

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**İZMİR-URLA VE ÇEVRESİNDEKİ SİSMİK  
AKTİVİTENİN  
SÜREKLİ RADON ÖLÇÜMERİNE OLAN ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Kıvanç EKİN**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ**

**Nükleer Bilimler Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu:622.01.01**

**Sunuş Tarihi:03.10.2013**

**Bornova-İZMİR**

**2013**



Sayın **Kıvanç EKİN** tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak sunulan “**İzmir-Urla ve Çevresindeki Sismik Aktivitenin Sürekli Radon Ölçümlerine Olan Etkisinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03.10.2013 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

<b>Jüri Başkanı</b>	:Doç.Dr. Müslim Murat SAÇ
<b>Raportör Üye</b>	:Yard.Doç.Dr. Coşkun HARMANŞAH
<b>Üye</b>	:Yard.Doç.Dr. Mehmet BAYBURT



**ÖZET****İZMİR-URLA VE ÇEVRESİNDEKİ SİSMİK AKTİVİTENİN  
SÜREKLİ RADON ÖLÇÜMLERİNE OLAN ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

EKİN, Kıvanç

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ

Ekim 2013, 78 sayfa

Depremler ciddi can ve mal kayıplarına neden olan önemli doğal afetlerden biridir. Bu nedenle depremlerin önceden tahmin edilerek can kayıplarının önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik bir çok araştırma yapılmaktadır. Toprak gazındaki radon konsantrasyon değişiminin izlenmesi bu yöntemlerden biridir. Bu çalışmada LR 115 katı hal iz kazıma dedektörleri ve sürekli radon ölçüm sistemi verileri kullanılarak Urla ve çevresindeki yer kabuğu hareketlerinin radon çıkışlarına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca, çalışma bölgelerindeki istasyonlardan toplanan toprak örneklerindeki fiziksel ve kimyasal özelliklere de bakılmıştır. Toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  analizleri NaI (TI) gama detektör sistemi ile yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen veriler ile bölgede meydana gelmiş olan sismik aktiviteler karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Radon, Urla, Deprem



**ABSTRACT****THE STUDY ON THE SEISMIC ACTIVITY IN İZMİR-URLA AND  
AROUND THEM AND ITS EFFECT ON THE PERMANENT RADON  
MEASURE**

EKİN, Kıvanç

Post-graduate Thesis, Department of Nuclear Sciences

Thesis Consultant: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ

October, 2013; 78 pages

Earthquakes are one of the natural disasters which cause losing a serious amount of life and property. That's why, to predict earthquakes before has a great importance to prevent loss of life. Many investigations have been made for this purpose. Monitoring of changes in the soil gas radon concentration is one of them. In this study, by using LR 115 solid state track etched detectors and data of permanent radon measurement system, it has been examined crust movements of Urla and its surround. Also it has been checked up the physical and chemical characteristics of collected soil samples. In soil examples, the analyses  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  have been made with NaI(Tl) gamma detector system. As a result of the investigations, obtained data and seismic activity in the region were compared and the relationship between them were determined.

**Keywords:** Urla, Radon, Earthquake.



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, çalışmamın her aşamasında benimle ilgilenen, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca bana destek olan Sayın Ar. Gör. Dr. Mutlu İÇHEDEF'e, Sayın Doç. Dr. Berkay CAMGÖZ'e, Ar. Gör. Caner TAŞKÖPRÜ'ye ve enstitümüzün tüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bana her türlü maddi ve manevi desteği sunan sevgili aileme ve Sayın S.Şule AKSAKAL'a, yakın dostlarım Sayın Sonat SOMALIOĞLU'na ve Sayın Emre CABI'ye şükranlarımı sunarım.



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler .....	2
1.1.1 Depremler ve Oluşumları .....	2
1.1.2 Radon ve Deprem İlişkisi .....	3
1.1.3 Radon Gazı ve İzotopları.....	4
1.2 Radon Gazının Oluşumu ve Yerkabuğundaki Hareketi .....	7
1.2.1 Radon Gazının Oluşumu .....	7
1.2.2 Radonun Yerkabuğundaki Hareketi .....	8
1.2.3 Radon Gazının Göçü ve Mekanizmaları .....	10
1.3 Radon Gazının Ölçüm Metodları .....	11
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	18
3. MATERYAL VE METOD .....	21

**İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa

3.1 Ege Bölgesi'nin Tektonik Yapısı.....	21
3.2 Çalışma Bölgesinin Tektonik Yapısı .....	22
3.3 Arazive Etüd Çalışmaları.....	25
3.4 Çalışmada Kullanılan Radon Ölçüm Yöntemleri .....	26
3.4.1 Katı Hal İz Kazıma Dedektör Yöntemi.....	27
3.4.2 Sürekli Radon Ölçüm Sisteminin Çalışma Bölgesine Kurulması.....	31
3.5 Toprak Örneklerinin $^{40}\text{K}$ , $^{232}\text{Th}$ , ve $^{226}\text{Ra}$ Radyonüklid İçerik Hesabı .....	33
3.6 Çalışmada Değerlendirilen Depremler.....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	36
4.1 Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	36
4.2 Toprak Örneklerinin $^{40}\text{K}$ , $^{232}\text{Th}$ , ve $^{226}\text{Ra}$ Radyonüklid Değerleri.....	38
4.3 Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değişimleri .....	42
4.3.1 Katıhal İz Kazıma Dedektör Yöntemi Sonuçları .....	42
4.3.2 Online Sistem Sürekli Radon Sonuçlarının Aylık Grafikleri.....	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
6. KAYNAKLAR .....	74

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Aktinon'a ait bozunum şeması .....	5
1.2 Toron'a ait bozunum şeması .....	5
1.3 Radon'a ait bozunum şeması .....	6
1.4 Geri tepme olayı .....	9
1.5 Lucas Hücresi .....	12
1.6 Alfa taneciklerinin polimer moleküllerdeki deformasyonu .....	14
1.7 Polimer dedektörlerde iz kazıma ile gizli izlerin belirginleştirilmesi .....	14
1.8 Alphameter 611 sürekli Radon ölçüm cihazı .....	15
1.9 Alphameter 611 ölçüm sistemi .....	16
1.10 Çalışmada kullanılan sürekli Radon ölçüm sistemi .....	17
3.1 Anadolu Levhasının hareketi .....	21
3.2 Çalışma bölgesinin uydu görüntüsü .....	22
3.3 İBTZ içindeki Urla Havzasının konumunu gösteren jeoloji haritası .....	23
3.4 Urla ve çevresinin aktif fayları .....	24
3.5 Özbek bölgesi istasyonlarının uydu görüntüsü .....	25
3.6 Yağcılar Bölgesi istasyonlarının uydu görüntüsü .....	26

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.7 Zeytineli Bölgesi istasyonlarının uydu görüntüsü.....	26
3.8 Çalışmada Kullanılan Leica DM 750 Optik Mikroskop .....	27
3.9 LR 115 film dedektörde bir bölgenin görüntüsü.....	28
3.10 Corel Paintshop yazılımı kullanılarak yapılan rötuşun görüntüsü .....	29
3.11 İz sayılarının SCION yazılımı tarafından elde edilmiş görüntüsü .....	30
3.12 Sıvı <sup>226</sup> Ra standartlı kalibrasyon düzeneği .....	30
3.13 Sürekli Radon ölçüm sisteminin bulunduğu bölgenin uydu görüntüsü .....	31
3.14 Sürekli Radon ölçüm sisteminin kurulması .....	32
3.15 Radon ölçüm verilerinin kayıt edildiği internet sayfası .....	32
3.16 İnternet ortamına aktarılan radon sonuçlarının grafiği.....	33
3.17 Örneklerin gama spektroskopisindeki spektrum görüntüsü .....	33
3.18 Gama spektroskopi sisteminin görüntüsü .....	34
4.1 Urla-Özbek Bölgesinin <sup>226</sup> Ra dağılım grafiği .....	39
4.2 Urla-Özbek Bölgesinin <sup>232</sup> Th dağılım grafiği .....	39
4.3 Urla-Özbek Bölgesinin <sup>40</sup> K dağılım grafiği .....	40
4.4 Urla-Yağcılar Bölgesinin <sup>226</sup> Ra dağılım grafiği .....	40

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5 Urla-Yağcılar Bölgesinin $^{232}\text{Th}$ dağılım grafiği.....	40
4.6 Urla-Yağcılar Bölgesinin $^{40}\text{K}$ dağılım grafiği .....	41
4.7 Urla-Zeytineli bölgesinin $^{236}\text{Ra}$ dağılım grafiği.....	41
4.8 Urla-Zeytineli bölgesinin $^{232}\text{Th}$ dağılım grafiği.....	41
4.9 Urla-Zeytineli bölgesinin $^{40}\text{K}$ dağılım grafiği .....	42
4.10 Urla-Özbek bölgesinin Ekim 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	43
4.11 Urla-Özbek bölgesinin Kasım 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	43
4.12 Urla-Özbek bölgesinin Aralık 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	43
4.13 Urla-Özbek bölgesinin Ocak 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	44
4.14 Urla-Özbek bölgesinin Şubat 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	44
4.15 Urla-Özbek bölgesinin Mart 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	44
4.16 Urla-Özbek bölgesinin Nisan 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	45
4.17 Urla-Özbek bölgesinin Mayıs 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	45
4.18 Urla-Özbek bölgesinin Haziran 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	45
4.19 Urla-Özbek bölgesinin Temmuz 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	46
4.20 Urla-Özbek bölgesinin Ağustos 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	46

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.21 Urla-Özbek bölgesinin Eylül 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	46
4.22 Urla-Özbek bölgesinin Ekim 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	47
4.23 Urla-Yağcılar bölgesinin Ekim 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	48
4.24 Urla-Yağcılar bölgesinin Kasım 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	48
4.25 Urla-Yağcılar bölgesinin Aralık 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	48
4.26 Urla-Yağcılar bölgesinin Ocak 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	49
4.27 Urla-Yağcılar bölgesinin Şubat 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	49
4.28 Urla-Yağcılar bölgesinin Mart 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	49
4.29 Urla-Yağcılar bölgesinin Nisan 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	50
4.30 Urla-Yağcılar bölgesinin Mayıs 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	50
4.31 Urla-Yağcılar bölgesinin Haziran 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	50
4.32 Urla-Yağcılar bölgesinin Temmuz 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	51
4.33 Urla-Yağcılar bölgesinin Ağustos 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	51
4.34 Urla-Yağcılar bölgesinin Eylül 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	51
4.35 Urla-Yağcılar bölgesinin Ekim 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	52
4.36 Urla-Zeytineli bölgesinin Ekim 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	52
4.37 Urla-Zeytineli bölgesinin Kasım 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.38 Urla-Zeytineli bölgesinin Aralık 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	53
4.39 Urla-Zeytineli bölgesinin Ocak 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	53
4.40 Urla-Zeytineli bölgesinin Şubat 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	54
4.41 Urla-Zeytineli bölgesinin Mart 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	54
4.42 Urla-Zeytineli bölgesinin Nisan 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	54
4.43 Urla-Zeytineli bölgesinin Mayıs 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	55
4.44 Urla-Zeytineli bölgesinin Haziran 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	55
4.45 Urla-Zeytineli bölgesinin Temmuz 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	55
4.46 Urla-Zeytineli bölgesinin Ağustos 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	56
4.47 Urla-Zeytineli bölgesinin Eylül 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	56
4.48 Urla-Zeytineli bölgesinin Ekim 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	56
4.49 Urla-Özbek bölgesine ait Radon değişim grafiği .....	57
4.50 Urla-Yağcılar bölgesine ait Radon değişim grafiği .....	58
4.51 Urla-Zeytineli bölgesine ait Radon değişim grafiği .....	58
4.52 Çalışmada değerlendirilen depremlerin grafiği .....	59
4.53 Online sistem Ekim 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	59
4.54 Online sistem Kasım 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	60

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.55 Online sistem Aralık 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	60
4.56 Online sistem Ocak 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	61
4.57 Online sistem Şubat 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği.....	61
4.58 Online sistem Mart 2012 tarihli Radon ölçüm grafiği .....	62
4.59 Online sistem Nisan 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği .....	62
4.60 Online sistem Mayıs 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği.....	63
4.61 Online sistem Haziran 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği .....	63
4.62 Online sistem Temmuz 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği .....	64
4.63 Online sistem Ağustos 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği.....	64
4.64 Online sistem Eylül 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği.....	65
4.65 Online sistem Ekim 2012 Tarihli Radon ölçüm grafiği.....	65

**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Radyum ve izotoplarının özellikleri .....	7
1.2 Farklı polimer dedektörler için optimum iz kazıma şartları .....	15
3.1 Urla ve çevresinin son yüzyıldaki depremselliği .....	25
4.1 Toprak örneklerinin analiz sonuçları .....	36
4.2 Radonüklid konsantrasyonları .....	38
4.3 Çalışma bölgesi parametrelerinin Pearson korelasyon katsayıları .....	70



## 1. GİRİŞ

Depremler, çok kısa sürede sebep oldukları yıkımlarla insanların ve doğal çevrenin zarar görmesine neden olan, insanlık tarihinin başından beri bir çok uygarlığın büyük çaplı can ve mal kayıpları yaşamasına neden olan önemli doğal felaketlerden biridir. Bu durum, özellikle günümüz bilim insanlarını teknolojik imkanları kullanarak, depremin yerinin, büyüklüğünün ve zamanının önceden tahmini üzerine çalışmaya yönlendirmiştir. Bilim insanları bu konudaki çalışmalara 20. Yüzyılın son yarısında ağırlık vermiştir. Özellikle 1960'lerden itibaren Japonya, A.B.D, Rusya, 1960'ların sonlarına doğru da Çin Halk Cumhuriyeti, depremlerin önceden tahmin edilmesi konusunda ciddi adımlar atmıştır (Özmen, 1995).

Depremlerin meydana gelmesi birçok değişkene bağlı olan karmaşık bir doğa olayıdır. Bu değişkenler; yerkabuğundaki elektromanyetik özelliklerin değişimi, gravitasyonel ve jeomanyetik alanlardaki değişimler, yeraltı suları ve toprak gazlarındaki konsantrasyon değişimleri vb. olarak sıralanabilir. Bu değişkenlerden özellikle radonun toprak gazındaki konsantrasyon değişimlerinin incelenmesi, bilim insanlarının en çok üzerinde durdukları ve son yıllarda oldukça başarılı sonuçlar veren çalışmaların başında gelmektedir (Khan, 1990).

Depremesel açıdan aktif bölgelerde, depremlerin önceden tahmin edilmesine dayalı çalışmalarda yeraltı suları ve toprak gazında bulunan bazı maddelerin (Rn, Rb, He, Hg, CO<sub>2</sub>, Cl, CH<sub>4</sub>, Na, Ar, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) depremden önce, deprem sırasında ve deprem sonrasında önemli ölçüde konsantrasyon değişimlerine uğradıkları bilinmektedir. Bu maddeler içinde radon gazı, konsantrasyon değişimlerinin kolaylıkla izlenebilmesi ve ölçüm yöntemlerinin pratik olması nedeniyle üzerinde en çok çalışılan gazdır (Dubinchuk, 1993).

Günümüze kadar yapılan araştırmalar, yerkabuğundaki sismik aktiviteler ile radon gazı konsantrasyonu değişimi arasında önemli bir korelasyon olduğunu göstermektedir (Virk et al., 2001; Zmazek et al., 2002, 2003, 2005, 2011; Singh et al., 1999; Walia et al., 2003).

Bu tez çalışmasında, İzmir ili Urla ilçesinde bulunan sürekli toprak gazı radon ölçüm cihazı verilerine ilave olarak Özbek, Yağcılar ve Zeytineli bölgelerinde bulunan LR-115 tip 2 katıhal nükleer iz dedektör sayım sonuçlarının bölgedeki yerkabuğu hareketleriyle olan korelasyonu incelenmiştir.

## 1.1 Genel Bilgiler

### 1.1.1 Depremler ve Oluşumları

Yerkabuğu, levha adı verilen ve yılda bir kaç cm'lik hızlarla çok yavaş biçimde sürekli olarak birbirlerine göre hareket eden yapılardan oluşmuştur. Levhaların bu hareketleri sonucunda levha sınırlarında sürtünme, sıkışma, dalma-batma zonları gibi oluşumlar ortaya çıkar. Bu oluşumlar depremlerin en çok görüldüğü yerlerdir. Büyük Okyanus, Avrasya, Arabistan, Güney Amerika, Kuzey Amerika, Afrika, Nazca, Hindistan-Avustralya, Antarktika ve Anadolu levhaları önemli levhalara birer örnektir. Bir depremin oluşabilmesi için levhalar, aralarındaki hareketi engelleyen sürtünme kuvvetini oluşturan kaya direncini yenmelidir. Bu sürtünme kuvveti aşıldığı anda deprem oluşur. Depremler oluştuğları ortamda dalgalar meydana getirirler ve bu dalgalar içinden geçtikleri ortamda sismik titreşim enerjisi oluşturarak ilerlerler. Depremin olduğu noktadan uzaklaştıkça bu dalgaların enerjisi sönümlenme nedeniyle giderek azalır. Depremlerin oluşumları esnasında çoğunlukla yerkabuğu yüzeyinde kilometrelerce uzanan ve gözle de görülebilen deformasyonlar meydana gelebilir. Bu deformasyonlara fay adı verilir (Kolbaşı 1997, Kazancı 1996). Fayın yerkabuğu derinliklerinde kırılmaya başladığı ilk noktaya depremin odağı ya da iç merkezi denir. Deprem dalgaları bu noktadan itibaren her doğrultuda yayılma özelliği gösterir. Deprem odağının yeryüzüne en yakın olduğu iz düşüm noktasına ise dış merkez ya da depremin merkez üssü adı verilir. Deprem dalgaları sonucu oluşan sismik hareketlerin yeryüzüne en yakın olduğu nokta burasıdır ve en çok hasar depremin dış merkezinde gözlenir. Meydana gelen bu sismik aktiviteler öncesinde ve sonrasında yer kabuğunda bir takım fiziksel değişiklikler oluşabilmektedir. Bu fiziksel değişimlerin sürekli izlenmesi depremlerin önceden tahmin edilmesi konusunda önemli ipuçları verebilmektedir.

Sürekli olarak izlenen radon gazındaki konsantrasyon değişimleri, büyük bir deprem olmadan bir süre önce depremin yerini ve şiddetini saptayarak bu bölgede yaşayan insanların uyarılmasını ve olası can kayıplarını en aza indirilmesini amaçlamaktadır (Virk et al., 2001, Zmazek 2002, Negarestani 2002).

### 1.1.2 Radon ve Deprem İlişkisi

Doğa olaylarını yakından izleyerek elde edilen verilerin ışığında, depremlerin yerlerinin, şiddetlerinin ve zamanlarının tahmin edilmesine dayalı pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar, Japonya, A.B.D, Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan, Rusya gibi büyük depremlerin sıkça yaşanıp önemli can kayıplarına sebep olduğu ülkelerde titizlikle yürütülmektedir. Yürütülen bu çalışmalarda, pek çok metot bir arada kullanılarak analizler yapılmaktadır. Radon gazının konsantrasyon değişimi ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkinin incelenmesine dayalı ilk çalışmaları Japon bilim insanı Okobe 1956 yılında yapmıştır. Okobe yapmış olduğu çalışmalarda radon gazı konsantrasyonunun günlük değişimleri ile deprensellik arasında pozitif bir korelasyon saptamıştır (Ghosh et al., 2009).

Nükleer iz kazıma dedektörlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ile 1975 yılından beri radon gazı konsantrasyonlarının fay hatlarına yakın yerlerde oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Ayrıca sismik aktivitelerin öncesinde yüzeyde gözlemlenen radon gazı konsantrasyonlarında da dikkate değer artışlar meydana gelmektedir (Dubinchuk 1993).

Fay hatlarındaki sismik aktivite ile radon düzensizliği (anomalisi) arasındaki ilişkileri ortaya koyan bir diğer çalışma da Tansi ve arkadaşları tarafından İtalya'da bulunan Kuzey Calabria bölgesinde yürütülmüştür. Bu çalışma sonucunda ikili arasındaki korelasyon net bir şekilde gözlemlenmiştir (Tansi et al., 2005).

Türkiye'nin de içinde bulunduğu Anadolu plakası tarih öncesi dönemlerden beri yoğun bir deprensellik göstermiştir. Özellikle 1999 Marmara Depremleri sonrasında ülkemizde pek çok bilim insanı tarafından bu konuda hassas bilimsel çalışmalar yürütülmektedir. Yürütülmekte olan bu çalışmalardan bir tanesi Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi'ne aittir. Bu çalışma, topraktaki radon gazının ölçüm sonuçlarının, merkezi bir veri depolayıcıda tutulmasına ve bu veriler ışığında radon gazının konsantrasyon değişimleri ile deprem şiddeti arasındaki ilişkinin saptanmasına dayanmaktadır (Saç ve ark., 2000).

Saç ve arkadaşları, Seferihisar'da yaptıkları araştırmada benzer metodları kullanarak ve radon gazı konsantrasyonlarındaki değişimleri izleyerek, depremleri önceden tahmin etmenin mümkün olabileceğini ve bu sayede sürekli radon gazı konsantrasyon değerlerinin ölçümlerinin yaygınlaştırılmasının önemini vurgulamışlardır. Saç ve arkadaşlarının Gülbahçe bölgesinde online olarak sürekli radon ölçümleri devam etmektedir (Saç vd., 2005).

### 1.1.3 Radon Gazı ve İzotopları

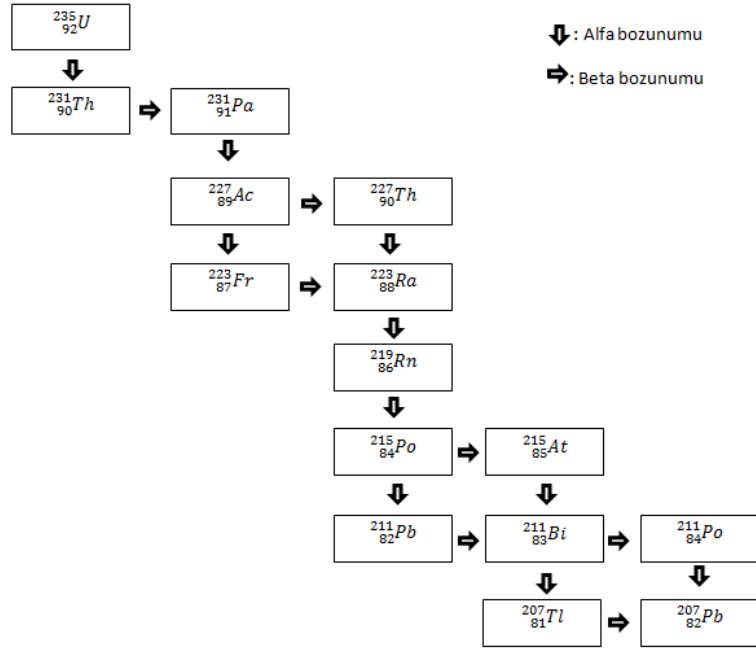
Radon, 1900 yılında F.Ernst Born tarafından keşfedilmiştir. Doğada saf halde bulunur ve periyodik cetvelin soygazlar sınıfının bir üyesidir. Soygaz olduğundan dolayı bileşik yapmaz. Renksiz, kokusuz, bir gaz olup aynı zamanda radyoaktiftir. Diğer soygazlarla karşılaştırıldığında en ağır çekirdeğe sahiptir.

Bütün gazlar gibi düşük sıcaklıkta sudaki çözünürlüğü oldukça fazla olan radon gazı, artan sıcaklıkla birlikte sudaki çözünürlüğünü kaybeder.

Radon gazının toplamda 61 tane izotopu bulunmaktadır.  $^{187}\text{Rn}$  ile başlayan bu izotoplardan yalnızca 3 tanesi doğal radyoaktif bozunum serileri içinde yer alır.

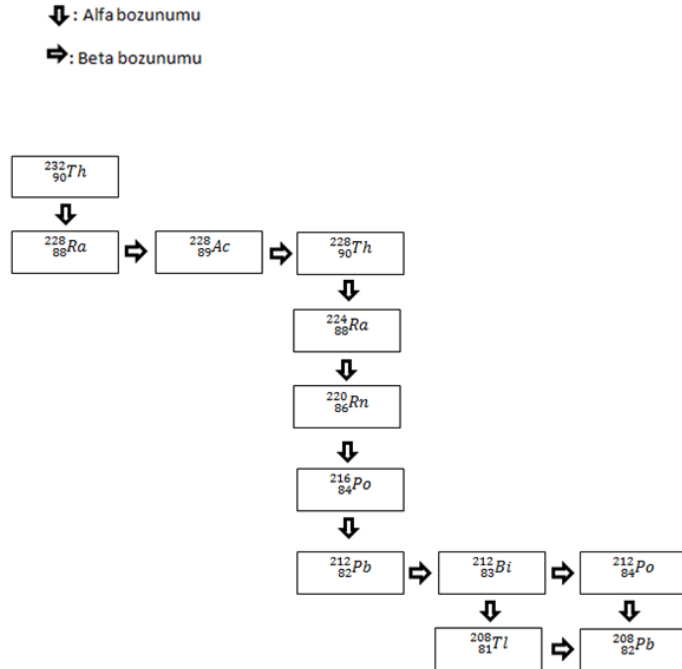
Bu izotoplar;  $^{235}\text{U}$ 'in bozunum zincirinde yer alan  $^{219}\text{Rn}$  (Aktinon),  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum zincirinde yer alan  $^{220}\text{Rn}$  (Toron), ve  $^{238}\text{U}$ 'in bozunum zincirinden gelen  $^{222}\text{Rn}$  (Radon)'dir.

**Aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ):**  $^{235}\text{U}$ 'in bozunum serisinden gelen Aktinonun yarı ömrü oldukça kısadır ( $t_{1/2} = 3,98$  saniye) (Şekil 1.1).Seri başı elementinin doğadaki bolluğunun çok az olmasından (% 0,711) dolayı doğal çevredeki konsantrasyonu çok düşüktür. Atmosfere karışabilmesi ve atmosferde belli bir yoğunluk oluşturabilmesi, kısa yarı ömrü nedeniyle oldukça zordur.



Şekil 1.1 Aktinon'a ait bozunum şeması

**Toron ( $^{220}\text{Rn}$ ):** Aktinona nazaran daha uzun ( $t_{1/2} = 54,5$  saniye) bir yarı ömre sahip olan Toron,  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum zincirinden gelir ve atmosferde düşük olasılıkla da olsa bir yoğunluk oluşturabilir (Şekil1.2).



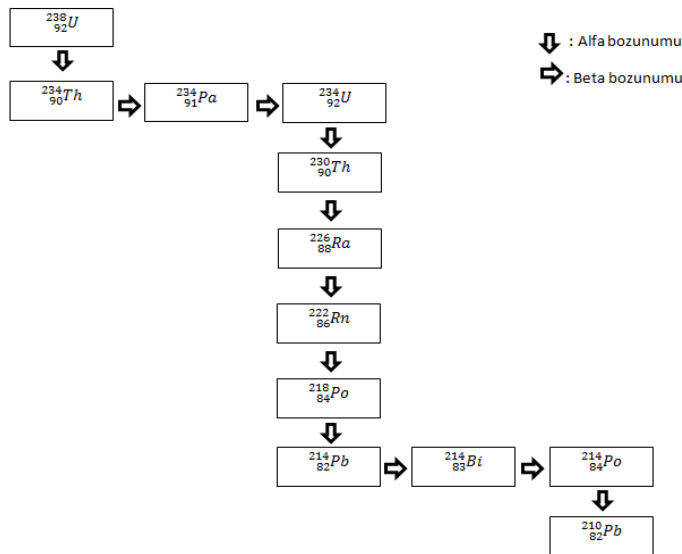
Şekil 1.2 Toron'a ait bozunum şeması

**Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ):**  $^{238}\text{U}$ 'in radyoaktif bozunum zincirindeki  $^{226}\text{Ra}$ 'nın ( $t_{1/2}=1620$  yıl) bozunumu ile oluşan  $^{222}\text{Rn}$ , yarı ömrü en uzun olan ( $t_{1/2}=3,85$  gün) radon izotopudur. Yarı ömrünün bu denli uzun olması ve  $^{238}\text{U}$ 'in doğadaki bolluğunun oldukça fazla oluşu, toprak gazında ve atmosferde belli bir yoğunluk oluşturabilmesini mümkün hale getirmektedir (Şekil 1.3).

Radon gazı, alfa parçacıkları yayınlamakla bozunur. Bu alfaların enerjileri 5,48 MeV'dir.

Uranyumun bozunum zincirinde, radonun ardından gelen  $^{218}\text{Po}$  (Ra A),  $^{214}\text{Pb}$ (RaB),  $^{214}\text{Bi}$ (RaC) ve  $^{214}\text{Po}$ (RaC') ürünleri, radona ait bozunma ürünleridir.  $^{222}\text{Rn}$  ve bozunum ürünleri peş peşe 6 beta ve 8 alfa parçacığı yayınlamakla kararlı  $^{206}\text{Pb}$ 'yi oluşturan zincirle son bulurlar. Bu bozunum ürünlerinin yarı ömürleri 30 dakikanın altında olup oldukça kısadır.  $^{214}\text{Bi}$  (RaC) ve  $^{214}\text{Po}$  (RaC') oldukça kısa yarı ömürlü izotoplardır ve bu izotoplar alfa parçacıkları yayarlar. Bu sayede, RaC doğrudan alfa yayımlayıcısı olarak düşünülebilir.

$^{210}\text{Pb}$  22,5 yıl ve  $^{210}\text{Po}$ 'un 138 günlük yarı ömürleriyle oldukça uzun yarı ömürlü ürünlerdir.



Şekil 1.3 Radon'a ait bozunum şeması

## 1.2 Radon Gazının Oluşumu ve Yer kabuğundaki Hareketi

### 1.2.1 Radon Gazının Oluşumu

Radon ve izotopları, radyum ve izotoplarının alfa bozunumu yapması sonucu oluşmaktadır (Tablo 1.1). Radyum, atom numarası 88 olan, doğal ve yapay olmak üzere 13 tane izotopu bulunan toprak alkali bir elementtir. İzotoplarının yarı ömürleri  $10^{-3}$  saniye ile 1620 yıl arasında değişmektedir.  $^{238}\text{U}$ 'in bozunum zincirinden gelen  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum zincirinden gelen  $^{224}\text{Ra}$  doğada en çok bulunan Radyum izotoplarıdır.  $^{223}\text{Ra}$  ise, bozunum zincirinin seri başı elementi olan  $^{235}\text{U}$ 'in doğadaki bolluğunun düşük olması ve yarılanma süresinin uzunluğu nedeniyle diğer iki Radyum izotopuna göre daha az bulunur.

Tablo 1.1 Radyum ve izotoplarının özellikleri.

İzotop	Ana Çekirdek	Bozunum Serisi	Ürün Çekirdek	Yarılanma Süresi	Yayınlanan Radyasyonun Türü, Enerjisi (MeV) ve İntensitesi
$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{230}_{90}\text{Th}$	$^{232}\text{U}$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	1600 yıl	$\alpha$ : 4,60 (%6) 4,78 (%94) $\gamma$ : 0,186 (%4)
$^{224}_{88}\text{Ra}$	$^{228}_{90}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$	$^{220}_{86}\text{Rn}$	3,66 gün	$\alpha$ : 5,45 (%6) 5,68 (%94) $\gamma$ : 0,241 (%3,1)
$^{223}_{88}\text{Ra}$	$^{227}_{90}\text{Th}$	$^{235}\text{U}$	$^{219}_{86}\text{Rn}$	11,4 gün	$\alpha$ : 5,54 (%9) 5,714 (%53,7) $\gamma$ : 0,144 (%39) 0,154 (%52) 0,158 (%9)

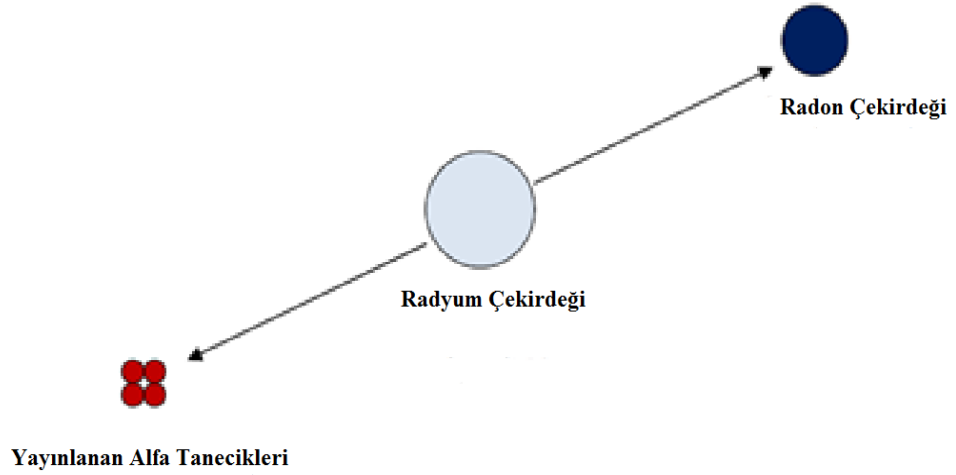
Tablo 1.1'den görüldüğü gibi  $^{226}\text{Ra}$ 'nın alfa parçacığı yayınlaması sonucu  $^{222}\text{Rn}$ (radon),  $^{224}\text{Ra}$ 'ün bozunumundan  $^{220}\text{Rn}$  (toron) ve  $^{223}\text{Ra}$ 'ün

parçalanmasından  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon) oluşmaktadır.  $^{219}\text{Rn}$  ve  $^{220}\text{Rn}$  izotopları çok kısa yarı ömürleri nedeniyle oluşumlarından hemen sonra bozularak başka elementlere dönüşmektedirler. Bu nedenle radon kaynaklı radyasyonun neredeyse tümü  $^{222}\text{Rn}$  izotopundan kaynaklanmaktadır. Radon gazı olarak bilinen izotopun  $^{222}\text{Rn}$  olarak kabul edilmesi de yarı ömrünün uzun olmasının bir sonucudur. Radonun temel kaynağı yerkabuğu olup, yerkabuğundaki toprak ve kayalarda bulunan U ve Th'un bozunmasıyla, bozunum zincirinin bir halkası olan Ra meydana gelir. Oluşan Ra difüzyon yoluyla daha üst katmanlardaki toprağa ulaşır. Üst katmanlarda oluşan Ra atomları da, sürekli bozularak Rn atomlarına dönüşür ve oluşan Rn atomları topraktaki gözeneklerin ve minerallerin arasındaki boşluklarda serbest kalır. Serbest kalan Rn gazı topraktan atmosfere doğru hareket etmeye başlar. Rn gazının bu hareketi difüzyon ve transport mekanizmaları sayesinde gerçekleştirilir ve Rn göçü olarak ifade edilir.

### 1.2.2 Radon Gazının Yerkabuğundaki Hareketi

Toprakta oluşan radon atomlarının tamamı, oluştuğu yerdeki toprak taneciğinin gözenek hacmi içerisine geçemez. Toprak taneciklerinden gözenek hacmine kaçabilen radon atomları belli bir orandadır. Bu orana emanasyon kesri ya da emanasyon gücü denilmektedir (Tanner, 1980; Nazaroff, 1992).

Emanasyon kesri; doğrudan geri tepme, dolaylı olarak geri tepme ve difüzyon oranı olarak ifade edilen üç parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler, geri tepmiş olan radon atomlarının menzillerine bağlıdır. Bir radyum atomunun, alfa parçacığı yayarak radona bozunumu esnasında enerji açığa çıkar. Bu enerjinin büyük bir kısmı yayınlanan alfa parçacığına aktarılırken, geri kalan kısmı oluşmuş olan radon atomuna aktarılır ve ona hareket kazandırır (Şekil1.4). Bu durum, bir silahtan çıkan merminin hareketine benzemektedir.



Şekil 1.4 Geri Tepme Olayı

Açığa çıkan enerji tipik bir kimyasal bağ enerjisinin  $10^4$ - $10^5$  katı civarındadır. Bu sayede geri tepen radon atomu, mineralin veya toprak taneciğinin yapısı içerisinde hareket edebilir ve 20-70 nm arasında bir menzile sahip olabilir. Bu hareket sırasında radon atomu toprak tanecikleri arasındaki gözenek hacmine geçebilir. Eğer gözenek hacmi içinde sıvı varsa, radon atomu sıvıda çözünür, difüzyon mekanizması sayesinde de gözenekler boyunca yer değiştirebilir. Gözeneklerin içerisindeki sıvı varlığı, emanasyon gücünün doğrudan geri tepme kesrini arttırmaktadır. Geri tepme enerjisine sahip bir radon atomu, komşu toprak taneciği ile oluştuğu tanecik arasındaki gözenek mesafesini geçebilirse, komşu taneciğin materyal yüzeyine nüfuz eder, burada soğrulur ve bu durum materyal yüzeyini eriterek, büyüklüğü geri tepen radonun enerjisiyle orantılı bir oyuğun oluşmasını sağlar (Tanner, 1980). Erimiş olan oyuğun materyali soğumadan önce, geri tepmekte olan radon atomunun gözeneğe geri kaçma ihtimali bulunmaktadır. Bu duruma dolaylı geri tepme oranı denilmektedir (Cothorn and Smith, 1987).

Oyuğun derinliği, materyal içinde soğrulan geri tepme enerjisinin oranına bağlıdır. 1971 yılında oyuğun çapının yaklaşık 1 nm ve derinliğinin 10 nm olduğu tespit edilmiştir (Tanner, 1980).

Pek çok doğal madde içindeki emanasyon gücünün, radon izotoplarının madde boyunca yaptıkları difüzyondan dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. Difüzyon oranı, geri tepme mesafesine bir tek tanecikle başlayıp, aynı tanecikle bu mesafeyi bitiren radon atomlarınca oluşturulmaktadır. Bu olayın ardından radon atomları moleküler difüzyon mekanizması sayesinde gözeneklerde göç eder. Toprak zerreciğinin boyutu ve geometrisi, ortamdaki nem ve sıcaklık

değerleri gibi etmenler emanasyon gücüne etki eden temel parametrelerdir. Zerrecik boyutu ve şekli Radyumun bozunmasıyla oluşan radon atomlarının gözenek hacmi içine girebilecek durumda olanların oranının belirlenmesinde kullanılır. Toprak zerreciklerinin yüzey alanlarının hacimlerine oranı (spesifik yüzey alanı) zerreciklerin boyutuyla ters orantılıdır. Yani radonun emanasyon gücü spesifik yüzey alanı arttıkça doğrusal olarak artar (Schumann, 1993).

Yapı malzemelerinden ve topraktan yayılan radonun emanasyon gücüne nemin etkisi oldukça fazladır. Kuru kaynak materyallerinin emanasyon katsayısının nemli kaynaklara göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Nem içerisinde bulunan su molekülleri radon atomunun geri tepme uzaklığını kısaltır. Bu durum, geri tepen radonun menziline havadakine oranla oldukça azaltır. Bir kısmı su ile dolu gözenekleri olan toprak zerreciğindeki radon atomunun, geri tepme mesafesini gözenekte bitirebilme ihtimali, kuru tanecikte bulunan radon atomuna göre daha fazladır. Bir kısmı neme doymuş gözeneklerde bulunan radon atomu daha hızlı şekilde gözenek içindeki havaya karışabilir. Nem, toprak zerreciğinin boyutu ve geometrisi gibi sıcaklık da emanasyon gücünü etkileyen bir parametredir. Stranden ve arkadaşlarının 1984 yılında yaptıkları bir çalışmada, toprak numunesindeki radonun gaz hale geçme hızının sıcaklığın 5 °C'den 50 °C'ye değiştiğinde %55 arttığını gözlemlemiş ve sıcaklık arttıkça gaz hale geçen radon miktarındaki artışın, radonun toprak zerreciklerindeki fiziksel soğrulmasının azalışından olabileceğini ifade etmişlerdir (Nazaroff, 1992).

### 1.2.3 Radon Gazının Göçü ve Mekanizmaları

**Radon Gazının Göçü:** Radyum atomlarının bozunmasıyla oluşarak toprak taneciklerinin gözenek hacmine geçebilen radon ve izotoplarının topraktan atmosfere doğru göçü bazı önemli parametrelere değişimine bağlıdır. İzotopların yarı ömürleri, toprak taneciklerinin gözeneklerinde mevcut olan akışkanların (su, hava, diğer gazlar) içerikleri, izotoplara ait difüzyon katsayısı, atmosfer basıncı, izotopların gözenek hacmindeki farklı akışkan fazları için dağılımı, radon gazının oluştuğu toprak zerreciğinden atmosfere olan göçünde öne çıkan bazı etmenlerdir (Tanner, 1980).

**Radon Gazının Göçünü Sağlayan Mekanizmalar:** Radonun topraktaki göçünde difüzyon mekanizması çok önemli rol oynar. Radon atomlarının toprak tanecikleri arasındaki gözenek hacmini dolduran sıvıya göre hareketleri moleküler difüzyon mekanizması olarak ifade edilir. Gözenekte bulunan sıvının gözenek ortamında

hareket ederek radon ve izotoplarını taşıması olayı ise transport mekanizması olarak bilinir. Hem moleküler difüzyon hem de transport mekanizmaları radon gazının topraktaki göçünde aynı anda etkili olabilir (Tanner, 1980).

Toprak taneciklerinin gözenek hacmi içerisinde bir akışkanın varlığı radon izotoplarının absorblanmasını engelleyebilir ve emanasyon sürecini hızlandırabilir. Radyumun bozunmasıyla açığa çıkan radon atomu geri tepme enerjisini kaybederse, ortamda bulunan akışkan tarafından absorbe olur ve moleküler difüzyon katsayısı düşer. Bu durum radon atomlarının atmosfere göç olayını önler (Tanner, 1980).

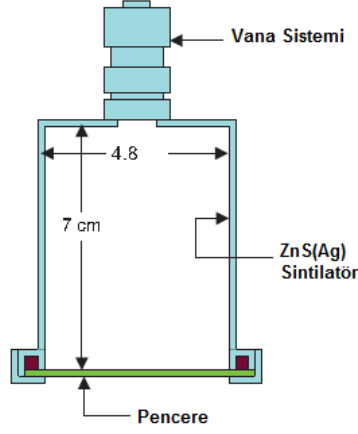
Radon atomlarının gözenek hacmindeki akışkana göre hareketini açıklayan difüzyon teorisi, bu hareketi bozunma sabiti ile sınırlandırmaktadır. Radon gazının ortalama ömrü 5,5 gün olup porozitesi yüksek topraklarda difüzyon mesafesi yaklaşık 1,5 m'dir. Difüzyon mekanizmasıyla pek çok kez taşınan radon atomlarının topraktaki menzilleri 10-15 m civarındadır. Bu nedenle 100 m ve daha derinden gelen radon atomlarının hareketlerinin açıklanması difüzyon teorisi ile değil radonun transportuyla yapılabilmektedir (Campero, 1980).

### 1.3 Radon Gazının Ölçüm Metotları

Radon gazının ve radona ait bozunum ürünlerinin konsantrasyon ölçümünde kullanılan yöntemler, esasen radon gazından yayınlanan enerjileri 5,5 MeV ile 7,7 MeV arasında değişen alfa parçacıklarının tespit edilmesi ve sayılması mantığına dayanır. Radon ve bozunum ürünlerinin konsantrasyonlarının tespitinde ölçüm süreleri oldukça önemlidir ve anlık, bütünleşik ve sürekli olmak üzere üç çeşittir (Papastefanou, 2007).

Anlık radon ölçümlerinde ölçüm süresi, radon gazının konsantrasyonlarındaki anomalilerin meydana gelme süresine nazaran oldukça kısadır. Anlık ölçümlerde en sık kullanılan yöntemlerden biri Lucas hücresidir (Şekil 1.5). Lucas hücreleri silindirik geometride olup yanal duvarlarında Gümüş ile aktive edilen çinko sülfür ( $ZnS(Ag)$ ), alt yüzeyinde ışık geçişini sağlayan kuartz pencere ve üst yüzeyinde ise hava giriş-çıkışını sağlayan vana(lar) bulunmaktadır. Bu vana(lar) sayesinde Lucas hücresi vakumlanarak içerisine toprak gazı doldurulur. İçeri giren toprak gazında bulunan radon ve bozunum ürünleri alfa tanecikleri yaymaya başlar. Bu yayınlanan alfa tanecikleri Lucas hücresinin duvarlarına çarpar. Sintilasyon sebebiyle alfa parçacığı, Lucas

hücresinin duvarından 450 nm'lik dalga boyuna sahip foton yayılmasını sağlar. Oluşan fotonlar, dedektörde bulunan foto çoğaltıcı tüp sayesinde puls meydana getirirler ve dedektördeki elektronik sistem tarafından sayılırlar (Papastefanou, 2007; Eappen et al., 2008).



Şekil 1.5 Lucas Hüresi

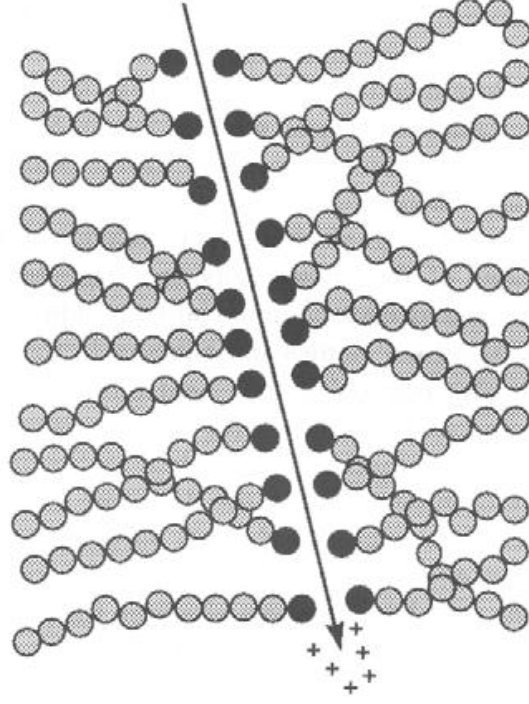
Bütünleşik radon ölçümlerinde, ölçüm aralıkları oldukça uzun olup hafta veya ay mertebesindedir. Bu metotta ölçüm sonuçları, ölçüm aralığındaki tahmini ortalama radon konsantrasyon değerlerini içerir. Bütünleşik radon ölçümlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri katı hal iz kazıma dedektör yöntemidir ve radonun yaydığı alfa taneciklerinin polimerik plastik yüzeyler üzerinde bıraktığı ve nanometre boyutlarındaki gizli izlerin, bir dizi kimyasal işlem sonucunda optik mikroskop tarafından görülebilir hale getirilerek radon konsantrasyonunun uzun periyotlar için tespit edilmesi esasına dayanır.

Sürekli radon ölçüm sistemi ise radon gazının konsantrasyon ölçümlerinin periyodik olarak yapılması ve elde edilen verilerin saklanabilmesi esasına dayanır. Bu sistemde ölçüm süreleri 1 dakika ile 48 saat arasındaki periyotlarda değişebilmektedir. Sürekli radon ölçüm sistemleri, sismik aktivite ile radon gazı konsantrasyon değişimi arasındaki korelasyonun incelenmesi amacıyla fay hatlarının bulunduğu bölgelere yerleştirilmekte ve bu sayede radon gazı konsantrasyonlarında meydana gelen anomalilerin anlık olarak tespit edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan radon gazı konsantrasyon ölçüm yöntemleri katı hal nükleer iz kazıma dedektör yöntemi ve sürekli toprak gazı radon ölçümü sağlayan Alphameter 611 dedektör sistemidir.

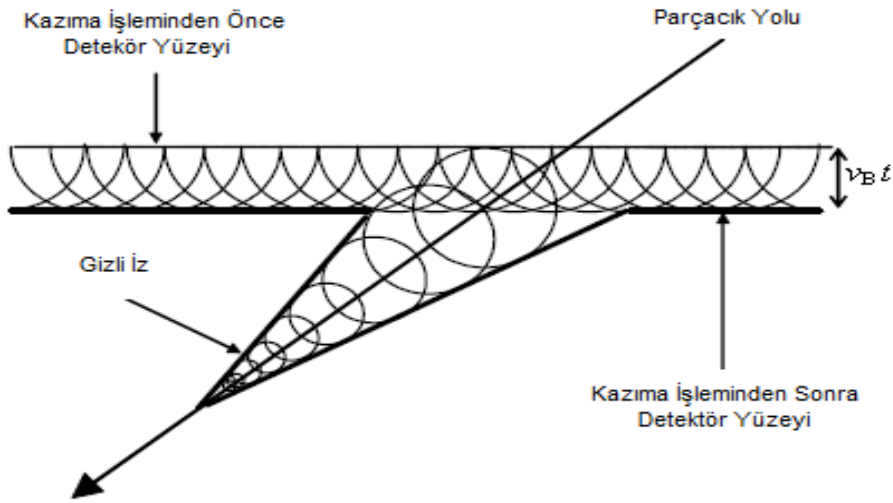
### **Katıhal İz Kazıma Dedektör Yöntemi**

Radon gazı ve bozunum ürünleri alfa parçacıkları yayınlamak parçalanırlar. Bu nedenle radon gazının ve bozunum ürünlerinin saptanmasında yayınladıkları bu alfa parçacıklarının tespit edilmesi önemlidir. Çekirdekten yayınlanan alfa radyasyonu tanecik karakteri gösterir ve belli bir kinetik enerjiye sahiptir. Bu kinetik enerji, alfaların bir madde veya yüzey ile teması halinde kısmen ya da tamamen o maddeye veya yüzeye aktarılır. Alfa parçacıklarının elektriksel yük içermeleri, ağır olmaları ve diğer radyasyon çeşitlerine göre daha fazla enerjiye sahip olmaları sebebiyle kristal, plastik, mineral gibi elektriksel açıdan izole edilmiş materyallerle etkileştiklerinde hasar oluşturma kabiliyetleri oldukça fazladır. Bunun nedeni elektriksel yüke sahip taneciklerin madde içinden geçtikleri sırada yol boyunca enerjilerini madde içinde kaybetmeleridir. Alfa tanecikleri, etkileştikleri maddesel ortam içindeki moleküllerle veya o ortamdaki atomların elektronlarıyla Coulomb etkileşmesi yapar. Bu da alfa parçacıklarının aldıkları yollar boyunca çok sayıda uyarılma ve iyonlaşma yapması ve yapısal deformasyona sebep olması anlamına gelir. Bu tahribat, aslında alfaların iyonizasyon ve uyarılma enerjilerini ortama aktarmasıdır ve bu enerji aktarımı lineerdir ( $\frac{dE}{dx}$ ). Bu lineer enerji kaybı belli bir kritik değere kadar materyalde deformasyona sebep olmaz. Ancak bu kritik değer aşılsa materyalde şekil bozuklukları meydana gelmeye başlar (Şekil 1.6). Selüloz nitrat (LR-115) ve polyalyl di-glycol karbonat (CR-39) gibi polimerik dedektörlerde moleküler zincirler kopar ya da alfaların yolları boyunca yeni ve oldukça reaktif kimyasal bileşenler ortaya çıkabilir. Bu durum materyalde gizli iz adı verilen deformasyon bölgeleri oluşmasına yol açar. Oluşan gizli izlerin büyüklükleri 1-10 nm civarındadır ve tespit edilebilmeleri için bir dizi kimyasal işlem uygulanması gereklidir. Uygulanan bu işlemlere kimyasal iz kazıma işlemleri adı verilir ve işlemin sonucunda gizli izler optik mikroskoplarca görülebilir hale gelirler.



Şekil 1.6 Alfa taneciklerinin polimer moleküllerdeki deformasyonu

Bir polimer üzerinde alfa parçacıklarının neden olduğu deformasyon bölgeleri yani gizli izler, kimyasallarla işleme tabi tutulursa oluşacak kimyasal tepkimeler bu gizli izlerin etrafında, materyalin geneline nazaran çok daha fazla etkinlik göstereceklerdir. Bu olaya kimyasal iz kazıma işlemi denir ve polimer film dedektörlerin ideal sıcaklık, molarite ve banyo süreleriyle gizli izlerin kazınarak belirginleştirilmesi esasına dayanır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Polimer dedektörlerde iz kazıma ile gizli izlerin belirginleştirilmesi

Deformasyona uğramamış bölgelerin kazınma hızı ( $\vartheta_B$ ) polimer içerikli dedektörün yapısına, kimyasal çözeltinin konsantrasyonuna, sıcaklığına ve kimyasal işlemin süresine bağlıdır (Tablo 1.2). Ancak gizli izin yani deformasyona uğramış bölgenin kazınma hızı ( $\vartheta_T$ ), dedektörle etkileşime giren parçacığın yüküne ve enerjisine bağlıdır. Sonuç olarak kimyasal işlem, dedektörün tüm yüzeyinde bir kazıma yapar ancak deformasyona uğrayan bölgede kazıma daha şiddetli ve hızlı olur. Bu sayede gizli izler belirginleşir.

Tablo 1.2 Farklı polimer içerikli dedektörler için optimum iz kazıma şartları

Dedektör Adı	Dedektör İçeriği	Çözelti Sıcaklığı	Derişim	İşlem Süresi
LR-115 Tip II	Selüloz Nitrat	60 °C	% 10, 2,5 N NaOH	2 saat
CN- 85	Selüloz Asetat	60 °C	% 10, 2,5 N NaOH	20-30 dakika
CR-39	Polikarbonat	70 °C	% 25, 6,25 N NaOH	12 saat

### Sürekli Radon Ölçüm Sistemi

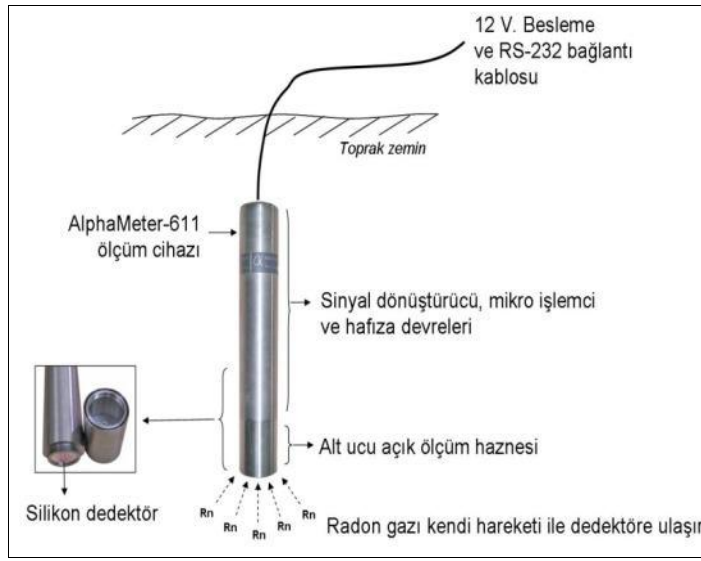
Bu çalışmada sürekli radon ölçümleri Alphameter 611 dedektör sistemi ile elde edilmektedir. Bu cihaz toprak gazında bulunan radonun yaymış olduğu alfa taneciklerini tespit ederek sayılmasını ve kaydedilmesini sağlar. Hassas ölçüm yüzeyi 400 mm<sup>2</sup> olan Alphameter 611, 350 mm uzunluğunda ve 51 mm çapında paslanmaz çelikten üretilen silindirik bir kabın alt yüzeyinden 65 mm uzakta yerleştirilmiş olup silikon difüz-eklem yapıdadır (Şekil 1.8). Cihazın hasar görmemesi için detektörden 12 mm uzaklıkta plastik ızgara bulunur.



Şekil 1.8 Alphameter 611 sürekli radon ölçüm cihazı

Karanlık ve kuru ortamlarda çalıştığı için dedektör yüzeyi 0,25 mm alüminyum mylar ile kaplıdır. Bu sayede su buharı ve ışığın dedektöre ulaşması engellenmiş olur.

12 V'luk gerilimle çalışan Alphameter 611, içerisinde silikon difuz-eklem dedektörün yanı sıra sinyal dönüştürücüler, mikro işlemciler ve hafıza devrelerini de bulundurur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Alphametre 611 ölçüm sistemi

Sistemde bulunan veri kaydedici ve kaydedilen verilerin uzaktan erişimini sağlayan GSM modemi sayesinde 15 dakikalık periyotlarla toprak gazındaki radon konsantrasyon değişimleri sürekli olarak yapılabilmektedir (Alpha Inc., 2011; Saç et al, 2011).



Şekil 1.10 Çalışmada kullanılan sürekli radon ölçüm sistemi (Urla)

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Depremler yerkabuğunun fay adı verilen bölgelerinde meydana gelen ve oluşumu sırasında saldığı büyük miktarlardaki enerji nedeniyle sebep olduğu yıkımlarla yüzlerce hatta binlerce insanın ölümüne ve yaralanmasına bir o kadar insanın da evsiz kalmasına neden olan önemli doğal felaketlerden birisidir. Bazı depremler sadece saldığı enerjilerle değil, oluşumlarının hemen ardından tetiklemiş oldukları tsunamilerle de önemli can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Buna örnek olarak 26 Aralık 2004 Güneydoğu Asya ve 11 Mart 2011 Japonya depremleri verilebilir. Bu depremler, insanoğlunun yakın tarihte şahit olduğu önemli felaketlerden bazılarıdır. Bu iki depremde ve depremin sebep olduğu tsunamilerde kayıplarla beraber 270 000 kişinin hayatını kaybettiği düşünölmektedir. Ne yazık ki insanlık, var olduğu tarihten bu yana zaman zaman bu dramatik manzarayla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum da bilim insanlarını depremleri önceden tahmin etmeyi sağlayacak sistemlerin oluşturulmasına ve bu sistemlerin yaygın olarak kullanılmasına sevk etmiştir. Bu doğrultuda depremleri önceden tahmin etmede kullanılmak üzere geliştirilen yöntemlerin başında gelen toprak gazında ve sulara bulunan radon konsantrasyonlarındaki değişimlerin izlenmesi, bilim insanları tarafından yapılan ve depremlerin tahmin edilmesine dayalı çalışmalarda uzun süredir kullanılmaktadır. Bu çalışmalar, Hindistan, A.B.D, Çin, Japonya, Rusya gibi büyük depremlerin sıkça yaşandığı ölkelerde etkin bir şekilde sürdürölmektedir.

Hirota ve arkadaşları 14 Eylül 1984 Nagaro Depremi ( $M = 6,8$ ) öncesinde, depremin merkez üssü olan Atotsugawa fayına 65 km uzaklıkta radon anomalisi gözlemlenmişlerdir. Bu anomali, fay hattında radon konsantrasyonunun depremden 3 ay öncesine kadar kademeli olarak artışı ve depremin 2 hafta öncesinden, depremin ana şokuna kadarlık süreçte keskin bir artış göstermesi şeklindedir (Hirota et al., 1984).

Fleischer ve Mogro-Compero 1981-1983 yılları arasında 2 yıllık bir periyot içerisinde yerkabuğu hareketleri ve radon gazı anomalisi arasındaki korelasyonu incelemişlerdir. Alaska'da bulunan Sand Point adası yakınlarında yürütölen bu çalışmada radon ölçümü yapılan istasyondan 180 km uzakta meydana gelen ve şiddeti  $M= 6,3$  olan depremin, oluşumundan 6 hafta öncesinde radon konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir (Fleischer-Morgo, 1980).

Türkmenistan'da Alekseev ve arkadaşları topraktaki radon gazı ve metal içeriğinin yanısıra sulardaki radon ölçümleri ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışma bölgesi olarak Aşkabat ve Kum-Dang bölgesini seçmişlerdir. Katı hal nükleer iz dedektörü kullanarak yapmış oldukları çalışmada, dedektörleri toprağın 70 cm derinliğindeki çukurlara yerleştirmişler ve radon konsantrasyonu ölçümlerini 5-7 gün aralıklarla gerçekleştirmişlerdir. 14 Mart 1983 tarihinde meydana gelen yıkıcı bir depremin öncesinde radon gazı konsantrasyonunda bir artış gözlemlenmiştir (Alekseev et al., 1995).

Japonya'da İzu Yarımadası'ndaki Yugano Kaplıcası'nda 1995 yılının mayıs ayında kurulan radon izleme sistemi sayesinde sismik aktivite ile radon gazı konsantrasyonu arasında bir korelasyon tespit edildi. Bu sistem tarafından 11- 29 Eylül 1995 tarihleri arasında yaklaşık 9000 sarsıntının gözlemlendiği deprem fırtınası öncesinde 8 Eylül 1995 tarihinde radon konsantrasyonunun önemli ölçüde artış gösterdiği görülmüştür. Ardından 6 Ekim 1995 tarihinden itibaren azalmaya başlayan deprem serisi 23 Ekim 1995 tarihinde sona ermiştir. Bu süre içerisinde bazı depremlerin büyüklüğü 3'ten küçük olup derinlikleri 8 km'den fazla iken, bazı depremlerin büyüklüğü 4'ten büyük ve derinlikleri 2-3 km'den azdır. Bu depremden 3 gün önce gözlenen anomali, depremin oluşumundan önce sıkışma ve stresin neden olduğu mikro çatlakların sayısının fazla olmasıyla açıklanmıştır (Nishizawa et al., 1998).

Wattanakorn ve arkadaşları Tayland'ın kuzeyindeki Chiang Mai şehrinin 65 km kuzey-kuzeydoğu bölgesinde toprak gazı radon ölçümleri ile ilgili sistematik bir çalışma yapmışlardır. Radon konsantrasyonundaki değişimleri tespit etmek için yüzeyden 50 cm ve 100 cm derinlikte katıhal iz kazıma dedektörlerini (LR-115) kullanmışlardır. 1-40 haftalık periyotlarla gözlem yapmışlardır. Bu gözlemlerin sonucunda 3. ve 15. haftalar arasında iki radon anomali saptamışlardır. Bu anomalilerin ölçüm istasyonlarına 293 km ve 159 km mesafede oluşan  $M=6,2$  ve  $M=5,5$  şiddetindeki depremlerle ilişkili olduğunu tesbit etmişlerdir (Wattanakorn et al., 1998).

Wakita ve arkadaşlarının Japonya'da 14 Ocak 1978 tarihinde meydana gelen ve  $M=7$  şiddetindeki Izu-Oshima-Kinkai Depremi'nden 5 gün önce depremin olduğu bölgeden 25 km uzaklıkta ve 350 km derinlikte bir artezyende radon anomali gözlemlendiği bilinmektedir (Wakita et al., 1980).

Japonya’da yapılan bir diğer çalışma da 1995 Kobe Depremi ile ilgilidir. Bu depremden iki ay önce yeraltı sularında ve havada bulunan radon gazı konsantrasyonlarında önemli değişimler gözlenmiştir (Yasuoka, 2005).

Hindistan’da 1999 yılında gerçekleşen Chamoli Depremi öncesinde de toprak gazında ve yeraltı sularında radon konsantrasyon değişimleri gözlenmiştir (Virk, 2001).

Singh ve arkadaşları tarafından Hindistan’da yapılan başka bir çalışmada, yeraltı sularındaki radon anomalisi ile gözlem süresince meydana gelen depremler arasında pozitif bir ilişki saptanmıştır (Singh 1999).

Friedman ve arkadaşları Türkiye’de yaptıkları çalışmada, Kuzey Anadolu Fayı’nın Bolu civarındaki 200 km’ lik kısmında, 5 istasyonla topraktaki radon konsantrasyonunu incelemişlerdir. Bu incelemeler sonucunda 5 Temmuz 1983’de Biga’da meydana gelen  $M=5,7$  şiddetindeki deprem sırasında radon konsantrasyonunda bir artış gözlemlenmiştir (Friedmann et al., 1988).

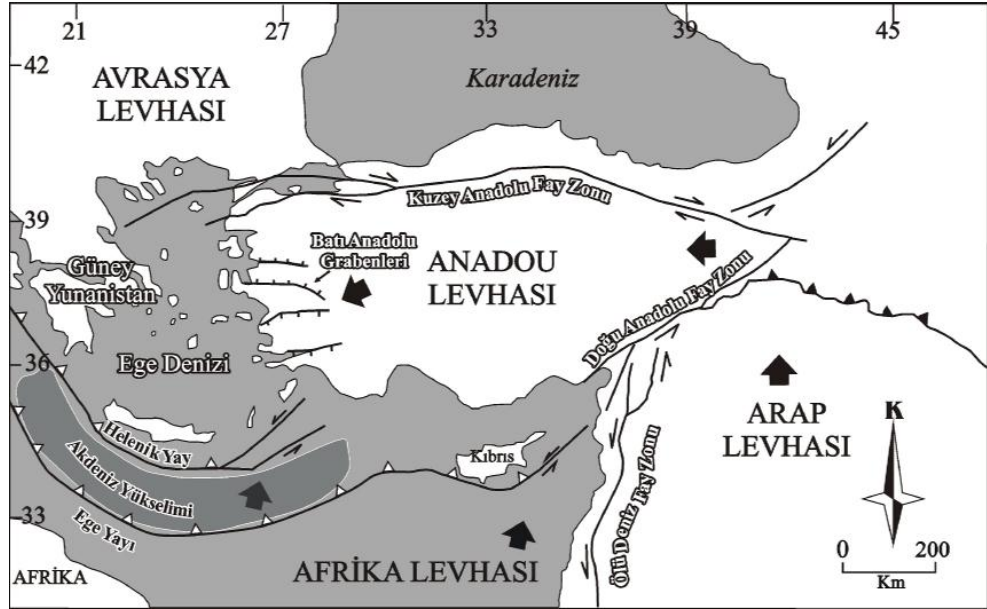
İnceöz ve arkadaşları Kuzey ve Doğu Anadolu fay sistemlerinde, deprem ve topraktaki radon gazı konsantrasyonundaki dalgalanmalar arasındaki ilişkiyi bulabilmek için katı hal nükleer iz kazıma dedektörleri kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucuna göre radon anomalisi, fay hatları üzerinde oldukça belirginken, fay hatlarından uzaklařtıķa etkinliğini gitgide kaybetmektedir (İnceöz et al., 2006).

Türkiye’de 17 Ağustos 1999 depreminden sonra, depremlerin önceden tahmini adına yapılan çalışmalarda önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerden biri de Sa ve arkadaşlarının İzmir faylarında depremin önceden tahmininde radon konsantrasyonunun izlenmesi ve sürekli radon ölçüm istasyonlarının yaygınlaşmasının önemini ortaya koyması olmuştur (Sa et al, 2008).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Ege Bölgesi'nin Tektonik Yapısı

Ege Denizi ve Batı Anadolu sismik açıdan dünyanın en aktif bölgelerinden biridir. Anadolu plakası Alp-Himalaya dağ oluşum sistemi üzerinde yer almaktadır. Afrika-Arabistan ve Hindistan levhalarının hareketi (kuzey yönlü) sonucunda Anadolu ve Avrasya levhaları çarpışmakta ve bu olay sonucunda levhalarda önemli ölçüde deformasyon oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu durum Akdeniz'in doğusunda yer alan Anadolu-Ege bloğunun saat yönünün tersinde bir dönme hareketiyle Ege Yayı'na (merkezi Girit Adası) doğru hareket etmesine sebep olmaktadır (Ambraseys, 1975; Ambraseys and Jackson, 1998).



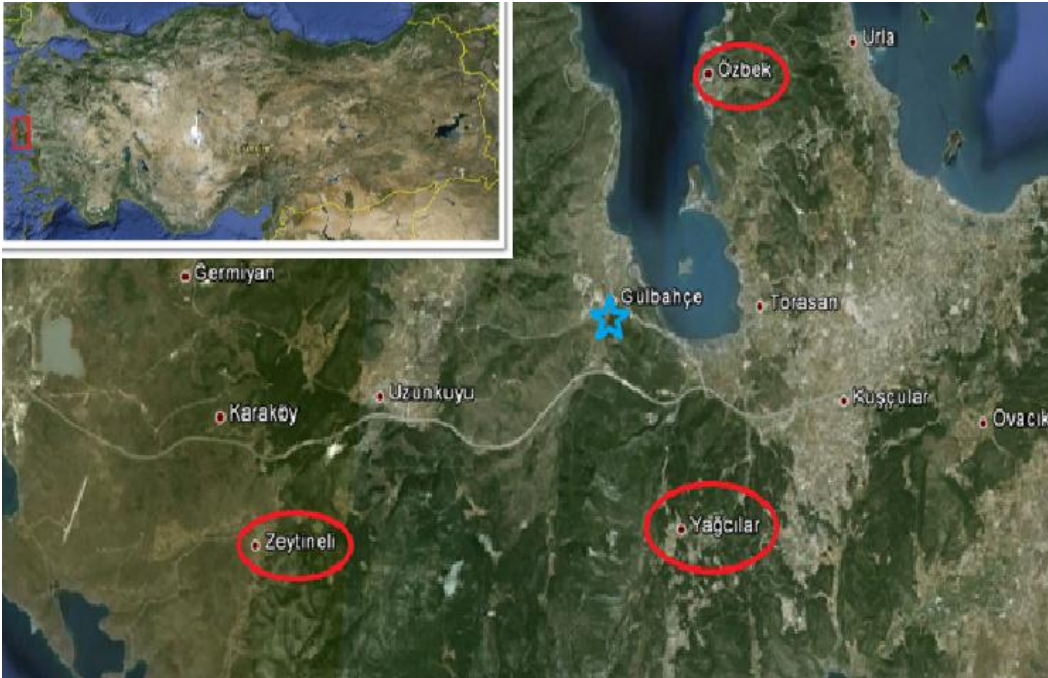
Şekil 3.1 Anadolu Levhasının Hareketi

Geçmişten günümüze dek devam eden bu karmaşık hareketlerin sonucunda Anadolu levhası üzerinde pek çok fay hattı oluşmuştur. Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı, Kıbrıs-Ege Yayları bu fay hatlarının başlıcalarıdır. Uydular kullanılarak yapılan jeodezik ölçümler sonucunda Anadolu plakasının Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yılda yaklaşık 23 mm hareket ettiği saptanmıştır. Bu hareketle beraber Anadolu-Ege bloğu rotasyonel bir hareket yapar. Anadolu-Ege bloğunun bu rotasyonel hareketine sebep olan iki önemli etmen vardır. Bunlardan ilki Doğu Anadolu'da çarpışan Arabistan ve Avrasya levhalarıdır. Bu çarpışma sonucunda bir sıkışma bölgesi meydana gelmekte ve Anadolu bloğu bu sıkışma

bölgesi nedeniyle batıya doğru hareket etmektedir. İkinci etmen ise Girit Adası yakınlarında bulunan Ege Yayı'nın, yutulan okyanusal litosferin ağırlığı nedeniyle güneye doğru geri çekilmesidir. Bu durum Anadolu'nun batısında ve Ege Denizi'nde KKD-GGB yönlü gerilmeye (genişlemeye) neden olmaktadır. Bu gerilme sonucunda İzmir ve çevresinde pek çok faylanma meydana gelmiştir. Bu faylardan Karaburun Fayı, K-G doğrultulu olup Karaburun Yarımadası'nın yükselmesine sebep olurken Urla Fayı, Urla-Uzun ada eksenini boyunca İzmir Körfezi içinde yer almaktadır. Tuzla Fayı ise KD-GB doğrultulu olup İzmir kentinin içinden geçerek Doğanbey Burnu açıklarına kadar devam etmektedir. İzmir ve çevresini K-G ve KD-GB doğrultularla kesen Urla, Karaburun ve Tuzla Fayları, doğrultu atım karakterli olup son yıllarda bölgenin depremselliğini büyük ölçüde etkileyen faylar olarak tanımlanmaktadır. Seferihisar (2003) ve Sığacık Körfezi (2005) depremleri bu depremselliğin en güncel örnekleridir (Ocakoğlu vd., 2005).

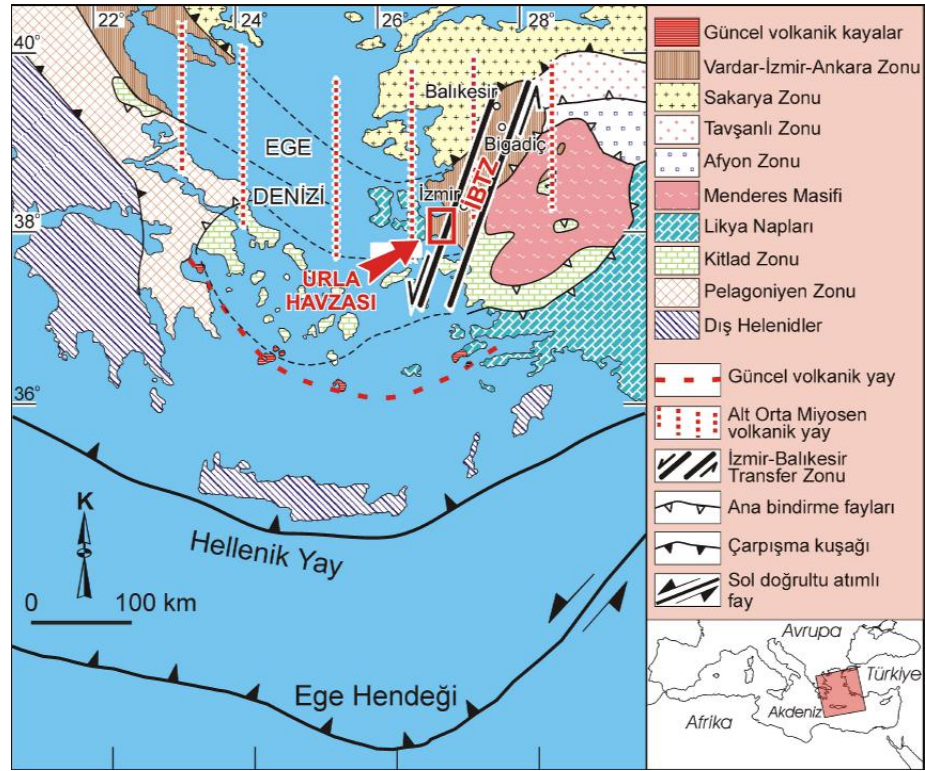
### 3.2 Çalışma Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı

Çalışma alanı İzmir ili Urla ilçesi sınırları içerisindedir. Urla, İzmir şehir merkezine 35 km uzaklıkta bulunmaktadır. Doğusunda Güzelbahçe ve Seferihisar, batısında Çeşme, kuzeybatısında Karaburun ve güneyinde Ege Denizi bulunur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çalışma bölgesinin uydu görüntüsü (Google Earth'den alınmıştır.)

Urla ve çevresi, K-G doğrultulu gerilme kuvvetleri etkisi altında şekillenen ve “Batı Anadolu Genişleme Bölgesi” adı verilen bir bölgede yer almaktadır ve güncel uydu verilerine göre İzmir ve çevresindeki yer kabuğu, KD-GB eksenli bir hareket yapmaktadır (Reilinger ve diğ., 1997). Urla, bu hareketin eksenli üzerinde yer almakta olup yaklaşık 2 milyon yıldan beri oluşumu devam eden bir havza içerisinde bulunur. Bu havzaya da Urla Havzası denilmektedir (Şekil 3.3). Urla Havzası, K-G uzanımlı bir havza olup, İzmir ve Balıkesir arasında uzanım gösteren İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) adı verilen yaklaşık 60 km genişliğinde ve 150 km uzunluğunda doğrultu atımlı bir zonun orta-batı kısmında bulunmaktadır. Bu zon üzerinde meydana gelen sismik aktiviteler Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes grabenlerinin en batı ucunu şekillendirmektedir.



Şekil 3.3 İBTZ içindeki Urla Havzasının Konumunu gösteren jeoloji haritası ( Sözbilir ve diğ.,2008)

Urla Havzası, İzmir ve civarında tarih boyunca yıkımlara neden olmuş önemli depremlere yol açan pek çok fayı içermektedir (Şekil 3.4). Bu faylar Seferihisar-Yelki, Demircili-Yağcılar, Kuşçular-Urla, Azmak-Bademler ve Ovacık-Kocadağ olarak bilinmektedir.

**Seferihisar-Yelki Fay Zonu:** Urla Havzası’ nın doğu kenarında bulunan bu fay zonu 2-3 km genişliğinde ve 23 km uzunluğundadır. İçerisinde uzunlukları 1-

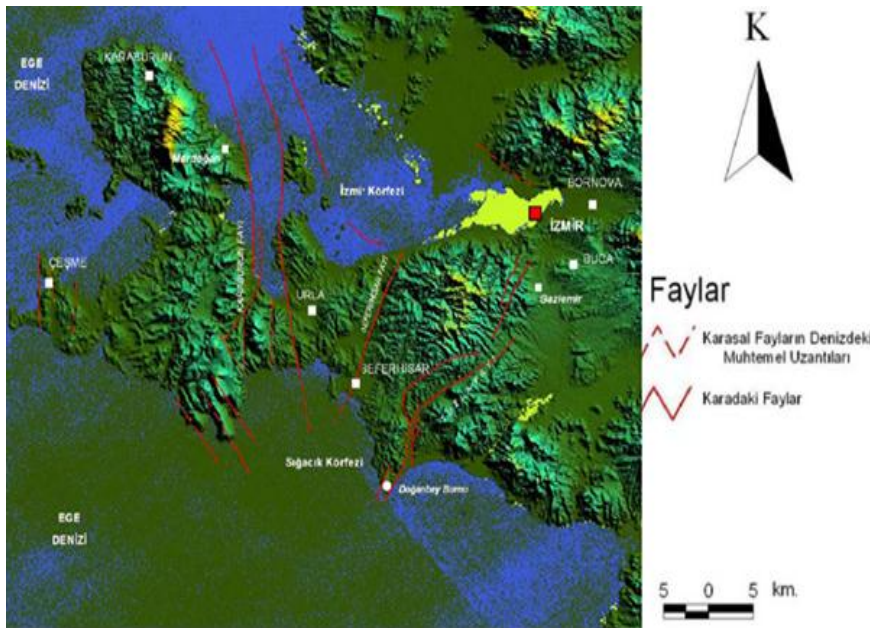
12 km arasında değişen pek çok doğrultu atımlı fay bulunur. Bölgede 10 Nisan 2003 tarihinde meydana gelen depremin ana şoku bu fay zonunda meydana gelmiştir.

**Demircili-Yağcılar Fay Zonu:** Urla Havzası' nın batı kenarında bulunan bu zon 11 km uzunluğunda ve 2 km genişliğindedir. K-G doğrultuludur. Demircili Köyü'nün güneyinden başlar, kuzeye doğru Yağcılar Köyü'nden geçerek Gülbahçe Körfezi'ne ulaşır.

**Kuşcular-Urla Fay Zonu:** K-G doğrultulu olan bu zon, yaklaşık 14 km uzunluğundadır. Güney kesimlerinde 200 metre genişliğe sahipken, Urla civarında 3 km genişliğe ulaşarak Gülbahçe Körfezi'ne ulaşır.

**Azmac-Bademler Fay Zonu:** Bu zon, Sığacık Körfezi'nin kuzeyinde bulunan Azmac Ovası'nda 250 metre genişliğinde dar bir koridorla başlar ve Bademli Köyü'nde 1,5 km genişliğe erişerek yaklaşık 20 km uzunluğa ulaşır.

**Ovacık-Kocadağ Fay Zonu:** Urla Havzası'nın orta kısmında belirgin bir morfolojinin oluşmasına neden olan bu fay zonu yaklaşık olarak 2 km genişliğinde ve 15 km uzunluğundadır. Havzanın ortasında yer alan Kocadağ Tepesi bu fay zonunda bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Urla ve Çevresinin Aktif Fayları

Havza ve çevresindeki fay hatları sebebiyle bölgenin depremselliği oldukça fazladır. Son yüzyılda Urla bölgesi ve civarında pek çok önemli deprem meydana gelmiştir (Tablo 3.1).

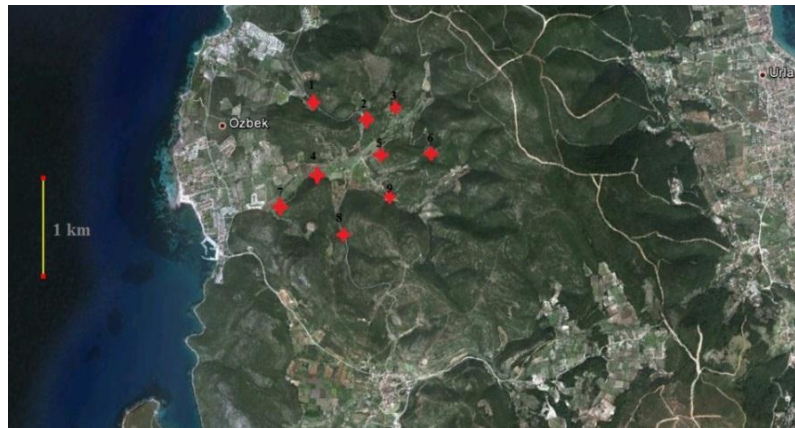
Tablo 3.1 Urla ve çevresinin son yüzyıldaki depremselliği

Deprem Tarihi	Deprem Merkez Üssü	Deprem Büyüklüğü
2 Mayıs 1953	Karaburun	5,6
1 Şubat 1974	İzmir	5,2
16 Aralık 1977	İzmir	5,3
14 Haziran 1979	Karaburun	5,7
6 Kasım 1992	Seferihisar Körfezi	6,0
14 Kasım 1997	Sakız Adası Açıkları	5,8
10 Nisan 2003	Urla	5,8
17 Ekim 2005	Sığacık Körfezi	5,7
17 Ekim 2005	Sığacık Körfezi	5,9

### 3.3 Arazi ve Etüt Çalışmaları

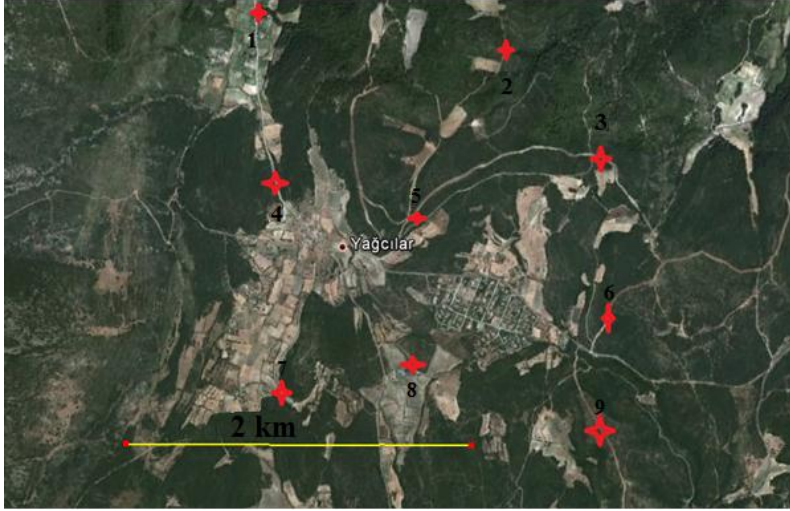
Urla ilçesine bağlı Özbek, Yağcılar ve Zeytineli bölgelerinde toprak gazı radon ölçümleri LR-115 Tip-2 nükleer iz kazıma dedektörleri ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yaklaşık bir yıllık bir süreçte (20 Ekim 2011-18 Ekim 2012 tarihleri arasında) aylık periyotlarla alınmıştır. Çalışmada her bölgede kareyaj yöntemiyle istasyonlar oluşturulmuş ve istasyonların coğrafi konumları kaydedilmiştir. İstasyonların oluşturulması esnasında çıkan toprak örnekleri alınarak laboratuara getirilmiş, radyoaktivite ölçümleri yapılmış, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.

Özbek bölgesi için kullanılan kareyaj yönteminde istasyonlar 9 km<sup>2</sup>'lik (3x3) bir bölgeye yerleştirilmiştir (Şekil 3.5).



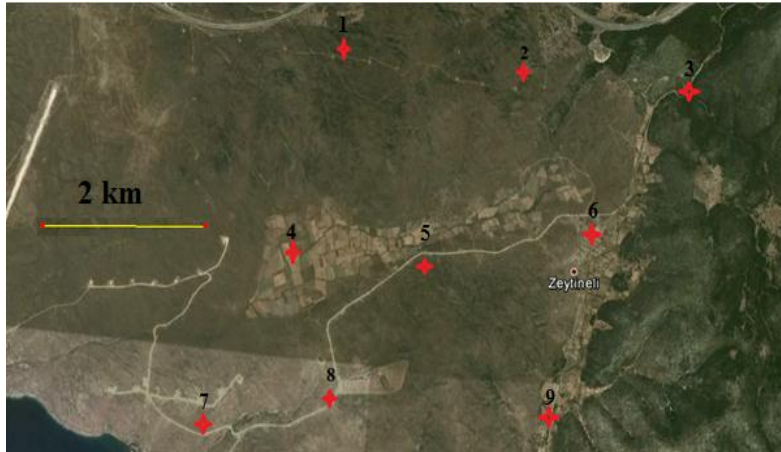
Şekil 3.5 Özbek bölgesi istasyonlarının uydu görüntüsü (Google Earth 2012)

Yağcılar bölgesinde ise istasyonlar (6x6) km<sup>2</sup>'lik bir bölgeye kurulmuştur. Toplamda 36 km<sup>2</sup>'lik bir alanda ölçüm alınmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Yağcılar bölgesi istasyonları (Google Earth 2012)

Zeytineli bölgesinde de tıpkı Yağcılar bölgesinde olduğu gibi (6x6) km<sup>2</sup>'lik bir bölgede istasyonlar kurulmuştur. Toplamda yaklaşık 36 km<sup>2</sup>'lik bir alan incelenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Zeytineli bölgesi istasyonları (Google Earth 2012)

### 3.4 Çalışmada Kullanılan Radon Ölçüm Yöntemleri

Bu çalışmada toprak gazındaki radon konsantrasyonları LR-115 Tip 2 nükleer iz kazıma dedektörleri ve sürekli radon ölçüm sistemi ile belirlenmiştir.

### 3.4.1 Katı hal Nükleer İz Kazıma Dedektörleri

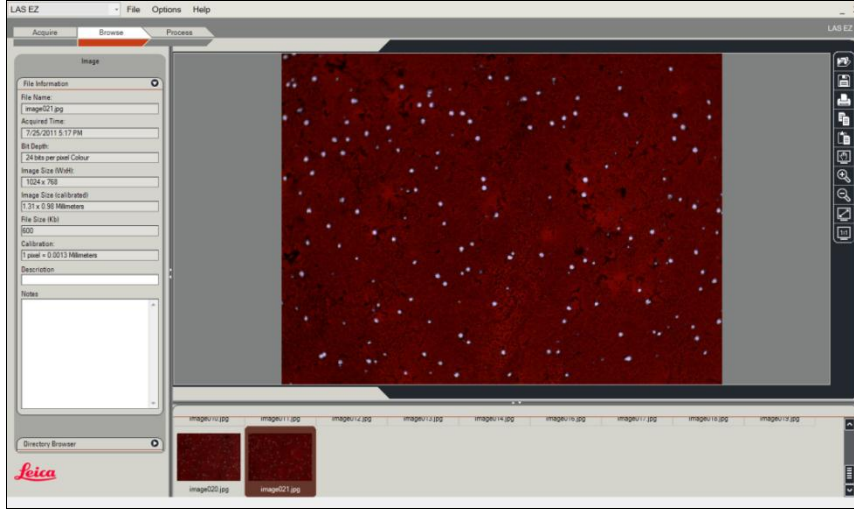
Çalışma bölgesinde öncelikle istasyon konumları belirlenmiş ve daha sonra istasyonlara LR-115 dedektörlerin yerleştirilmesi için toprak yaklaşık 1 m derinliğe kadar silindirik olarak kazılmıştır. Açılan silindirik boşlukların muhafaza edilmesi için içerisine PVC borular yerleştirilmiştir. Boruların içerisine, eşit hacimlerde ölçüm almasını sağlamak amacıyla ters çevrilmiş kavanozlar yerleştirilmiştir. LR-115 dedektörler bu kavanozların içerisinde yerleştirilerek periyodik ölçümlere başlanmıştır. Film dedektör sistemini dış etkilerden koruyan PVC boruların üstü koruma kapağı ile kapatılarak izole edildi. Radon gazı konsantrasyonları her istasyondan aylık periyotlarla alınan ölçümler ile belirlendi. Her ay yenisi ile değiştirilen dedektörlerdeki izlerin belirginleştirilmesi için laboratuarda kimyasal iz kazıma işlemi uygulandı. Bu işlem sırasında dedektörler, önceden 60 °C sıcaklığa getirilmiş 2,5 N' lik NaOH çözeltisinde 90 dakika boyunca bekletildi (Baixeras et al., 1997). İz kazıma işleminin bitiminde dedektörler saf suya konularak 10 dakika tutuldu. Bu işlemlerin sonucunda detektördeki gizli izler optik mikroskopta saptanabilir duruma getirildi. Ardından optik mikroskop yardımıyla dedektör üzerindeki izlerin görüntüleri fotoğraflandı. Fotoğraflamada LEICA DM 750 optik mikroskop, LEICA ICC 50 dijital kamera, masaüstü bilgisayar ve LEICA Application Suite (LAS EZ) yazılımını içeren dijital mikroskop sistemi kullanıldı (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Çalışmada kullanılan Leica DM 750 optik mikroskop

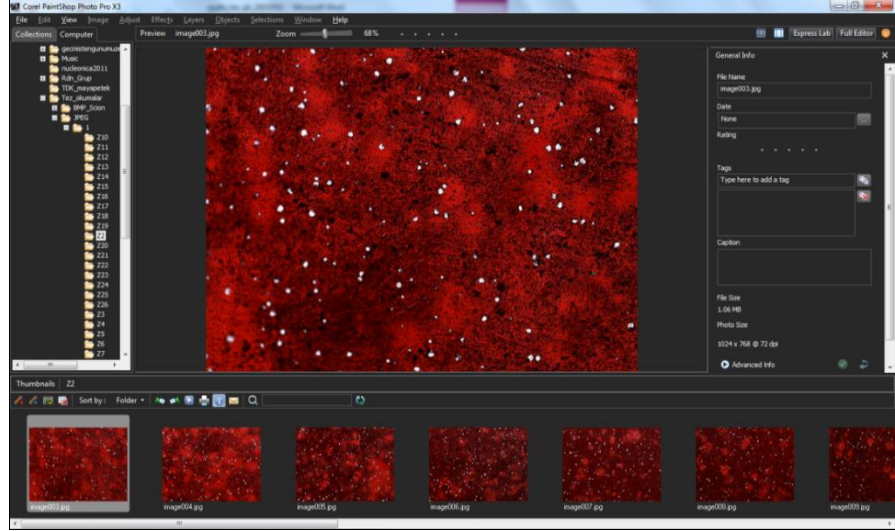
Fotoğraflama işlemi her bir dedektör için, dedektörün farklı bir yüzey alanını kapsayacak şekilde yapıldı. Bu şekilde rastgele seçilmiş olan 20 farklı

bölgenin fotoğrafı elde edildi. Çalışmada mikroskobun 100X büyütme objektifi kullanıldı. Bu objektif ile  $1,28 \text{ mm}^2$  büyüklüğünde alanlar görüntülenmektedir (Şekil 3.9).



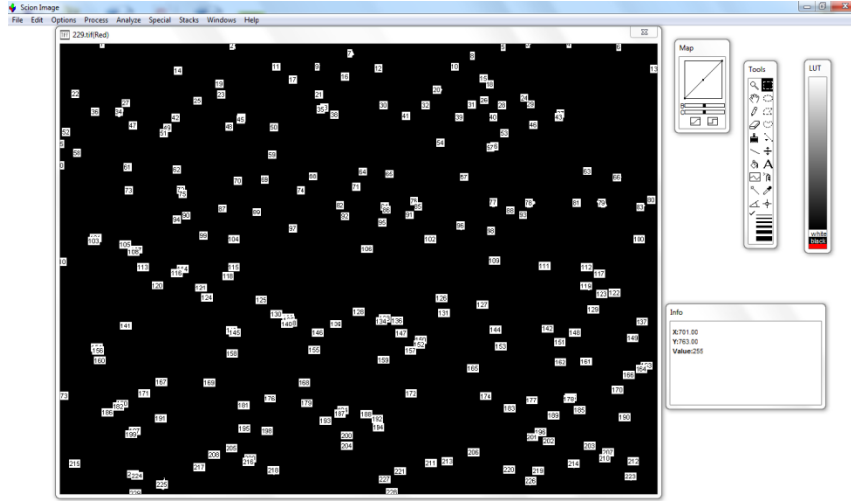
Şekil 3.9 LR-115 film dedektör üzerinde rastgele seçilmiş bir bölgenin, LEICA Application Suite ile alınmış görüntüsü

Elde edilen film dedektörlerin fotoğrafları, Corel Paintshop Pro X3 görüntü işleme yazılımı kullanılarak rötuşlandı (Şekil 3.10). Bu yazılım kullanılarak izler belirginleştirildi ve iz dışındaki görüntüler yok edildi. Dört adımda gerçekleşen bu işlem sırasında dedektörlerin .jpeg uzantılı fotoğrafları kullanıldı. İlk aşamada fotoğraf açıldıktan sonra, sağ üst köşedeki sekmeden Full Editör açıldı. Buradan keskinlik ayarı yapıldı. Birbirine çok yakın pikseller arasındaki karışıklığın arttırılması için yapılan bu işlemde ekranın en üstünde yer alan ana sekmeler içinden “Adjust” seçildi. Ardından “Sharpness” sekmesinden “Sharpen More” seçilerek ilk aşama tamamlandı. İkinci aşamada izlerin kenarındaki piksellerin karışıklığının ayarlanması amacıyla soften more işlemi uygulandı. Bu işlem “Adjust” menüsündeki “Softness” alt sekmesinde bulunan “Soften More” seçilerek uygulandı. Üçüncü aşamada siyah-beyaz görüntü elde etmek amacıyla eşik ayarlaması yapıldı. Eşik değeri 200 alınarak az gelişmiş izlerin hariç tutulması sağlandı. Bu işlem “Adjust” menüsünden “Brightness and Contrast” alt sekmesindeki “Threshold” sekmesi seçilerek yapıldı. Dördüncü ve son aşamada, elde edilmiş olan siyah-beyaz görüntüler .bmp olarak kaydedildi.



Şekil 3.10 Corel PaintShop Pro X3 görüntü işleme yazılımı kullanılarak yapılan rötüşün ekran görüntüsü

Görüntülerin işlenmesinin ardından iz yoğunluğunun tespit edilmesi aşamasına geçildi. Bu amaçla “SCION Image Analyser” yazılımı kullanıldı. Bu yazılım bakterilerin sayılmasında kullanılmasına rağmen, Arias ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan düzenlemeyle  $^{222}\text{Rn}$ 'nin ve bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıklarının izlerinin sayılmasında da kullanılmaktadır. SCION yazılımında da izlerin sayılabilmesi için çeşitli işlemler uygulandı. Bu işlemlerden ilkinde “Process” sekmesi altında bulunan “Aritmetic” menüsünde “Add” konumu aktif hale getirildi. Böylelikle bu pencerede varsayılan değer kullanılmış oldu ve izlerinin görüntülerinin her bir pikseline 25 sabiti eklenmiş oldu. İkinci aşamada “Options” sekmesi altındaki “Density Slicing” aktif hale getirildi. “LUT” penceresi kullanılarak bütün izlerin kırmızı olması sağlandı. Üçüncü aşamada “Analyse” sekmesinde bulunan “Analyze Particles” aktif hale getirilerek izlerin ölçümü ve sayımı gerçekleştirildi. Son aşamada ekrandaki info penceresinden, incelenen bmp görüntüsüne ait iz sayısı görüntülendi (Şekil 3.11). Bu iz sayıları daha sonra birim alandaki iz yoğunluğu ( iz  $\text{cm}^{-2}$ ) cinsinden hesaplandı.



Şekil 3.11 İz sayılarının SCION yazılımı tarafından elde edilmiş görüntüsü

LR-115 nükleer iz kazıma dedektörlerinin iz yoğunlukları (iz  $\text{cm}^{-2}$  gün $^{-1}$ ), kalibrasyon çalışmasıyla elde edilen kalibrasyon sabiti kullanılarak aktiviteye (Bq  $\text{m}^{-3}$ ) çevrildi. Kalibrasyon çalışması  $^{226}\text{Ra}$  standardı kullanılarak yapıldı (Cherouati et al., 1988). Bu çalışmaya göre 5 farklı aktiviteye sahip (10, 20, 30, 40, 50 Bq) sıvı  $^{226}\text{Ra}$  standartları  $2000 \text{ cm}^3$  hacimli cam kaplara damlatıldı. Ardından içerisine dedektör yerleştirilen bu kaplar hava almayacak şekilde sıkıca kapatıldı (Şekil 3.12).



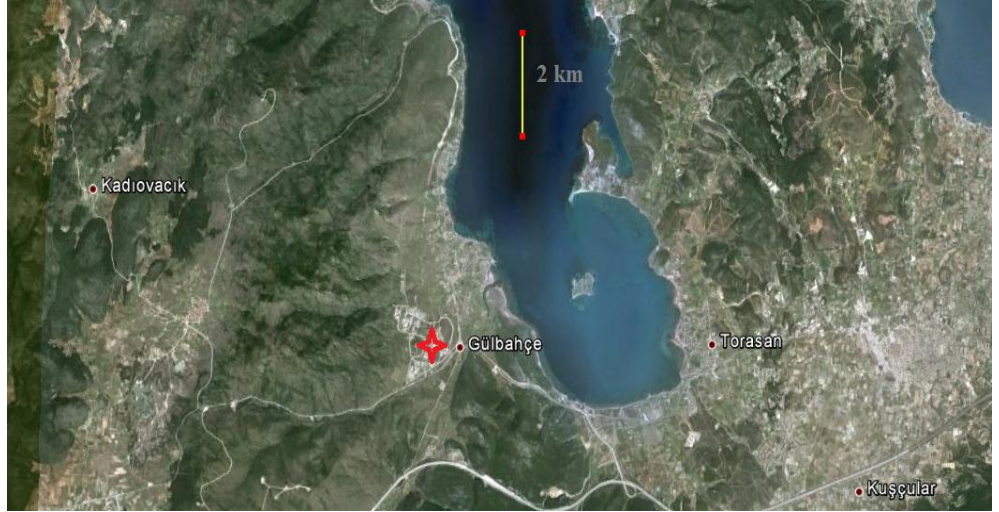
Şekil 3.12 Sıvı  $^{226}\text{Ra}$  standartlı kalibrasyon düzeneği

İçerisinde standart bulunan kaplarda radyoaktif dengenin oluşması için 21 gün süre ile beklendi. Bu süre sonunda dedektörlere standart işlemler uygulanarak iz yoğunlukları tespit edildi. Aktiviteye karşılık iz yoğunluğu grafiğinden kalibrasyon eğrisi çizildi. Çizilen kalibrasyon eğrisine ait denklemden, kalibrasyon katsayısı  $0,0217 \text{ m}^{-3}/\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  olarak belirlendi (İçedef, 2011).

### 3.4.2 Sürekli Radon Ölçüm Sisteminin Çalışma Bölgesine Kurulması

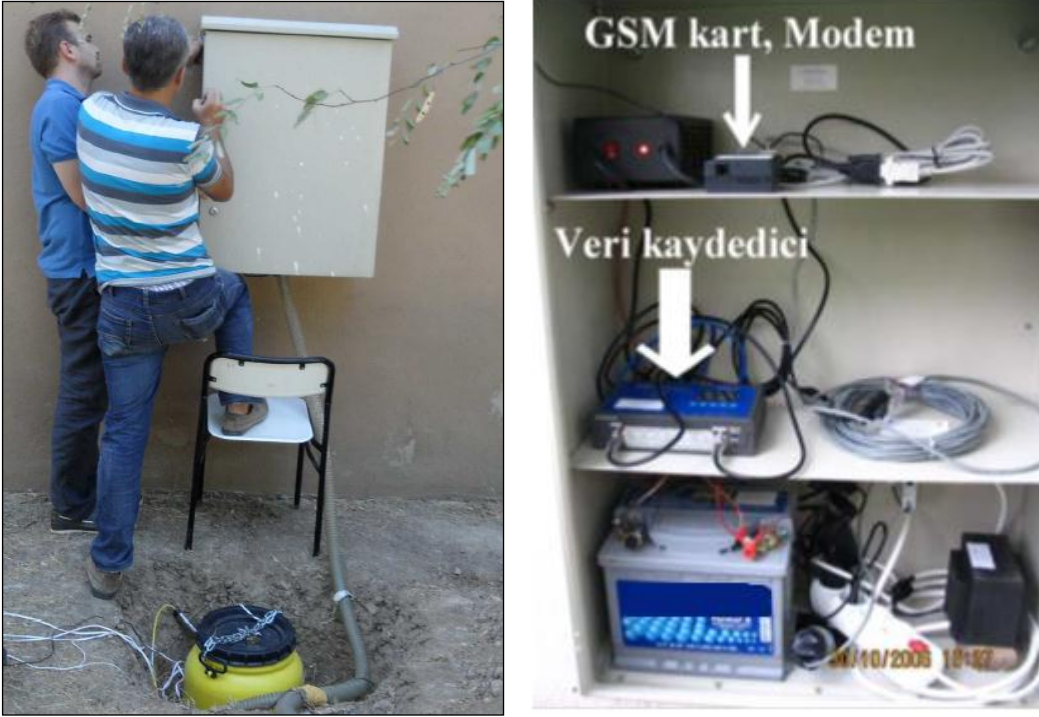
Depremlerin önceden tahmin edilebilmesi, bu doğal afetin sebep olabileceği yıkımların önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan pek çok çalışmada, yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarındaki radon gazı konsantrasyonları sürekli olarak izlenmiştir. Bu konsantrasyonlarda meydana gelebilecek düzensizliklerin (anomali) saptanması ve bu düzensizliklerle sismik aktiviteler arasında bir ilişki kurulması hedeflenmiştir. Bu durum, topraktaki radon gazı konsantrasyonlarının sürekli olarak takip edilmesinin ve bu ölçüm istasyonlarının yaygınlaştırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, İzmir iline bağlı Urla ilçesinin Gülbahçe bölgesinde Saç ve arkadaşları tarafından kurulmuş olan sürekli radon ölçüm sistemine ait veriler kullanıldı (Şekil 3.13).



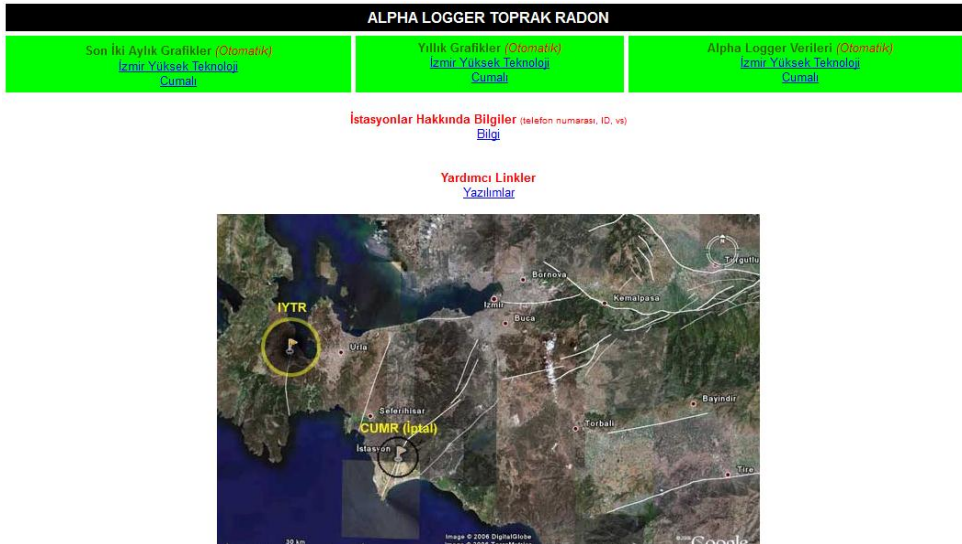
Şekil 3.13 Sürekli radon ölçüm sisteminin bulunduğu Gülbahçe Köyü'nün uydudan alınan görüntüsü (Google Earth 2012)

Bu sistem, Silisyum dedektör (Alphameter 611; AlphaNuclear Inc., Canada), güç ünitesi, GSM modemi ve veri kaydedici (datalogger) ile oluşturulmuştur. Sistemde bulunan Silisyum dedektör oldukça hassas olduğundan, 5 cm çapında ve 40 cm uzunluğunda çelik bir kap içerisinde korunmaktadır. (Şekil 3.14). Silisyum dedektör toprak seviyesinden 80 cm derinlikte gömülmüştür ve ölçümler 15 dakikalık periyotlarla alınmaktadır (Saç ve ark., 2011).

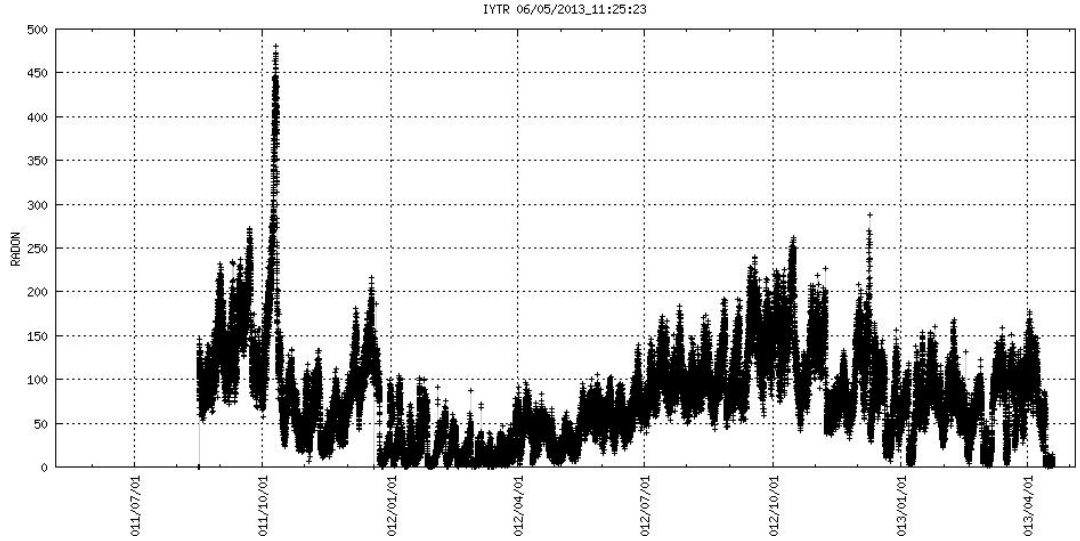


Şekil 3.14 Sürekli radon ölçüm sisteminin kurulumu

Ölçümlerin sonuçları veri kaydedici tarafından kaydedildikten sonra GSM hattı üzerinden sunucuya gönderilmektedir. Bu verilere [http://www.ydbae.mam.gov.tr/izmir\\_ege\\_univ/](http://www.ydbae.mam.gov.tr/izmir_ege_univ/) sayfasından erişilebilmektedir (Şekil 3.15 – Şekil 3.16).



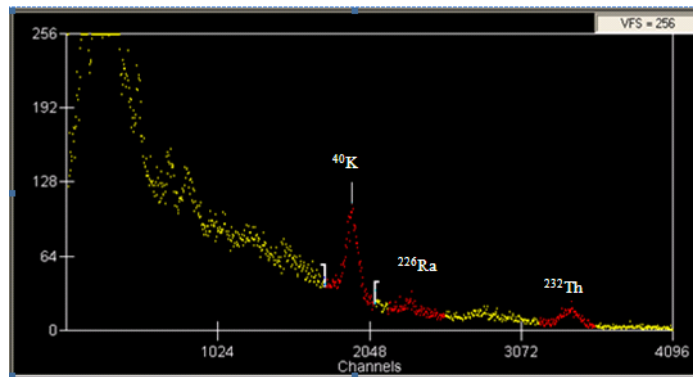
Şekil 3.15 Radon ölçüm verilerinin kayıtları için kullanılan internet sayfası.



Şekil 3.16 İnternet ortamına aktarılan radon sonuçlarının grafiği

### 3.5 Toprak Örneklerindeki $^{40}\text{K}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{226}\text{Ra}$ Radyonüklid Konsantrasyonlarının Hesabı

Çalışma bölgesindeki istasyonlardan alınan toprak örnekleri,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  aktivitelerinin hesaplanabilmesi için bir dizi işlemde geçirdi. Öncelikle toprak örnekleri tartıldı ve ardından etüvde kurutuldu. Kurutulan örnekler 2 mm'lik elekten geçirildi ve 57 mm çapında, 44 mm yüksekliğindeki özel silindirik kaplara konuldu. Daha sonra bu kaplar hava almayacak şekilde sıkıca kapatılarak. Radyum ve bozunum ürünleri arasında dengenin oluşabilmesi amacıyla bu örnekler 40 gün süreyle bekletildi. Bu sürenin sonunda toprak örneklerinin doğal radyoaktivite ölçümleri gama spektroskopisiyle gerçekleştirildi (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Örneklerin gama spektroskopisindeki (NaI(Tl) dedektörlü) spektrum görüntüsü

Çalışmada kullanılan gama spektroskopi sistemi, 3x3 inç'lik NaI(Tl) Tennesse marka sintilasyon dedektörü, fotoçoğaltıcı tüp, Canberra AMP/TSCA (Model 2015A) amplifier, Canberra Multiport II MCA çok kanallı analizör ve Genie 2000 yazılımından oluşmaktadır. Bunun yanı sıra çevreden gelmesi muhtemel radyasyonun engellenmesi amacıyla dedektör sistemi optimum düzeyde kurşun zırh ile çevrelenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Gama spektroskopi sisteminin görüntüsü

Çalışmada, örneklerdeki  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu tespiti için 1,46 MeV enerjili gama piki,  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu tespiti için  $^{214}\text{Bi}$ 'e ait 1,76 MeV enerjili gama piki ve  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyon tespiti için  $^{206}\text{Tl}$ 'ya ait 2,6147 MeV enerjili gama piki kullanıldı.

Çalışmada toprak örneklerinin, standartların ve art ortamın sayımları, 20 000 saniyelik sürelerle 3'er kez yapıldı ve aritmetik ortalamaları alındı. % 52,45 K, 118 ppm U ve 600 ppm Th standartları kullanıldı.

### 3.6 Çalışmada Değerlendirilen Depremler

Çalışmada radon konsantrasyonundaki düzensizlik (anomali) ile korelasyon halinde olduğu düşünülen depremler Dobrovolsky formülü kullanılarak saptandı (Dobrovolsky et al., 1979). Bu formül:

$$D = 10^{0,43xM} \quad (3.1)$$

şeklindedir. Bu formüldeki parametreler:

M: Oluşan depremin magnitudü,

D: Merkezinde depremin yeryüzündeki izdüşümü (episantr) bulunan ve radon anomalisinin deprem ön izleyicisi olarak kullanılabilceği düşünölen bölgenin yarıçapıdır.

Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait resmi internet adresinden <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqmap/gmapt.asp> alındı. Buradan alınan deprem verilerine ait koordinatlar, Google Earth programı içerisinde bulunan mesafe ölçüm uygulaması kullanılarak analiz edildi. Ardından bu depremlerin magnitud büyüklüğüne göre yarıçap değeri Dobrovolsky formülü ile hesaplandı. Bu hesaplar sonucunda D yarıçap değeri içerisinde radon ölçüm istasyonlarının bulunduğu bölgelerde kaydedilen depremler çalışmaya dahil edildi.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1 Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

İstasyonlardan alınan toprak örneklerine ait % tuz, pH, % Organik Madde, % CaCO<sub>3</sub> (kireç) ve bünye analizleri tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Toprak Örneklerinin Analiz Sonuçları

İstasyon	% Tuz	pH	% O.M	% CaCO <sub>3</sub>	% Kum	% Mil	% Kil	Bünye
Ö1	0,029	7,26	0,66	1,98	54,12	22	23,88	Tınlı
Ö2	0,013	7,08	3,97	1,48	44,12	30	25,88	Kumlu Tın
Ö3	0,051	7,35	3,34	5,84	56,12	26	17,88	Kumlu Tın
Ö4	0,032	7,50	3,41	6,16	46,12	32	21,88	Tınlı
Ö5	0,055	7,56	2,28	10,64	48,12	34	17,88	Kumlu Killi Tın
Ö6	0,046	7,54	1,76	6,37	54,12	24	21,88	Kumlu Tın
Ö7	0,033	7,43	1,95	4,79	52,12	22	25,88	Kumlu Tın
Ö8	0,002	7,86	0,79	3,28	56,12	22	21,88	Kumlu Killi Tın
Ö9	0,061	7,54	2,94	8,44	46,12	32	21,88	Tınlı
Y1	0,017	7,33	7,81	4,45	52,12	34	13,88	Kumlu Tın
Y2	0,013	7,34	6,22	5,85	52,12	32	15,88	Kumlu Tın
Y3	0,078	7,24	7,49	1,12	54,12	30	15,88	Kumlu Tın
Y4	0,038	7,31	0,59	0,91	56,12	24	19,88	Tınlı
Y5	0,001	7,74	2,09	9,93	44,12	32	23,88	Killi Tın
Y6	0,030	7,67	2,19	5,32	44,12	34	21,88	Tınlı
Y7	0,037	7,28	1,70	1,03	56,12	24	19,88	Tınlı

Tablo 4.1'in devamı

İstasyon	% Tuz	pH	% O.M	% CaCO <sub>3</sub>	% Kum	% Mil	% Kil	Bünye
<b>Y8</b>	0,001	7,15	2,57	1,43	52,12	22	25,88	Kumlu Killi Tın
<b>Y9</b>	0,015	7,11	3,76	1,52	44,12	30	25,88	Kumlu Tın
<b>Z1</b>	0,034	7,22	2,88	1,33	52,12	24	23,88	Kumlu Killi Tın
<b>Z2</b>	0,039	7,51	2,13	5,40	56,12	24	19,88	Kumlu Tın
<b>Z3</b>	0,004	7,26	0,93	2,38	58,12	20	21,88	Kumlu Killi Tın
<b>Z4</b>	0,048	7,35	2,88	6,92	56,12	28	15,88	Kumlu Tın
<b>Z5</b>	0,081	7,19	1,88	1,12	52,12	20	27,88	Kumlu Killi Tın
<b>Z6</b>	0,004	7,15	2,47	1,41	50,12	24	25,88	Kumlu Killi Tın
<b>Z7</b>	0,079	7,22	6,94	1,51	52,12	30	17,88	Kumlu Tın
<b>Z8</b>	0,036	7,30	4,61	1,97	56,12	24	19,88	Kumlu Killi Tın
<b>Z9</b>	0,043	7,51	3,94	6,22	46,12	32	21,88	Tınlı

Çalışma kapsamında Özbek, Yağcılar ve Zeytineli bölgelerindeki LR-115 Katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerinin bulunduğu istasyonlardan toprak örnekleri alındı. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda çalışma bölgelerinden alınan toprak örneklerine ait pH değerlerinin 7,08 ile 7,86 arasında olduğu görülmüştür. Bu durum, bölge topraklarının hafif alkali olduğunu göstermektedir. Aynı toprak örnekleriyle yapılan % organik madde miktarı ölçümlerinde sonuçların 0,59 ile 7,81 arasında değiştiği görülmüştür. Pek çok istasyonun toprak örneği humusça zengindir. Bunun sebebi çalışma bölgesindeki doğal çevrenin çam ormanlarıyla kaplı olması olabilir. Toprak örneklerinde yapılan % tuz içerik tayini sonucunda bulunan değerler 0,001 ile 0,081 arasındadır. Yani genel olarak topraklardaki tuz içeriği çok düşüktür. Bu durumun nedeni örneklerin alındığı

arazilerin genelde eğimli olması ve topraktaki tuzun yağışlarla birlikte yıkanarak sürüklenmesidir.

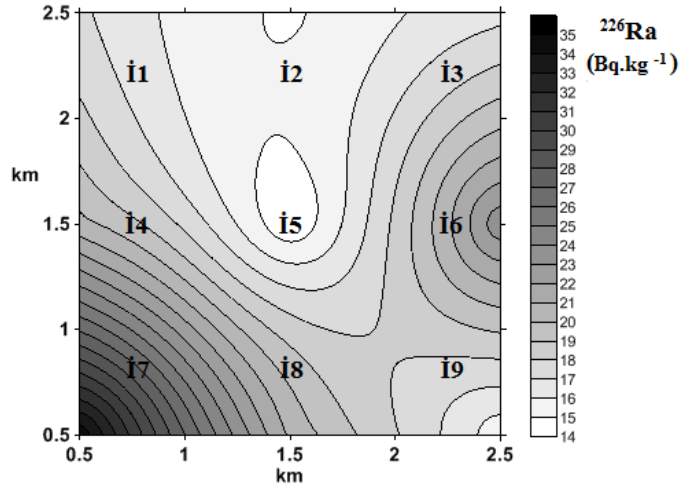
#### 4.2 Toprak Örneklerinin $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{40}\text{K}$ Radyonüklid Konsantrasyonları

Alınan toprak örnekleri sintilasyon gama spektroskopisi kullanılarak analiz edildi. Yapılan analizler sonucunda örneklerin  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları tayin edildi ve sonuçlar tablo 4.2’de verildi. Ayrıca elde edilen sonuçların, grafik programı kullanılarak bölgelere göre dağılım haritası elde edildi (Şekil 4.1 - Şekil 4.9).

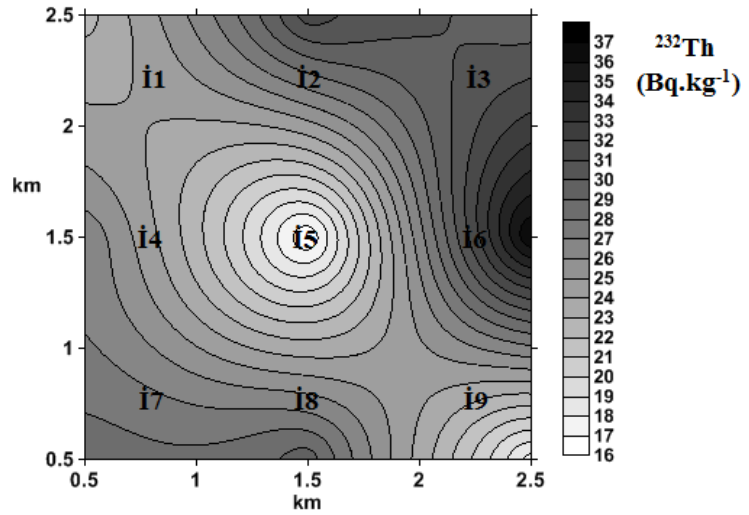
Tablo 4.2 Radyonüklid Konsantrasyonları

İSTASYON ADI	$^{226}\text{Ra}$ ( Bq.kg <sup>-1</sup> )	$^{232}\text{Th}$ ( Bq.kg <sup>-1</sup> )	$^{40}\text{K}$ ( Bq kg <sup>-1</sup> )
Ö1	17,2	22,6	580,5
Ö2	14,9	31,6	491,7
Ö3	16,7	29,2	475,8
Ö4	20,3	26,8	366,2
Ö5	14,1	16,0	251,3
Ö6	23,8	37,1	498,4
Ö7	34,8	28,6	481,2
Ö8	20,8	29,6	547,6
Ö9	15,3	17,5	264,4
Y1	22,1	21,9	405,8
Y2	23,4	20,8	442,9
Y3	17,2	25,8	451,6
Y4	28,1	32,3	767,2
Y5	23,3	35,8	703,7
Y6	15,2	19,3	394,6
Y7	17,7	34,7	342,9
Y8	21,8	35,4	654,2
Y9	12,2	30,3	508,4
Z1	18,7	27,3	495,7
Z2	23,4	35,1	485,9
Z3	24,6	37,3	275,2
Z4	17,6	28,8	487,5
Z5	18,2	36,7	694,2
Z6	23,2	33,5	643,8
Z7	16,9	26,3	453,1
Z8	20,1	29,4	523,2
Z9	21,7	27,6	572,1

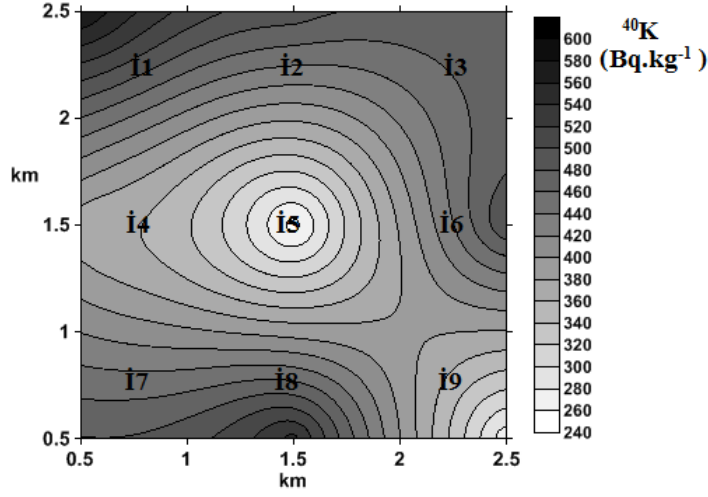
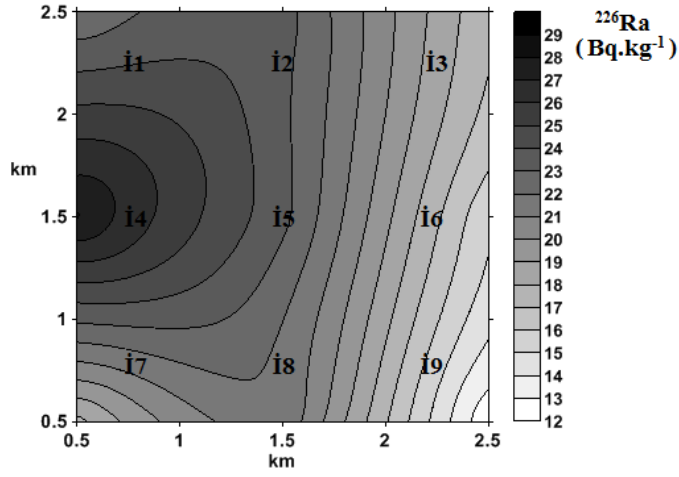
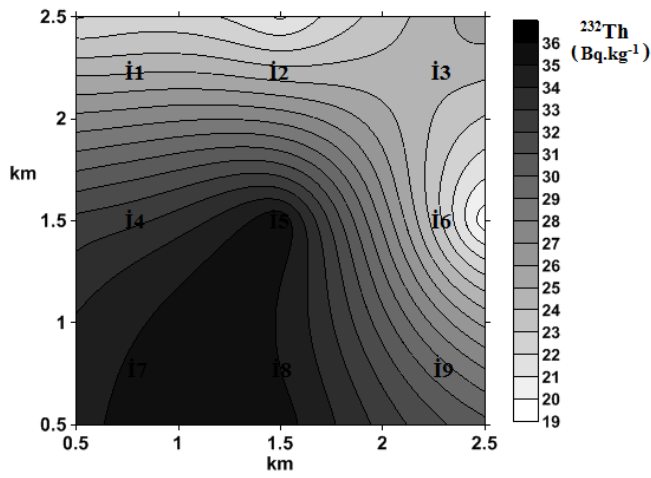
Bu sonuçlara göre  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonlarının 12,2 ile 34,8  $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında,  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonlarının 16,0 ile 37,3  $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında,  $^{40}\text{K}$  konsantrasyon sonuçlarının da 251,3 ile 767,2  $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında değiştiği görülmüştür. UNSCEAR verilerine göre dünya topraklarının genelindeki  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu 35 (17-60),  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu 30 (11-64) ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu 400 (14-850)  $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000). Bu sonuçlara göre, bölge topraklarında ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonlarının dünya ortalaması civarlarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9).

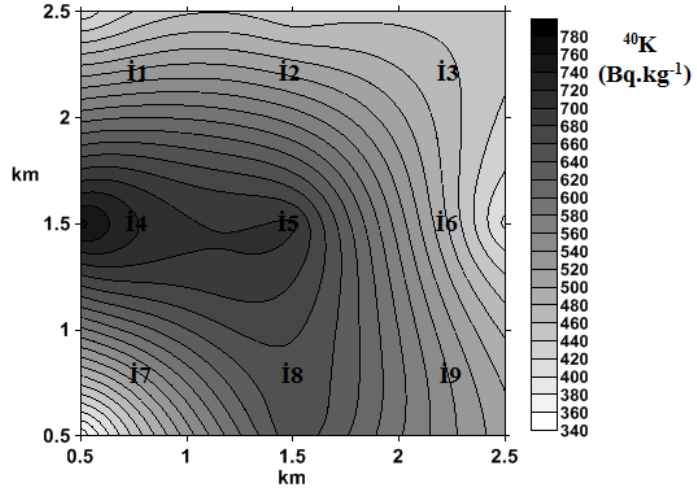


Şekil 4.1 Özbek bölgesine ait  $^{226}\text{Ra}$  grafiği

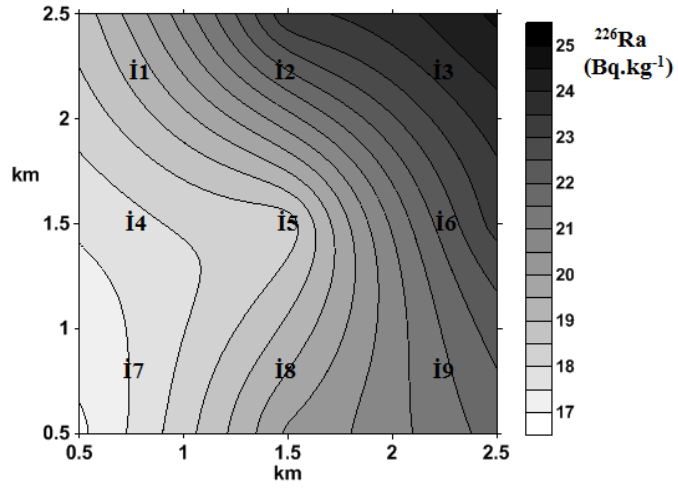


Şekil 4.2 Özbek bölgesine ait  $^{232}\text{Th}$  grafiği

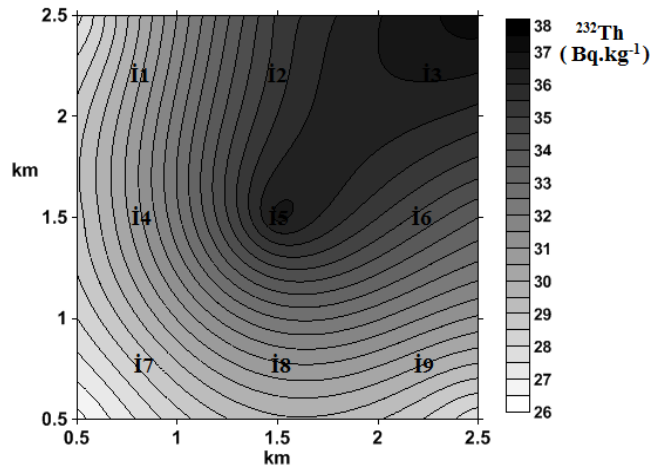
Şekil 4.3 Özbek bölgesine ait  $^{40}\text{K}$  grafiğiŞekil 4.4 Yağcılar bölgesine ait  $^{226}\text{Ra}$  grafiğiŞekil 4.5 Yağcılar bölgesine ait  $^{232}\text{Th}$  sonuçları



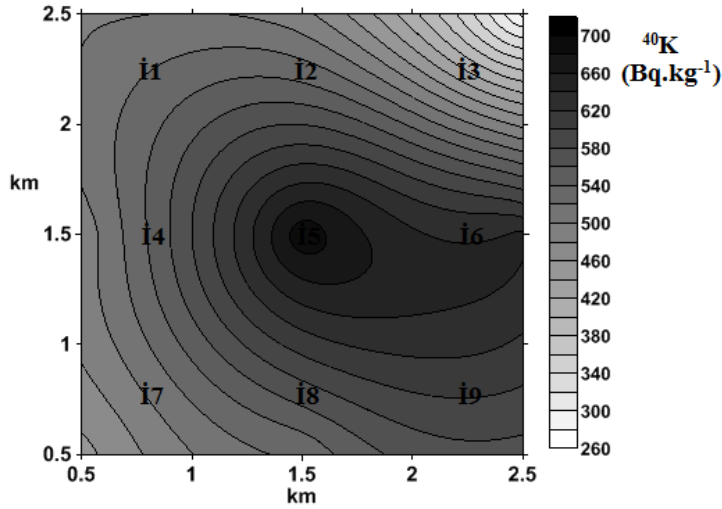
Şekil 4.6 Yağcılar bölgesine ait  $^{40}\text{K}$  grafiği



Şekil 4.7 Zeytineli bölgesine ait  $^{226}\text{Ra}$  grafiği



Şekil 4.8 Zeytineli bölgesine ait  $^{232}\text{Th}$  grafiği



Şekil 4.9 Zeytineli bölgesine ait  $^{40}\text{K}$  grafiği

### 4.3 Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değerleri

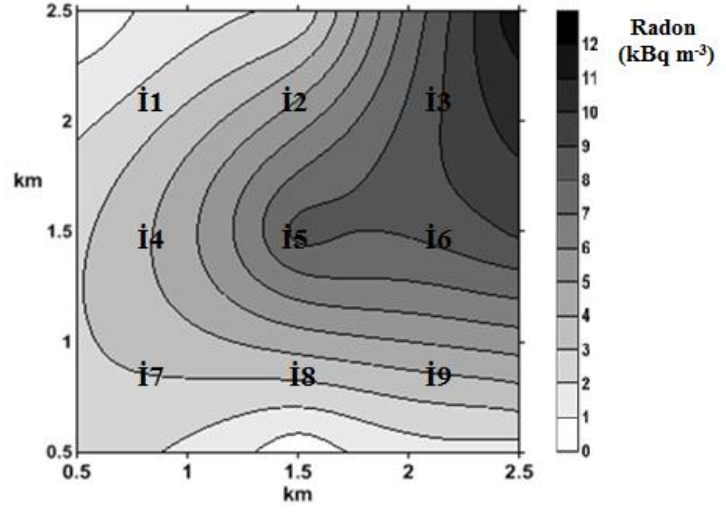
Çalışmada toprak gazındaki radon konsantrasyonları iki yöntemle analiz edildi. Bu yöntemler; katı hal nükleer iz kazıma dedektör yöntemi ve online sistem sürekli radon ölçüm yöntemidir.

#### 4.3.1 Katı Hal İz Kazıma Dedektör Yöntemi Sonuçları

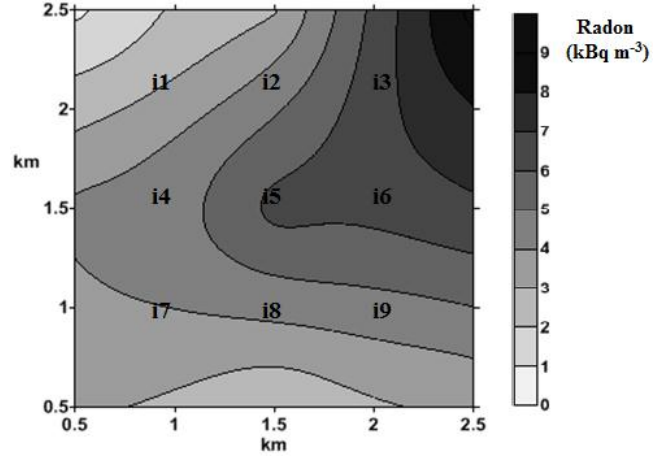
Çalışma kapsamında Özbek, Yağcılar ve Zeytineli bölgelerine katı hal iz kazıma dedektörlerini yerleştirmek için istasyonlar kuruldu. Toplam 27 istasyondan 1 aylık periyotlarla, 1 yıl boyunca veriler alındı ve alınan veriler laboratuarda analiz edildi. Bu analizlerin sonuçları grafik programı kullanılarak, her bir bölge için aylık radon dağılım haritası elde edildi (Şekil 4.10 - Şekil 4.48).

#### Urla-Özbek Bölgesine ait aylık Radon konsantrasyon değişimi

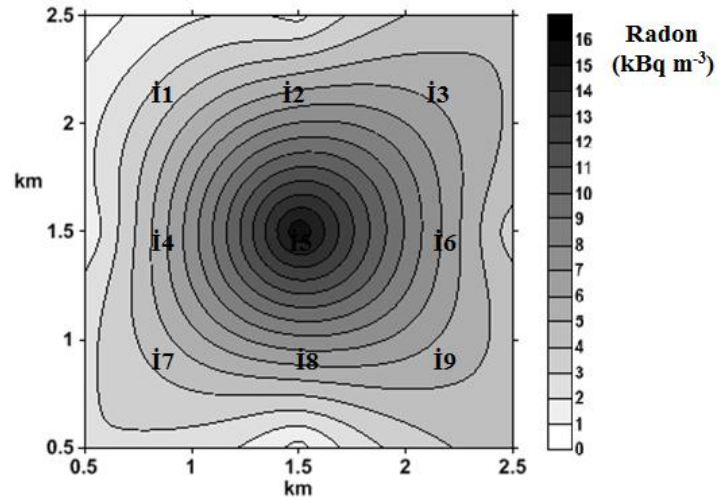
Urla-Özbek bölgesinde LR-115 filmleri ile Ekim 2011-Ekim2012 tarihi arasında elde edilen radon ölçüm sonuçları grafik halinde verilmiştir (Şekil 4.10 - 4.22).



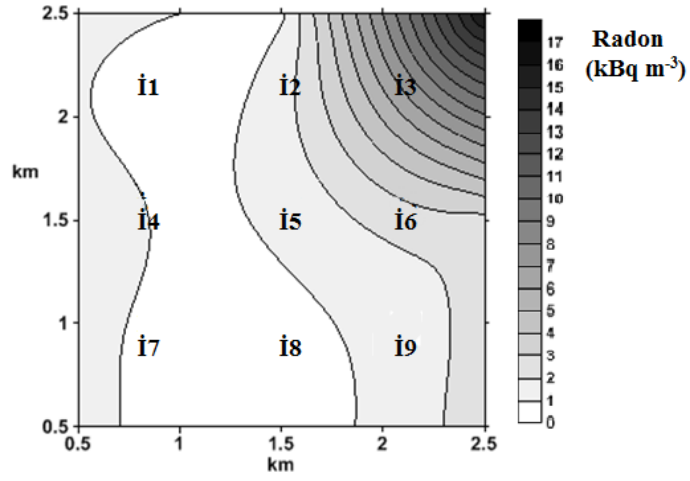
Şekil 4.10 Ekim 2011 tarihli Radon ölçüm grafiği



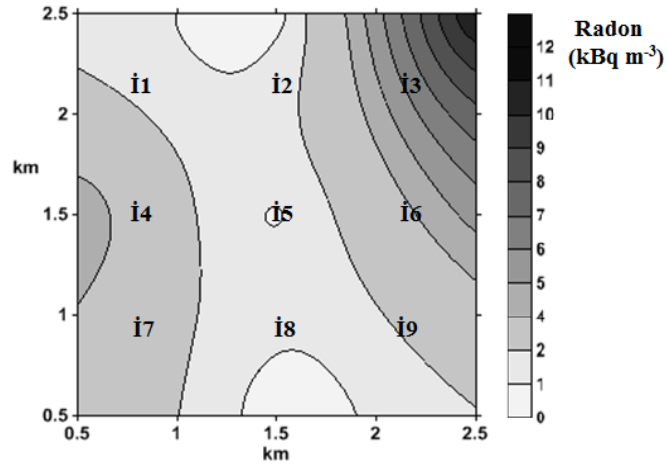
Şekil 4.11 Kasım 2011 sonuçları



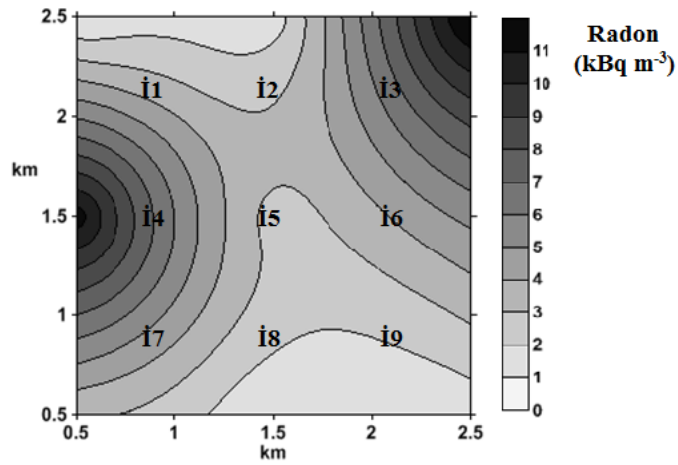
Şekil 4.12 Aralık 2011 sonuçları



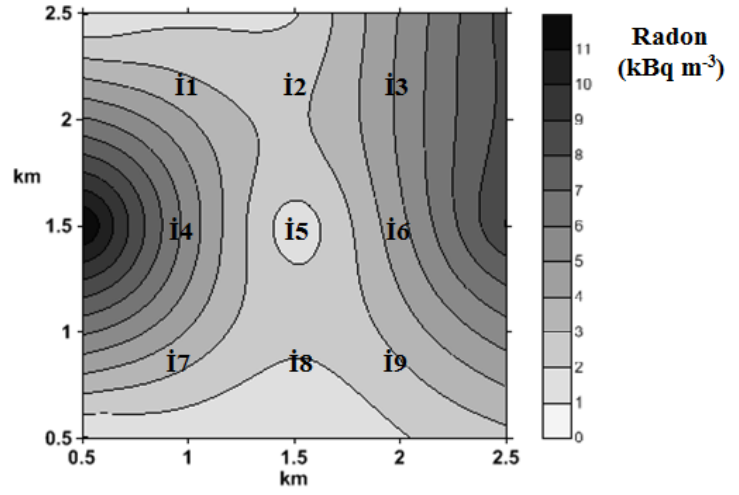
Şekil 4.13 Ocak 2012 sonuçları



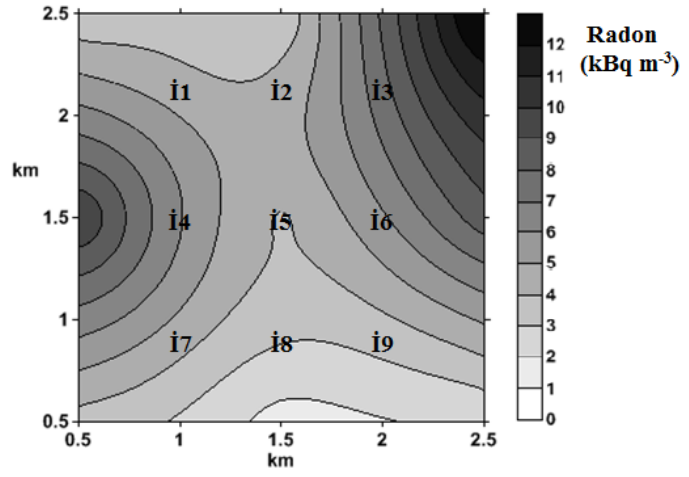
Şekil 4.14 Şubat 2012 sonuçları



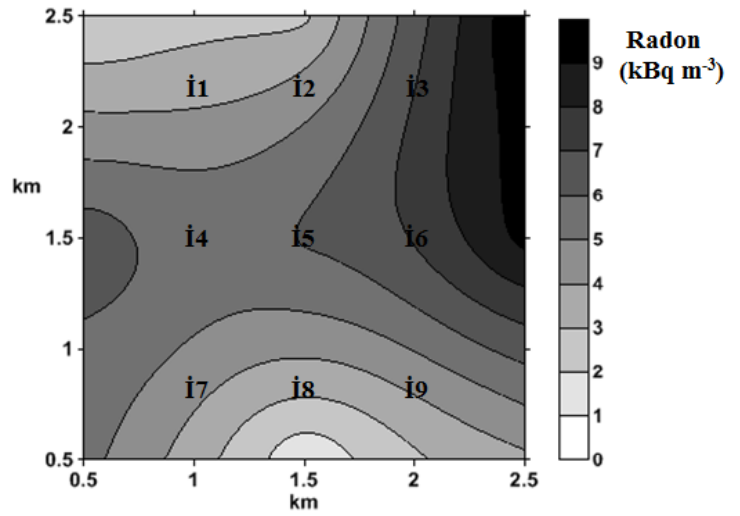
Şekil 4.15 Mart 2012 sonuçları



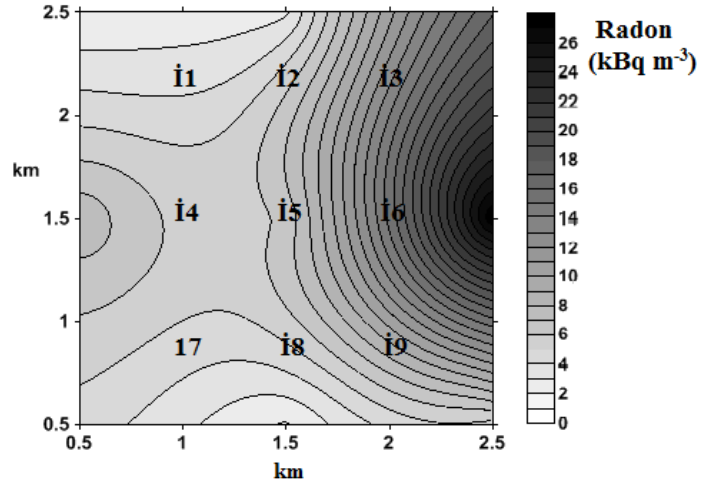
Şekil 4.16 Nisan 2012 sonuçları



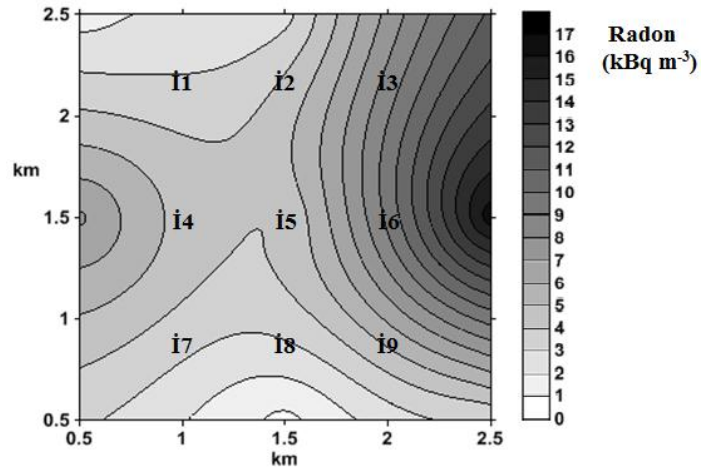
Şekil 4.17 Mayıs 2012 sonuçları



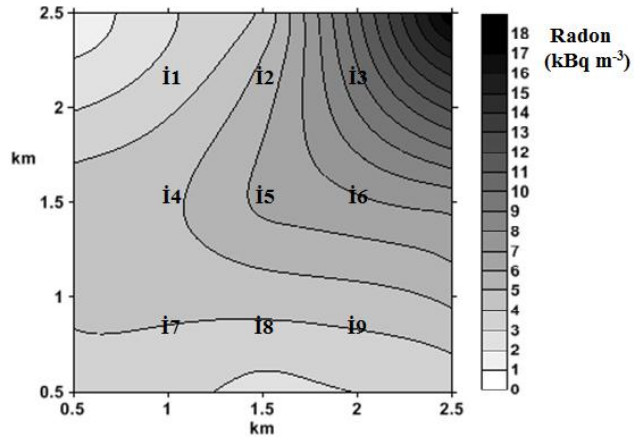
Şekil 4.18 Haziran 2012 sonuçları



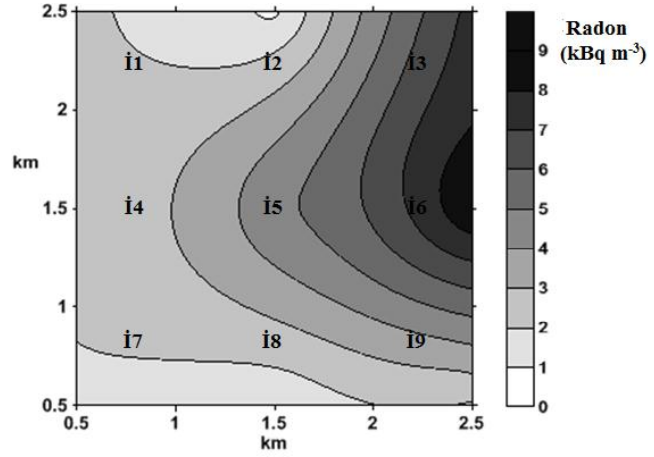
Şekil 4.19 Temmuz 2012 sonuçları



Şekil 4.20 Ağustos 2012 sonuçları



Şekil 4.21 Eylül 2012 sonuçları

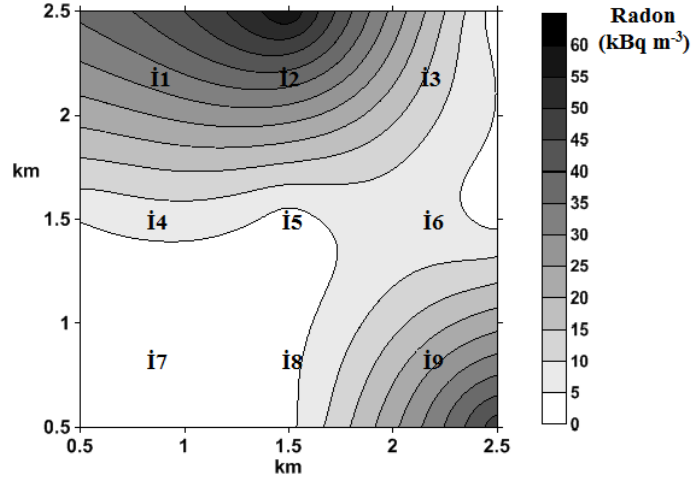


Şekil 4.22 Ekim 2012 sonuçları

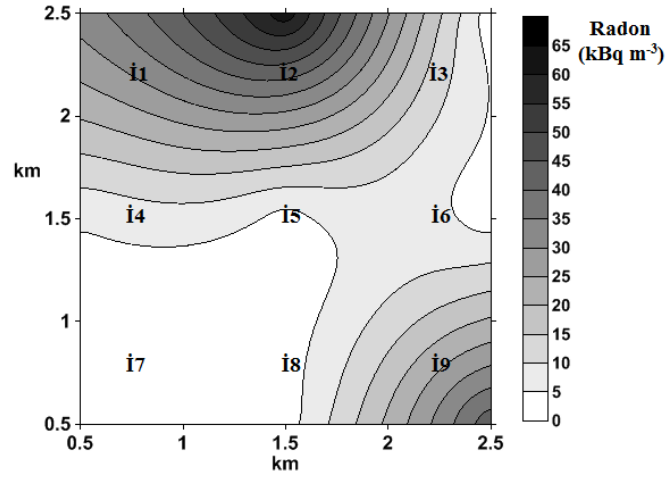
Urla-Özbek bölgesi civarında ölçülen radon konsantrasyon grafiklerinin sonuçlarına göre, Urla, Balıklıova, Kadıovacık, Barbaros, bölgelerinde Kasım 2011 (M=2,5-2,6), Aralık 2011 (M=2.8-2.9), Ocak 2012 (M=2.5-2.7-2.8), Şubat 2012 (M=2.3-3.0), Mart 2012 (2.4-2.8), Nisan 2012 (2.8-3.3), Mayıs 2012 (4.4-4.4-3.3-4.1-4.0-3.4), Temmuz 2012 (1.9), Ağustos 2012 (2.7-3.2-3.3), Eylül 2012 (2.1-2.3-2.7) tarihlerinde görülen sismik aktivite sonucu i3-i4-i5-i6 istasyonlarının radon ölçüm sonuçlarının fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bölgenin, Kuşçular-Urla fay hattı bölgesindeki sismik aktivite ile radon konsantrasyon ölçümü arasındaki ilişkilerin belirlenmesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Bundan dolayı bu parsellerin sürekli radon ölçüm sistemlerinin kurulması için uygun olduğu görülmüştür.

#### Urla-Yağcılar Bölgesine ait aylık Radon Konsantrasyon Değişimi

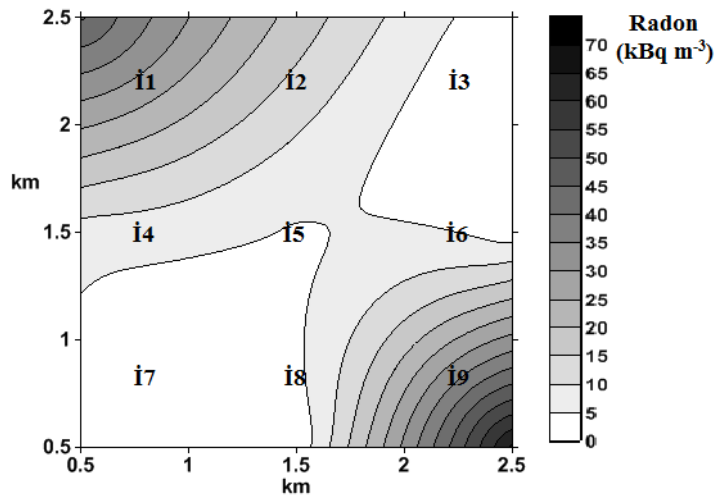
Urla-Yağcılar bölgesinde LR-115 film dedektörleri ile Ekim 2011- Ekim 2012 tarihleri arasında elde edilen radon ölçüm sonuçları grafik halinde verilmiştir (Şekil 4.23 - Şekil 4.35).



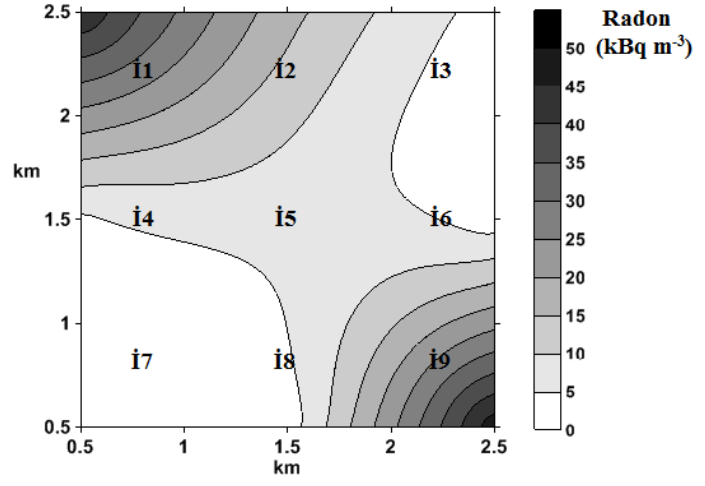
Şekil 4.23 Ekim 2011 sonuçları



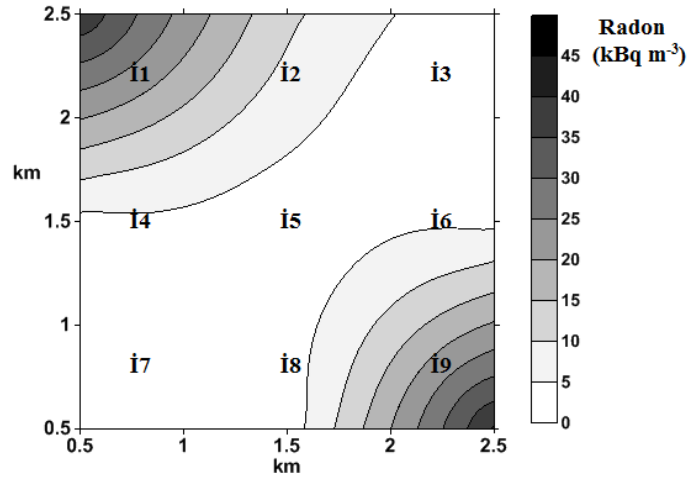
Şekil 4.24 Kasım 2011 sonuçları



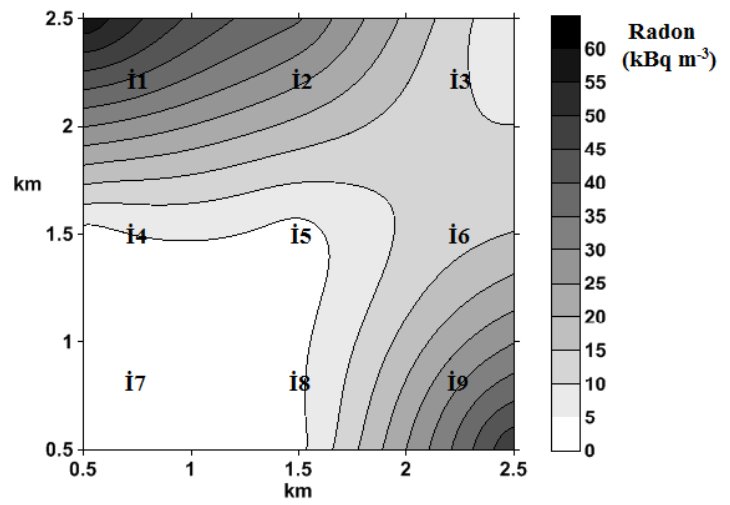
Şekil 4.25 Aralık 2011 sonuçları



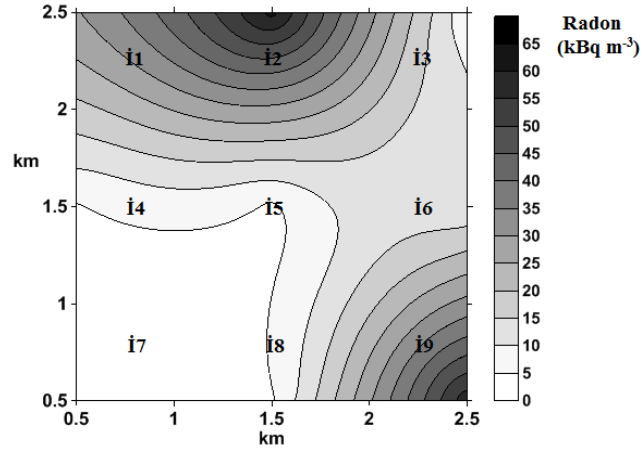
Şekil 4.26 Ocak 2012 sonuçları



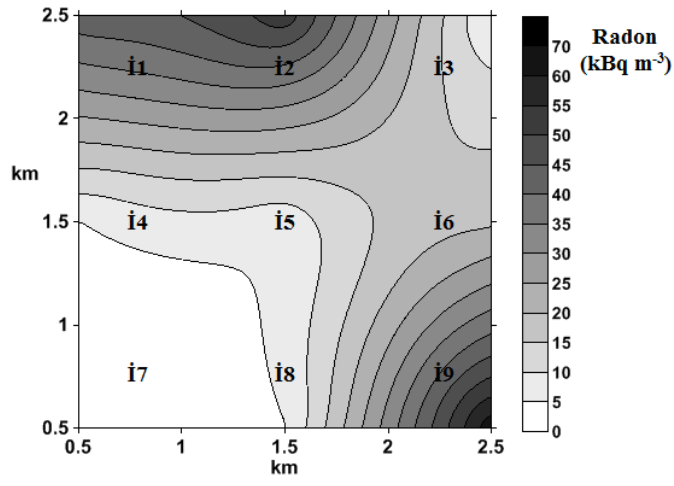
Şekil 4.27 Şubat 2012 sonuçları



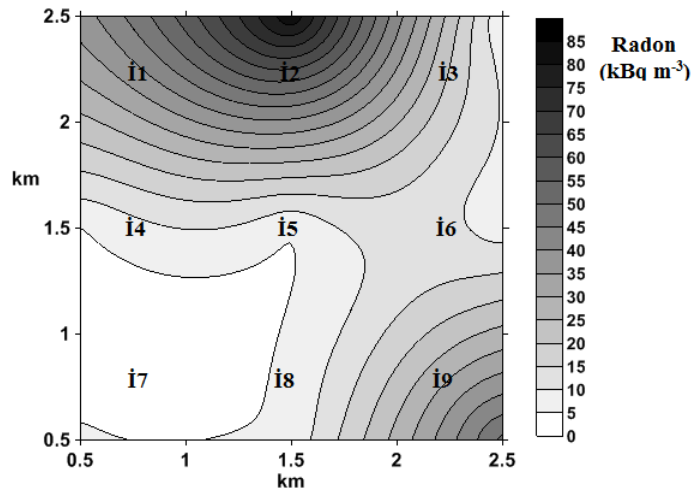
Şekil 4.28 Mart 2012 sonuçları



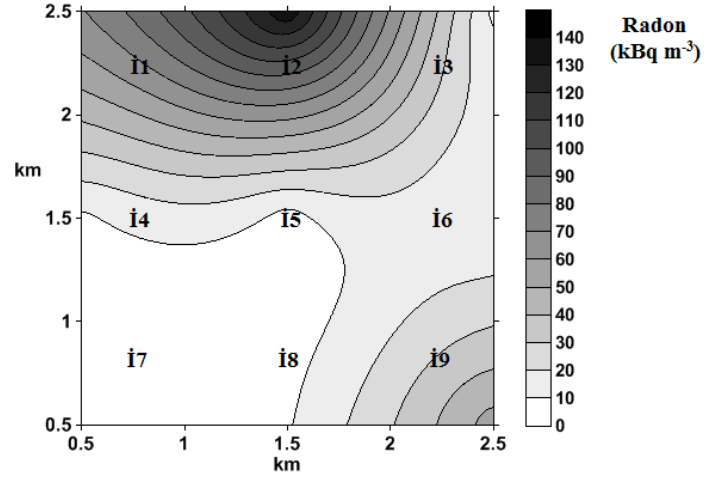
Şekil 4.29 Nisan 2012 sonuçları



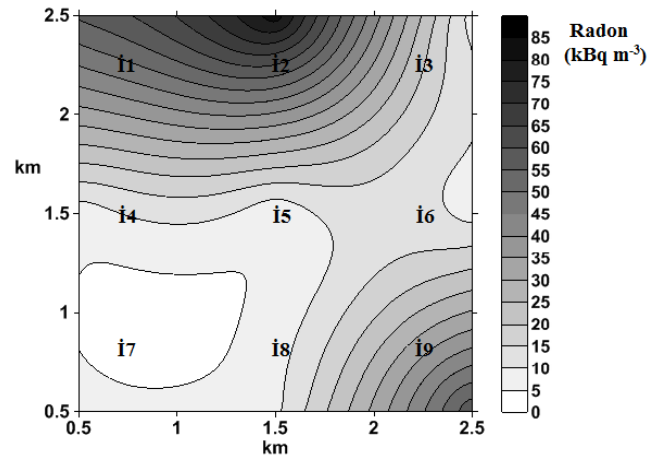
Şekil 4.30 Mayıs 2012 sonuçları



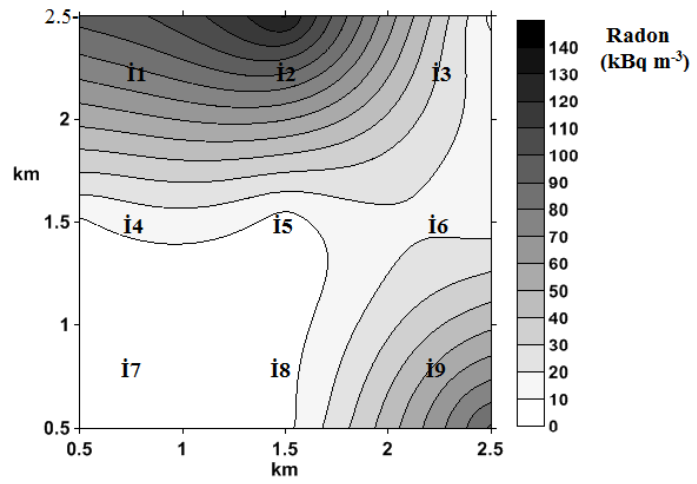
Şekil 4.31 Haziran 2012 sonuçları



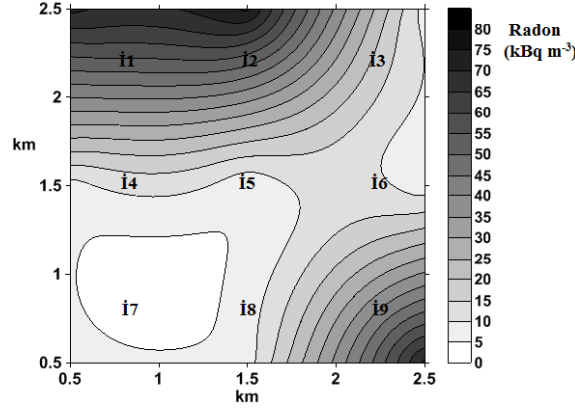
Şekil 4.32 Temmuz 2012 sonuçları



Şekil 4.33 Ağustos 2012 sonuçları



Şekil 4.34 Eylül 2012 sonuçları

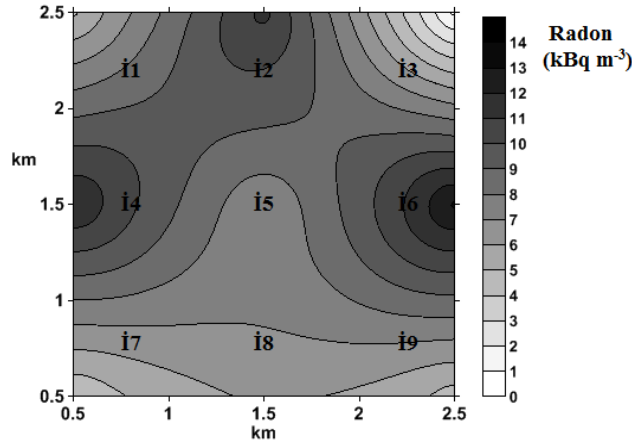


Şekil 4.35 Ekim 2012 sonuçları

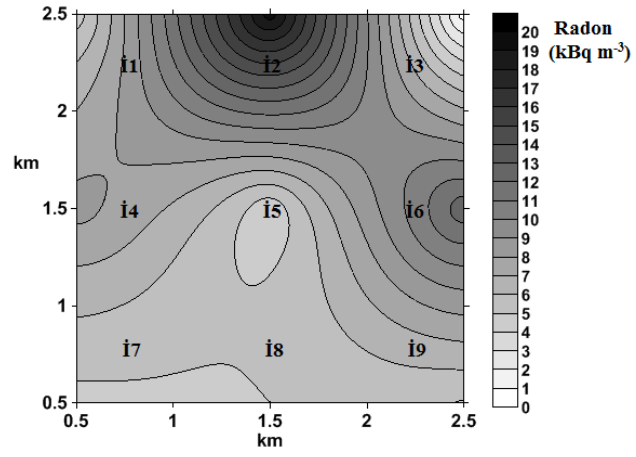
Urla-Yağcılar bölgesi civarında ölçülen radon konsantrasyon grafik sonuçlarına göre Urla, Yağcılar, Balıklıova, Seferihisar, Barbaros, Demircili, Uzunkuyu, Kadiovacık, Germiyan bölgelerinde, Aralık 2011 (M=2.4-2.5), Ocak 2012 (M=2.5), Şubat 2012 (M=2.0-3.2-3.7), Mart 2012 (M=2.8), Nisan 2012 (M=2.4), Mayıs 2012 (M=2.6), Temmuz 2012 (M=2.5-3.0), Eylül 2012 (M=2.1-2.4-3.6) tarihlerinde gözlenen sismik aktivite sonucu i2-i9 istasyonlarında radon ölçüm sonuçlarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgenin, Demircili- Yağcılar bölgesindeki sismik aktivite ile radon ölçümleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Olası deprem tahinlerinde kullanılan sürekli radon ölçüm sistemlerinin bu alanlara kurulması önerilir.

### Urla- Zeytineli Bölgesine ait aylık Radon Konsantrasyon Değişimi

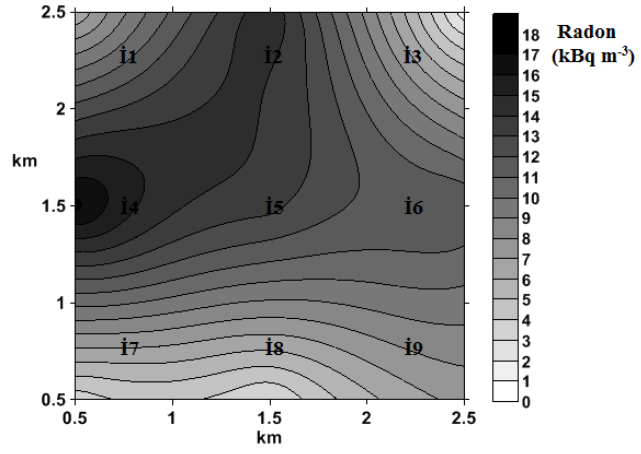
Urla-Zeytineli bölgesinde LR-115 film dedektörleri ile Ekim 2011 - Ekim 2012 tarihleri arasında elde edilen radon ölçüm sonuçları grafik halinde verilmiştir (Şekil 4.36 - Şekil 4.48).



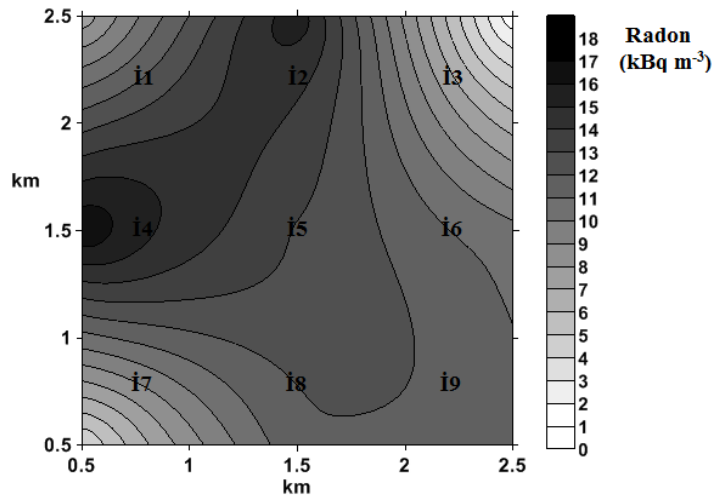
Şekil 4.36 Ekim 2011 sonuçları



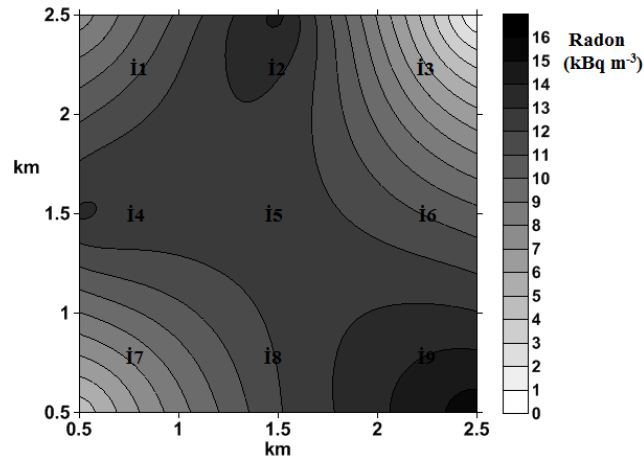
Şekil 4.37 Kasım 2011 sonuçları



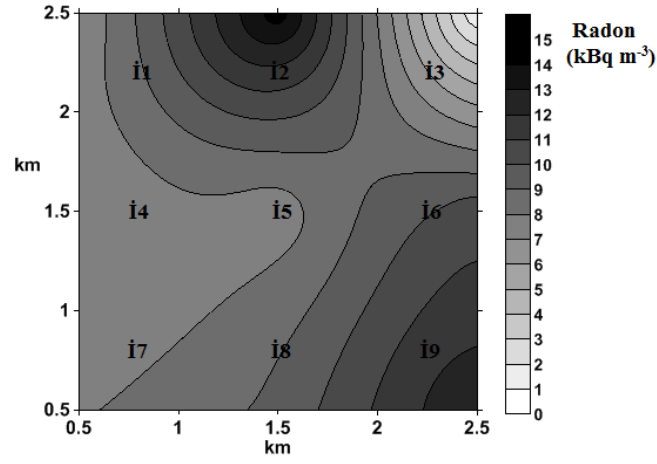
Şekil 4.38 Aralık 2011 sonuçları



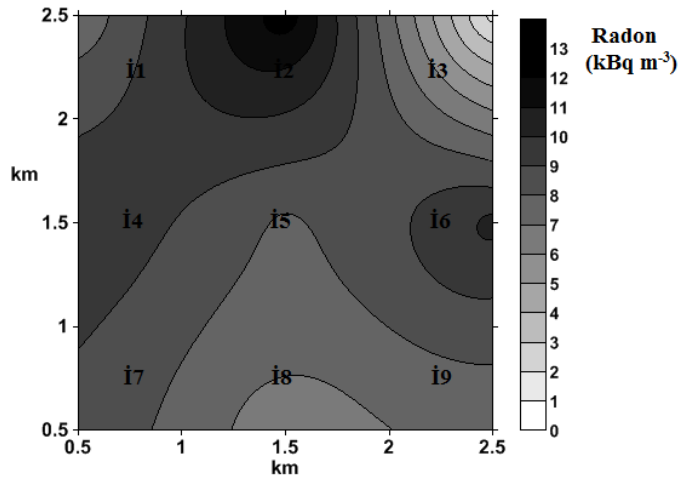
Şekil 4.39 Ocak 2012 sonuçları



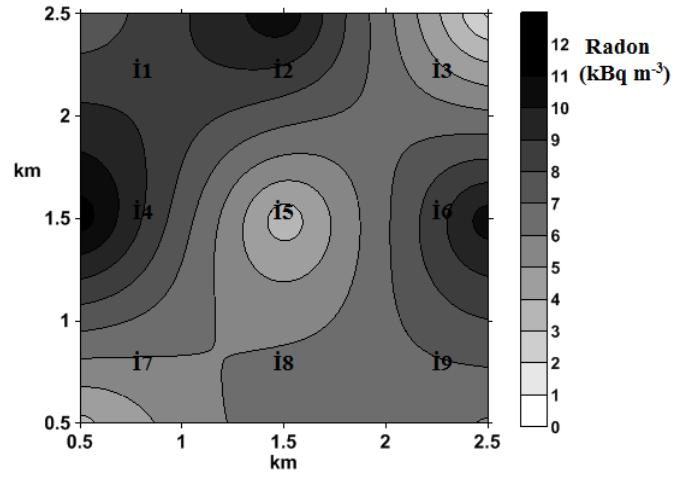
Şekil 4.40 Şubat 2012 sonuçları



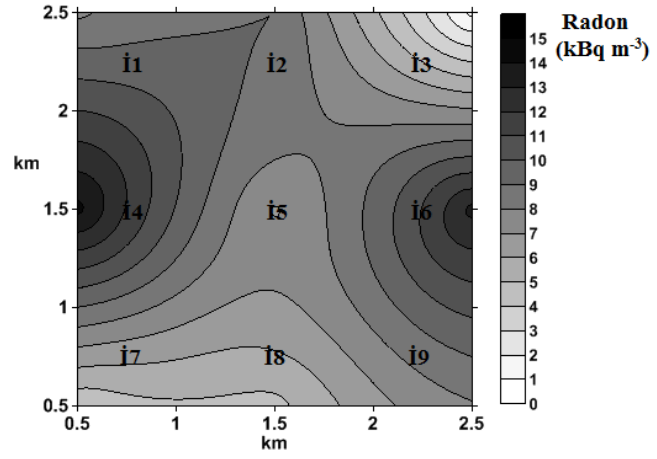
Şekil 4.41 Mart 2012 sonuçları



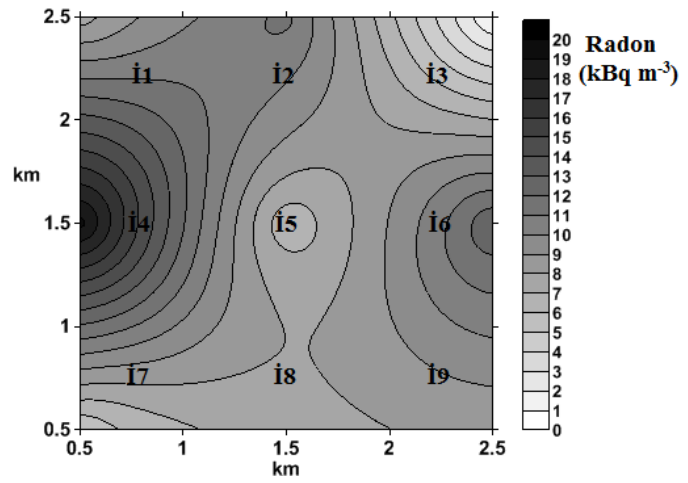
Şekil 4.42 Nisan 2012 sonuçları



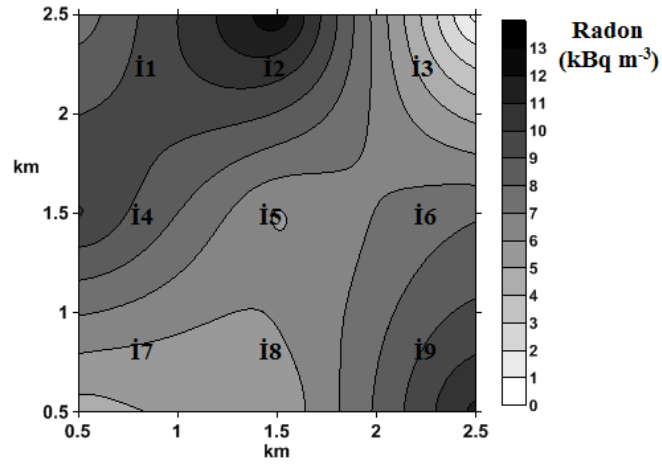
Şekil 4.43 Mayıs 2012 sonuçları



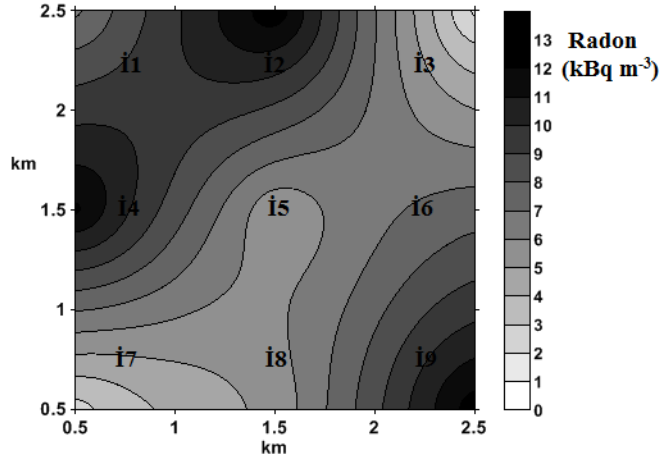
Şekil 4.44 Haziran 2012 sonuçları



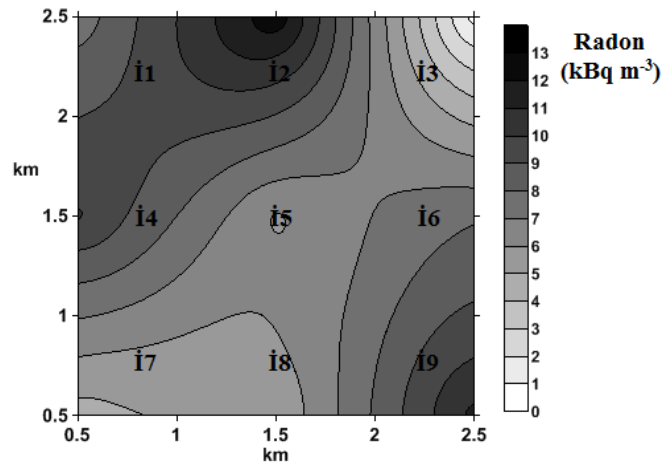
Şekil 4.45 Temmuz 2012 sonuçları



Şekil 4.46 Ağustos 2012 sonuçları

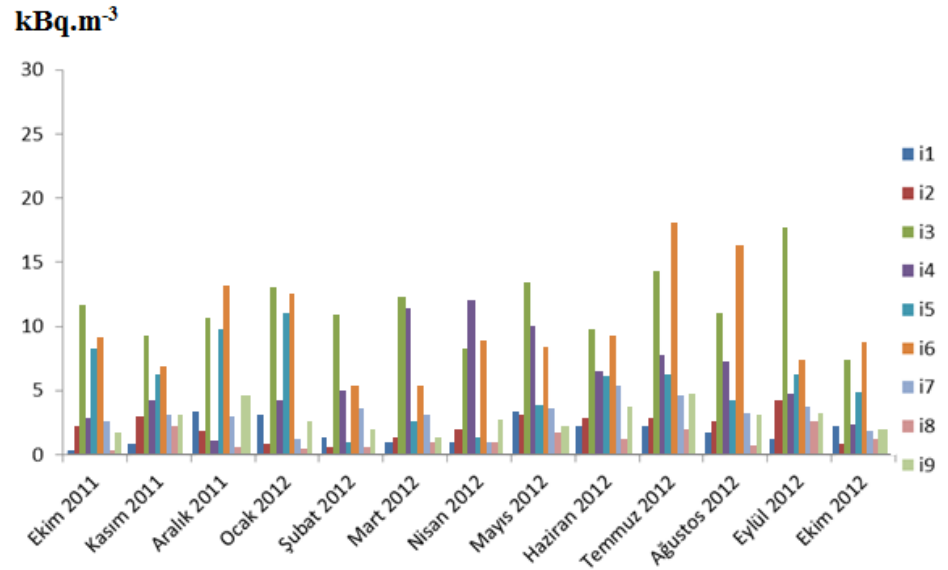


Şekil 4.47 Eylül 2012 sonuçları

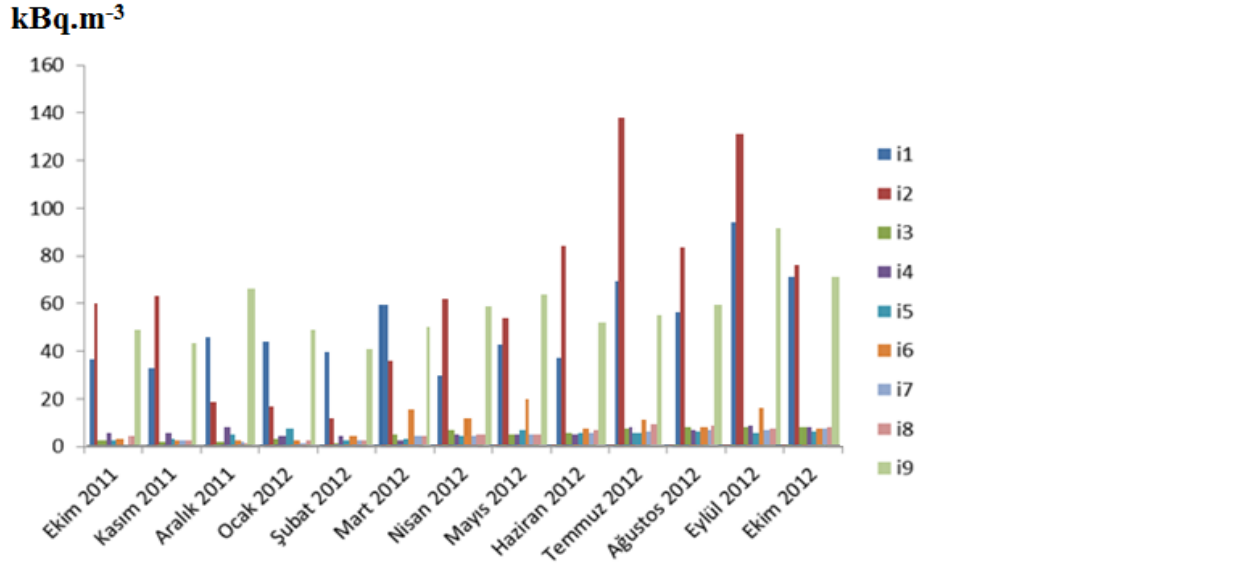


Şekil 4.48 Ekim 2012 sonuçları

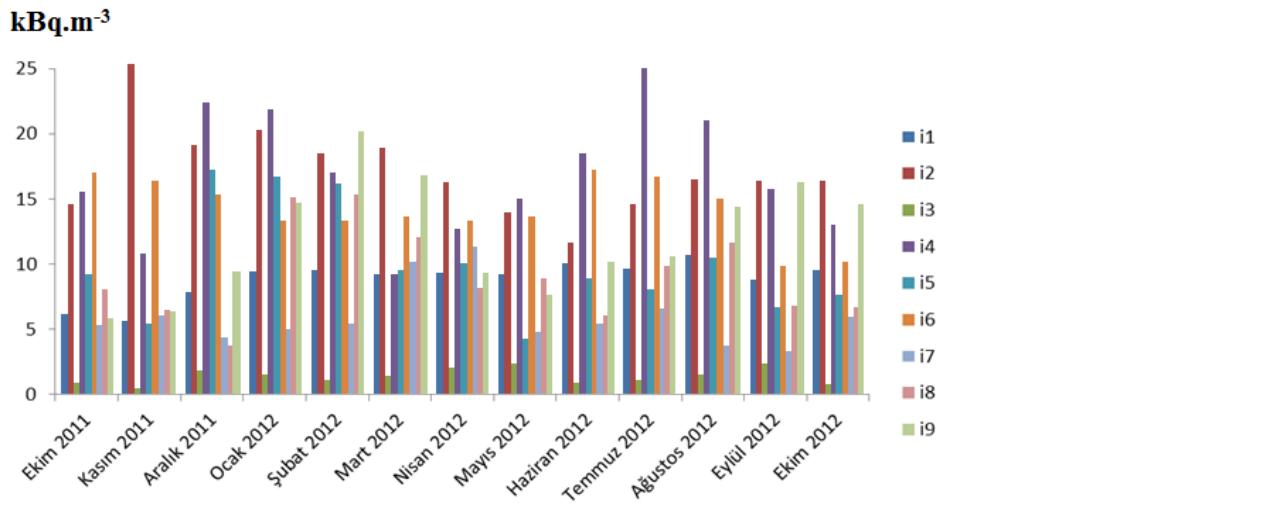
Urla-Zeytineli bölgesi civarında ölçülen radon konsantrasyon grafik sonuçlarına göre, Uzunkuyu, Barbaros, Germiyan, Kadıovacık, bölgelerinde Kasım 2011 (M=2.6), Aralık 2011 (M=2.6-2.9), Ocak 2012 (M=2.0-2.7-2.9), Şubat 2012 (M=2.0-3.2), Mart 2012 (M=2.4-2.6), Nisan 2012 (M=2.1-2.7), Mayıs 2012 (M=2.5-2.9), Haziran 2012 (M=2.5-2.6), Temmuz 2012 (M=2.0), Ağustos 2012 (M=2.4), Eylül 2012 (M=2.1-2.4-2.7-2.8-3.2), Ekim 2012 (M=2.4) tarihlerinde gerçekleşen sismik aktivite sonucu i2-i4-i6-i9 istasyonlarında radon ölçüm sonuçlarının oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu bölgenin radon konsantrasyonundaki değişimler, Kadıovacık-Zeytineli bölgesi civarındaki sismik hareketlilik ile paralellik göstermektedir. Depremsellik ile sürekli sürekli radon ölçümleri arasındaki ilişkiler için uyumlu paftalar olduğu görülmüştür. Çalışma bölgelerine ait radon gazı konsantrasyonlarının bir yıllık değişimlerinin grafikleri  $\text{Kbq m}^{-3}$  olarak verilmiştir (Şekil 4.49, 4.50, 4.51).



Şekil 4.49 Özbek Bölgesine ait Radon değişim grafiği

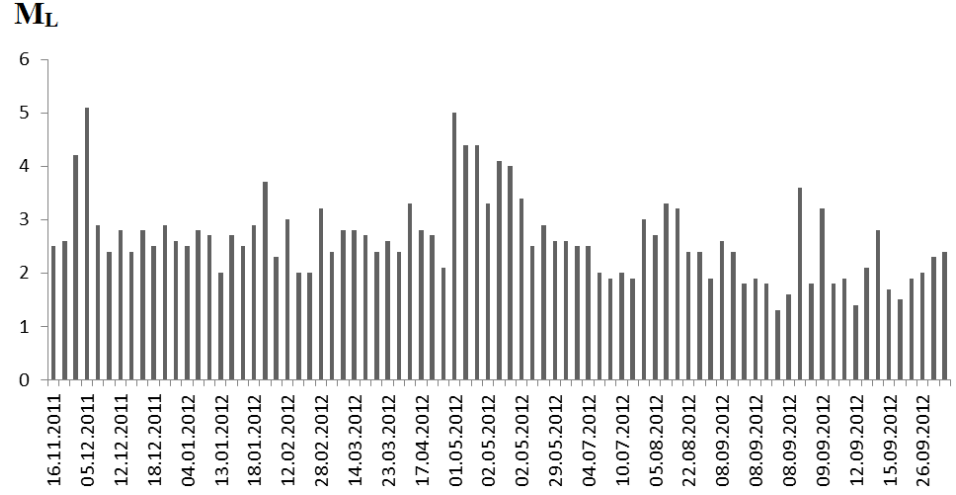


Şekil 4.50 Yağcılar Bölgesine ait Radon değişim grafiği



Şekil 4.51 Zeytineli Bölgesine ait Radon değişim grafiği

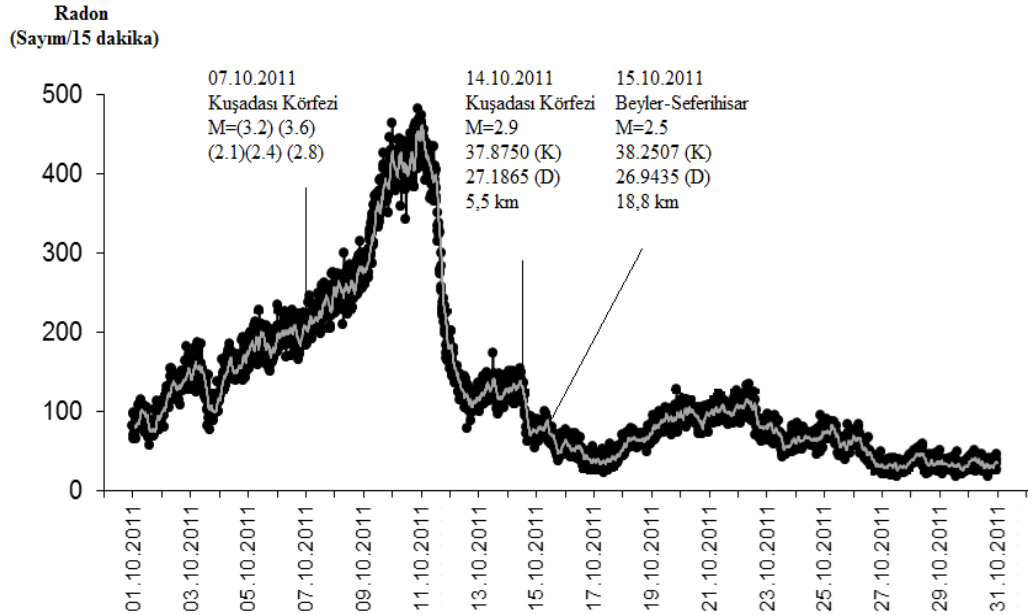
Çalışma bölgesinde, ölçüm periyodu içerisinde meydana gelmiş olan depremler (Şekil 4.52).



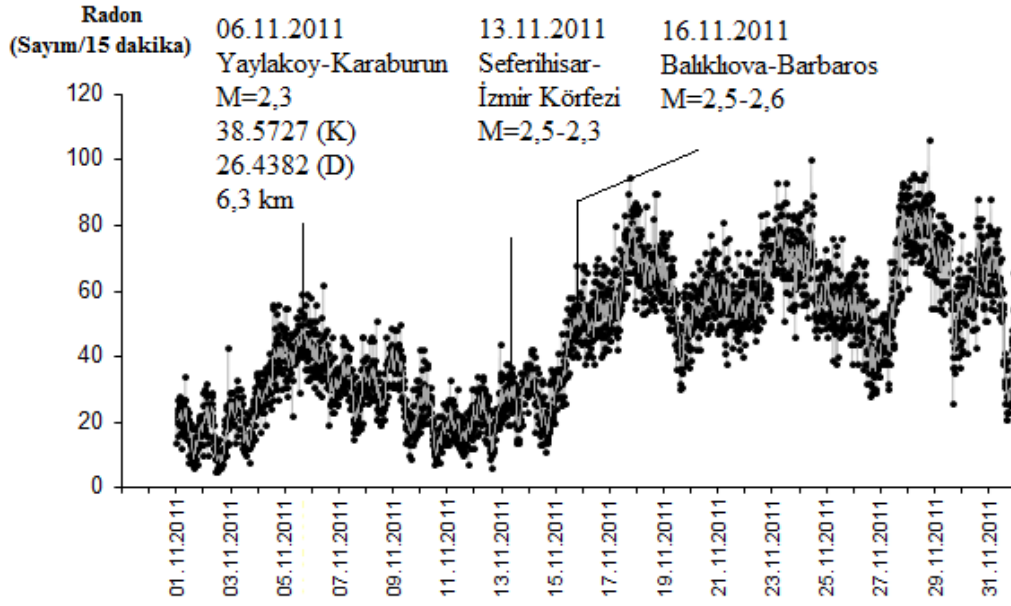
Şekil 4.52 Depremler

### 4.3.2 Online Sistem Sürekli Radon Sonuçlarının Aylık Grafikleri

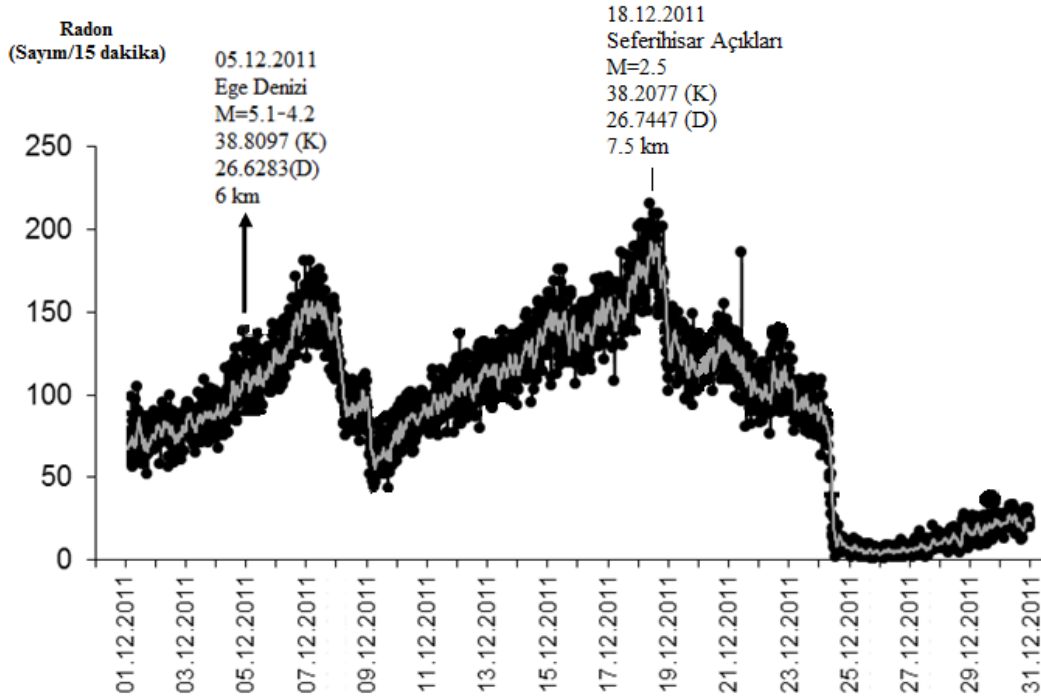
Urla'da kurulu online sistemden 15 dakika ara ile yapılan ölçümler grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61, 4.62, 4.63, 4.64, 4.65).



Şekil 4.53 Ekim 2011 tarihli sürekli Radon ölçümleri

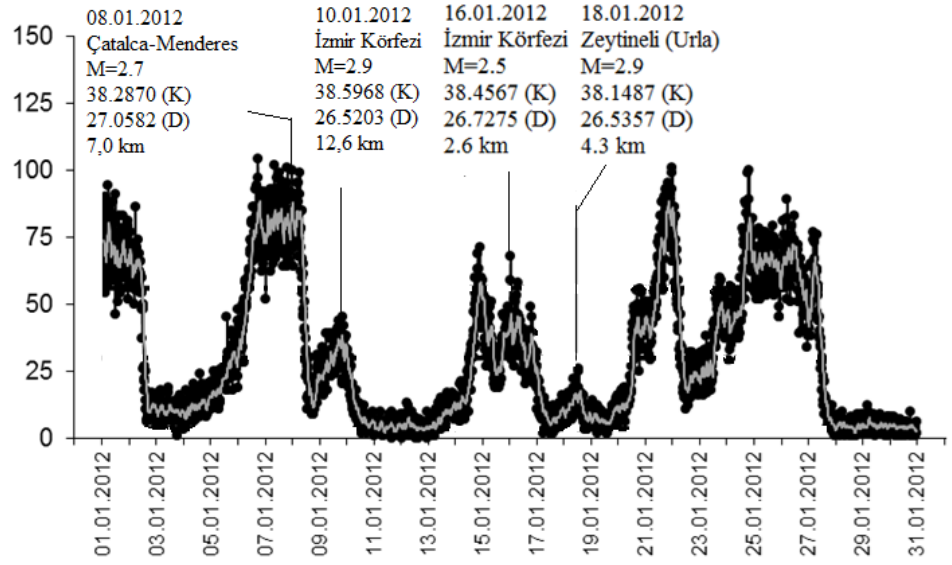


Şekil 4.54 Kasım 2011 tarihli sürekli Radon ölçümleri



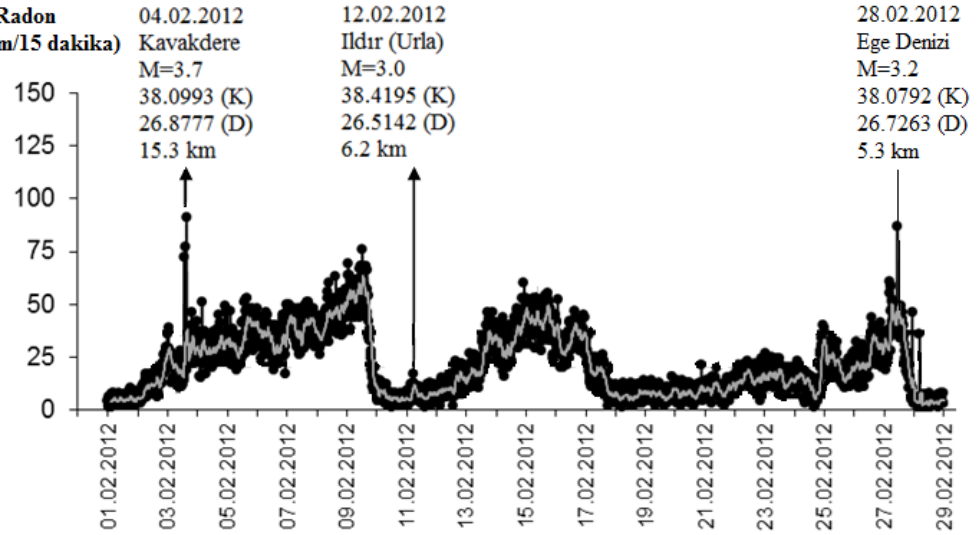
Şekil 4.55 Aralık 2011 tarihli sürekli Radon ölçümleri

**Radon**  
(Sayım/15 dakika)

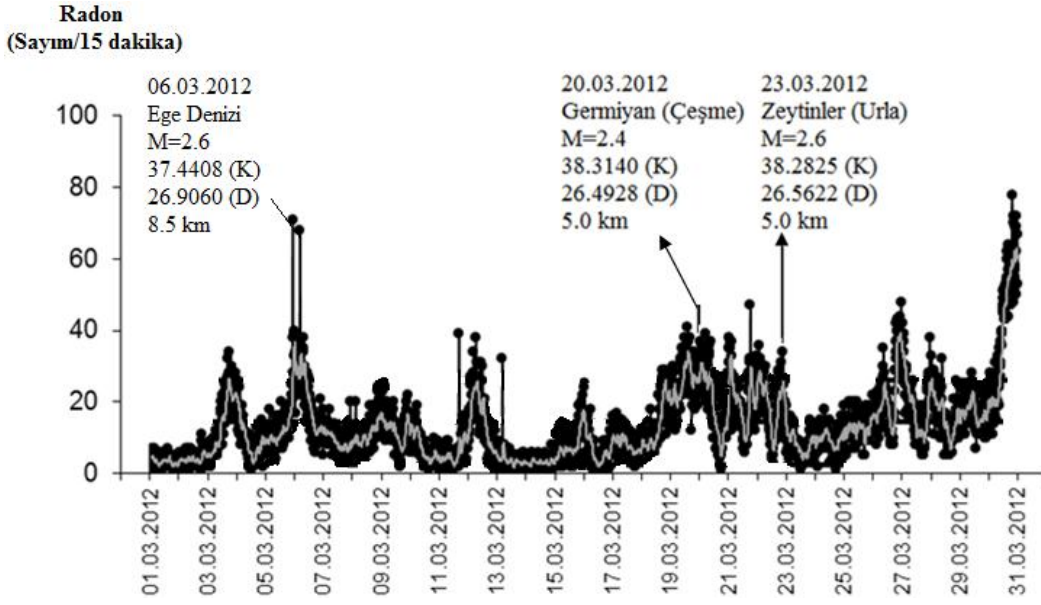


Şekil 4.56 Ocak 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri

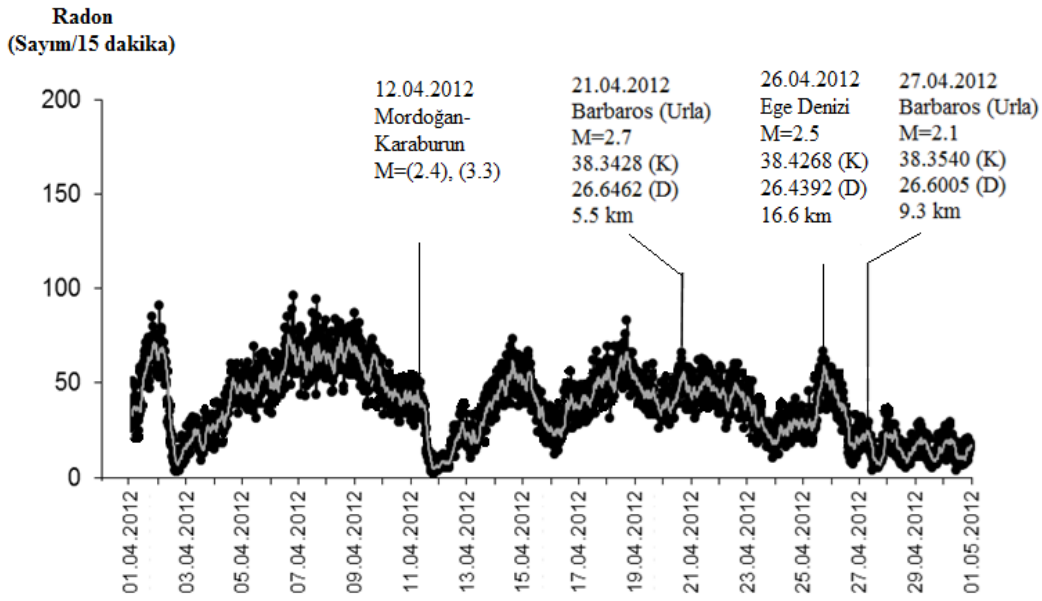
**Radon**  
(Sayım/15 dakika)



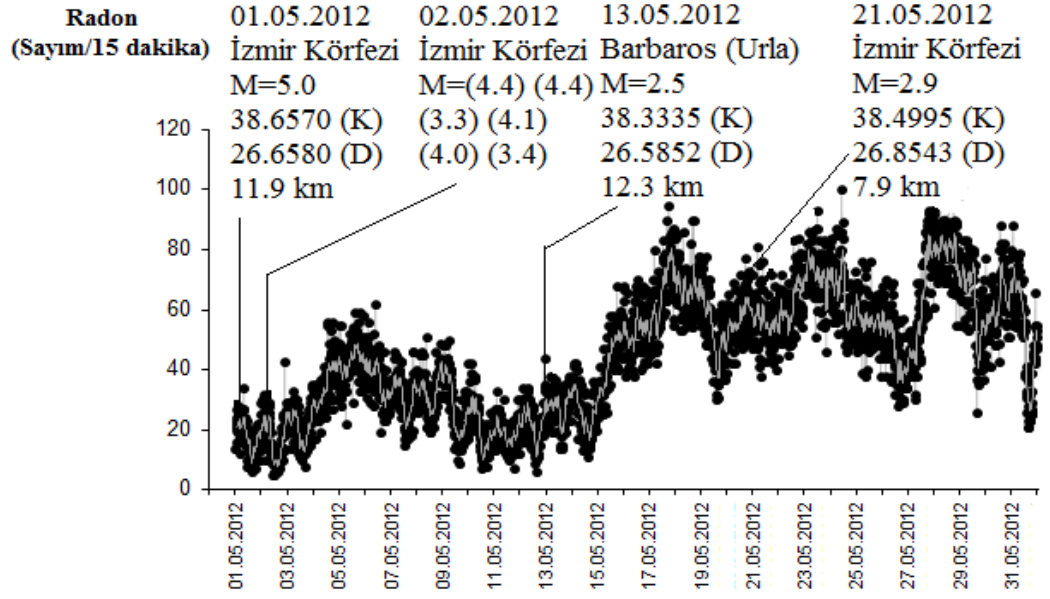
Şekil 4.57 Şubat 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



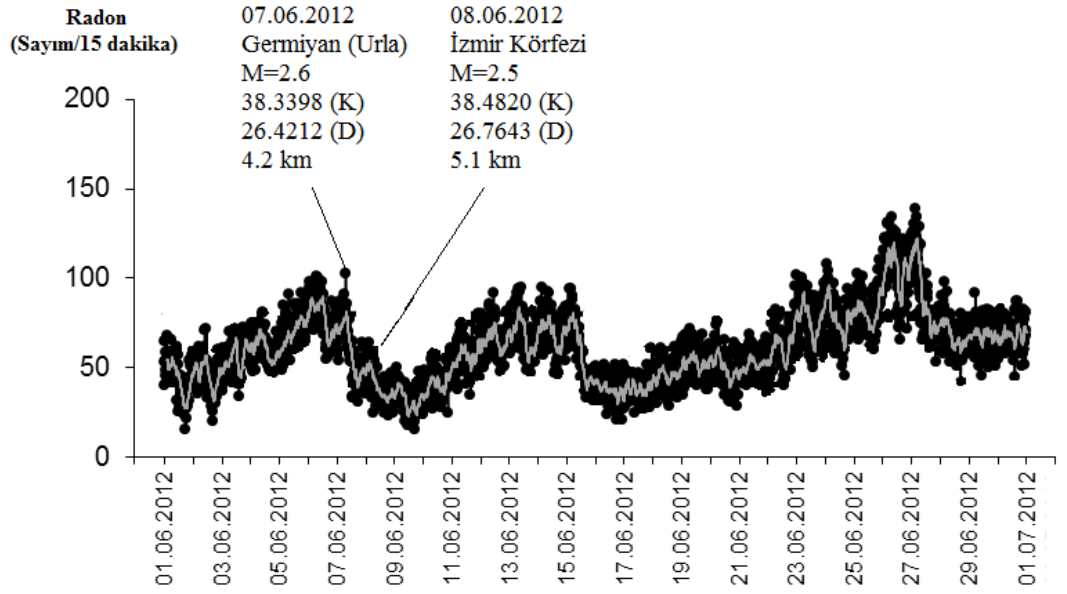
Şekil 4.58 Mart 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



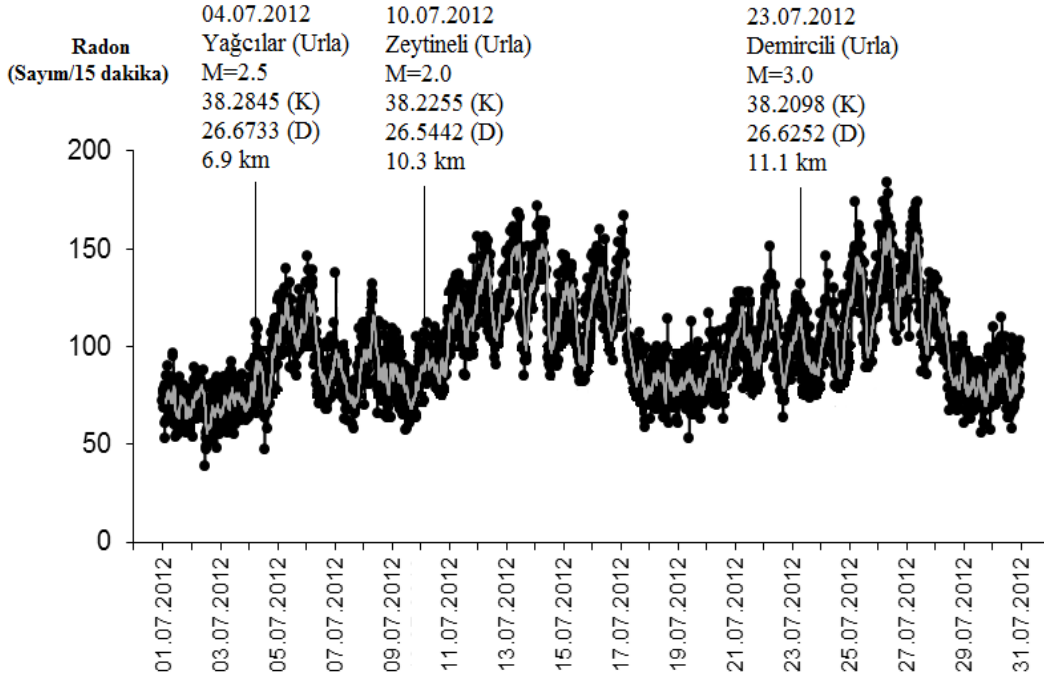
Şekil 4.59 Nisan 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



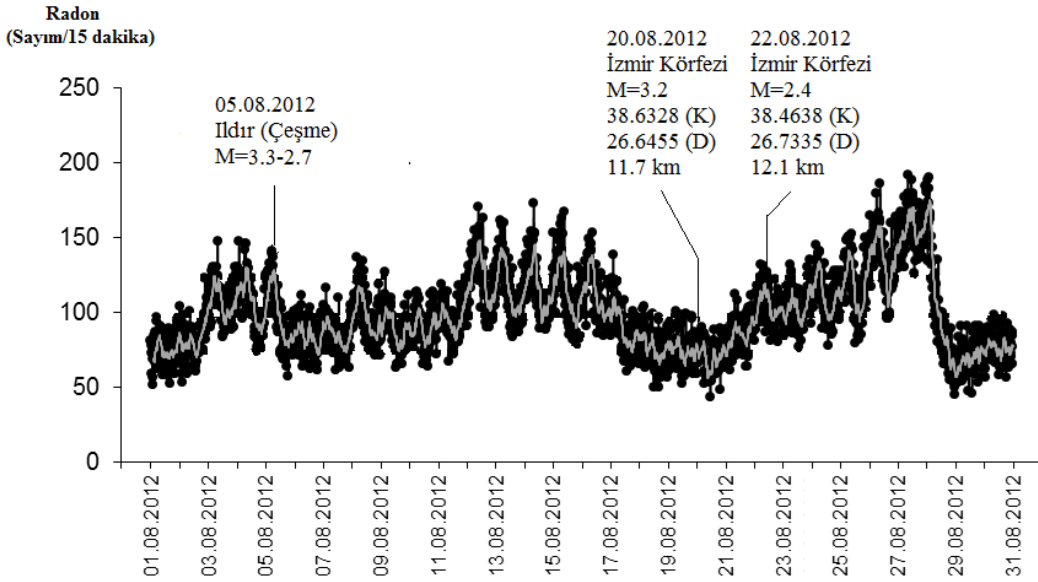
Şekil 4.60 Mayıs 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



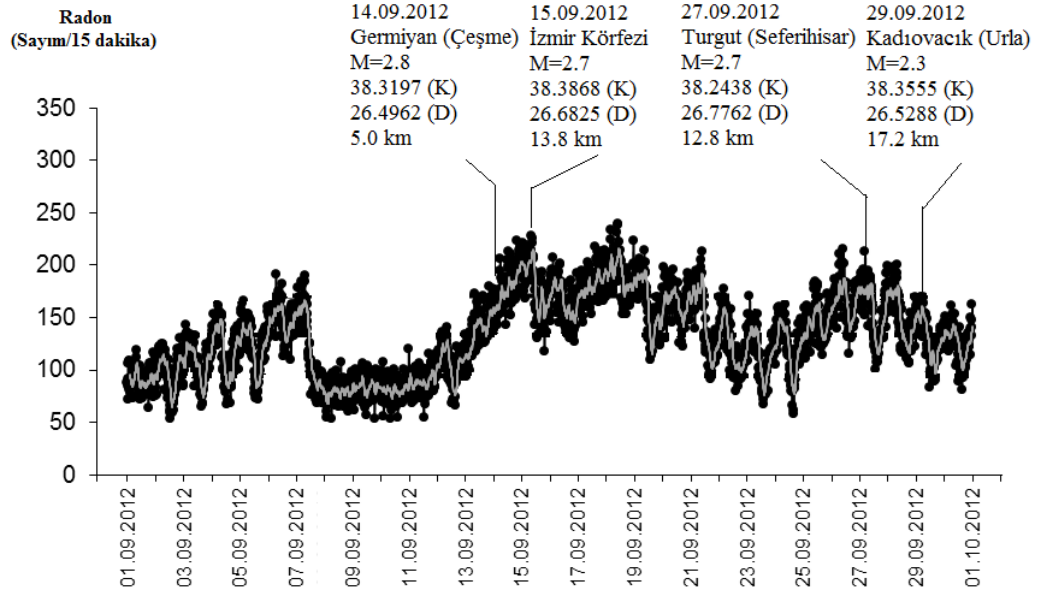
Şekil 4.61 Haziran 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



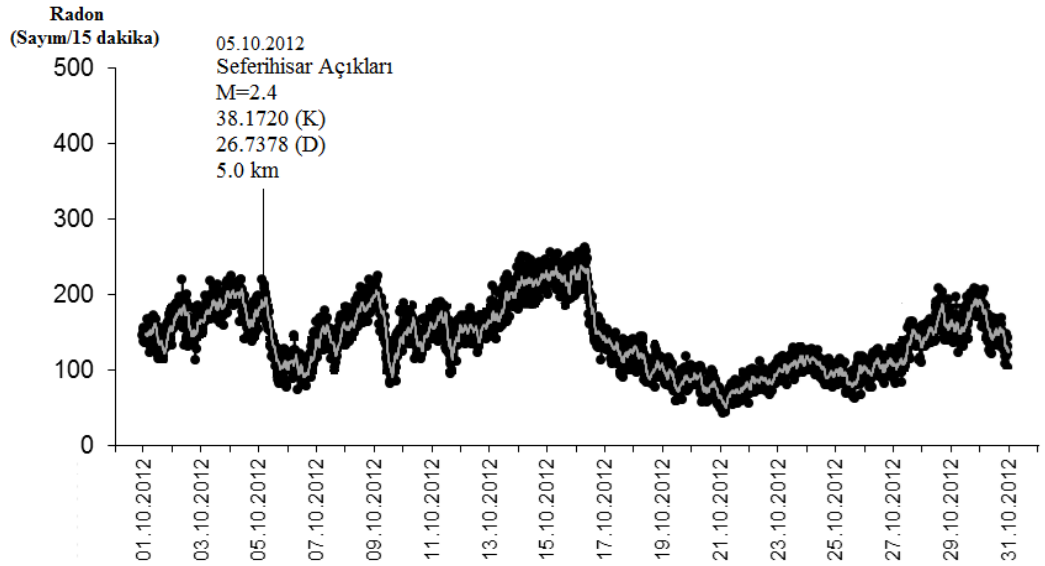
Şekil 4.62 Temmuz 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



Şekil 4.63 Ağustos 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



Şekil 4.64 Eylül 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri



Şekil 4.65 Ekim 2012 tarihli sürekli Radon ölçümleri

Sürekli radon ölçüm sistemi sonuçları incelendiğinde 07.10.2011 tarihinde Kuşadası Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=3.2 - 3.6 - 2.1 - 2.8$  büyüklüklerindeki deprem ardından büyük bir pik değeri gözlenmiş, ölçülen radon konsantrasyon

değeri ölçüm yapılan süreler içindeki en yüksek değerlere ulaşmıştır. 14.10.2011 tarihinde yine Kuşadası Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=2.9$  büyüklüğündeki deprem öncesinde pik değeri gözlenmiştir. 15.10.2011 tarihinde Seferihisar bölgesinde meydana gelen  $M_L=2.5$  büyüklüğündeki deprem öncesinde de sürekli radon ölçüm grafiklerinde pik değeri gözlenmiştir.

Kasım ayı verilerinin incelenmesi sonucu, 06.11.2011 tarihinde Yaylakoy Karaburun bölgesinde meydana gelen  $M_L=2.3$  büyüklüğündeki deprem öncesinde bir pik değeri gözlenmiştir. 13.11.2011 tarihinde Seferihisar açıklarında meydana gelen  $M_L=2.3 - 2.5$  büyüklüğündeki depremler esnasında da pik değeri gözlenmiştir. Benzer şekilde 16.11.2011 tarihinde Barbaros ve Balıklıova bölgelerinde meydana gelen  $M_L=2.5$  ve  $2.6$  büyüklüğündeki depremlerde de pik değeri saptanmıştır.

Ege Denizi'nde 05.12.2011 tarihinde meydana gelen  $M_L=4.2-5.1$  büyüklüğündeki depremlerin ardından pik değerleri gözlenmiştir. 18.12.2011 tarihinde Seferihisar açıklarında meydana gelen  $M_L=2.5$  büyüklüğündeki depremin hemen ardından keskin bir pik değeri gözlenmiştir.

Ocak ayı verileri incelendiğinde ise 08.01.2012 tarihinde Çatalca-Menderes bölgesinde meydana gelen  $M_L=2.7$  büyüklüğündeki depremde oldukça keskin bir pik gözlenmiş, 10.01.2012 tarihinde İzmir Körfezi'ndeki  $M_L=2.9$  büyüklüğündeki depremde de yine pik değeri saptanmıştır. 16.01.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=2.5$  büyüklüğündeki depremin hemen öncesinde bir pik ve aynı şekilde 18.01.2012 tarihinde Zeytineli(URLA) bölgesinde meydana gelen  $M_L=2.9$  büyüklüğündeki depremin hemen öncesinde keskin bir pik değeri gözlenmiştir.

Şubat ayı verilerine bakıldığında ise 04.02.2012 tarihinde Kavakdere (Seferihisar) bölgesinde meydana gelen  $M_L=3.7$  büyüklüğündeki depremin hemen öncesinde grafikte keskin bir pik değeri gözlenmiştir. 12.02.2012 tarihinde Urla'da gözlenen  $M_L=3.0$  büyüklüğündeki depremin oluşmasından önce pik değeri gözlenmiştir. 28.02.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde ölçülen  $M_L=3.2$  büyüklüğündeki depremde de keskin bir pik değeri saptanmıştır.

Online sistem mart ayı verileri incelendiğinde, 06.03.2012 tarihinde Ege Denizi'nde meydana gelen  $M_L=2.6$  büyüklüğündeki depremde online sistem verilerinin grafiğinde pik değeri gözlenmiştir. 20.03.2012 tarihinde Germiyan

bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,4$  büyüklüğündeki deprem öncesinde bir pik değeri gözlenmiştir. Zeytinler (Urla) bölgesinde 23.03.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=2,6$  büyüklüğündeki depremin hemen öncesinde ise keskin bir pik değeri gözlenmiştir.

Nisan ayı verilerine bakıldığında, 12.04.2012 tarihinde Mordoğan-Karaburun bölgesinde meydana gelen  $M_L= 2.4 - 3.3$  büyüklüğündeki depremlerde bir pik değeri görülmüştür. 21.04.2012 tarihinde Barbaros bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,7$  büyüklüğündeki depremin hemen öncesinde keskin bir pik değeri gözlenmiştir. 26.04.2012 tarihinde Ege Denizi'nde meydana gelen  $M_L= 2.5$  büyüklüğündeki depremde bir pik değeri gözlenmiştir. Aynı şekilde, 27.04.2012 tarihinde yine Barbaros bölgesinde gözlenen  $M_L=2,1$  büyüklüğündeki deprem öncesinde de keskin bir pik değeri gözlenmiştir.

Mayıs ayı verilerinin incelenmesiyle, 01.05.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=5,0$  büyüklüğündeki depremin hemen ardından radon konsantrasyon değerleri hızla azalmıştır. 02.05.2012 tarihinde yine İzmir Körfezi'nde oluşan ve büyüklükleri  $M_L= 4.4 - 3.3- 4.1 - 4.0 - 3.4 - 4.4$  olan 6 depremin, grafikteki pik değeri esnasında meydana geldiği görülmektedir. 13.05.2012 tarihinde Barbaros bölgesinde ölçülen  $M_L= 2.5$  büyüklüğündeki depremde ve 21.05.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde kaydedilen  $M_L= 2.9$  büyüklüğündeki depremde de pik değerleri gözlenmiştir.

Haziran ayı verilerine göre, Germiyan bölgesinde 07.06.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=2,6$  büyüklüğündeki depremin hemen ardından ölçülen radon değerinde hızlıca bir azalma olmuştur. 08.06.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=2,5$  büyüklüğündeki depremin oluşumunun hemen ardından, ölçülen radon konsantrasyonu hızla azalmıştır.

Temmuz ayı verilerine bakılacak olursa, 04.07.2012 tarihinde Yağcılar bölgesinde oluşan  $M_L=2,5$  büyüklüğündeki deprem esnasında pik değeri gözlenmiştir. Benzer şekilde, 10.07.2012 tarihinde Zeytineli bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,0$  büyüklüğündeki depremde ve 23.07.2012 tarihinde Demircili bölgesinde meydana gelen  $M_L=3,0$  büyüklüğündeki deprem esnasında gözlenen radon konsantrasyon değerine ait grafikte pik değeri saptanmıştır.

Ağustos ayı verilerine bakıldığında 05.08.2012 tarihinde Ildır (Çeşme) bölgesinde meydana gelen  $M_L= 3.3 - 2.7$  büyüklüğündeki depremlerde grafiğin

pik değerde olduğu görülmektedir. 20.08.2012 tarihinde İZmir Körfezinde görülen  $M_L=3,2$  byklğindeki depremin sonrasında ise radon konsantrasyonu hızla azalmıştır. 22.08.2012 tarihinde İZmir Körfezi'nde gözlenen  $M_L=2,4$  byklğindeki deprem öncesinde yine pik değeri gözlenmiştir.

Eylül ayı verileri incelendiğinde, 14.09.2012 tarihinde Germiyan bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,8$  byklğindeki deprem sonrası radon konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. 15.09.2012 tarihinde İZmir Körfezi'nde meydana gelen  $M_L=2,7$  byklğindeki deprem sonrasında radon konsantrasyonunda keskin bir düşüş gözlenmiştir. 27.09.2012 tarihinde Turgut (Seferihisar) bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,7$  byklğindeki depremde ise pik değeri gözlenmiştir. Benzer şekilde 29.09.2012 tarihinde Kadıovacık (Urla) bölgesinde gözlenen  $M_L=2,3$  byklğindeki depremde de pik değeri gözlenmiştir.

Ekim ayı verilerine göre ise, 05.10.2012 tarihinde Seferihisar açıklarında meydana gelen  $M_L=2,4$  byklğindeki depremin hemen ardından radon konsantrasyonları hızla azalmıştır.

Online sistem sürekli radon ölçüm grafikleri ve bölgelerdeki sismik aktiviteler incelendiğinde, 18.01.2012 tarihinde Zeytineli bölgesinde meydana gelen  $M_L= 2,9$  byklğindeki depremden önce bölgedeki 4 nolu istasyonda radon konsantrasyonunda artış gözlenmiş, depremden sonra bu artış durmuştur. Benzer şekilde 12.02.2012 tarihinde zbek blesinde meydana gelen  $M_L=2,5$  byklğindeki depremden sonra ise zbek bölgesindeki 4 nolu istasyonda radon konsantrasyon artışı gözlenmiştir. Depremden sonra saptanan radon konsantrasyon artışı, bu bölgelerdeki jeolojik fay atımlarının incelenmesini ve radonla ilişkisinin incelenmesini gerektirmektedir. Zeytineli bölgesinde 20.03.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=2,4$  byklğindeki depremin öncesinde bölgedeki istasyonlarda radon konsantrasyonlarına bakıldığında 2 nolu, 4 nolu ve 9 nolu istasyonlarda ölçümün yüksek çıktığı görülmüş, depremin ardından 4 nolu ve 9 nolu istasyonlardaki radon yoğunluğu büyük ölçüde azalmıştır. 21.04.2012 ve 27.04.2012 tarihlerinde Yağcılar bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,7 - 2,1$  büyüklüklerdeki depremlerin öncesinde bölgedeki 1 nolu ve 9 nolu istasyonların radon yoğunluğu diğer istasyonlara göre daha yüksek çıkmış, depremden sonra ise 1 nolu istasyonda radon yoğunluğu azalmış ve 2 nolu istasyonda artış gözlenmiştir. 07.06.2012 tarihinde Zeytineli bölgesinde meydana gelen  $M_L=2,6$  byklğindeki depremden önce Zeytineli bölgesindeki 2 nolu, 4 nolu ve 6 nolu istasyonlarda radon yoğunluğu artış göstermiş, depremin ardından, 2 nolu ve 6

nolu istasyonlarda radon yoğunluğu azalmıştır. 10.07.2012 tarihinde Zeytineli bölgesindeki  $M_L=2,0$  büyüklüğündeki depremin öncesinde bölgedeki 4nolu ve 6 nolu istasyonlarda radon yoğunluğu yüksek ölçülmüş, depremin ardından 6 nolu istasyondaki radon yoğunluğu azalmıştır. Özbek bölgesinde 05.08.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=3,3 - 2,7$  büyüklüğündeki depremler incelendiğinde, deprem öncesinde Özbek bölgesindeki 6 nolu istasyonda, diğer istasyonlara göre daha yüksek ölçülen radon yoğunluğu depremin ardından azalmaya başlamış ve Eylül ayında en düşük konsantrasyon seviyesine gerilemiştir. Zeytineli bölgesinde 14.09.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=2,8$  büyüklüğündeki deprem öncesinde bölgedeki 2 nolu,4 nolu ve 9 nolu istasyonlardaki radon yoğunluğu diğer istasyonlara göre daha fazla ölçülmüş, deprem sonrasında 2 nolu ve 4 nolu istasyonlardaki yoğunluk azalmıştır. Özbek bölgesinde 29.09.2012 tarihinde meydana gelen  $M_L=2,3$  büyüklüğündeki deprem öncesinde 6 nolu istasyondaki radon yoğunluğu diğer istasyonlara göre daha fazla ölçülmüş, depremden sonra 6 nolu istasyondaki yoğunluk azalmış, 3 nolu istasyondaki yoğunluk artmıştır.

Radon çıkışları aynı zamanda toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine de bağlıdır. Bu özelliklere göre kısaca değerlendirmek gerekirse. Radon ve toprak özellikleri arasında korelasyon katsayılarını incelemek gerekir. Buna göre toprak örneklerinin genel özelliklerine ait veri grupları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. ( Tablo 4.3).

Tablo 4.3 Çalışma bölgesinde ölçülen parametreler arasında Pearson Korelasyon Katsayıları.

	<sup>222</sup> Rn	<sup>226</sup> Ra	% Tuz	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	% OM	% CaCO <sub>3</sub>	% Kum	% Mil	% Kil	pH
<sup>222</sup> Rn	1	-0,066	0,275	-0,217	-0,061	0,294	0,033	-0,135	0,367	-0,299	-0,201
<sup>226</sup> Ra		1	-0,125	0,495**	0,391*	-0,215	-0,202	0,341	-0,401*	0,090	0,153
% Tuz			1	-0,386*	-0,192	0,438*	0,130	0,124	0,239	-0,453*	-0,082
<sup>232</sup> Th				1	0,508**	-0,374	-0,384*	0,324	-0,657**	0,434*	-0,224
<sup>40</sup> K					1	-0,216	-0,335	0,052	-0,377	0,413*	-0,147
% OM						1	-0,057	-0,138	0,567**	-0,548**	-0,285
% CaCO <sub>3</sub>							1	0,342	0,550**	-0,277	0,706**
% Kum								1	-0,678**	-0,667**	-0,139
% Mil									1	-0,435*	0,264
% Kil										1	-0,163
pH											1

\*P&lt;0,05 \*\*P&lt;0,01

Bu ilişkiler bulunurken Pearson korelasyon katsayı değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler arasında bazı anlamlı ilişkiler gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında,  $^{226}\text{Ra}$  ile  $^{232}\text{Th}$  arasında,  $^{232}\text{Th}$  ile  $^{40}\text{K}$  arasında ve  $^{226}\text{Ra}$  ile  $^{40}\text{K}$  arasında pozitif anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Toprak içeriğindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin kendi aralarında anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir. Kiss et al. (1988) ve Jong et al. (1994) Kanada toprakları ile yaptıkları çalışmalarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  arasında bir korelasyon gözlemlemişlerdir. Navas et al. (2002) İspanya topraklarında yaptığı çalışmalarda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ile kireç arasında ters korelasyon tespit etmiştir. Bu çalışmada  $^{232}\text{Th}$  ve kireç arasında ters korelasyon gözlenmiştir. Ayrıca pH ile kireç arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Genellikle topraktaki kireç miktarı arttıkça pH değeri yükselmektedir.

Toprak gazındaki radonun önemli bir kaynağı radyumdur. Bu sebepten dolayı topraklardaki radon konsantrasyonu ile radyum konsantrasyonu arasında korelasyon tespit edilmesi beklenmektedir. LR-115 film dedektörler ile yapılan ölçüm sonuçları sonucu elde edilen radon konsantrasyon değerleri ile radyum konsantrasyonu arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Bu durumun nedeni, alınan toprak örneklerinin dünya ortalaması civarında Ra aktivite konsantrasyonuna sahip olmasıdır. Ayrıca radonun, ölçüm yapılan bölgedeki ana kaynağının topraklar olmadığı söylenebilir. Radonun, toprağın daha derin bölgelerinde oluşarak atmosfere doğru göç ettiği sonucuna varılabilir. Bölgede mevcut bulunan termal alan veya fay hatları ana kayaçlarda oluşan radonun yüzeye hareketini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bölgedeki yerkabuğu hareketleri, radonun atmosfere çıkışında değişimlere neden olabilmektedir.

Bileşiminde kil miktarı yüksek olan topraklar, sıkı yapıda olduğu için fazla gözenekli değildir. Bu durum toprak gazındaki radonun hareketini zorlaştırır ve atmosfere çıkışlarını azaltır. Bu çalışmamızda kil miktarı ile radon arasında iyi bir ilişki gözlemlenmemiştir. Kum miktarı yüksek topraklar gözenekli ve gevşek yapıli topraklardır. Bu yapısı nedeniyle radon gazının topraktaki hareketleri ve atmosfere ulaşması oldukça kolaydır. Yani topraktaki kum miktarı ile radon gazı arasında pozitif bir anlamlı ilişki beklenir. Fakat bu tez çalışmasında bu ilişki gözlemlenmemiştir. Milli topraklar ise, kum, kil ve organik maddenin bileşimi olan topraklardır. Bu topraklarda radon gazının atmosfere ulaşması killi topraklara göre daha kolay ancak kumlu topraklara göre daha zordur. Sonuçlarımızı genel değerlendirirsek radon çıkışlarının toprak özelliklerinden bağımsız olduğu ve yer kabuğu hareketleri ile değişim gösterdiği söylenebilir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Depremler, sebep oldukları anı enerji boşalmaları nedeniyle çağlardan beri insanoğlunun en çok kayıp verdiği doğal afetlerden birisi olmuştur. Ülkemiz de bulunduğu coğrafi konumundan dolayı deprem kuşakları üzerinde yer almaktadır. Bilinçsiz ve çarpık yapılaşma, jeolojik açıdan uygun olmayan bölgelerin imara açılması ve yapılan binaların depreme uygun olmaması, yaşanan sismik aktivitelerin felaketle sonuçlanmasına neden olmaktadır. Bu durum, her an meydana gelebilecek şiddetli depremler sonucunda büyük oranda can kayıplarıyla sonuçlanabilmektedir. Dolayısıyla can kayıplarını en aza indirmek için depremlerin önceden tahmin edilebilmesi ülkemiz açısından büyük önem taşımaktadır.

Depremlerin önceden tahmin edilebilmesi için bazı parametrelerin yer kabuğunda, sulara veya havadaki konsantrasyon değişimlerinin takip edilip bilimsel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerden bir tanesi sismik bölgelerdeki toprak gazında ve yer altı sularındaki radon gazı konsantrasyon değişimlerinin gözlenmesidir.

Bu çalışmada İzmir iline bağlı Urla ilçesinde online sistem sürekli radon konsantrasyon değişimleri ve karelaj yöntemiyle belirlenmiş alanlarda bir yıllık katı hal iz kazıma dedektör metodu sonuçları kullanıldı. Bu iki metotla toprak gazındaki radon konsantrasyonu değişimleri izlenerek bölgede meydana gelen sismik olaylarla ilişkileri incelendi. Bu incelemeler sonucunda, sismik aktivite gözlenen yerlerde aktivite süresi içinde toprak gazı radon konsantrasyonunda artışlar saptandı.

LR-115 film dedektörler ile Özbek bölgesindeki istasyonlarda yapılan ölçümler sonucu 3 nolu, 4 nolu ve 6 nolu istasyonların radon ölçümlerinin, sismik aktivite ile arttığı ve bu bölgelerdeki radon ölçümlerinin sürekli olarak izlenmesi gerektiği görülmüştür. Olası depremler ile ilişkilere en uyumlu alanların bu istasyonlar olduğu ve Balıklıova, Kadıovacık, Mordoğan ve Ildır bölgelerindeki sismik hareketlilik ile bu bölgelerdeki radon ölçümleri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir.

Yağcılar bölgesi istasyonlarında LR-115 film dedektörler ile yapılmış olan aylık radon konsantrasyon ölçüm sonuçları incelendiğinde, 1 nolu, 2 nolu ve 9 nolu istasyonlardaki radon ölçüm değerlerinin sismik hareketlilik ile artış

gösterdiği tespit edilmiştir. Olması muhtemel sismik aktiviteler ile ilişkilere en uyumlu alanların bu istasyonlar oluşu ve bu istasyonların bulunduğu bölgelerin radon ölçüm sonuçlarının, Seferihisar, Kuşçular, Ovacık, Yağcılar Sığacık ve Demircili bölgelerindeki sismik hareketlilik ile paralellik gösterdiği saptanmıştır.

Zeytineli bölgesindeki istasyonların LR-115 film dedektörleri ile yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında, 2 nolu, 4 nolu, 6 nolu ve 9 nolu istasyonların radon yoğunluklarının Uzunkuyu, Barbaros, Zeytinler, Germiyan ve Zeytineli bölgelerindeki yer kabuğu hareketleri ile korelasyon halinde olduğu ve bu bölgedeki istasyonlarda radon yoğunluğunun sürekli izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Örneğin, 02.05.2012 tarihinde İzmir Körfezi'nde meydana gelen  $M_L = (4.4)$ , (4.4), (3.3), (4.1), (4.0), (3.4) büyüklüğündeki depremlerde Özbek bölgesi 4 nolu istasyonda, Yağcılar bölgesi 2 nolu istasyonda, Zeytineli bölgesi 2 nolu ve 9 nolu istasyonlarda radon konsantrasyonunun giderek yükseldiği ve bu artışın online sistem sürekli radon ölçümlerinde de görüldüğü belirlenmiştir. Benzer ilişkiler 23.07.2012 tarihinde Yağcılar bölgesinde meydana gelen  $M_L = 3,0$  büyüklüğündeki depremde de görülmüştür. Deprem öncesi Yağcılar bölgesi 2 nolu istasyonda oldukça yüksek bir radon konsantrasyonu gözlenmiş, depremin ardından bu yoğunluk giderek azalmıştır. Online sistem verilerinden bu depreme bakıldığında, deprem esnasında radon konsantrasyon grafiğinde bir pik olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, LR-115 film dedektörleri ile online ölçümlere baktığımızda, Özbek bölgesi 2 nolu istasyon, Yağcılar bölgesi 2 nolu istasyon, Zeytineli bölgesi 2 ve 9 nolu istasyonların radon ölçümleri ve sismik aktivite ile en ideal uyumu gösterdiği belirlenmiştir. Deprem tahminlerinde bu istasyonlara kurulacak sürekli radon ölçüm cihazları, olası bir sismik aktivite öncesinde iyi bir ön izleyici olacaktır. Ayrıca radon değerleri ile jeolojik yapının incelenerek istatistiksel yöntemlerde birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu veriler depremsellik ile radon arasındaki ilişkileri daha net ortaya çıkaracaktır.

## 6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alekseev V.A., Alekseeva N.G, Jchankuliev J.** 1995, On relation between fluxes of metals in waters and radon in Turkmenistan region of seismic activity 43-45p.
- Ambraseys, N.N.**, 1975, Studies in historical seismicity and tectonics, *Geodynamic today*, 7-16p.
- Ambraseys, N.N. and Jackson, J.A.**, 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean Region, *Geophys. j. int.*, 133:390-406p.
- Baixeras, C., Climent, H., Font, L.L., Bacmeister, G.U., Albarracin, D. and Monnin, M.M.**, 1997, Using SSNTDS in Soil and Indoors in Two Mediterranean Locations for Radon Concentration Measurements, *Radiation Measurements*, 28 (1-6), 713-716p.
- Campero, M.A., Fleischer, R.L. and Likes, R.S.**, 1980, Changes in subsurface radon concentration associated with earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 85:3053–3057p
- Cherouati, D.E., Djeflal, S. and Durrani, S.A.**, 1988, Calibration Factor For LR-115 Detectors Used For The Measurement of Alpha Activity from Radon, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 15 (1-4), 583-586p.
- Cothorn, R.C. and Smith, J.E.**, 1987, Environmental Radon, Environmental Science Research, Plenum Press, New York and London 122-129p.
- Dobrovolsky, I. R., Zubkov, S. I. and Myachkin, V. I.**, 1979: Estimation of the size of earthquake preparation zones. *Pageoph.*117, 1025-1044.
- Dubinchuk, V.T.**, 1993, Radon as a precursor of earthquakes, isotopic and geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruptions IAEA TECDOC-726p.
- Eappen, K.P., Nair, R.N. and Mayya, Y.S.** 2008, Simultaneous measurement of radon and thoron using Lucas scintillation cell, *Radiation Measurements*, 43, 91–97p.
- Friedmann, H., Aric, K., Gutdeutsch, R., King, C.Y., Altay,C., Sav, H.** 1988, Radon measurements for earthquake prediction along the North Anatolian Fault Zone: a progress report. *Tectonophysics*152 (3–4), 209–214

**KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)**

- Ghosh, D.**, 2009, Anomalous radon emission as precursor of earthquake, *Journal of applied geophysics*, 69:67-81p.
- Hirota, U., Moriuchi, H., Takemura, Y., Tsuchida, H., Fujii, I., Nakamura, M.** 1988, Anomalous high radon discharge from the Atotsugawa fault prior to the western Nagano Prefecture earthquake (m 6.8) of September 14, 1984. *Tectonophysics* 152 No 1-2, 147-152p.
- İçhedef, M.**, 2011, Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişiminin İncelenmesi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 66s
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E. and Doğru, M.**, 2006, Measurements of soil gas radon in active fault systems: A case study along the North and East anatolian fault systems in Turkey, *Radiation Measurements*, 41, 349-353p.
- Kazancı, N.**, 1996, *Deprem, Bilim ve Teknik Dergisi*, 341:64-68s.
- Khan, H.A., Tufail, M. and Qureshi, A.A.**, 1990, Radon signals for earthquake prediction and geological prospecting, *Journal of Islamic Academy of Sciences* 3:229-231p.
- Kiss, J. J., de Jong, E. and Bettany, J. R.**, 1988. The distribution of natural radionuclides in native soils of southern Saskatchewan, Canada. *J. Environ. Qual.*, 17, 437-445.
- Kolbaşı, A.**, 1997, Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile İzmir Fay Hattında Deprem Tayinine Yönelik Radon Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 39s.
- Mogro-Campero, A., Fleischer, R. L. and Likes, R. S.** 1980, Changes in subsurface radon concentration associated with earthquake. *Geophys. Res. Res.* 85 , 3053 – 3057p.
- Nazaroff, W.W. and Anthony V.N.**, 1988, Radon and Its Decay Products in Indoor Air, John Wiley and Sons, New York, 518p.
- Nazaroff, W.W.**, 1992, Radon Transport from Soil to Air, *Reviews of Geophysics*, 30:137-160p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)**

- Negarestani, A., Setayeshi, S., Ghannadi–Maragheh, M. and Akashe, B.**, 2002, Layered neural networks based analysis of radon concentration and environmental parameters in earthquake prediction, *Journal of environmental radioactivity*, 62:225–233p.
- Nishizawa, S., Igarashi, G., Sano, Y., Shoto, E., Tsaka, S., and Sasaki, Y.**, 1998, Radon, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub> anomalies in hot spring water associated with the 1995 earthquake swarm of the East Coast of the Izu Peninsula, Central Japan, *Appl. Geochem.*, 13, 89-94p.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ.**, 2005, Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155–171p.
- Özmen, B.**, 1995, Depremlerin Önceden Bilinmesinde Kullanılan Yöntemler, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Seminer Dersi
- Papastefanou, C.**, 2007, Measuring radon in soil gas and groundwaters: a review, *Annals of geophysics*, 50:569-578p.
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, W. ve Toksöz, M. N.**, 1997. Global positioning system measurements of present crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone: *J. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999p.
- Saç, M.M., Camgöz, B.**, 2000. Investigations of Correlations Between the Magnitude of the Earthquake and Radon Concentrations in Soil Gas in İzmir Fault zones, I. Eurasia Conference on Nuclear Science and its Application, (İzmir–Turkey, Eng. Abst. pp 315–316),
- Saç, M.M. ve Camgöz, B.**, 2005, İzmir’ de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları arasındaki İlişkininin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı 3, 47-54s.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Saç, M.M., Kumru, M.N., Yener, G., Salk, M., Karalı, T., Uğur, A., Sözbilir, H., Camgöz, B., Harmanşah, C., Özden, B., Sümer, Ö., Erkut, S.L.,** 2008, Yer altı suyu ve toprak gazı radon konsantrasyonlarındaki değişimin yer kabuğu hareketleriyle ilişkilendirilmesi: Doğanbey fay hattı, İzmir, Batı Anadolu, TÜBİTAK projesi, 95
- Saç, M.M., Harmanşah, C., Camgöz, B. and Sözbilir, H.,** 2011, Radon Monitoring as the Earthquake Precursor in Fault Line in Western Turkey, *Ekoloji*, 20 (79), 93-98p.
- Schumann, R.R.,** 1993, the radon emanation coefficient: an important tool for geologic radon potential estimations, The 1993 International Radon Conference.
- Singh, S., Kumar, J., Singh, B., Singh, J.,** 1999, Radon diffusion studies in some building materials using solid state nuclear track detectors, *Radiation Measurements*, 30, 461-464p.
- Singh, M., Kumar, M., Jain, R.K. and Chatrath, R.P.,** 1999, Radon in groundwater related to seismic events, *Radiation measurements*, 30:465-469 p.
- Tansi, C., Tallarico, A., Iovine, G., Folino Gallo, M. and Falcone, G.,** 2005, Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectonic-gravitational settings: the south-eastern Crati graben (Northern Calabria, Italy), *Tectonophysics*, 396, 181–193p.
- Tanner, A.B.,** 1980, Radon Migration in the Ground: A Supplementary Review, In: the Natural Radiation Environment III, University of Chicago Press, Chicago, 5–56p.
- UNSCEAR,** 2000, Sources and effects of ionizing radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly with scientific annexes, New York, USA.
- Virk, H.S. and Walia, V.,** 2001, Helium/radon precursory signals of Chamoli earthquake, India, *Radiation Measurements*, 34:379–384p.
- Wakita, H., Nakamura, Y., Kita, J., Fujii, N., and Notsu, K.,** 1980, Hydrogen release: new indication of fault activity, *Science*, 210, 188 - 190p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)**

- Walia, V., Virk, H.S., Bajwa, B.S. and Sharma, N.,** 2003, Relationship between radon anomalies and seismic parameters in N-W Himaliya, India, *Radiation Measurements*, 36:393–396p.
- Wattanakorn, K., Kanaree, M. and Wiboolsake, S.,** 1998, Soil Gas Radon as an Earthquake Precursor: Some Considerations on Data Improvement, *Radiation Measurements*, 29 (6), 593-598p.
- Yasuoka, Y., Ishii, T., Tokonami, S., Ishikawa, T., Narazaki, Y. And Shinogi, M.,** 2005, Radon anomaly related to the 1995 Kobe earthquake in Japan, *International Congress Series*, 1276:426-427p.
- Zmazek, B., Zivcic, M., Vaupotic, J., Bidovec, M., Poljak, M., Kobal, I.,** 2002, Soil radon monitoring in the Krsko Basin, Slovenia, *Applied radiation and isotopes*, 56:649–657p.
- Zmazek, B., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupotic, J., Kobal, I.,** 2003, Application of decision trees to the analysis of soil radon data for earthquake prediction, *Applied radiation and isotopes*, 58:697–706p.
- Zmazek, B., Zivcic, M., Dzeroski, S., Todorovski, L., Vaupotic, J. and Kobal, I.,** 2005, Radon in soil gas: How to identify anomalies caused by earthquake, *Applied geochemistry*, 20:1106-1119p.
- Zmazek, B., Gregorič, A., Džeroski, S., Torkar, D., Vaupotič, J.,** 2011 Radon as an Earthquake Precursor – Methods for Detecting Anomalies, 180-184 p.