

**TÜBİTAK**

2008-203  
✓

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU**  
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**Temel Bilimler Araştırma Grubu**  
Basic Sciences Research Grant Group

94442

## Ankara Evlerinde Radon Radyoaktivitesinin Ölçümü

**Proje No: 105T441**

Prof.Dr. Mehmet KILDIR  
Prof. Dr. Ali GÖKMEN  
Prof. Dr. İnci GÖKMEN

HAZİRAN 2008  
ANKARA

## ÖNSÖZ

Çevrenin bir parçası olan doğal radyasyonun, insan sağlığı üzerinde yarattığı riskleri araştıran çok sayıda araştırma bulunmaktadır. 1970'lerin ortalarından itibaren radon gazı radyoaktivitesinin halk sağlığı üzerinde önemli etkileri nedeniyle, kapalı ortamlarda radon gazı derişimi belirlenmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Türkiye'de bu çalışmalara, 1984 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) bünyesinde bir proje ile başlanmıştır.

Bu projenin konusu Ankara Evlerinde Radon Radyoaktivitesi derişimlerinin, ülkemizde ilk defa kullanılan elektret-iyon odası detektörleri yardımıyla, ölçülmesidir. Bu çalışmada önce Orta Doğu Teknik Üniversitesi yerleşkesinde, daha sonra da Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mamak semtlerinde radon radyoaktivitesi ölçümleri yapılmıştır. Bir sene süresince yapılan ölçümler, kapalı ortam radon gazı derişiminin mevsimsel değişimi yanında, farklı mahalle ve ev tiplerine (gecekondu-modern) bağlı değişimleri de vermiştir. Bu sonuçlar şimdiye kadar yapılmış bazı çalışmaların değerlendirilmesine yardımcı olabileceği gibi, bundan sonraki çalışmalara da yol gösterici olabilecektir.

Ankara Evlerinde Radon Radyoaktivitesinin Ölçümü başlıklı projemiz 1 Mayıs 2006-1 Mayıs 2008 tarihleri arasında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. ÖZET.....	6
2. ABSTRACT.....	7
3. GENEL BİLGİLER.....	8
4. GEREÇ VE YÖNTEM.....	9
4.1. Radon detektörlerinin seçimi.....	9
4.2 ODTÜ Yerleşkesindeki binalar ve Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar ve Dostlar Mahallesi'ndeki evlerin seçimi .....	10
4.3 Seçilen evlere detektörlerin yerleştirilmesi.....	11
4.4 Ölçümlerin tamamlanması.....	11
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	12
5.1. Radon Gazı Radyoaktivite Derişimleri.....	12
5.1.1. Düzeltilmiş Radon Radyoaktivite Derişimi İçin Örnek hesaplama.....	12
5.2. Sonuçların istatistiksel analizi.....	28
5.3. Sonuçların karşılaştırılması.....	33
5.3.1. İki semtte ölçülen radon derişilerinin mevsimlere göre değişimlerinin karşılaştırılması.....	34
5.3.2. Bu çalışmada ölçülen radon radyoaktivite derişimlerinin Diğer çalışmalarla karşılaştırılması.....	37
6. SONUÇ.....	38
7. KAYNAKLAR.....	39
8. EKLER.....	41

## TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

	Sayfa
Çizelge 1: ODTÜ yerleşkesinde detektörlerin yerleştirildiği binalar ve elektretlerin gerilimlerinin ilk ve son ölçüm değerleri.....	13
Çizelge 2: ODTÜ Yerleşkesi binalarında ölçülen radon gazı radyoaktivitesi derişimleri.....	14
Çizelge 3. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mamak deneylerinde kullanılan elektretlerin ilk gerilim değerleri.....	17
Çizelge 4. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları - İlkbahar 2007.....	18
Çizelge 5. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar--Çankaya Radon Ölçüm Sonuçları- İlkbahar 2007.....	19
Çizelge 6. Radon gazı radyoaktivite derişiminin hesaplanmasında kullanılan semboller ve D1,C1 evleri için deneysel veriler.....	20
Çizelge 7. Radon gazı radyoaktivite derişiminin hesaplanmasında kullanılan sabitlerin farklı ölçme yöntemlerine göre değerleri.....	21
Çizelge 8. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları-Yaz 2007.....	22
Çizelge 9. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları- Sonbahar 2007.....	23
Çizelge 10. Çankaya İlçesi-Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar Radon Ölçüm Sonuçları- Sonbahar 2007.....	24
Çizelge 11. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları- Kış 2008.....	25
Çizelge 12. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar-Çankaya Radon Ölçüm Sonuçları Kış-1-2008.....	26
Çizelge 13. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar-Çankaya Radon Ölçüm Sonuçları- Kış-2 2008.....	26
Çizelge 14. 2007 İlkbahar-2008 Kış tarihlerinde ölçülen oda-içi radon gazı radyoaktivite derişimleri ortalama ve ortanca değerleri.....	33
Çizelge 15. Bu çalışmada ölçülen oda-içi radon gazı radyoaktivite derişimlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması.....	38

<b>Şekil 1. Çiğdem Mahallesi-Kış-1-2008 Radon Radyoaktivitesi derişimlerinin frekans dağılımı.....</b>	<b>27</b>
<b>Şekil 2. Dostlar Mahallesi-İlkbahar 2007 Radon Radyoaktivitesi derişimlerinin frekans dağılımı.....</b>	<b>28</b>
<b>Şekil 3. Radon gazı derişimlerinin normal dağılımı.....</b>	<b>28</b>
<b>Şekil 4. Çiğdem İlkbahar veri setinin Normal Q-Q Grafiğı .....</b>	<b>30</b>
<b>Şekil 5. Çiğdem İlkbahar veri setinin lognormal Q-Q Grafiğı .....</b>	<b>31</b>
<b>Şekil 6. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimi.....</b>	<b>34</b>
<b>Şekil 7. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya Radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimi.....</b>	<b>35</b>
<b>Şekil 8. ODTÜ, Dostlar Mahallesi-Mamak ve Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'da ölçülen radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimlerinin karşılaştırılması.....</b>	<b>36</b>

## 1. ÖZET

Radon (Rn) elementi tüm izotopları radyoaktif olan bir asal gazdır. Bu elementin üç izotopu,  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon),  $^{220}\text{Rn}$  (toron) ve  $^{222}\text{Rn}$  (radon), sırasıyla aktinyum ( $^{235}\text{U}$ ), toryum ( $^{232}\text{Th}$ ) ve uranyum ( $^{238}\text{U}$ ) doğal bozunma serilerinin ürünleri olarak oluşur ve alfa parçacığı vererek bozunurlar. Bu izotoplar yerkabuğundan atmosfere taşınırlar. Bu izotoplardan radon ve toron ile onların radyoaktif ürünleri insanların solunum sisteminde radyoaktif doza neden olup, bazı akciğer kanserlerinin oluşmasına neden olabilirler, halk sağlığı yönünden önemlidir.

Bu çalışmada önce Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yerleşkesinde, daha sonrada Ankara'da Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya (modern) ve Dostlar Mahallesi-Mamak (gecekondu) semtlerinde, pasif radon detektörleri (elektret-iyon odası detektörü) kullanılarak, radon gazı radyoaktivite derişimi ölçümleri yapılmıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yerleşkesinde ilkbahar dönemi için  $1.0\pm 0.9$  pCi/L olarak bulunan radon radyoaktivite derişimi, Çiğdem Mahallesi-Çankaya'da ilkbahar, sonbahar, kış-1 ve kış-2 dönemlerinde sırasıyla  $3.8\pm 4.3$ ,  $4.0\pm 3.8$ ,  $4.1\pm 4.2$  ve  $3.2\pm 3.0$  pCi/L ve Dostlar Mahallesi-Mamak'ta ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde sırasıyla  $1.2\pm 1.4$ ,  $1.6\pm 1.1$ ,  $3.1\pm 1.8$  ve  $2.5\pm 2.0$  pCi/L olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda Çiğdem Mahallesi-Çankaya'da daha yüksek olarak ölçülen radon radyoaktivite derişiminde mevsimsel değişim gözlenmemiş, buna karşın daha düşük radon radyoaktivite derişiminin gözlendiği Dostlar Mahallesi-Mamak'ta ilkbahar döneminde radon derişimi düşük ve sonbahar döneminde ise yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar Çiğdem Mahallesi-Çankaya'daki modern binalardaki pencere, duvar ve kapı yalıtımı daha güçlü evlerde, zeminden sızan radon gazının kapalı ortamda toplandığı ve mevsimsel değişim göstermediği şeklinde değerlendirilebilir. Dostlar Mahallesi-Mamak'taki gecekondu tipi evlerde ise, gerek radon gazı radyoaktivite derişiminin düşük olması gerekse mevsimsel değişim göstermesi, bu evlerdeki pencere, duvar ve kapı yalıtımının yetersiz olmasına bağlanabilir.

## 2. ABSTRACT

Radon (Rn) is a noble gas element whose isotopes are all radioactive. Three isotopes of radon,  $^{219}\text{Rn}$  (actinon),  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) and  $^{222}\text{Rn}$  (radon) are radioactive alpha-particle emitters produced by the radioactive decay of natural series headed by  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$ , respectively. These isotopes move from soil to atmosphere and their short-lived daughters are of most significance for human exposure as these products are inhaled and deliver the bronchial radiation dose that is implicated in some of the lung cancers. In this project, radon activities were measured first at Middle East Technical University, then in two districts of Ankara, namely Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya (modern) and Dostlar Mahallesi- Mamak (slum), using passive radon detectors (Electret-Ion Chamber).

Radon radioactivity concentration was found as  $1.0\pm 0.9$  pCi/L. for Middle East Technical University Campus during Spring 2007. Radon radioactivity concentrations were found as  $3.8\pm 4.3$ ,  $4.0\pm 3.8$ ,  $4.1\pm 4.2$  ve  $3.2\pm 3.0$  pCi/L for Çiğdem Mahallesi-Çankaya spring, fall, winter-1, and winter-2, respectively and as  $1.2\pm 1.4$ ,  $1.6\pm 1.1$ ,  $3.1\pm 1.8$  ve  $2.5\pm 2.0$  pCi/L Dostlar Mahallesi-Mamak spring, summer, fall, winter, respectively. After the application of statistical analysis no seasonal dependency was found for Çiğdem Mahallesi-Çankaya, where there were higher results. On the contrary at Dostlar Mahallesi-Mamak, where lower radon concentrations were observed the radon radioactivity concentrations were lower during spring, yet higher during fall. These results may be interpreted such that in the modern buildings as in Çiğdem Mahallesi-Çankaya, where the wall, door, window insulation is better, the radon which is leaking from ground into the houses are better trapped inside the houses yielding no seasonal variation in radon concentrations. In Dostlar Mahallesi-Mamak observation of lower radon radioactivity concentrations and absence of seasonal variation might be due to presence of slums where there is not sufficient insulation of the walls, windows and doors so that radon gas was not trapped.



### 3. GENEL BİLGİLER

1970'lerin ortalarından itibaren radon gazı radyoaktivitesinin halk sağlığı üzerinde önemli etkileri olabileceğinin ortaya çıkması, kapalı ortam radon gazı derişimlerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların hız kazanmasına neden olmuştur. Yaklaşık 20 yıl içerisinde evlerde yapılan ve UNSCEAR[1] (1977, 1982, 1988, 1993) raporlarında özetlenen ölçümler, evlerdeki radon aktivite düzeylerinin birkaç Bq.m<sup>-3</sup>'den 100 000 Bq.m<sup>-3</sup>'e kadar artan bir aralıkta olduğunu göstermiştir. Bu durumda halkın bir kısmının yüksek radyasyon dozu aldığı ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda yüksek radon radyoaktivitesinin evlerin yapıldığı malzemedен çok, zemin toprağından evlere topraktan sızan radon gazından oluştuğı saptanmıştır. Bu durum evlerdeki radon düzeyinin azaltılması yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmuştur.

Birleşik Devletler Çevre Koruma Örgütü (US EPA), 1980'li yıllarda ülkede ölçülen radon derişimlerinin bazı evler için çok yüksek bulunması üzerine, Amerika Birleşik Devletlerinde önemli bir radon sorunu olduğu kabul edilerek bu sorunun yaratacağı halk sağlığı riskinin belirlenmesi yanında, bu riski en aza indirecek çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalar, 1980'nin sonlarında ülkede binin üzerinde radon ölçümü yapan ve birkaç yüzün üzerinde radon azaltıcı inşaat çalışmaları yapabilen firmaların kurulmasına yol açmıştır. Böylece bu ülkede 2002 ilkbaharı itibarıyla, radon ölçümü yapılan ev sayısı 18 milyonu bulmuş ve bu evlerden 6 milyonunda radon gazı derişimi, ülkede tavsiye edilen 150 Bq.m<sup>-3</sup> değerinden yüksek bulunmuştur[2].

Avrupa Topluluğı Ülkeleri de radon problemini kabul etmişler ve Avrupa'daki her ülkede de ulusal radon taraması büyük ölçüde tamamlanmıştır. Bu ülkeler içerisinde İngiltere tavsiye edilen radon radyoaktivitesi derişimini evler için 200 Bq.m<sup>-3</sup> ve işyerleri için 400 Bq.m<sup>-3</sup> olarak belirlemiştir[3]. Avrupa Topluluğı ise topluluk radon haritasını oluşturmak için 5. Çerçeve Programı içerisinde Erricca-2 (2002-2005) projesini başlatmıştır.

Türkiye'de Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziğı Bölümü bünyesinde 1984 senesinde başlatılan, bu merkez ve Ankara'da devam edilen proje ile 53 yerleşim merkezinde pasif radon detektörleri (alfa parçacıkları iz detektörü) kullanılarak

evlerde radon ölçümleri yapılmış ve sonuçlar TAEK internet sitesinde verilmiştir[4].

#### **Kapalı Ortamlarda Radon Derişimi Limitleri :**

Kapalı ortamlarda radon gazı derişimini kontrol amacıyla gerek ülkeler, gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon derişimini düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler  $200-600 \text{ Bq /m}^3$  olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise  $400 \text{ Bq /m}^3$  'tür[4]. Bu değer  $10.8 \text{ pCi/L}$ 'ye karşı gelmektedir.

ABD'de müsaade edilebilir radon derişimi  $150 \text{ Bq/m}^3=4 \text{ pCi/L}$ 'dir.

Son zamanlarda pek çok ülkede yapılan kontrol gruplu çalışmalar[5-9] evlerdeki radon düzeyi ile kanser riski arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir.

## **4. GEREÇ VE YÖNTEM**

### **4.1. Radon detektörlerinin seçimi**

Bu çalışmada öncelikle ODTÜ'de daha sonra Ankara'nın iki semti, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mamak'taki evlerde radon gazı radyoaktivite derişimleri ölçülmüştür. Radon radyoaktivite derişimi ölçümleri farklı detektörler kullanılarak yapılmaktadır[10]. Bu detektörlerden ülkemizde sıkça kullanılan alfa iz detektörünü kısaca anlatıp, bu projede neden elektretiyon odası detektörü kullandığımızı açıklayalım. Alfa iz detektörü küçük bir difüzyon kabına yerleştirilen özel bir plastik filmden oluşur. Ölçüm yapılacak odaya yerleştirilen detektör kabına odanın havası difüzyon yoluyla girer. Bu havadaki radon ve onun bozunma ürünlerinin radyoaktif bozunması sonucunda oluşan alfa parçacığı özel plastik film üzerinde iz oluşturur. Ölçüm süresi sonunda radon sızdırmaz şekilde kaplanan difüzyon kapları laboratuvara geri getirilir. Difüzyon kabından çıkarılan plastik veya film izlerin belirgin hale getirilebilmesi için kimyasal işleme tabi tutulur ve mikroskop altında, birim alandaki iz sayısı belirlenir. Böylece bulunan iz sayısı yardımıyla radon derişimi saptanır. Alfa iz detektörlerinin ölçüm yapılacak evde konumlandırılma süresi, radon derişimine bağlı olarak 2-12 ay arasında değişmektedir. Ülkemizde bu

detektörler ev veya işyerlerine 2-3 aylık süreler için yerleştirilerek ölçümler yapılmaktadır[11-22].

Bu çalışmada radon düzeylerinin ölçümü için, elektret-iyon odası detektörleri kullanılmıştır[23]. Bu detektör, iyon odası işlevi gören bir difüzyon kabı ile bunun içerisine yerleştirilmiş havanın sıcaklık ve neminden bağımsız olarak sabit durağan yük taşıyan elektretten oluşmaktadır. Ölçüm yapılacak yerleşim birimindeki hava içerisindeki radyoaktif radon gazıyla birlikte difüzyon yoluyla iyon odasına girer. Radon gazı ve onun radyoaktif bozunma ürünleri, iyon odası ortamında oluşturdukları iyonlaşma nedeniyle, elektret durağan yükünün azalmasına yol açar. Azalan elektret yükü, deney başlangıcında ve sonunda yüzey gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülen iki gerilim farkından bulunur. Bu fark ise havadaki radon gazı radyoaktivite derişiminin belirlenmesinde kullanılır. Bu projede kullanılan elektret-iyon odası detektörleri ve ilgili teçhizat bu proje başlangıcında yurt dışından satın alınmıştır. Ölçüm sırasındaki toplam radon aktivitesini ölçen bu detektör, kullanılan iyon odası ve elektretin kısa-dönemli seçilmesi durumunda, ölçüm süresini bir kaç güne kadar indirebilir. Uzun dönemli ölçümler ise, bu detektörleri ölçüm yerlerinde bırakıp belli aralarla gerilim okunarak yapılabilir. Bu detektörler basit ve ucuz olup, elektret yükü ölçümü ve radon derişiminin belirlenmesi istenilen zaman ve mekanda yapılabilir. Ayrıca bu detektörlerin pek çok yerleşim birimine aynı anda yerleştirilmesi olası olduğundan pek çok ölçüm aynı anda yapılabilir.

#### **4.2 ODTÜ Yerleşkesindeki binalar ve Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar ve Dostlar Mahallesi'ndeki evlerin seçimi**

Binalardaki radon derişimlerini belirleyen temel unsurlar;

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra -226 miktarı
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma ( difüzyon ) potansiyeli
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği
- Bina zemini
- Binadaki havalandırma kapasitesi
- İklim koşulları
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı olarak sayılabilir[4].

Ayrıca çeşme suları ve evlerde pişirme ve ısıtma amaçlı kullanılan doğal gaz kapalı mekanlarda önemli radon kaynaklarıdır. Bu projede öncelikle ODTÜ Yerleşkesindeki binalarda radon radyoaktivite derişimi ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra Ankara ili sınırları içinde zemin yapısı ve bina türü birbirinden farklı iki semt

seçilmiştir. Mamak-Dostlar Mahallesi'ndeki evler kayalık bir zemin üzerinde oturdukları halde, Çankaya-Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki evler killi toprak üzerinde konuşlandırılmışlardır. Bu binalarda kullanılan yapı malzemeleri ve binaların yapım teknikleri birbirinden farklıdır. Örnekleme yapılacak evler semt muhtarları ile birlikte bu semtlerin haritaları üzerinde çalışılarak saptanmıştır. Dostlar Mahallesi'ndeki binalar gecekondü tipi evler arasından, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki evler ise son yıllarda modern malzeme ve teknikler kullanılarak yapılmış binalar arasından seçilmiştir. Dostlar mahallesindeki evler genellikle tek katlıdır. Çiğdem mahallesi'ndeki evler genellikle çok katlı olup detektörlerin çoğu bu semtteki evlerin zemin veya zemin altı katında yaşayan apartman görevlilerinin evlerine yerleştirilmiştir. Böylece bu iki semt evlerinde radon radyoaktivitesi düzeyleri arasında gözlenebilecek farklılığın olası nedenleri belirlenebilecektir.

#### **4.3 Seçilen evlere detektörlerin yerleştirilmesi**

Bu projede kullanılan elektret-iyon odası detektörlerinin gerilim değerleri özel yüzey voltmetresi yardımıyla okunduktan sonra ölçüm yapılacak evlere yerleştirilmiştir. Detektörler normal yaşama koşullarında bulunan evlere, mümkünse oturma odası, yatak odası gibi aile bireylerinin uzunca zaman geçirdiği, çocukların erişemeyeceği mekanlara yerleştirilmiştir. Deneyin başında elektret gerilim değeri okunarak detektöre konulur ve detektör ölçüm yapılacak odaya yerleştirilir. Detektörün odaya yerleştirme şekli her ev için benzer olmalıdır. Bu nedenle detektörlerin oda tabanından 50 cm yükseklikte ve duvardan 30 cm uzakta ve 90 cm'den yakın bir pencere ve kapının bulunmadığı bir konumda evlere yerleştirilmesine dikkat edilmiştir.

#### **4.4 Ölçümlerin tamamlanması**

Ölçüm süresi sonunda elektret, detektörden çıkarılıp özel yüzey voltmetresi yardımıyla, gerilimi okunur. Ölçüm süresindeki ortalama radon gazı radyoaktivite derişimi (pCi/L), iki ölçüm arasındaki elektret gerilim farkının kalibrasyon katsayısı ve ölçüm süresine bölünmesiyle belirlenir. Elde edilen değerin ortamdaki gama ışınlarının oluşturduğu taban sayımıyla düzeltilmesi net radon aktivite düzeyini vermektedir. Elektretlerin başlangıçta 700-750 V olan yüzey gerilimleri 250 V yakınındaki değerlere inene kadar kullanılabilmesi için, detektörlerin uzunca bir süre kullanımına elverecek şekilde kullanım ve ölçüm planlaması yapılmıştır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Detektörlerin önemli bir bileşeni olan elektretlerin kararlılıklarını belirlemek için yapılan ölçüm sonuçları, elektret gerilimlerinin yaklaşık olarak başlangıç gerilim değerlerini koruduğunu göstermiştir. Detektörlerin çalışma ortamında davranışlarını belirlemek ve bir işyerinde ölçüm yapmak için öncelikle Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) yerleşkesi içerisinde bir deney planlanmıştır. ODTÜ yerleşke alanı yaklaşık olarak eşit 20 bölgeye bölünmüş ve her bölge üzerindeki binalardan gelişigüzel seçilen birinin zemin (bodrum) katındaki odalardan birine, radon gazı radyoaktivitesinin ölçümü için kullandığımız elektret-iyon odası detektörlerinden birer tane yerleştirilmiştir. ODTÜ yerleşkesindeki binalara dağıtılan detektör yardımıyla elde edilen sonuçlar işyeri sonuçlarına karşılık gelmektedir.

### 5.1. Radon Gazı Radyoaktivite Derişimleri

Çizelge 1'de ODTÜ Yerleşkesinde detektörlerin yerleştirildiği bina isimleri ile detektörlere konulan elektretlerin deneyden 13 gün önce ölçülmüş gerilim değerleri, bu elektretlerin ilk ve son ölçüm gerilim değerleri gösterilmiştir. Deney öncesi on üç gün içerisindeki gerilim düşüşü 2 volt ile 11 volt arasında değişmekte olup, bu değişiminin ortalaması  $-0.4 \pm 0.2$  volt/gün'dür. Bu değer in Denman et. al.[24] tarafından gözlenen  $-0.2 \pm 0.5$  volt/gün değeriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu arada ODTÜ yerleşkesi içindeki ODTÜ Kolejine yerleştirilmiş olan detektör, elektreti çalışmaz duruma gelmiş olduğu için, değerlendirme dışı bırakılmıştır. İlk ve son ölçüm değerleri arasındaki gerilim farkı ortamda bulunan radon gazı radyoaktivite derişimiyle doğru orantılıdır.

**Çizelge 1. ODTÜ yerleşkesinde detektörlerin yerleştirildiği binalar ve elektretlerin gerilimlerinin ilk ve son gerilim ölçüm değerleri**

Kısa Dönem Ölçme Yöntemi				
Bina İsmi	Elektret No	27.02.2007 Deney Öncesi	12.03.2007 İlk Ölçüm	21.03.2007 Son Ölçüm
Petrol Mühendisliği	SCS 317	726	720	687
Kütüphane	SCS 328	717	714	684
Sağlık Merkezi	SCS 438	726	720	696
ODTÜ Kent	SCS 385	722	719	678
Eğitim Fakültesi	SCS 456	733	726	699
İngilizce Öğret.	SCS 398	729	722	684
Kimya Bölümü	SCS 381	710	703	648
Temel İngilizce Böl.	SCS 386	729	722	692
Çevre Mühendisliği	SCS 305	725	722	675
Bilgi İşlem Daire Başk.	SCS 440	709	698	644
İsa Demiray Yurdu	SCS 338	709	707	619
6. yurt	SCS 388	718	714	663
İnşaat Mühendisliği	SCS 337	723	720	687
Havacılık Müh.	SCS 364	722	719	691
Lojmanlar	SCS 448	716	705	664
Beşeri Bilimler Fak.	SCS 311	705	701	672
Tübitak-Bilten	SCS 420	723	718	689
Spor Merkezi	SCS 394	723	719	693
Rektörlük	SCS 426	739	735	672

Çizelge 2'den görülebileceği gibi ilk ve son gerilim değerleri arasındaki fark 24 ile 88 volt arasında değişmektedir. Yüzey gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülen gerilimler  $\pm 1$  volt değerindeki bir belirsizlikle ölçülebildiği için, bu değerler yardımıyla belirlenecek radon gazı radyoaktivite derişimi üzerindeki belirsizlik oldukça küçük olacaktır. Bu ölçümlerde göz önüne alınması gereken diğer bir belirsizlik ise, elektret-iyon odası detektörü bileşenleri üzerinde var olabilecek küçük kusurlar olup (iyon odası hacmi, elektret kalınlığı v. b.) bunların ölçülecek radon gazı derişiminde %5 kadar bir belirsizlik yaratabileceği deneysel olarak gösterilmiştir[25].

**Çizelge 2. ODTÜ Yerleşkesi binalarında ölçülen radon gazı radyoaktivitesi derişimleri**

Kısa Dönem Ölçme Yöntemi				
Bina İsmi	Elektret No	Gerilim Farkı (volts)	Radon Derişimi (pCi/L)	Düzeltilmiş Radon Derişimi (pCi/L)
Petrol Mühendisliği	SCS 317	33	1.8±0.2	0.5±0.1
Kütüphane	SCS 328	30	1.9±0.2	0.5±0.1
Sağlık Merkezi	SCS 438	24	1.5±0.2	0.2±0.1
ODTÜ Kent	SCS 385	41	2.4±0.2	1.1±0.1
Eğitim Fakóltesi	SCS 456	27	1.5±0.1	0.2±0.1
İngilizce Öğretmenliği	SCS 398	38	2.0±0.2	0.7±0.1
Kimya Bölümü	SCS 381	55	3.3±0.2	2.0±0.1
Temel İngilizce Bölümü	SCS 386	30	1.5±0.2	0.3±0.1
Çevre Mühendisliği	SCS 305	47	2.5±0.2	1.2±0.1
Bilgi İşlem Daire Başk.	SCS 440	54	2.9±0.2	1.6±0.1
İsa Demiray Yurdu	SCS 338	88	4.7±0.3	3.4±0.2
6. yurt	SCS 388	51	3.1±0.2	1.8±0.1
İnşaat Mühendisliği	SCS 337	33	1.8±0.2	0.5±0.1
Havacılık Mühendisliği	SCS 364	28	1.5±0.2	0.2±0.1
Lojmanlar	SCS 448	41	2.6±0.2	1.3±0.1
Beşeri Bilimler Fak.	SCS 311	29	1.8±0.2	0.5±0.1
Tübitak-Bilten	SCS 420	29	1.6±0.1	0.3±0.1
Spor Merkezi	SCS 394	26	1.4±0.1	0.1±0.1
Rektörlük	SCS 426	63	3.8±0.2	2.5±0.2
Ortalama ± Std.Sapma			2.3±0.9	1.0±0.9

Elektret-iyon odası yöntemiyle belirlenen radon gazı radyoaktivite derişimlerindeki bir diğer belirsizlik kaynağı ise detektörlerin bulunduğu odaların gama ışınları ortalama doz hızıdır. Bu doz hızı bir düzeltme terimi olarak hesaplamalara katılır[25]. Bu düzeltme için EG&G Berthold firmasının LB 123 UMo sayıcısı LB 6006 A sayıcı tüpü ile birlikte kullanılmış ve radon gazı radyoaktivite derişimi ölçümü yapılan bölgelerde gama ışınları ortalama doz hızı yaklaşık 14.0±1.0 µR/saat olarak belirlenmiştir. Önceki raporumuzda 15.0±1.0 µR/saat olarak kullanılmış olan bu değer, ölçümlerin tüm evleri kapsayacak şekilde genişletilmesi sonucunda 14.0±1.0 µR/saat olarak yeniden belirlenmiştir. Gama ışınları ortalama doz hızında 1.0 µR/saat'lik bir azalma, radon gazı

radioaktivite derişimde yaklaşık olarak 0.1 pCi/L'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Ayrıca elektret-iyon odası detektörlerinin kalibrasyon işlemleri, deniz seviyesindeki New York şehri DOE/EML laboratuvarında yapılmıştır. Deniz seviyesi üzerinde yapılan ölçümlerde radon ve bozunma ürünleri alfa parçacıkları, havanın birim hacmindeki gaz molekülleri sayısındaki yükseklikle oluşan azalma nedeniyle, daha az bir iyonlaşma oluşturur[26]. Bu durumu göz önüne almak için, GP 12 GPS cihazı yardımıyla yükseklik ölçümleri yapılmış ve deney bölgemizin deniz seviyesinden yüksekliği ortalama  $3200 \pm 100$  fit olarak bulunmuştur. Bu yükseklik değeri 210 mL hacmindeki kısa dönem iyon odaları için bir düzeltme gerektirmezken (yükseklik düzeltme terimi 1.000 ), 58 mL hacmindeki uzun dönem iyon odalarında 1.147 değerinde bir yükseklik düzeltme teriminin kullanılmasını gerektirmektedir.

Çizelge 2'te ODTÜ yerleşkesi içerisinde ölçülen radon gazı radioaktivite derişim değerleri ile bu değerler üzerindeki belirsizlikler verilmektedir. Çizelge 2'in son iki sütununda Radon Derişimi ve Düzeltilmiş Radon Derişimi gösterilmiştir. Düzeltilmiş radon derişimleri, gama ışınlarının detektör ortamında oluşturduğu iyonlaşmanın elektret geriliminde yol açtığı azalma göz önüne alınarak bulunmuş olup, gerçek değerleri yansıtmaktadır. Bu değerler  $0.1 \pm 0.1$  pCi/L ile  $3.4 \pm 0.2$  pCi/L arasında yayılmış olup ortalaması  $1.0 \pm 0.9$  pCi/L'dir.

Bu çalışmanın amaçlarından birisi Türkiye radon haritasının tamamlanması açısından Ankara şehri radon aktivitesi ölçümlerini yapmaktır. Bu nedenle Ankara şehrinin Çankaya Belediyesi sınırlarında bulunan Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar ve Mamak Belediyesi sınırları içerisinde bulunan Dostlar Mahallesi ölçüm alanları olarak seçilmiştir. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'da killi toprak zemin üzerine oturmuş, modern malzeme ve teknikler kullanılarak yapılmış çok katlı binalar bulunmaktadır. Dostlar Mahallesinde ise kayalık zemin üzerine oturmuş gecekondü tipi evler vardır. Her iki mahalle alanı yerleşim haritaları yardımıyla, yaklaşık olarak eşit ondokuz bölgeye bölünmüş ve her bir bölgede bu bölgelerin muhtarlarının yardım ve önerileriyle gelişigüzel seçilen bir binanın bodrum katında birer odaya, birer tane elektret-iyon odası detektörü yerleştirilmiştir.

Bu detektörler bir sene boyunca ölçüm yapabilecek şekilde hazırlanmışlardır. Şöyle ki kısa dönem ölçümler için (1-2 hafta) 210 mL hacmindeki kısa dönem iyon odası, belli bir radon aktivitesinde gerilimi hızlı bir şekilde azalan kısa dönem



elektret ile birlikte kullanılır ve bu yöntem kısa-kısa yöntemi (KKY) olarak adlandırılır. Uzun dönem ölçümler (1 yıldan fazla) için ise 58 mL hacmindeki uzun dönem iyon odası, belli bir radon aktivitesinde gerilimi yavaş bir şekilde azalan uzun dönem elektret (UUY) ile birlikte kullanılır. Bu çalışmamızda Dostlar Mahallesi'deki evler için, 210 mL hacmindeki kısa dönem iyon odaları uzun dönem elektretler (KUY) ile birlikte kullanılmıştır. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki evler için ise, 58 mL hacmindeki uzun dönem iyon odaları kısa dönem elektretler (UKY) ile birlikte kullanılmıştır. Bu şekilde oluşturduğumuz "Orta Dönem Ölçme Yöntemi" olarak adlandırdığımız yöntem ile bir aydan bir yıla kadar ölçümler yapılabilmektedir. Böylece elektretlerde, bir aylık süre sonunda radon gazı radyoaktivite değişimini küçük bir hata ile hesaplayabileceğimiz seviyede, bir gerilim azalması elde edilmiştir. Çizelge 3'te Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mamak'taki binaların bodrum katlarındaki odalara konulan elektret-iyon odası detektörlerinin listesi ve kullanılan elektretlerin ilk gerilim ölçüm değerleri verilmektedir. İlkbahar 2007 ölçümleri için detektörler Dostlar Mahallesi-Mamak'taki evlere 10 Nisan 2007 tarihinde, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya'daki evlere 12 Nisan 2007 tarihinde yerleştirilmiştir. Mayıs-2007 sonunda tamamlanan ölçümler sonunda iki mahallenin bahar mevsimi radon gazı aktivite değerlerini elde edilmiştir. Bu çalışmanın üçer aylık ölçümlerle bir yılda tamamlanması sonucunda ölçüm değerlerinin mevsimsel değişimi de elde edileceği düşünülmüştür. ODTÜ yerleşkesi ile Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya komşu olup benzer zemin ve yapı özelliklerine haiz binalar içermektedir. Dolayısıyla ODTÜ yerleşkesi için bulduğumuz radon radyoaktivitesi değerlerinin, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya değerleri ile karşılaştırılması işyeri-konut değerleri arasında belirgin bir farkın olup olmadığı sonucunu verecektir.

Detektörler Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki evlerden 12-14 Mayıs 2007 tarihleri arasında toplanmış ve elektretlerinin gerilim değerleri ölçülmüştür. Dostlar Mahallesi'nde bulunan detektörlerdeki elektretlerin gerilim ölçümleri ise 31 Mayıs 2007 tarihinde evlerde yapılmış ve birkaç dakika süren ölçüm sonrasında her detektör evlerdeki yerlerine yeniden yerleştirilmiştir. Bu durumda, detektörler Karakusunlar Mahallesi'deki evlerde 31-33 gün, Dostlar Mahallesi'deki evlerde ise 51 gün civarında kalmıştır. Bu sürede (31-33 gün) Karakusunlar Mahallesi'ne konulan kısa dönem elektretlerde ölçülen ilk ve son gerilim değerleri arasındaki farklar 20 V ile 151 V arasında değişmektedir. Dostlar mahallesinde ise 51 günde ölçülen gerilim farkları ise 12 V ile 65 V arasında

olmuştur. Bu ölçümler sırasında her iki mahalledeki birer evde bulunan detektörlerin elektretlerinde ölçülen gerilim azalmalarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Laboratuvara getirilen detektör ve elektretlerin yüzeyleri gözle ve büyüteç yardımıyla incelenmiş ve her iki yüzeyde de detektör kabı malzemesi olabileceği düşünülen küçük siyah taneciklerin bulunduğu görülmüştür. Bu tanecikler basınçlı azot yardımıyla elektret yüzeyinden uzaklaştırıldıkları halde ölçülen elektret gerilimlerinde bir iyileşme görülmemiş ve bu elektretleri içeren detektör sonuçları değerlendirmeye alınmamıştır.

**Çizelge 3. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mamak deneylerinde kullanılan elektretlerin ilk gerilim değerleri**

Orta Dönem Ölçme Yöntemi (Karakusunlar, Çankaya)				Orta Dönem Ölçme Yöntemi (Dostlar, Mamak)		
Elektret No:	27.2.2007	21.3.2007	11.4.2007	Elektret No	27.2.2007	9.4.2007
SCS 317	726	687	680	LM 5321	719	717
SCS 328	717	684	681	LM 5355	718	713
SCS 438	726	696	689	LM 5334	722	718
SCS 385	722	678	672	LM 5367	711	705
SCS 456	733	699	677	LM 5322	634	625
SCS 398	729	684	679	LM 5386	723	711
SCS 381	710	648	647	LM 5250	708	702
SCS 386	729	676	676	LM 5196	719	710
SCS 305	725	675	669	LM 5212	713	707
SCS 440	709	644	634	LM 5374	720	714
SCS 338	709	619	614	LM 5351	727	722
SCS 388	718	663	659	LM 5256	714	704
SCS 337	723	687	674	LM 5327	715	711
SCS 364	722	691	681	LM 5209	734	723
SCS 448	716	664	662	LM 5287	743	716
SCS 311	705	672	664	LM 5347	710	703
SCS 420	723	689	682	LM 5272	712	708
SCS 394	723	693	688	LM 5301	723	712
SCS 426	739	672	668	LM5298	718	709

Çizelge 4 ve Çizelge 5'de sırasıyla Dostlar Mahallesi-Mamak ve Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya 18'er ev için elektretler kullanılarak elde edilen ilkbahar dönemi radon radyoaktite derişimleri verilmektedir.

**Çizelge 4. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları - İlkbahar 2007**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
D1	50,99	14,00	707	666	0,1760	3,3	0,3
D2	51,00	14,00	712	699	0,1770	0,2	0,2
D3	51,01	14,00	708	694	0,1768	0,3	0,2
D4	51,00	14,00	703	691	0,1766	0,1	0,2
D5	51,01	14,00	716	698	0,1771	0,8	0,2
D6	51,02	14,00	723	708	0,1776	0,4	0,2
D7	51,01	14,00	711	688	0,1767	1,3	0,2
D8	51,02	14,00	704	690	0,1766	0,3	0,2
D9							
D10	51,04	14,00	714	697	0,1770	0,7	0,2
D11	51,04	14,00	707	694	0,1768	0,2	0,2
D12	51,03	14,00	710	693	0,1768	0,7	0,2
D13	51,04	14,00	702	687	0,1765	0,4	0,2
D14	51,05	14,00	711	690	0,1768	1,1	0,2
D15	51,06	14,00	625	565	0,1712	5,6	0,3
D16	51,06	14,00	705	680	0,1764	1,6	0,2
D17	51,05	14,00	718	695	0,1771	1,3	0,2
D18	51,07	14,00	713	686	0,1767	1,8	0,2
D19	50,99	14,00	717	698	0,1771	0,9	0,2

Her iki semtte de bu detektörler yardımıyla bir sene boyunca ölçüm yapılabileceği düşünülmüştü. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'a ilkbahar 2007 dönemin ölçümleri için yerleştirilen elektretlerde ölçülen ilk ve son gerilim değerleri arasındaki farkların 20 V ile 151 V arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu elektretlerin dinamik ölçüm aralığı alt sınırı yaklaşık 250 V'dur. Bu durumda detektörlerin evlerde tutulması, bazı elektretlerin iki ay gibi kısa bir sürede tamamen kullanılamaz hale gelmesine neden olacak ve belki de yaz dönemi ölçümleri tamamlanamadan bu bölgedeki ölçümlere son vermemiz gerekecekti. Bu nedenle Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki detektörlerin ilkbahar ölçümleri sonrasında toplanarak laboratuvarımızda koruma kapakları içerisinde saklanmasına karar verilmiştir. Böylece çalışmamızda daha önemli olduğunu düşündüğümüz sonbahar ve kış ölçümleri bu elektretler yardımıyla yapılabilemiştir. Benzer bir durum Dostlar Mahallesi-Mamak için geçerli değildir. Çünkü bu

bödede kullanılan elektretlerde 50 günde gerilim azalması 12 V ile 65 V arasında değişmektedir.

**Çizelge 5. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar-Çankaya Radon Ölçüm Sonuçları- İlkbahar 2007**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
C1	32,11	14,00	681	656	0,3539	0,6	0,2
C2	31,78	14,00	647	557	0,3447	7,5	0,4
C3	32,06	14,00	664	637	0,3514	0,8	0,2
C4	32,02	14,00	677	621	0,3512	3,8	0,3
C5	31,78	14,00	676	632	0,3519	2,6	0,2
C6	31,13	14,00	679	644	0,3530	1,7	0,2
C7	32,03	14,00	688	651	0,3541	1,8	0,2
C8	32,06	14,00	682	648	0,3534	1,5	0,2
C9	31,94	14,00	614	574	0,3436	2,3	0,2
C10	31,88	14,00	634	502	0,3400	12,0	0,6
C11	32,05	14,00	674	654	0,3533	0,1	0,2
C12	31,83	14,00	669	638	0,3518	1,2	0,2
C13	31,00	14,00	680	636	0,3525	2,7	0,2
C14	32,07	14,00	681	655	0,3539	0,7	0,2
C15	31,14	14,00	689	576	0,3489	10,0	0,5
C16	32,02	14,00	659	628	0,3505	1,2	0,2
C17	32,04	14,00	668	517	0,3434	13,8	0,7
C18	31,09	14,00	672	621	0,3509	3,4	0,2

Her iki çizelgenin birinci sütununda detektörlerin yerleştirildiği ev numaraları verilmiş olup, bu numaralar o evler için adres ve benzeri bilgileri içeren formlara da işlenmiştir. Bazı evlerde birden fazla elektret kullanıldığı için elektret numaraları formlara yazıldığı halde bu çizelgelerde verilmemiştir. İkinci sütunda detektörlerin evlerde kalma süreleri gün olarak verilmektedir. Üçüncü sütunda, elektret detektörü ile ölçülen radon radyoaktivitesi değerine düzeltme terimi olarak etki eden, ortamın gama ışınları doz hızı değerleri  $\mu R/h$  birimiyle gösterilmektedir. Her iki bölge için deniz seviyesinden yükseklik 3200 fit olarak kabul edilmiştir. Ölçüm yapılan mekanın denizden yüksekliği nedeniyle kullanılan düzeltme faktörleri Çizelge 4'de 1.000, Çizelge 5'de 1.147 olarak alınmıştır. "İlk Gerilim" ve "Son Gerilim" sütunları sırasıyla, dördüncü ve beşinci sütunlar olup, elektret-iyon odası detektörlerinde bulunan elektretin her bir ölçüm için bulunan ilk ve son gerilim (volt, V) değerleridir. Altıncı sütunda verilen kalibrasyon faktörü

bir elektret-iyon odası detektörünün 1 pCi/L radon atmosferinde bir gün tutulması sonunda elektretinin gerilim değerindeki azalma miktarıdır. Üretici firma tarafından deneysel olarak belirlenmiş olan kalibrasyon faktörleri, elektret cinsine ve ölçümde elde edilen gerilim farkına bağlı olduğu için, her bir elektret için farklı değerlerdedir. Yedinci ve sekizinci sütunlarda düzeltilmiş radon gazı radyoaktivite derişimleri ile bu değerler için hata değerleri verilmektedir.

### 5.1.1. Düzeltilmiş Radon Radyoaktivite Derişimi İçin Örnek Hesaplama

Çizelge 4'deki D1 ve Çizelge 5'deki C1 evler için örnek olabilecek hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılan değerler Çizelge 6 ve Çizelge 7'de özetlenmiştir.

**Çizelge 6. Radon gazı radyoaktivite derişiminin hesaplanmasında kullanılan semboller ve D1 ve C1 evleri için deneysel veriler**

Ölçüm Değerleri	Sembol	D1	C1
Ölçüm Süresi(gün)	OS	50.99	32.11
Gama Doz Hızı( $\mu$ R/h)	GD	14.00	14.00
İlk Gerilim(V)	GI	707	681
Son Gerilim(V)	GS	666	656

Dostlar Mahallesi D1 evi için radon radioaktivite derişimi (Rn D) pCi/L,

$$Rn D = \frac{GI - GS}{KF * OS} - (GD * G)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada KF kalibrasyon faktörü olup,

$$KF = A + B \frac{GI + GS}{2}$$

ile verilir. Bu eşitliklerdeki A, B ve G sabitleri üretici firma tarafından deneysel olarak belirlenmiştir[27]. Projemizde kullanılan üç farklı ölçme yöntemi için sabitlerin değerleri Çizelge 7'de verilmektedir.

**Çizelge 7. Radon gazı radyoaktivite derişiminin hesaplanmasında kullanılan sabitlerin farklı ölçme yöntemlerine göre değerleri**

Ölçme Yöntemi	A	B	G
KKY	1.69766	0.0005742	0.087
KUY	0.1400	0.0000525	0.087
UKY	0.26127	0.0001386	0.12

Dostlar Mahallesi-Mamak'taki D1 nolu evde KUY uygulandığı için kalibrasyon faktörü (KF);

$$KF = 0.1400 + 0.0000525 * (707+666)/2 = 0.176$$

ve radon radyoaktivite derişimi;

$$Rn D = (707 - 666)/0.176 * 50.99 - 14.00 * 0.087 = 3.3 \text{ pCi/L}$$

dir. Kısa dönem ölçüm için detektör kabı 210 mL olduğu ve yükseklik düzeltme teriminin 1.000 olduğu hatırlanarak radon radyoaktivite derişimi,

$$Rn D = 3.3 * 1.000 = 3.3 \text{ pCi/L}$$

olarak bulunur.

Çiğdem Mahallesi-Çankaya'daki C1 nolu evde ise UKY yöntemi uygulanmış olup kalibrasyon faktörü (KF),

$$KF = 0.26127 + 0.0001386 * (681+656)/2 = 0.3539$$

ve radon radyoaktivite derişimi,

$$Rn C = (681 - 656)/0.3539 * 32.11 - 14.00 * 0.12 = 0.52 \text{ pCi/L}$$

olarak bulunur. Yükseklik düzeltme teriminin 1.147 olduğu göz önüne alındığında radon radyoaktivite derişimi ,

$$Rn C = 0.52 * 1.147 = 0.6 \text{ pCi/L}$$

olarak bulunur. Çizelgelerdeki diğer evler için hesaplamalar benzer şekilde yapılmıştır.

Çizelge 8'de Dostlar Mahallesi-Mamak'ta 18 evde bulunan detektörler yardımıyla elde edilen yaz 2007 radon radyoaktivitesi ölçüm sonuçları verilmektedir. Dostlar Mahallesi'nde yaz dönemi elektret gerilimi ölçümleri, 2 Ekim 2007 günü tamamlanmış ve 124 gün sürmüştür. Detektörler ölçüm sonrasında sonbahar ölçümleri için yerlerinde bırakılmıştır. Bu çizelgede görüldüğü gibi ölçülen en düşük elektret gerilimi 428 V olup bu değerde bir gerilimin sonbahar ölçümü için yeterli olduğu düşünülmüştür. Diğer elektret gerilimlerinin, sonbahar ve kış ölçümleri için yeterli olacağı kanısına varılmıştır.

**Çizelge 8. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları- Yaz 2007**

Ev kodu	Gün	Gama	Elevation	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Düzeltilme faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
D1	123,97	14,00	3200	666	576	0,1726	3,0	0,2
D2	124,12	14,00	3200	699	650	0,1754	1,0	0,2
D3	124,10	14,00	3200	694	640	0,1750	1,3	0,2
D4	124,04	14,00	3200	691	651	0,1752	0,6	0,2
D5	124,03	14,00	3200	698	642	0,1752	1,4	0,2
D6	123,98	14,00	3200	708	663	0,1760	0,8	0,2
D7	124,03	14,00	3200	688	642	0,1749	0,9	0,2
D8	124,01	14,00	3200	690	640	0,1749	1,1	0,2
D9								
D10	124,00	14,00	3200	697	637	0,1750	1,5	0,2
D11	124,00	14,00	3200	694	645	0,1751	1,0	0,2
D12	124,01	14,00	3200	693	636	0,1749	1,4	0,2
D13	124,00	14,00	3200	687	627	0,1745	1,6	0,2
D14	124,03	14,00	3200	690	631	0,1747	1,5	0,2
D15	123,99	14,00	3200	565	428	0,1661	5,4	0,3
D16	124,00	14,00	3200	680	622	0,1742	1,5	0,2
D17	123,99	14,00	3200	695	638	0,1750	1,4	0,2
D18	124,04	14,00	3200	686	606	0,1739	2,5	0,2
D19	124,14	14,00	3200	698	653	0,1755	0,8	0,2

Çizelge 9'da Dostlar Mahallesi-Mamak Sonbahar 2007 Radon ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu ölçümler 2 Ekim 2007 Tarihinde başlayarak 104 gün sürmüştür. Bu süre sonunda elektretlerin son gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda

elektretler üzerindeki gerilim değerlerinin diğer ölçümlere yeterli olacağı gözlemlendiğinden detektörler kış ölçümleri için aynı yerlere bırakılmıştır.

**Çizelge 9. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları-  
Sonbahar 2007**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
D1	104,00	14,00	576	437	0,1666	6,8	0,4
D2	103,92	14,00	650	550	0,1715	4,4	0,3
D3	103,93	14,00	640	585	0,1722	1,9	0,2
D4	104,01	14,00	651	611	0,1731	1,0	0,2
D5	104,01	14,00	642	565	0,1717	3,1	0,2
D6	104,07	14,00	663	614	0,1735	1,5	0,2
D7	104,03	14,00	642	591	0,1724	1,6	0,2
D8	104,17	14,00	640	586	0,1722	1,8	0,2
D9	146,04	14,00	730	530	0,1731	6,7	0,4
D10	104,06	14,00	637	578	0,1719	2,1	0,2
D11	104,07	14,00	645	559	0,1716	3,6	0,2
D12	104,09	14,00	636	561	0,1714	3,0	0,2
D13	104,10	14,00	627	572	0,1715	1,9	0,2
D14	104,08	14,00	631	568	0,1715	2,3	0,2
D15							
D16	104,08	14,00	622	555	0,1709	2,5	0,2
D17	104,10	14,00	638	506	0,1700	6,2	0,4
D18	104,04	14,00	606	534	0,1699	2,9	0,2
D19	104,05	14,00	653	589	0,1726	2,3	0,2

Çizelge 10'de Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'daki evlerde ölçülen Sonbahar-2007 Radon aktivite derişimleri verilmiştir. Detektörler bu evlerde 45 gün süreyle tutulmuştur.



**Çizelge 10. Çankaya İlçesi-Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar Radon Ölçüm Sonuçları- Sonbahar 2007**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
C1	43,82	14,00	547	504	0,3341	1,4	0,2
C2	45,11	14,00	626	430	0,3345	13,0	0,7
C3	45,11	14,00	612	562	0,3426	1,8	0,2
C4	44,22	14,00	598	490	0,3367	6,4	0,4
C5	45,02	14,00	593	496	0,3367	5,4	0,3
C6	43,88	14,00	502	457	0,3277	1,7	0,2
C7	45,20	14,00	620	561	0,3431	2,4	0,2
C8	45,03	14,00	522	473	0,3302	1,9	0,2
C9	44,03	14,00	599	538	0,3401	2,7	0,2
C10	42,36	14,00	640	457	0,3373	12,8	0,7
C11	43,93	14,00	478	437	0,3247	1,4	0,2
C12	43,91	14,00	614	570	0,3433	1,4	0,2
C13	44,38	14,00	601	548	0,3409	2,1	0,2
C14	44,07	14,00	583	554	0,3401	0,3	0,2
C15	44,04	14,00	642	508	0,3410	8,3	0,5
C16	45,04	14,00	602	558	0,3417	1,4	0,2
C17	45,20	14,00	627	538	0,3420	4,7	0,3
C18	43,90	14,00	540	481	0,3320	2,7	0,2

Çizelge 11'da Dostlar Mahallesi Kış-2008 Ölçüm sonuçları verilmektedir. Bu ölçümler için detektörler 63 gün süreyle evlerde tutulmuştur. Çizelge 12 ve 13'de Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar için iki değişik sürede yapılan Kış-1 ve Kış-2-2008 Radon ölçüm sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 11. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon Ölçüm Sonuçları- Kış 2008**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
D1	63,16	14,00	437	351	0,1607	7,3	0,4
D2	63,08	14,00	550	507	0,1677	2,8	0,2
D3	63,00	14,00	585	550	0,1698	2,1	0,2
D4	62,99	14,00	611	597	0,1717	0,1	0,2
D5	68,00	14,00	565	529	0,1687	1,9	0,2
D6	62,98	14,00	614	590	0,1716	1,0	0,2
D7	62,97	14,00	591	567	0,1704	1,0	0,2
D8	62,87	14,00	586	566	0,1702	0,7	0,2
D9	21,03	14,00	530	506	0,1672	5,6	0,5
D10	62,99	14,00	578	552	0,1697	1,2	0,2
D11	62,90	14,00	559	533	0,1687	1,2	0,2
D12	62,87	14,00	561	527	0,1686	2,0	0,2
D13	62,87	14,00	572	546	0,1693	1,2	0,2
D14	62,85	14,00	568	516	0,1685	3,7	0,3
D15	20,95	14,00	723	707	0,1775	3,1	0,3
D16	62,85	14,00	555	531	0,1685	1,0	0,2
D17	67,92	14,00	506	423	0,1644	6,2	0,4
D18	62,89	14,00	534	490	0,1669	3,0	0,2
D19	62,95	14,00	589	561	0,1702	1,4	0,2

**Çizelge 12. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar-Çankaya  
Radon Ölçüm Sonuçları Kış-1-2008**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
C1	41,00	14,00	504	475	0,3291	0,5	0,2
C2	40,96	14,00	430	251	0,3085	14,3	0,7
C3	40,86	14,00	562	525	0,3366	1,2	0,2
C4	41,72	14,00	490	395	0,3226	6,2	0,4
C5	40,93	14,00	496	413	0,3243	5,2	0,3
C6	41,00	14,00	457	409	0,3213	2,3	0,2
C7	45,20	14,00	620	561	0,3431	2,4	0,2
C8	40,95	14,00	473	435	0,3242	1,4	0,2
C9	42,01	14,00	538	474	0,3314	3,3	0,2
C10	42,00	14,00	457	278	0,3122	13,7	0,7
C11	40,89	14,00	437	405	0,3196	0,9	0,2
C12	40,90	14,00	570	517	0,3366	2,5	0,2
C13	40,70	14,00	548	504	0,3342	1,8	0,2
C14	40,76	14,00	583	554	0,3401	0,5	0,2
C15	42,01	14,00	508	386	0,3232	8,4	0,5
C16	40,88	14,00	558	522	0,3361	1,1	0,2
C17	40,82	14,00	538	455	0,3301	5,1	0,3
C18	40,84	14,00	481	422	0,3238	3,2	0,2

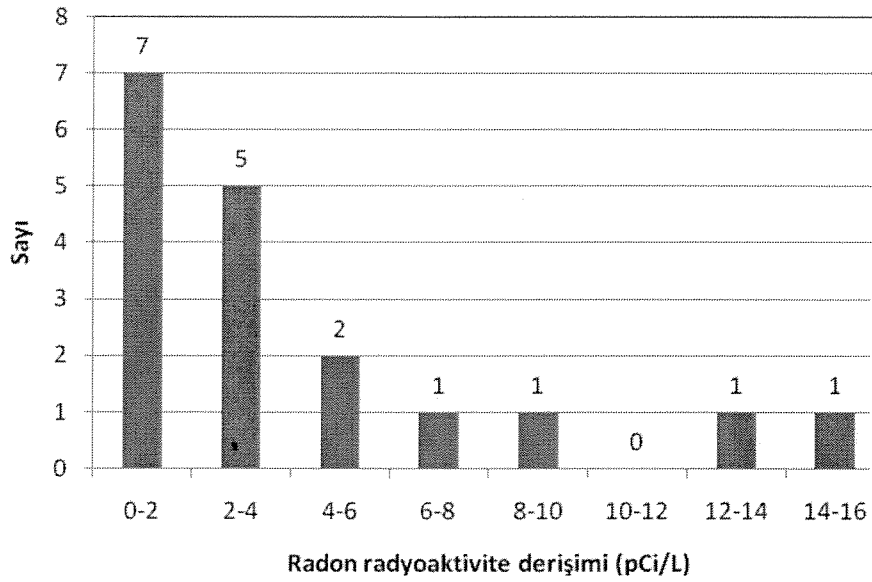
**Çizelge 13. Çiğdem Mahallesi- Karakusunlar-Çankaya  
Radon Ölçüm Sonuçları- Kış-2 2008**

Ev kodu	Gün	Gama	İlk gerilim (V)	Son gerilim (V)	Kalibrasyon faktörü	Radon aktivitesi derişimi (pCi/L)	(+/-) pCi/L
C1	21,12	14,00	475	460	0,3261	0,6	0,2
C2							
C3	21,14	14,00	525	505	0,3326	1,3	0,2
C4	21,14	14,00	395	343	0,3124	7,1	0,4
C5	21,14	14,00	413	380	0,3162	3,7	0,3
C6	21,08	14,00	409	386	0,3164	2,0	0,2
C7							
C8	21,12	14,00	435	413	0,3200	1,8	0,2
C9	20,99	14,00	474	448	0,3252	2,4	0,2
C10							
C11	21,14	14,00	405	391	0,3164	0,5	0,2
C12	21,14	14,00	517	481	0,3304	4,0	0,3
C13	21,14	14,00	504	480	0,3295	2,0	0,2
C14	21,12	14,00	554	540	0,3371	0,3	0,2
C15	20,98	14,00	386	312	0,3096	11,1	0,6
C16	21,14	14,00	522	503	0,3323	1,2	0,2
C17	21,04	14,00	455	407	0,3210	6,2	0,4
C18	21,14	14,00	422	389	0,3175	3,7	0,3

## 5.2. Sonuçların istatistiksel analizi

Bugüne kadar yapmış olduğumuz ölçümler sonunda toplam 161 oda-içi radon gazı radyoaktivite derişim değeri elde etmiş bulunmaktayız. Öncelikle iki mahallede, her mevsim için elde edilen radon radyoaktivitesi derişimlerinin frekans dağılımlarına bakılmıştır. Şekil 1 ve 2'de Çiğdem Mahallesi-Kış 1 ve Dostlar Mahallesi-İlkbahar verileri için çizilen frekans dağılımı verilmektedir. Bu dağılımlar bütün ölçümler için benzer şekildedir ve dağılımların normal dağılıma uymayabileceği gözlenmiştir.

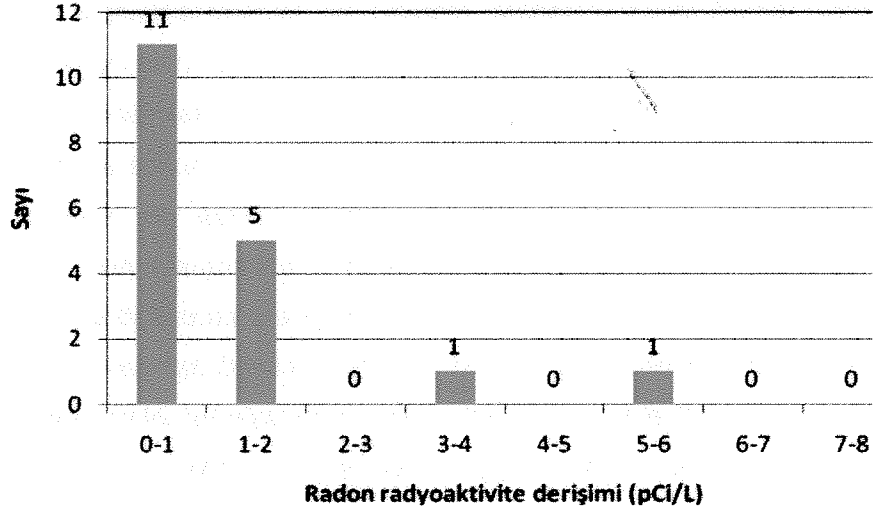
### Frekans Dağılımı Çiğdem Mah (Kış-1 2008)



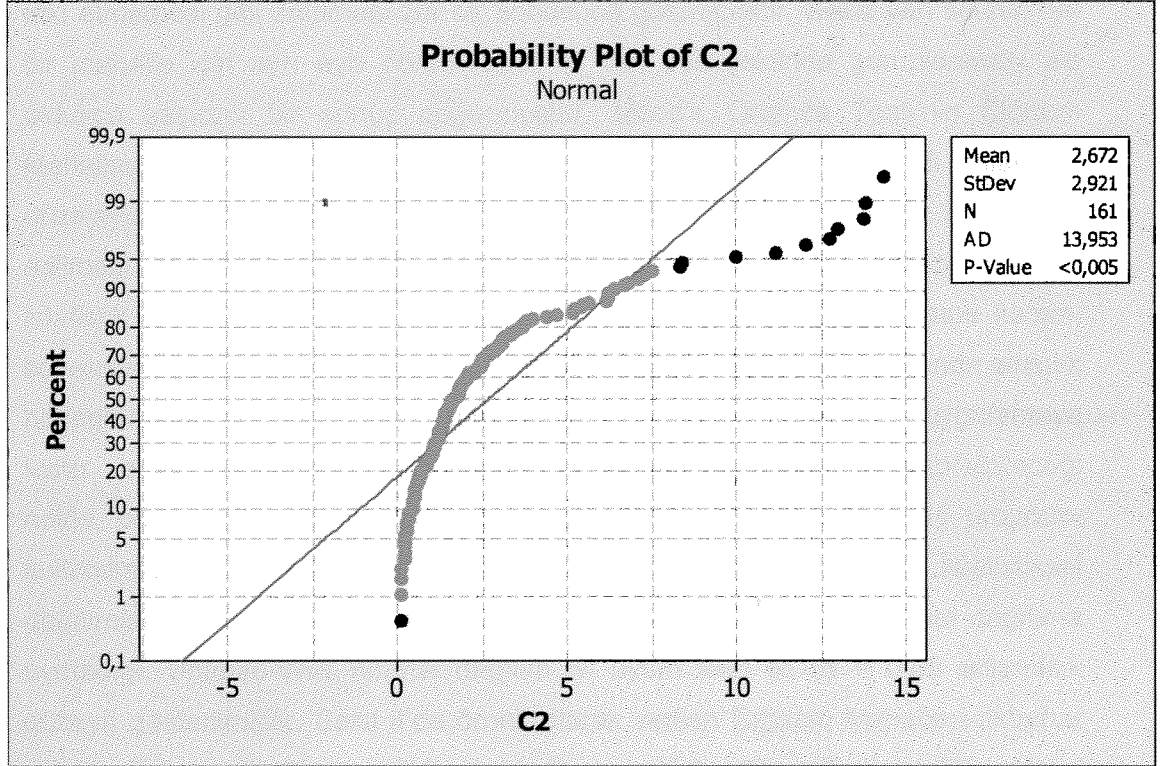
**Şekil 1. Çiğdem Mahallesi-Kış-1-2008 Radon Radyoaktivitesi derişimlerinin frekans dağılımı**

Bu nedenle bugüne kadar yapmış olduğumuz ölçümler sonunda elde etmiş olduğumuz toplam 161 oda-içi radon gazı aktivite değerlerine, MİNİTAB programı yardımıyla, öncelikle normal dağılım testi uygulanmıştır. Şekil 3'de verilen test sonucundan, verilerin normal dağılıma uymadığı görülmektedir.

## Frekans Dağılımı Dostlar Mah (ilkbahar 2007)

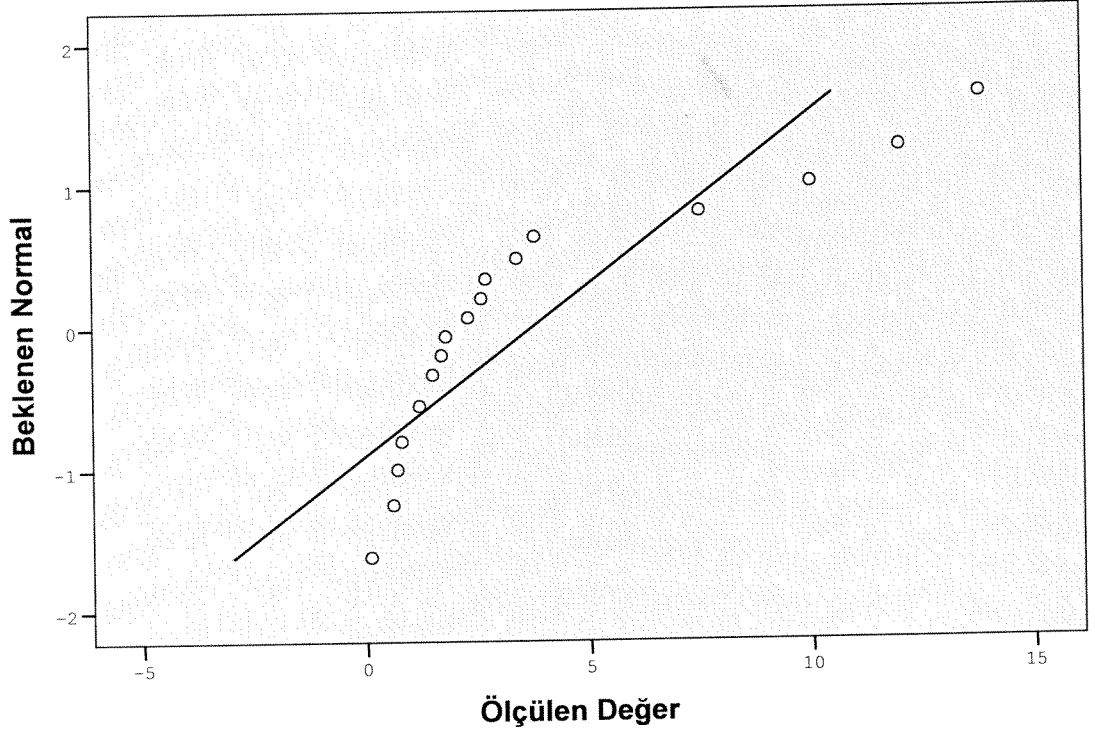


Şekil 2. Dostlar Mahallesi-İlkbahar 2007 Radon Radyoaktivitesi derişimlerinin frekans dağılımı



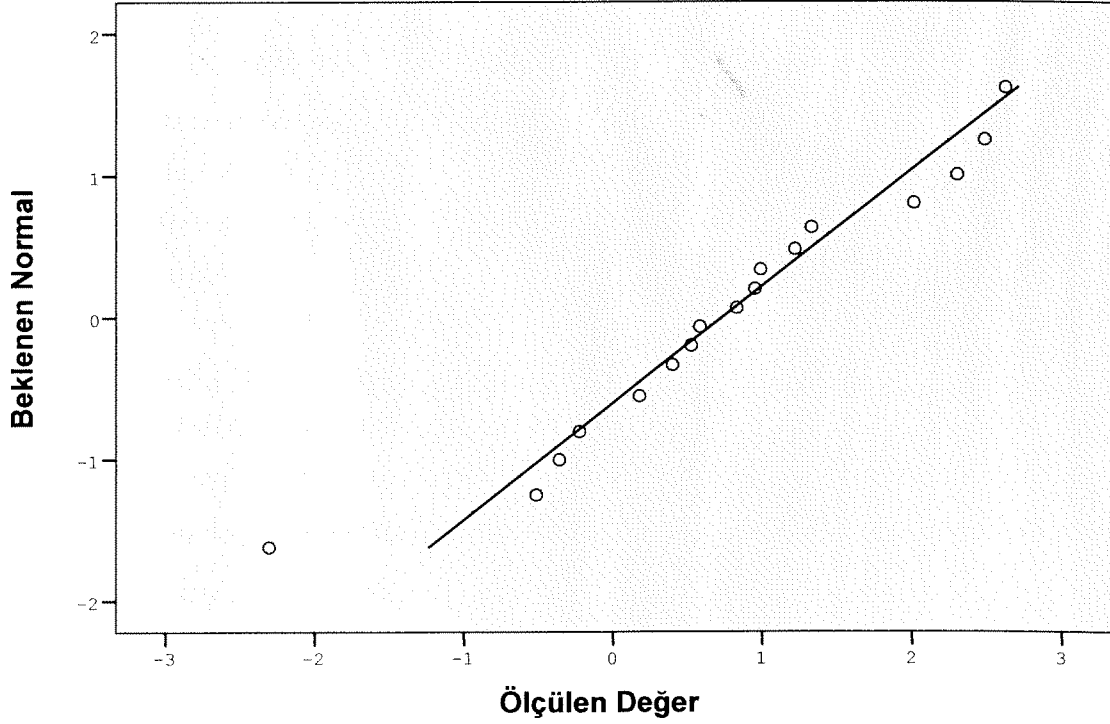
Şekil 3. Radon gazı derişimlerinin normal dağılım testi (Düz çizgi beklenen değer)

Bu nedenle sonuçların koşulsuz (non-parametric) istatistik testleriyle incelenmesi uygun olabilecektir. Bu testler içerisinde Mood's Ortanca (Median) Testi tercih edilmiştir. Çizelge 2'de verilen ODTÜ ve Çizelge 4,5 ve Çizelge 8- 13'de verilen Dostlar Mahallesi-Mamak ile Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya kapalı ortam radon gazı radyoaktivite derişimleri dokuz adet veri seti oluşturmaktadır. Bu dokuz adet veri seti birlikte değerlendirildiği zaman, Mood's Ortanca Testi  $H_0$  ret edilmesi sonucunu ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi veya %95 güvenilirlik düzeyi) vermektedir. Bu sonuç ortanca değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu şeklinde yorumlanmalıdır. ODTÜ ölçüm değerleri, bir iş yeri veri seti olması yanında farklı zaman aralığında elde edildiği için, diğerlerinden ayrılmıştır. Kalan sekiz adet veri seti Dostlar Mahallesi-Mamak ile Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya zemin ve/veya zemin altı katlardaki evlerde farklı mevsimlerde ölçülen değerlerdir. Bu sekiz adet veri setine uygulanan Mood's Ortanca Testi de  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $H_0$  ret edilmesi sonucunu vermiştir. Bu sonuç şaşırtıcı değildir. Şöyleki farklı zemin yapısı ve ev tipi olan iki mahallenin evlerinde farklı mevsimlerde ölçülen veri setlerinin aynı bir ortanca değerine uyan dağılımlarla verilmesi, bu verilere zemin yapısı, ev tipi ve mevsim v.s. gibi pek çok faktörün etki etmemesi gibi anlaması zor bir sonucuna götürecektir. Sekiz veri setinin her bir mahalle için ayrı ayrı dörder adet iki veri seti şeklinde gruplanması ise oldukça şaşırtıcı bir sonuç doğurmuştur. Mood's Ortanca Testi'nin Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya veri setine uygulanması  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyiyle  $H_0$  kabulü sonucunu verirken, Dostlar Mahallesi-Mamak için  $H_0$  ret edilmesi sonucunu vermiştir. Deney verilerimizin, koşulsuz (non-parametric) istatistik testleri yardımıyla daha detaylı incelenmesi mümkün olmasına karşın, bu verilere günümüzün daha güçlü istatistiksel yöntemleri olması yanında olasılık hesaplarının da mümkün kılan, parametrik istatistiksel yöntemleri uygulamaya karar verdik. Bu uygulamalar MINITAB programı yardımıyla da yapılabileceği halde, parametrik analizler için daha güçlü teknikler içeren SPSS 15 programı kullanılmıştır. Parametrik analiz için öncelikle veri setlerinin istatistiksel dağılımlarını belirlemek gerekir. Dokuz veri setinin hiç birinin normal dağılıma uymadığı, Shapiro-Wilk normal dağılım iyi uyum testi ile ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi) gösterilmiştir. Şekil 4'de örnek olarak verilen Çiğdem Mahallesi-İlkbahar veri setinin, uygulanan Q-Q (quantile-quantile) dilim-dilim grafiği görsel incelenmesinde, beklenen doğrusal bağlantıyı vermemesi nedeniyle normal dağılıma uymadığı görülmüştür.



**Şekil 4. Çiğdem İlkbahar veri setinin normal Q-Q grafiği**

Uygulanan bu test sonuçlarından veri setlerinin hiçbirin normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Bu verilerin ayrı ayrı lognormal dağılım gösterdikleri, Shapiro-Wilk normal dağılım iyi uyum testiyle ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi) en düşüğü  $P = 0.054$  ve en büyüğü  $P = 0.990$  olasılıklarla gösterilmiştir. Şekil 5'de yine örnek olarak verilen Çiğdem Mahallesi İlkbahar veri setine uygulanan Q-Q (quantile-quantile) dilim-dilim grafiği görsel incelemesi de bu dağılımın lognormal olduğunu desteklemiştir.



**Şekil 5. Çiğdem İlkbahar veri setinin lognormal Q-Q Grafiği**

Böylece radon gazı radyoaktivite derişimlerinin doğal logaritmaları alınarak elde edilen veri setlerine normal parametrik istatistiksel testlerin uygulanabileceği açıktır. Bu durumda toplam dokuz adet veri setine uygulanan tek yönlü ANOVA (analysis of variance) analizi bu setler için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $H_0$  reddedilmesi sonucunu vermiştir. ODTÜ veri setinin gruptan ayrılması  $H_0$  reddedilmesi sonucunu değiştirmemiştir. Böylece bu veri setlerinin ortalama değerlerinin arasında,  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde, önemli farklılıkların olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç verilere zemin yapısı, ev tipi ve mevsim v.s. gibi pek çok faktörün etki edebileceği şeklinde değerlendirilebilir. Her bir mahalle için dörder adet veri setinden oluşturulan iki guruba ayrı ayrı uygulanan tek yönlü ANOVA testi ise, nonparametrik analizde de gözlenen aynı şaşırtıcı sonucu vermiştir. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya veri seti,  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $H_0$  kabulü sonucunu verirken, Dostlar Mahallesi-Mamak için  $H_0$ 'nın ret edilmesi sonucunu vermiştir. Bu sonuçlar Çiğdem Mahallesi-Çankaya'daki modern binalardaki pencere, duvar ve kapı yalıtımı çok güçlü evlerde, zeminden sızan radon gazının kapalı ortamda daha çok toplandığı ve



mevsimsel değişim göstermediği şekilde değerlendirilebilir. Dostlar Mahallesi-Mamak'taki gecekondulu tipi evlerde ise, gerek radon gazı radyoaktivite derişiminin düşük olması ve gerekse mevsimsel değişim göstermesi, bu evlerdeki pencere, duvar ve kapı yalıtımının yetersiz olmasına bağlanabilir. Son olarak Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya veri setleri karşılıklı olarak uygulanan Tukey's HSD testleri bu verilerin ortalama değerleri arasında önemli bir fark olmadığı sonucunu ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi) vermiştir. Böyle bir sonuç bu mahalle verilerinin tek yönlü ANOVA testi sonucunu da desteklemektedir. Dostlar Mahallesi-Mamak verilerine karşılıklı olarak uygulanan Tukey's HSD testleri ise bu ortalamalar arasında anlamlı farklar olduğunu ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi) göstermiştir. Dostlar Mahallesi-Mamak ve Çiğdem Mahallesi-Çankaya verilerinin mevsimsel olarak karşılaştırılması, iki mahalle ilkbahar verileri arasında anlamlı bir fark olmasına karşın, sonbahar ve kış verileri arasında anlamlı bir fark olmadığını ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi) göstermiştir.

### **5.3. Sonuçların karşılaştırılması**

Çizelge 14'de dokuz veri seti ( ODTÜ, Dostlar Mahallesi-Mamak, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya) için bulunan ortalama radon radyoaktivite derişimleri ile standart sapma değerleri, geometrik ortalama değerleri ve ortanca değerleri verilmektedir. Parantez içindeki değerler ölçüm yapılan ev sayılarını, parantezlerin yanında verilen sayılar bu yerleşkelerde yapılan radon ölçüm sürelerini gün olarak vermektedir.

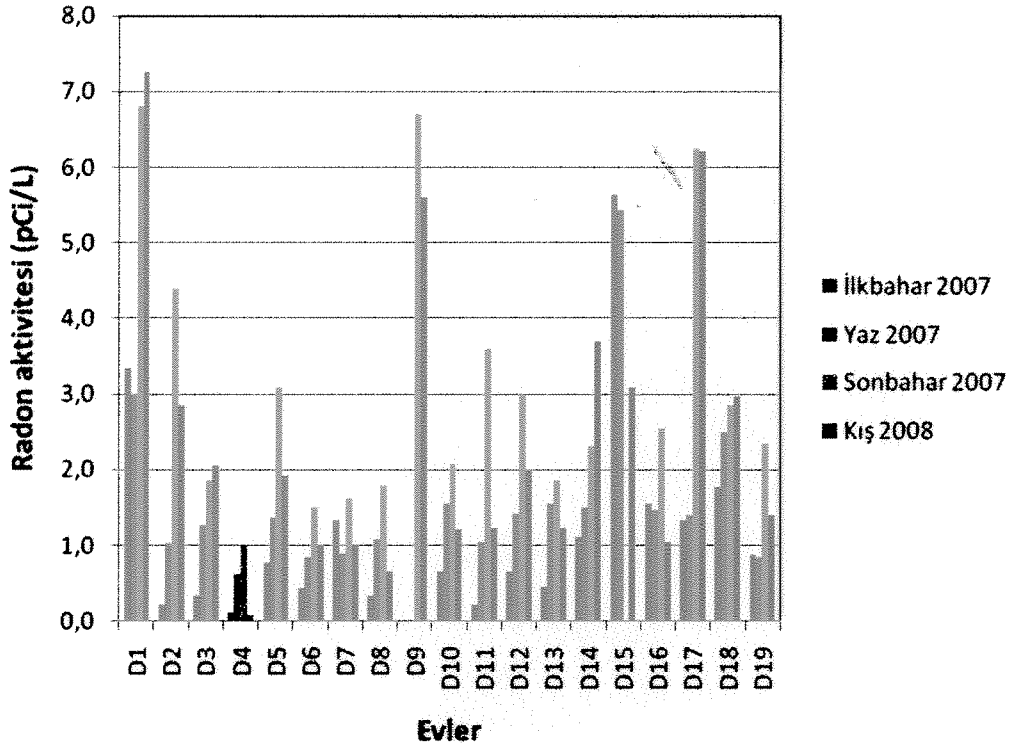
**Çizelge 14. 2007 İlkbahar-2008 Kış tarihlerinde ölçülen oda-içi radon gazı radyoaktivite derişimleri ortalama ve ortanca değerleri**

Ölçüm Yeri ve Mevsimi	Ortalama±Std. Sapma	Geometrik Ortalama	Ortanca
Dostlar-Mamak İlkbahar 2007(18)/51	1.2±1.4	0.7	0.9
Çiğdem-Karakusunlar-Çankaya İlkbahar-2007 (18)/32	3.8±4.3	2.1	1.8
Dostlar-Mamak Yaz-2007(18)/124	1.6±1.1	1.4	1.4
Dostlar-Mamak Sonbahar-2007(18)/104	3.1±1.8	2.7	1.4
Çiğdem-Karakusunlar-Çankaya Sonbahar-2007 (18)/45	4.0±3.8	2.7	2.3
Dostlar-Mamak Kış-2008(18)/63	2.4±2.0	1.7	1.9
Çiğdem-Karakusunlar-Çankaya Kış1-2008 (18)/41	4.1±4.2	2.6	2.3
Çiğdem-Karakusunlar-Çankaya Kış2-2008(14)/21	3.2±3.0	2.1	2.0
ODTÜ Yerleşkesi İlkbahar(19)/9	1.0±0.9	0.6	0.5

### **5.3.1. İki semtte ölçülen radon derişilerinin mevsimlere göre değişimlerinin karşılaştırılması**

Şekil 6'da Dostlar Mahallesi-Mamak'daki evlerde ölçülen radon radyoaktivite derişimleri 2007 yılı ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimleriyle, 2008 kış mevsimleri için verilmektedir. Bu değerler içerisinde ilkbahar değerlerinin anlamlı olarak düşük ve sonbahar değerlerinin ise yüksek olduğu belirlenmiştir.

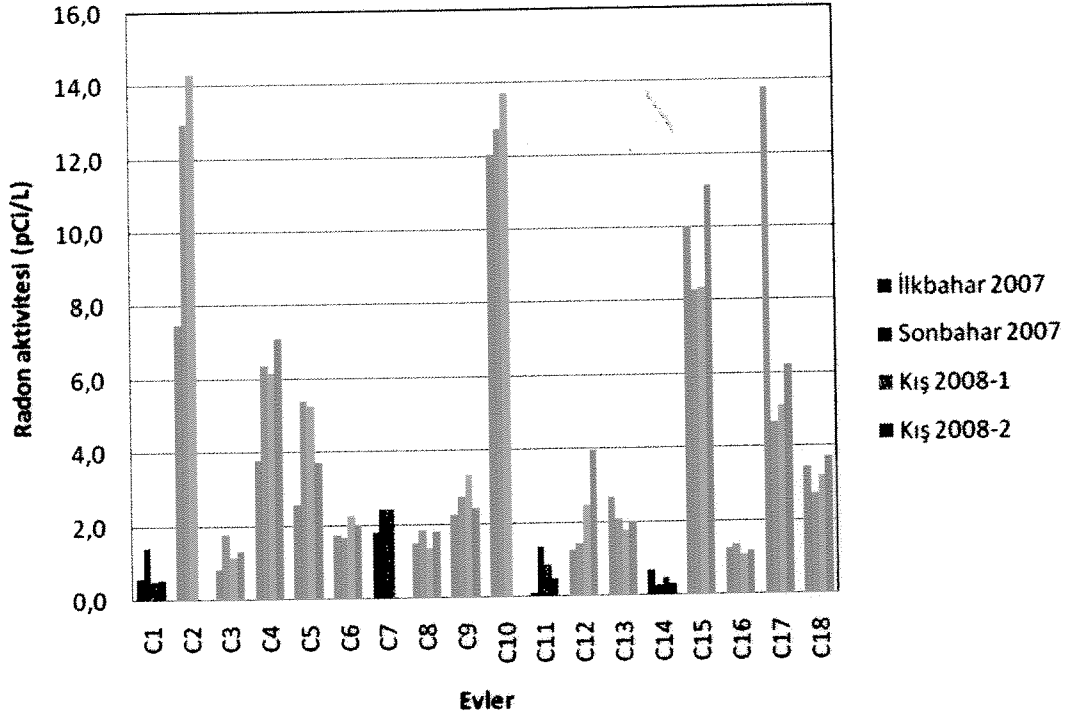
## DOSTLAR MAHALLESİ



**Şekil 6. Dostlar Mahallesi-Mamak Radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimi**

Şekil 7'de mevsimlere göre radon radyoaktivitesi derişim dağılımı Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya'daki evler için verilmektedir. Bu semtte 2 evde radon radyoaktivite derişimlerinin müsaade edilen 10.8 pCi/L değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bu semtte ölçülen değerlerin mevsime bağımlı olmadığı ve her mevsim yüksek olduğu saptanmıştır.

## ÇİĞDEM MAHALLESİ

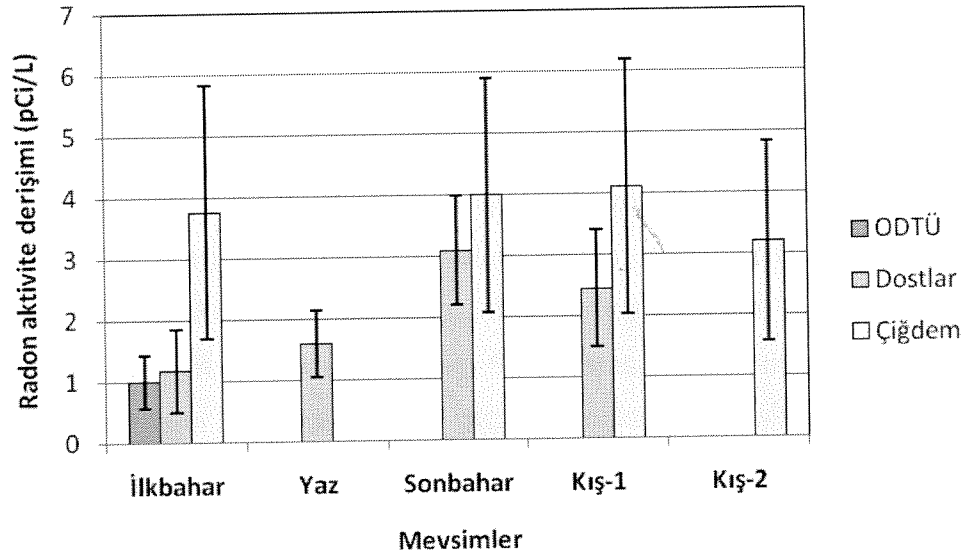


**Şekil 7. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya Radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimi**

Şekil 8'de ODTÜ ve iki semt ortalama radon radyoaktivite derişimleri %95 güvenilirlik aralıklarıyla birlikte karşılaştırılmıştır. Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya semtindeki bazı evlerde radon derişimleri yüksek olduğundan ve elektret gerilimleri hızlıca düşüp kış aylarında ölçüm yapılamıyacağı düşünöldüğünden yaz ölçümleri yapılmamıştır.

Şekil 8'de elde ettiğimiz tüm sonuçlar görsel olarak verilmektedir.

- Aynı semt ve mevsimde ölçölen ODTÜ ve Çiğdem değerleri arasında anlamlı bir fark gözlenmektedir. Bu fark ODTÜ yerleşkesinde birimlerin iyi bir zemin betonu üzerinde konumlanmaları yanında, ofis kullanımı nedeniyle kapılarının genellikle açık olmaları olarak düşünölebilir.
- Çiğdem değerleri genellikle daha yüksek olup mevsimsel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir.
- Dostlar değerleri ise daha düşük olup ilkbaharda düşük ölçölen değerin sonbahara kadar anlamlı olarak arttığı görölmektedir.



**Şekil.8. ODTÜ, Dostlar Mahallesi-Mamak ve Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar'da ölçülen radon radyoaktivite derişimlerinin mevsimlere göre değişimlerinin karşılaştırılması. Her değer için %95 güvenilirlik aralığı hata çizgileri ile verilmiştir.**

### 5.3.2. Bu çalışmada ölçülen radon gazı radyoaktivite derişimlerinin diğer çalışmalarıyla karşılaştırılması

Çizelge 15'de bu proje kapsamında bugüne kadar ölçülen radon gazı radyoaktivite derişimleri, Türkiye'nin farklı illerinde ölçülen literatür değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Ülkemizde ilk defa kullanılan elektret-iyon odası detektörleriyle elde ettiğimiz radon gazı radyoaktivite derişim değerlerinin, iz detektörleri yardımıyla elde edilen diğer değerlerle karşılaştırılabilir olduğu görülmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu bünyesinde iz detektörleri yardımıyla yapılan radon çalışmalarının 2004 yılında yayınlanan sonuçları [4] 27 yerleşim bölgesi aritmetik ortalaması olarak 0.9 pCi/L (35 Bq/m<sup>3</sup>) değerini vermektedir. Bu değerin oldukça küçük olması şehirlerdeki ölçümlerin çok katlı binaların her kattaki yapılmış olmasına bağlanabilir. Aynı durum Vaizoğlu ve Güler çalışması[11] içinde geçerlidir. Bu çalışmalarında ölçüm yapılan evlerin yalnızca %38.1' i zemin ve zemin altı katlardadır. Bizim çalışmamızda ise her bir veri seti için zemin ve zemin altı katlar özellikle seçilmiş, böylece iki mahalle karşılaştırılmasının daha sağlıklı yapılabilmesi yanında radon gazı radyoaktivite derişiminin binalar için olası en büyük değerleri belirlenmiştir. Vaizoğlu ve Güler'in çalışmalarında[11] Mamak Belediye sınırları içerisinde, çoğunluğu gecekondu tipi evlerde kış aylarında ölçülen radon radyoaktivitesi derişimi 2.5±2.6 olarak verilmektedir. Bu değer çalışmamızdaki karşılığı olan 2.5±2.0 değeriyle tam bir uyum içerisinde. Ne varki yine aynı çalışmada Çankaya

ilçesi için verilen değer  $0.7 \pm 0.8$  olup bizim değerlerimizin ( $4.1 \pm 4.2$  ve  $3.2 \pm 3.0$ ) çok altındadır. Bu farkın bir kısmı çalışmamızda seçilen evlerin zemin ve zemin altı katlarda olmasıyla ilişkilendirilebilirse de, daha da önemli bir kısmının pencere, duvar ve kapı yalıtımının yaygınlaşmasına bağlanmalıdır. Şöyleki daha önceki çalışmada ölçüm yapılan 191 evin yalnızca 7'sinde pimapen çerçeve ve 53'ünde çift cam kullanılmış olmasına karşın, bizim çalışmamızda Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya'daki modern evlerin tamamı pimapen çerçeveli ve çift camlıdır. Toplam 55 ev arasında yalnızca iki evde tavsiye edilen değerlerin üzerinde radon gazı radyoaktivite derişimi ölçülmesi ve bu evlerin modern evler arasında olması nedeniyle, ısı yalıtımı yönünden güçlendirilen evlerin radon riskini arttırdığı söylenebilir. Ayrıca bu iki evde zemin şap üzerine döşenmiş parke olup, zeminde çatlaklar olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar özellikle modern binalarda tavsiye edilen radon derişimini aşan evlerin belirlenmesi için, ölçümlerin zemin ve zemin altı katlarda yapılması gereğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalarımız sonucunda radon derişimi yüksek olan evlerin belirlenebilmesi için şöyle bir yöntem önerebiliriz. Elektret-iyon odası detektörleriyle bir kaç günlük ölçüm sonrasında (KKY yöntemi) radon derişimi yüksek olan evler belirlenir ve bu evlerdeki kesin radon derişimi elektret-iyon odası detektörlerin KUY veya UKY yöntemleriyle kullanılması sonrasında bulunur.

**Çizelge 15. Bu çalışmada ölçülen oda-içi radon gazı radyoaktivite derişimlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması**

Radon çalışmaları	Radon aktivite derişimi(pCi/L)
ODTÜ Yerleşkesi*	1.0(0.1-3.4)
Dostlar-Mamak- İlkbahar-2007*	1.2(0.1-5.6)
Dostlar-Mamak-Yaz-2007*	1.6(0.6-5.4)
Dostlar- Mamak -Sonbahar-2007*	3.1(1.0-6.8)
Dostlar-Mamak -Kış-2008*	2.5(0.1-7.3)
Karakusunlar-Çankaya- İlkbahar-2007*	3.8(0.1-13.8)
Karakusunlar-Çankaya- Sonbahar-2007*	4.0(0.3-13.0)
Karakusunlar-Çankaya- Kış1-2008*	4.1(0.5-14.3)
Karakusunlar-Çankaya-Kış 2-2008*	3.2(0.3-11.1)
İstanbul (Köksal et.al. 1993[13])	(0.3-7.0)
Isparta(Ulug et.al. 2004[18])	4.4(2.1-7.4)
Ankara ( Vaizoğlu ve Güler 1999[11])	1.0(0.05-11.0)
İzmir (Erees ve Yener 1999[14])	(1.4-2.3)
Tekirdağ (Yarar et. al. 2005[12])	2.4
Dikili(Yarar et. al. 2005[15])	(0.8-7.6)
Manisa (Erees et. al. 2006[16])	2.6(1.3-4.0)
Kastamonu (Kam and Bozkurt 2007[17])	2.4(0.8-4.8)

Kars (Çelik et.al. 2007[21])	3.1(0.5-16.2)
Giresun (Çelik et. al. 2008[22])	3.5(1.4-9.7)
Adana-Kış (Değerlier et.al. 2008[20])	1.3(0.5-2.6)
Adana-Yaz (Değerlier et.al. 2008[20])	0.7(0.1-1.7)

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar  
parantez içindeki değerler en küçük ve en büyük sonuçları göstermektedir.

## 6. SONUÇ

Bu proje kapsamında satın alınan elektret-iyon odası detektörleri ve gerilim ölçme düzenekleri ile Ankara'da ODTÜ (işyeri), Dostlar Mahallesi-Mamak (gecekondu) ve Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya (modern) toplam 161 radon radyoaktivitesi derişimi ölçümü yapılmıştır. ODTÜ Yerleşkesi içinde bir değer ölçülürken, diğer 2 semtte mevsimsel sonuçlar ölçülmüştür. Bulunan değerler Çiğdem Mahallesi'ndeki 2 evde Türkiye için tavsiye edilen 10.8 pCi/L değerinden yüksek bulunmuştur. Elimizde az sayıda detektör olması 2 elektretin ilk ölçüm sırasında gerilimlerinin ölçülememesi nedeniyle ölçümler kısıtlı sayıda evde yapılmıştır. Ancak elektret-iyon odası detektörlerinin kullanımı Türkiye'de ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. Çalışmada zaman zaman ölçüm yapmaya gidildiğinde ev sahibinin evde olmaması dışında önemli bir sorun yaşanmamıştır. Gelecekte çok fazla sayıda elektreti, daha kısa süreli kullanıp çok daha fazla sayıda semtte ve evlerde radon radyoaktivite derişimi ölçümü yapılması yararlı olur. Elektretler kullanılarak radon radyoaktivitesi derişimini ölçmek oldukça kısa bir sürede yapılabilir. Bu çalışmada ölçüm yapılan kapalı mekanlarda gama doz hızı değeri ölçümü belli bir belirsizliğe neden olmaktadır. Gama dozu hız ölçümleri tüm mekanlarda ayrı ayrı ölçülmemiş ama iki değişik semtte ölçülmüştür. Hesaplamalarda gama doz hızı tüm yerleşkeler için 14.0 µR/saat olarak alınmıştır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] UNSCEAR, 1977,1982, 1988, 1993, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Reports to General Assembly, United Nations, New York.
- [2] GEORGE A. C. Radioactivity in the Environment, Volume 7, Elsevier 2005. 3-11
- [3] The Management of Health and Safety at Work Regulations 1999, Statuary Instrument 1999, No. 3242, (London: HMSO)
- [4] [http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/analiz\\_kapaliortam.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/analiz_kapaliortam.html), Haziran-2008
- [5] ENNEMOSER, O., Ambach, W., Brunner, P., Schneider, P., Oberaigner, W., The Lancet, 1993, 314, 828-829.
- [6] NEUBERGER, J.S., Health Phys., 1992, 63, 503-509.
- [7] SCHOENBERG, J.B., Klotz, J.B., Wilcox, Nichols, H.B., G.p., Gil-der-Real, M.T., Sternhagen, A., Mason, T.J., Cancer Res., 1990, 50, 6520-6524.
- [8] PERSHAGEN, G., Liang, Z.H., Hrubec, Z., Svensson, C., Boice, J.R.Jr. , Health Phys., 1992, 63, 179-189.
- [9] PERSHAGEN, G., Axelson, O., Clevenjö, B., Damber, L., Desai, G., Enflo, A., Lagerda, F., Mellender, H., Svartengren, M., Swedjemark, G.A., Akerblom, G., IMM-Rapport 2/93, Stockholm.
- [10] GÖKMEN, A., Gökmen, İ.G., Hung, Y.T., 'Radon Pollution Control', Advanced Air and Noise Pollution Control, Handbook of Enviromental Engineering, Vol 2, Humana Press, 335-57.
- [11] VAİZOĞLU, S.A., Güler, Ç., Indoor Built. Env., 1999, 8, 327-31
- [12] YARAR Y., Günaldı, T., Kam, E., International Congress Series, 2005, 1276, 385-86
- [13] KÖKSAL E: M., Çelebi N., Özçınar B., Health Phys., 1993, 65(1), pp. 87-88
- [14] EREES F. S., Yener G., Fundamentals for the Assessment of Risks from Environmental Radiation, 1999, Kluver Academic Publishers, pp. 65-68
- [15] YARAR Y., Kam E., Int. Congr. Ser. 2005, 1276, pp. 387-389
- [16] EREES F. S., Akozcan S., Parlak Y., Çam S., Radiat. Meas. 2006, 41, pp.598-601
- [17] KAM E., Bozkurt A., Applied Radiation and Isotopes, 2007,64(4), pp. 440-444
- [18] ULUĞ A., Karabulut M.T., Çelebi N., Radiat. Tech. & Radiat. Prot., 2004, 19(1), pp. 46-49



- [19] KOKSAL E.M., Çelebi N., Ataksor B.,A. Ulug M., Taşdelen, Kopuz G., Akar B., Karabulut M.T., J. Radioanal. Nucl. Chem., 2004, 259(2) pp. 213-216
- [20] DEĞERLİER M., Çelebi N., Radiation Protection Dosimetry, 2008 pp. 1-6
- [21] ÇELİK N., Poffijn A., Çevik U., Schepens L., Radiation Protection Dosimetry, 2007, 128(4) pp. 432-436
- [22] ÇELİK N., Çevik U., Çelik A., Küçükömeroğlu B., J. of Environ. Radioactivity, 2008, 99, pp. 1349-1354
- [23] KOTRAPPA P., Dempsey, J.C., Hickey, J.R., Stieff, L.R. Health Phys., 1988, 54(1) pp. 47-56
- [24] DENMAN, A.R., Groves-Kirkby, C.J., Phillips, P.S., Crockett, R.G.M., Woolridge, A., Gillmore, G.K., J. of Environ. Radioactivity, 2005.
- [25] [24] KOTRAPPA P., Dempsey, J.C., Ramsey, R.W., Stieff, L.R. Health Phys., 1990, 58(4) pp. 461-7
- [26] KOTRAPPA P., Dempsey, J.C., Ramsey, R.W., Stieff, L.R. Health Phys., 1992, 62(1) pp. 82-6
- [27] E-perm System Manual, Rad Elec Inc. 5714-C Industry Lane Frederick, MD 21704 USA

## 8. EKLER

### Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya'da Ölçüm Yapılan Evler

Ev kodu	Elektret no	Ev sahibi	Adres
C1	SCS 328	DURMUŞ Bulut	324 Sok Miltaş Apt 11
C2	SCS 381	CONBA Ercan	332 Sok Sedir Sitesi 3/41
C3	SCS 311	CEYHAN Ahmet	Dünya 1 Sitesi B3 Blok
C4	SCS 456	DEMİRCİ Şahinde	ODTU Sitesi 326 Sok 19
C5	SCS 386	SERTEL Davut	Güven Şeker Sitesi 338 Sok E Blok No 6
C6	SCS 398	KARABÖLÜK Ramazan	İşkent Sitesi 29 Cad
C7	SCS 394	ALTUNKÖK Veli	Dünya 1 Sitesi C82 Blok Daire 48
C8	SCS 420	ŞENYÜZ İskender	As Emek Sitesi 26 Cad 3/55
C9	SCS 338	ÖZBAKAN Mustafa	Çamlık Sitesi No 64
C10	SCS 440	BALTA Kasım	Çamlık Sitesi No 242
C11	SCS 337	KAÇAN Mehmet	25 Cadde 371 Sok 19B/C
C12	SCS 305	ORHAN Ramazan	309 Sok Ankara Evleri A Blok
C13	SCS 317	ÖZKAN Rana	ODTU Sitesi 326 Sok
C14	SCS 364	SÖNMEZ Elo	368 Sok No 10
C15	SCS 438	KILDIR Mehmet	Çamlık Sitesi
C16	SCS 388	SARIASLAN Mahmut	Ebru 2 Sitesi F Blok No 46
C17	SCS 426	İLBASIN Uğur	Park Sitesi Gül Blok
C18	SCS 385	BARAN Yılmaz	337 Sok No 7 Tunahan Ap

### Dostlar Mahallesi-Mamak'da Ölçüm Yapılan Evler

Ev kodu	Elektret no	Ev sahibi	Adres
D1	LM 5237	Muhtarlık	Bedrettin Cömert Cad No 213
D2	LM 5301	YANAR Gülsüm	Bedrettin Cömert Cad No 319 B
D3	LM 5272	ATİK Ayten	102 Sok No 18
D4	LM 5347	BUYRUK Esmâ	98 Sok No 34
D5	LM 5287	DEMİR Nevruz	105 Sok No 7
D6	LM 5209	AVCU Saniye	109 Sok No 3
D7	LM 5327	ERİKÖZ Meryem	114 Sok No 18
D8	LM 5256	ERKAN Kavak	112 Sok No 22
D9	LM 5351	BOZKURT Binali	118 Sok No 3
D10	LM 5374	İLGÜZ Hüseyin	85 Sok No 28
D11	LM 5212	LAÇIN Gülşeref	86 Sok No 1
D12	LM 5196	AKKUŞ Lemine	84 Sok No 85
D13	LM 5250	ÇİNİ Hüseyin	83 Sok No 58
D14	LM 5386	ARACI Cemile	69 Sok No 13
D15	LM 5322	AKYILDIZ Ruşen	76 Sok No 87
D16	LM 5367	ARGUN Fahrettin	79 Sok No 1
D17	LM 5334	YILDIZ Hediye	72 Sok No 24
D18	LM 5355	BOZKURT Elif	70 Sok 6A
D19	LM 5321	ATAY Suat	94 Sok No 5

## PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

<b>Proje No:105T441</b>
<b>Proje Başlığı: Ankara Evlerinde Radon Radyoaktivitesi Ölçümleri</b>
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:Prof. Dr. Mehmet Kıldır, Prof. Dr. Ali Gökmen, Prof. Dr. İnci Gökmen</b>
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü, 06531, Ankara</b>
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Mayıs 2006-Mayıs 2008</b>
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> Bu çalışmada Ankara Evlerinde Radon Radyoaktivitesi, ülkemizde ilk defa kullanılan elektret-iyon odası detektörleri yardımıyla, ölçülmüştür. Bu çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi yerleşkesinde, Çiğdem Mahallesi-Karakusunlar-Çankaya ve Dostlar Mahallesi-Mağmak semtlerinde radon radyoaktivitesi ölçümleri yapılmıştır. Bir sene süresince yapılan ölçümler, kapalı ortam radon gazı derişiminin mevsimsel değişimi yanında, farklı mahalle ve ev tiplerine (gecekondu-modern) bağlı değişimleri de vermiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:Radon, elektret, kapalı mekan, Ankara</b>
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b>