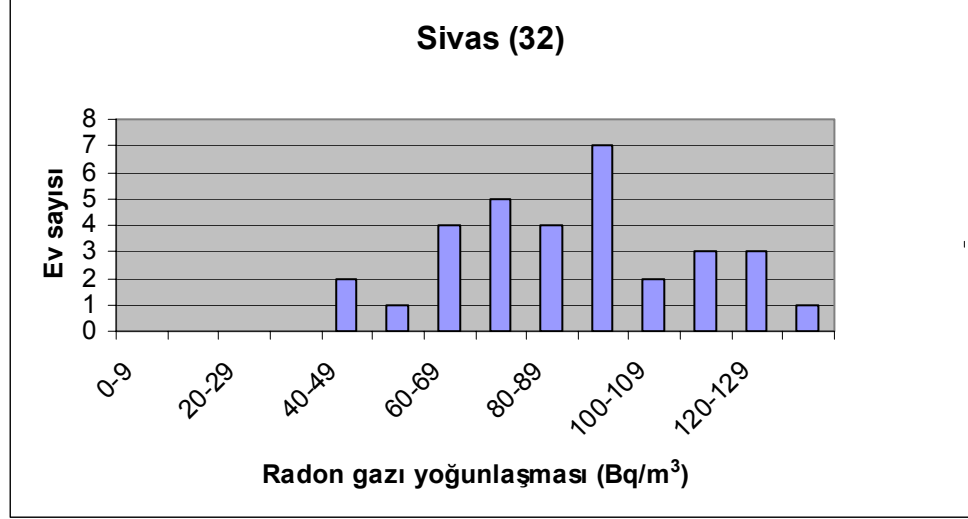
Şekil 9. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşma seviyeleri (Yaz dönemi)

Yaz dönemi kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması seviyelerinin aritmetik ortalaması, geometrik ortalaması ve standart sapmaları Çizelge 8'de kış dönemi ise Çizelge 9'da verilmektedir. Burada çok yüksek üç değer çıkarılmıştır.

Çizelge 8. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması seviyelerinin aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve standart sapması (Yaz dönemi)

Bölge	Ev sayısı	Aritmetik ort.	Geometrik ort.	Standart Sapma
Sivas	66	98	94	27.5

Kış döneminde (Ekim-Aralık) yerleştirilen 32 adet dedektöre ait sonuçlar Şekil 10'da verilmektedir. Ölçümlerin geniş bir aralıkta dağılım gösterdikleri gözlenmektedir.



Şekil 10. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşma seviyeleri (Kış dönemi)

Çizelge 9. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması seviyelerinin aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve standart sapması (Kış dönemi)

Bölge	Ev sayısı	Aritmetik ort.	Geometrik ort.	Standart Sapma
Sivas	32	89	86	24

Ortalama radon gazı yoğunlaşması beklenenin aksine yaz dönemi seviyelerinin kış döneminden daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Bunun nedenleri, yaz dönemindeki toprak geçirgenliğiyle ve her iki dönemde seçilen konutların farklı evler olması olarak düşünülebilir.

#### 4.3. Toprakta Radon Gazı Ölçümleri

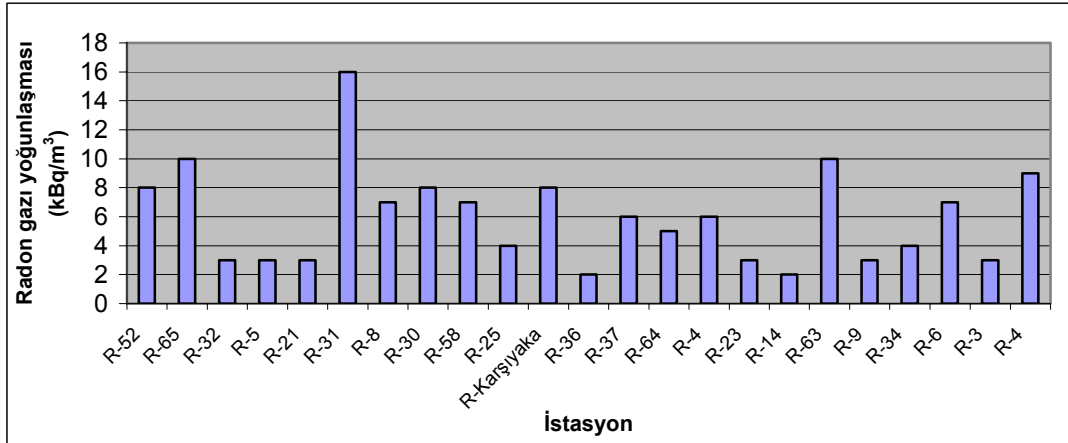
Kapalı ortam ölçümlerinin yapıldığı noktaların bazılarında topraktaki radon gazı ölçümleri de yapılmıştır. Alfametre yardımıyla 23 noktada toprak içi radon gazı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 11). Bu noktalar kapalı ortam ölçümlerinin alındığı binaların, ölçü almaya uygun zemine sahip olanları arasından seçilmiştir. Bu zeminlerde binalardan yaklaşık 5 m mesafede 30 cm açılan çukurlara yerleştirilen alfametreler belli bir süre bekletildikten sonra (yaklaşık 15 dak.), hesaplanan radon gazı yoğunlaşma değeri ve zemine ait bilgiler kaydedilmektedir. Böylece kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ve topraktaki radon gazı yoğunlaşması değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçümler sonucunda her istasyonda alınan radon gazı yoğunlaşması değerleri Şekil 12'de

verilmektedir. Elde edilen sonuçlar  $\text{kBq/m}^3$  dür.

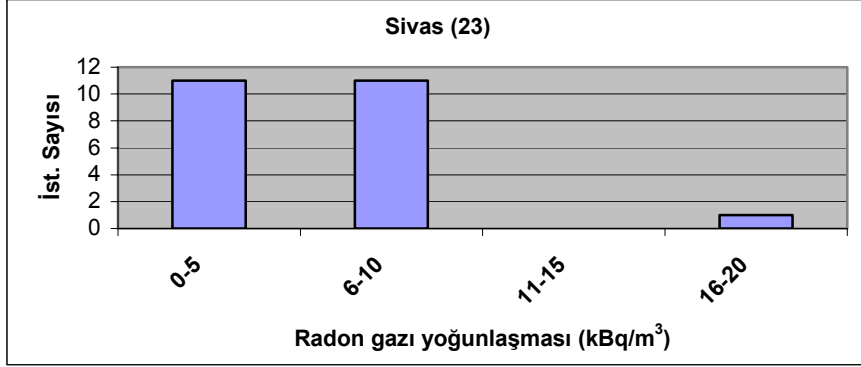


**Şekil 11.** Toprakta radon gazı ölçüm düzeneği

Genelde ölçüler 2 ile  $10 \text{ kBq/m}^3$  arasında değişmekteyken, bir noktada  $16 \text{ kBq/m}^3$  değeri ölçülmüştür (Şekil 12). Radon gazı ölçümlerin dağılımı Şekil 13'de daha net görülebilmektedir. Toprak içi radon gazı ölçümleri sonucunda elde edilen değerler toprak geçirgenliği ile doğrudan ilgilidir. Toprak geçirgenliğine göre toprak içi radon gazı risk sınıflaması yapılabilmektedir (Çizelge 10). Toprak içi radon yoğunlaşması ölçümleri yaz mevsiminde yapılarak, meteorolojik olumsuz etkiler en aza indirilmiştir. Fakat alfametrenin konulduğu çukurların kenarlarında oluşan boşluklardan bir kısım radon gazının sızdığı ve bu nedenle ölçülemediği düşünülmektedir.



**Şekil 12.** Sivas'ta yapılan toprak içi radon gazı ölçümleri

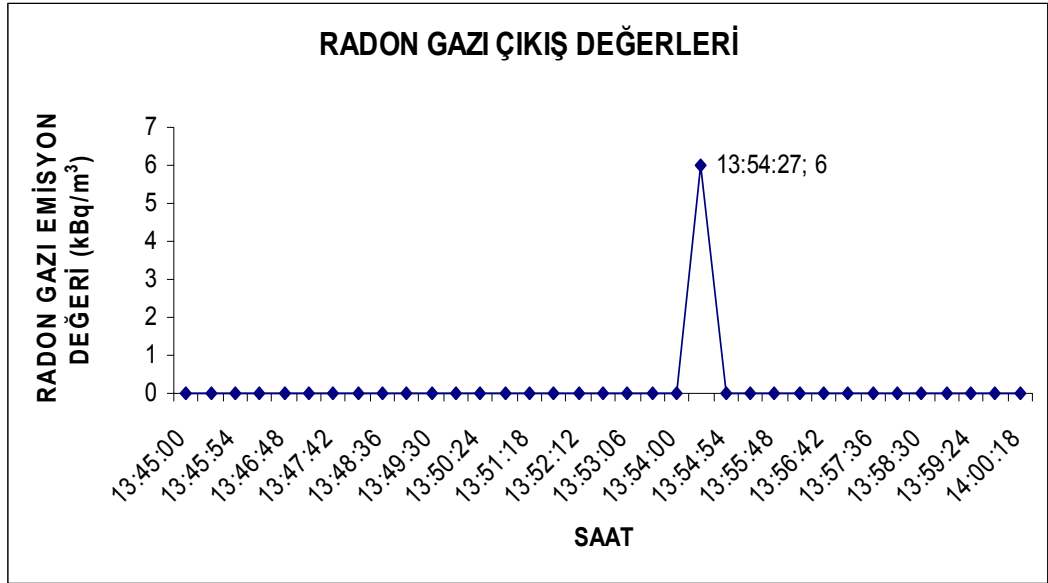


Şekil 13. Sivas toprak içi radon gazı ölçümlerinin dağılımı

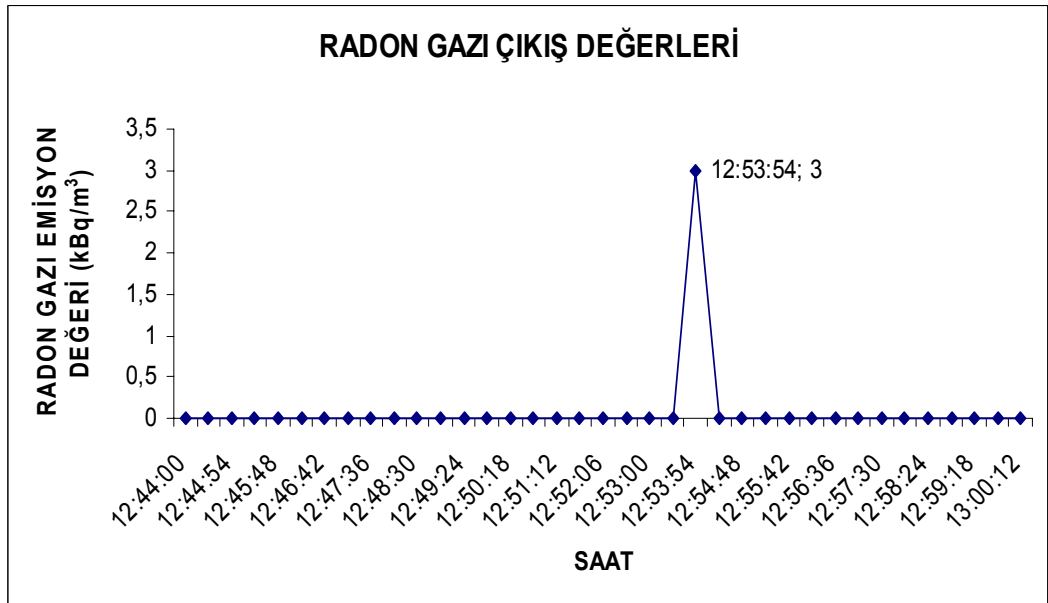
Çizelge 10. Toprak içi radon gazı risk sınıflaması

TOPRAK İÇİ RADON GAZI RİSK SINIFLAMASI	TOPRAK İÇİ RADON GAZI AKTİVİTESİ (Bq/m³)		
	TOPRAK GEÇİRGENLİĞİ DÜŞÜK	TOPRAK GEÇİRGENLİĞİ ORTA	TOPRAK GEÇİRGENLİĞİ YÜKSEK
<b>DÜŞÜK</b>	< 30000	< 20000	< 10000
<b>ORTA</b>	30000- 100,000	20000- 70000	10000- 40000
<b>YÜKSEK</b>	> 100000	>70000	> 40000

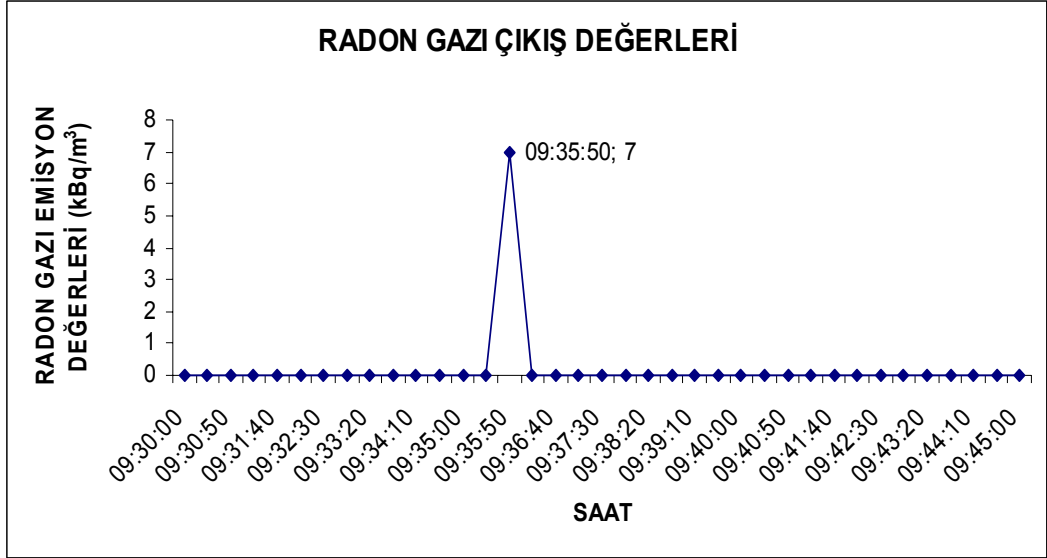
Çizelge 10'a göre Sivas ili için elde edilen toprak içi radon gazı yoğunlaşmaları risk sınıflamasında düşük olarak belirlenmiştir. Toprak geçirgenliğinin ise yüksek olduğu görülmüştür. Binanın tasarımı aşamasının ilk evrelerinde toprağın radon gazı aktivitesiyle ilgili tam ve güvenilir bilgiye sahip olmak binanın yalıtımı için gereklidir. Bu ölçümlerinin her bina için birkaç ölçüden oluşması güvenilirliği arttıracaktır. Toprak içi radon gazı ölçümlerine ait grafikler Şekil 14-37 arasındaki şekillerde verilmiştir.



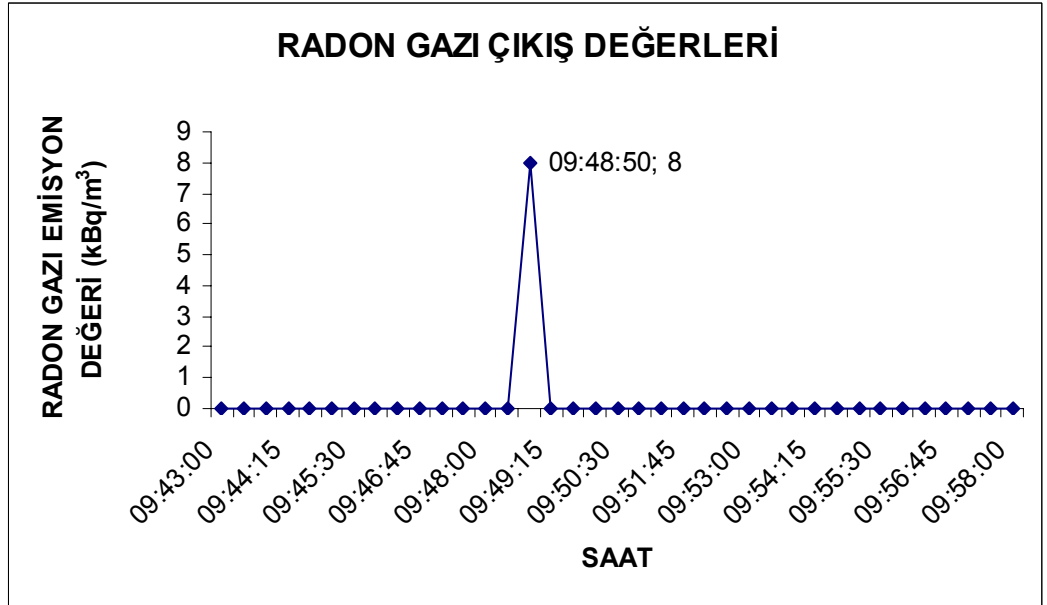
Şekil 14. R4 nolu ölçüm grafiği



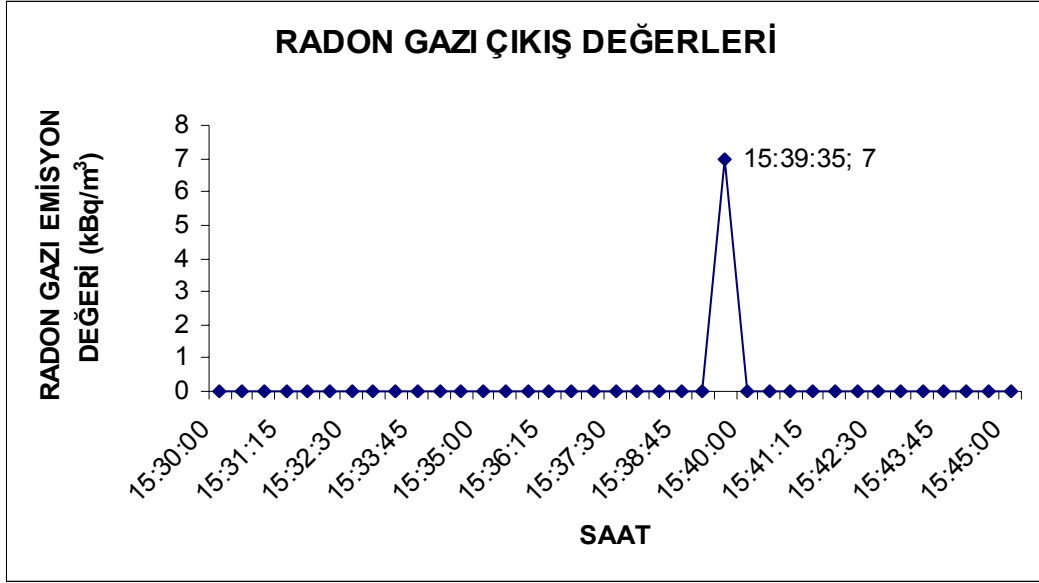
Şekil 15. R5 nolu ölçüm grafiği



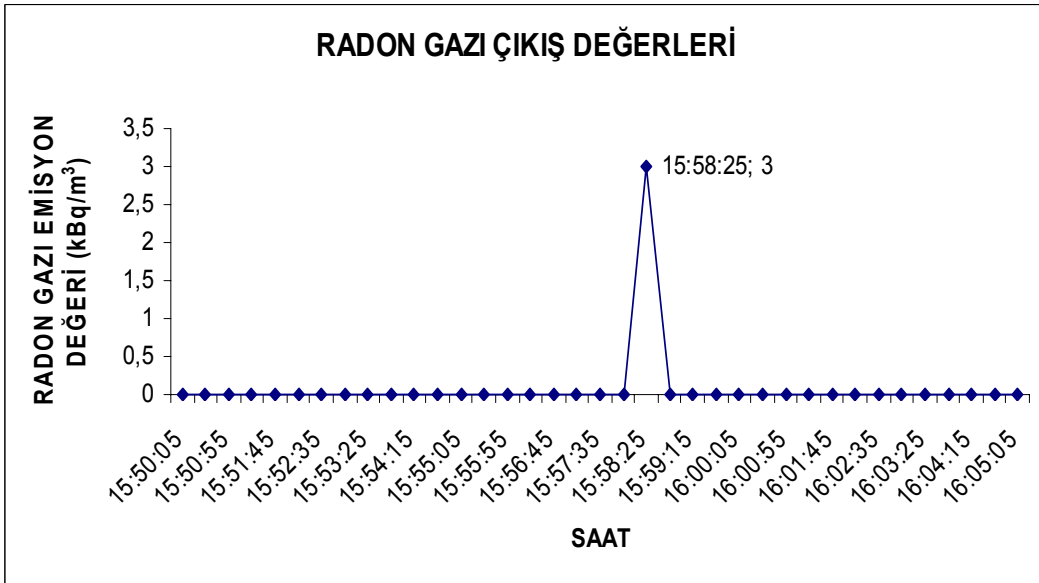
Şekil 16. R6 nolu ölçüm grafiği



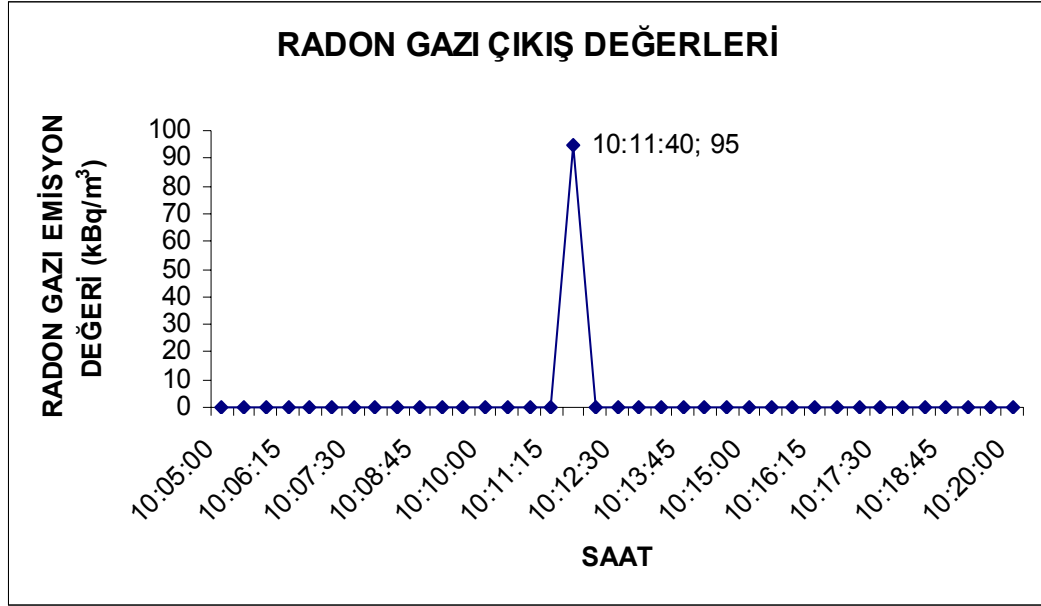
Şekil 17. R7 nolu ölçüm grafiği



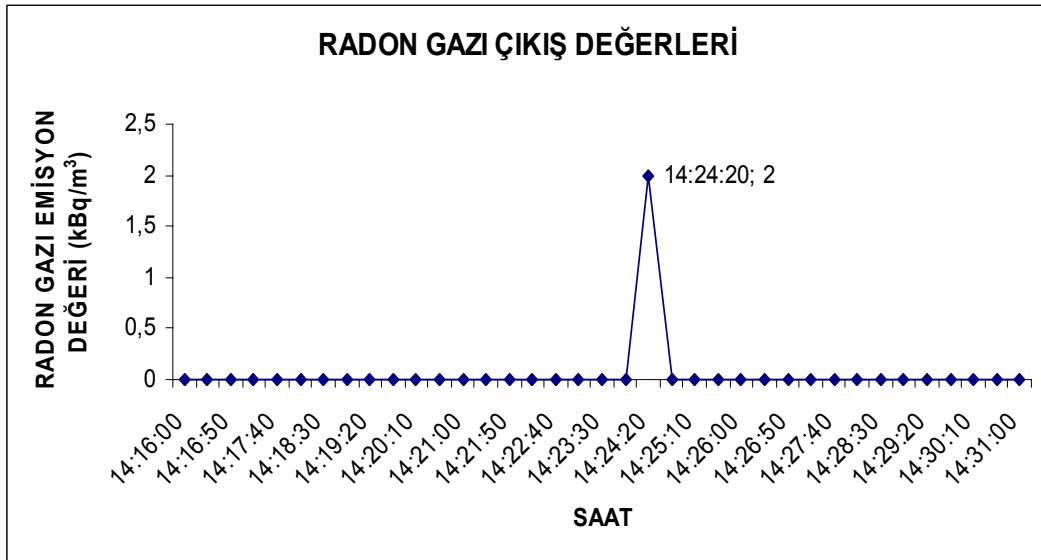
Şekil 18. R8 nolu ölçüm grafiği



Şekil 19. R9 nolu ölçüm grafiği

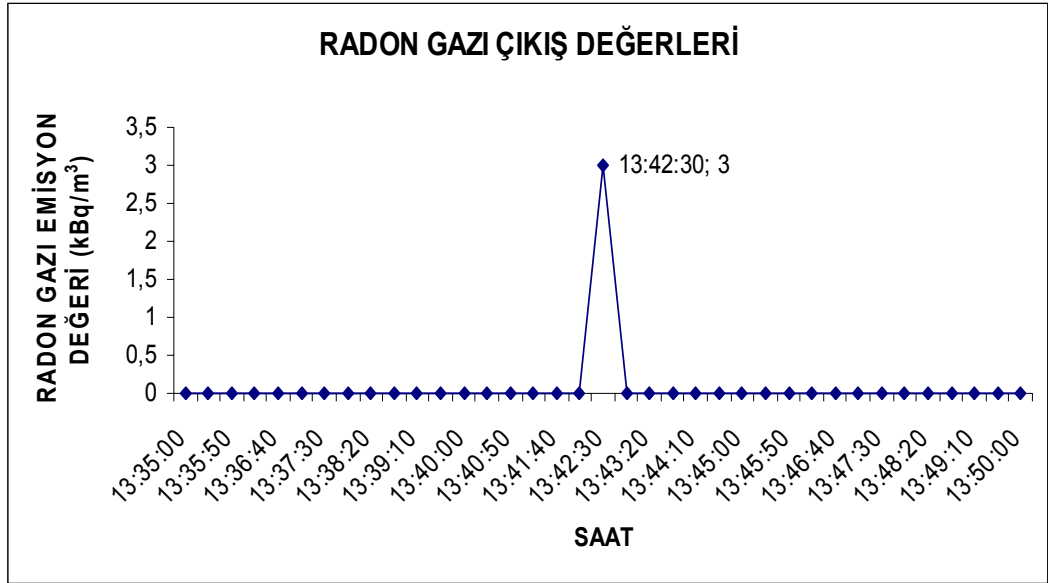


Şekil 20. R13 nolu ölçüm grafiği

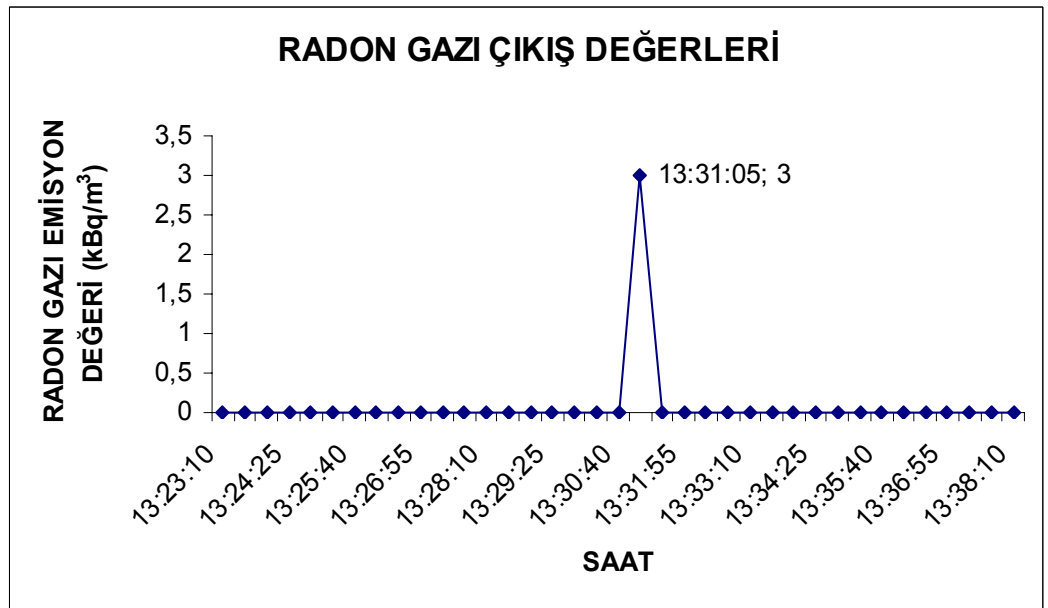


Şekil 21. R14 nolu ölçüm grafiği

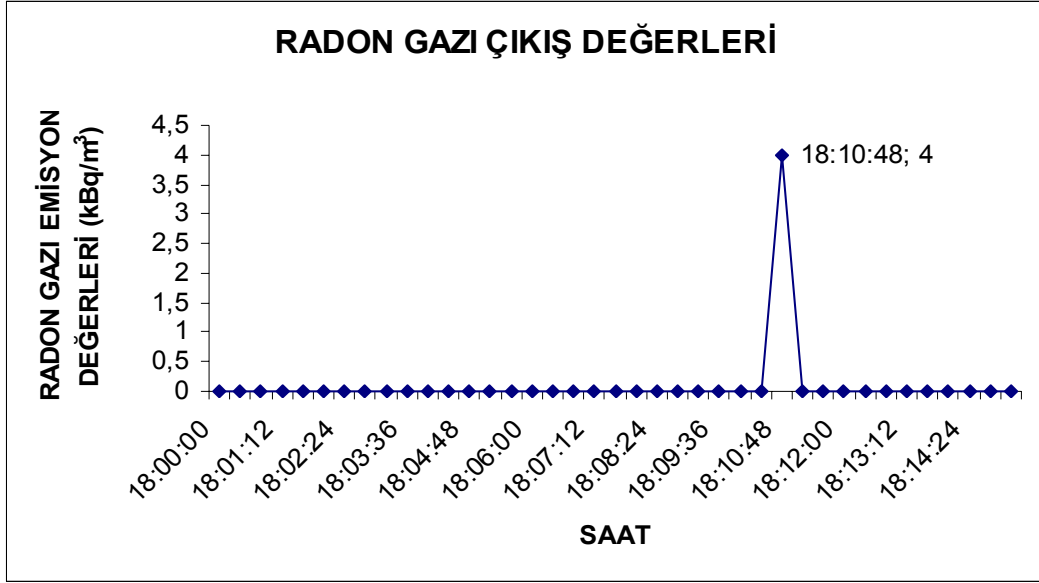




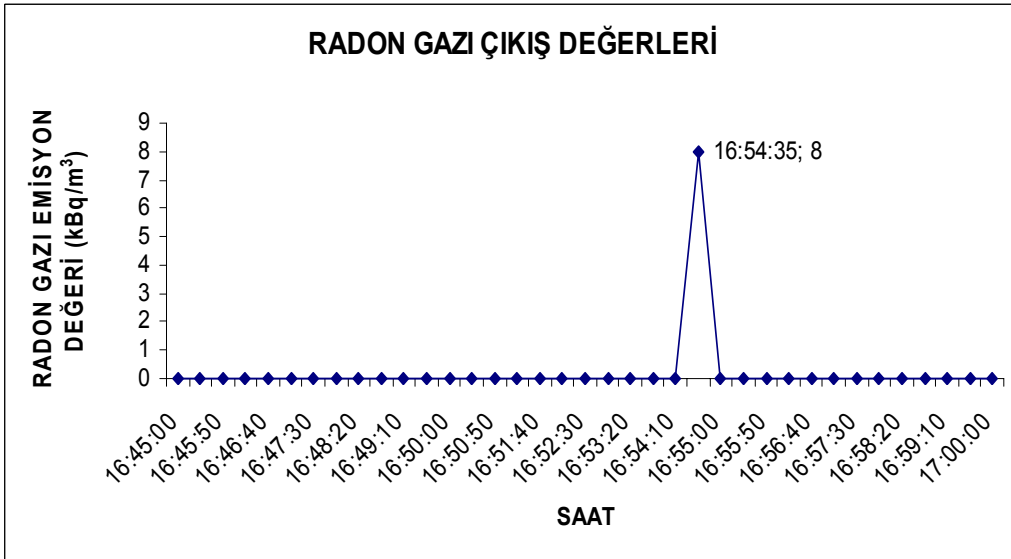
Şekil 22. R21 nolu ölçüm grafiği



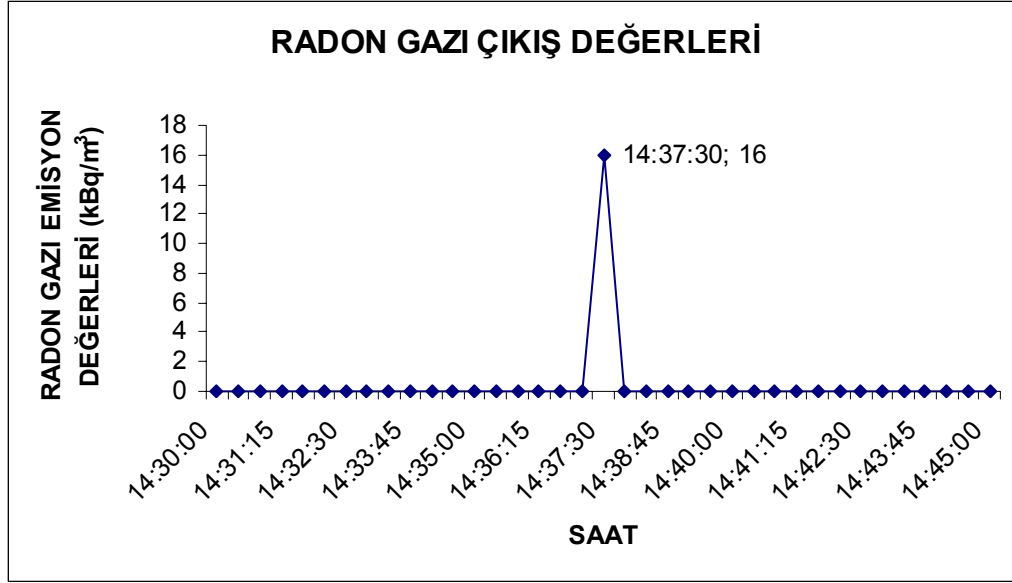
Şekil 23. R23 nolu ölçüm grafiği



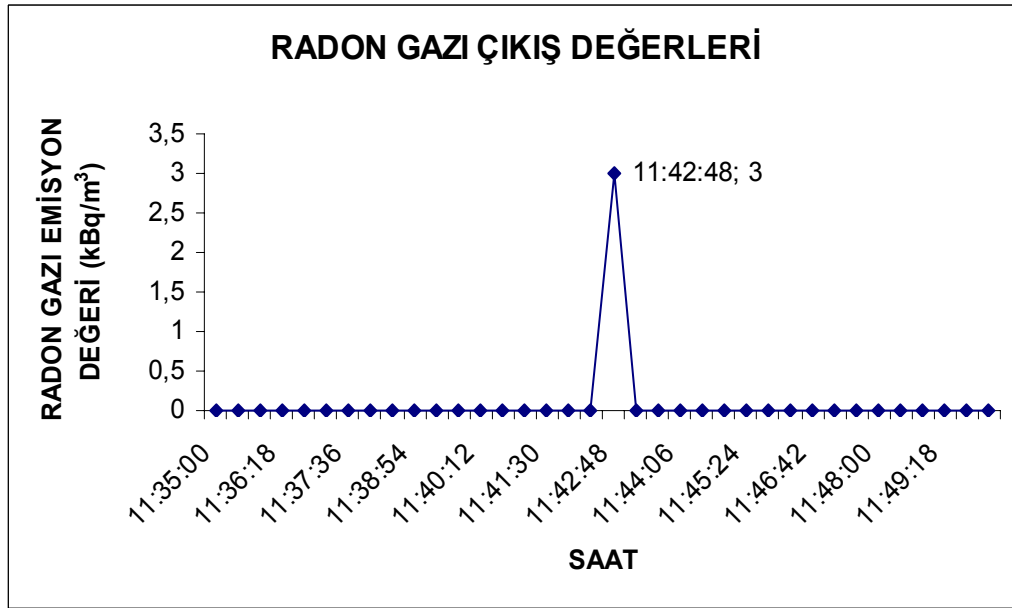
Şekil 24. R25 nolu ölçüm grafiği



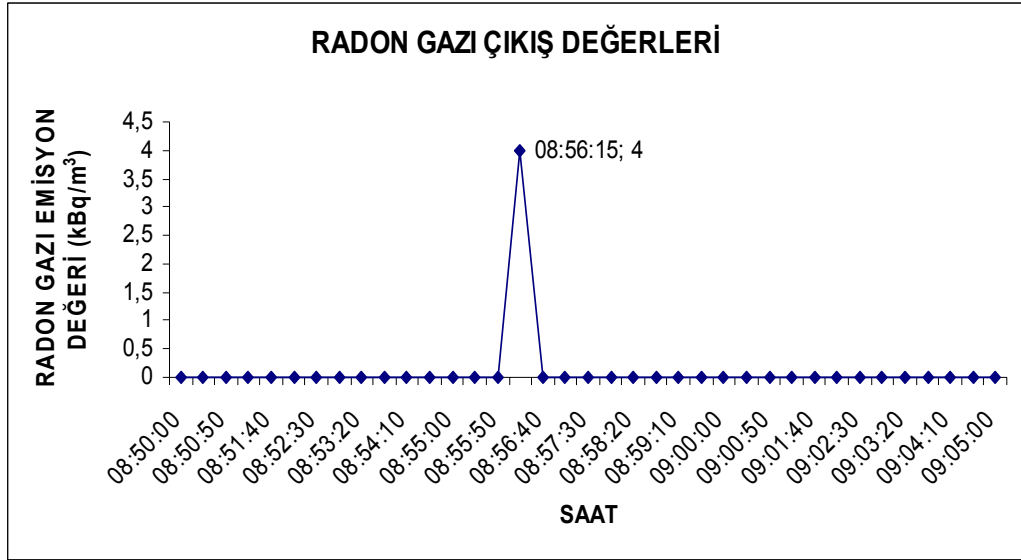
Şekil 25. R30 nolu ölçüm grafiği



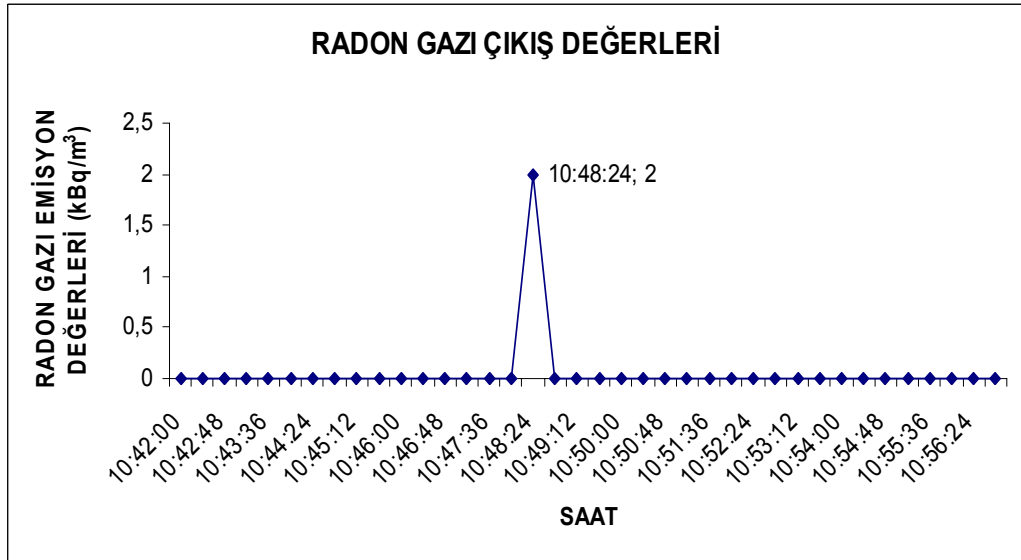
Şekil 26. R31 nolu ölçüm grafiği



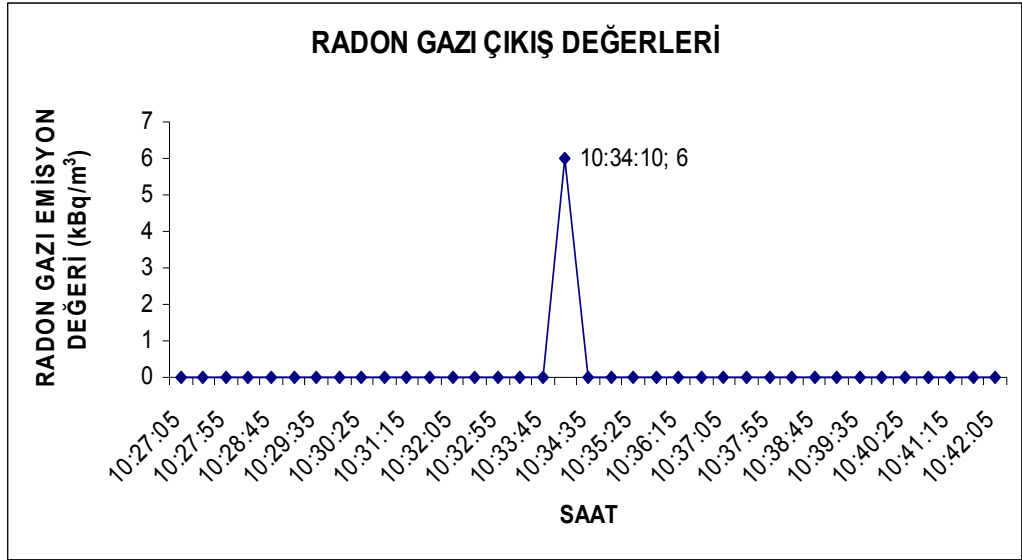
Şekil 27. R32 nolu ölçüm grafiği



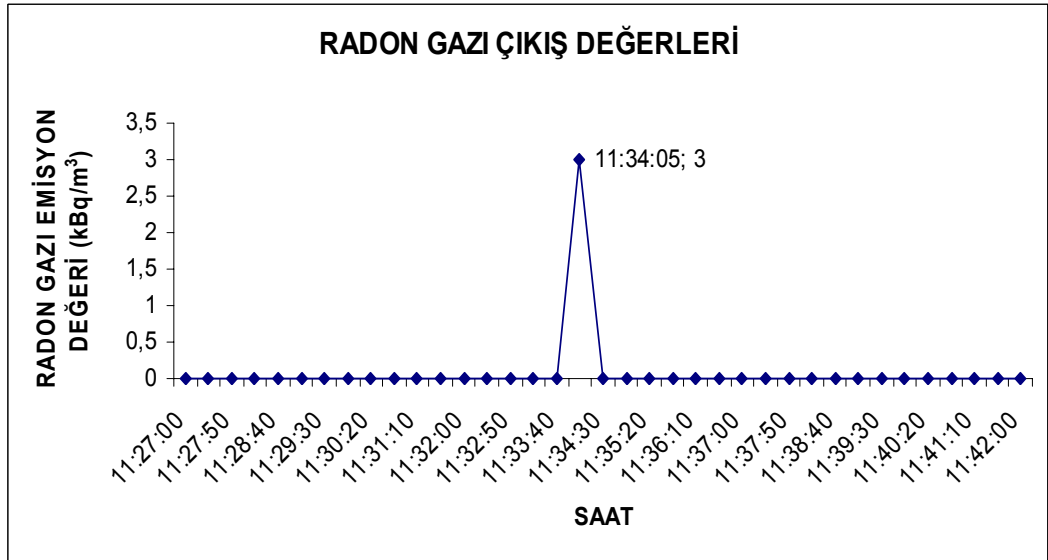
Şekil 28 . R34 nolu ölçüm grafiği



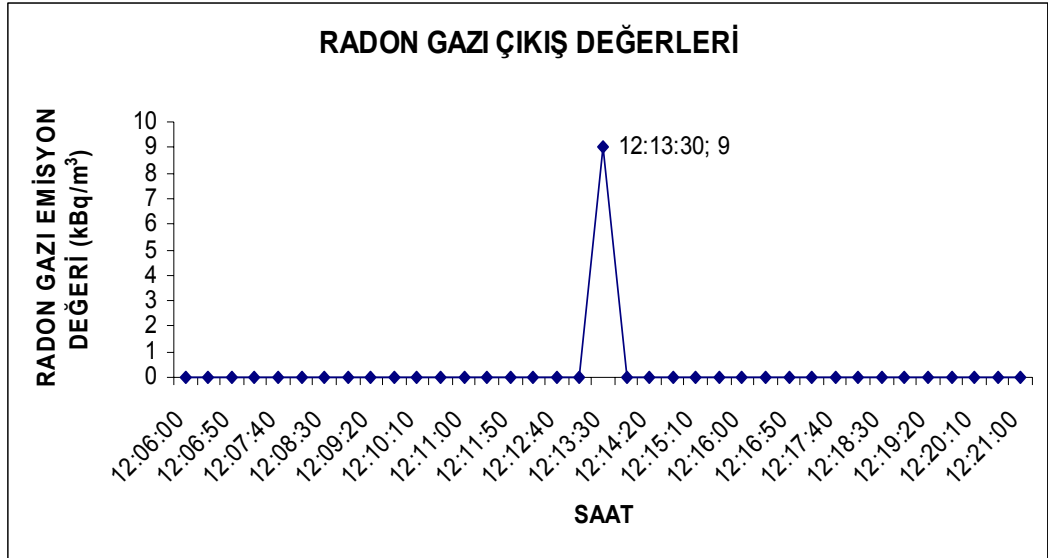
Şekil 29. R36 nolu ölçüm grafiği



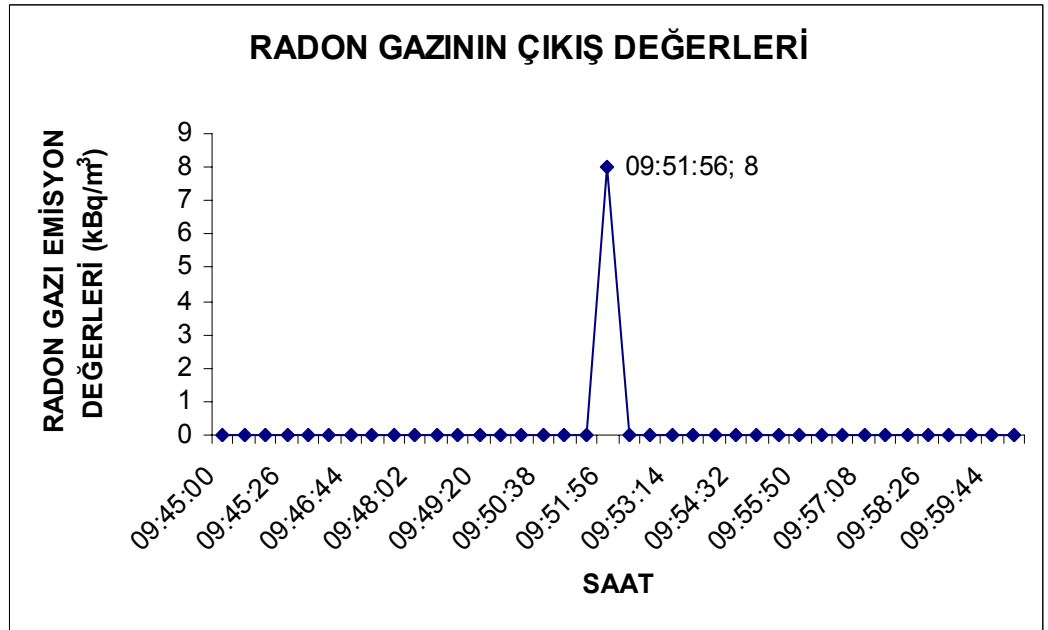
Şekil 30. R37 nolu ölçüm grafiği



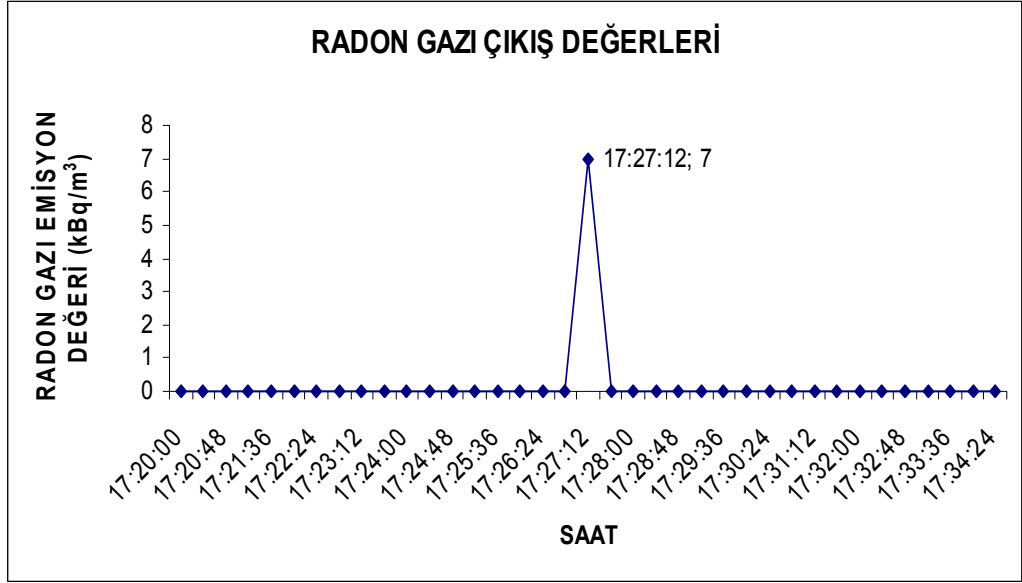
Şekil 31. R48 nolu ölçüm grafiği



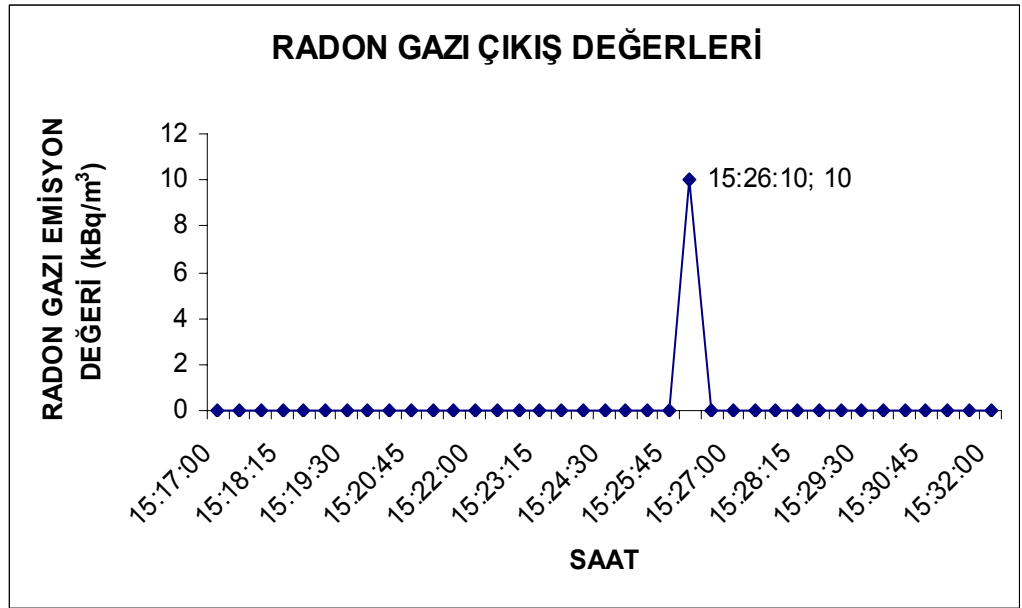
Şekil 32. R49 nolu ölçüm grafiği



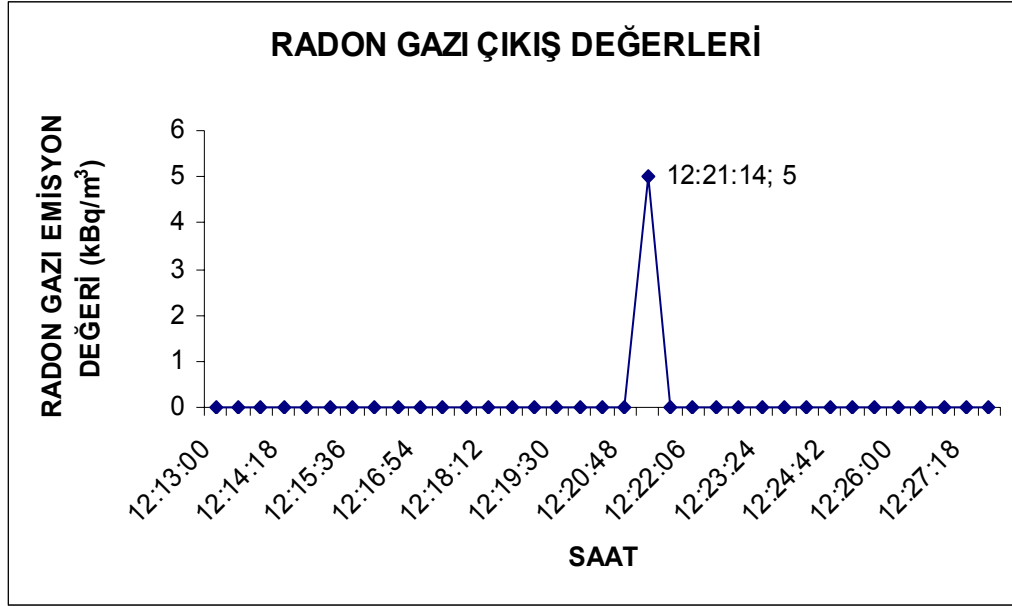
Şekil 33. R52 nolu ölçüm grafiği



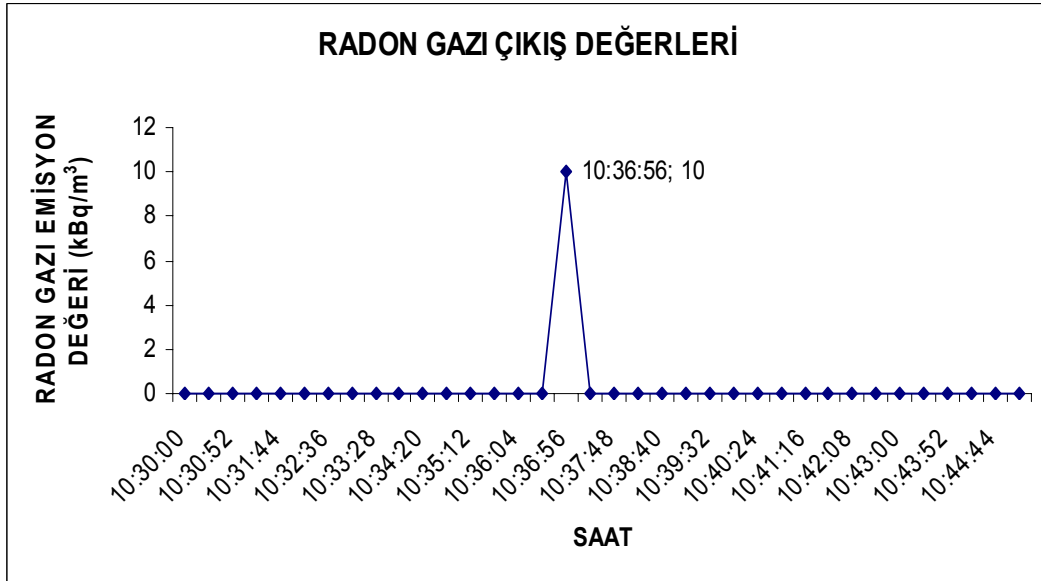
Şekil 34. R58 nolu ölçüm grafiği



Şekil 35. R63 nolu ölçüm grafiği



Şekil 36. R64 nolu ölçüm grafiği



Şekil 37. R65 nolu ölçüm grafiği

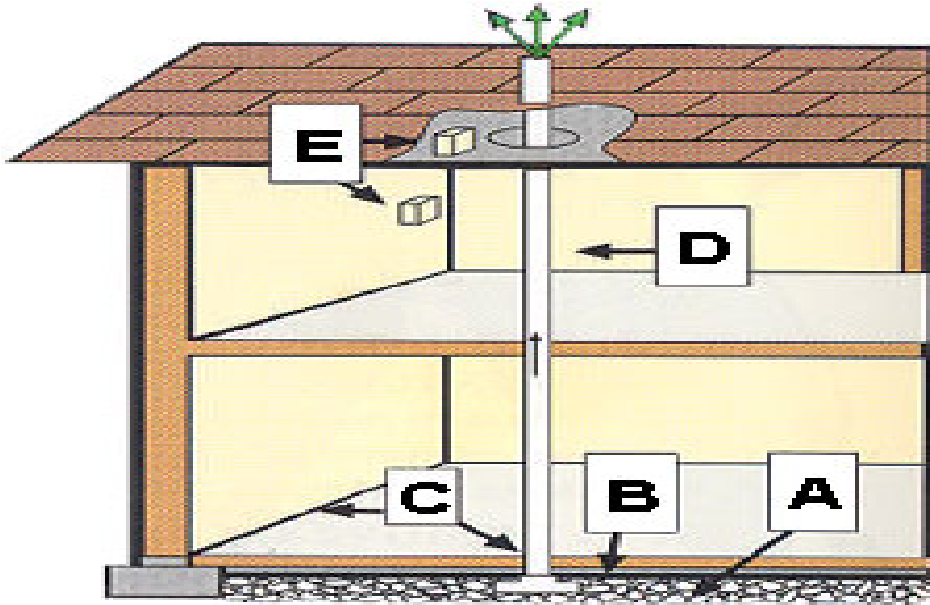


## 5. RADON GAZININ EVLERDEN UZAKLAŞTIRILMASI

Radon gazı risklerinin azaltılması için alınması gereken bazı tedbirler vardır. Bunlar;

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların toprak ile temas eden yüzeyleri ve birleşim yerleri sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Evlerin duvarlarında, su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerlerde bulunan çatlaklar, açıklıklar onarılmalı ve kapatılmalıdır.
- Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına kaçamazsa bina içindeki konsantrasyonu arttıracaktır. Bu nedenle, kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.

Radon gazına dayanıklı yapıların oluşması için çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Teknikler farklı yapı ve mevkii ihtiyacına göre değişebilir, fakat temel elemanlar Şekil 38'de gösterilmiştir.

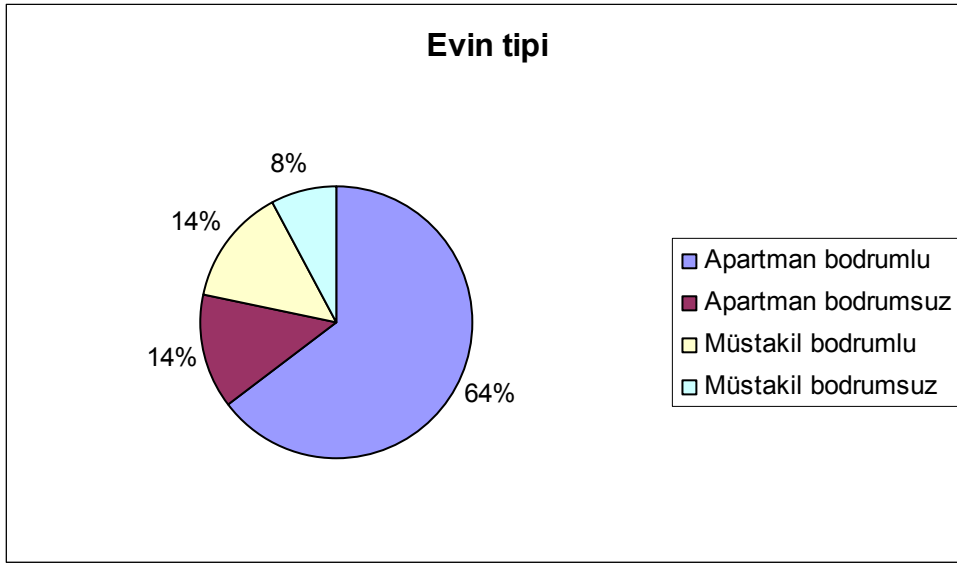


**Şekil 38.** Radon gazının kapalı ortamdan uzaklaştırılması. **(A) Gaz Geçirgen Tabaka:** Bu tabaka topraktaki gazın evin altından serbestçe girişine izin vermek için kat veya döşemenin altına yerleştirilir. Bir çok yerde 4-inch kalınlığında çakıl tabaka kullanılır, **(B) Plastik Levha:** Plastik levha gaz geçirgen tabakanın üstüne yerleştirilir ve gazın eve girişini engellemek için katın

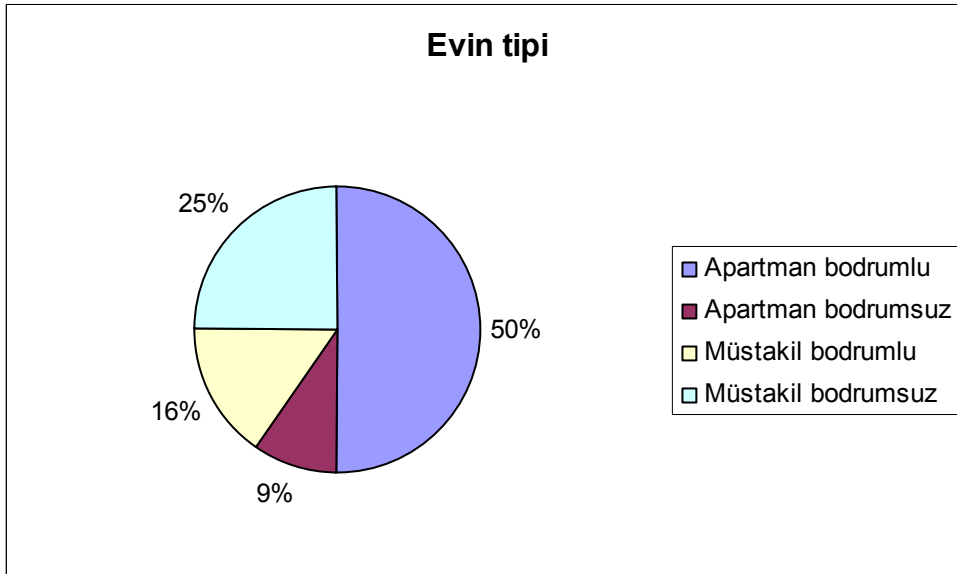
(döşemenin) altındadır, **(C) Contalama ve Kalafatlama:** Beton temel içindeki bütün açıklıklar evin içine gaz girişini azaltmak için contalanır, **(D) Menfez boru:** Bir 3 veya 4-inch gaz sıkıştırıcı veya PVC boru (genellikle su tesisatı için kullanılan) gaz geçirgen tabakadan gelen radon ve diğer toprak gazlarını güvenli bir şekilde evden geçerek çatıya çıkarır, **(E) Bağlantı kutusu:** Bir elektrik bağlantı kutusu daha sonra elektrik havalandırma fanı gerekir diye yerleştirilir.

## 6. ANKET SONUÇLARI

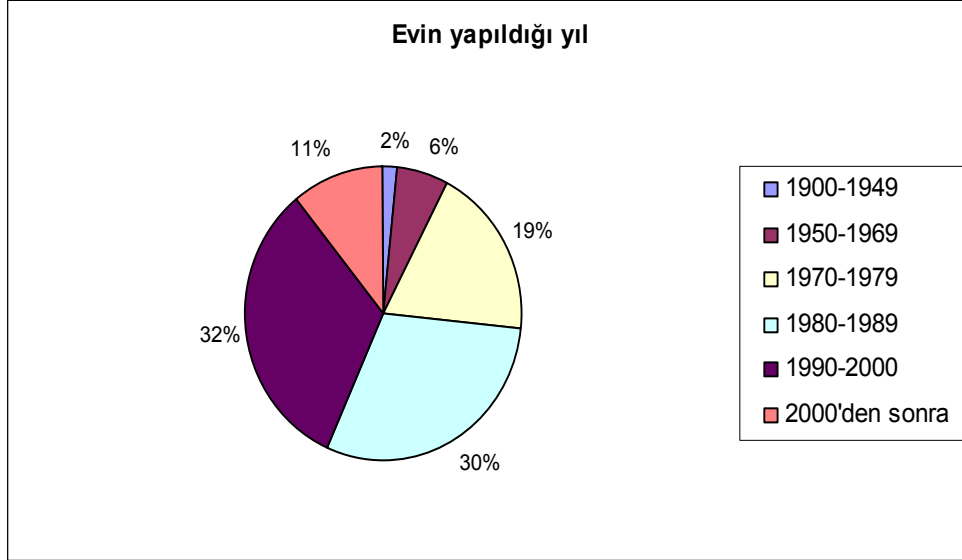
Ek-3'te verilen anket formlarının istatistiki olarak değerlendirilmesi sonucunda, evlere ait radon gazı yoğunlaşmalarıyla değerlendirilebilecek sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar insanların yaşam alanı olan evler hakkında da değerli bilgiler vermektedir. İki döneme ait anket sonuçları ayrı grafikler halinde sorulara göre Şekil 39-60 arasında verilmektedir.



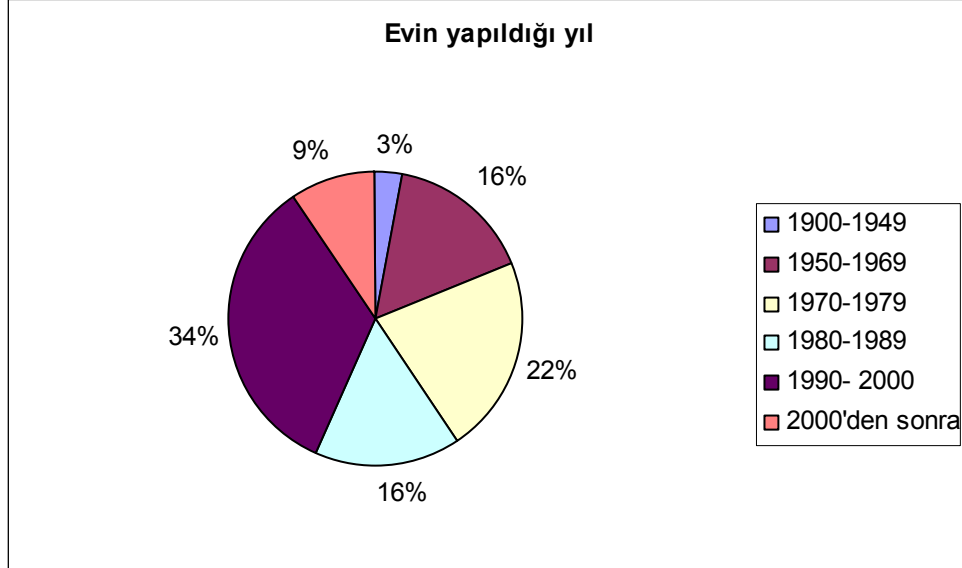
Şekil 39. Soru 1 evin yapılış tipi (Yaz dönemi)



Şekil 40. Soru 1 evin yapılış tipi (Kış dönemi)

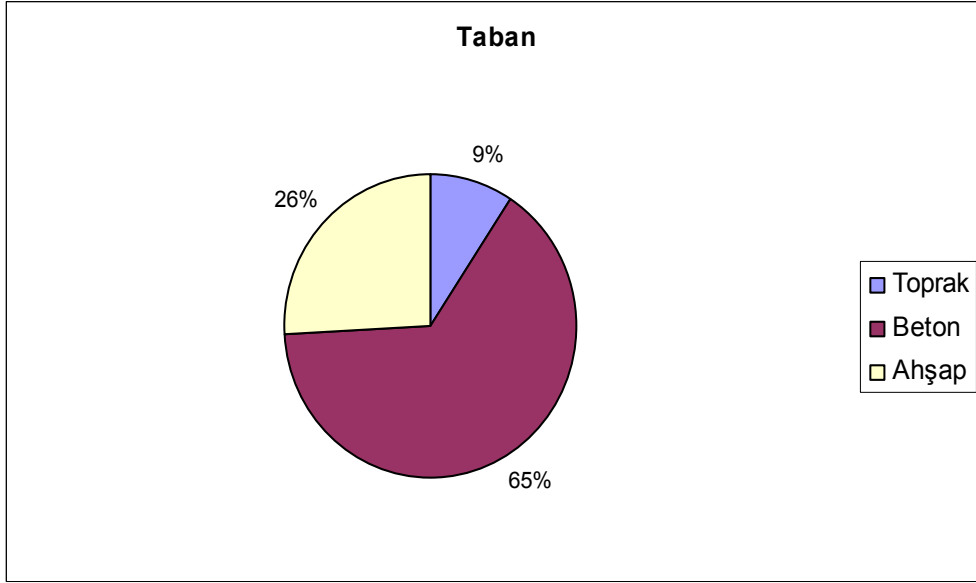


**Şekil 41.** Soru 2 evin yapıldığı yıl (Yaz dönemi)

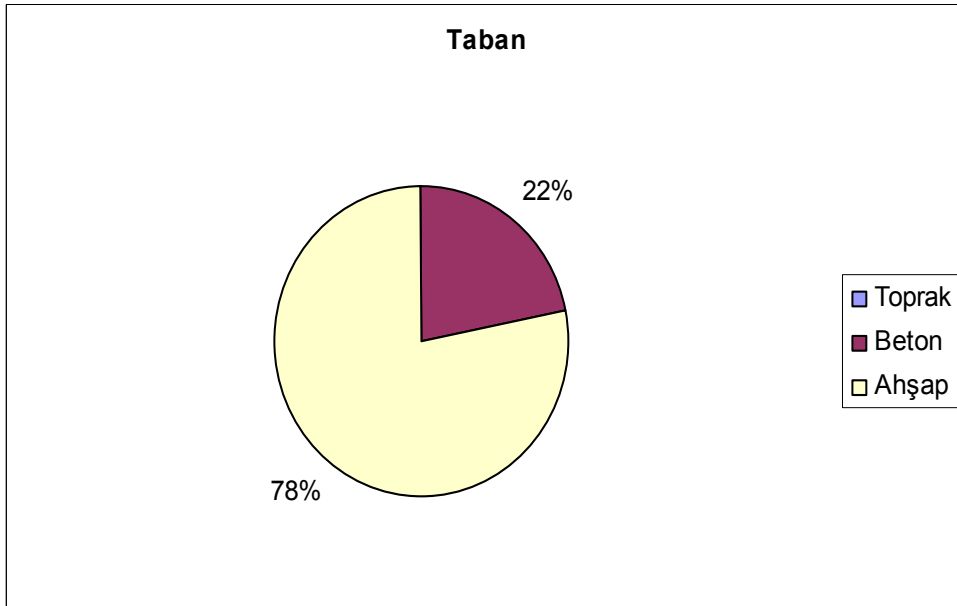


**Şekil 42.** Soru 2 evin yapıldığı yıl (Kış dönemi)

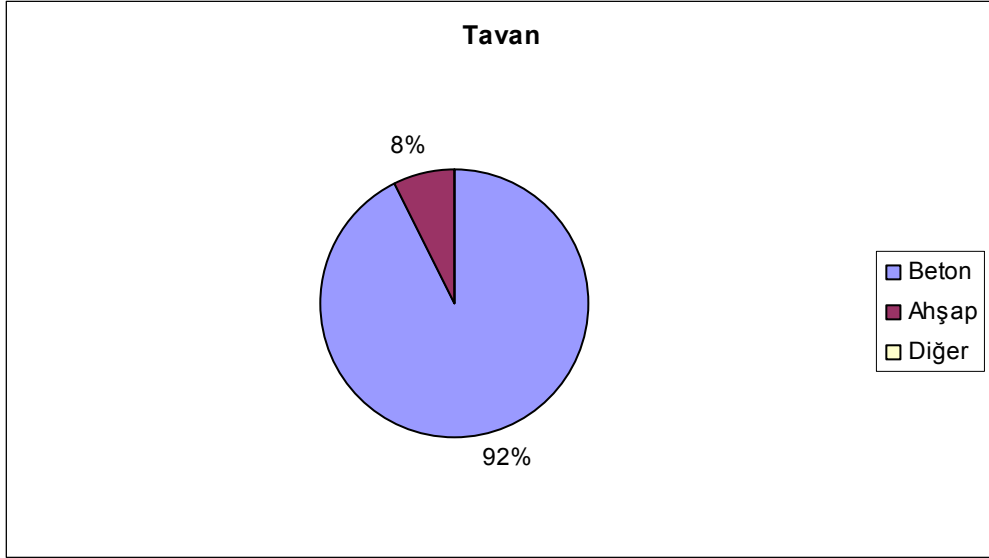
Evlerin yapım yılları kapalı ortam radon gazı yoğunlaşma değerleri ile doğrudan ilişkilidir, bu ilişkiye ait grafik Şekil 61'de verilmektedir.



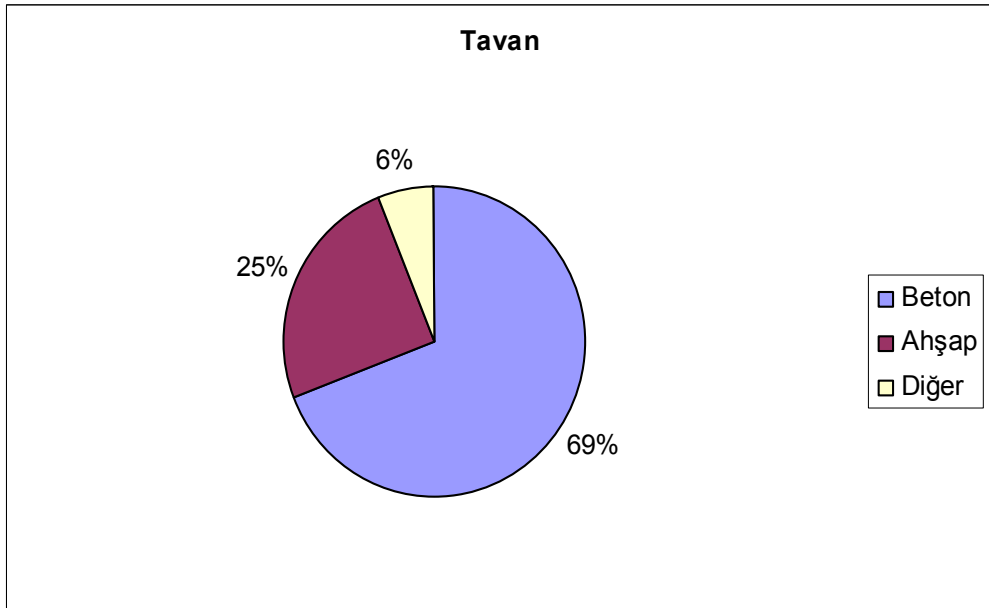
**Şekil 43.** Soru 3 Evin tabanının yapı malzemesi (Yaz dönemi)



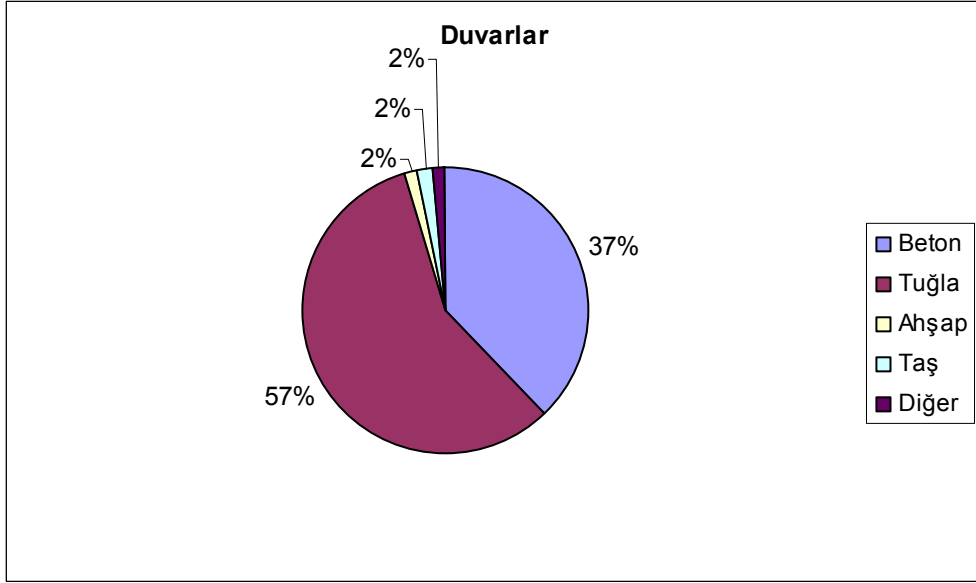
**Şekil 44.** Soru 3 Evin tabanının yapı malzemesi (Kış dönemi)



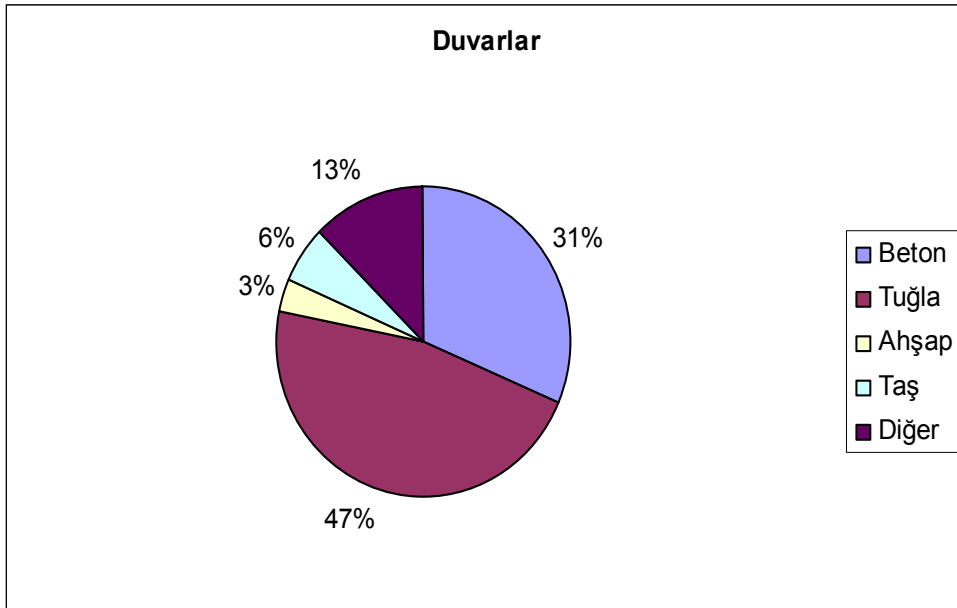
**Şekil 45.** Soru 3 Evin tavanının yapı malzemesi (Yaz dönemi)



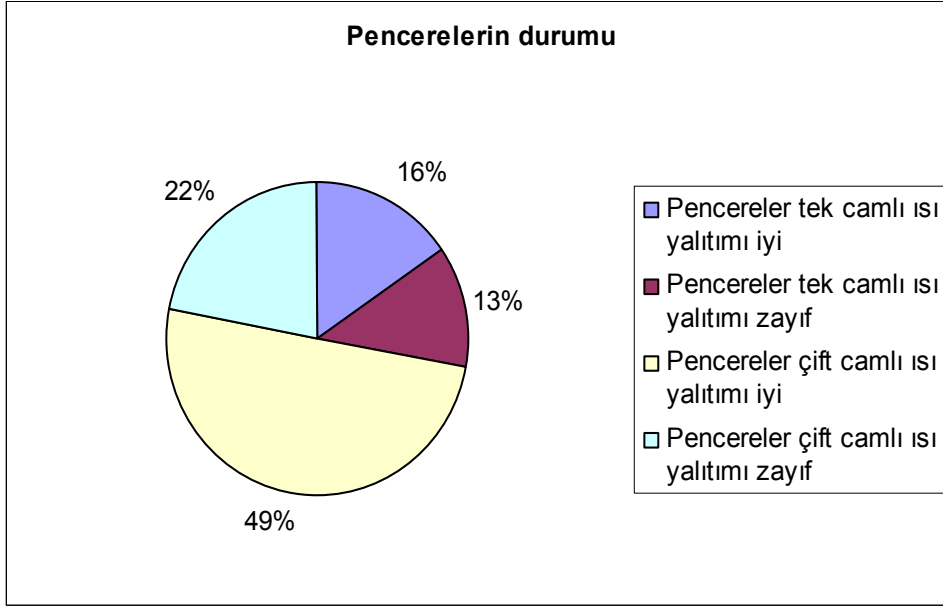
**Şekil 46.** Soru 3 Evin tavanının yapı malzemesi (Kış dönemi)



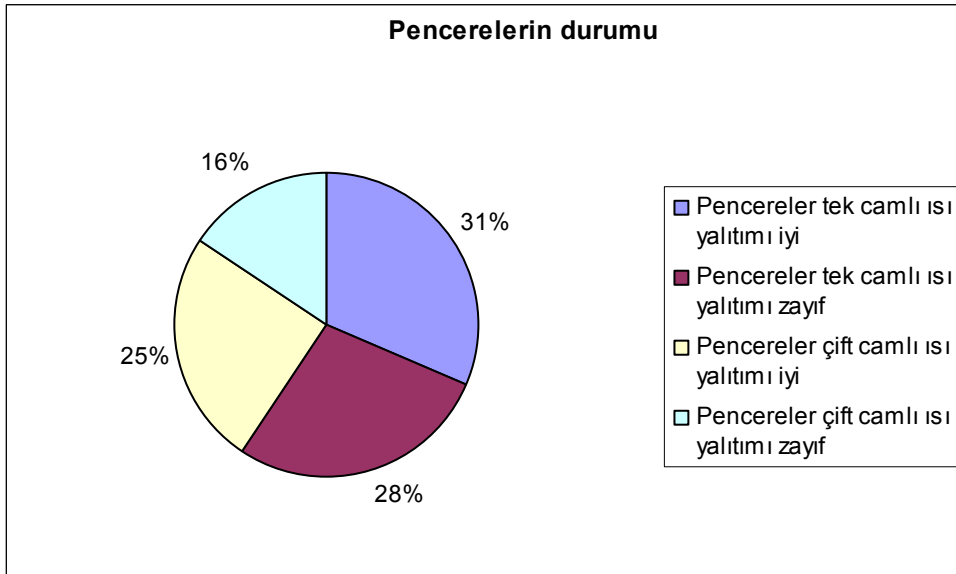
**Şekil 47.** Soru 3 Evin duvarlarının yapı malzemesi (Yaz dönemi)



**Şekil 48.** Soru 3 Evin duvarlarının yapı malzemesi (Kış dönemi)

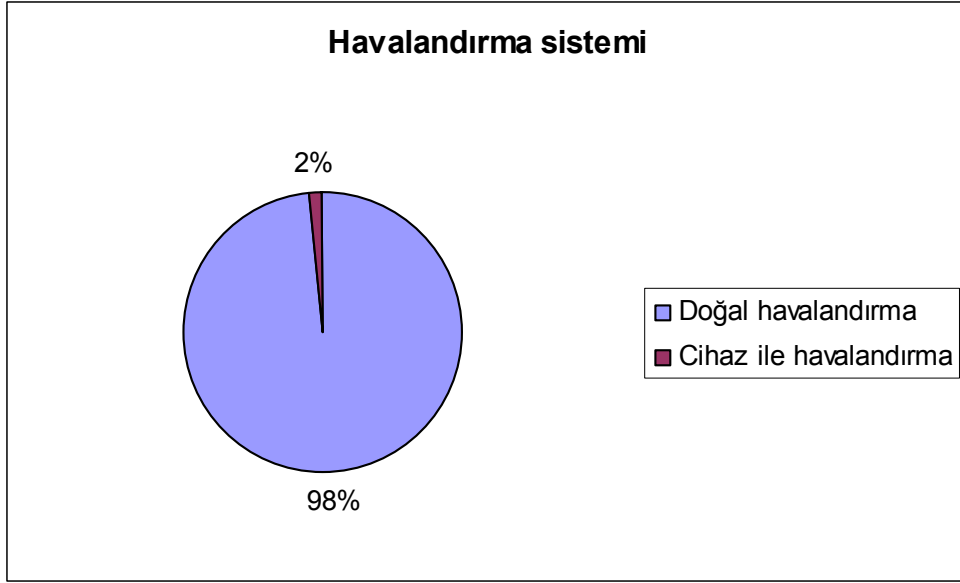


Şekil 49. Soru 4 pencerelerin durumu (Yaz dönemi)

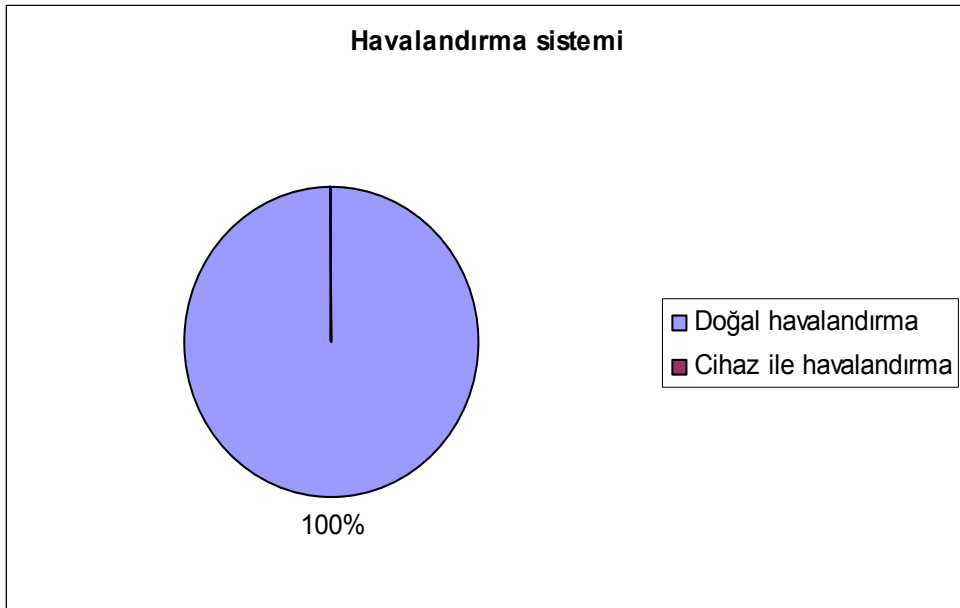


Şekil 50. Soru 4 pencerelerin durumu (Kış dönemi)

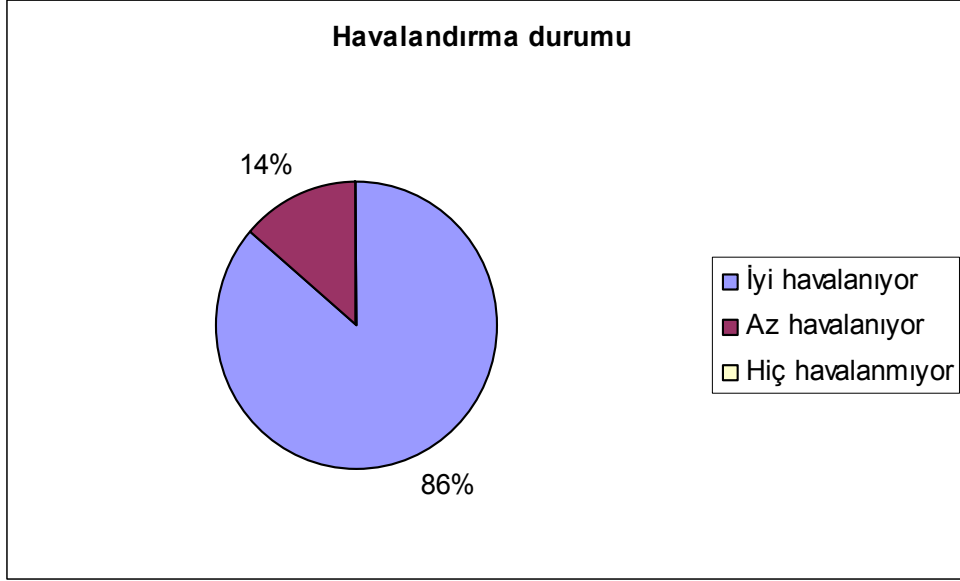




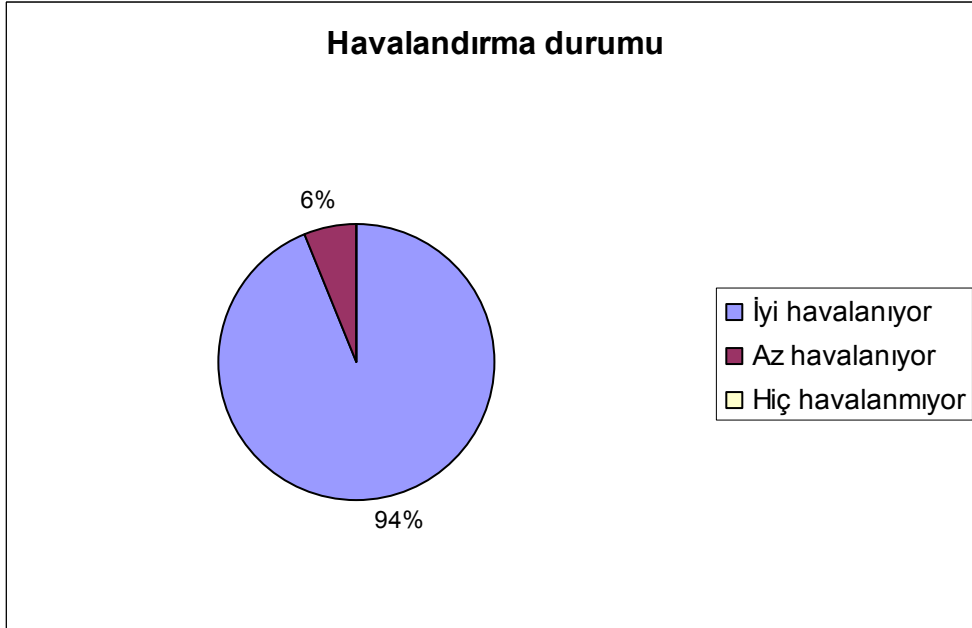
**Şekil 51.** Soru 5 Havalandırma sistemi (Yaz dönemi)



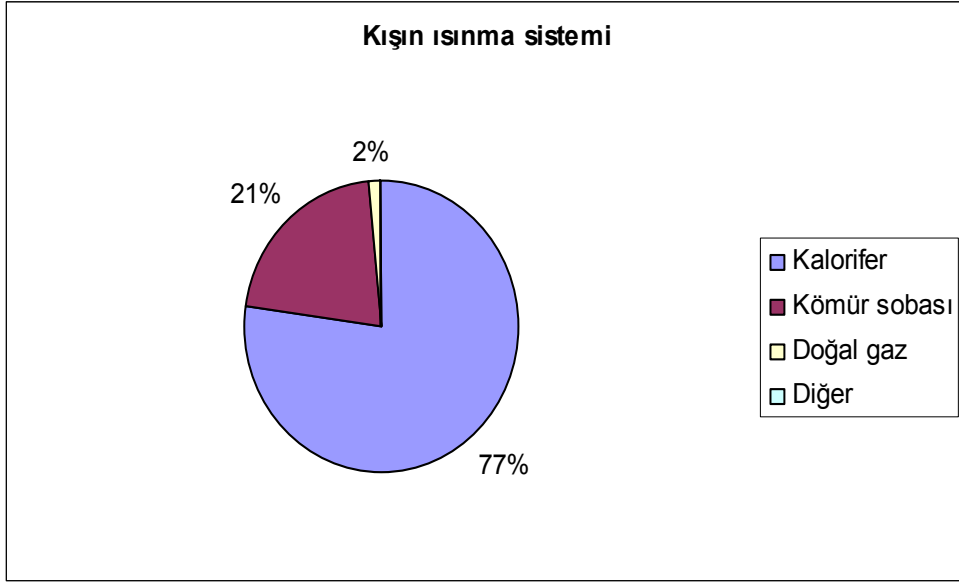
**Şekil 52.** Soru 5 Havalandırma sistemi (Kış dönemi)



**Şekil 53.** Soru 6 Havalandırma durumu (Yaz dönemi)



**Şekil 54.** Soru 6 Havalandırma durumu (Kış dönemi)



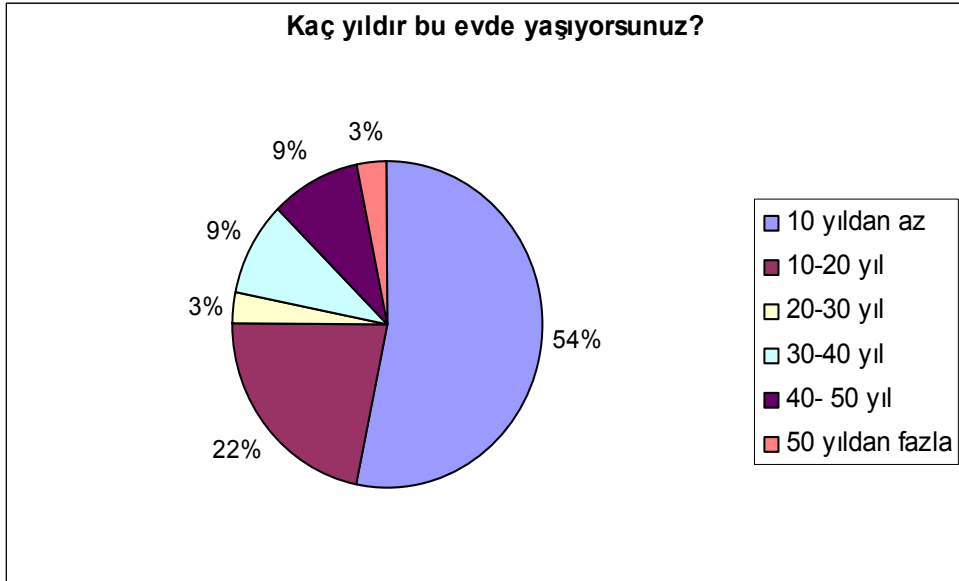
Şekil 55. Soru 7 Kışın ısıtma sistemi (Yaz dönemi)



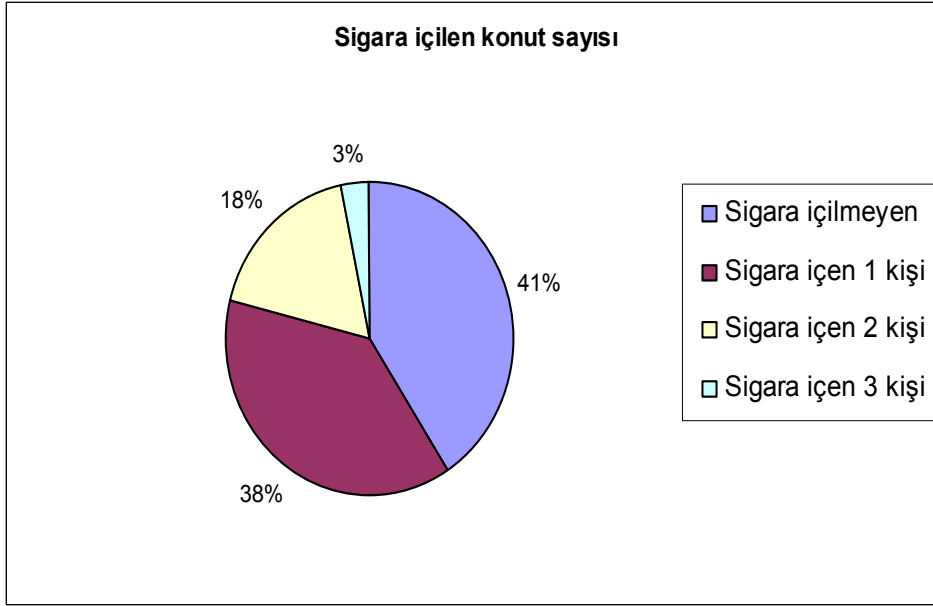
Şekil 56. Soru 7 Kışın ısıtma sistemi (Kış dönemi)



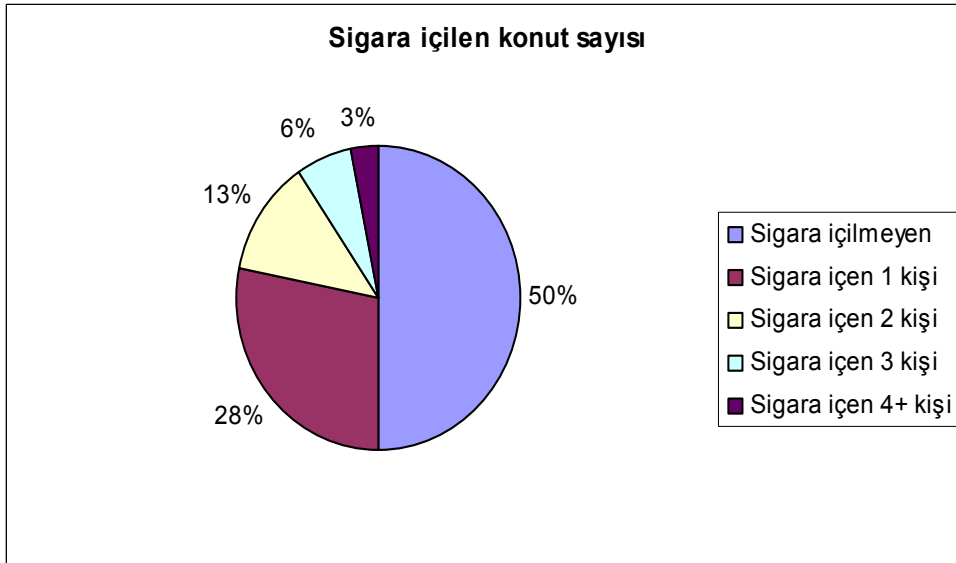
Şekil 57. Soru 9 Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz ? (Yaz dönemi)



Şekil 58. Soru 9 Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz ? (Kış dönemi)



**Şekil 59.** Soru 10 Sigara içilen konut sayısı (Yaz dönemi)



**Şekil 60.** Soru 10 Sigara içilen konut sayısı (Kış dönemi)

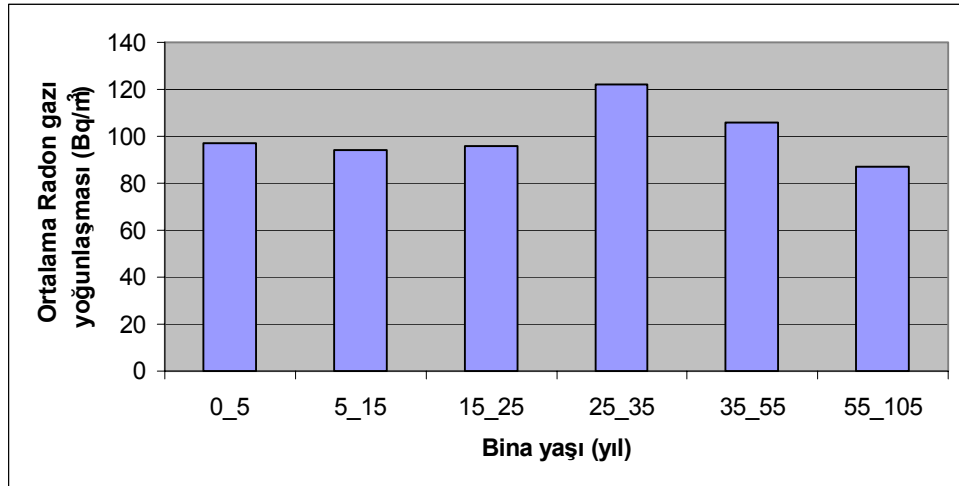
## 7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kapalı ortam ve toprak içi radon gazı yoğunlaşma ölçümleri için seçilen evler şehrin genel bir dağılımını kapsayacak şekilde seçilmiştir. Anketler değerlendirildiğinde yaz döneminde seçilen evlerin, kış döneminde seçilenlere göre çoğunun bodrumlu binalar olduğu gözle çarpılmaktadır.

Binaların boşlukları, yapıdaki oyuklar ve iç boşluklardaki radon gazı yoğunlaşma sonuçları bazı faktörlere bağlıdır:

- Topraktaki radon gazının basıncı ve yoğunluğu
- Toprak geçirgenliği - nem durumu (radon suda çözünabilir)
- Binada kullanılan yapı malzemesi, kaynağı
- Bina tasarımı ve yapım kalitesi
- Tamamlanan binanın uygun kullanımı, içerideki ısınma sebebiyle oluşan basınç
- Zamana bağlı faktörler, rüzgar ve/veya atmosferik basınç değişimleri.

Genelde yapılan çalışmalarda binaların yaşları arttıkça radon gazı yoğunlaşmaları düşmektedir. Bu çalışmada bina yaşları ile kapalı ortam radon gazı yoğunlaşmaları arasında belli bir ilişki görülmemesine rağmen en düşük değer 55 yaş ve üzerindeki binalarda gözlenmiştir (Şekil 61). Bunun sebebi yukarıda bahsedilen faktörlerin bir veya birkaçı olabilir.



Şekil 61. Bina yaşı ile radon gazı yoğunlaşmaları arasındaki ilişki

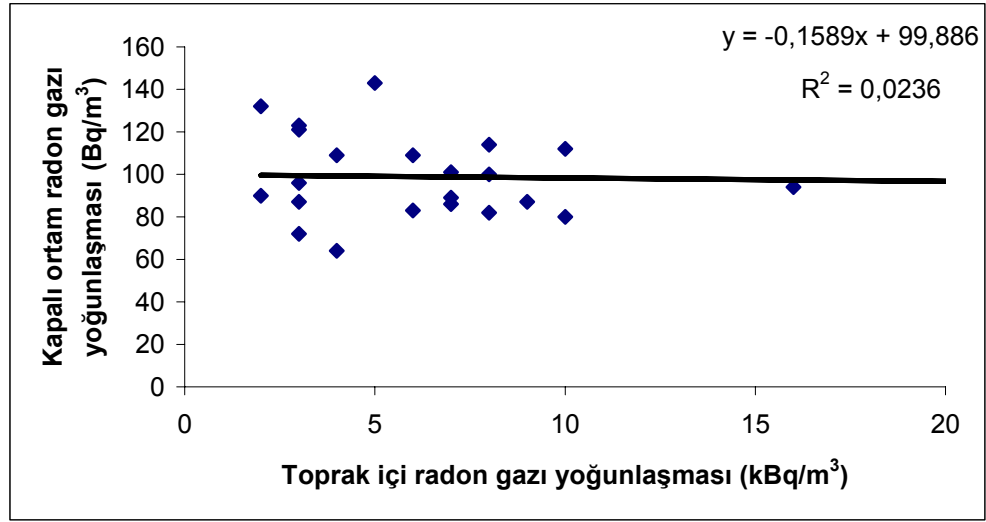
Evlerin yapı malzemesi incelendiğinde genelde beton ve tuğladan oluştuğu gözlenmektedir. Özellikle yaz dönemi evlerinde, pencerelerdeki ısı yalıtımının daha iyi olması yaz dönemi radon gazı yoğunlaşma değerlerini etkilemiştir.

Anketlerde havalandırma durumu ve havalandırma sistemi, yaz ve kış döneminde birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Seçilen binalara ait kışın ısıtma sistemleri yaz dönemi

kullanılmadıkları için karşılaştırma açısından tam bir bilgi vermemektedir. Evlerde yaşayanların yaklaşık yarısından çoğu bu evlerde 10 yıldan az süredir yaşamaktadırlar.

Yine anketlerden elde edilen bilgiler ışığında evlerde yaşayan insanların sigara alışkanlıklarına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Radonun sağlık etkilerinde anlatıldığı gibi radon gazının sigara ile birlikte akciğer kanseri oluşumunda daha etkili olması nedeniyle değerlendirilmesi gereken bir konudur.

Bu ölçümlerin tam olarak değerlendirilmesi için, kapalı ortam ölçümlerin sonuçları ile toprakta yapılan radon gazı ölçümleri karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 62).

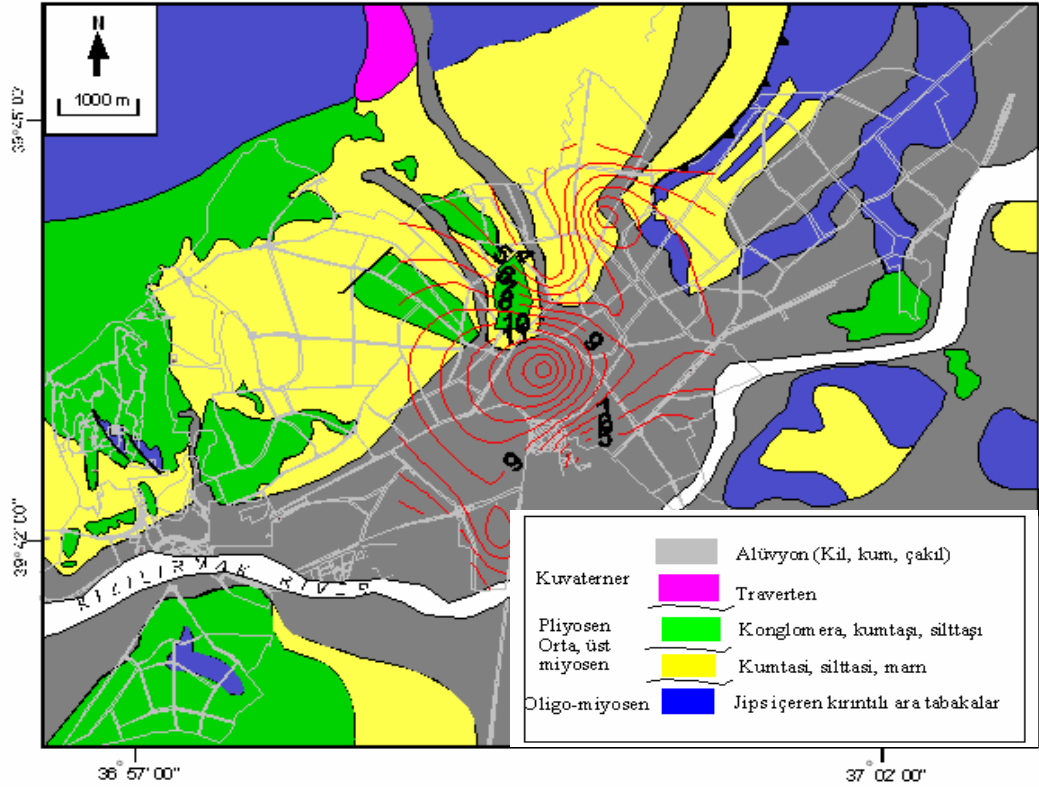


Şekil 62. Kapalı ortamda ölçülen radon gazı yoğunlaşmasına karşı toprak içi radon gazı yoğunlaşmaları

Radon gazının bir binaya giriş hızı, yaklaşık olarak yapı malzemeleri ve topraktan 60 kBq/gün, dış ortam havasından 10 kBq/gün, sudan 4 kBq/gün ve doğal gazdan 3 kBq/gündür. Yine buradan da görüldüğü gibi topraktaki radon gazı evlerde oluşan yoğunlaşmanın en büyük sebebidir.

Yapılan çalışmalarda toprak içi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 6 kBq/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna karşın yaz dönemi kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 98 Bq/m<sup>3</sup> iken kış dönemi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri 89 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin Çizelge 1'de verilen Türkiye ortalaması olan 52 Bq/m<sup>3</sup> değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu değerler beklentilerin tersini ortaya koymuştur. Yaz dönemi seçilen evlerin çoğunluğunda pencere yalıtımının daha iyi olması, yine yaz döneminde toprak geçirgenliğinin daha yüksek olması ve tabii ki kullanılan inşaat malzemesi etkilemiş olabilir. Ölçülen bu değerler TAEK tarafından izin verilen yıllık ortalama radon gazı yoğunlaşma değerinin altında kalmaktadır.

Toprak içi radon gazı yoğunlaşma değerleri jeolojik yapıya bağlı belirgin bir değişim göstermemesine karşın, en yüksek yoğunlaşma değeri alüvyon alanda ölçülmüştür (Şekil 63). Alüvyonun bazı kesimlerde killi birimlerden oluşması sonucunda toprak geçirgenliğini düşürmekte ve radon gazı yoğunlaşmasını arttırmaktadır. Araştırma alanında radon gazı yoğunlaşmasını etkileyecek fay sistemi bulunmamaktadır.

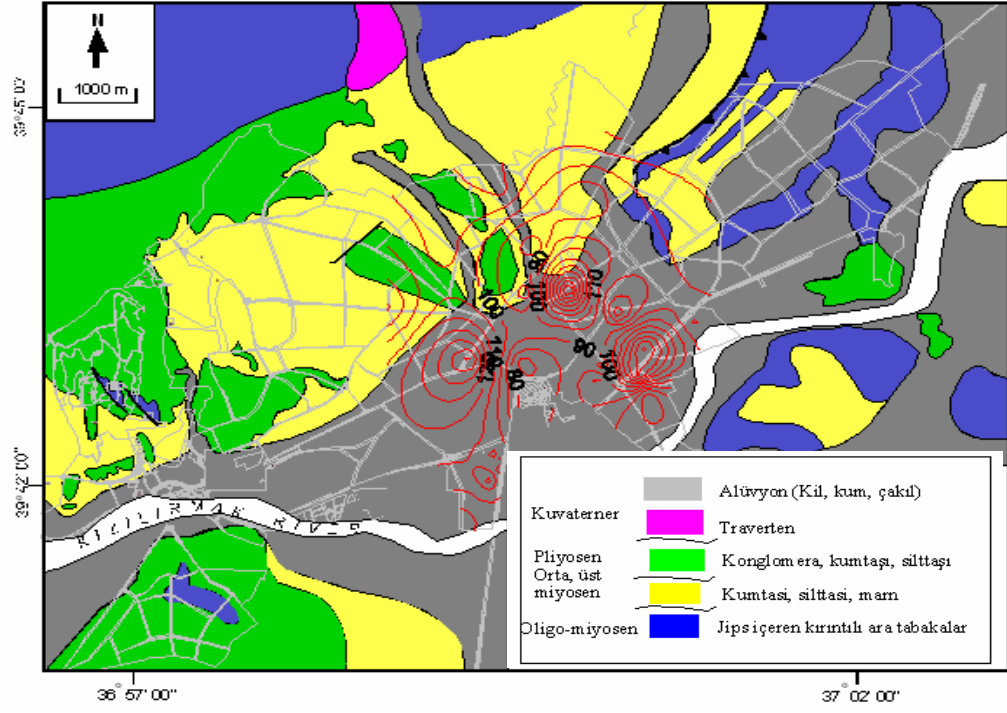


**Şekil 63.** Sivas ili jeolojik yapısı üzerinde alınan toprak içi radon gazı yoğunlaşması ( $\text{kBq/m}^3$ ) dağılımı

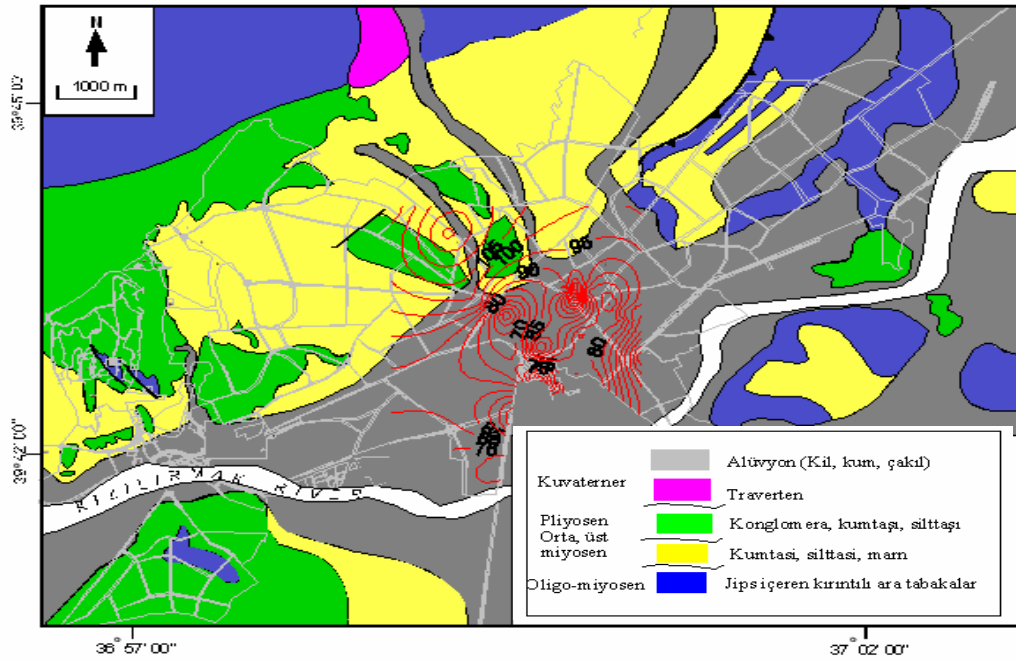
Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması dağılımlarının jeolojik yapıyla ilişkisi yaz dönemi (Şekil 64) ve kış dönemi (Şekil 65) olarak gösterilmiştir. Ölçümlerin çoğunluğunun alüvyon üzerinde olması nedeniyle dağılım haritalarında jeolojiye bağlı belirgin bir değişim görülmemektedir.

Bu çalışma; ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu önderliğinde yürütülen kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması çalışmalarına bir örnek olması amacıyla toprak içi radon gazı yoğunlaşması ölçümlerinin birlikte yürütülmesinin daha yararlı olabileceğini ve Türkiye için önemli bir eksiklik olan yapılaşma öncesi radon gazı ölçümlerinin hangi kriterler dikkate alınarak ölçülmesi gerektiğine ilişkin bir yönetmelik taslağı hazırlanmasını kapsamaktadır. Yönetmelik taslağı Ek-2 de verilmiştir.





Şekil 64. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ( $Bq/m^3$ ) dağılımının jeolojik yapıyla ilişkisi (yaz dönemi)



Şekil 65. Kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ( $Bq/m^3$ ) dağılımının jeolojik yapıyla ilişkisi (kış dönemi)

## 8. KAYNAKLAR

Analysis Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, 1993. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, USA.

Bard, D. and Tirmarche, D., 1996. Radon, WHO, Regional Office for Europe.

Bohicchio, F., Mclaughling, J.P., Plermattel., 1995. Radon in indoor air. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.

Botkin, D. and Keller, E. , 1988. E. Environmental Science, John Willey Sons.

Castrén, O., 1987. Dealing with radon in dwellings. The Finnish experience. In: Proceedings of the Second International Specialty Conference on Indoor Radon. Air Pollution Control Association, New Jersey ,pp. 45–56..

Çelebi, N. ve Uluğ, A., 2002. Alpha Track Technique for the Determination of Radon and Decay Products in Air, *Proceedings, 7th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS'7)*, Antalya, Turkey, 108-109.

ICARP, 1993. Protection Against Radon 222 at Home and Work, A Report of Task Group of The International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No. 65. Newyork. Pergamon.

EPA indoor Air Quality Implementation Plan, 1987. EPA/600/6-87/002A. Washington, D. C.

EPA, 1986. Radon Reduction Methods, a Home Owners Guide. US Environmental Protection Agency Report OPA-86-005. Environmental Protection Agency. Wasington DC.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997. Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi. Sağlık Bakanlığı, Ankara. 47 Sayfa.

Harley, N. H. and Harley, J. H., 1990. Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure. *Ca, A Cancer Journal for Clinician*. 40 (5), 265-275.

Hubbard, L., Swedjemark, G.A., 1991. Radon dynamics in Swedish dwellings: a status report. In: *Proceedings of the 1991 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology*,

Philadelphia, Vol. 3, paper V-4. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency.

International Commission On Radiological Protection, 1993. Protection against radon at home and at work. ICRP Publication 65. Annals of the ICRP, 23(4).

Keller, G., 1990. Radon in the human environment – a study in “high radon areas” in the Federal Republic of Germany. In: Indoor Air '90. Fifth International Conference on Indoor Air and Climate, Vol. 3., International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Inc., Ottawa, pp. 21–26.

Kendall, G.M. 1988. A model to evaluate doses from radon in drinking water. NRPB radiological protection bulletin, No. 97, pp. 7–8 .

Moussa, M. M., and El Arabi, A. G. M., 2003. Soil Radon Survey for Tracing Active Fault: A Case Study along Quena-Safaga Road, Eastern Desert, Egypt, Radiat. Meas., 37, 211-216.

Kerr, R. A., 1988. The Deadliest Pollutant, 240, 606-608.

Köksal, M., Çelebi, N., Özçınar, B., 1993. Indoor Radon Concentrations in Istanbul houses. Health Physics. 65, 87-88.

Nazaroff, W.W., 1988. Radon and its decay products in indoor air. Wiley, New York  
Rushing DR, Garcia WJ, Clark DA (1964).

NCRP, 1984. Evaluation of Occupational and Exposures to Radon and Radon Daughters in Md, National Council on Radiation Protection.

Pershagen, G., Akerblom, G., Axelson, O., Clavensio, B., Damber, L., Desai, G., Enflo, A., Lagarde, F., Mellander, H., Svartengren, M. and Swedjemark, G. A., 1994. Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. New England journal of medicine, 330: pp. 159–164.

Renken KJ; Rosenberg T., 1995 Jun. Laboratory Measurements of The Transport of Radon Gas Through Concrete Samples, Health Phys. 68 (6). pp 800-8.

Robinson AL; Sextro RG, 1995 Sep. The influence of a Subslab Gravel Layer and Open Area on Soil-Gas and Radon Entry into Two Experimental Basements., *Health Phys.* 69(3). pp. 367-77.

Salonen, L., 1994.  $^{238}\text{U}$  series radionuclides as a source of increased radioactivity in groundwater originating from Finnish bedrock. In: *Proceedings of Future Groundwater Resources at Risk*, Helsinki, 71–84. Wallingford, Great Britain Institute of Hydrology, 1994 (International Association of Hydrological Sciences Publication No. 222).

Sciocchetti, G., 1992. Indoor radon and thoron survey in high radioactivity areas of Italy. *Radiation protection dosimetry*, 45, 509–513.

Schoenberg, J. and Klotz, J. A Case Control Study of Radon and LungCancer Among New Jersey Women, New Jersey State Department of Health Technical Report.

Siefert, B., 1993. Environmental carcinogens: methods of analysis and exposure measurement. Vol. 12. Indoor air. Lyon, International Agency for Research on Cancer, (IARC Scientific Publications, No. 109).

Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR),2000. United Nations sales publication, No. E.00.IX.3, New York.

Steinhäusler, F., 1994. Thoron exposure of man: a negligible issue? *Radiation protection dosimetry*, 56, 127–131 .

Swedjemark, G.A. and Mjönes, L., 1983. Radon and radon daughter concentrations in Swedish homes. *Radiation protection dosimetry*, 7, 341–345.

Uluğ, A., Karabulut, M.T. and Celebi, N., 2004. Radon measurements with CR-39 track detectors at specific locations in TURKEY, *Nuclear Technology & Radiation Protection* .

Unsear, Sources and Effect of Ionizing Radiations, 1993. United Nations Scientific Committees on The Effect of Atomic Radiation, UNSCEAR, NewYork.

Vaupotic, J., Ancik M, Skofljanec M, Kobal, I., 1992. Alpha scintillation cell for direct

measurement of indoor radon. *J. Environ. Sci. Health*, A27, 1535-1540.

Vaupotic J., Andjelov M., Kobal, I., 2002. Relationship between radon concentrations in indoor air and in soil gas, *Environmental Geology*, 42, 583–587.

Yamasaki, T. and Iida, T., 1995. Measurements of Thoron Progeny Concentration Using a Potential Alpha-Energy Monitor in Japan. *Health Phys.*, 68(6), 840-4.

Yu KN; Chan TF; Young EC, 1995. The Variation of Radon Exhalation Rates from Building Surfaces of Different Ages, *Health Phys.* 68(5), 716-8.

Who Regional Office for Europe, 2001. Copenhagen, Denmark

Zmazek, B., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupoti, J., Kobal, I., 2003. Application of Decision Trees to the Analysis of Soil Radon Data for Earth - quake Prediction, *Applied Radiation and Isotopes*, 56, 697-706.

## 9. ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Edremit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Edremit'te bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 1990 yılında mezun oldu.

Aynı yıl burs aldığı MTA Genel Müdürlüğü Sivas Bölge Müdürlüğünde Jeofizik Mühendisi olarak göreve başladı. 1994 yılına kadar bu kurumda değişik görevlerde yer aldı. 1994 yılında Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığına geçti. Burada 1996 yılına kadar Türk- Alman İşbirliği READINESS projesinde yer aldı. 1996 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü İçmesuyu Dairesinde göreve başladı. 1998-1999 yılları arasında ITC Enstitüsü Hollanda bursunu kazandı ve burada Exploration Geophysics post graduation programına katıldı. Halen İller Bankası Genel Müdürlüğü Etüd Plan ve Yol Dairesi Başkanlığı Jeoteknik Etüd Şube Müdürlüğünde görev yapmaktadır.

**10. EKLER**

**EK-1:** Dedektörlerin yerleştirildiği adresler, yerleştirilme tarihleri ve koordinatlar ile radon yoğunlaşma değerleri

İst. No	Cihaz No	Adres	Yerleştirme Tarihi	Alınış Tarihi	Kord. (X)	Kord. (Y)	RADON (Bq/m <sup>3</sup> )
R1	D81866	Akdeğirmen Mh. Özel İdare Loj. C-Blok D:1	17.05.2006	25.07.2006	31850	30355	164
R2	D81843	Akdeğirmen Mh. 15. Sk. No:1	24.05.2006	26.07.2006	31450	30190	116
R3	D81865	Akdeğirmen Mh. 15. Sk.No:1	24.05.2006	26.07.2006	31450	30190	121
R4	D81888	Emek Mh. 5. Sk. No: 22	16.05.2006	17.07.2006	29695	27380	109
R5	D81887	Mehmet Akif Ersoy Mh. 71. Sk. No:10	17.05.2006	12.08.2006	30425	32310	96
R6	D81868	Yeni Doğan Mh. 47. Sk. No:17	16.05.2006	04.08.2006	31210	28655	86
R7	D81883	Karşıyaka Mh. Kayacan Cd. No:46	16.05.2006	04.08.2006	*****	*****	82
R8	D81919	Mısmılırmak Mh. 2. Sk. No:13	16.05.2006	04.08.2006	31220	31110	101
R9	D81858	Aydoğan Mh. 18. Sk. No:7	16.05.2006	12.08.2006	30850	29435	87
R10	D81880	Selçuklu Mh. 11. Sk. No: 27/2	29.06.2006	30.08.2006	28735	27190	124
R11	D81882	Ece Mh. 11. Sk. Üçler Apt. B-Blok No:5	12.05.2006	08.08.2006	30335	29460	73
R12	D81989	İnönü Mh. İnan Evler 2.giriş Kat:4 No: 8	03.06.2006	12.08.2006	31150	30885	0
R13	D81856	Yeni Mh. 10. Sk. No: 18	16.05.2006	12.08.2006	30570	28675	87
R14	D81943	Esentepe Mh. 24. Sk. No: 16	16.05.2006	08.08.2006	30900	28185	90
R15	D81860	Alibaba Mh. 52. Sk. No: 44	17.05.2006	20.07.2006	32715	31375	110
R16	D81830	Fatih Mh. 7. Sk. No: 10	17.05.2006	04.08.2006	31850	27680	99
R17	D81948	Kaleardı Mh. 17. Sk. No: 10	27.05.2006	04.08.2006	29565	30175	164
R18	D81833	Cumhuriyet Üni.Loij. M Blok Daire:10	01.08.2006	01.10.2006	-	-	79

R19	D81988	Çayyurt Mh. 6. Sk.	22.05.2006	04.08.2006	31300	30085	73
R20	D81958	C. Ü Konutları B Blok No:3	02.06.2006	30.08.2006	-	-	46
R21	D81898	Mehmet Akif Ersoy Mh. Namık Kemal Cd. Emre Apt A Blok No:3	17.05.2006	04.08.2006	30440	31715	72
R22	D81816	Demircilerardı Mh. Emirhan Sitesi B Blok/2	16.05.2006	08.08.2006	30185	31110	82
R23	D81875	Kümbet Mh. Başbağlar Cd. No:20	16.05.2006	04.08.2006	29100	28090	0
R24	D81976	Emek Mh. Zübeyde Hanım Cd. Yiğit Apt. Kat:2	16.05.2006	08.08.2006	29410	27950	80
R25	D81870	Mevlana Mh. Porsuk Cd. Kaptanlar Sitesi C Blok Kat:6	16.05.2006	04.08.2006	31885	29715	64
R26	D81825	Mevlana Cd. Grup Evler A Blok Kat:4 No:9	16.05.2006	08.08.2006	31235	29925	104
R27	D81962	Ali Baba Mh. Gökçe Bostan Cd. Gökpınar Apt. Kat:4 No:16	16.05.2006	04.08.2006	31350	30785	89
R28	D81989	Demircilerardı Mh. Kayırcık Sk. Yıldız Apt. Kat:2 No:6	25.05.2006	04.08.2006	30300	31080	72
R29	D81842	Diriliş mah. 10. sokak Faik Apt. No: 3 / 7	01.08.2006	01.10.2006	28650	26550	24
R30	D81853	Gokçe bostan Mh. 3.Sk. 9/2	19.05.2006	12.08.2006	31490	30590	100
R31	D81829	Paşabey Mh. 5. Sk. Eryıldız Apt. 2/6	25.06.2006	04.08.2006	30355	30515	94
R32	D81839	Şeyh Şamil Mh. 88. Sk. Doğukent Blokları C Blok Kat:1 No:1	20.05.2006	04.08.2006	31480	33270	123
R33	D81832	Küçük Minare Mh. 1. Sk. Burak Apt. No:6	25.05.2006	08.08.2006	30795	30620	99
R34	D81968	Fatih Mh. 79. Sk. No:20	24.05.2006	12.08.2006	31590	27495	86
R35	D81855	Emek Mh. Zafer Cd. K. Mahmut Keskin Apt. Kat:2	24.05.2006	12.08.2006	29145	27140	89
R36	D81974	Selçuklu Mh. Mehmetçik Sk.	24.05.2006	08.08.2006	28665	27330	132



		Kayaş Sitesi A Blok No:38					
R37	D81869	Diriliş Mh. Tasarım Evler. B Blok Daire:5	25.05.2006	04.08.2006	28505	26165	83
R38	D81886	Altıntabak Mh. 3. Sk. No:49 Daire:4	25.05.2006	04.08.2006	29990	28825	118
R39	D82005	Altıntabak Mh. 3. Sk. No:48 Daire:3	25.05.2006	08.08.2006	29960	28705	94
R40	D81844	Altıntabak Mh. 3. Sk. No:48 Daire:2	25.05.2006	12.08.2006	30230	28655	76
R41	D81893	Altıntabak Mh. 3. Sk. No:48 Daire:1	25.05.2006	12.08.2006	30305	28600	78
R42	D81995	Altıntabak Mh. 3. Sk. No:46 Daire:1	25.05.2006	12.08.2006	29900	28895	94
R43	D81877	Akdeğirmen Mh. Muttalip Efendi Cd. Önde Apt. No:23/1	29.05.2006	30.07.2006	31520	30285	117
R44	D81871	Çiçekli Mh. 4. Sk. No:9	29.05.2006	30.07.2006	30285	28995	87
R45	D81863	Yeşilyurt Mh. 8.Sk. No:39	28.05.2006	30.07.2006	30010	32450	122
R46	D81849	4 Eylül Mh. Kütüklü Sk. No:21/2	27.05.2006	25.07.2006	29690	28455	105
R47	D81848	Çayyurt Mh. Tek Mezar Cd. Yalçın Apt. No:2 Daire:1	25.05.2006	25.07.2006	31760	29945	153
R48	D81862	KYK Kampus Kız Öğr.Yurdu 7.Blok	24.05.2006	Dedektör kayıp	28590	30765	0
R49	D81972	Unv. Loj. C Blok Bodrum Kat No:4	25.05.2006	04.08.2006	28510	30870	78
R50	D81958	Uluanak Mah. Uluçarşı Pasajı No:2/A1	02.06.2006	01.10.2006	30235	30130	64
R51	D81889	Gülyurt Mh. 11. Sk. No:4/1	03.06.2006	03.08.2006	30860	31115	186
R52	D81990	Kardeşler Mh. 1. Sk. No:4 Kat:2	05.06.2006	12.08.2006	29225	31590	114
R53	D81920	Mehmet Akif Ersoy Mh. Yıldız Cd. Yıldız Apt. D1 Blok Kat:1 No:1	09.06.2006	12.08.2006	30690	31725	102
R54	D81980	Gökçe bostan Mh. Mehmet	05.06.2006	12.08.2006	31495	30795	61

		Akif Ersoy Cd. Sidemas Apt. C Blok No:6					
R55	D81845	Gökçe bostan Mh. 9/2 Yavuz Apt 2/4	29.05.2006	04.08.2006	31495	30795	105
R56	D81939	Mevlana Cd. Nasuhoğlu Apt. Kat:1	05.06.2006	04.08.2006	31345	29940	89
R57	D81961	Çayyurt Mh. 1.Gayret Apt. Kat:1	05.06.2006	08.08.2006	31095	30085	87
R58	D81881	Seyrantepe Mh. Seyran Sk. Ata Sitesi 2 No:12	05.06.2006	12.08.2006	32490	30680	89
R59	D81971	İstasyon Cd. Amcalar Apt. Kat:7 Daire:13	05.06.2006	12.08.2006	32250	29815	88
R60	D81913	Kadıburhanettin Mh. Halil Rifat Paşa Cd. Demet Apt.	26.05.2006	12.08.2006	29855	29030	108
R61	D81815	4 Eylül Mh. 5. Sk. Başak Apt. B Blok No:6/6	01.06.2006	08.08.2006	29490	27705	0
R62	D81917	4 Eylül Mh. 10.Sk. No:20	04.06.2006	04.08.2006	29815	28540	124
R63	D81872	4 Eylül Mh. 13.Sk. No:20	04.06.2006	04.08.2006	29765	28440	112
R64	D81837	Diriliş Mh. Rüzgarlı Sk. Eray Apt. Zemin Kat	13.06.2006	04.08.2006	28945	26410	143
R65	D82004	Huzur Mh. Fatih Evler Sitesi C Blok Kat:1	25.05.2006	04.08.2006	31075	32400	80
R66	D81978	Cumhuriyet Üni. Loj. O Blok No:14	05.07.2006	18.08.2006	-	-	99
R67	D81909	Kızılırmak Mh. Aziz Baba Sk. No: 21	26.10.2006	24.12.2006	29640	30650	98
R68	D81896	4 Eylül Mh. 12. Sk. No: 14	21.10.2006	24.12.2006	29650	28425	72
R69	D81884	Yüceyurt Mh..6. Sk. No: 18	21.10.2006	04.01.2007	31075	29440	68
R70	D81897	Örtülüpınar Mh. Selçuklu Sk. Taç saray Apt. No: 2	21.10.2006	24.12.2006	30420	29990	108
R71	D81890	Mehmet paşa Mh. 8. Sk. No: 8	17.10.2006	17.12.2006	30630	29665	69
R72	D81841	Kardeşler Mh. İpekyolu sitesi G blok No: 3	17.10.2006	18.12.2006	28515	32065	96
R73	D81851	Ece Mh. Arapevliyası Sk	14.10.2006	17.12.2006	30375	29455	84

		No:15 (Ece Mah. Muhtarlığı)					
R74	D81993	Yeni doğan Mh. Yavuz sultan selim Cd. No:66	16.10.2006	18.12.2006	31225	28920	88
R75	D81823	Ece Mh. Arap evliyası Sk. No:17	14.10.2006	16.12.2006	30375	29460	48
R76	D81821	Kardeşler Mh. 47. Sk. No:9	14.10.2006	16.12.2006	29230	31675	122
R77	D81824	Ece Mh..4. Sk. No:4	14.10.2006	16.12.2006	30430	29455	44
R78	D81892	Mehmet Paşa Mh. 16. Sk. No:5	14.10.2006	24.12.2006	30800	29575	78
R79	D81827	Mehmet Paşa Mh..19. Sk. No:6	14.10.2006	24.12.2006	30830	29510	92
R80	D81908	Sularbaşı Mh..6. Sk. Zeyra Hatun Apt. No: 14 / 1	14.10.2006	16.12.2006	30955	30185	74
R81	D81838	Örtülü Pınar Mh. 9. Sk. Enver Gönel Apt. No:1	14.10.2006	16.12.2006	30195	29985	72
R82	D81983	Yahyabey Mh. 6. Sk. No:8	14.10.2006	16.12.2006	29985	30485	50
R83	D81852	4 Eylül Mh.4.Sk. No:11	13.10.2006	18.12.2006	29990	28375	66
R84	D81850	Gökçe bostan Mh. Gönül Sk. Çağan Apt. kat:1/2	13.10.2006	16.12.2006	31345	30640	69
R85	D81859	Gökçe bostan Mh. Muttalip Efendi Cd. No:3	13.10.2006	18.12.2006	31685	30620	92
R86	D81819	Gökçe bostan Mh. Muttalip efendi Cd. Başak Apt. No:1/1	13.10.2006	16.12.2006	31685	30615	96
R87	D81934	Akdeğirmen Mh. Dispanser Sk. Hicret Apt. No:29/2	13.10.2006	15.12.2006	31485	30390	80
R88	D81932	Akdeğirmen Mah. 12. Sk. Acar Apt. No:5/1	13.10.2006	16.12.2006	31525	30495	92
R89	D81966	Altuntabak Mh. Çiçekli Cd. No:38/1	13.10.2006	18.12.2006	30210	28975	115
R90	D81937	Fatih Mh. 40/1 Sk. No:6	16.10.2006	17.12.2006	31670	27930	118
R91	D81847	Yunusemre Mh. İstanbul Cd. No:31	16.10.2006	16.12.2006	31380	28270	109
R92	D81861	Küçük minare Mh. Zincirli minare Sk. Çekemoğlu Apt.	15.10.2006	17.12.2007	30795	30875	81

		kat:1/2						
R93	D82006	Bahtiyar bostan Mh. Kazancılar Cd. Ufuk Apt. No:1	14.10.2006	17.12.2006	31050	30820	79	
R94	D81854	Zincirli minare Sk. Selman Apt. No:1	14.10.2006	14.12.2006	30870	30915	111	
R95	D81926	Paşa bostan Mh. Cumhuriyet Apt. A-blok No:1	17.10.2006	17.12.2006	30890	30725	128	
R96	D81878	Mevlana Mah. Mevlana Cd. Yunus Apt. B-Blok No:1	17.10.2006	16.12.2006	31745	29865	125	
R97	D81831	Seyrantepe Mh. Camii.Sk. Ateş Apt. No:28	13.10.2006	19.12.2006	-	-	98	
R98	D81894	Bahtiyar Bostan Mh. Çarşıbaşı Cd. Parlak Apt. No:25/1	13.10.2006	15.12.2006	-	-	138	

**EK-2**  
**YAPILAŞMA ÖNCESİ YAPI YERLERİNDE TOPRAK İÇİ RADON GAZI ÖLÇÜM**  
**YÖNETMELİĞİ TASLAĞI**

**Bölüm 1**  
**Genel Hükümler**

**Madde 1:** Bu yönetmelik bir yerleşim yerinin 1:50000 ölçekli olarak doğal radyoaktivite haritalarının hazırlanması ve yayınlanmasındaki zorunlu işlemleri düzenler. Türkiye genelinde her yerleşim yeri için profesyonel seviyede kaynakları belediye bütçesinden karşılanmak üzere haritaların hazırlanması bir zorunluluktur.

**Bölüm II**  
**Doğal Radyoaktivite haritaları**

**Madde 2: Haritaların tipleri**

Doğal radyoaktivite haritaları bir harita grubunu içerir. Temelde üç farklı harita grubu oluşturulmalıdır:

- Topraktaki radon gazı tehlikesi,
- Kayaçların doğal radyoaktivitesi,
- Suyun doğal radyoaktivitesi.

**Madde 3: Haritaların amaçları**

1. Radon gazı tehlikesi tahmin haritası, toprağın içindeki havada radonun ( $Rn^{222}$ ) varlığının bilinmesi için ve değerlendirilmiş alandaki radon gazı tehlikesini bir daha gözden geçirmek için hazırlanır.
2. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları, verilen alandaki ayrıntılı radyoaktivitenin ve onun doğal bileşiklerinin değerlendirilmesi için hazırlanır.
3. Suyun doğal radyoaktivite haritaları yeraltısu ve yüzey sularının doğal radyoaktivitesinin değerlendirilmesi ve belirlenmesi için hazırlanır.

Bu amaçlar doğrultusunda hazırlanan haritalar, aşağıda verilen konular üzerinde temel bilgilerin oluşturulmasına olanak tanır:

- a) Toprağın doğal radyoaktivite özellikleri,
- b) Çevrenin korunması,
- c) Peyzaj düzenlemesi,

- d) Çevrenin korunması çalışması içinde başlıca özel ve tematik haritaların hazırlanması,
- e) Zemin ve akifer problemlerinin çözülmesi

#### Madde 4: Haritalama aşamaları

Kayaçların, topraktaki havanın ve suların doğal radyoaktivitesi jeofiziksel bir faktördür, çevreyi etkiler ve detaylı araştırma ve bilgilendirme aşamalarında değerlendirilir.

1. Doğal radyoaktivitenin araştırma aşaması kayaçların, topraktaki havanın ve suların doğal radyoaktivitesi hakkında temel bilgi elde etmek için gerekli olan çevrenin oluşturulması ve korunmasını etkileyen jeofizik çalışmaları grubunu içerir.
2. Doğal radyoaktivitenin detaylı araştırılması aşaması kayaçların, topraktaki havanın ve suların doğal radyoaktivitesinin değerlendirilmesi insanın müdahalesini kapsayan çevreyi etkiler ve detaylı bilgilerin elde edilmesi için gerekli olan jeofizik çalışmalar grubunu içerir.

#### Madde 5: Haritaların hazırlanmasında temel prensipler

1: 50000 ölçekli ve diğer ölçekli doğal radyoaktivite temel haritaları, 1: 50000 ölçekli temel haritası esas alınarak hazırlanır. Haritalar hazırlanırken kullanılan birimler ve nicelikler Çizelge EK 2.1' de verilmiştir.

**Çizelge EK- 2.1.** Haritaların hazırlanmasında kullanılan birim ve semboller

Nicelik	Sembol	Birim
Aktivite	A	Bq
Aktivite hacmi $^{222}\text{Rn}$ , $^{226}\text{Ra}$	$a_v$	$\text{Bq. m}^{-3}$ ; $\text{kBq. m}^{-3}$ ; $\text{Bq.lt}^{-1}$
Aktivite kütlesi $^{226}\text{Rn}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$	$a_{\text{mRa}}$ , $a_{\text{mTh}}$ , $a_{\text{mK}}$	$\text{Bq. kg}^{-1}$
Aktivite kütlesi eşdeğeri $^{226}\text{Ra}$	$a_{\text{ekv}}$	$\text{Bq. kg}^{-1}$
Potasyum yoğunlaşması	K	% kütle
Uranyum yoğunlaşması	EU	Ppm ( $10^{-4}$ % kütle)
Toryum yoğunlaşması	Eth	Ppm ( $10^{-4}$ % kütle)
Gama radyasyonunun giriş miktarı	$D_a$	$\text{Gy. s}^{-1}$ , $\text{nGy. h}^{-1}$
Gama radyasyonunun giriş miktarı eşdeğeri	H	$\text{Sv. s}^{-1}$ , $\text{mSv. h}^{-1}$
Uranyum radionükleidleri karışımının yoğunlaşması ( $^{238}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ )	$U_{\text{nat}}$	$\text{mg. lt}^{-1}$

A. Radon gazı tehlikesi tahmin haritası

1. Harita referans yüzeyleri boyunca topraktaki radon gazı aktivite hacminin arazi ölçümlerinin sonuçlarından hazırlanmalıdır.
2. Harita ölçeğine göre referans yüzeyleri aşağıdaki gibidir:
 

Ölçek = 1: 50 000	10 km <sup>2</sup> de 1 referans yüzeyi
Ölçek = 1: 50 000 (sakin alanlar)	1 km <sup>2</sup> de 3 referans yüzeyi
Ölçek = 1: 25 000	1 km <sup>2</sup> de 8 referans yüzeyi
3. Referans yüzeyi, toprak içinde yapılan en az 15 ölçüden oluşur. Ölçüler çelik malzemeden yapılmış sondalar aracılığıyla yapılmalıdır. Sonda derinliği, 80 cm'dir. Toprak içindeki en fazla radon gazı aktivite hacmini belirlemek için seçilen alan, 0.1- 0.4 ha aralığında olmalıdır.
4. Radon gazı aktivite hacminin kontrol ölçüsü her referans yüzeyinde bir sondayla yapılmalıdır.
5. Radon gazı tehlikesi %90 doğruluk ile belirlenmelidir. Bu hassasiyet, her bir referans yüzeyi için %20 den az ve bütün harita için %50 den az olmalıdır.
6. Radon gazı aktivite hacmi ölçüleri sertifikalı ölçüm aletleri kullanılarak yapılır ve radon gazı tehlikesi haritalarının doğru standartlarda hazırlanması, kullanılan yöntemin temelini belirler.

B. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları

1. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları, doğal radyoaktivite bileşenleri arazi ölçümleri 'yerinde' veya örneklerin laboratuvar analizlerinin sonuçlarına göre hazırlanmalıdır. Sonuçlar bölümünde arazi ölçümleri veya örnekleme standart geometrisinden söz edilir.
2. Doğal radyoaktivite ölçüm noktalarının yoğunluğu aşağıda görüldüğü gibi harita ölçeğine bağlıdır:
 

Ölçek = 1: 25 000	0.5 km de 1 nokta
Ölçek = 1: 50 000	1 km de 1 nokta
Ölçek = 1: 100 000	5 km de 1 nokta
Ölçek = 1: 200 000	10 km de 1 nokta
3. Kayaçların doğal radyoaktivitesi için esas harita dosyası aşağıdaki haritaları kapsar:
  - a) Toplam radyoaktivite haritası (eUt),
  - b) Potasyum yoğunlaşma haritası (K),
  - c) Uranyum yoğunlaşma haritası (eU),
  - d) Toryum yoğunlaşma haritası (eTh)
4. İlave radyoaktivite haritaları özel değerlendirme amaçları için hazırlanır. Bunlar:
  - a) <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th kütle aktivite haritaları,
  - b) <sup>226</sup>Ra eşdeğer kütle aktivite haritası (a<sub>ekv</sub>),
  - c) Gama radyasyonunun giriş miktarı haritası (D<sub>a</sub>),
  - d) Gama radyasyonunun eşdeğer giriş miktarı haritası (H\*).
5. Arazi kontrol ölçümleri bütün ölçüm noktalarının %10 unda yapılır.

6. Arazi ölçümleri ve laboratuvar analizlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için örnekler noktaların %3 ünden alınır. Araziyi düzenli bir şekilde kapsayan en az 15 örnek alınmalıdır.
7. Doğal radyonükleidler %90 doğruluk ile belirlenmelidir. Bu hassasiyet, her bir referans yüzeyi için %20 den az ve bütün harita için %50 den az olmalıdır.
8. Doğal radyoaktivite bileşenleri ölçümü sertifikalı ölçüm aletleri kullanılarak yapılır ve doğal radyonükleid haritalarının doğru standartlarda hazırlanması, kullanılan yöntemin temelini belirler.

#### C. Suların doğal radyoaktivite haritaları

1. Yüzey ve yeraltı sularının radyoaktivite haritaları doğal radyonükleid içeriğine göre hazırlanır, yeraltı ve yüzey suyu örneklerinin laboratuvar analizleri tarafından karşılaştırılır.
2. Haritalar suların içinde genel olarak bulunan doğal radyonükleid içeriğine göre hazırlanır ve bunlar:

- a)  $U_{nat}$  haritası ( uranyum karışımı  $^{238}U$ ,  $^{235}U$ ,  $^{234}U$ ),
- b)  $^{226}Ra$  haritası (radyum 226)
- c)  $^{222}Rn$  haritası (radon 222)

3. Özel harita ölçekleri için örnekleme sıklığı:

M= 1: 200 000	10 km <sup>2</sup> de 1 örnek
M= 1: 50 000	5 km <sup>2</sup> de 1 örnek
M= 1: 25 000	3 km <sup>2</sup> de 1 örnek

4. Bütün ölçümlerin %3 ü kontrol analizi için ayrılır.
5. Sudaki doğal radyonükleidlerin karşılaştırılmasındaki şüphe, muhtemelen %90 doğruluk ile ölçümler için %20 den daha az ve bütün harita için %30 den az olmalıdır.
6. Sudaki doğal radyonükleidlerin ölçümü sertifikalı ölçüm aletleri kullanılarak yapılır ve suyun doğal radyoaktivite haritaları hazırlanan haritalarda doğruluk standartlarını yerine getirmek için yetki verilen yöntemin temelini hazırlar.

#### Madde 6: Haritaların hazırlanma yöntemi

##### A. Radon gazı tehlikesi tahmin haritası

1. Hazırlanış esası:

- a) Radon gazı aktivitesi hacmi arazi ölçümlerinde, referans yüzeyi yöntemi kullanılır.
- b) Kayaçların gaz geçirgenliğinin karşılaştırılması,
- c) Çalışmaların değerlendirilmesi,
- d) Arazinin yer yapısının değerlendirilmesi ve prensip olarak benzer yapıli arazilerin kıyaslanabilme özelliklerine bakılarak değerlendirilir.

2. Referans yüzeyi için topraktaki havada radon gazı aktivite hacmi, referans yüzeyinin 15 sondadan alınan topraktaki hava örneklerinin  $^{222}Rn$  aktivite hacim ölçümlerinin istatistik



değerlendirilmesinin bir sonucudur (istatistik verinin üçüncü kertil).

3. Referans yüzeyinin radon gazı tehlike kategorisi çizelge EK-2.2 ye göre; referans yüzeyi radon gazı aktivite hacim değeri karakteristiğinden ve referans yüzeyi toprağının gaz geçirgenliğinden kararlaştırılır.

**Çizelge EK-2.2. Radon gazı tehlike kategorisi**

Radon gazı tehlike	<sup>222</sup> Rn aktivite hacmi (Bq.m <sup>-3</sup> )		
	Toprağın gaz geçirgenliği		
	düşük (f > 65 %)	Orta (f = 15 – 65 %)	yüksek (f < 15 %)
Düşük	< 30.000	< 20.000	< 10.000
Orta	30.000 – 100.000	20.000 – 70.000	10.000 – 30.000
Yüksek	> 100.000	> 70.000	> 30.000

Burada f - iyi toprak tanelerin yüzde içeriği ( 0,06 mm den daha küçük)

#### B. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları

1. Haritalar gama spektrometre ölçümlerinin değerlendirilmesi esas alınarak, yapısal jeoloji, mühendislik jeolojisi, hidrojeoloji ve önceden alınan arşiv radyometrik veriler sonucunda hazırlanmıştır.

#### C. Suların doğal radyoaktivite haritaları

1. Suların doğal radyoaktivite haritaları su örneklerinin laboratuvar analizlerinin değerlendirmeleri esas alınarak hazırlanmıştır.

2. <sup>222</sup>Rn , <sup>226</sup>Ra ve U<sub>nat</sub> 'nın belirlenmesi için ayrı örnekler alınır.

3. Doğal radyonükleid yoğunlaşmalarının laboratuvarında belirlenmesi ve örneklerdeki aktivite hacmi takip eden su sınıflandırmaları için temeldir.

#### a) Uranyum

Uranyum<sub>nat</sub> yoğunlaşması esas alınarak (U<sub>nat</sub>)

- I. düşük yoğunlaşma: U<sub>nat</sub> yoğunlaşma < 0,005 mg.l<sup>-1</sup>
- II. kısmen artmış yoğunlaşma: U<sub>nat</sub> yoğunlaşma (0,005 -0,02) mg.l<sup>-1</sup>
- III. artmış yoğunlaşma: U<sub>nat</sub> yoğunlaşma (0,02- 0,1) mg.l<sup>-1</sup>
- IV. yüksek yoğunlaşma: U<sub>nat</sub> yoğunlaşma >0,1 mg.l<sup>-1</sup>

#### b) Radyum

Radyum aktivite hacmi esas alınarak (<sup>226</sup>Ra)

- I. düşük aktivite hacmi: a<sub>v</sub> <sup>226</sup>Ra < 0,1 Bq.l<sup>-1</sup>

- II. kısmen artmış aktivite hacmi:  $a_v^{226}\text{Ra}$  (0,1- 0,5) Bq.l<sup>-1</sup>  
 III. artmış aktivite hacmi:  $a_v^{226}\text{Ra}$  (0,5- 1) Bq.l<sup>-1</sup>  
 IV. yüksek aktivite hacmi:  $a_v^{226}\text{Ra} > 1,0$  Bq.l<sup>-1</sup>

**c) Radon gazı**

Radon gazı aktivite hacmi esas alınarak (<sup>222</sup>Rn)

- I. düşük aktivite hacmi:  $a_v^{222}\text{Rn} < 20$  Bq.l<sup>-1</sup>  
 II. kısmen artmış aktivite hacmi:  $a_v^{222}\text{Rn}$  (20-50) Bq.l<sup>-1</sup>  
 III. artmış aktivite hacmi:  $a_v^{222}\text{Rn}$  (50-200) Bq.l<sup>-1</sup>  
 IV. yüksek aktivite hacmi:  $a_v^{222}\text{Rn} > 200$  Bq.l<sup>-1</sup>

**Madde 7: Haritanın içeriği**

**A. Radon gazı tehlike tahmin haritası**

1. Radon gazı tehlike tahmin haritası, 1: 50 000 ölçekli basitleştirilmiş sayısal temel Türkiye Cumhuriyeti haritası olarak hazırlanmalıdır. Bu referans yüzeyini, pozisyonlarını, referans yüzeyinin tanımını ve renkli olarak sunulan radon gazı tehlike kategorilerini kapsamaktadır.
2. 1: 25 000 ölçekli haritalarda ve eş alanları içeren daha geniş harita, radon gazı tehlike kategorisi renkli olarak sunulur.

**B. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları**

1. Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları 1: 50 000 ölçekli basitleştirilmiş haritası esas alınarak verilen kimyasal elementin eş alanlarını içerir.
2. Toplam doğal radyoaktivite (eU<sub>i</sub>) haritası toplam radyoaktivite eş alanlarını içerir.

Toplam doğal radyoaktivite aşağıdaki bağlantıya göre K, U, ve Th içeriklerinden hesaplanır:

$$eU_i (\text{ur}) = a \cdot K (\%) + b \cdot eU (\text{ppm}) + c \cdot eTh (\text{ppm})$$

burada a, b, c düzeltme sabitleridir (a = 2,79; b = 1,0; c = 0,48).

3. Potasyum yoğunlaşma haritası (%K) potasyum yoğunlaşma eş alanlarını kapsar.

<sup>40</sup>K'nın aktivite kütlelerinin hesaplanması ( $a_{mK}$ ) aşağıdadır:

$$1 \% K = 313,0 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{40}\text{K}$$

4. Eşdeğer uranyum yoğunlaşma haritası (ppm eU) eşdeğer uranyum yoğunlaşma eş alanlarını kapsar,

$$1 \text{ ppm} = 10^{-4} \text{ kütle } \%$$

$$^{226}\text{Ra}, (a_{mRa}) \text{ hesabı:}$$

$$1 \text{ ppm U} = 12,35 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{226}\text{Ra}$$

5. Eşdeğer toryum yoğunlaşma haritası (ppm eTh) eşdeğer toryum yoğunlaşma eş alanlarını kapsar,

1 ppm =  $10^{-4}$  kütle %.

$^{232}\text{Th}$ , ( $a_{\text{mTh}}$ ) hesabı:

$$1 \text{ ppm Th} = 4,06 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{232}\text{Th}$$

6. Eşdeğer  $^{226}\text{Ra}$  aktivite kütle haritası ( $^{226}\text{Ra}$   $a_{\text{ekv}}$ ) toplam aktivite kütlesi eş alanları kapsar. Toplam aktivite kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$a_{\text{ekv}} = a_{\text{mRa}} + 1,25a_{\text{mTh}} + 0,086a_{\text{mK}}$$

burada  $a_{\text{mRa}}$ ,  $a_{\text{mTh}}$ ,  $a_{\text{mK}}$  are  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite kütleleri.

7. Gama radyasyon ( $\text{Da}^*$ ) giriş miktarı haritası her saatteki nanogrey ( $\text{nGy.h}^{-1}$ ) den oluşan giriş miktarı eşalanları kapsar.

Havadaki gama radyasyon giriş miktarı ( $\text{nGy.h}^{-1}$ ) potasyum (K), uranyum (U) ve toryum (Th) içeriğinden hesaplanır:

$$\text{Da}^* (\text{nGy.h}^{-1}) = 13,139 \text{ K} (\%) + 5,701 \text{ eU} (\text{ppm}) + 2,506 \text{ eTh} (\text{ppm})$$

Hesaplama yerden 1 m yukarıda giriş miktarı olarak tanımlanır.

8. Eşdeğer gama radyasyon  $\text{H}^*$  giriş miktarı haritası her saatteki mikrosiemens ( $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ) eşdeğer giriş miktarı değerlerinin izo alanlarını kapsar.

$$\text{H}^* = \text{D}_a^* \cdot \text{Q} \cdot \text{N}$$

burada: Q - radyasyon kalite faktörü ( gama radyasyon için Q=1)

N - diğer değişiklik faktörlerinin birleşimi

### C. Suların doğal radyoaktivite haritaları

1. Suların doğal radyoaktivite haritaları 1:50 000 ölçekli Türkiye Cumhuriyeti temel haritası esas alınarak hazırlanır. Harita hidrojeolojik bölgelerin sınırlarını kapsar.
2. Haritalar örnek yerlerini içerir, renkli olarak sunulan radyoaktivite dereceleri ile, dairesel diagramda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , ve  $\text{U}_{\text{nat}}$  nın laboratuvar analiz sonuçları ve tanımları gösterilmiştir.

### Madde 8: Sonuç raporunun içeriği

Sonuç raporunun metin bölümü Jeofizik çalışmanın planlanması, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine Türkiye Cumhuriyeti ..... Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak özenle hazırlanır.

Rapor izleyen verileri kapsar:

1. Arazi hakkında yer yapısal çalışma ve veri toplama
2. Jeofizik çalışma yöntemi
3. Doğal radyoaktivitenin dönemler içindeki kayaçların, suların değerlendirmesi ve arazinin yer yapısıyla ilişkisi
4. Sonuçlar, ölçüm yöntemi ve doğruluğu
5. Çalışmanın ekonomik değerlendirmesi

6. Sonuç ve öneriler
7. Dokümantasyonun arşivlenmesi hakkında veri
8. Kullanılan literatür listesi ve arşiv dokümanları

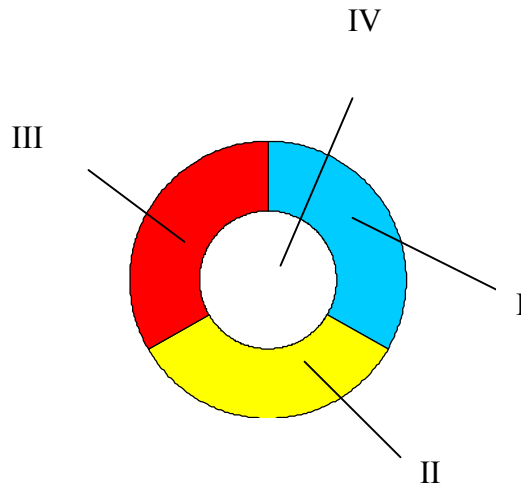
**Madde 9: Planlanan harita verisinin türü**

- a) Radon gazı tehlike tahmin haritası
- b) Referans yüzeyinin belirlenmesi

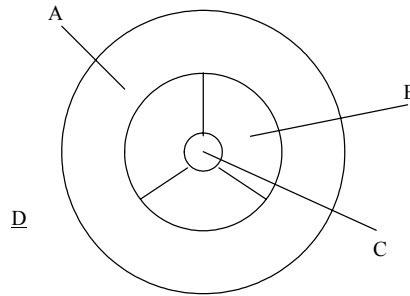
Referans yüzeyinin radon gazı aktivite hacmi ve gaz geçirgenliğinin ölçüm sonuçları dairesel diyagramda sunulur, radon gazı tehlike kategorileri yüzdelere göre bölümlere ayrılır.

Grafik sunumunun tipleri

- a)



- b)


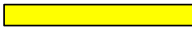



- A- Sonuçta oluşan radon gazı tehlikesi  
 B- Her bir radon gazı tehlike kategorilerinin miktarı

- C- Toprağın gaz geçirgenliği  
D- <sup>222</sup>Rn aktivite hacmi




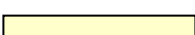






- I- Düşük radon gazı tehlikesi (taranmamış veya mavi renkli)  
II- Orta radon gazı tehlikesi (taralı veya sarı renkli)  
III- Yüksek radon gazı tehlikesi (dolgulu veya kırmızı renkli)  
IV- Sonuçta oluşan radon gazı tehlikesi (uygun renk veya taranmamış)

## 2. Eş alanlar ile gösterim

- T-10  düşük radon gazı tehlikesi (taranmamış veya mavi renkli)  
T-2  orta radon gazı tehlikesi (taranmış veya sarı renkli)  
T-3  yüksek radon gazı tehlikesi (dolgulu veya kırmızı renkli)

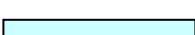


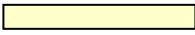

c) *Kayaçların doğal radyoaktivite haritaları; doğal radyoaktif kimyasal elementler konsantrasyon haritaları*






### Potasyum yoğunlaşması K (%)

- T-13  < 0,5  
T-11  0,5-1,0  
T-10  1,1-1,5  
T-15  1,6-2,0  
T-2  2,1-2,5  
T-4  2,6-3,0  
T-5  3,1-3,5  
  
T-7  3,6-4,0  
T-8  4,1-5,0  
T-9  >5,0

$$1 \% K = 313,00 \text{ Bq.kg}^{-1} {}^{40}\text{K}$$



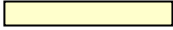




### Toryum yoğunlaşması eTh (ppm)

- T-13  < 4,0  
T-11  4,0-6,0  
T-10  6,1-8,0  
T-15  8,1-10,0  
T-2  10,1-12,0

T-4		12,1-14,0
T-5		14,1-16,0
T-7		16,1-18,0
T-8		18,1-20,0
T-9		>20,0

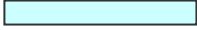


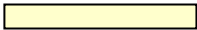





$$1 \text{ ppm eTh} = 4,06 \text{ Bq.kg}^{-1} {}^{232}\text{Th}$$

Uranyum yoğunlaşması eU (ppm)





T-11		<1,0
T-10		1,0-2,0
T-15		2,1-3,0
T-2		3,1-4,0
T-4		4,1-5,0
T-5		5,1-7,0
T-7		>7,0

$$1 \text{ ppm eU} = 12,35 \text{ Bq.kg}^{-1} {}^{226}\text{Ra}$$

Toplam doğal radyoaktivite eU<sub>t</sub> (ur)

T-13		<6,0
T-11		6,0-8,0
T-10		8,1-10,0
T-15		10,1-12,0
T-2		12,1-14,0
T-4		14,1-16,0
T-5		16,1-20,0
T-7		20,1-25,0
T-8		>25,0

Gama radyasyon giriş miktarı D<sub>a</sub>\* (nGy.h<sup>-1</sup>)

T-10		<40	Kayaçların düşük doğal radyoaktivitesi
T-2		40-80	Kayaçların orta doğal radyoaktivitesi
T-4		81-220	Kayaçların artmış doğal radyoaktivitesi
T-5		>220	Kayaçların yüksek doğal radyoaktivitesi

$^{226}\text{Ra}$  nın eşdeğer aktivite kütlesi  
 $a_{\text{ekv}}$  ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

T-10	<120
T-15	121-250
T-2	250-370
T-5	371-600
T-7	>600

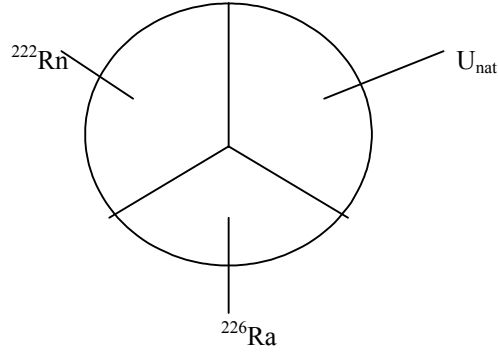
$^{226}\text{Ra}$  nın aktivite kütlesi  
 $a_{\text{mRa}}$  ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

T-10	<30
T-15	31-60
T-2	61-120
T-5	121-240
T-7	>240

D. *Suların doğal radyoaktivite haritaları*

1. Dairesel diyagram ile sunulan sonuçlar

Dairesel diagram



Örnek yeri notu

Örnek notu

U bölümü ( $0^0$  dan  $120^0$  e)-  $U_{\text{nat}}$  içeriği ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Ra bölümü ( $120^0$  den  $240^0$  e)-  $^{226}\text{Ra}$  aktivite hacmi ( $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Rn bölümü ( $240^0$  den  $360^0$  e)-  $^{222}\text{Rn}$  aktivite hacmi ( $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ )

2. Örnek yeri notu

- Kaynak
- Mineral kaynak
- Düzenli kaynak
- Kuyu
- Bir su kaynağı
- Çok su kaynağı
- Artezyen kuyu
- Termal ve mineral su artezyeni
- Dere
- Su deposu
- Maden atık sıvısı

- L. Çukur  
X -diğer

3. Aktivitelerin hacimleri ve yoğunlaşmalarının renk farkları

- I. Düşük - mavi T-10  
II. Kısmen artmış - sarı T-2  
III. Artmış -turuncu T-4  
IV. Yüksek -kırmızı T-5

**Madde 10: Harita ekleri**

B. *Radon gazı tehlike tahmin haritası*

Harita içindekiler:

- a) Jeofizik çalışmaların projelendirilmesi, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine Türkiye Cumhuriyeti ..... Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak hazırlanan rapor  
b) Veri tabanı  
c) Harita açıklayıcı notlar

Topraktaki havanın aktivite hacminin ölçüm amacı için veri dosyalama yapısı çizelge EK-2.3 de gösterilmektedir.

**Çizelge EK-2.3.** <sup>222</sup>Rn veri dosyalama yapısı

No	Adı	Tip	Genişlik	Ondalık	Açıklama notu
1	OBJECT	C	12		Ölçü konusunun işaretlenmesi
2	LOCALITY	C	30		Konu yeri
3	MAP	C	8		Harita liste başlığı (harita numarası)
4	JTSK_Y	N	6	0	S-JTSK Y-koordinatı
5	JTSK_X	N	7	0	S-JTSK X-koordinatı
6	MET	C	3		a <sub>v</sub> ölçüm metodu
7	SURFACE	N	6	2	Konu yüzeyi (ha), profil uzunluğu (m)
8	DATE	D	8		Ölçüm tarihi
9	N	N	5	0	a <sub>v</sub> ölçüm noktalarının numarası
10	MIN	N	5	0	Minimum a <sub>v</sub> değeri
11	MAX	N	5	0	Maksimum a <sub>v</sub> değeri
12	AVG	N	5	0	Ortalama a <sub>v</sub> değeri
13	STD	N	5	0	a <sub>v</sub> Standard sapma
14	REG	C	30		Bölgesel yer yapısı sınıflaması
15	STRAT	C	6		Kayaçların stratigrafik sınıflaması



16	LİTOLOJİ	C	20		Kayaçların tanımı
17	G	N	3	0	Topraktaki çakıl bölümün miktarı (%)
18	S	N	3	0	Topraktaki kum bölümün miktarı (%)
19	F	N	3	0	Topraktaki kil bölümün miktarı (%)
20	GP_SOIL	C	7		Toprak gaz geçirgenliği
21	N-I	N	5	0	Düşük Rn tehlikeli ölçüm noktalarının sayısı
22	N-II	N	5	0	Orta Rn tehlikeli ölçüm noktalarının sayısı
23	N-III	N	5	0	Yüksek Rn tehlikeli ölçüm noktalarının sayısı
24	HAZ	C	3		Sonuçta oluşan radon tehlikesi
25	INFO	C	4		Diğer bilgi

Burada: **No** - Veritabanı parçasının (alanının) seri numarası

**Adı** - Alanın adı

**Tip** - Alanın tipi (C- karakter, N- sayısı, D- tarih)

**Genişlik** - Veri alanı genişliği

**Ondalık** - Ondalık sayısı (N için- alanın tipi)

**Object** - Rn gazı aktivite hacmi ölçüm konusu

**Locality** - Kasaba, köy adı

**Map** - Harita listesinin işareti ( sayısı)

**JTSK sistemi (Y,X)** - S-JTSK sistemi içindeki coğrafik koordinatlar

**Met** - Topraktaki ölçüm yöntemindeki Rn gazı aktivite hacmi: 02  
-LUK

**P** - Yüzey (ha), profil uzunluğu (m)

**a<sub>v</sub>** - Topraktaki Rn gazı aktivite hacmi (kBq.m<sup>-3</sup>)

**N** - a<sub>v</sub> ölçüm noktaları sayısı

**a<sub>v</sub> min** - Minimum a<sub>v</sub> değeri

**a<sub>v</sub> max** - Maksimum a<sub>v</sub> değeri

**avg a<sub>v</sub>** - ortalama a<sub>v</sub> değeri

**std a<sub>v</sub>** - a<sub>v</sub> standard sapma

**Reg.** - Bölgesel yeryapısı sınıflaması

**Stratigrafik sınıflama** - Kayaçların stratigrafik sınıflaması

	DEVİR	DÖNEM		DEVİR	DÖNEM
PT	TERSİYER SONRASI	tam	P	PERMİYEN	tam
PTh		Holosen	P1		üst
PTp		Pleistosen	P2		alt

N	NEOJEN	tam	C	KARBONİFER	tam
Np		Pliyosen	C1		üst
Nm		Miyosen	C2		alt
PG	PALEOJEN	tam	D	DEVONİYEN	tam
PGo		Oligosen	D1		üst
PGe		Eosen	D2		orta
PGp		Paleosen	D3		alt
Cr	KRETASE	tam	S	SİLÜRİYEN	tam
Cr1		üst	S1		üst
Cr2		orta	S2		orta
Cr3		alt	S3		alt
J	Jurasik	tam	O	ORDOVİSİYEN	tam
J1		üst	O1		üst
J2		orta	O2		orta
J3		alt	O3		alt
T	TRİYAS	tam	CB	KAMBRIYEN	
T1		üst	A	AGNOTOZOİK ÇAĞ	
T2		orta	PMm	PREMEZOİK MAĞMATİK KAYALAR	
T3		alt			

**Tane boyu:** g- Topraktaki çakıllı kesimin miktarı (%)

s- Topraktaki kumlu kesimin miktarı (%)

f- Topraktaki killi kesimin miktarı (%)

**Toprak gaz geçirgenliği:** toprağın gaz geçirgenliği: (düşük, orta, yüksek) STN (Teknik Standartları) 73 1001'e göre

**Tehlike kategorisinde N:** radon gazı tehlike kategorisinde  $a_v$  ölçüm noktalarının sayısı: I-düşük, II-orta, III-yüksek

**HAZ:** Sonuçta oluşan radon gazı tehlikesi

**INFO:** proje sayısı, proje organizasyonu, yılı, proje yöneticisi, yönetici yardımcısı

#### B.Kayaçların doğal radyoaktivite haritası

Haritaların içeriği:

d) Sonuç raporunun projelendirilmesi, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine Çevre Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak özenle hazırlanır.

e) Veri tabanı

## f) Harita açıklama notları

Kayaçların doğal radyoaktivitenin ölçüm konuları için veri dosya yapısı Çizelge EK-2.4 de gösterilmektedir.

**Çizelge EK-2.4.** Kayaçların doğal radyoaktivite veri dosya yapısı

No	Adı	Tip	Genişlik	Ondalık	Açıklama notu
1	OBJECT	C	12		Ölçü konusunun işaretlenmesi
2	LOCALITY	C	30		Konu yeri
3	MAP	C	8		Harita liste başlığı (harita numarası)
4	JTSK_Y	N	6	0	S-JTSK Y-koordinatı
5	JTSK_X	N	7	0	S-JTSK X-koordinatı
6	DATE	D	8		Ölçüm tarihi
7	N	N	4	0	Ölçüm noktalarının sayısı
8	EUNT	N	5	1	Toplam radyoaktivite ölçüm değeri (ur)
9	EUT	N	5	1	Toplam radyoaktivite hesaplanmış değeri (ur)
10	RATIO	N	4	2	eUNt/eUt oranı
11	K	N	4	1	Hesaplanmış K yoğunlaşması (%)
12	EU	N	5	1	Hesaplanmış eU yoğunlaşması (ppm)
13	ETH	N	5	1	Hesaplanmış eTh yoğunlaşması (ppm)
14	AM_Ra	N	4	0	<sup>226</sup> Ra aktivite kütlesi (Bq.kg <sup>-1</sup> )
15	AM_Th	N	4	0	<sup>232</sup> Th aktivite kütlesi (Bq.kg <sup>-1</sup> )
16	AM_K	N	4	0	<sup>40</sup> K aktivite kütlesi (Bq.kg <sup>-1</sup> )
17	A_EKV	N	4	0	Eşdeğer aktivite kütlesi (Bq.kg <sup>-1</sup> )
18	DA	N	5	1	Gama radyasyonu giriş miktarı D <sub>a</sub> * (nGy.h <sup>-1</sup> )
19	H	N	4	1	Eşdeğer Gama radyasyonu giriş miktarı H* (mSv.h <sup>-1</sup> )
20	REG	C	30		Bölgesel yer yapısı sınıflaması
21	STRAT	C	6		Kayaçların stratigrafik sınıflaması
22	LITOLGY	C	20		Kayaçların tanımlanması
23	INFO	C	4		Diğer bilgi

Burada: **No** - Veritabanı parçasının (alanının) seri numarası

**Adı** - Alanın adı

**Tip** - Alanın tipi (C- karakter, N- sayısı, D- tarih

**Genişlik** - Veri alanı genişliği

- Ondalık** - Ondalık sayısı (N için- alanın tipi)  
**Object** - Rn gazı aktivite hacmi ölçüm konusu  
**Locality** - kasaba, köy adı  
**Map** - harita listesinin işareti ( sayısı)  
**JTSK sistemi (Y,X)** - S-JTSK sistemi içindeki coğrafik koordinatlar  
**Reg.** - bölgesel yer yapısı sınıflaması

**Stratigrafik sınıflama** - Kayaçların stratigrafik sınıflaması

DEVİR	DÖNEM		DEVİR		DÖNEM
PT	TERSİYER SONRASI	tam	P	PERMİYEN	tam
PT <sub>h</sub>		Holosen	P1		üst
PT <sub>p</sub>		Pleistosen	P2		alt
N	NEOJEN	tam	C	KARBONİFER	tam
N <sub>p</sub>		Pliyosen	C1		üst
N <sub>m</sub>		Miyosen	C2		alt
PG	PALEOJEN	tam	D	DEVONİYEN	tam
PG <sub>o</sub>		Oligosen	D1		üst
PG <sub>e</sub>		Eosen	D2		orta
PG <sub>p</sub>		Paleosen	D3		alt
Cr	KRETASE	tam	S	SİLÜRİYEN	tam
Cr <sub>1</sub>		üst	S1		üst
Cr <sub>2</sub>		orta	S2		orta
Cr <sub>3</sub>		alt	S3		alt
J	Jurasik	tam	O	ORDOVİSİYEN	tam
J <sub>1</sub>		üst	O1		üst
J <sub>2</sub>		orta	O2		orta
J <sub>3</sub>		alt	O3		alt
T	TRİYAS	tam	CB	KAMBRIYEN	
T <sub>1</sub>		üst	A	AGNOTOZOİK ÇAĞ	
T <sub>2</sub>		orta	PM <sub>m</sub>	PREMEZOİK MAĞMATİK KAYALAR	
T <sub>3</sub>		alt			

**INFO:** proje sayısı, proje organizasyonu, yılı, proje yöneticisi, yönetici yardımcısı

*C. Suların doğal radyoaktivite haritaları*

Haritaların içeriği:

- Sonuç raporunun projelendirilmesi, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine ..... Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak özenle hazırlanır.
- Metin eklerinde ve sayısal bilgi deposunda sayısal formda veri tabanı

c) Harita açıklayıcı notlar

Suların doğal radyoaktivite ölçüm konuları için veri dosya yapısı Çizelge EK-2.5 de gösterilmektedir.

**Çizelge EK-2.5.** Suların doğal radyoaktivite veri tabanı

No	Adı	Tip	Genişlik	Ondalık	Açıklama notu
1	OBJECT	C	12		Ölçü konusunun işaretlenmesi
2	LOCALITY	C	30		Konu yeri
3	MAP	C	8		Harita liste başlığı (harita numarası)
4	JTSK_Y	N	6	0	S-JTSK Y-koordinatı
5	JTSK_X	N	7	0	S-JTSK X-koordinatı
6	HG_ZONE	C	8		Hidrojeolojik bölge
7	DATE	D	8		Ölçüm tarihi
8	SITE	C	25		Su örneği mevki
9	T_AIR	N	5	1	Hava sıcaklığı (°C)
10	T_WATER	N	5	1	Su sıcaklığı (°C)
11	YIELD	N	5	2	Kazanç (l.s <sup>-1</sup> )
12	U_238	N	5	3	<sup>238</sup> U Yoğunlaşması (mg.l <sup>-1</sup> )
13	RA_226	N	5	3	<sup>226</sup> Ra gazı aktivite hacmi (Bq.l <sup>-1</sup> )
14	RN	N	4	0	<sup>222</sup> Rn gazı aktivite hacmi (Bq.l <sup>-1</sup> )
15	INFO	C	4		Diğer bilgi

Burada: **No** -veritabanı parçasının (alanının) seri numarası

**Adı** - alanın adı

**Tip** - alanın tipi (C- karakter, N- sayısı, D- tarih)

**Genişlik** - veri alanı genişliği

**Ondalık** - ondalık sayısı (N için- alanın tipi)

**Object** - Rn gazı aktivite hacmi ölçüm konusu

**Locality** - kasaba, köy adı

**Map** - harita listesinin işareti (sayısı)

**JTSK sistemi (Y,X)** - S-JTSK sistemi içindeki coğrafik koordinatlar

**INFO:** proje sayısı, proje organizasyonu, yılı, proje yöneticisi, yönetici yardımcısı

**HG\_ZONE** – hidrojeolojik bölge

### BÖLÜM III

#### Yapay radyoaktivite haritası

##### Madde 11: Haritanın amacı

1. Harita zemindeki  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesinin şimdiki durumunun değerlendirilmesi amacı için hazırlanır.
2.  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesi hakkında bilinen esaslar:
  - a. ölçüm tarihindeki  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesinin bölgesel dağılımı
  - b. çevrenin oluşturulması ve korunması
  - c. ardışık araştırma ve uluslararası programlar
  - d. öğretici aktiviteler ve daha geniş anlamda eğitim

##### Madde 12: Haritalamanın evreleri

$^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite ölçümü aydınlatıcı ve detaylı araştırmanın evrelerine bölünür.

1. Aydınlatıcı (ön bilgi) araştırma evresi çevrenin oluşturulması ve korunmasını etkileyen  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite temel verisinin belirlenmesi için gerekli işlerin dosyasını kapsar.
2. Detaylı araştırma evresi zeminde  $^{137}\text{Cs}$  yoğunlaşmasının detaylı karşılaştırılması ve çevreye etkisinin değerlendirmesi için gerekli işlerin dosyasını kapsar.

##### Madde 13: Hazırlanan haritanın prensipleri

1. 1:50 000 ölçekli  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite haritası ve diğer ölçekteki haritalar temel haritası esas alınarak ve tamamı için bir birleştirme metodu kullanılarak hazırlanır.
2.  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite haritası 'yerinde' ölçüm sonuçları veya örneklerin laboratuvar analizleri esas alınarak hazırlanır.
3. Bölgesel saptama veya  $^{137}\text{Cs}$  nin aktivite kütlesi, yapay radyoaktivite haritalarının hazırlanması için analiz edilen örneklerin doğru kabul edilmesi sertifikalı aletlerin ve istenen yöntem kullanılarak tamamlanır.
4. 'yerinde' bölgesel  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini belirlemenin şüphe (belirsizlik) seviyesi %30 dan daha az veya  $^{137}\text{Cs}$  aktivite kütlesinin laboratuvar analizleri muhtemelen %95 güven ile %5 den daha olması istenir.

5. Arazideki ölçüm noktaları rölyef enerjisi ve gradyan değerine göre seçilir.

6. Yapay radyoaktivite ölçüm noktalarının yoğunluğu haritanın ölçeğine bağlıdır:

$$M = 1: 25\ 000$$

$$0,5\ \text{km}^2\ \text{de}\ 1\ \text{nokta}$$

$$M = 1: 50\ 000$$

$$1\ \text{km}^2\ \text{de}\ 1\ \text{nokta}$$

M = 1: 100 000

5 km<sup>2</sup> de 1 nokta


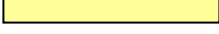
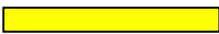


M = 1: 200 000

10 km<sup>2</sup> de 1 nokta

7. <sup>137</sup>Cs radyoaktivitenin bölgesel değerlendirmesi için 1: 100 000, 1: 200 000 ölçekli haritalar kullanılır. <sup>137</sup>Cs radyoaktivite değerlendirmesi için temel harita 1: 50 000 ölçeklidir. 1: 25 000 ölçekli ve daha geniş harita <sup>137</sup>Cs radyoaktivite değerlendirmesinin özel amaçları için tasarlanır.

#### Madde 14: Haritanın içeriği ve hazırlanış yöntemi

1. <sup>137</sup>Cs radyoaktivite haritası topoğrafik temel ve <sup>137</sup>Cs eş alanlarından oluşur
2. Eş alanların görselleştirilme yöntemi için: Kayacın yüzey tabakadaki <sup>137</sup>Cs aktivite kütlesi.

T-10		<10 Bq.kg <sup>-1</sup>
T-11		10, 130 Bq.kg <sup>-1</sup>
T-2		30, 150 Bq.kg <sup>-1</sup>
T-4		50-1100 Bq.kg <sup>-1</sup>
T-5		>100 Bq.kg <sup>-1</sup>

#### Madde 15: Harita ekleri

<sup>137</sup>Cs radyoaktivite haritası şunları kapsar:

- a) ek (yardımcı) rapor
- b) metin eklerinde ve sayısal bilgi deposunda sayısal formda veri tabanı
- c) harita açıklama notu

#### Madde 16: Ek rapor

Ek raporun metin bölümü Jeofizik projelerin projelendirilmesi, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine ..... Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak özenle hazırlanır ve aşığıdaki verileri kapsar.

1. Arazi yer yapısı araştırması
2. Jeofizik çalışmanın çözüm yöntemi
3. <sup>137</sup>Cs radyoaktivitenin dönemlere göre arazi değerlendirmesi
4. Ölçümlerin doğruları ve yöntemi
5. Bulunanlar ve öneriler
6. Jeolojik dokümantasyon arşivi hakkında veri
7. Kullanılan literatür ve arşiv dokümanları listesi

**Madde 17: Veri dosyaları****Çizelge 2.6.** <sup>137</sup>Cs radyoaktivite ölçümünün veri dosyası yapısı.

No	Name	Type	Width	Dec	Explanatory note
1	OBJECT	C	12		Ölçü konusunun işaretlenmesi
2	LOCALITY	C	30		Konu yeri
3	MAP	C	8		Harita liste başlığı (harita numarası)
4	JTSK_Y	N	6	0	S-JTSK Y-koordinatı
5	JTSK_X	N	7	0	S-JTSK X-koordinatı
6	DATE	D	8		Ölçüm tarihi
7	N	N	4	0	Ölçüm noktaları sayısı
8	a <sub>v</sub>	N	5	1	<sup>137</sup> Cs konsantrasyon değeri Bq.kg <sup>-1</sup> (Bq.m <sup>-2</sup> )

Burada: **No** - veritabanı parçasının (alanının) seri numarası  
**Name** - alanın adı  
**Type** - alanın tipi (C- karakter, N- sayısı, D- tarih)  
**Width** - veri alanı genişliği  
**Dec** - ondalık sayısı (N için- alanın tipi)  
**Object** - Rn gazı aktivite hacmi ölçüm konusu  
**Locality** - kasaba, köy adı  
**Map** - harita listesinin işareti ( sayısı)  
**JTSK sistemi (Y,X)** - S-JTSK sistemi içindeki coğrafik koordinatlar

**BÖLÜM IV****Parsel bazında radon tehlikesi tahmin haritası****Madde 18: Haritanın amacı**

Yapılaşma öncesi toprağın içindeki havada radonun (Rn<sup>222</sup>) varlığının bilinmesi için ve değerlendirilmiş alandaki radon gazı tehlikesini bir daha gözden geçirmek için hazırlanır.

**Madde 19: Haritanın hazırlanmasında temel prensipler**

- 1: 5 000 ölçekli harita, parsel bazında topraktaki radon gazı aktivite hacminin arazi ölçümlerinin sonuçlarından hazırlanmalıdır.
- Harita toprak içinde yapılan en az 15 ölçüden oluşur. Ölçüler çelik malzemeden yapılmış sondalar aracılığıyla yapılmalıdır. Sonda derinliği, 80 cm'dir.
- Radon gazı aktivite hacminin kontrol ölçüsü her parsel için bir sondayla yapılmalıdır.



5. Radon gazı tehlikesi %90 doğruluk ile belirlenmelidir. Bu hassasiyet, her bir parsel için %20 den az olmalıdır.
6. Radon gazı aktivite hacmi ölçüleri sertifikalı ölçüm aletleri kullanılarak yapılır ve radon gazı tehlikesi haritalarının doğru standartlarda hazırlanması, kullanılan yöntemin temelini belirler.

#### **Madde 20: Haritanın hazırlanış yöntemi ve içeriği**




1. Hazırlanış esası:

- a) Radon gazı aktivitesi hacmi arazi ölçümleri her parsel için yapılır.
- b) Kayaçların gaz geçirgenliğinin karşılaştırılması,
- c) Çalışmaların değerlendirilmesi,
- d) Arazinin yer yapısının değerlendirilmesi ve prensip olarak benzer jeolojik yapıları arazilerin kıyaslanabilme özelliklerine bakılarak değerlendirilir.

2. Her parsel için topraktaki havada radon gazı aktivite hacmi, 5 sondadan alınan topraktaki hava örneklerinin <sup>222</sup>Rn aktivite hacim ölçümlerinin istatistik değerlendirilmesinin bir sonucudur.

3. Parselin radon gazı tehlike kategorisi çizelge EK-2.2 ye göre; radon gazı aktivite hacim değeri karakteristiğinden ve toprağın gaz geçirgenliğinden karşılaştırılır.

4. 1: 5 000 ölçekli haritalarda ve eş alanları içeren harita, radon gazı tehlike kategorisi renkli olarak sunulur.

T-10		düşük radon gazı tehlikesi (taranmamış veya mavi renkli)
T-2		orta radon gazı tehlikesi (taranmış veya sarı renkli)
T-3		yüksek radon gazı tehlikesi (dolgu veya kırmızı renkli)

#### **Madde 21: Harita ekleri**

Harita içindekiler:

- a) Jeofizik çalışmaların projelendirilmesi, yapılması ve değerlendirilmesi üzerine Türkiye Cumhuriyeti ..... Bakanlığının ..... sayılı yönetmeliği ile uyumlu olarak hazırlanan rapor
- b) Veri tabanı
- c) Harita açıklayıcı notlar

**BÖLÜM V****Yayınlanan haritaların prensipleri ve son (kesin) hükümler****Madde 22: Yayınlanan haritaların prensipleri**

1. Bu yönetmeliğe göre hazırlanan haritalar matbaa tarafından yayınlanır. Yayıncı bakanlıktır<sup>2</sup>
2. Harita, jeofizik araştırmanın bilgi bölümüdür<sup>3</sup>
3. Haritalar Bakanlık tarafından onaylanan projelerde seçilen bölgeler için hazırlanır.
4. Girişler, Jeodezi ve haritacılık üzerine Ulusal Konseyi 215/1995 sayılı yürütme yasasının 178/1996 sayılı jeodezi, harita ve kadastro düzenlemesinin 40, bölüm 2 ve 3 e göre harita üzerine işaretlenecektir.

**Madde 23: Kesin hükümler**

Bu yönetmelik ..... tarihinde yürürlüğe girer.

**EK. 3:** Anket formlarından örnekler

**EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI  
BİLGİ FORMU**

Araştırma yapılan dedektör no:D81858

Görüşmenin yapıldığı tarih : 16.05.2006

Görüşme yapılan kişinin adı soyadı: Halil KARAASLAN

Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no: Aydoğan Mh. 18.Sk. No:7 Sivas

Radon dedektörünün eve konuş tarihi:16.05.2006 Alınış tarihi:12.08.2006

Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.

**1. Evin tipi:**

1.Apartman bodrumlu 2.Apartman bodrumsuz 3.Müstakil bodrumlu 4. Müstakil bodrumsuz

**2. Evin yapıldığı yıl:**

1.1900'dan önce 2. 1900-1945 3.1950- 1969 4. 1970-1979 5. 1980-1989  
6. 1990-2000 7. 2000'den sonra

**3.Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:**

Taban : 1.Toprak 2. Beton 3. Ahşap

Tavan : 1. Beton 2. Ahşap 3. Diğer

Duvarlar : 1. Beton 2. Tuğla 3. Ahşap 4. Taş 5.Diğer.....

**4. Pencerelerin durumu:**

1. Pencereler tek camlı ısı yalıtımı iyi 2. Pencereler tek camlı ısı yalıtımı zayıf

3. Pencereler çift camlı ısı yalıtımı iyi 4. Pencereler çift camlı ısı yalıtımı zayıf

**5.Havalandırma sistemi:** 1.Doğal havalandırma 2.Cihaz ile havalandırma

**6. Havalandırma durumu:** 1.İyi havalanıyor 2.Az havalanıyor 3. Hiç havalanmıyor

**7. Kışın ısıtma sistemi:** 1. Kalorifer 2.Kömür sobası 3.Doğal gaz 4.Diğer.....

**8.Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.**

a. Evin kullanım alanı 100 m<sup>2</sup> b. Oda sayısı 5 adet. c. Oturma salonunun alanı 12 m<sup>2</sup>

**9.Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?**

1.10 yıldan az 2. 10-20 yıl 3. 20-30 yıl 4. 30-40 yıl 5. 40-50 yıl 6. 50 yıldan fazla

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

Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara içme alışkanlığı var (+) yok(-)
36	Bay	Serbest Meslek	+
36	Bayan	Ev Hanımı	-
12	Bay	Öğrenci	-
11	Bay	Öğrenci	-
2	Bay	-	-

**11. Bu evde yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu? Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.**

	Yaşı	Cinsiyeti (K) (E)	Yıl
<input type="checkbox"/> Öldü	(.....)	(.....)	(.....)
<input type="checkbox"/> Hasta	(.....)	(.....)	(.....)

**EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI  
BİLGİ FORMU**

Araştırma yapılan dedektör no:D81894

Görüşmenin yapıldığı tarih :13.10.2006

Görüşme yapılan kişinin adı soyadı:ARİF KOÇ

Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no:BAHTİYAR BOSTAN MAH.ÇARŞIBAŞI  
CAD.PARLAK APT.NO:25/1

Radon dedektörünün eve konuş tarihi:..13.10.2006..Alınış tarihi:..15.12.2006...

Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.

**1. Evin tipi:**

\*1.Apartman bodrumlu  2.Apartman bodrumsuz  3.Müstakil bodrumlu  4. Müstakil bodrumsuz

**2. Evin yapıldığı yıl:**

1.1900'dan önce  2. 1900-1945  3.1950- 1969  4. 1970-1979  5. 1980-1989  
\*6. 1990-2000  7. 2000'den sonra

**3.Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:**

Taban :  1.Toprak  2. Beton \*3. Ahşap

Tavan : \*1. Beton  2. Ahşap  3. Diğer

Duvarlar : \*1. Beton  2. Tuğla  3. Ahşap  4. Taş  5.Diğer.....

**4. Pencere durumları:**

1. Pencere tek camlı ısı yalıtımı iyi  2. Pencere tek camlı ısı yalıtımı zayıf

\*3. Pencere çift camlı ısı yalıtımı iyi  4. Pencere çift camlı ısı yalıtımı zayıf

**5.Havalandırma sistemi:** \*1.Doğal havalandırma  2.Cihaz ile havalandırma

**6. Havalandırma durumu:** \*1.İyi havalanıyor  2.Az havalanıyor  3. Hiç havalanmıyor

**7. Kışın ısıtma sistemi:** \*1. Kalorifer  2.Kömür sobası  3.Doğal gaz  4.Diğer.....

**8.Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.**

a. Evin kullanım alanı 150..m<sup>2</sup> b. Oda sayısı .4.. adet. c. Oturma salonunun alanı.45...m<sup>2</sup>

**9.Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?**

\*1.10 yıldan az  2. 10-20 yıl  3. 20-30 yıl  4. 30-40 yıl  5. 40-50 yıl  6. 50 yıldan fazla

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

Yaş	Cinsiyet	Meslek <input type="checkbox"/>	Sigara içme alışkanlığı var (+) yok(-)
23	E	ÖĞRENCİ	-
23	E	ÖĞRENCİ	-
21	E	ÖĞRENCİ	-
21	E	ÖĞRENCİ	-

**11. Bu evde yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu? Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.(-)**

	Yaşı	Cinsiyeti (K) (E)	Yıl
<input type="checkbox"/> Öldü	(.....)	(.....)	(.....)
<input type="checkbox"/> Hasta	(.....)	(.....)	(.....)