



EGE ÜNİVERSİTESİ

DOKTORA TEZİ

BATI MARMARA BÖLGESİ' NDE TOPRAK

GAZI RADON KONSANTRASYON

DEĞİŞİMLERİ İLE YER KABUĞU

HAREKETLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN

İNCELENMESİ

Osman GÜNAY

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 22.09.2016

Bornova-İZMİR

2016

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(DOKTORA TEZİ)

BATI MARMARA BÖLGESİ' NDE TOPRAK GAZI
RADON KONSANTRASYON DEĞİŞİMLERİ İLE YER
KABUĞU HAREKETLERİ ARASINDAKİ
İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Osman GÜNAY

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 22.09.2016

Bornova-İZMİR

2016

Osman GÜNAY tarafından doktora tezi olarak sunulan “Batı Marmara Bölgesi'nde Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değişimleri ile Yer Kabuğu Hareketleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 22.09.2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ
Raportör Üye	: Doç. Dr. Berkay CAMGÖZ
Üye	: Doç Dr. Özlem KARADENİZ
Üye	: Doç Dr. Gültekin YEĞİN
Üye	: Yard. Doç. Dr. Coşkun HARMANŞAH

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Batı Marmara Bölgesi' nde Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değişimleri ile Yer Kabuğu Hareketleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

22 / 09 / 2016

Osman GÜNAY

ÖZET**BATI MARMARA BÖLGESİ' NDE TOPRAK GAZI RADON
KONSANTRASYON DEĞİŞİMLERİ İLE YER KABUĞU
HAREKETLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ**

GÜNAY, Osman

Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ
Eylül 2016, 192 sayfa

Bu tez çalışmasında Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Batı Marmara Bölgesinde, toprak gazı radon konsantrasyon değişimleri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Öncelikle bölgenin jeolojik yapısı incelenmiş ve 21 farklı örnekleme noktası belirlenmiştir.

Bu istasyonlardaki radon ölçümleri nükleer iz kazıma detektörleri (LR115 tip 2) kullanılarak elde edildi. İlave olarak bölgedeki topraklarda doğal radyoaktivite ve fiziksel ve kimyasal özellikler ölçüldü.

Sonuç olarak bölge topraklarındaki radon ölçümlerinin $0,10 \text{ kBqm}^{-3}$ ile $19,46 \text{ kBqm}^{-3}$ arasında değiştiği gözlemlendi. Ortalamanın ise $4,35 \pm 0,47 \text{ kBq m}^{-3}$ olduğu hesaplandı. Sonuçlar istatistiksel değerlendirildiğinde sismik aktivitenin olduğu tarihlerde radon konsantrasyonlarında değişim gözlenen istasyonlar belirlendi. Şubat 2015 tarihinde meydana gelen yer kabuğu hareketleri sırasında 2. ve 8. istasyonlarda radon düzeylerinde değişimler gözlenmiştir. Bu istasyonlardaki radon verilerinin sismik aktivite ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda bu çalışmada radon düzeyleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Topraklardaki radyum düzeylerinin dünya ortalamasına benzer olduğu bulunmuştur. Radyum değerlerine bakıldığında, radon konsantrasyonlarındaki anomalilerin sismik aktiviteden kaynaklanabileceği sonucuna varılabilir.

Anahtar sözcükler: Radon, Kuzey Anadolu Fay Hattı, Deprem

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL GAS RADON ANOMALIES AND EARTH MOVEMENTS in THE WESTERN MARMARA REGION

GÜNAY, Osman

Ph.D, Nuclear Science

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Müslim Murat SAÇ

September 2016, 192 pages

In thesis study , it has been investigated relationships between radon concentrations and earth movements in the Western Marmara Region of North Anatolian fault line. Initially, it was examined the geological structure of the study area and selected 21 different sampling stations. Radon measurements in these stations were obtained by using solid state nuclear track detectors (LR-115type-2). Besides, it has been measured natural radioactivity, physical and chemical properties of the soils in the region.

As a results, it was observed that radon concentrations in the soils were changed from 0,10 kBqm⁻³ to 19,46 kBqm⁻³ . The average radon vaule was calculated to be 4,35±0,47 kBqm⁻³.

When data were statistically analyzized, stations which has been observed the changes of radon concentration, were assigned while earth crust movement are occured. In February 2015, changes of radon concentration were observed for 2. and 8. stations whenever earth crust movements occurred in the study region. The radon data in these stations were found to be agree with seismic activity. Therefore, it has been has concluded that the continuous radon measurement systems will be established to the stations (2 and 8) in the future. In this study were also investigated the relationships between radon levels and soil properties. Concentrations of radium in the soils were found to be similar to the world average value. According to the data of radium, it has been found result that anomalies in radon concentration can be concluded due to seismic activity.

Keywords: Radon, North Anatolian Fault, Earthquakes

TEŞEKKÜR

Çalışmam esnasında her türlü destek ve yardımlarından yararlandığım Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ' a, enstitü laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Turgay KARALI' ya, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Mehmet N. KUMRU' ya, ve her türlü konuda yardımını hiç esirgemeyen Sayın Ar. Gör Dr. Mutlu İÇHEDEF' e, Sayın Ar. Gör. Caner TAŞKÖPRÜ' ye , Sayın Doç. Dr. Berkay CAMGÖZ' e, Sayın Yard. Doç. Dr. Onur YARAR' a, Yard. Doç. Dr. Selami ŞAHİN' e, Sayın Prof. Dr. Mustafa BOLCA' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca yanımda bulunan ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Yusuf BAYRAKÇIOĞLU' na, Murat TURAN' a, Mehmet DURMUŞ' a, Süleyman KAHRAMAN' a, ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sadece tez çalışmamda değil yaşamımın her anında bana olan desteklerini ve inançlarını hiç esirgemeyen, anneme, babama ve kardeşlerime, Fatma CAN' a, Abdurrahman CAN' a, eşim Halime GÜNAY' a, çocuklarım Asude Ferhan GÜNAY' a, Mehmet Selim GÜNAY' a, Feyza Hilal GÜNAY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxxı
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	8
2.1 Deprem	8
2.1.1 Depremlerin Oluşumu	8
2.1.2 Deprem Parametreleri	10
2.1.3 Deprem Odak Mekanizması	12
2.1.4 Fay Çeşitleri	12
2.1.5 Deprem Türleri	15
2.1.6 Deprem Dalgaları	16
2.1.7 Dünya ve Türkiye ' de Deprem	19
2.1.8 Yer Kabuğu Hareketlerinde Tahmin Parametreleri	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2 Radon	22
2.2.1 Radyoaktif Bozunum Serileri.....	24
2.2.2 Radonun Yerkabuğundaki Hareketleri.....	29
2.2.3 Radon Ölçüm Teknikleri.....	37
2.3 Doğal Radyoaktivite	51
2.4 Toprak	49
2.4.1 Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	49
3. MATERYAL ve METOD	53
3.1. Çalışma Bölgesi	53
3.2. Çalışma Bölgesinin Depremselliği	56
3.3. Bölgedeki Deprem Odak Mekanizma Çözümlmeleri	61
3.4. Örnekleme Noktaları (İstasyonlar)	64
3.5. Toprağın Fizikse ve Kimyasal Analizleri	85
3.6 Nükleer İz Kazıma Yöntemiyle Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	86
3.6.1 Kalibrasyon	90
3.7 Doğal Radyonüklid Konsantrasyonları	91
3.8 İstatistiki Analizler	94

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.9 Sismik Hareket Verileri	94
3.10 Meteorolojik Veriler	94
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	95
4.1 Toprak Gazı Radon Konsantrasyonları Sonuçları	96
4.2 Bölgede Meydana Gelen Sismik Hareketler	102
4.3 İstasyonlara Göre Sismik Aktivite ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki İlişki	109
4.4 Ölçüm Zamanlarına Göre Sismik Aktivite ile Radon Konsantrasyonu Arasındaki İlişki.....	130
4.5 Topraklarda Doğal Radyonüklid Konsantrasyon Sonuçları	156
4.6. Karasal Gama Doz Hızları.....	159
4.7. Bölgenin Meteorolojik Değerleri.....	161
4.7.1. Atmosferik Basınç Verileri.....	162
4.7.2. Hava Sıcaklık Verileri	163
4.7.3. 25cm Derinlikteki Toprak Sıcaklığı	164
4.7.4. % Nem	165
4.8 Toprağın Fiziksel Ve Kimyasal Özellik Sonuçları.....	166
4.8.1 Toprağın Bünye Analizi	166

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.8.2. Toprağın pH ve Tuzluluk Miktarları.....	168
4.8.3 Toprağın Kireç Analizi	169
4.9 İstatistiksel Analiz Sonuçları	170
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	175
KAYNAKLAR DİZİNİ	178
ÖZGEÇMİŞ	192

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Dünya'nın yapısı	9
2.2 Deprem oluşumu	10
2.3 Deprem odak mekanizması çözümlemesi	12
2.4 Deprem Öncesi durum.....	13
2.5 Düşey Atımlı Fay	13
2.6 Doğrultu Atımlı (Yatay) Fay	14
2.7 Verev (Oblik) Fay.....	14
2.8 Graben ve Horst Yapıları.....	14
2.9 Deprem Dalga Çeşitleri	16
2.10 P Dalgası.....	17
2.11 S Dalgası.....	17
2.12 Love Dalgaları	18
2.13 Rayleigh Dalgalar	18
2.14 Dünya Deprem Kuşakları	19
2.15 Türkiye'nin Neotektonik Unsurları	20
2.16 Kuzey Anadolu Fay Hattı.....	21
2.17 ²³⁸ U Serisi	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.18 ^{235}U Aktinyum Serisi	26
2.19 ^{237}Np Neptinyum Serisi	27
2.20 ^{232}Th Toryum Serisi	28
2.21 Radon varlığı ve Radon Göçü.....	29
2.22 Emanasyon Katsayısı Bileşenleri.....	30
2.23 Direk Geri Tepme	31
2.24 Nem İçeriğine Bağlı Emanasyon Katsayısı	33
2.25 Radon Göçü	34
2.26 Lucas Hücresi	38
2.27 MARKUS 10 Detektörü	40
2.28 Ağır Yüklü Parçacıkların Polimer Zincirlerini Kırma Diyagramı.....	41
2.29 Katıhal İz Kazıma İşlemi	44
2.30 AlphaGUARD Cihazı	47
2.31 Toprak Bünye Üçgeni.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Çalışma Bölgesi.....	53
3.2 Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizi Çevresindeki Başlıca Kırıkları ve Kırıklar Çevresinde Meydana Gelen Tarihsel Depremler	54
3.3 Saros-Gaziköy Kırığı(Çalışma Bölgesi).....	55
3.4 1983 Yılına Kadar Bölgede Meydana Gelen $M \geq 6.0$ Depremler.....	56
3.5 Marmara Bölgesinde 1500 ile 2000 yılları arasındaki olan depremler ..	57
3.6 1912 Yılındaki Mürefte De Meydana Gelen Deprem Görüntüsü	60
3.7 2003-2010 Yılları Arasında Odak Mekanizmaları Hesaplanan Depremlerin Uydu Görüntüsü	61
3.8 Çalışma Bölgesinde 2003-2010 yılları arasında meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizması ters çözümler	62
3.9 Çalışma Bölgesinde 2003-2010 yılları arasında meydana gelen depremlerin CareGauilhardis in geliştirdiği metod ile ortak ters çözümlemeleri.	63
3.10 Örneklem İstasyonlar.....	64
3.11 1 Nolu Örneklem Noktası.....	66
3.12 1 Nolu Örneklem Noktasına Ait Görüntü.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 2 Nolu Örnekleme Noktası	67
3.14 2 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	67
3.15 3 Nolu Örnekleme Noktası	68
3.16 4 Nolu Örnekleme Noktası	68
3.17 5 Nolu Örnekleme Noktası	69
3.18 5 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	69
3.19 6 Nolu Örnekleme Noktası	70
3.20 6 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	70
3.21 7 Nolu Örnekleme Noktası	71
3.22 7 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	71
3.23 8 Nolu Örnekleme Noktası	72
3.24 8 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	72
3.25 9 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	73
3.26 9 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü	73
3.27 9 Nolu Örnekleme Noktasına Ait İstasyon Oluşturma Anından Görüntü	74
3.28 10 Nolu Örnekleme Noktası	75
3.29 11 Nolu Örnekleme Noktası	76

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.30 12 Nolu Örneklemeye Noktası	77
3.31 13 Nolu Örneklemeye Noktası	78
3.32 14 Nolu Örneklemeye Noktası	79
3.33 15 Nolu Örneklemeye Noktası	80
3.34 15 Nolu Örneklemeye Noktasına ait görüntü	80
3.35 16 Nolu Örneklemeye Noktası	81
3.36 17 Nolu Örneklemeye Noktası	81
3.37 18 Nolu Örneklemeye Noktası	82
3.38 18 Nolu Örneklemeye Noktasına ait görüntü	82
3.39 19 Nolu Örneklemeye Noktası	83
3.40 20 Nolu Örneklemeye Noktası	83
3.41 21 Nolu Örneklemeye Noktası	84
3.42 Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Ölçümleri	85
3.43 Detektörlerin Banyo İşlemi	87
3.44 Çalışmada Kullanılan Optik Mikroskop	88
3.45 LR-115 Detektörünün LAS EZ programıyla oluşan görüntüsü	89
3.46 Corel PaintShop Photo ile düzenleme görüntüsü	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.47 Alfa izlerinin sayım görüntüsü	90
3.48 Kalibrasyon Düzeneği.....	90
3.49 Kaplara Konmuş Toprak Örnekleri	91
3.50 Naı(Tl) Gama Spektrometresinin Görüntüsü.....	92
4.1 Çalışma Örnekleme Noktalarının Uydu Görüntüsü.....	96
4.2 Zamana Göre Radon Konsantrasyonları.....	97
4.3 Tüm Ölçüm Ortalamaların Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları.....	99
4.4 Tüm Ölçüm Ortalamaların Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı).....	100
4.5 Tüm Ölçüm Ortalamaların Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)	100
4.6 Tüm Bölgenin Zamana Göre Radon Konsantrasyonları.....	101
4.7 10 Temmuz 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	104
4.8 16 Temmuz 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	104
4.9 07 Ağustos 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	104
4.10 12 Ağustos 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	105
4.11 23 Ekim 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12 27 Ekim 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	105
4.13 06 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem	106
4.14 16 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem	106
4.15 26 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem	106
4.16 01 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	107
4.17 02 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	107
4.18 06 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem.....	107
4.19 24 Temmuz 2015 de Bölgede Meydana Gelen Depremler	108
4.20 1. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	109
4.21 2. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	110
4.22 3. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	111
4.23 4. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	112
4.24 5. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	113
4.25 6. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	114
4.26 7. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	115
4.27 8. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	116
4.28 9. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar	117

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.29 10. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar....	118
4.30 11. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar....	119
4.31 12. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar....	120
4.32 13. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar....	121
4.33 14. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar....	122
4.34 15. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	123
4.35 16. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	124
4.36 17. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	125
4.37 18. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	126
4.38 19. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	127
4.39 20. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	128
4.40 21. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonlar.....	129
4.41 1. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları	130
4.42 1. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)	131
4.43 1. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk) .	131
4.44 2. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları	132
4.45 2. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.46 2. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk). 133	
4.47 3. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları..... 134	
4.48 3. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)..... 135	
4.49 3. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk). 135	
4.50 4. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları..... 136	
4.51 4. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)..... 137	
4.52 4. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk). 137	
4.53 5. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları..... 138	
4.54 5. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)..... 139	
4.55 5. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk). 139	
4.56 6. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları..... 140	
4.57 6. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)..... 141	
4.58 6. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk)..141	
4.59 7. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları.. ...142	
4.60 7. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı) 143	
4.61 7. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk).. 143	
4.62 8. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları 144	

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.63 8. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)	145
4.64 8. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk)..	145
4.65 9. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları	146
4.66 9. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)	147
4.67 9. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk)..	147
4.68 10. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları	148
4.69 10. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)	149
4.70 10. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk)..	149
4.71 11. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları.....	150
4.72 11. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı).....	151
4.73 11. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk)...	151
4.74 12. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları.....	152
4.75 12. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı).....	153
4.76 12. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluk) ..	153
4.77 Günlük Ortalama Atmosfer Basıncı	164
4.78 Ölçün Zaman Aralığına Göre Ortalama Atmosfer Basıncı	164
4.79 Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	165

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.80 Ölçün Zaman Aralığına Göre Ortalama Hava Sıcaklığı.....	165
4.81 Günlük 25 cm Derinlikteki Ortalama Toprak Sıcaklığı	166
4.82 Ölçüm Zaman Aralığına Göre 25 cm Derinlikteki Ortalama Toprak Sıcaklığı	166
4.83 Günlük % Nem	167
4.84 Ölçüm Zaman Aralığına Göre % Nem	167

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Radon ve özellikleri.....	22
2.2 Radon izotopları ve radyoaktif özellikleri.....	24
2.3 Nükleer İz Kazıma Süreçleri	43
2.4 pH Değerlerine Göre Toprakların Sınıflandırılması.....	51
2.5 % kireç içeriğine göre toprağın sınıflandırılması	52
3.1 Çanakkale Bölgesi kırık kuşakları.....	54
3.2 Marmara Bölgesinde 1500 ile 2000 yılları arasındaki depremler	58
3.3 Örneklem İstasyonlarının Koordinatları	65
4.1. Ölçüm Zamanları.....	95
4.2 Çalışma Sürecinde Meydana Gelen Depremler ve Etkilediği Örneklem Noktaları	103
4.3 Toprağın Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonları.....	157
4.4 Doğal Radyonüklid Konsantrasyon Sonuçlarının Bazı Ülkelere Göre Kıyaslanması.....	158
4.5 Doğal Radyoaktivite Doz Hızı	160
4.6 Ölçüm Zamanlarına Göre Meteorolojik Veriler.....	163

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.7 Toprağın Bünye Analizi.....	169
4.8 Toprağın Ph Ve Tuzluluk Miktarları	170
4.9 Toprağın Kireçlilik Değerlendirilmesi.....	171
4.10 Çalışmadaki elde Edilen Veriler Arasındaki Spearman Korelasyon Katsayıları-1	173
4.11 Çalışmadaki elde Edilen Veriler Arasındaki Spearman Korelasyon Katsayıları-2	174

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar**

AFAD	T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KOERİ	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
NOA	National Observatory of Athens

1. GİRİŞ

Yeryüzünde meydana gelen depremlerin, hem yerleşim alanlarını etkilediği, hem de can ve mal kayıplarına sebep olduğu çok eski yıllardan bu yana bilinmektedir. Günümüzde depremlerin meydana gelmesi engellenemediği için depremlerin etkilerinin azaltmak amacıyla çeşitli önlemler alınmaktadır.

Araştırmacılar, deprem etkilerini azaltılmasıyla beraber, depremin önceden tahmin edilmesine yönelik çalışmalar üzerinde durmaktadırlar. Depremlerin meydana gelmeden önce bilinmesinde üç parametre ön plana çıkmaktadır. Bunlar, depremin meydana gelme yeri, zamanı ve büyüklüğüdür. Bu üç parametrenin deprem olmadan önce belirlenmesi geniş kitleler tarafından beklenmekte olup çözülmesi gereken önemli bir problemidir.

Deprem, yer kabuğunda meydana gelen hareketler sonucu oluştuğu için içerisinde birçok parametreyi barındırmaktadır. İçerisindeki parametre sayısı fazla olduğu için hem problemin anlaşılması hem de çözülmesi bir hayli zordur. Deprem öncesi, deprem esnasında ve depremden sonra meydana gelen bu parametrelerin incelenmesi ve değerlendirilmesi problemin çözümü için yol gösterici olacaktır. Bu parametrelerin bazılarını 2009 yılında Cicerone ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada bildirmişlerdir. Bu parametreler, elektrik alanında meydana gelen değişimler, manyetik alanında meydana gelen değişimler, toprak gazlarındaki değişimler, yer altı sıcaklık değişimleri, yer altı su seviyesindeki değişimler ve yer kabuğunda meydana gelen deformasyonlardır. (Seidel et al., 1998; Saç ve Camgöz, 2000; Ereeş vd., 2001; Virk and Walia, 2001; Zmazek et al., 2002; Zmazek et al., 2003; Negarestani et al., 2002; Negarestani et al., 2003; Tarakçı, 2013).

Yapılan bir çok çalışmada deprem öncesinde veya deprem sonrasında depremin meydana geldiği bölge yakınlarında topraktan çıkan bazı gazların konsantrasyonlarında bir takım değişiklikler olduğu belirlenmiştir. Bunlar, Rn, He, CO₂, CH₄, Ar, H₂, O₂, N₂, Na, Cl, Hg, Rb gibi dır (Tabar, 2010).

Radon gazı deprem meydana gelmeden önce belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda üzerinde en çok çalışılan gazdır (Dubinchuk, 1993). Topraktan atmosfere doğru çıkan radon gazı soy gaz olduğu için hem kimyasal bir bileşik meydana getirmez hem de suda çözünüp atmosfere kadar çıkabilir. Radon gazının atmosfere çıkışı hem sismik hareketlere hem de meteorolojik olaylara göre değişmektedir. Bundan dolayı sismik hareketlerin incelenmesinde radon gazı kullanılmaktadır (İçhedef, 2011).

Radon, Uranyum bozunma serisinin bir ürünü olduğu için konsantrasyon miktarında, toprağın doğal radyoaktivite düzeyi etkilidir. Her bölgedeki doğal radyoaktivite miktarı farklı olduğu için, radon konsantrasyonları da bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Bu da depremle radon gazı konsantrasyonu arasındaki korelasyonun kurulmasını karmaşık hale getirmiştir. Radon ile deprem arasındaki ilişkiyi incelemeye çalışan bilim adamları, genellikle çalışma bölgelerindeki doğal radyoaktivite düzeylerini de incelemektedirler.

Depremlerle ilgili ilk çalışmalar 19. Yüzyılın sonuna kadar yarı bilimsel olarak yapılmıştır. Radon düzensizlikleri ile deprem arasındaki ilişkilerin incelenmeye başlanmasından önce 1953 yılında Japonya, Hatuda'da yaklaşık 24 ay boyunca radon gazı ölçülmüştür. Çalışma süresinde Tonankai'de meydana gelen 8 şiddetindeki büyük depremin meydana gelmesinden önce toprak radon gazı düzensizlikleri bildirilmiştir (İçhedef, 2011).

Okabe 1956 yılında, Japonya' da bölgesel sismik hareketlilik artmasıyla, radon konsantrasyonunda arttığı rapor edilmiştir (Ghosh et al., 2009).

Antsilevich tarafından, 1971 yılında yapılan bir çalışmada, büyüklüğü 3, 3.5 olan depremlerden 3 ile 8 gün önce radon düzensizliklerinin meydana geldiği bildirilmiştir (Ghosh et al., 2009).

Ekvator'da 1987 yılında, meydana gelen 6,9 büyüklüğündeki deprem öncesinde toprak gazı radon ölçümleri nükleer iz kazıma detektörleriyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında meydana gelen ve büyüklüğü 6,1 ve 6,9

olan iki depremden önce radon anomalileri gözlemlenmiştir. (Humanante et al., 1990).

Balducci ve arkadaşları 1994 den yılından 1997 yılına kadar üç yıllık süreçte İtalya’ da 19 istasyonda toprak gazı radon konsantrasyonlarını LR-115 detektörler ile ölçmüşlerdir. Bu çalışma sonucu ise depremle radon gazı konsantrasyonu arasında anlamlı bir ilişkinin bulunamamıştır. Radon gazı konsantrasyonu ve deprem arasındaki ilişkinin bulunamamasını çalışma esnasında bölgede 3,5 ve daha üzerindeki şiddette bir depremin meydana gelmemesiyle açıklamışlardır. Fakat topraktaki radon konsantrasyonlarının mevsimsel olarak değiştiği sonucuna varmışlardır (Balducci et al., 1994).

De Jong ve arkadaşları 1994 yılında Kanada’ da yaptıkları çalışma ile doğal radyoaktivite seviyelerini ve radon konsantrasyonları saptamışlardır. Çalışma sonucunda radon emanasyon gücüyle, toplam uranyum ve radyum konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon olduğu saptanmıştır (de Jong et al., 1994).

Wattananikorn ve arkadaşlarının 1998 yılında, yaptığı çalışmada radon gaz konsantrasyon değişimlerini sismik aktivite inceleyicisi olarak kullanmışlardır. Çalışmada LR-115 filmlerini toprağın 50 cm ve 100 cm derinliğine gömmüşlerdir. Çalışmada, 50 cm derinlik için ortalama 7049 ± 674 iz/cm².hafta olarak 100 cm derinlik için ise 13138 ± 1057 iz/cm².hafta olarak bulunmuştur. Radon gaz konsantrasyon değişimin etkileyen minimum deprem büyüklüğüyle, deprem odak noktasına olan uzaklık beraber değerlendirilmiştir. Çalışmada, depreme olan odak uzaklığı 10 km den küçük bölgelerin her büyüklüktük teki depremle, 10 km ile 100 km arası için şiddeti 2 den büyük olan depremlerle, 100 km ile 200 km arasında şiddeti 3 den büyük olan depremlerle, 200 km den fazla olan bölgelerde ise şiddeti 4 den büyük olan depremlerle radon konsantrasyonu ilişkilendirilmiştir (Wattananikorn et al., 1998).

Walia ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptığı çalışmada deprem büyüklükleriyle deprem odak uzaklığı ve radon gazı konsantrasyon değişiklikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada büyüklüğü 2,1 ile 6,8 arasında değişen depremler için radon konsantrasyon anomalilerin meydana geldiği bildirilmiştir (Walia et al., 2003).

Swakon ve arkadaşlarının 2005 yılında Polonya Krakow' dan geçen bir fay hattı çevresinde radon gazı ölçümleriyle beraber, bölgedeki topraklarda, Radium, Toryum, Potasyum konsantrasyonları irdemişlerdir. Çalışma neticesinde topraktaki doğal radyonüklid miktarı UNSCEAR tarafında 1993 yılında belirlen ortalama standartlar seviyesinde çıkmıştır. Fakat, Bölgede tespit edilen radon gazı konsantrasyonu, diğer bölgelere göre yaklaşık üç kat fazla çıkmıştır (Swokon et al., 2005).

Vaupotic ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptıkları çalışmada topraktaki radon konsantrasyonlarının toprağın radyoaktivite içeriğiyle beraber, toprağın fiziksel özelliklerine ve meteorolojik parametreler de bağlı olduklarını bulmuşlardır. Dolayısıyla topraktaki radon konsantrasyonları dış faktörlerden etkilenmekte olduğundan zaman zaman depremle ilişkilendirilmesi oldukça güç olmaktadır. Bu sebeple araştırmacılarda sadece radon gazı konsantrasyonu değil aynı zamanda farklı parametreleri de ölçerek ortaya çıkan verileri istatistiki olarak değerlendirmeye yönelik çalışmaktadırlar (Vaupotic et al., 2007).

Ghosh ve arkadaşları 2011 yılında, radon anomalilerini analiz etmek için Batı Bengal' de (Hindistan) hem aktif hem de aktif olmayan tektonik bölgelerde radon konsantrasyonlarını izlemişlerdir. Çalışılan her iki bölgede de, çalışma alanında yaklaşık 100 km uzaklıkta meydana gelen deprem öncesinde 4 ile 11 gün arasında değişen radon anomalileri gözlenmiştir (Ghosh et al., 2011).

Türkiye' de Doğu Anadolu fay hattı Kuzey Anadolu fay hattın üzerinde ve Ege bölgesinde radon gazı ile sismik aktiviteler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Saç ve Camgöz 2005 yılında, İzmir ve çevresindeki sismik aktivitelerle radon konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve çalışmada radon konsantrasyonlarındaki değişimle sismik aktiviteler arasında pozitif bir korelasyon saptamışlardır (Saç ve Camgöz, 2005).

Baykara ve Doğru 2006 yılında, Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Sisteminden alınan su örneklerinde radon konsantrasyonlarını CR-39 nükleer iz kazıma detektörleriyle belirlemişlerdir. Çalışma neticesinde radon konsantrasyonlarını 132,5 ile 3319,3Bq/m³ arasında değiştiğini bulmuşlardır (Baykara ve Doğru, 2006).

İnceöz ve arkadaşları 2006 yılında, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hattında CR-39 detektörler ile yapılan bir çalışmada, radon konsantrasyonları 4,3 ile 9,8 kBq m⁻³ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Kuzey Anadolu Fayındaki radon konsantrasyonların Doğu Anadolu Fayında ölçülen radon konsantrasyonlarından belirgin bir şekilde daha yüksek olduğu belirtilmiştir (İnceöz et al., 2006).

Saç ve arkadaşları 2008 yılında, İzmir Doğanbey fayı (Tuzla) çevresinde meydana gelen sismik hareketlerle ile toprak gazı ve yeraltı suyu radon konsantrasyonlarındaki değişimleri incelemişlerdir. Bu çalışmada, Doğanbey fay hattı bölgesine sürekli radon ölçüm sistemi kurulmuştur. Toprak gazındaki radon ölçümleri 15 er dakikalık periyotlarla sürekli olarak alınmıştır. Bu çalışmada çalışma süresince meydana gelen sismik hareketlilik öncesinde radon gazı konsantrasyonunun Rayleigh dağılımına uygunluk gösterdiği bulunmuştur (İçhedef, 2011).

Saç ve arkadaşları 2011 yılında, Tuzla fayı civarında toprak gazı radon konsantrasyonlarını iki ayrı yöntemle ölçmüşlerdir. Cumalı' da kurulmuş olan sürekli radon ölçüm sistemiyle sürekli radon ölçümleri ve ayrıca dört farklı istasyonda LR-115 detektörler ile integral radon ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda deprem ile radon gazı konsantrasyonlarının değişimi arasında pozitif yönde bir korelasyon olduğu bulunmuştur (Saç ve diğ, 2011).

İçhedef 2011, yılında Türkiye’de, Ege bölgesinde Tuzla fayı civarında farklı toprak gruplarında radon difüzyon hızının belirlenmesine yönelik olan çalışmada LR-115 detektörü kullanmıştır. LR-115 detektörleri 5 farklı toprak grubuna yerleştirilerek radon konsantrasyonlarını izlenmiş ayrıca topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu çalışmada radon konsantrasyon değişimlerin radyonüklid konsantrasyonlarına bağlı olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda radonun kaynağının ölçüm yapılan topraktaki radyonüklide değil, daha aşağıdaki katmanlarda bulunan kaynaklara bağlı olduğu bulunmuştur (İçhedef, 2011).

Bu doktora tez çalışması GİRİŞ, GENEL BİLGİLER, MATERYAL ve METOD, BULGULAR ve TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER ile KAYNAKLAR DİZİNİ ana başlıklarından oluşmaktadır. GENEL BİLGİLER bölümünde öncelikle deprem ve oluşma özelliklerinden bahsedilmiştir, daha sonra radon, radonun varlığı, radon transferi kavramları açıklanarak radon ölçüm yöntemlerine değinilmiştir. Daha sonra toprakta bulunan doğal radyoaktivitenin özellikleri anlatılmıştır. Genel bilgiler bölümünün sonunda ise toprak, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprakların sınıflandırılma yöntemleri ve sınıfların özelliklerinden bahsedilmiştir.

MATERYAL ve METOD başlığı altında öncelikli olarak çalışılan bölgenin jeolojik yapıları hakkında bilgiler aktarılmıştır. Daha sonra çalışma esnasında uygulanmış olan metotlar anlatılmıştır. Örnekleme istasyonlarının meydana getirilmesi, örnekleme işleri, , toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin analizleri, çalışmada kullanılmış olan radon ölçüm yöntemleri, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonlarının hesaplanma yöntemleri , karasal doz hızlarının hesaplanması detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen veriler BULGULAR ve TARTIŞMA kısmında verilmiştir. BULGULAR ve TARTIŞMA kısmında çalışma sonucunda elde edilen radon ölçüm sonuçları ve doğal radyoaktivite ölçüm sonuçları, toprağın fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları, karasal gama doz hesaplamaları, yapılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Bölgede meydana gelen depremler Kandilli Rasathanesi

rasathanesinden temin edilerek diğ er parametrelerle ilişkilendirilmek amacıyla konulmuştur.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER bölümünde çalışma sonucunda hesaplanan verilerin değerlendirilmesi detaylı yapılmış ve bundan sonra yapılabilecek benzer çalışmalar için bir takım  onerilerde bulunulmuştur.

KAYNAKLAR DİZİNİ bölümünde ise tez çalışmasında kullanılan kaynakların liste halinde sunulmaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Deprem

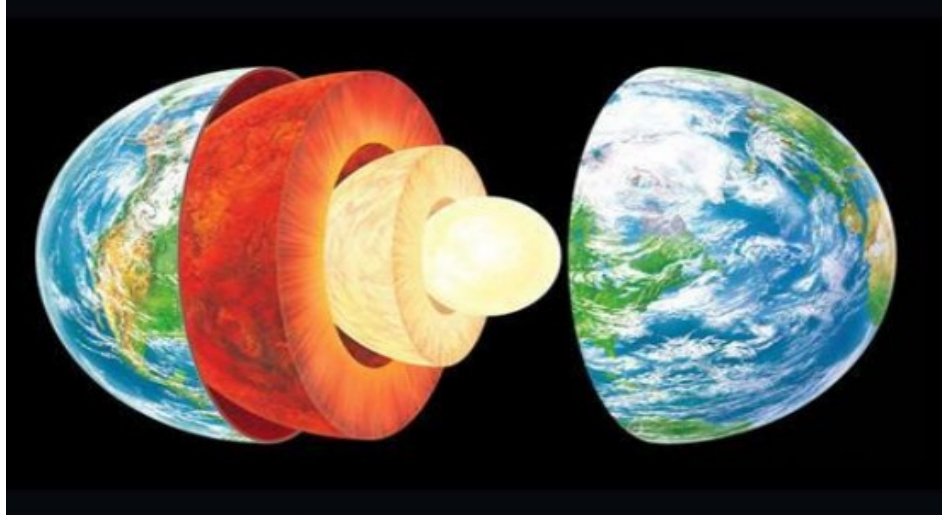
Deprem yer kabuğu içerisinde fay olarak isimlendirilen yer kırıkları üzerinde zamanla biriken enerjinin çok kısa bir zaman diliminde boşalmasından oluşan yer değiştirme hareketinden kaynaklanan oldukça karmaşık elastik bir dalga hareketidir (Tabar, 2010).

Dünyanın en dış kısmında bulunan yer kabuğunun özellikleri kıtalarda ve okyanus tabanlarında farklıdır. Yer kabuğu kıtalarda düşük yoğunluklu ve kalın olmasına karşın okyanus tabanında ise daha yoğun ve ince bir tabakaya sahiptir. Ayrıca yerküreyi meydana getiren yer kabuğu tek bir parça olmayıp levha (plaka) adı verilen birçok küçük parçalardan meydana gelmiştir. Bu plakalar sürekli hareket halindedir. Plakaların bu hareketliliği esnasında sıkışma ve gerilme bölgeleri meydana gelmektedir. Burada meydana gelen sıkışma ve gerilme bölgeleri, kaya kütlelerinin üzerinde deformasyon enerjisi birikmesine neden olmaktadır (Başdan, 2013). Kaya kütlesi üzerinde biriken bu deformasyon enerjisi, kaya kütlelerinin direncini aştığı zaman oldukça kısa bir anda kırılmalar veya daha önce kırılmış bölgeler üzerinde kaymalar meydana gelmektedir (Kazancı, 1996). Kırılma veya kayma esnasında boşalan bu deformasyon enerjisi deprem dalgaları (sismik dalgalar) biçiminde daha uzak bölgelere yayılarak depremi meydana getirmektedir (Kolbaşı, 1997).

2.1.1 Depremlerin Oluşumu

Dünyanın yapısının, üç temel bileşenden (taşküre, manto ve çekirdek) meydana geldiği yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar tarafından belirtilmiştir. Dünyanın en üst kısmında yer kabuğu olarak da isimlendirilen litosfer (taşküre) vardır. Taşkürenin kalınlığı yaklaşık olarak 70 ile 100 km arasında değişmekte olup, kıtaların ve okyanusların üzerinde durduğu kısımdır.

Taşküreden sonra gelen kısım manto (Astenosfer) nun kalınlığı ise yaklaşık 2900 km dir. En iç kısımda ise kalınlığı yaklaşık 3500 km olan çekirdek vardır. Ayrıca manto tabakası manto ve üst manto olarak iki kısma ve çekirdekte iç çekirdek ve dış çekirdek olmak üzere iki kısma ayrılmıştır (Şekil 2.1).

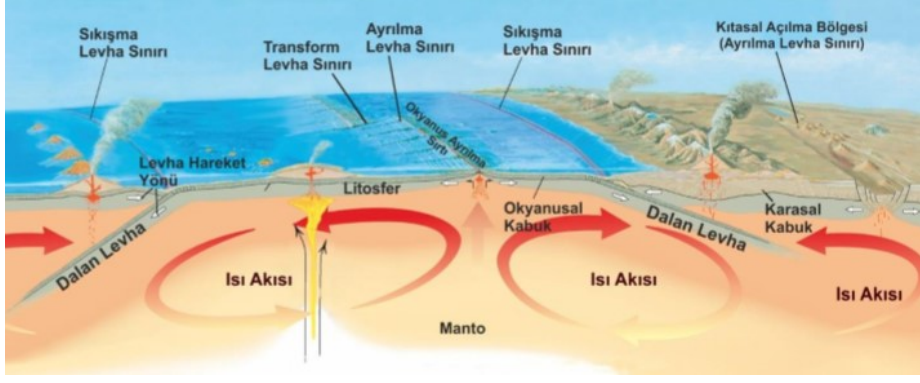


Şekil 2.1 Dünyanın yapısı (Ülküm, 2016)

Taşkürenin hemen altında bulunan üst mantonun yumuşak bir yapısı vardır. En iç tabakadaki çekirdekten taşıma (konveksiyon) yoluyla medya gelen ısı akışı sebebiyle manto içerisinde meydana gelen hareket taşküreye sürtünme kuvveti uygulayarak harekete zorlamaktadır. Bu zorlanma sebebiyle taşküre dayanıksız olduğu bölgelerden kırılmaktadır. Kırılma neticesinde taşküre birçok parçalara ayrılmaktadır. Bu parçalardan yaklaşık 10 kadarı oldukça büyük diğerleri çok fazla sayıda ve küçüktür. Bu parçaların tamamı üst mantonun üzerinde sal gibi yüzmektedir.

Parçalara ayrılmış olan levhalar birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği kadar düşük bir hızla hareket etmektedir. Isı akışı sebebiyle meydana gelen konveksiyon akımlarının yükseldiği bölgelerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Uzaklaşma esnasında yukarı doğru çıkan magma özellikle okyanus ortasında sırtları meydana getirmektedir.

Levhaların birbiriyle çarpışması esnasında, sürtünen levhalardan bir tanesi mantoya batmaktadır (Şekil 2.2). Mantoya batan bu levhalar eriyip yitme zonunu meydana getirmektedir. Dünya’da meydana gelen depremlerin büyük bölümü, levhaların birbiriyle sürtünmesiyle, birbirlerini sıkıştırmasıyla, birbirlerinin üstüne çıkmasıyla veya birbirinin altına girmesiyle meydana gelmektedir.



Şekil 2.2 Deprem oluşumu (USGS)

Levhaların birbirlerine uyguladıkları kuvvet belirli bir değeri aştığında çok kısa bir anda bir hareket meydana gelir. Bu hareket şok niteliğinde olup sarsıntının devamı deprem dalgaları olarak çok uzaklara kadar yayılabilir. Bu deprem dalgaları üzerinden geçtiği her ortamı sarsar. Deprem dalgalarının enerjisi ise deprem merkezinden uzaklaşarak azalır. Bu esnada bazen gözle görülebilen bazen gözle görülmeyen arazi kırıkları (fay) meydana gelir.

2.1.2 Deprem Parametreleri

Depremlerin tanımlanabilmesi ve depreme ait özelliklerin belirlenmesi için depremin özelliklerini gösteren kavramlara deprem parametreleri denilmektedir. Depreme ait genellikle dört parametre üzerinde durulmaktadır. Bunlar Odak noktası, dış merkez, odak derinliği ve deprem odak mekanizmasıdır.

2.1.2.1 Odak Noktası (Hiposantr)

Yer kabuğunun içerisinde deprem enerjisinin meydana geldiği nokta olarak kabul edilmektedir. Aslında Hiposantr, enerjinin meydana geldiği bir nokta olmayıp bir alandır. Uygulamalarda buranın bir alan değil nokta olduğu varsayılır. Odak noktasına aynı zamanda iç merkezde denilmektedir (Tarakçı, 2013).

2.1.2.2 Dış Merkez (Episantr)

Hiposantr (odak noktası) nın yeryüzüne en yakın olan nokta dış merkez (Episantr) olarak tanımlanmaktadır. Episantr depremin en fazla hissedildiği nokta

olup, burası aynı zamanda depremin en fazla hasar meydana getirdiği bölgedir. Episantr aslında bir noktadan daha çok bir alandır. Episentr depremin büyüklüğüne bağlı olarak farklı genişlikte alanlar olabilir. Küçük depremlerde bu alan küçük iken çok büyük depremlerde bu alan yüzlerce kilometre civarında olabilmektedir. Episantr belirli alanlar üzerinde oluştuğu için, episantr alanı veya episantr bölgesi olarak ta tanımlanılabilir.

2.1.2.3 Odak Derinliği

Deprem esnasında meydana gelen enerjinin çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa mesafe, depremin odak derinliği olarak tanımlanabilir. Bu mesafe aynı zamanda Episantr bölgesinin tam ortasıyla, Hiposantr (Odak noktası arasında kalan bölgedir. Tektonik depremlerin sınıflandırılma biçimlerinden bir tanesi de odak derinliklerine göredir. Odak derinliklerine göre depremler 3'e ayrılmaktadır.

Sığ depremler: Yeryüzünden 0 ile 60 km derinliği arasında bulunan depremlerdir.

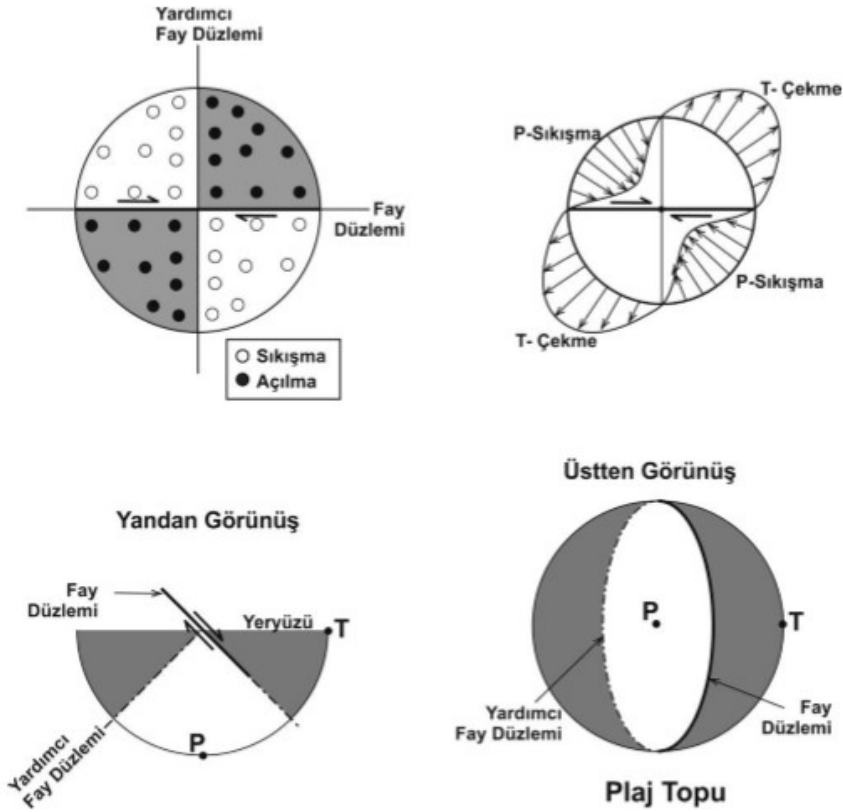
Orta derinlikte depremler: Yeryüzünden 60 ile 300 km arasında olan depremlerdir.

Derin depremler: Yeryüzünden 300 km den daha fazla derinlikte meydana gelen depremlerdir.

Türkiye' de derinlikleri 0 ile 60 km arasında değişen sığ depremler meydana gelmektedir. Derin ve orta derinlikteki depremler genellikle dalmabatma zonlarında meydana gelmektedir. Derin depremlerin meydana getirdiği zararlar fazla olmaz fakat çok geniş alanlarda hissedilmektedir. Buna karşılık sığ depremler ise dar bir alanda hissedilmesine rağmen meydana getirdiği hasar ve yıkım etkisi oldukça fazladır (Tarakçı, 2013).

2.1.3 Deprem Odak Mekanizması

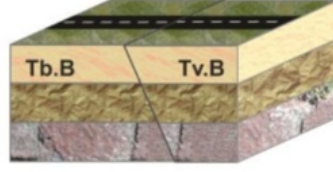
Deprem odak mekanizması, deprem esnasında meydana gelen plakaların hareket yönlerini belirtmektedir. Şekil 2.3 de içi boş olan daireler sıkışmanın (Stress, compression) artış gösterdiği bölgeleri, içleri dolu olan siyah daireler ise açılmanın (dilatation) azaldığı görece gevşek bölgeleri göstermektedir. Plakalarda meydana gelen hareket beyaz olan bölgeden gri olan bölgeye doğru meydana gelmektedir.



Şekil 2.3 Deprem odak mekanizması çözümlemesi (Shearer, 1999)

2.1.4 Fay Çeşitleri

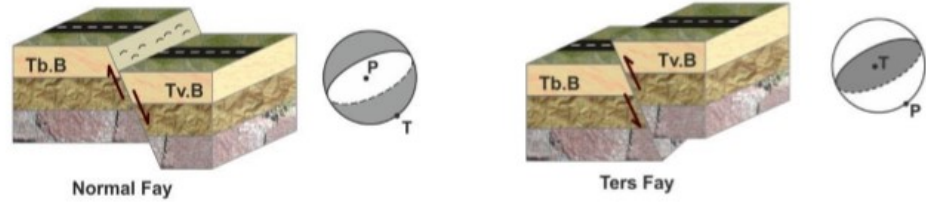
Fay oluşumları esnasında levhaların hareket düzlemleri farklı olmaktadır. Fay çeşitleri levhaların hareket düzlemlerinin doğrultularına göre sınıflandırılmaktadır. Deprem öncesindeki duruma (Şekil 2.4) göre meydana gelme özelliklerine göre, düşey atımlı (normal ve ters), Yatay atımlı (sağ ve sol), Verrev (oblik) atımlı (Sağ oblik fay, sol oblik fay) olarak isimlendirilmektedir (Polat, 2005).



Şekil 2.4 Deprem Öncesi durum (Polat, 2005 dan düzenlenmiştir.)

2.1.4.1 Düşey Atımlı Fay

Levhaların düşey hareketleri neticesinde meydana gelen faya düşey atımlı fay denilmektedir. Çekme kuvvetlerinin etkili olduğu, fay düzleminin eğimli olduğu yöne taban bloğuna göre aşağıya hareket eden faya normal fay denir. Sıkışma kuvvetinin etkisiyle taban bloğunun eğiminin tersi yani yukarı doğru hareket etmesiyle meydana gelen faya ise ters fay denilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Düşey Atımlı Fay (Polat, 2005 dan düzenlenmiştir.)

2.1.4.2 Yanal atımlı fay

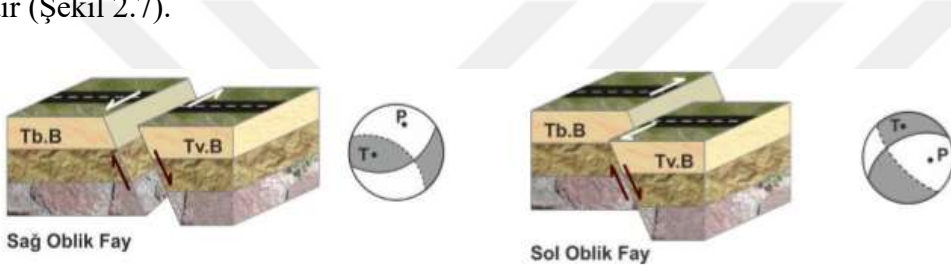
Levhalarından bir tanesi diğerine göre yanal düzlem boyunca hareket etmesiyle yanal atımlı fay meydana gelir. Yanal atımlı faylarda fay düzlemindeki hareket yatay olduğundan tavan ve taban bloğu terimleri kullanılmaz. Yanal atımlı fay sağa ve sola olmak üzere iki ayrı grupta incelenir. Faylardan bir tanesi üzerinde bulunan kişi diğer faya baktığında fay sağa doğru hareket etmişse sağa atımlı yanal fay, eğer sola doğru hareket etmişse sola atımlı düşey fay olarak isimlendirilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Doğrultu Atımlı (Yatay) Fay (Polat, 2005 dan düzenlenmiştir.)

2.1.4.3 Verev (Diyagonal, Eğik, Oblik) fay

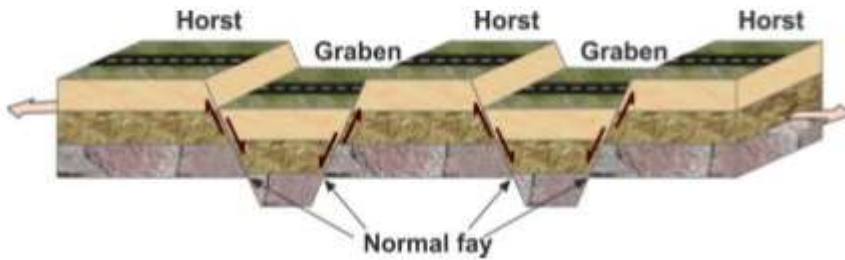
Fay üzerinde meydana gelen hareket hem yatay hem de düşey doğrultuda olduğu duruma verev fay denir. Verev faylarda hem yatay hem de düşey bileşen vardır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Verev (Oblik) Fay (Polat, 2005 dan düzenlenmiştir.)

Bu fay çeşitlerinden başka İki normal levha arasındaki levhanın aşağıya çökmesiyle graben adı verilen tektonik çukur bölgeleri, iki normal levha arasındaki, levhanın yükselmesiyle horst adı verilen tektonik yükselti bölgeleri vardır (Polat, 2005).

Fay hatlarının arasındaki alçakta kalan kısımlar Graben, yüksekte kalan kısımlar ise Horst olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Graben ve Horst Yapıları (Polat, 2005 dan düzenlenmiştir.)

2.1.5 Deprem Türleri

Depremler meydana gelme durumlarına göre, çöküntü, volkanik ve tektonik olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir.

2.1.5.1 Çöküntü Depremleri

Yer kabuğunun yapısında sularla kolay eriyen kaya tuzu ve kalker gibi birtakım mineraller ve kayalar vardır. Bu minerallerin veya kayaların erimesiyle yeraltında büyük boşluklar meydana gelir. Meydana gelen bu boşluğa mağara da denilmektedir. Zaman zaman bu yer altı boşluklarında çökme de meydana gelmektedir. Yer altı boşluklarının bu şekilde çökmesiyle meydana gelen depremlere çöküntü depremleri denilmektedir.

Ayrıca maden işletmesi amacıyla açılan yapay boşluklarda bazen çökmektedir. Buda çöküntü depremler sınıfına girmektedir. Çöküntü depreminden meydana gelen hasarlar çok yerel olup küçük hasarlara neden olmaktadır. Çöküntü depremlere, Dünyada şu ana kadar meydana gelen depremlerin yalnızca %6 sı kadardır (Şimşek, 1999).

2.1.5.2 Volkanik depremler:

Taşkürenin altında bulunan üst mantodaki magmanın erime neticesinde yeryüzüne doğru belirli bir basınçla çıkmasıyla volkan adı da verilen yanardağlar meydana gelmiştir. Volkanlar patlama esnasında çok şiddetli bir basınç uygularlar. Bu basınç sebebiyle yer kabuğun sarsılmasıyla meydana gelen depremlere volkanik depremler denilmektedir.

Volkanik depremlerin yayılması ve yaptığı hasar çöküntü depremlerine göre bira daha fazladır. Dünyada meydana gelen depremlerin % 14 i volkanik depremlerdir (Şahin, 2009).

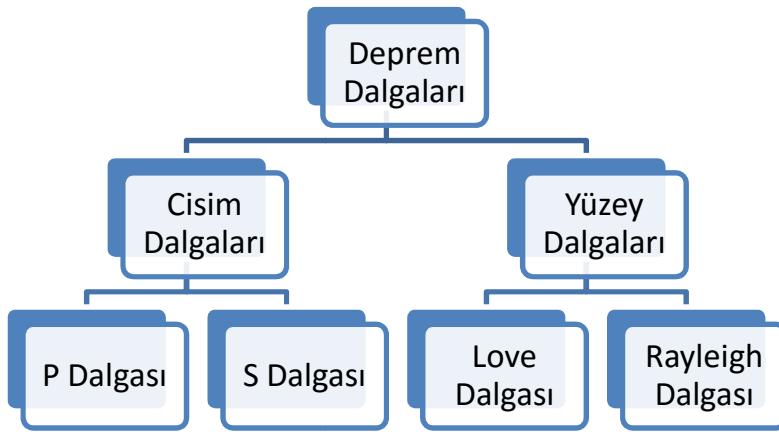
2.1.5.3 Tektonik Depremler

Fayların ilk kez meydana gelmesi esnasında veya meydana gelmiş faylar boyunca levhaların hareketlerinden kaynaklanan depremlere tektonik depremler denir. Dünyada meydana gelen depremlerin % 80 i tektonik depremdir. Tektonik depremler hiposantrdan başlayarak yeryüzüne kadar ve yeryüzünde dalgalar halinde yayılır.

Tektonik depremlerde meydana gelen dalganın enerjisi oldukça büyük olabilir. Fayın yapısına bağlı olarak fayda çökme kırılma, yükselme ve yanıl kaymalar olabilir. Tektonik depremler üç kısma ayrılır. Odak noktası derin olmayan depremlerin, odak noktası 0 ile 60 km arasındadır. Odak noktası orta derinlikte olanların 60 km ile 300 km arasındadır. Odak noktası derin olanların ise odak noktaları 300 km den fazladır.

2.1.6 Deprem Dalgaları

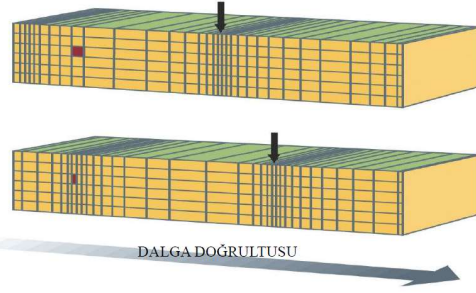
Deprem sonucunda ortaya çıkan enerjinin bir noktadan diğer bir noktaya doğru hareketine deprem dalgası denir. Deprem dalgaları, tıpkı su dalgaları ve ses dalgaları gibi mekanik dalgalardır. Deprem dalgaları cisim ve yüzey dalgaları olmak üzere iki kısımdır (Başdan, 2013).



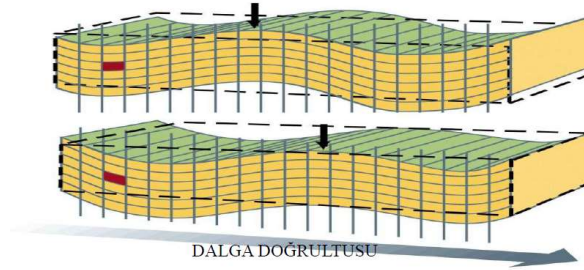
Şekil 2.9 Deprem Dalga Çeşitleri

Cisim dalgaları

Cisim dalgaları P ve S dalgaları olmak üzere iki kısımdır. P dalgaları (Şekil 2.10) titreşim doğrultusu ile yayılma doğrultusu birbirine paralel olan enine dalgalardır. P dalgaları çok hızlı olduklarından deprem kayıt aletlerine ilk ulaşan dalgalardır. S dalgaları ise yayılma doğrultusu titreşim doğrultusuna dik (Şekil 2.11) olan dalgalardır. S dalgaları P dalgalarına göre daha yavaş hareket eder. S dalgaları sıvı içerisinde yayılamaz.



Şekil 2.10 P Dalgası (Kılıçarslan, 2015)



Şekil 2.11 S Dalgası (Kılıçarslan, 2015)

Yüzey dalgaları

Yüzey dalgaları, love dalgaları (Şekil 2.12) ve Rayleigh dalgaları (Şekil 2.13) olmak üzere iki kısma ayrılır. Love dalgalarının hızı daha büyük iken Rayleigh dalgalarının hızı daha düşük fakat genlikleri oldukça büyüktür. Yüzey dalgaları cisim dalgalarına göre daha yavaş hareket ederler fakat yıkım etkileri daha fazladır (Başdan, 2013).



Şekil 2.12 Love Dalgaları (Kılıçarslan, 2015)

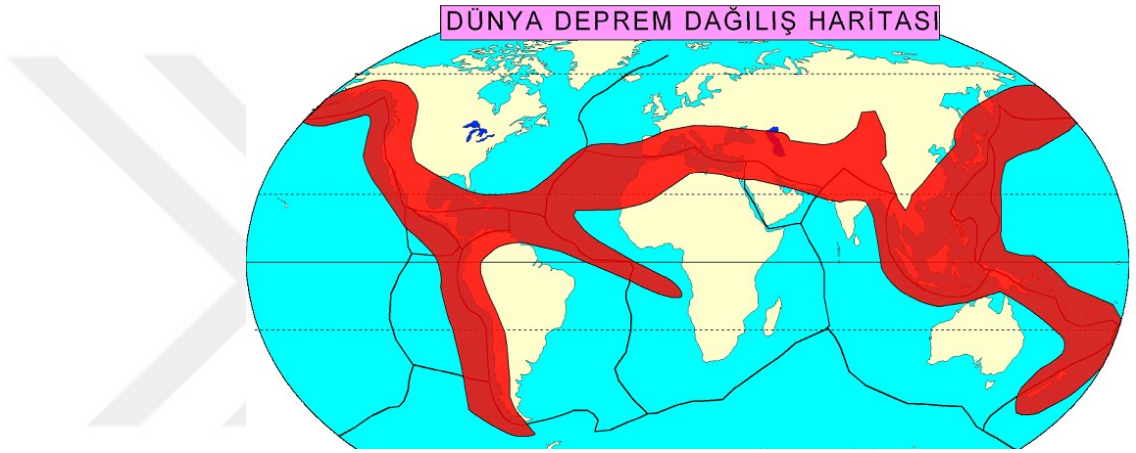


Şekil 2.13 Rayleigh Dalgaları (Kılıçarslan, 2015)

2.1.7 Dünya' da ve Türkiye' de Deprem

Deprem dünyanın herhangi bir yerinde herhangi bir zamanında meydana gelebilir. Dünyadaki depremler şiddetleri ve etkileri dikkate alındığında iki ana deprem kuşağı var olduğu görülmektedir. Bunlardan bir tanesi pasifik deprem kuşağı diğeri ise Alp - Himalaya deprem kuşağıdır (Şekil 2.14).

Pasifik deprem kuşağı Büyük okyanusu çevreleyen, Japonya'yı da içine alan deprem kuşağıdır.



Şekil 2.14 Dünya Deprem Kuşakları (aygünhoca.com/coğrafi-haritalar)

Alp – Himalaya deprem kuşağı ise Cebelitarık'tan başlayarak Türkiye'yi de içerisine alan Endonezya'ya kadar uzanır. Tüm Dünyada meydana gelen depremlerin yaklaşık %81 i Pasifik deprem kuşağında, %17 si ise Alp – Himalaya deprem kuşağındadır (Aydın, 1974).

Alp-Himalaya deprem kuşağında üzerinde bulunan Türkiye'deki depremler, Afrika ve Arabistan levhalarının kuzeye ve kuzeydoğuya hareket etmelerinden kaynaklanmaktadır.

Günümüzde halen devam etmekte olan Kızıldeniz'in deniz tabanı yayılması nedeniyle Arabistan levhası kuzeye doğru harekete zorlanmaktadır. Bu zorlanmanın sonucunda Arabistan levhası Avrasya levhasının altına doğru dalmaktadır.

Buradaki zorlanmalar sonucunda Arabistan levhası ile Avrasya levhası arasında kalan Doğu Anadolu bölgesi de çok fazla sıkışma etkisi meydana gelmektedir. Kuzey Anadolu fay hattını ve Doğu Anadolu fay hattını harekete geçiren bu sıkışmadır (Şekil 2.15). Buradaki hareket milyonlarca yıldır ve günümüzde de devam etmektedir (Atabey, 2000).



Şekil 2.15 Türkiye'nin Neotektonik Unsurları (Okay ve Diğ., 1999)

2.1.7.1. Kuzey Anadolu Fay Hattı

Kuzey Anadolu fay hattı oluşturduğu deprem açısından dünyada doğrultu atımlı faylardan bir tanesi olarak değerlendirilmektedir (Şengör, 1980; Şengör ve diğ., 1985, Dewey, 1976.).

Kuzey Anadolu Fay Hattı yaklaşık 1500 km uzunluğunda olup sağa atımlı bir faydır. Yunanistan'dan, Erzincan'a kadar uzanarak bir yay çizer (Gökçe ve diğ., 2014).

Kuzey Anadolu fay zone Saroz Körfezi'nden başlayarak, sırasıyla Şarköy'ün kuzeyinden geçerek Gaziköy' de Marmara denizine gelir. Marmara denizini, Bursa-Bandırma doğrultusuna paralel olarak geçtikten sonra sırasıyla İzmit körfezi, Adapazarı güneyi, Düzce'nin güneyi, Bolu'nun güneyi, Kastamonu'nun güneyi, Taşova, Niksar, Reşadiye, Koyulhisar, Suşehri'nden geçerek Erzincan' a kadar uzanır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Kuzey Anadolu Fay Hattı (MTA)

2.1.8 Yerkabuğu Hareketlerinde Tahmin Parametreleri

Sismotektonik bölgelerde yapılan çalışmalarda toprakta ve yer altı sularının içerisinde bulunan Rn, He, CO₂, CH₄, Ar, H₂, O₂, N₂, Na, Cl, Hg, Rb gibi gazların konsantrasyonunun da depremden önce, deprem esnasında ve depremden sonra değişiklikler olduğu belirlenmiştir (Tabar, 2010).

Deprem meydana gelmeden önce belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda hem asal gaz hem de Uranyum bozunum serisinden gelmesinden dolayı radon gazı en kullanışlı ve üzerinde en çok çalışılan gazdır (Dubinchuk, 1993). Radon Gazı atmosfere doğru göç ederken soy gaz olduğu için herhangi bir kimyasal bileşik oluşturmamaktadır. Ayrıca radon gazı suda çözünerek yer altı sularına geçip taşınabilir. Topraktaki radon konsantrasyonu ise radon üretimi, sismik hareketler ve çevredeki atmosferik olaylara bağlı olarak değişmektedir. Topraktaki sismik hareketlere bağlı olarak meydana gelen radon gazı düzensizlikleri (anomalileri), radon gazı için deprem izleyicisi olarak kullanılmasına sebep teşkil etmiştir (İçhedef, 2011).

2.2 Radon

1900 yılında F. E. Dorn tarafından bulunan, radon gazı 86 atom numarasına sahip renksiz, kokusuz, tatsız, soy gaz ailesine mensup radyoaktif bir gazdır. Hidrojenden yaklaşık 100 kat, havadan da yaklaşık 7,5 kat ağır bir gaz olup 0° C da yoğunluğu 9,73 g/l dir (Başdan, 2013). Oda sıcaklığında gaz halinde olup donma noktası -71 ° C ve kaynama noktası ise -61,8 ° C dır (Güler ve Çobanoğlu, 1997)(Çizelge 2.1). Diğer soy gazlarla karşılaştırıldığında ise erime noktası ve kaynama noktasının en yüksek olduğu söylenebilir. Soğuk suda çözünebilen radon gazının çözünürlüğü sıcaklık azaldıkça artmaktadır (Cothorn and Smith, 1997).

Çizelge 2.1: Radon ve özellikleri

Sembol	Rn
Atom Numarası	86
Atomik Yığın	(222.0)amu
Erime Noktası	-71,0 ° C (202,15 ° C)
Kaynama Noktası	-61,8 ° C (211,35 ° C)
Proton ve elektron sayısı	86
Nötron sayısı	136
Sınıfı	Soygazlar
Kristal yapısı	Kübik
Yoğunluk	9,73 g/l
Yarılanma süresi	3,8 gün

Radonun kütle numarası 193 ile 128 arasında değişen 36 tane radyoaktif izotopu vardır. Doğada radon gazına ait kararlı herhangi bir izotopa rastlanmamıştır. Fakat bu izotoplardan üç tanesi doğal radyoaktif bozunum serileri içerisinde yer almaktadır(Tabar, 2010). Bu üç izotopun kütle numaraları, 222, 220 ve 219 dur. ²²²Rn (Radon), ²²⁰Rn (Toron), ²¹⁹Rn (Aktinon) (Çizelge 2.2). radyoaktif bozunma serilerinin ürünleri olmasından dolayı sürekli olarak karasal

katmanlardan üretilmektedir(Saç, 1994). Dolayısıyla bu üç izotop birçok çalışmaya konu olmuştur.

^{219}Rn un yerkabuğunda bolluğu oldukça az(yaklaşık % 0,07) ve ^{220}Rn nin ise yarı ömrünün çok kısa (55,5 s) dır. ^{222}Rn hem doğadaki bolluğu fazla, hem de yarı ömrü (3,82 gün) olması sebebiyle literatürde radon olarak isimlendirilmektedir (Shafi-ur-Rehman et al., 2006; Talha et al., 2010).

Aktinon (Rn-219)

Aktinonun seribaşı elementi U-235 olup doğadaki bolluğu %0,7 dir. Yarıömrü 3,98 saniye olduğu için doğal çevrede bulunma ihtimali oldukça azdır.

Toron (Rn-220)

Yarıömrü Aktinona göre daha uzun olup yaklaşık 55 saniyedir. Dolayısıyla toprak gazında bir yoğunluk meydana getirebilir.

Radon (Rn-222)

U-238 radyoaktif bozunma serisinde Ra-226 nın radyoaktif bozunması neticesinde meydana gelen bir soy gazdır. Yarı ömrü 3,82 gün olup doğada bol olarak bulunduğundan toprak gazında ve atmosferde yoğunluğu fazladır.

Çizelge 2.2 Radon izotopları ve radyoaktif özellikleri (Güloğlu,2007; Başdan,2013)

Seri	Ana Element	Ürün Element	Adı	Yarı Ömrü	Radyasyon cinsi ve enerjisi
^{238}U	^{226}Ra	^{222}Rn	Radon	3,82 gün	α :5,49 MeV(%100) γ :0,51 MeV(%0,07)
^{232}Th	^{224}Ra	^{220}Rn	Toron	54,5 saniye	α :6,29 MeV(%100) γ :0,55 MeV(%0,07)
^{235}U	^{223}Ra	^{219}Rn	Aktinon	3,98 saniye	α :6,82 MeV(%81) 6,55 MeV(%11) 6,42 MeV(%8) γ :0,272 MeV(%9) 0,401 MeV(%5)

2.2.1. Radyoaktif Bozunum Serileri

Doğada oluşmuş ağır radyoaktif çekirdekler , dört ayrı radyoaktif seri altında toplanır. Bu serilerin çekirdeklerindeki kütle numaraları

$$\text{Toryum Serisi} \rightarrow 4n$$

$$\text{Neptinyum Serisi} \rightarrow 4n + 1$$

$$\text{Uranyum Serisi} \rightarrow 4n + 2$$

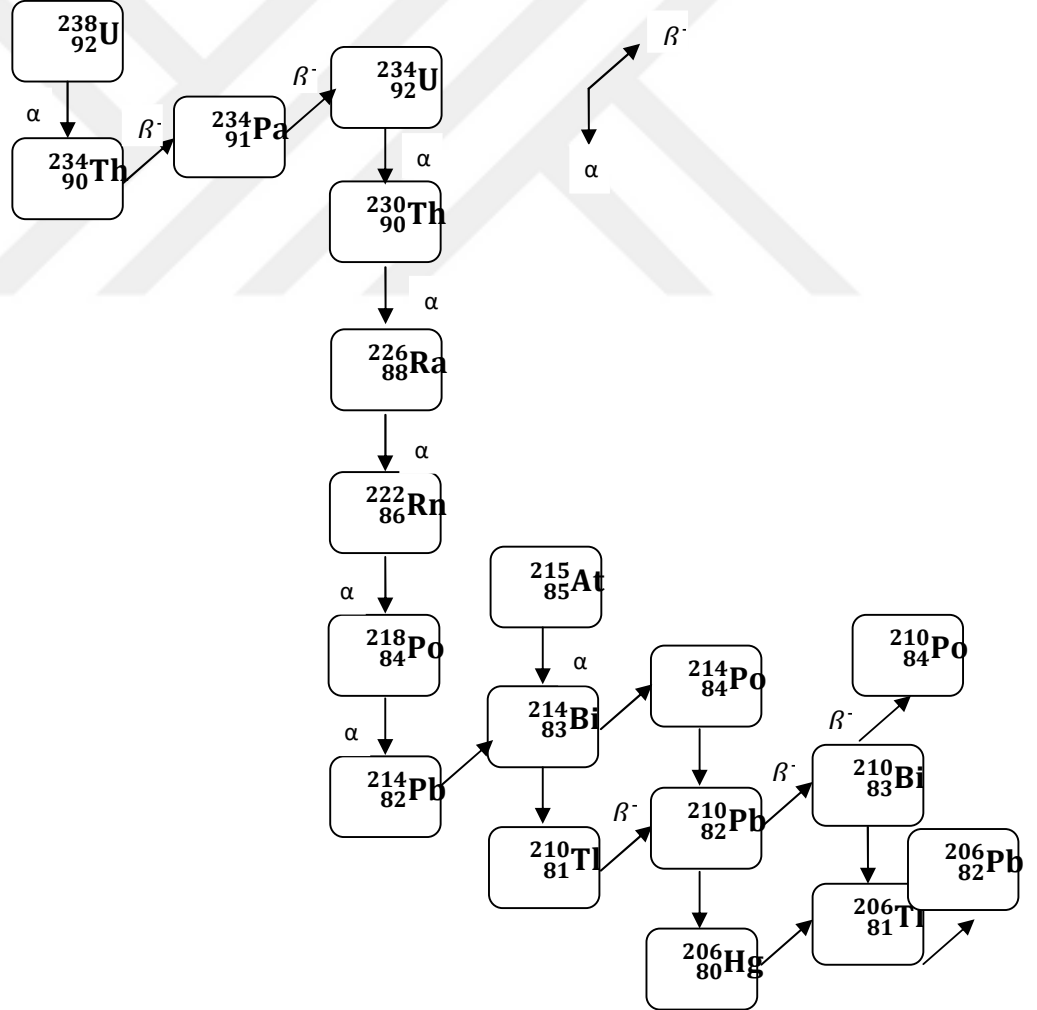
$$\text{Aktinyum Serisi} \rightarrow 4n + 3$$

ifadeleriyle verilmektedir.

Buradaki n , kütleinin içerisindeki bölünebilen en büyük tam sayıdır. Bu serilerden Toryum, Uranyum ve Aktinyum doğada bulunmakta olup karasal kökenli radyasyonun temelini meydana getirmektedir. Neptünyum ise yarı ömrü çok fazla olduğunda doğada bulunmamaktadır.

Uranyum Serisi

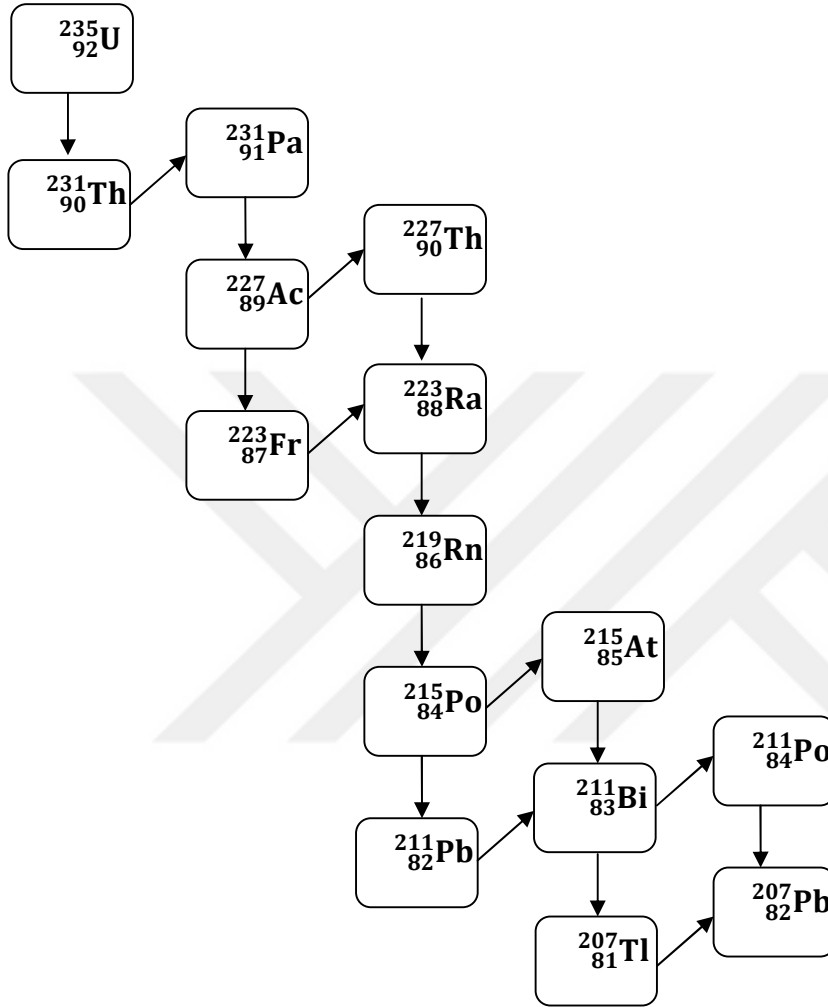
Uranyum serisinin ilk elementi $^{238}_{92}\text{U}$ olup doğada %99,27 bollukta bulunmaktadır. Uranyum serisindeki çekirdekler genellikle alfa ve beta parçacıkları yayarak (Şekil 2.17) bozunmaktadırlar (Baykara, 2005).



Şekil 2.17 ^{238}U Serisi (Başdan, 2013)

Aktinyum Serisi

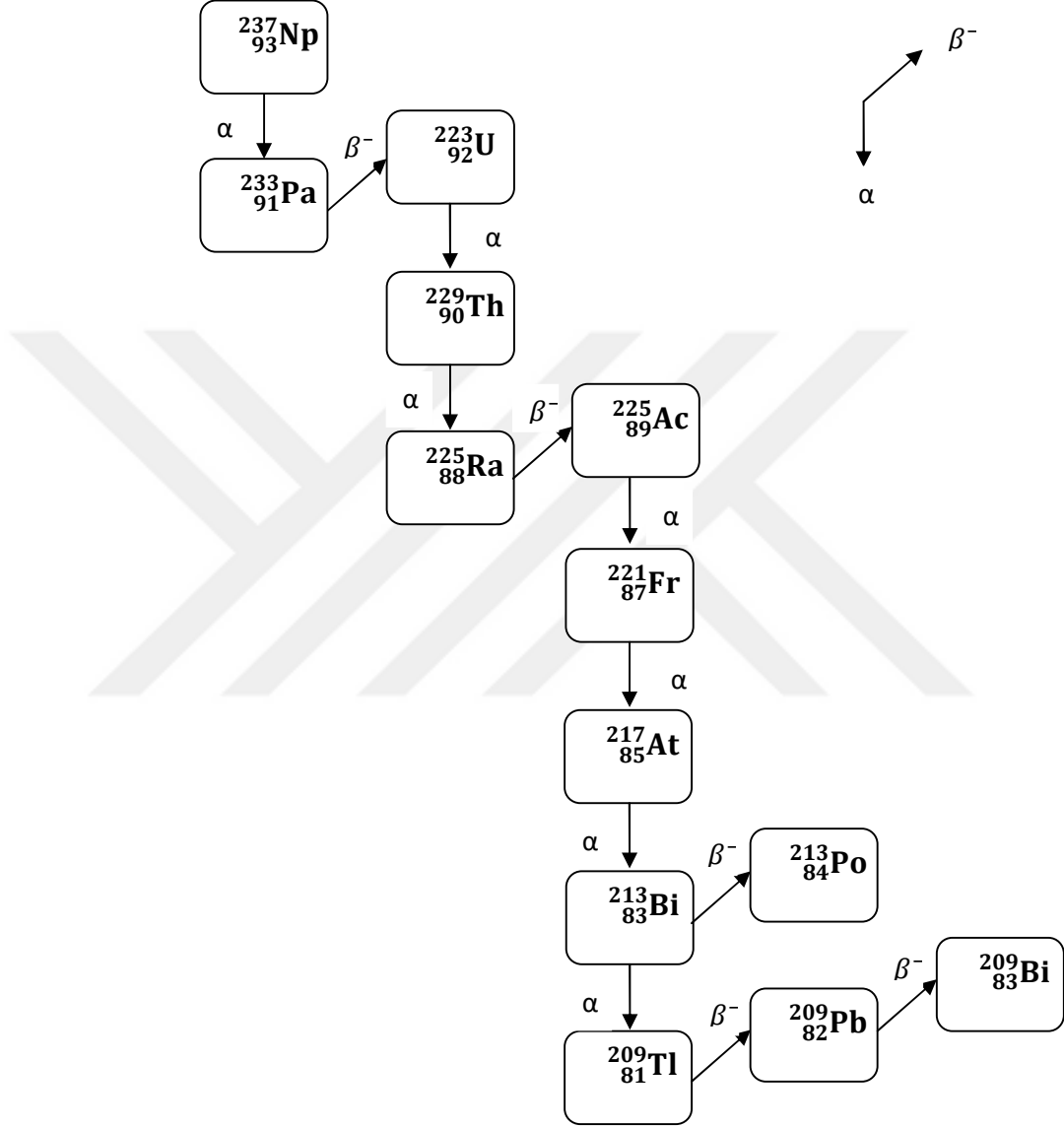
Aktinyum serisinin ana çekirdeği $^{235}_{92}\text{U}$ dur. Aktinyum serisinin doğada bulunma oranı %0,72 olup son elementi $^{207}_{82}\text{Pb}$ dir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 ^{235}U Aktinyum Serisi (Başdan, 2013)

Neptinyum Serisi

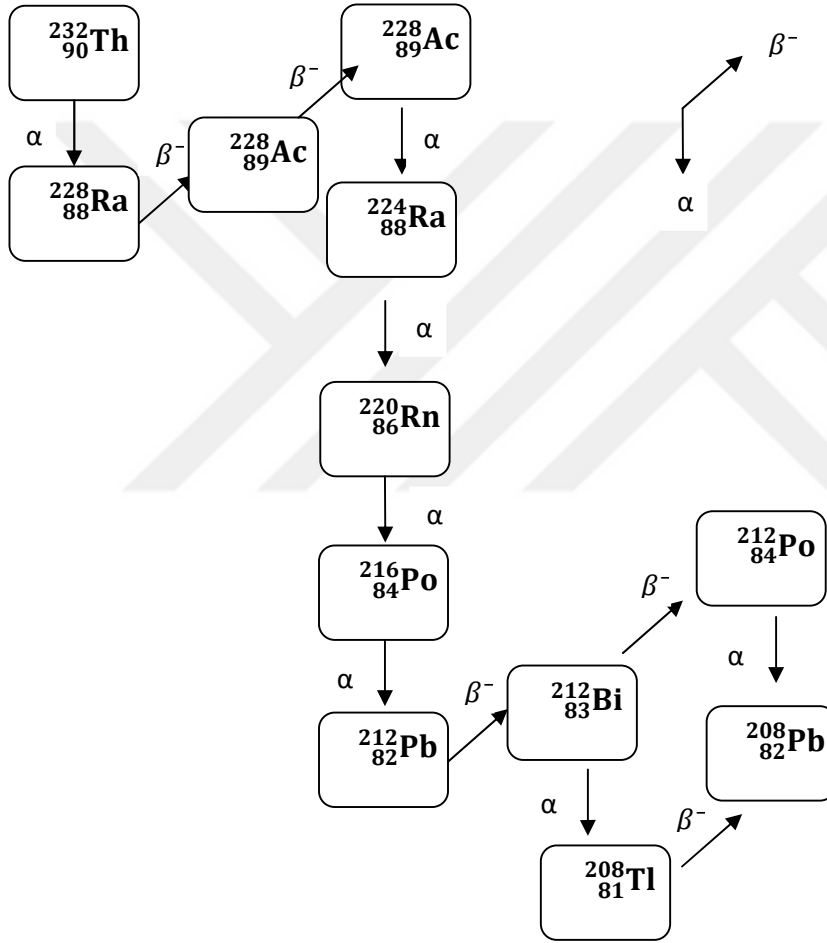
^{237}Np ile başlayan Neptinyum serisi $4n+1$ ile temsil edilmektedir. Neptinyumun yarı ömrü dünyanın yaşından daha fazla olduğundan doğada bulunmamaktadır (Şekil 2.19) .



Şekil 2.19 Neptinyum ^{237}Np Serisi (Başdan, 2013)

Toryum Serisi

Toryum serisi ^{232}Th ile başlamakta olup seri 4n olarak temsil edilmektedir. Serinin son elementi kararlı olan ^{208}Pb dir. Toryum serisi genellikle düşük alfa yayınlarken, alfa parçacığının yanında düşük seviyede gama ışını da yayınlamaktadır (Şekil 2.20).



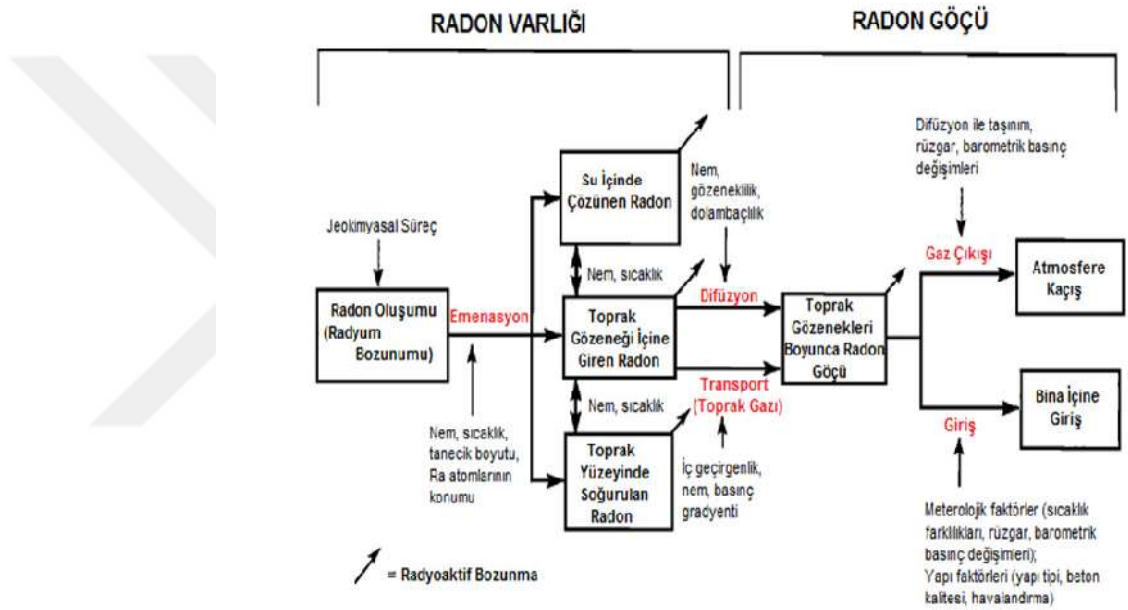
Şekil 2.20 Toryum ^{232}Th serisi

2.2.2 Radonun Yerkabuğundaki Hareketleri

Yeryüzünde bulunan radonun kaynağının önemli bölümü topraktan ve yeraltındaki kayalardan meydana gelmektedir. Radonun meydana gelişi, oluşan radonun atmosfere göçü veya bina içine transfer olmasında iki grupta toplanabilen basamaklarda incelenebilir (Nazaroroff, 1992).

Bunlar,

- 1- Radon varlığı
- 2- Radon göçü (Şekil 2.21)



Şekil 2.21 Radon varlığı ve Radon Göçü (Tabar, 2010)

Radon Varlığı

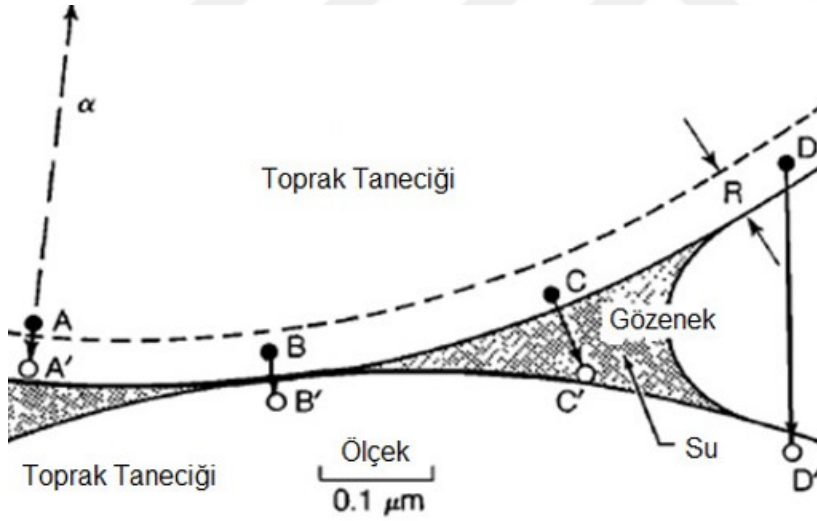
Radon varlığı, radon konsantrasyonlarını etkileyen mekanizmaları tanımlamaktadır. Radon varlığındaki etkenler, radon kaynağının potansiyelini belirlemektedir. Radon varlığını etkileyen faktörler, Emanasyon gücü, direk geritepme kesri, dolaylı geri tepme kesri, difüzyon kesri olarak belirlenebilmektedir.

Emanasyon Gücü

Radon, yerkabuğunun alt katmanlarda bulunan radyoaktif olan radyumun bozunması neticesinde meydana gelir. Radonun, yarı ömrü oldukça kısa olup, bu süreçte alt katmanlardan yer yüzeyine ve atmosfere doğru göç etmektedir. Radon bir soy gaz olduğu için bu göç, topraktaki gözenekler arasında transport ve difüzyonla ilerleyerek meydana gelir.

Toprak içerisinde meydana gelen radonun tamamı topraklar arasındaki boşluğa geçemez. Toprak içerisinde meydana gelen radonun belirli kısmı taneciğin içerisinde ayrılabilir olarak toprak arasındaki boşluğa geçebilir. Toprak taneciğini terk edip aralarındaki gözeneklere giren radon atomlarının kesrine emanasyon katsayısı veya emanasyon gücü denir (Tanner, 1980).

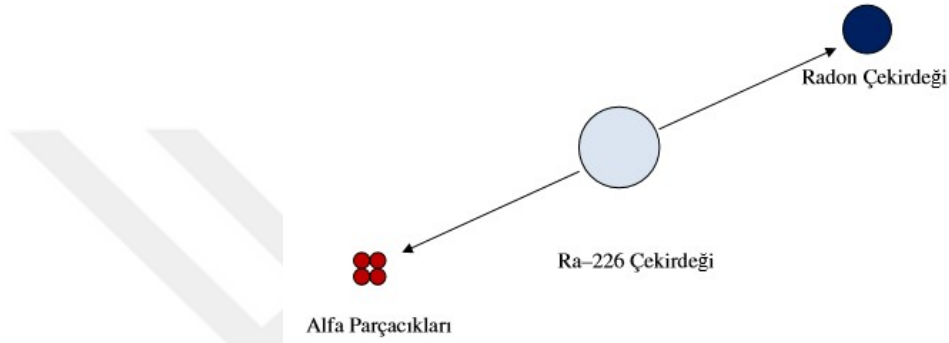
Emanasyon katsayısı üç ayrı bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenler, direkt geri tepme, dolaylı geri tepme ve difüzyon kesridir (Tabar, 2010). (Şekil 2. 22)



Şekil 2.22 Emanasyon Katsayısı Bileşenleri (İçhedef, 2011)

Direk Geri Tepme Kesri

Radyum çekirdeğinin doğal izotoplarından herhangi biri bir alfa parçacığı salarak bozulduğunda radon çekirdeği meydana gelmiş olur. Bozunma esnasında açığa çıkan enerjinin büyük bölümü alfa parçacığı tarafından taşınırken bir kısmı da radon tarafından taşınır. Radon tarafından taşınan bu kısma geri tepme enerjisi denilmektedir. Şekil 2.23 de bu geri tepme olayı gösterilmektedir (Tanner, 1980).



Şekil 2.23 Direk Geri Tepme (Tabar, 2010)

Bazı mineraller için bozunmanın meydana geldiği mineral ile geri tepen radon çekirdeğinin uzaklaşabileceği en fazla mesafe 20 ile 70 nm arasında değişmektedir. Eğer taneciğin sınırlarına doğru radon çekirdeği yönelmişse gözenek hacminin içerine girme ihtimali oldukça yüksektir. Gözeneğe giren bu radon çekirdeği emanasyon gücünün direk geri tepme kesrini meydana getirir. Radon gazının havadaki geri tepme mesafeleri,

^{222}Rn için 63 mikrometre

^{220}Rn için 83 mikrometre

^{219}Rn için 92 mikrometre dir.

Dolaylı Geri Tepme Kesri

Radyumun bozunmasıyla meydana gelen radonun enerjisi komşu iki taneciğin arasındaki mesafeyi geçerek diğer taneciğin içerisine girebilir. Bu giriş esnasında katı maddenin yüzeyini eriterek orada bir cep oluşturur. Bu cebin uzunluğu , geri tepme uzaklığı ile karşılaştırılabilir bir mesafedir. Burada eriyen cep daha soğumadan geri tepen radon gazı cepten tekrar dışarı çıkabilir. Bu olaya dolaylı geri tepme kesri denilmekte olup emanasyon gücüne bir katkısı vardır (Cothorn and Smith, 1987). Meydana gelen bu cebin derinliği ve genişliği madde içerisinde kaybedilen enerjiye bağlı olarak değişmektedir. Bu cebin çapı yaklaşık olarak 1 nm iken uzunluğu ise yaklaşık 10 nm dir (Tanner, 1980).

Difüzyon Kesri

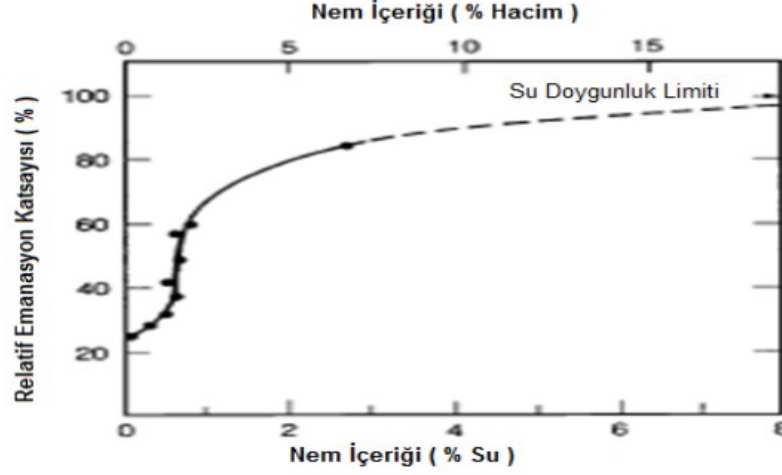
Geri tepme yoluna sadece bir tanecikle başlayıp, noktalayan radon atomları difüzyon kesrini meydana getirmektedir. Meydana gelen radon atomları oluşan gözeneklerde moleküler difüzyon ile göç ederek mesafe almaktadır.

Emanasyon gücünü etkileyen faktörler

Emanasyon gücünü etkileyen üç faktör vardır. Bunlar

- 1- Nem
- 2- Sıcaklık
- 3- Tanecik boyutu ve şekli

Materyaldeki nemim, topraktan ve uranyumdan salınan radon miktarı üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Kuru kaynaktaki emanasyon katsayısının oldukça düşük olduğu gözlemlenirken nemli kaynaklardaki emanasyon katsayısının çok fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 Nem İçeriğine Bağlı Emanasyon Katsayısı (Tabar, 2010)

Kuru materyaldeki geri tepme uzaklığı, nemli materyaldeki geri tepme uzaklığından fazla olması sebebiyle emanasyon kesri, nemli materyalde daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi kısmi olarak suya doymuş olan materyalden gözenegün içerisinde kaçma olasılığının fazla olmasıdır (Nazaroff, 1992).

Emanasyon kesrine etkileyen faktörlerden diğeri ise sıcaklıktır. Sıcaklık faktörünün emanasyon gücüne etkisi oldukça sınırlıdır. Sıcaklık arttıkça radon emanasyon kesrinde artış meydana gelmektedir (Straden et al., 1984). Straden'in çalışmaları göz önüne alındığında sıcaklığın artmasıyla radon emanasyon kesrinin artması, radonun materyaldeki fiziksel soğurulmanın azalması sebebiyle olabileceği olarak açıklanmıştır (Nazaroff, 1992).

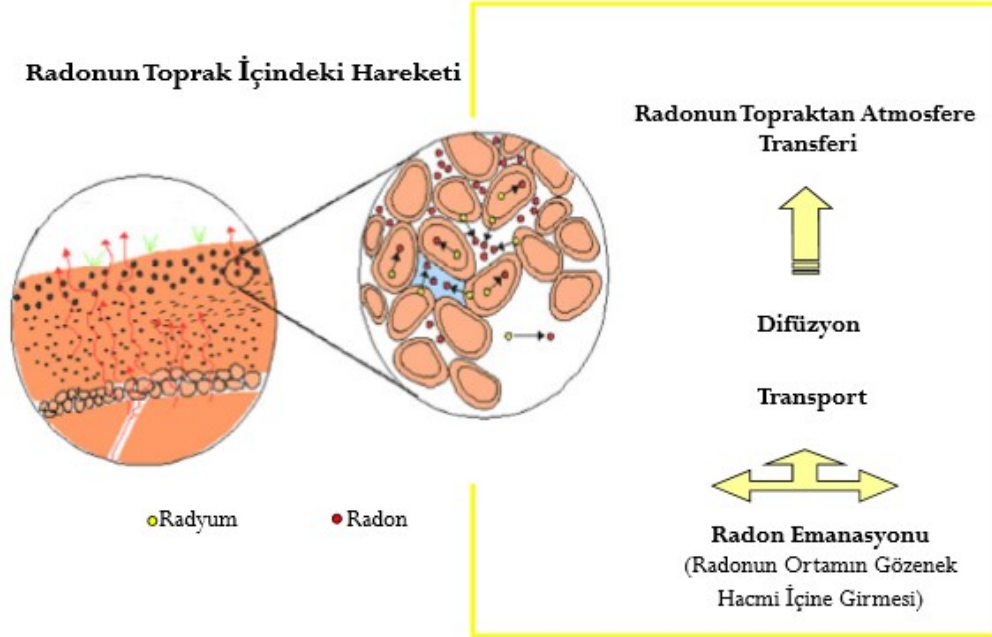
Radon emanasyon katsayısını etkileyen bir diğerk faktör ise, taneciğün boyutları ve şekilleridir. Tanecik boyutu ve şekli, radyum içeriğinin , yeni meydana gelen radon atomlarının gözenekler içerisinde girebileceği miktarı belirlemede etkilidir. Yüzey alanın hacme oranı daha fazla olan materyalden radonun gözeneklere kaçma olasılığı daha fazla olduğundan bu oran fazla olan materyallerdeki radon emanasyon kesri daha yüksektir. Yüzey alanın, hacme oranı daha fazla olan materyaller, mümkün olduğu kadar küçük olan tanecikler veya düz şekle sahip olan taneciklerdir.

Radon Göçü

Radon göçü, radonun atmosfere olan transferi olarak tanımlanmaktadır. Atmosferden sonra bina geçişinde radon göçünün etkisi vardır. Radonun atmosfere doğru olan göçünü etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlardan birincisi radonun bozunma hızı olmakla beraber diğerleri gözeneklerdin içerisinde bulunan akışkanlar, bir diğeri ise açık hava basıncıdır. Gözeneklerin içerisindeki akışkanlar hava, su ve diğer gazlar olarak belirlenebilir (Tanner, 1980). Toprak taneciğinden gözeneklerin içerisine giren radon izotopunun atmosfere doğru olan göçünü etkileyen iki ayrı mekanizma vardır. Bu mekanizmalar;

- 1- Moleküler difüzyon
- 2- Transport (Konveksiyon)(Şekil 2.25)

Oluşan radonun göçünü etkileyen jeolojik yapılardan birincisi, yeraltı su akışı diğeri ise meteorolojik faktörlerdir (Somogyi et al., 1986,)



Şekil 2.25 Radon Göçü (Taşköprü,2014)

Fick yasası olarak da bilen radon difüzyon kuramının z yönündeki difüzyon denklemi,

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial z}$$

Olarak verilmektedir (Savovic et al.,2011).

Burada,

J: Akı yoğunluğu

D: ortamın radon difüzyon katsayısı (m^2/s)

$\frac{\partial C}{\partial z}$: ifadesi ise, konsantrasyon gradyenti (Bq/m^3) dir.

Gözenekli ortamdaki radon üretimi ihmal edildiğinde difüzyon denklemi aşağıdaki biçime dönüşmüş olur.

$$\frac{\partial C(z, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(z, t)}{\partial z^2} - \lambda C(z, t)$$

Bu denklemde,

λ = radonun bozunma sabiti olup değeri $2,1 \cdot 10^6 s^{-1}$ (Savovic et al.,2011).

Gözenekler içerisinde radon üretimi olduğunda radon üretim hızı olan S ($Bq m^{-3} h^{-1}$ veya $Bq m^{-3} s^{-1}$) ile ifade edilerek denklemin sonuna ilave edilmektedir.

$$\frac{\partial C(z, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(z, t)}{\partial z^2} - \lambda C(z, t) + S(\phi)$$

Radon üretim hızı olan S(ϕ) ifadesi

$$S(\phi) = \frac{f \lambda \rho C_{Ra}}{\varepsilon}$$

olarak verilmektedir (Cosmo, 2001).

Burada,

f: emanasyon katsayısı

ρ : Hacimsel yoğunluk (kg m^{-3})

C_{Ra} : Radium konsantrasyonu (Bq kg^{-1})

ε : Porozitedir.

Yukarıdaki ifadeler kullanıldığında,

Radon difüzyon uzaklığı;

$$L = \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$$

ifadesiyle bulunur.

2.2.3. Radon Ölçüm Teknikleri

Radon gazı ile deprem arasında ilişkinin incelenmesi son yıllarda çoğalmasından dolayı radon ölçüm teknikleri de gelişmektedir. radon ölçümleri radonun çeşitli izotoplarının 5,5 MeV ile 7,7 MeV arasında değişmekte olan yaydıkları alfa parçacıklarının deteksiyonuna dayanmaktadır (İçhedef, 2011).

Radon ölçüm yöntemlerini genellikle üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar anlık, integral ve sürekli ölçüm yöntemleridir. Radon ölçümlerinin kısa süreli olma durumunda daha basit ölçüm cihazları kullanılmakta olup uzun süreli radon ölçümlerinde ise daha kompleks ölçüm sistemleri kullanılmaktadır (Papastefanou, 2007).

2.2.3.1. Anlık Radon ölçüm yöntemleri

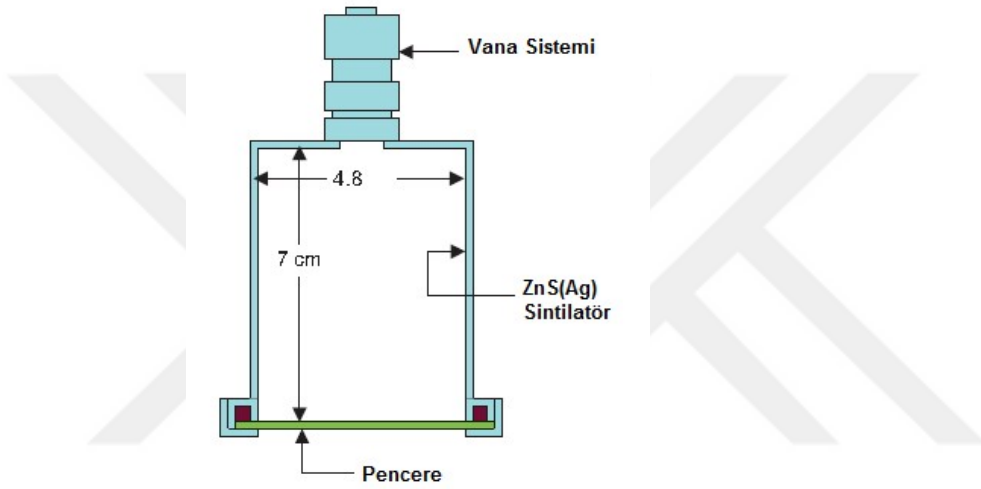
Anlık radon gazı ölçüm yönteminde radonun ve bozunum ürünlerinin çok kısa bir sürede belirlenmesi temel prensibine dayanır. Anlık radon ölçümünde Lucas Hücreli kullanılarak yapılmaktadır. Lucas hücresinin kullanıldığı metod anlık ölçümler için kullanılan en eski metottur.

Ayrıca MARKUS 10 olarak isimlendirilen taşınabilir bir cihazla da ölçüm yapılmaktadır.

Lucas Hücresi ile Radon Ölçümleri: Lucas hücresi metodu, 1950 lerden bu yana kullanılan , radon ve bozunum ürünlerini ölçen en eski yöntemlerden bir tanesidir. 1955 yılında Vandilla ve Taysum tarafından ilk tasarımı yapılan Lucas hücresinin 1957 yılında Lucas tarafından yapılan meydana getirilen yeni düzenlemeyle son haline getirilmiş oldu (Eappen et al.,2008)

Lucas hücreleri silindirik bir yapıya sahiptir (Şekil 2.26). Yan duvarları genellikle plastikten veya metalden olup tabanı ise camdan meydana getirilmiştir. Silindirik olan yan duvarlarının içi ise ZnS(Ag) ile kaplıdır. Alt kısımdan ışık geçmesi gerektiği için tabanı cam(Kuartz)la kaplıdır (Şekil 2.26).

Silindirin üzerinden hava girmesi gerektiğinden , üst kısmında genellikle bir veya iki tane vana vardır. Lucas hücreleri değişik boyutlarda olup, boyutları genellikle 0,1 L İle 3 L arasında değişmektedir .



Şekil 2.26 Lucas Hücresi(İçhedef, 2011)

Lucas hücresiyle radon ölçümünün temel prensibi, öncelikle hücrede bulunan havanın pompa vasıtasıyla çekilerek vakumlu hale getirilmesi, sonrada vakumlanan bu hücre içerisine toprak gazının doldurulmasına dayanmaktadır. Lucas hücresinin çalışma sistemi aşağıdaki şekilde maddeleştirilebilir.

- 1- Öncelikle topraktan 1m derinliğinde silindirik bir çukur açılır.
- 2- Lucas hücresinin içi pompa vasıtasıyla vakumlanır.
- 3- Toprak içerisine açılan boşluktan toprak gazı vakumlanmış Lucas hücresinin içine girmesi sağlanır.
- 4- Radondan ve radon bozunumundan meydana gelen bozunum ürünleri (α parçacıkları) lucas hücresinin duvarındaki ZnS(Ag) den sintilasyon özelliğini meydana getiri.

- 5- Duvardaki ZnS(Ag) ye çarpan alfa parçacıkları görünür bölgede olan 450nm dalga boyuna sahip ışık yayınlatır.
- 6- Lucas hücresinin cam olan alt tabanı bir foto çoğaltıcı tüpe bağlanır.
- 7- Foto çoğaltıcı tüpten pulslar elde edilir.
- 8- Meydana gelen bu pulslar, elektronik bir sistem aracılığıyla deteksiyon işlemi gerçekleştirilir.

Bu sistem su örneklerinde radon ölçümünde de kullanılır. Ama bunun için öncelikle ayrı bir su arıtma ünitesi kullanılmaktadır (Papastefanou, 2007).

Sayım öncesinde örneklerin bir noktadan başka bir noktaya transfer edilmemesi Lucas hücresinin en temel avantajlarından bir tanesidir. Lucas hücresinin hata kaynakları ise, hücre içerisinde hava kaçaklarının meydana gelmesi, elektronik sistemlerdeki kalibrasyon hataları, ve meydana gelen görünür ışıklarının sistemden dışarı kaçmasıdır.

Lucas hücreleri genellikle azot gazıyla temizlenerek uzun süre kullanılabilmesi de avantaj olarak değerlendirilebilir.

MARKUS10 İle Radon Ölçümleri: Markus 10, bataryalı, taşınabilir, ilk olarak 1989 yılında üretilmiş radon ölçümü için kullanılan, saha çalışmalarında çok avantajlı olan bir cihazdır. Markus 10 cihazının içerisinde yarıiletken silikon bir detektör vardır (Şekil 2.27).

Markus 10 üzerinde bulunan bir tüp aracılığıyla toprak gazı, ölçüm cihazının içerisine aktarılmaktadır. Cihaz içerisindeki elektrik alan vasıtasıyla, radon ve ürünlerinden meydana gelen alfa parçacıklarını yarıiletken detektör üzerine yönlendirilmektedir.

Markus 10 detektörü tek kanallı analizör vasıtasıyla sonuçları ekran üzerinde göstermektedir. Markus10 sonuçları kBqm^{-3} olarak vermekte olup, 1 Bqm^{-3} ile 1 MBqm^{-3} arası ölçüm yapabilmektedir (Ruckerbauer and Winkler, 2001).



Şekil 2.27 MARKUS 10 Detektörü

2.2.3.2. İntegral Radon Ölçüm Yöntemleri

İntegral radon ölçüm yönteminde toplam radon gazı hakkında sonuçlar elde edilir. Bu yöntemde uzun zaman aralıkları kaydedilerek bilgiler toplanır. Kısa süreli zaman dilimindeki değişiklikleri belirlemek bu yöntemde oldukça zor olduğu için yöntemin dezavantajı olarak düşünülmektedir.

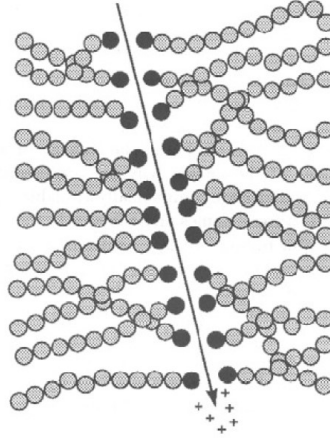
İntegral radon ölçüm yönteminde elde edilen veriler ölçüm zaman aralığındaki ortalama radon konsantrasyonunu hakkında bilgi verir. İntegral radon ölçümlerinde ölçüm aralığı haftalık, 15 günlük ve 1 aylık gibi süreler boyunca yapılabilir. Ölçüm zaman aralığında ortalama radon konsantrasyonu $\text{iz.cm}^{-2}.\text{gün}^{-1}$ veya aynı birim sistemindeki başka birimlerle belirlenmektedir. İntegral radon ölçümlerinde genellikle iki metot kullanılmaktadır. Bunlar, katı hal nükleer iz kazıma detektörleri ile radon ölçümleri ve kolektör metoduyla radon ölçümleridir.

Katıhal Nükleer İz Kazıma Detektörleri ile Radon Ölçüm Yöntemi: Nükleer iz kazıma detektörleri (SSNTDs-solid state nuclear track detectors) radon gazının alfa taneciklerine duyarlıdır. 1958 yılında Young tarafından LiF kristalin üzerinde ilk izin bulunmasıyla nükleer iz kazıma detektörleri bilimsel çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Nikezic and You, 2004).

Nükleer iz kazıma detektörleri inorganik özelliğe sahip cam, mika gibi ve organik özellik gösteren selüloz nitrat, selüloz asetat, polietilrn, polikarbonat maddelerin bileşimiyle meydana getirilmiş katı materyallerdir. Katı hal iz kazıma detektörlerinin uygulaması oldukça basit olması, dayanıklı,yüksek hassasiyete sahip olması ve elektronik aksam barındırmaması ve oldukça ekonomik olmaları sebebiyle avantajlı olduğu görülmektedir (Bondarenko at al., 1999).

Nükleer katı hal iz kazıma detektörlerinden en fazla kullanılan polimer detektörler, LR-115(selüloz nitrat), CR-39 (poluallyl diglycol karbonat) ve makrofol (Bisphenol A polikarbonat) dır (Leung et al., 2007).

Nükleer katı hal iz kazıma detektöründe alfa parçacıkları geçişi esnasında , detektör materyali üzerinde hasarlara yol açmaktadır (Şekil 2.28). Meydana gelen bu hasarlara gizli iz denilmektedir. Gizli izler kimyasal iz kazıma yöntemleriyle optik mikroskopta görülebilen izler haline dönüşmektedir.



Şekil 2.28 Ağır Yüklü Parçacıkların Polimer Zincirlerini Kırma Diyagramı

İz Oluşumu: Parçacıklar detektörün katı materyali boyunca hareket ederken enerjilerini ortama aktarırlar. Parçacığın detektör metalinde deki enerji kaybı $\frac{dE}{Dx}$ olup lineer olarak ifade edilebilir. Lineer enerji kaybı parçacığın yüküne, enerjisine, kütesine ve kullanılan katı materyale bağlı bir fonksiyon olmaktadır.

Enerji kaybı belirli bir değere ulaştığında katı materyal üzerinde bölgesel olarak şekil değişikli meydana gelir. Bu şekil değişkenliğinin nedeni, materyal polimerinin moleküler zincirlerinin birbirinden ayrılması veya parçacığın hareketi esnasında kimyasal bileşenlerinin olmasıdır. Bu olaylar neticesinde meydana gelen şekil değişiklikleri 1 ile 10 nm arasında değişen gizli izlerin meydana gelmesine sebep olur.

Meydana gelen gizli izler oldukça küçük olduğundan gözle veya optik mikroskopla görülmesi mümkün değil fakat elektron mikroskobu altında görülebilmektedir. Gizli izlerin optik mikroskopta görülebilmesi için kimyasal iz kazıma işleminin yapılması gerekmektedir. Kimyasal iz kazıma yöntemiyle banyo edilen detektörlerde deki izler birkaç μm ye kadar büyümektedir.

Kimyasal iz kazıma yöntemi: Kimyasal iz kazıma yönteminde detektör filmlerinin belirli sıcaklıktaki (Örneğin 60°C) ve belirli konsantrasyonda (örneğin %10 luk NaOH) çözeltisinde, belirli bir süre (örneğin 90 dakika) boyunca banyo yapılmasıdır. Burada kullanılan detektörün cinsine göre çözeltinin sıcaklığı, çözeltinin konsantrasyonu çözeltinin içindeki banyo süresi değişiklik göstermektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Nükleer İz Kazıma Süreçleri (Yaprak, 2003)

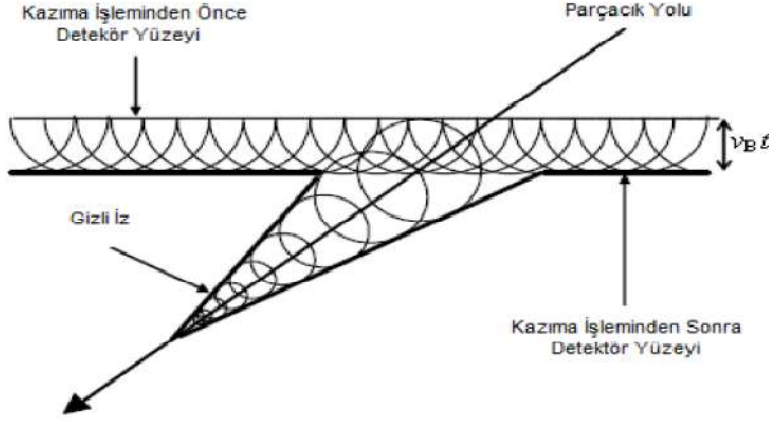
Detektör Tipi	Detektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı	Kazım Konsantrasyonu	Kazıma Süresi
LR-115	Selüloz Nitrat	60° C	%10, 2,5 N NaOH	2 saat
CR-39	Polikarbonat	70° C	%25, 6,25 N NaOH	12 saat
CN-85	Selüloz Asetat	60° C	%10, 2,5 N NaOH	20-30 dakika

Kimyasal iz kazıma yöntemindeki esas nokta, detektör materyalinin iz görmemiş kısmıyla iz görmüş kısmının kimyasal reaktivitesinin birbirinden farkı olmasıdır. Gizli izin kimyasal reaktivitesi, iz görmemiş kısma göre oldukça fazladır. Kazıyıcı çözelti detektördeki polimere etki ettiğinde, gizli iz V_T hızı ile kazınırken polimer yüzey V_B hızı ile hızı ile kazınacaktır. Buradaki

V_T : İz kazıma hızı olup, gelen parçacığın enerjisine, hızına, kütlesine bağlıdır;

V_B :hasara uğramayan detektör materyalinin kazınma hızı olup, bu hız kazıma koşullarının sıcaklığına konsantrasyonuna ve zaman bağlıdır (Tabar, 2010).

Belirli sıcaklıkta ve konsantrasyonda hazırlanan çözeltini detektördeki hem iz olan hem de iz olmayan bölgeyi kazıyacaktır fakat hasar etrafındaki bölgeyi kazıma hızı daha fazla olacağından izler görünür duruma gelecektir. Buradaki işleme iz görselleştirme veya detektör is kazıma işlemi denilmektedir (Nikezic and Yu, 2004)(Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Katıhal İz Kazıma İşlemi

Meydana gelen izlerin kazınımı esnasında izler üç ayrı fazda meydana gelmektedir. Bu fazlar konik faz, geçiş fazı ve küresel faz olarak isimlendirilmektedir.

Konik faz: Konik fazda izin şekli konik iken açık yüzeyi eliptiktir. Konik faz süreci hasarlanmış olan yolun sonuna ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Konik fazın ardından geçiş fazı başlamaktadır.

Geçiş fazı: Geçiş fazında hasarlı bölgedeki izin alt kısmı daireseldir. Üst kısmı ise eliptik durumunu korumaktadır.

Küresel faz: İzin alt kısmı küresel bir şekil aldığı anda küresel faza geçilmiş olur. Küresel faza geçildiğinde açık yüzey ise dairesel olmuştur.

Kazınmakta olan izin almış olduğu son durum , kimyasal kazıma işleminin bittiği ana göre değişiklik göstermektedir.

2.2.3.3. Sürekli Radon Ölçüm Yöntemleri

Aylık ya da haftalık yapılan çalışmalar radon ve sismik aktivite arasındaki ilişki doğrulamakta fakat depremin önceden tahminine yönelik olarak yetersiz kalmaktadır. Deprem oluş tarihlerinin periyodik çalışma zamanları herhangi bir ilişkisinin olmaması nedeni ile çok daha kısa (dakika mertebesinde) periyodik ölçümler alınmalıdır. Böylece deprem olma sıklığı ve tarihlerindeki belirsizlik problemine bir katkı sağlayacaktır. Bu yöntemde radon konsantrasyonları, elektronik detektörlerde, ard arda yapılmakta hiç ara verilmemekte ve yapılan ölçümler saklanabilmektedir. Sürekli radon ölçüm yöntemi genellikle radon ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde kullanılmaktadır.

Barasol Detektörü: Barasol detektörü, ön yükselteç, yükselteç, pencere (enerji ayırımının yapılabilmesi için) mikro işlemci ve silikon bir eklemden meydana gelmiştir. Silikon eklemin çapı 6 cm uzunluğu ise 57 cm dir. Radon difüzyonla filtreden geçer. Filtreden geçen radon 0,7 MeV ile 6,1 MeV arasında ayırma yapan pencereye gelerek ayırımı yapılır. Detektörün aktif alanı, 470 mm² dir.

Detektörün dış yapısı alüminyum ile kaplanmış olup koruma amaçlı olarak verniklenmiştir. Barasol detektörünün ölçüm aralıkları 15 dakika ile 1-2 saat arasında değişmektedir. Sistem 10 ay boyunca sürekli olarak ölçüm alabilme yeteneğine sahiptir.

Sistemdeki ölçümler, sistem içerisinde bulunan mikroişlemciler tarafından saklanmaktadır. Bu mikroişlemcilerde saklanan veriler, çeşitli yazılımlar vasıtasıyla bilgisayara aktarılabilir. Ayrıca sisteme ilave edilen bir donanım vasıtasıyla verilerin uzaktan erişimi sağlanabilmektedir. Bu sistem sadece radon ölçümü yapmamaktadır. Radon ölçümüyle beraber, sıcaklık, basınç, ve yağış ölçümleri de yapmaktadır (Richon et al., 2007).

Clipperton: Clipperton dedektör sistemi hem toprak gazında hem de sulara radon konsantrasyonlarını ölçmektedir. Clipperton sistemi, diyot dedektör, elektronik devre (veri işleme) depolama alanı ve pilden oluşmaktadır. Düşük enerji tüketimi en büyük avantajlarından bir tanedir. 4 alkali pil ile 6 ay boyunca ölçüm yapabilmektedir.

Clipperton dedektör sistemi, pre amplifikör, amplifikatör, diskriminatör,, veri işleyici, depolama ünitesi ve elektronik prob dan meydana gelmektedir. Sistemdeki elektronik parçalar nemsiz ortamda bulunmalıdır. Clipperton dedektör sistemi 1 dakikadan 48 saate kadar olan süre aralığında ayarlanabilen bir düzende verilere alarak kaydetmektedir (Monnin and seidel, 1997).

AlphaGUARD: AlphaGUARD cihazı, iyonizasyon odasına sahip bir cihazdır. İyonizasyon odasının anodu ile katodu arasındaki potansiyel farkı 750 volt olup (Akyıldırım, 2005), paslanmaz çelikten silindirik biçiminde üretilmiştir. Dedektörün etkili hacmi 0,56 litre olup toplam hacmi ise 0,62 litredir.

AlphaGUARD cihazı bataryalı bir cihaz olup bataryasıyla yaklaşık olarak 10 gün süreyle ölçüm yapabilmektedir. Aynı zamanda istenirse güç kaynağına bağlanarak bu süre uzatılabilmektedir .



Şekil 2.30 AlphaGUARD Cihazı

AlphaGUARD cihazıyla 6 Bq m^{-3} ile 2.10^6 Bq m^{-3} aralığında ölçüm yapılabilir. Bununla beraber hata payı %3 olması sebebiyle avantajlı bir cihazdır.

AlphaGUARD cihazı çeşitli aparatlar kullanılarak havada , toprakta ve suda ölçüm yapılabilir. Bununla beraber cihaz, sıcaklığı, Açık hava basıncını ve ortamdaki nemi de ölçmektedir.



2.3. Topraklarda Doğal Radyoaktivite

Yerkabuğu içerisinde bulunan toprak, kayaç ve mineraller doğal olarak oluşmuş radyonüklidler içermektedir. Bu radyoaktiviteyi, ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U ve ^{40}K meydana getirmektedir (Muminov et al.,2005; Canbaz et al. , 2010).

Dünyadaki bu doğal radyoaktivite konsantrasyonları bölgeden bölgeye değişmekte olup, dünyadaki background radyoaktivite seviyesini belirlemektedir. Fay kırıklarının olduğu ve termal suların bulunduğu çevrelerde doğal radyoaktivite konsantrasyonları, diğer bölgelere nazaran yüksektir (Baykara ve Doğru, 2009).

Yerkabuğundaki doğal radyoaktivite düzeyi, toprağın jeolojik kökenine toprak ve kayaçlardaki granit yapı miktarına, ve volkanik alanlara göre değişmektedir (Bolca ve diğ, 2010).

Topraklardaki doğal radyoaktivitenin önemli bir oranın doğal radyoaktif serilerden gelmesine karşın, tarımsal faaliyetler sebebiyle de bu radyoaktivite miktarı değişmektedir. Tarımsal amaçlı kullanılan fosfatlı gübreler topraktaki doğal radyoaktivite dozunu anlamlı bir şekilde artırmaktadır. Tarımsal topraklara giren doğal radyoaktivite besin zinciri vasıtasıyla insanlara kadar ulaşmakta ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır (Alam et al., 1997; Erdil,2004)

Yer kabuğunun ve toprağın içerisinde bulunan doğal radyoaktivite toprağın yüzeyinden gama ve beta radyasyon bölgesi oluşturur (Akhtar et al., 2005). Radyasyon bölgesi ise, toprakta bulunan doğal radyoaktiviteye bağlı olduğundan bir çok çalışmada topraktaki doğal radyoaktivite incelenmektedir (Sroor et al., 2001; Narayana et al., 2007).

2.4 Toprak

Toprak, katı, sıvı ve gaz fazlarının çeşitli oranlardan meydana geldiği, organik veya inorganik kökenli, hayvan, bitki ve mikroorganizmalardan oluşan canlı bir doğal ortamdır. Toprak kayaçların ayrışması sonucunda meydana gelir. Katı bölgelerin arasında gözenekler olup, bu gözenekler gaz ve sıvı ile doludur (Günay, 1997).

2.4.1 Toprağın fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprağı, organik ve inorganik katı maddeler oluşturur. Bu katı maddelerin şekilleri, kimyasal ve fiziksel özellikleri, oldukça farklılık göstermektedir. İnorganik katı toprak materyali, organik kısımlarına oranla daha fazladır.

2.4.1.1 Toprak Bünyesi

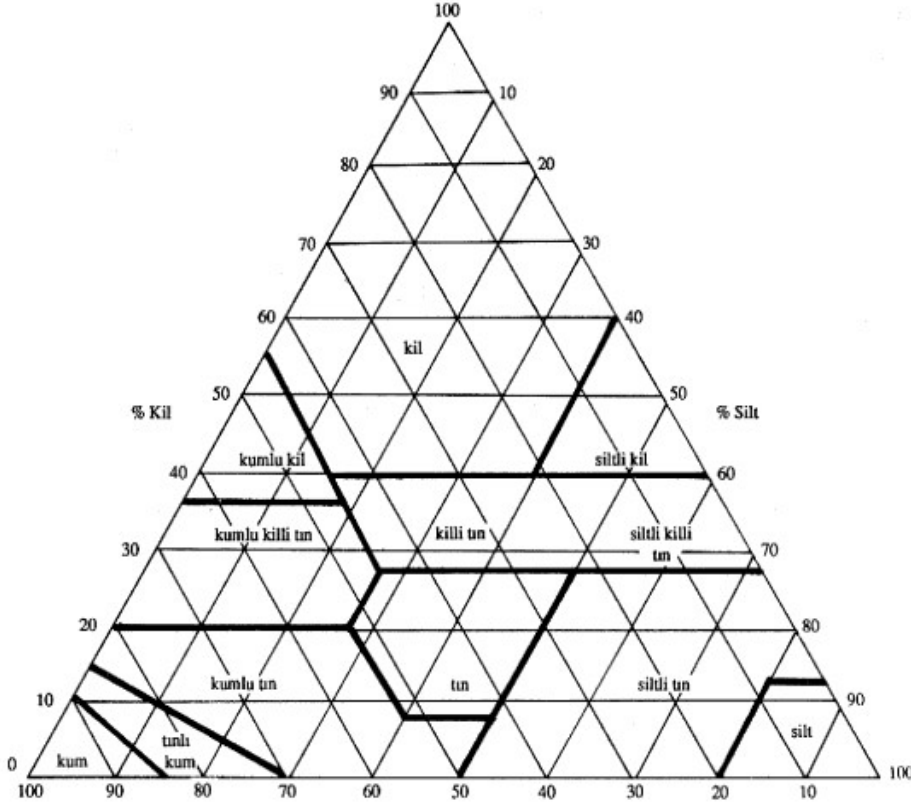
Toprak taneciği, mil, kil ve kum taneciklerinden meydana gelir. Toprak tanecikleri incelendiğinde birincil ve ikincil olarak iki kısma ayrıldığı görülmektedir.

Birincil toprak tanecikleri, ana materyalin ayrışmasıyla meydana gelen birbirlerine yapışık olmayan taneciklerdir. Bunlar kil, kum ve mil olarak isimlendirilmektedir.

İkincil tanecikler ise, toprak taneciklerinin birleşerek yapışması sayesinde meydana gelen , birincil taneciklere göre daha büyük boyutta olan taneciklerdir.

İki milimetreden daha küçük olan toprak tanecikleri toprak bünyesi olarak isimlendirilmektedir. Toprak bünyesinin toprak boyutlarına göre sınıflandırılmasında Amerikan sınıflandırma sistemi ve Uluslararası sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır (Özgümüş, 1995; Altınbaş vd., 2008)

Topraklar, çeşitli oranlarda kum, mil ve kil barındırırlar. Meydana geldikleri, kil, kum ve mil yüzdelere göre ayrımlı bünye olarak yapıları belirlenir. Bu ayrımlı bünyenin belirlenmesinde bünye üçgeni kullanılmaktadır. Bünye üçgenin her bir kenarı sıfırdan yüze kadar bölünmüştür. Her bir kenar ayrı bir kümeyi göstermektedir. Toprak analiz edildikten sonra, bünye üçgeni kullanılarak toprağın bünye sınıfı bulunmaktadır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Toprak Bünye Üçgeni (Taşköprü, 2014)

Kum Bünyeli Toprak

Kum bünyeli toprak, içerisinde kum yüzdesi diğerlerine göre fazla olan topraktır. Su tutma kapasiteleri oldukça düşük olup, su geçirgenlikleri çok yüksektir. İçerisinde organik madde miktarı oldukça azdır. Ayrıca kil kümelerinin miktarı da azdır (Altınbaş vd., 2008).

Tın Bünyeli Toprak

Eşit oranda kil, mil ve kum olan toprak çeşidine tın bünyeli toprak denilmektedir. Tın bünyeli toprağın, suyu tutma kapasiteleri ve su geçirgenlikleri orta derecededir. Yapışkanlığında orta derecelidir (Akalan, 1968).

Kil Bünyeli Toprak

Kil bünyeli toprağın kil yüzdesi diğer bileşenlere göre oldukça yüksektir. Porozitesi ise diğer bünyelere göre oldukça fazla olup, su tutma kapasitesi bakımından zengindir. İçerisinde bulundurduğu besin kapasitesi fazladır. Su geçirgenlikleri azdır. Kurudukları zaman sertleşerek çatlak meydana getirirler (Özden, 2010).

2.4.1.2 Toprak Tepkimesi (pH)

Toprak çözeltisinde bulunana hidrojen iyonlarının logaritmik olarak eksi ifadesi pH olarak belirlenmektedir. 25 °C da olan saf suyun 1 litresinde 10^{-7} iyon d/l hidrojen iyonu varken , yine 10^{-7} iyon d/l hidroksil (OH) iyonu vardır. Dolayısıyla saf sudaki H ve OH iyonları birbirlerine eşittir. 10^{-7} olan H iyonlarının eksi logaritması pH =7 olarak belirlenir.

pH=7 olan saf su nötr dür. pH değeri 7 den küçük ise asidik, pH ı 7 den büyük ise bazik olarak ifade edilmektedir. pH değeri küçüldükçe ortamın asitlik özellikli artmaktadır. pH değeri 7 den yukarı çıktıkça ortamın baziklik özelliğinde artış meydana gelmektedir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 pH Değerlerine Göre Toprakların Sınıflandırılması (Taşköprü, 2014)

Toprak Tepkimesi	pH
Çok Kuvvetli Asit	<4,0
Kuvvetli asit	4,0 - 4,9
Orta Derece Asit	5,0 - 5,9
Hafif Asit	6,0 - 6,9
Nötr	7
Hafif Alkalin	7,1 - 8,0
Orta Derece Alkalin	8,1 - 9,0
Kuvvetli Alkalin	9,1 - 10,0
Çok Kuvvetli Alkalin	>10,0

2.4.1.3 Toprakta Kireç

CaCO_3 (Kalsiyum Karbonat) miktarı topraktaki kireç düzeyini vermektedir (Çizelge 2.5). Kalsiyum karbonat miktarı ne kadar yüksekse toprağın kireçlilik seviyesi o kadar yüksektir. Kalsiyum karbonat bitkinin gelişmesinde ve toprağın verimliliği için önemlidir. Topraktaki belirli oranlardaki Kalsiyum karbonat toprağı daha verimli hale getirdiğı için, toprakta belirli oranlarda bulunması istenir. Topraktaki kireç, karbonat, hidrojen ve hidroksit olmak üzere 3 ayrı biçimde bulunmaktadır (Taşköprü, 2014).

Çizelge 2.5 % kireç içeriğine göre toprağın sınıflandırılması (Taşköprü, 2014)

% CaCO_3	Değerlendirme
0-2,5	Kireçce Fakir
2,5 – 5,0	Kireçli
5,0 – 10,0	Kireçce Zengin
10,0 – 20,0	Bünye+Marn
20,0 – 50,0	Bünye+Kireçli

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Bölgesi

Kuzey Anadolu fay hattı, Bingöl'ün Karlıova ilçesinden başlayarak Çanakkale sınırları içerisinde bulunan Saroz körfezine kadar uzanan yaklaşık 1500 km uzunluğundadır (Şekil 3.1).



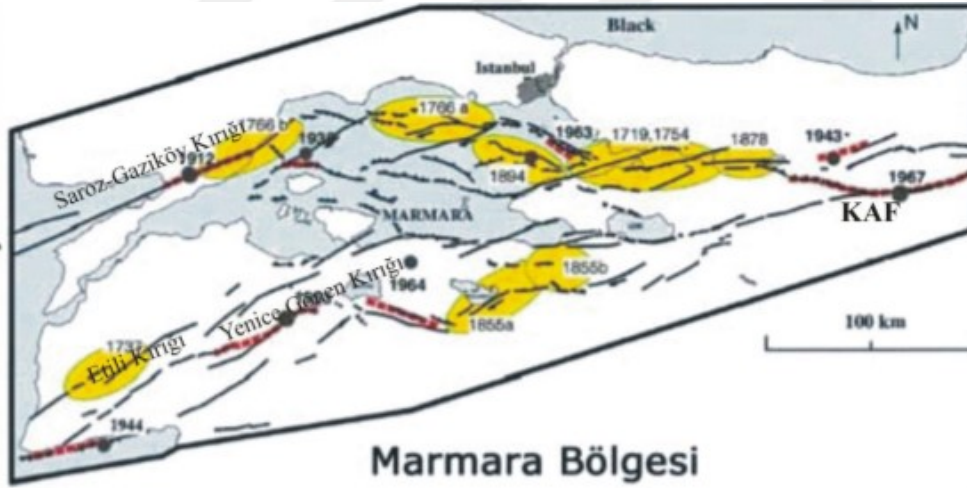
Şekil 3.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Çalışma Bölgesi

Kuzey Anadolu fay hattı Marmara Denizi civarındaki Mudurnu Vadisinde üç ayrı kola ayrılmaktadır. Bunlar Kuzey kol, orta kol ve Güney koldur. Kuzeydeki kol Sapanca gölünün güneyinden başlayarak, İzmit körfezine, oradan da Marmara Denizini kat ederek Tekirdağ Gaziköy'de karayla buluşup Saroz körfezinden Kuzey Ege'ye kadar uzanır (Şengör ve diğ.,1985, Yılmaz ve Koral, 2007). Orta Kol, Sapanca gölünün güneyinden başlayıp Pamukova ve Geyve arasından geçerek İznik gölüne oradan da Kapıdağ yarım adasına kadar uzanır (Barka, 1997). Güney Kol, Orta kolla beraber başlayarak Pamukova Civarında orta koldan ayrılıp güneye doğru devam eder. Pamukova'dan sonra Bursa'dan , Manyas'dan geçerek Edremit Körfezine kadar devam eder (Herece, 1990).

Kuzey Anadolu fay hattı Çanakkale sınırları içerisinde, Saroz-Gaziköy kırığı, Etili Kırığı, Sarıköy kırığı, Yenice –Gönen kırığı olmak üzere dört bölümle ayrılmıştır (Çizelge 3.1; Şekil 3.2).

Çizelge 3.1 Çanakkale Bölgesi kırık kuşakları (Akol, 2009)

Kırık Kuşağı	Başlangıç Koordinatları	Bitiş Koordinatları	Kırık Uzunluğu	M _w
Saros-Gaziköy Kırığı	26.80 ⁰ D 40.58 ⁰ K	27.34 ⁰ D 40.76 ⁰ K	64 km	7,2
Sarıköy Kırığı	27.20 ⁰ D 40.05 ⁰ K	27.65 ⁰ D 40.21 ⁰ K	53 km	7,1
Yenice Gönen Kırığı	27.11 ⁰ D 39.87 ⁰ K	27.57 ⁰ D 40.06 ⁰ K	55 km	7,1
Etili Kırığı	26.52 ⁰ D 39.80 ⁰ K	26.88 ⁰ D 40.00 ⁰ K	44km	7,0



Şekil 3.2 Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizi Çevresindeki Başlıca Kırıkları ve Kırıklar Çevresinde Meydana Gelen Tarihsel Depremler (Akol, 2009)

Bu çalışma Saroz- Gaziköy kırığı üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.3). Bu kırık Ganos fayı olarak ta isimlendirilmektedir. Saroz- Gaziköy kırığı Kuzeydoğu-Güneybatı gidişlidir. Bu kırığın uzunluğu yaklaşık 100km dir.

Çalışma bölgesinin koordinatlar $40^{\circ}18'$ - $40^{\circ}50'$ Kuzey enlemleri ile $26^{\circ}10'$ - $26^{\circ}25'$ Doğu boylamları arasında Çanakkale, Tekirdağ ve Edirne sınırları içerisinde. Saroz körfezinden Gaziköy'e kadar olan uzantı, Marmara Çek ayır havzalarını, Saroz havzasına bağlamaktadır. Son yüzyıl içerisinde bölgede meydana gelen en büyük deprem, 1912 yılında bu kol üzerinde olmuştur. Bu deprem sağ yanal yüzey kırıkları oluşturmuştur.

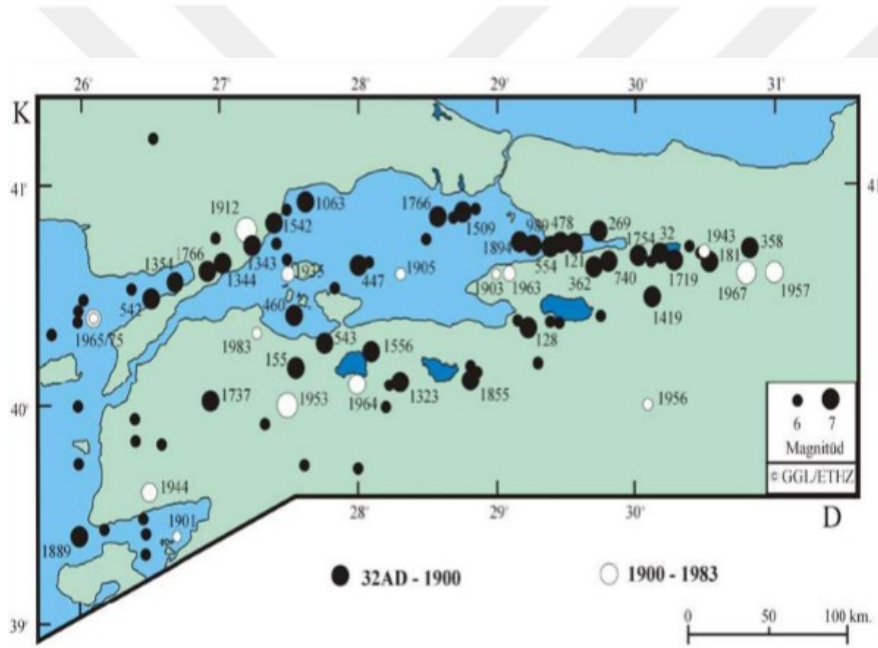


Şekil 3.3 Saros-Gaziköy Kırığı (Çalışma Bölgesi)

3.2. Çalışma Bölgesinin Depremselliği

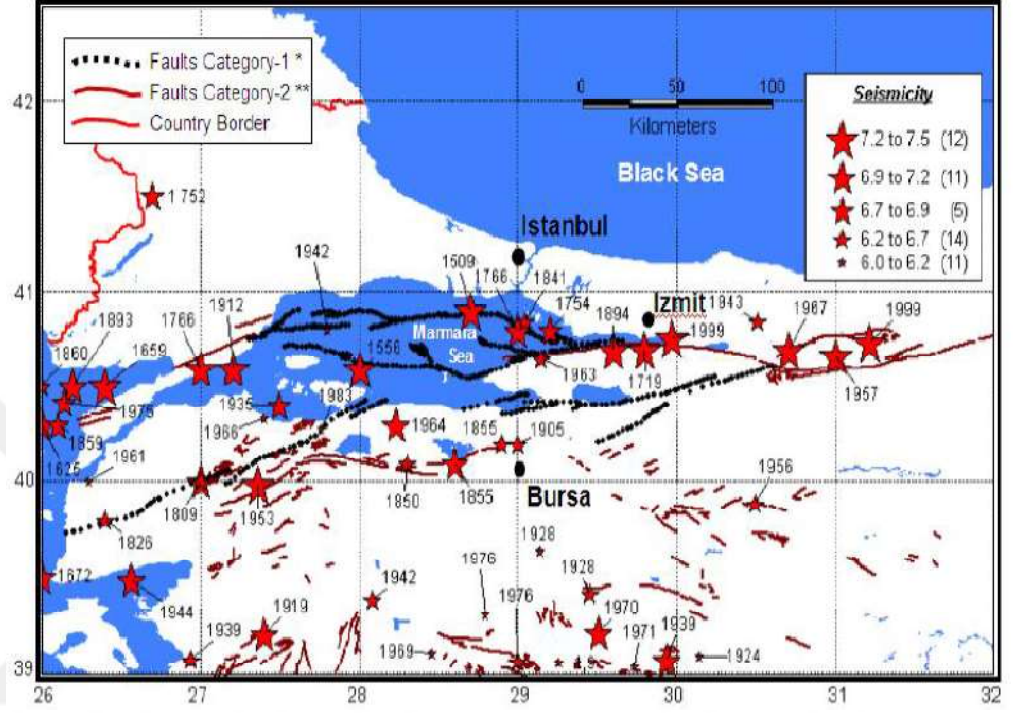
Çalışma bölgesindeki tarihsel deprem verileri incelendiğinde, 542, 824, 1063, 1343, 1344, 1354, 1542 ve 1766 yıllarında ($M>6$) sismik aktivitenin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 3.4).

Bu depremlerin içlerinden Mart 1354 deki en önemli depremlerden bir tanesidir. Bu deprem esnasında Marmara denizi kıyılarındaki yerleşim bölgelerin çok büyük bölümü yıkılmıştır. Tekirdağ'dan Gelibolu'ya kadar çeşitli yerleşim bölgelerinde can kayıpları meydana gelmiştir. Hatta İstanbul' da surlarda bazı yerleşim bölgelerinde zararlar oluşmuştur.



Şekil 3.4 . MS. 32 ile MS. 1983 yılları arasında Bölgede Meydana Gelen $M \geq 6.0$ Depremler (Ambraseys ve Finkel, 1991 ; Selim ve diğ., 2005 ; Akol, 2009).

Marmara Denizinin içerisinde ve çevresinde 1509 yılıyla 1999 yılları arasında $M>6$ olan depremlerle ilgili Kalkan ve arkadaşları 2008 yılında yapmış oldukları çalışmalar Şekil 3.5 ve Çizelge 3.2 deki gibidir (Akol, 2009).



Şekil 3.5 Marmara Bölgesinde 1500 ile 2000 yılları arasında $M>6$ olan depremler (Kalkan ve diğ., 2008; Akol, 2009)

Çizelge 3.2 Marmara Bölgesinde 1500 ile 2000 yılları arasında $M>6$ olan depremler (Kalkan ve diğ, 2008; Akol, 2009' dan derlenmiştir.)

No	Yıl	Ay	Gün	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	M_w	Yüzey Kırık Uzunluğu (km) *	Kaynak**
1	1509	9	10	40,900	28,700	-	6,7	24	1
2	1556	5	10	40,600	28,000	-	6,7	24	2
3	1625	5	18	40,300	26,000	-	7,1	54	2
4	1659	2	17	40,500	26,400	-	7,2	66	2
5	1672	2	14	39,500	26,000	-	7,0	44	2
6	1719	5	25	40,700	29,800	-	6,8	29	2
7	1737	3	6	40,000	27,000	-	6,6	19	2
8	1752	7	29	41,500	26,700	-	6,8	29	2
9	1754	9	2	40,800	29,200	-	6,5	15	2
10	1766	5	22	40,800	29,000	-	6,6	21	2
11	1766	8	5	40,600	27,000	-	6,8	29	2
12	1826	2	8	39,800	26,400	-	6,2	8	1
13	1841	10	6	40,850	29,050	-	6,1	7	1
14	1850	4	19	40,100	28,00	-	6,1	7	1
15	1855	2	28	40,100	28,600	-	6,6	21	2
16	1855	4	11	40,200	28,900	-	6,2	9	1
17	1859	8	21	40,300	26,100	-	6,5	15	2
18	1860	8	22	40,500	26,000	-	6,1	7	1
19	1893	2	9	40,500	26,200	-	6,5	17	2
20	1894	7	10	40,700	29,600	-	6,8	26	2
21	1905	4	15	40,200	29,000	-	6,6	19	6
22	1912	8	10	40,600	27,200	16	7,4	100	6
23	1919	11	18	39,200	27,400	-	7,0	44	3
24	1924	11	20	39,080	30,140	-	6,0	6	4
25	1928	8	2	39,410	29,450	-	6,2	8	4
26	1928	8	3	39,640	29,140	10	6,1	7	6
27	1935	1	4	40,400	27,490	30	6,7	24	6

28	1939	9	22	39,070	29,940	10	7,1	54	6
29	1939	10	19	39,070	26,940	10	6,6	19	6
30	1942	6	16	40,800	27,800	20	6,0	6	6
31	1942	11	15	39,380	28,080	-	6,2	8	4
32	1943	6	20	40,850	30,510	10	6,6	19	6
33	1944	6	25	39,050	29,260	-	6,1	7	3
34	1944	10	6	39,480	26,560	40	7,0	44	6
35	1953	3	18	39,990	27,360	10	7,5	123	6
36	1956	2	20	39,890	30,490	40	6,4	13	6
37	1957	5	26	40,670	31,000	10	7,2	66	6
38	1961	11	28	40,000	26,300	120	6,0	6	6
39	1963	9	18	40,650	29,150	-	6,4	13	4
40	1964	10	6	40,300	28,230	34	6,9	36	3
41	1966	8	21	40,330	27,400	12	6,0	6	6
42	1967	7	22	40,700	30,700	-	7,2	66	1
43	1969	3	25	39,100	28,450	-	6,1	7	4
44	1970	3	28	39,210	29,510	19	7,1	54	3
45	1971	5	25	39,027	29,737	24	6,1	7	5
46	1975	3	27	40,418	26,139	5	6,7	24	5
47	1976	8	25	39,300	28,800	33	6,0	6	6
48	1976	9	6	39,060	29,000	11	6,6	19	6
49	1983	7	5	40,280	27,760	-	6,1	7	1
50	1999	8	17	40,760	29,970	18	7,4	100	7
51	1999	11	12	40,740	31,210	25	7,2	66	7

Açıklamalar:

Deprem moment büyüklükleri (M_w) ampirik formül ile elde edilmiştir.

Wells ve Coopersmith (1994) bağıntısından hesaplanmıştır.

** Kaynaklar: [1] Ambraseys and Jackson (2000); [2] Ambraseys (2002); [3] Papazachou (1997); [4] Ambraseys and Moinfar (1988); [5] CNSS Catalogue U.S. Council of National Seismic System; [6] KOERI; [7] Gulkan and Kalkan (2002)

Bölgedeki depremler aletsel dönemde incelendiğinde, en önemli depremin 1912 yılının Ağustos ayının 9. Gününde saat gece 3 te meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen bu deprem Tekirdağ'dan Gelibolu'ya kadar olan geniş bir bölgeyi etkilemiştir.

Bu depremdeki can kayıpları ve hasarlarla ilgili tafsilatlı bilgiler Doktor Yüzbaşı M. Sadi tarafından 1912 yılında kaleme alınan “Marmara havzası'nın 26 Temmuz 1328 hareket-i arzın esbabı” eserinde mevcuttur. Bu eserde çok kuvvetli uğultuların ve gürültülerin meydana geldiği, yangınların çıktığı, minarelerin ve sat kulelerinin yıkıldığı ifade edilmektedir(Şekil 3.6). Meydana gelen artçı depremlerin 2 aya yakın bir süre devam ettiği ve bölgede yaklaşık 50 cm genişliğinde 30 metre uzunluğunda çok sayıda yarıkların meydana geldiğine değinilmektedir (Çınar, 2011).



Şekil 3.6 1912 Yılındaki Mürefte' de Meydana Gelen Deprem Görüntüsü

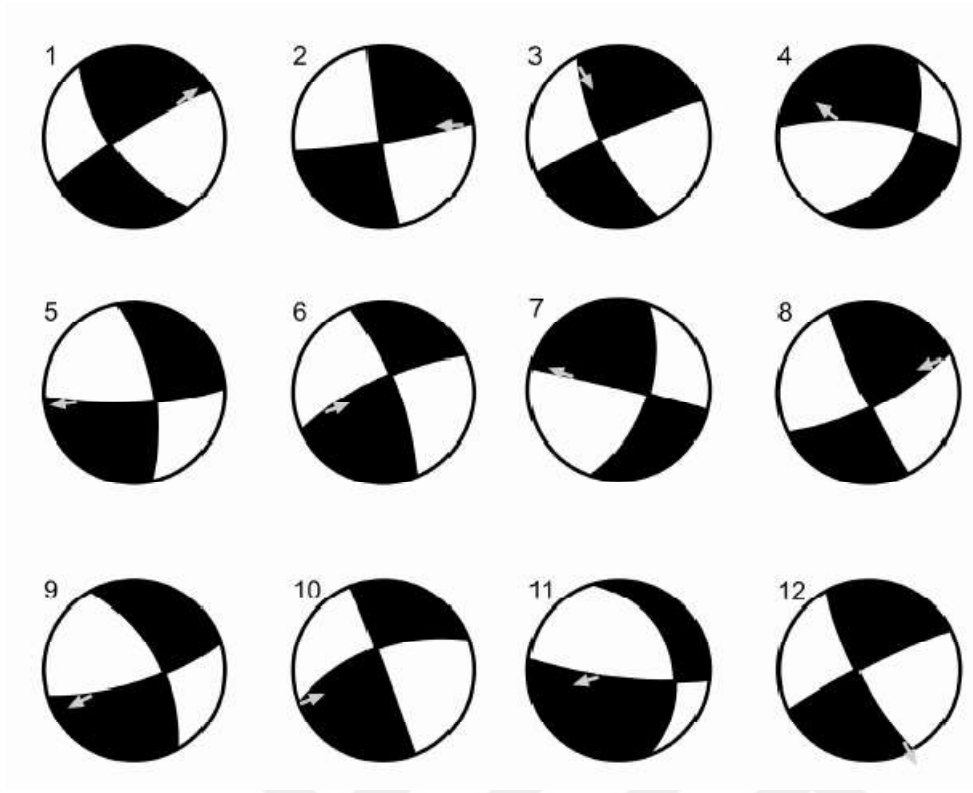
3.3. Çalışma Bölgesindeki Deprem Odak Mekanizma Çözümlmeleri

Ganos fayının günümüzdeki davranışının incelenmesi amacıyla Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından 2003-2010 yılları arasında meydana gelen 12 deprem (Şekil 3.7) odak mekanizmaları çözümlmeleri Dr. Selda Altuncu Poyraz tarafından gerçekleştirilmiştir.

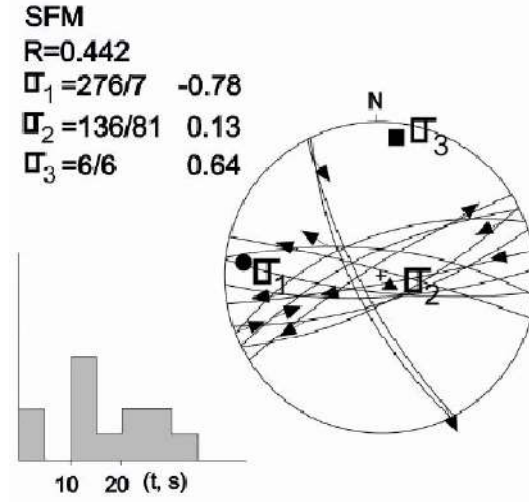
Çözümlemede üç bileşenli dalga formu modellemesiyle yapılmıştır. Çözümlemeden sonra sayısal analiz metoduyla ters çözümlemesi oluşturulmuştur (Şekil 3.8). Daha sonra ortak ters çözüm yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.7: 2003-2010 Yılları Arasında Odak Mekanizmaları Hesaplanan Depremlerin Uydu Görüntüsü (Çınar, 2011)



Şekil 3.8: Çalışma Bölgesinde 2003-2010 yılları arasında meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizması ters çözümleri (Çınar, 2011)



Şekil 3.9 Çalışma Bölgesinde 2003-2010 yılları arasında meydana gelen depremlerin Care-Gauilhardis in geliştirdiği metod ile ortak ters çözümlemeleri (Çınar, 2011)

Ganos fayının çevresinin depremselliği analiz edildiğinde çok aktif bir alan olduğu görülmektedir. Bölgedeki tarihsel depremlerle beraber aletsel dönemde kaydedilen depremler ve aktif hatlar incelenmektedir.

Deprem odak mekanizmaları çözümü incelendiğinde, Ganos fayının KB-GD yönlü bir sıkışma rejiminin etkisi altında olduğu görülmektedir. Bu sıkışma rejiminin ürünü olarak sağ yönlü doğrultu atımlı meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bu atımlı faylar rejimine uygun olarak yer yer normal faylanmaların oluştuğu gözlemlenmektedir (Çınar, 2011).

Tarakçı' nın 2013 yılında yaptığı çalışmaya göre radon konsantrasyonlarındaki değişimler, depremin meydana geliş sürecinde oluşan sıkışma ve açılmalara bağlıdır. Sismik hareketin meydana gelmeden önceki süreçte radon gazı gözlem noktasında sıkışma meydana geldiğinde, sismik hareketten yaklaşık 5 ile 6 gün öncesinde radon konsantrasyonunun ortalamanın çok üzerinde olduğu 2 gün öncesinde ise ortalamanın altına inmektedir. Gözlem noktasında açılma meydana geldiğinde ise depremle bağlantılı herhangi bir değişim meydana gelmemektedir.

3. Grupta ise 12 istasyon vardır. Bu gruptaki istasyonlar saroz körfezinin çevresindedir. 10 İstasyon Kavakköy' ün sahil kısmına faydan 4km uzaklığa, 11. istasyon Koruköy' e faydan 10 km uzaklığa, 12. istasyon Güneyli köyünün sahil kısmına (faydan 6 km uzaklığa) 13. istasyon Güneyli köyünün güneyine 12. İstasyondan 3 km uzaklığa faya ise 9 km uzaklığa, 14. İstasyon Beşyol köyüne faydan 13 km uzaklığa, 15. istasyon Beşyol köyüne bağlı Ece limanına faydan 8 km uzaklığa, 16. istasyon Kavakköy' ü sınırları üzerinde fay üzerine, 17 istasyon faydan 4 km uzaklığa yol kenarına(Akaryakıt istasyonuna), 18. istasyon Çanakkale Edirne sınırına orman içine faydan 12 km uzaklığa, 19. istasyon Çanakkale Edirne yolu üzerinde Keşen' a 5 km kalacak mesafede, faydan 24 km uzaklığa, 20 istasyon Keşan girişine faydan 32 km uzaklığa, 21. istasyon ise Yolağzı köyünün okul bahçesine faydan 18km uzaklığa yerleştirilmiştir. Örneklem istasyonlarının koordinatları çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Örneklem İstasyonlarının Koordinatları

Örneklem Noktaları	KUZEY	DOĞU
1.	40° 47' 45" ⁿ	27° 21' 57" ⁿ
2.	40° 45' 21" ⁿ	27° 20' 03" ⁿ
3.	40° 43' 00" ⁿ	27° 18' 32" ⁿ
4.	40° 41' 39" ⁿ	27° 17' 29" ⁿ
5.	40° 44' 38" ⁿ	27° 05' 21" ⁿ
6.	40° 42' 33" ⁿ	27° 05' 52" ⁿ
7.	40° 40' 26" ⁿ	27° 05' 12" ⁿ
8.	40° 39' 57" ⁿ	27° 05' 47" ⁿ
9.	40° 38' 50" ⁿ	27° 05' 37" ⁿ
10.	40° 34' 42" ⁿ	26° 50' 09" ⁿ
11.	40° 33' 08" ⁿ	26° 48' 24" ⁿ
12.	40° 30' 22" ⁿ	26° 41' 41" ⁿ
13.	40° 29' 39" ⁿ	26° 41' 13" ⁿ
14.	40° 19' 41" ⁿ	26° 20' 52" ⁿ
15.	40° 12' 48" ⁿ	26° 19' 52" ⁿ
16.	40° 38' 21" ⁿ	26° 51' 36" ⁿ
17.	40° 39' 29" ⁿ	26° 49' 15" ⁿ
18.	40° 42' 33" ⁿ	26° 45' 57" ⁿ
19.	40° 45' 25" ⁿ	26° 42' 41" ⁿ
20.	40° 49' 06" ⁿ	26° 38' 24" ⁿ
21.	40° 19' 01" ⁿ	26° 24' 10" ⁿ

1 Nolu Örnekleme Noktası

1. örnekleme noktası , Tekirdağ'dan karayolu ile 40 km uzaklıktaki Uçmakdere köyünün girişindedir (Şekil 3.11). Örnekleme noktasının bulunduğu yer fay hattına kuş uçuşu 5,1 km dir. Tarım arazisine yaklaşık olarak 100 metre mesafededir. İstasyonun olduğu noktanın çevresinde tarım yapılmaktadır (Şekil 3.12)



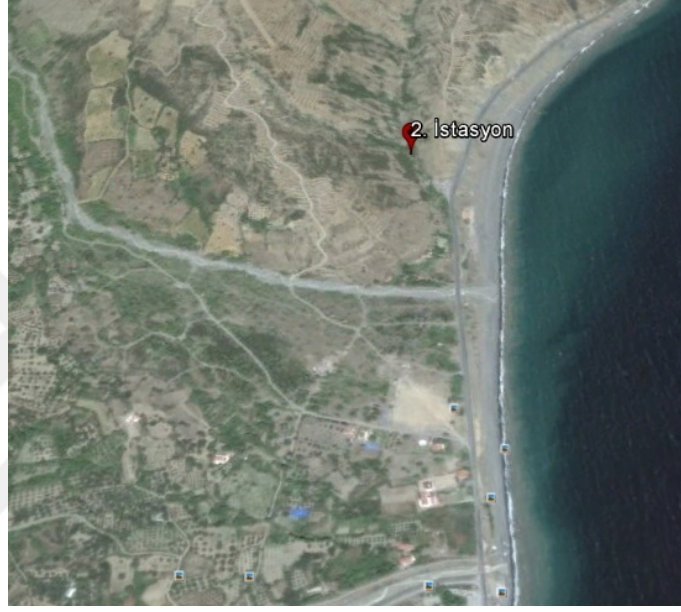
Şekil 3.11 1 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.12 1 Nolu Örnekleme Noktası Ait Görüntü

2 Nolu Örnekleme Noktası

2. Örnekleme noktası, Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizinin, kara ile buluştuğu nokta olan Gaziköy' e yerleştirilmiştir (Şekil 3.13). Mümkün olduğu kadar istasyon fay üzerine kurulmasına dikkat edilmiştir. 2. örnekleme istasyonu, Gaziköy' ün Tekirdağ tarafından giriş kısmına 600 metre uzaklıktadır. Deniz kıyısına ise uzaklığı 50 metre olup ormanlık arazi içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 2 Nolu Örnekleme İstasyonu



Şekil 3.14 2 Nolu Örnekleme İstasyonuna Ait Görüntü

3 Nolu Örneklemeye Noktası

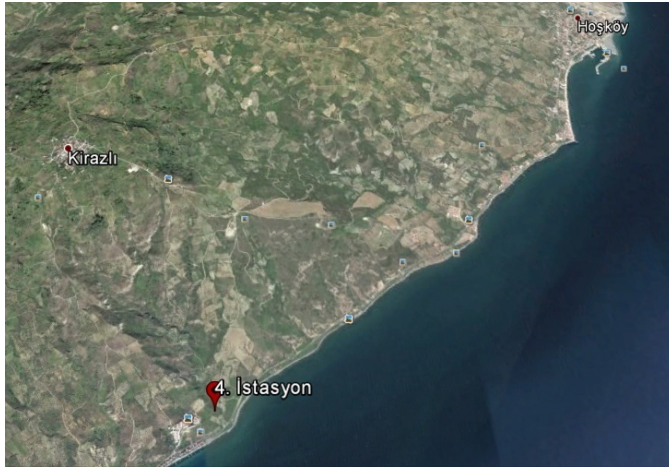
3. örneklemeye noktası Gaziköy' den 3 km uzaklıkta bulunan Hoşköy'e yerleştirilmiştir. 3. İstasyonun fay hattına uzaklığı kuş uçuşu 4,2 km dir. Tarım arazisi üzerine yerleştirilmiş olan 3. örneklemeye noktasının denize uzaklığı 400 m dir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 3 Nolu Örneklemeye Noktası

4 Nolu Örneklemeye Noktası

4. örneklemeye noktası Höşköy'den karayoluyla Şarköy tarafına doğru 4 km uzaklıktadır (Şekil 3.16). Deniz kıyısına yakın olarak nitelendirilebilecek bir yerde olup denize uzaklığı 20 m dir. 4. İstasyonun fay hattına dik uzaklığı 8,2 km dir.



Şekil 3.16 4 Nolu Örneklemeye Noktası

5 Nolu Örnekleme Noktası

5. örnekleme noktası (Şekil 3.17) Şarköy'den Malkara'ya doğru giden yol üzerinde olup Şarköy'den kuş uçuşu 16,6 km uzaklıktaki İshaklı köyü girişindedir. 5. İstasyonun fay hattına uzaklığı 6,1 km dir. İstasyon tarım arazilerinin çevresine kurulmuş olup, kurulduğu nokta maki biçiminde ormanlık arazidir (Şekil 3.18).



Şekil 3.17 5 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.18 5 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü

6 Nolu Örnekleme Noktası

6. örnekleme noktası , tam fay hattı üzerinde bulunan Gölcük köyüne yaklaşık 3 km uzaklıktadır (Şekil 3.19). Fay hattına uzaklığı ise 2,8 km olup arazinin çevresi tarım arazisidir. İstasyonun bulunduğu nokta ise yine 5. istasyonda belirtildiği gibi makilik bir alandır.



Şekil 3.19 6 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.20 6 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü

7 Nolu Örneklem Noktası

7. örneklem noktası, Kuzey Anadolu Fay hattı üzerine kurulmuştur. Gölcük köyünün Şarköy'e doğru olan çıkışından 200m uzaklıkta olup (Şekil 3.21) piknik alanı civarında ormanlık alan üzerindedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.21 7 Nolu Örneklem Noktası



Şekil 3.22 7. İstasyona Ait Görüntü

8 Nolu Örnekleme Noktası

8. örnekleme noktası (Şekil 3.23) Gölcük Köyü ile Şarköy arasında Gölcük köyünden 2,2km uzaklığa kurulmuştur. 8. İstasyonun fay hattına uzaklığı 2,3km olup ormanlık arazi üzerine kurulmuştur (Şekil 3.24).



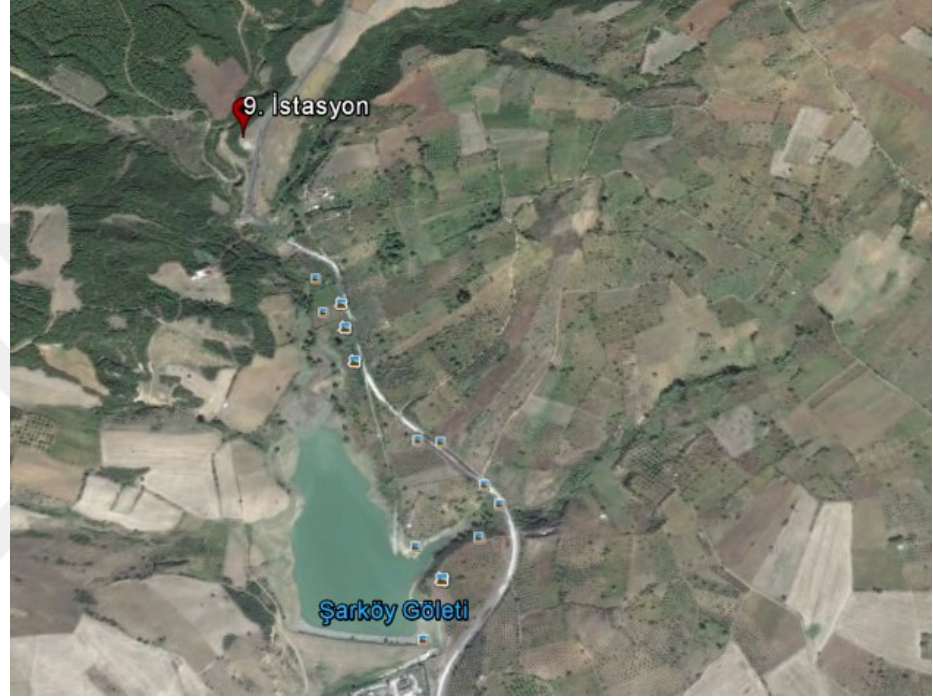
Şekil 3.23 8 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.24 8 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü

9 Nolu Örnekleme Noktası

9. örnekleme noktası Gölcük köyü ile Şarköy arasında olup Şarköy'e kuş uçuşu 4,2 km olup kara yolu ile 6,5 km uzaklıktadır. 9. İstasyonun fay hattına uzaklığı 4,1km dir. istasyon, yol kenarında daha önce dinlenme alanı olarak kullanılmış atıl bir bölgenin köşe kısmında oluşturulmuştur (Şekil3.26 ve Şekil 3.27).



Şekil 3.25 9 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.26 9 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü



Şekil 3.27 9 Nolu Örnekleme Noktasına Ait İstasyon Oluşturma Anından Görüntü

10 Nolu Örnekleme Noktası

10. örnekleme noktası Çanakkale Edirne karayolu üzerindedir. Bu karayolun Saros Körfezinin Çanakkale'ye doğru olan kısmındadır. İstasyon sahile yaklaşık 30 m uzaklıkta bulunan Düğerkent tatil sitesinin bahçesinde oluşturulmuştur (Şekil 3.28). İstasyonun olduğu noktada tarım yapılmamaktadır. Fay hattına uzaklığı ise 1,8 km dir.



Şekil 3.28 10 Nolu Örnekleme Noktası

11 Nolu Örnekleme Noktası

11. örnekleme noktası Çanakkale - Edirne karayolu üzerinde bulunan, Koruköy' ün Camii bahçesine kurulmuştur (Şekil 3.29). Fay hattına uzaklığı 6,2 km olup çevresinde tarım yapılmaktadır.



Şekil 3.29 11 Nolu Örnekleme Noktası

12 Nolu Örnekleme Noktası

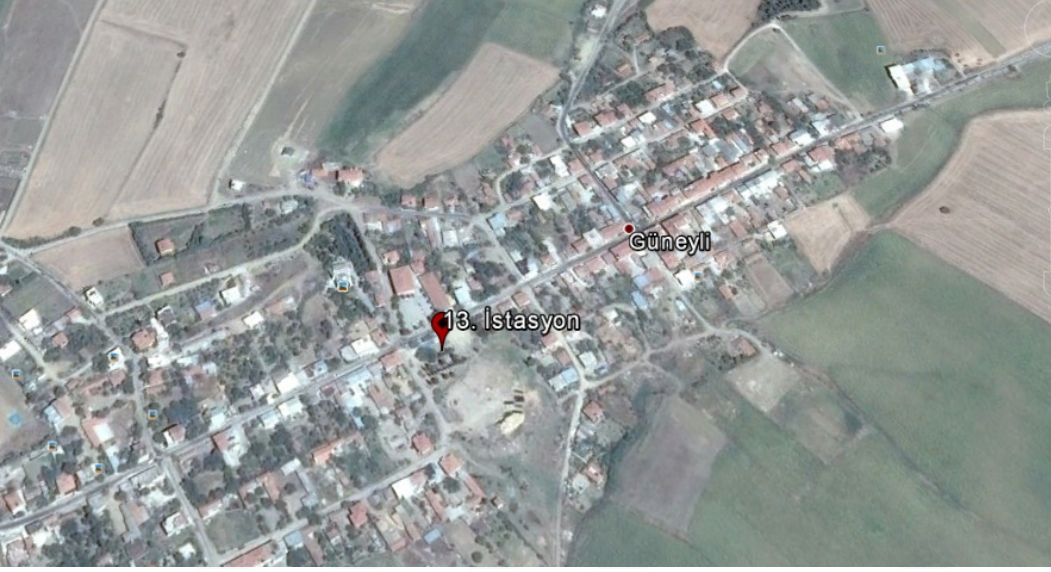
12. örnekleme noktası Çanakkale - Edirne karayolu üzerinde bulunan Güneyli köyünün sahil kısmında denize yaklaşık olarak 50m mesafeye kurulmuştur (Şekil 3.30). Burası tatil bölgesi olup İstasyon bir tatil köyünün bahçesinde oluşturulmuştur. İstasyonun fay hattına uzaklığı 8,8 km dir. Fay hattı bu kısımda Saros körfezinden geçmektedir. Belirtilen 8,8 km lik mesafenin tamamı deniz içerisindeydir.



Şekil 3.30 12 Nolu Örnekleme Noktası

13 Nolu Örnekleme Noktası

13. örnekleme noktası Çanakkale Edirne karayolu üzerinde bulunan, Güneyli köyünün merkezinde bulunan sağlık ocağının bahçesinde kurulmuştur. burada herhangi bir tarım yapılmamaktadır (Şekil 3.31). İstasyonun fay hattına uzaklığı 10,3 km dir.



Şekil 3.31 13 Nolu Örnekleme Noktası

14 Nolu Örnekleme Noktası

14. örnekleme noktası Çanakkale' ye bağlı olan Beşyol köyünün çalışma sırasında hizmet vermeyen okul bahçesinde kurulmuştur (Şekil 3.32). Okul bahçesi olması sebibeyle herhangi bir tarımsal faaliyet gerçekleşmemektedir. İstasyonun sahile uzaklığı 4,5 km olup fay hattına uzaklığı ise 18 km dir.



Şekil 3.32 14 Nolu Örnekleme İstasyonu

15 Nolu Örnekleme Noktası

15. örnekleme noktası Beşyol köyünün sahil kısmında bulunan Ece koyuna kurulmuştur (Şekil 3.33 ve Şekil 3.34). bu koyda balıkçılık yapılmaktadır. Ece koyunun 500 m uzağında ise tarım arazileri vardır. İstasyonun kurulduğu noktanın mümkün olduğu kadar sahile yakın olması tercih edilmiştir. İstasyonun fay hattına uzaklığı ise 13 km dir. Bu 13 km nin tamamı Ege Denizi' nin Saroz körfezi içerisindeydir.



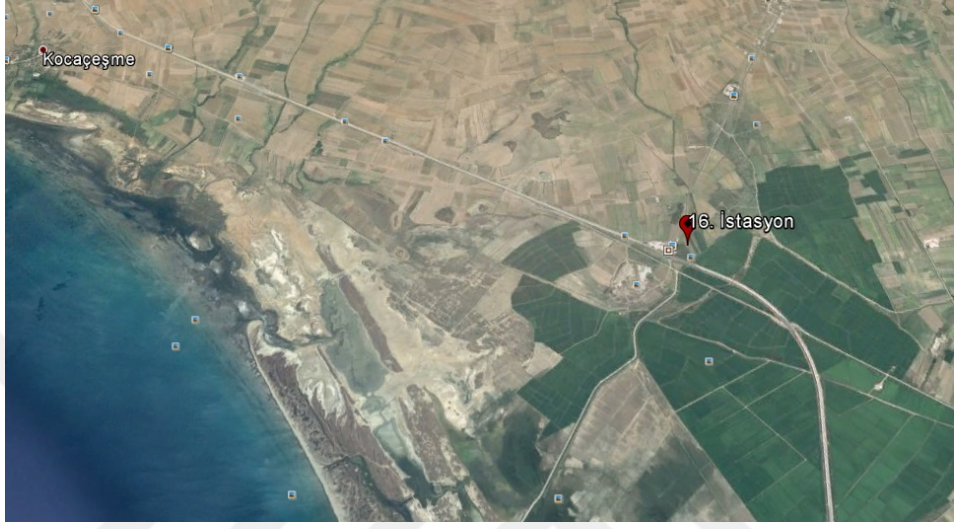
Şekil 3.33 15 Nolu Örnekleme İstasyonu



Şekil 3.34 15 Nolu Örnekleme İstasyona Ait Görüntü

16 Nolu Örneklemeye Noktası

16. örneklemeye noktası Saroz körfezinin karaya temas eden en uç noktası yakınlarına kurulmuştur. fay hattına mümkün olduğu kadar yakın hatta fay üzerine kurulmaya çalışılmıştır (Şekil 3.35). İstasyonun fay hattına uzaklığı 10m. dir.



Şekil 3.35 16 Nolu Örneklemeye İstasyonu

17 Nolu Örneklemeye Noktası

17. örneklemeye noktası Çanakkale-Edirne karayolu üzerinde, Keşan' kuş uçuşu 24 km, karayolu ile 35km uzaklıkta bulunan akaryakıt istasyonunun bahçesine kurulmuştur. İstasyon bahçesinde tarım yapılmamaktadır. İstasyonu, fay hattına uzaklığı 4,3 km dir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 17 Nolu Örneklemeye İstasyonu

18 Nolu Örnekleme Noktası

18. örnekleme noktası Çanakkale-Edirne karayolunun iki şehrin sınırlarının birleştiği korudağı mevkiine kurulmuştur. Korudağı bölgenin en yüksek yeridir (Şekil3.37 ve Şekil 3.38). İstasyonun kurulduğu noktanın rakımı 350m dir. İstasyon çam ormanının içerisine kurulmuş olup, fay hattına uzaklığı 10,3 km dir.



Şekil 3.37 18 Nolu Örnekleme Noktası



Şekil 3.38 18 Nolu Örnekleme Noktasına Ait Görüntü

19 Nolu Örnekleme Noktası

19 nolu örnekleme noktası, Çanakkale-Edirne karayolunun Keşan'a yakın kısmında bulunan yol kenarı dinlenme bölgesinde bulunan lokantanın bahçesine kurulmuştur (Şekil 3.39). İstasyonun fay hattına uzaklığı 18,2 km dir.



Şekil 3.39 19 Nolu Örnekleme Noktası

20 Nolu Örnekleme Noktası

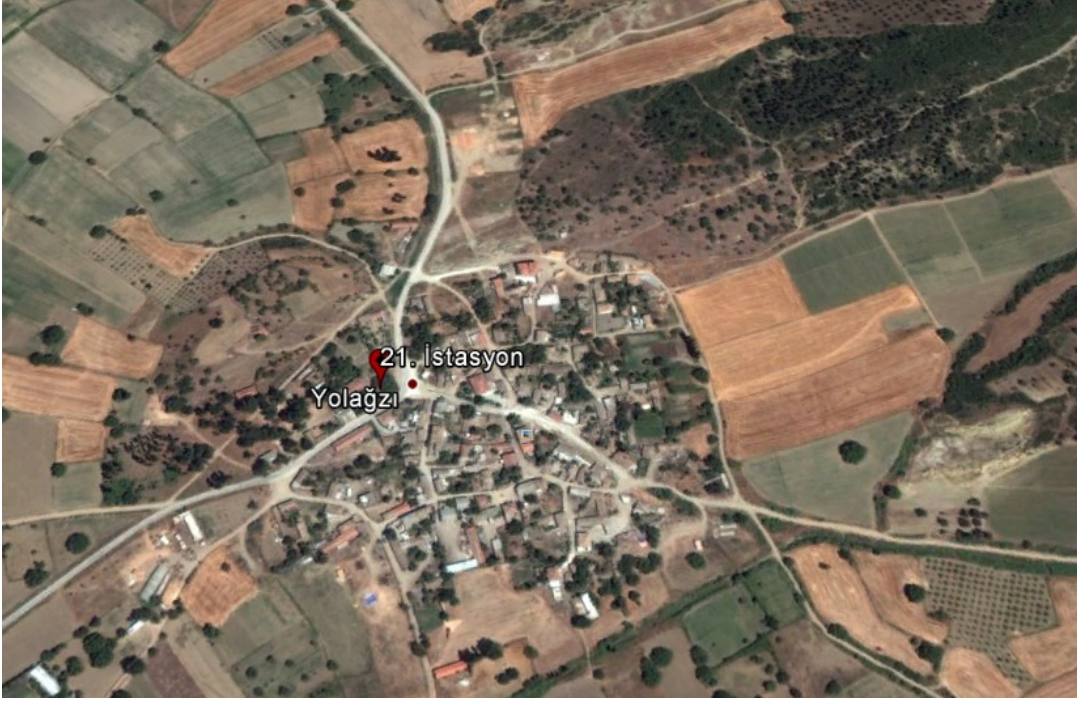
20. örnekleme noktası Keşan'a kurulmuştur. İstasyonun kurulduğu nokta Keşan-Enez karayolu üzerinde bulunun lokantanın bahçesidir (Şekil 3.40). İstasyonun fay hattına uzaklığı 28,6 km dir.



Şekil 3.40 20 Nolu Örnekleme Noktası

21 Nolu Örnekleme Noktası

21. örnekleme noktası bölge olarak 14. ve 15. istasyonlara yakındır. İstasyon Yolağı köyünün günümüzde aktif olarak kullanılmayan okul bahçesine kurulmuştur (Şekil 3.41). İstasyonun fay hattına uzaklığı 20 km dir.



Şekil 3.41 21 Nolu Örnekleme Noktası

3.5. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Çalışma bölgesinde kurulmuş olan 21 ayrı istasyondan yaklaşık 2 kg toprak örnekleri alınmıştır. Bu toprak örnekleri önce 5 mm lik eleklerden sonra 2 mm elekten geçirildikten sonra etüv fırınında 80°C da 3 gün kurutulmuşlardır. daha sonra tekrar 2 mm lik eleklerden geçirilerek fiziksel ve kimyasal analizler için hazırlanmıştır (Bolca ve ark., 2010) (Şekil 3.42).

Bünye (Toprak Dokusu) Analizi

Toprak bünye analizi hidrometre yöntemiyle %kum, % mil, %kil miktarı olarak belirlenmiştir. Bu yöntem Bouyoucos tarafından 1962 yılında belirlenmiştir.

pH Tayini

pH tayini için öncelikle 100 gramlık toprak örnekleri saf su ile doymun hale getirilmiştir. Doymun hale gelmiş bu örnekler pH cam elektrodlu Beckman pHmetresiyle analiz edilmiştir.

Kireç (CaCo3) Tayini

Bu çalışmadaki istasyonlardan temin edilen toprak örneklerinin kireç içerikleri , Schlichting ve Blume yöntemiyle hesaplanmıştır. Hesaplamalar Schibler kalsimetresi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.42 Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Ölçümleri

3.6. Nükleer İz Kazıma Yöntemiyle Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

LR-115 (katı hal nükleer iz kazıma detektörü, temelde mineral, kristal ve plastik içerikli olup, elektriksel alandan yalıtılmıştır (Bondarenko, 1999). LR-115 detektörü,duyarlı, pasif, ucuz ve kullanışlı olması sebebiyle çok tercih edilmektedir. Bu detektör, iyonize radyasyonların kaydedilmesine ve değerlendirilmesine imkan sağlayan katı materyalden meydana gelmektedir.

İyonize radyasyon LR-115 detektörüne çarptığında, materyal üzerinde gizli iz olarak isimlendirilen bir hasar meydana getirir. Gizli izler elektron mikroskobuyla görülebilir.

Elektron mikroskobunun dışında, kimyasal iz kazıma yöntemiyle optik mikroskop tada görülmektedir. Katı hal nükleer iz kazıma detektörleri üç çeşittir. Bunlar LR-115, CR-39, CN-85 olup, bu çalışmada LR-115 detektörü kullanılmıştır.

Bu çalışmada, toprak 25 cm kazılmış, kazılan yerden 2 kg toprak örneği alınmış, kazılan yerlere nükleer iz kazıma detektörlerin içerisine yerleşeceği düzenek kurulmuştur. Bu düzenek PVC borularından meydana gelmektedir. PVC borularının içerisine, hacimleri birbirine eşit plastik kavanozlar yerleştirilmiştir. Bu plastik kavanozlar ters olarak yerleştirilip içlerine LR-115 detektörleri asılmıştır.

LR-115 Tip 2 detektörleri 1,8cm*1,8cm ebadında kesilerek düzenek içerisinde kullanılmıştır. Detektörler belirli sürelerde yenisiyle değiştirilmiştir. Detektörlerin değişim süresi yaklaşık 30-40 arasındır.

Toprak içerisinde yaklaşık 1 ay kalan detektörler analiz için Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Radium-Radon Laboratuvarına getirilerek analiz edilmiştir.

Analize başlamadan önce detektörlerin optik mikroskopta görünür hale getirilmesi için %10 luk NaOH çözeltisi kullanılarak banyo işlemi yapılmıştır. Banyo işlemi, için öncelikle %10 luk NaOH çözeltisi manyetik karıştırıcıda 60°C a kadar ısıtılmıştır. Daha sonra detektörler çözelti içerisine asılarak 90 dakika ile 120 dakika arası bekletilmiştir (Baixeras et al., 1997) (Şekil 3.43) . Daha sonra çözeltiden çıkarılan detektörler 15 dakika saf suda bekletilmiştir. Böylece gizli izler optik mikroskopta görünür iz haline getirilmiştir.



Şekil 3.43 Detektörlerin Banyo İşlemi

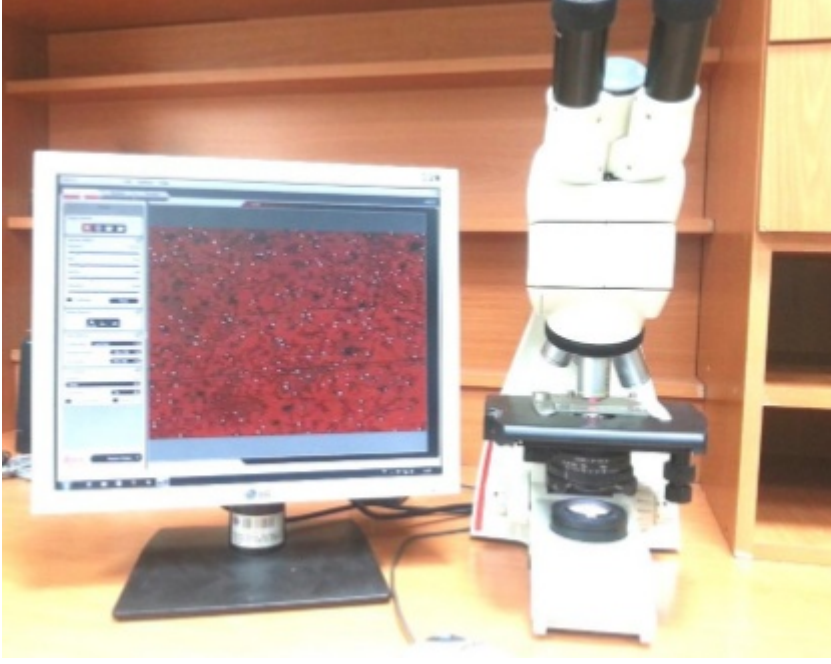
Çalışmanın iz yoğunluğu belirlenirken üç farklı adım izlenmiştir.

Birinci adımda optik mikroskop altındaki görüntülerin fotoğrafları çekilmiştir.

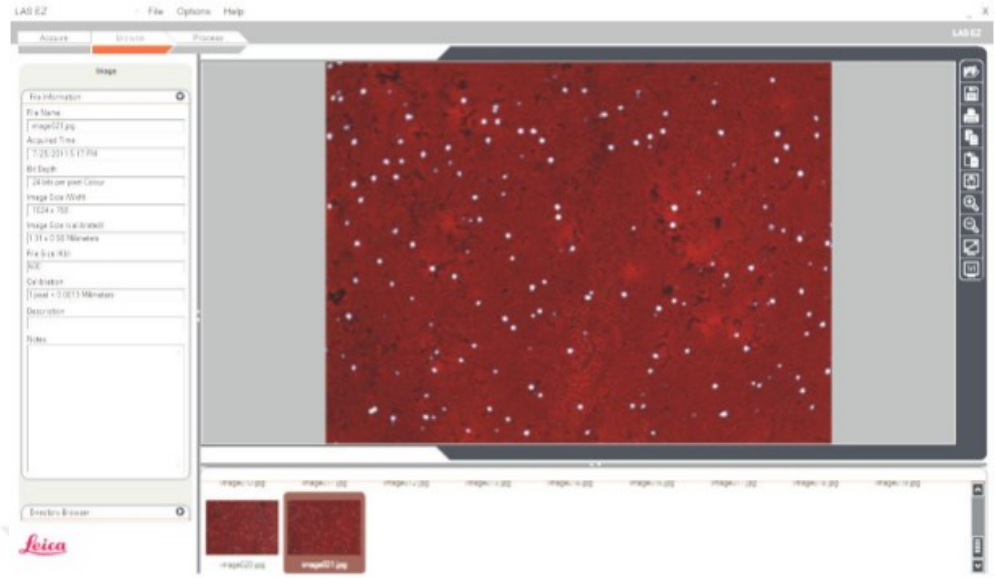
İkinci aşamada, çekilen fotoğrafların görüntüleri Corel PaintShop programında işlenmiştir.

Üçüncü aşamada ise işlenen fotoğraflar Scion programıyla iz yoğunlukları belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan optik mikroskop (Şekil 3.44), LEICA DM750 olup, kullanılan dijital kamera ise, LEICA ICC50 dir. Optik mikroskoptaki görüntüler dijital kamera ve bilgisayardaki LEICA Application Suite (LAS EZ) programı yardımıyla masaüstü bilgisayara aktarılmıştır. Masaüstü bilgisayar aktarılan görüntü örneği şekil 3.45 deki gibidir.

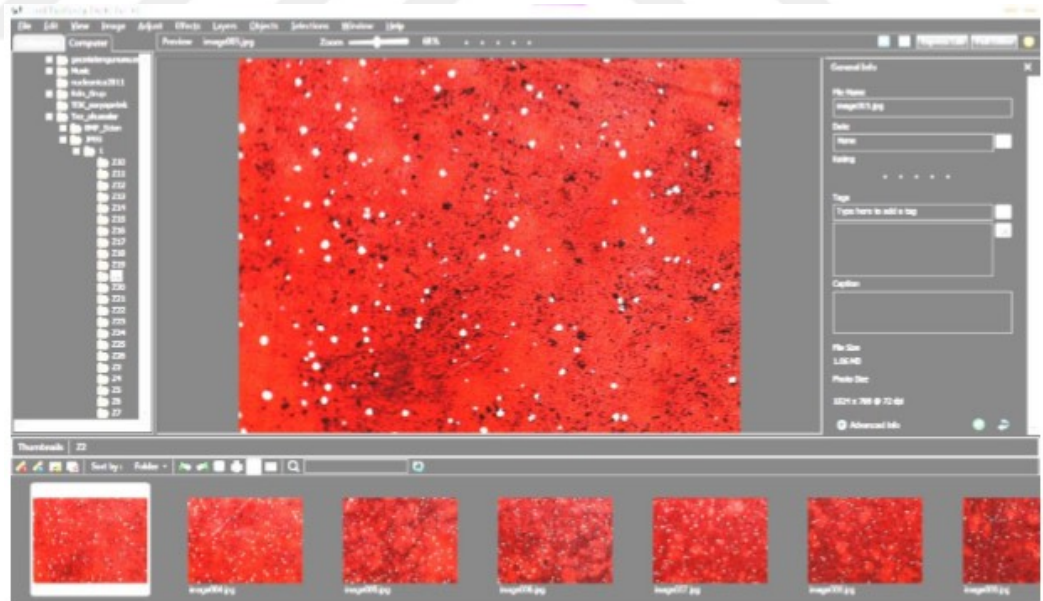


Şekil 3.44 Çalışmada Kullanılan Optik Mikroskop



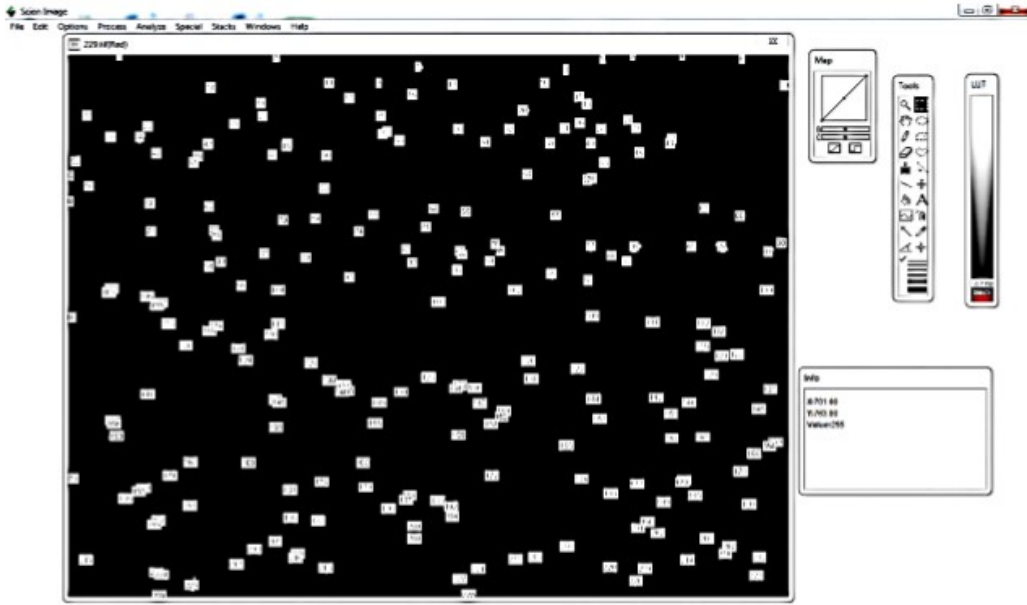
Şekil 3. 45 LR-115 Detektörünün LAS EZ programıyla oluşan görüntüsü

Elde edilen görüntü Corel programıyla düzenlenerek (Şekil 3.46) siyah beyaz hale getirilmiştir.



Şekil 3.46 Corel PaintShop Photo ile düzenleme görüntüsü

Siyah-Beyaz hale getirilen görüntülerdeki izler saydırılarak (Şekil 3.47) iz yoğunluğu bulunmuştur.



Şekil 3.47 Alfa izlerinin sayım görüntüsü

3.6.1. Kalibrasyon

Bu çalışmada İçhedef tarafından 2011 yılında hesaplanan kalibrasyon katsayısı olan $0,0217 \text{ kBq m}^{-3}/\text{iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ kullanılmıştır.

Bu katsayı 10, 20, 30, 40, 50 Bq aktivitelerinde sıvı radyum kullanılarak belirlenmiştir. Farklı aktivitelere sahip sıvı radyum 21 gün süre bekletilerek iz yoğunluğuna karşı, verilen aktivitelerin grafiği çizilerek eğiminden hesaplanmıştır.



Şekil 3.48 Kalibrasyon Düzeneği

3.7. Doğal Radyonüklid Konsantrasyonları

Bu çalışmada ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , konsantrasyonlarının belirlenmesi için, toprak örnekleri alınıp, tartılmış ve 80°C sıcaklığındaki etüv de 2 gün kurutulmuştur.

Kurtulmuş olan bu toprak örnekleri 2 mm lik elekte elenmiştir. Elenen toprak örnekleri, özel kaplara konulmuştur. Bu kapların kapak kısımlarından hava girişinin engellenmesi amacıyla silikon ile tamamen kapatılıp kontrol edilmiştir (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 Kaplara Konmuş Toprak Örnekleri

Hiç hava almayacak şekilde kapatılan toprak örnekleri, radyum ve radyum ürünler arasında radyoaktif dengenin meydana gelmesi için 40 gün bekletilmiştir.

40 gün bekletilen toprak örnekleri gama spektrometresiyle doğal radyoaktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadaki toprak örneklerinin radyoaktivite düzeyleri, 3*3 inç ebatlarındaki NAI(Tl) (Şekil 3.50) sintilasyon detektörlü gama spektrometresiyle belirlenmiştir.



Şekil 3.50 NaI(Tl) Gama spektrometresinin görüntüsü

Ölçüm yapılan gama spektrometri sistemi, sintilasyon detektörü, Amplifier, fotoçoğaltıcı tüp, Canberra Multiport II ve Genie 2000 software yazılımından meydana gelmiştir. Detektör kurşun zırh ile kaplanarak, çevreden gelebilecek radyasyon miktarı minimuma indirilmiştir.

Gama spektrometre sisteminin kalibrasyonunda ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynaklarının standardize edilmiş hallerinin 1,17 MeV, 1,37 MeV ve 0,662 MeV enerjileri kullanılmıştır. Kalibrasyon esnasında ölü zaman değişimlerine dikkat edilmiştir.

Topraklardan alınan örneklerin içerisinde, K, U ve Th radyo elementleri farklı konsantrasyonlarda bir arada genellikle bulunmaktır. bir arada bulunmasından dolayı, spektroskopi esnasında K, U, Th radyo elementlerinin her birinden seçilen fotopike diğerlerinden katkı gelebilmektedir. seçilen fotopike gelen katkı uygun katsayılarla çıkarılmalıdır.

^{40}K elementinin pik enerjisi 1,461 MeV olup, NaI(Tl) dedektörüne tek enerjili bir karşılık vermektedir.

Uranyumun spektrumu potasyuma göre daha komplekstir. Çünkü uranyuma çok miktarda üründen gelen çok fazla sayıda gama ışınlarını içermektedir. Gama spektropisinde intensitesi yüksek olması ve girişimden uzak olması sebebiyle ^{214}Bi den gelen 1,76 MeV enerjili pik kullanılır.

Toryum spektrometresinde ise ürünün bozunmasıyla gama ışımasına ait çok sayıda pik bulunmaktadır. Toprak örneklerindeki toryum konsantrasyonunun bulunması için enerjisi 2,61 MeV(%99,79) olan ^{208}Tl kullanılmaktadır.

Ölçülen toprak örneklerindeki bu radyonüklidlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi için belirtilen enerjilere karşılık gelen enerjilerin aralıklarının bulunması gerekmektedir. ayrıca her bir elementin konsantrasyonlarının tam olarak belirlenmesi için diğer elementlerden belirtilen enerji aralıklarına karşılık gelen elementlerin gama ışınlarının artırıcı etkisinin çıkarılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ölçümler 10000 s olarak yapılmıştır.

3.8. İstatistiki Analizler

Çalışma sonucunda elde edilen veriler istatistiki olarak analiz edilmiştir. Elde edilen parametreler arasındaki korelasyonlar hesaplanarak değerlendirilmiştir.

3.9. Sismik Hareket Verileri

Çalışmada kullanılan sismik hareket verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden temin edilmiştir.

3.10. Meteorolojik veriler

Yapılmış olan bu çalışmada bölgeye ait olan meteorolojik veriler (ortalama günlük basınç, ortalama günlük toprak (25cm derinlikteki) sıcaklığı, ortama günlük hava sıcaklığı ve günlük ortalama % nem) Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi'nden alınmıştır. Çalışmada kullanılan bu verilerin alındığı istasyon Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün çalışma bölgesine en yakın olan 17056 numaralı Tekirdağ istasyonudur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma 23 Haziran 2014 tarihi ile 13 Ekim 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince ölçümler bir aylık periyotlar şeklinde yapılmış olup toplamda 12 ayrı ölçüm yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Ölçüm Zamanları

No	Ölçüm Zaman Aralığı	
1	23 Haziran 2014	14 Temmuz 2014
2	14 Temmuz 2014	18 Ağustos 2014
3	18 Ağustos 2014	25 Eylül 2014
4	25 Eylül 2014	14 Kasım 2014
5	14 Kasım 2014	25 Aralık 2014
6	25 Aralık 2014	31 Ocak2015
7	31 Ocak2015	10 Mart2015
8	10 Mart2015	14 Nisan 2015
9	14 Nisan 2015	29 Mayıs 2015
10	29 Mayıs 2015	13 Temmuz 2015
11	13 Temmuz 2015	1 Eylül 2015
12	1 Eylül 2015	13 Ekim 2015

4.1. Toprak Gazı Radon Konsantrasyonları Sonuçları

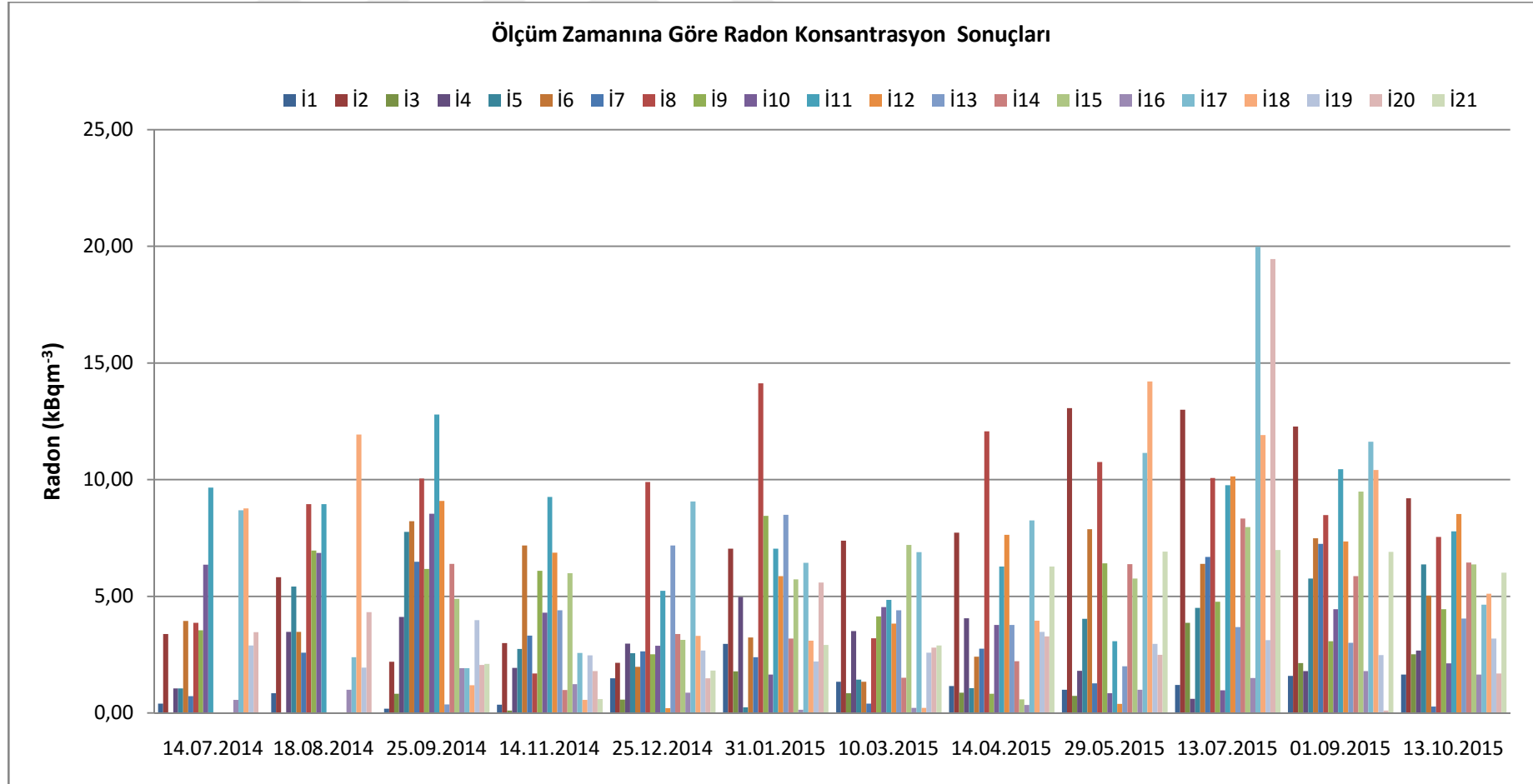
Arazi çalışmaları Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Batı Marmara Bölgesi'nde, Tekirdağ, Çanakkale ve Edirne illerinin sınırları içerisinde yapılmıştır. Çalışma bölgesinde 21 örnekleme noktası (İstasyon) belirlenmiştir. Bu örnekleme noktalarından 9 tanesi Tekirdağ sınırlarında 9 tanesi Çanakkale sınırlarında 3 tanesi de Edirne sınırlarındadır (Şekil 4.1). Örnekleme noktalarından periyodik olarak radon ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.1 Çalışma Örnekleme Noktalarının Uydu Görüntüsü

Örnekleme noktalarının ortalama radon konsantrasyonları şekil 4.2 de görülmektedir. Ölçümler 16 ay boyunca devam etmiştir. Örnekleme noktalarının tamamının 16 ay boyunca hesaplanan radon ortalama konsantrasyonu $4,35 \pm 0,47$ kBqm⁻³ dır.

Çalışma süresince en düşük radon konsantrasyonu 13.07.2015 ile 01.09.2015 tarihleri arasında $0,10$ kBqm⁻³, en yüksek radon konsantrasyonu ise 29.05.2015 ile 13.07.2015 tarihleri arasında $19,46$ kBqm⁻³ olarak ölçülmüştür. En düşük ve en yüksek ölçümlerin her ikisi de 20. örnekleme noktasına aittir.



Şekil 4.2 Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

Elde edilen veriler göz önünde bulundurularak örnekleme noktaları 3 ayrı grupta toplanabilir. Bu gruplardan birincisi ortalamanın çok altında olan örnekleme noktaları, ikincisi ortalamaya yakın olan örnekleme noktaları ve üçüncüsü ortalamanın çok üzerinde olan örnekleme noktalarıdır (Şekil 4.3).

1. Grup Örnekleme Noktaları (Ortalamanın çok altında olanlar);

1., 3., 4. ve 16. örnekleme noktaları bu grupta olup, bunların radon ortalama konsantrasyonları 1. örnekleme noktası için $1,18 \text{ kBqm}^{-3}$, 3. örnekleme noktası için $1,19 \text{ kBqm}^{-3}$, 4. örnekleme noktası için $2,75 \text{ kBqm}^{-3}$ ve 16 örnekleme noktası için $1,02 \text{ kBqm}^{-3}$ dir.

2. Grup Örnekleme Noktaları (Ortalamaya yakın olanlar);

5., 6., 7., 9., 10., 12., 13., 14., 15., 19., 20. ve 21. örnekleme noktaları bu grupta olup, bunların radon ortalama konsantrasyonları; 5. örnekleme noktası için $3,58 \text{ kbqm}^{-3}$, 6. örnekleme noktası için $4,88 \text{ kbqm}^{-3}$, 7. örnekleme noktası için $3,06 \text{ kbqm}^{-3}$, 9. örnekleme noktası için $4,99 \text{ kbqm}^{-3}$, 10. örnekleme noktası için $3,44 \text{ kbqm}^{-3}$, 12. örnekleme noktası için $4,99 \text{ kbqm}^{-3}$, 13. örnekleme noktası için $3,44 \text{ kbqm}^{-3}$, 14. örnekleme noktası için $3,73 \text{ kbqm}^{-3}$, 15. örnekleme noktası için $4,76 \text{ kbqm}^{-3}$, 19. örnekleme noktası için $2,83 \text{ kbqm}^{-3}$, 20. örnekleme noktası için $4,05 \text{ kbqm}^{-3}$ ve 21. örnekleme noktası için $3,62 \text{ kbqm}^{-3}$ dir.

3. Grup Örnekleme Noktasılar (Ortalamanın çok üzerinde olanlar);

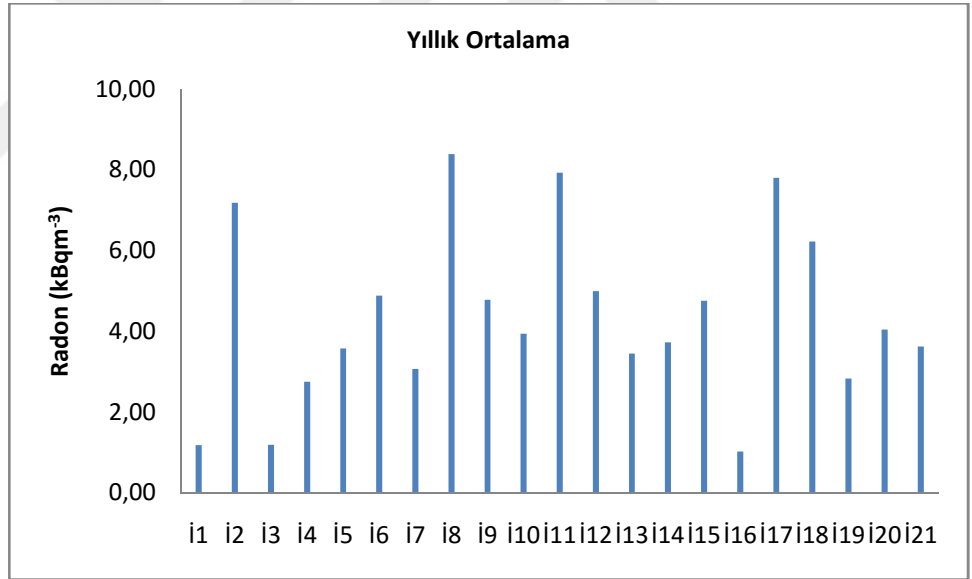
2., 8., 11., 17 ve 18. örnekleme noktaları bu grupta olup, bunların radon ortalama konsantrasyonları 2. örnekleme noktası için $7,18 \text{ kbqm}^{-3}$, 8. örnekleme noktası için $8,39 \text{ kbqm}^{-3}$, 11. örnekleme noktası için $7,93 \text{ kbqm}^{-3}$, 17 örnekleme noktası için $7,80 \text{ kbqm}^{-3}$ ve 18 örnekleme noktası için $6,22 \text{ kbqm}^{-3}$ dir.

8. 11., ve 17. örnekleme noktası çevresinde radon yoğunluğunun fazla olduğu şekil 4.4 ve şekil 4.5 de görülmektedir.

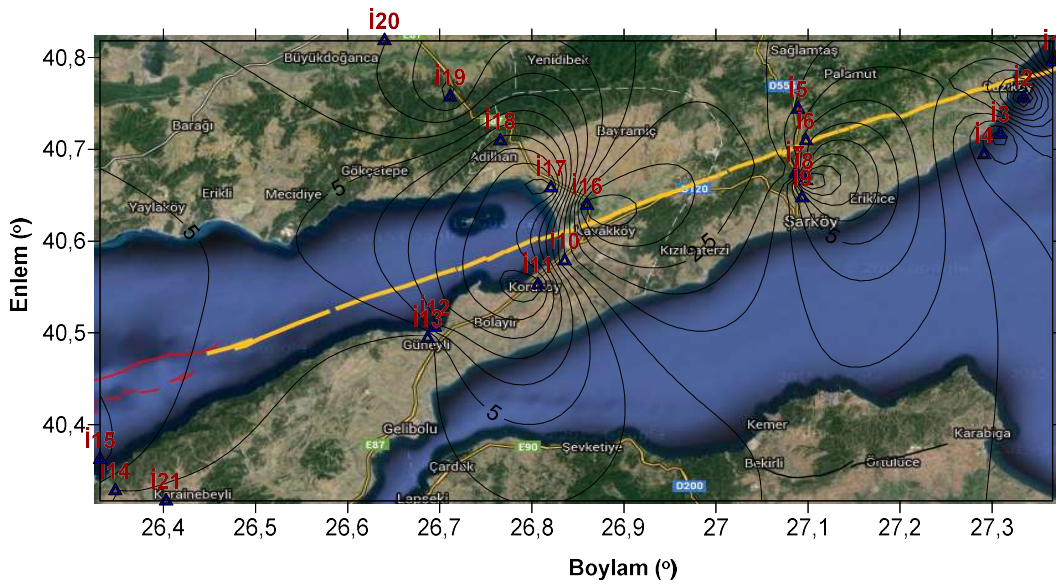
Radon konsantrasyonunun oldukça düşük olduğu hesaplanan 1., 3., 4. ve 16., örnekleme noktaları incelendiğinde 1., 3. ve 4. örnekleme noktalarının işlenmiş ve tarım yapılan topraklar olduğu görülmektedir. Toprak işlenirken ve ekim yapılırken toprak havalandırılmaktadır (Pulluklar aracıyla ile). Bu havalandırma esnasında topraktaki kapılar boşluk olarak isimlendirilen gözenek yolları karılıp

radon çıkışı azalmaktadır (İçhedef, 2011). Bu sebeple bu istasyonlardaki radon çıkışı az olmuş olabilir. 16. örnekleme ise Edirne-Çanakkale otoyolunun çok yakınına (1 metre uzaklığına) kurulmuştur. Yol yapım esnasında toprak üzeri çakıl taşları ve diğer materyallerle doldurulduğu için ve toprak seviyesinden yaklaşık 1,5 metre yükseklikte olduğu için bu örnekleme istasyonundaki radon yoğunluğu düşük seviyede çıkmış olabilir.

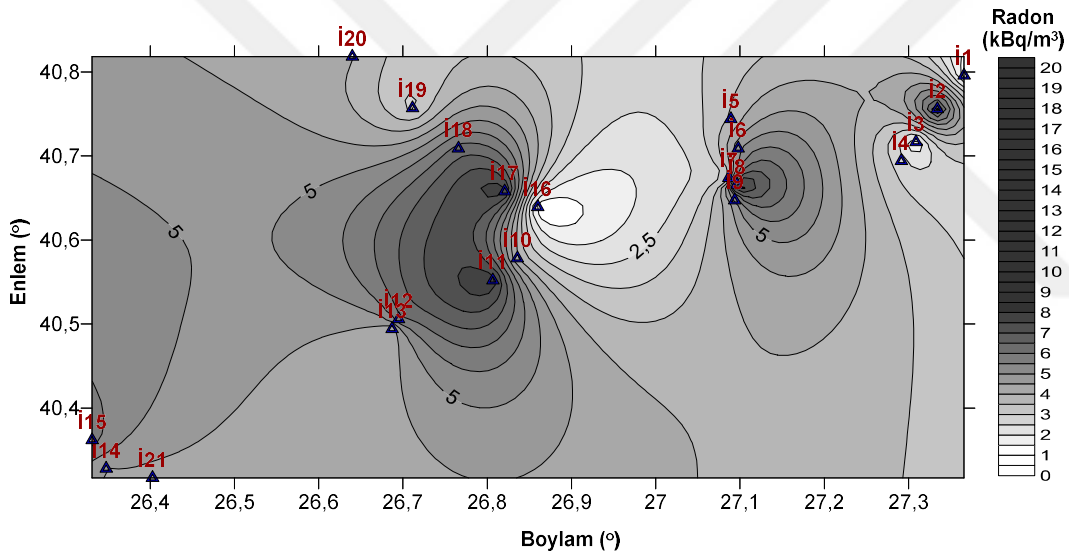
Radon konsantrasyon sonuçları ortalamanın çok üzerinde hesaplanan 2., 8., 11., 17., ve 18., örnekleme noktalarının ortak özelliği fay hattına oldukça yakın yerlerde olmasıdır (Şekil 4.14). Fay hattına oldukça yakın olan 7. ve 10. örnekleme noktalarında ortalama civarında çıkmıştır.



Şekil 4.3 Tüm Ölçüm Ortalamaların Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları

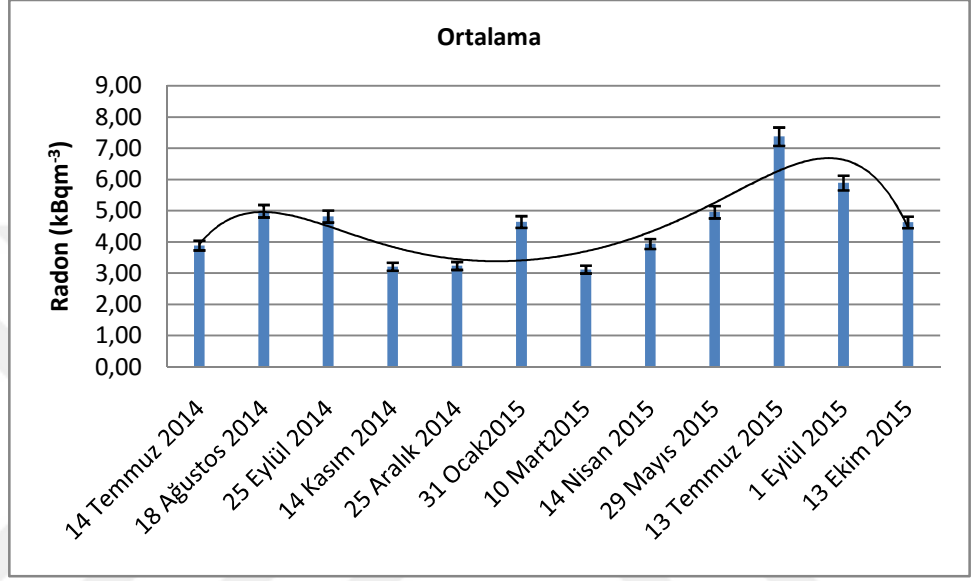


Şekil 4.4 Tüm Ölçüm Ortalamalarının Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



Şekil 4.5 Tüm Ölçüm Ortalamalarının Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

Radon konsantrasyonların zamana göre değerlendirilmesinde bölgenin tamamının ortalaması alındığında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $3,21 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Eylül 2014 ile 14 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $7,38 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Tüm Bölgenin Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

4.2. Bölgede Meydana Gelmiş Sismik Hareketler

Çalışmada kullanılan deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinden temin edilmiştir. Çalışma süresince hem Türkiye sınırları içerisinde, hem Ege Denizinde, hem de komşu ülkeler Yunanistan ve Bulgaristan sınırları içerisinde çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu deprem verisi içinden her istasyonu etkileyen depremler ayrı ayrı incelenmiştir. İstasyona göre deprem seçimi Dobroylski (1979) 'a göre yapılmıştır (Taşköprü, 2014).

Dobrovolsky ve arkadaşlarının 1979 yılında yapmış olduğu çalışmada radon çıkışlarını etkilediği depremlerin yarıçapı

$$R_D=10^{0,43M_l}$$

ifadesiyle bulunur.

Bu ifade yukarıda belirtilen depremlerin tamamına uygulandığında çalışma alanındaki örnekleme noktalarını etkilediği hesaplanan 13 deprem olduğu görülmüştür.

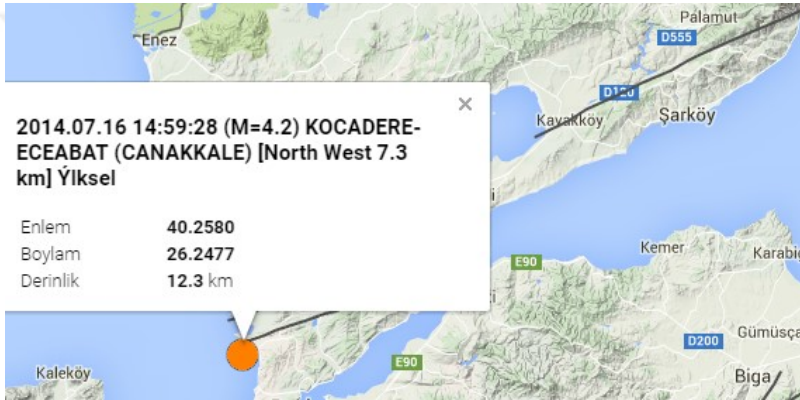
Yapılan bu çalışmada örnekleme noktaları arasındaki uzaklık çok fazla olduğu için bu 13 deprem tüm örnekleme noktalarını etkilememektedir. Depremlere göre etkilediği hesap edilen örnekleme noktaların listesi çizelge 4.2 de verilmiştir. örnekleme noktalarını etkilediği hesaplanan depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinin web sitesinden temin edilmiştir. Bu 13 depremlerin koordinatları ve parametreleri Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Çalışma Sürecinde Meydana Gelen Depremler ve Etkilediği Örneklem Noktaları

Tarih	Boylam	Enlem	Şiddeti	Kapsadığı Örneklem Noktaları
10.07.2014	26,255	40,429	4,3	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15,16,17,18,19,20,21
16.07.2014	26,247	40,258	4,2	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15,16,17,18,19,20,21
07.08.2014	26,362	40,478	3,3	12,13,14,15,21
12.08.2014	25,824	40,372	4,2	14,15,21
23.10.2014	27,394	40,736	3,4	1,2,3,4,5,6,7,8,9
27.10.2014	26,160	40,414	3,1	12,13,14,15,21
06.12.2014	26,405	40,492	3,5	12,13,14,15,21
16.12.2014	27,083	40,149	4,4	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15,16,17,18,19,20,21
26.12.2014	26,092	40,415	3,2	14,15,21
01.02.2015	27,712	40,497	3,5	1,2,3,4,5,6,7,8,9
02.02.2015	26,056	40,341	4,1	10,11,12,13,14,15,21
06.02.2015	26,058	40,355	3,2	14,15,21
24.07.2015	26,226	40,281	4,8 4,5 4,4 3,3 3,0	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15,16,17,18,19,20,21 (Birbirlerine çok yakın koordinatlarda aynı günde 5 deprem meydana gelmiştir. Grafik çizimlerinde en büyüğü olan 4,8 gösterilmiştir.)



Şekil 4.7 10 Temmuz 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



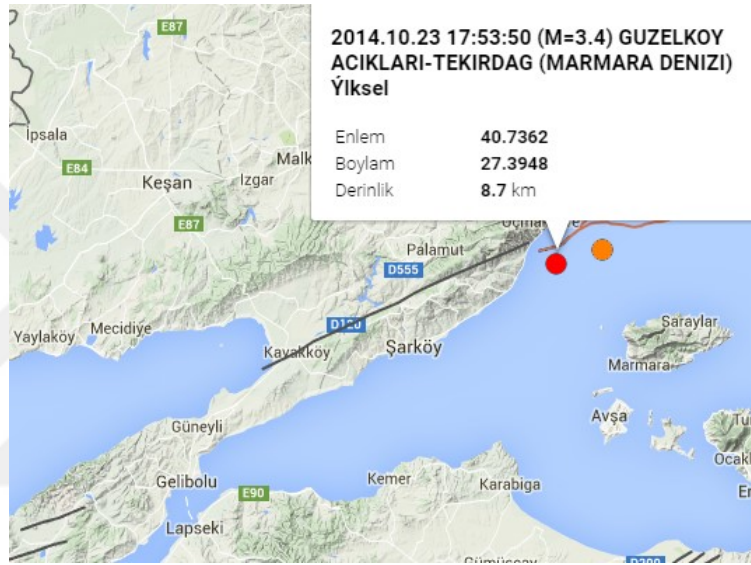
Şekil 4.8 16 Temmuz 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.9 07 Ağustos 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.10 12 Ağustos 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



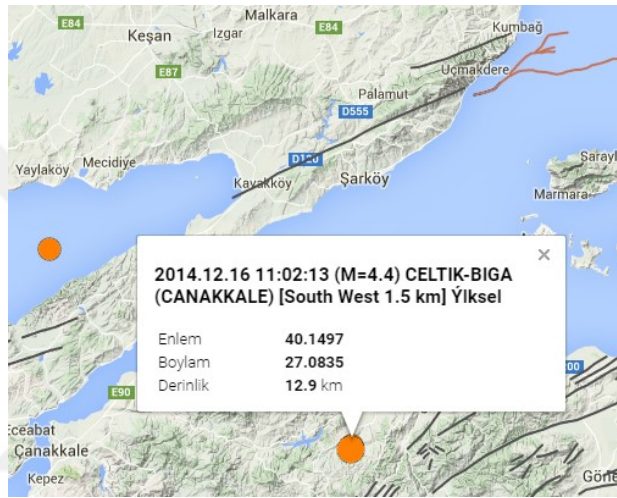
Şekil 4.11 23 Ekim 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



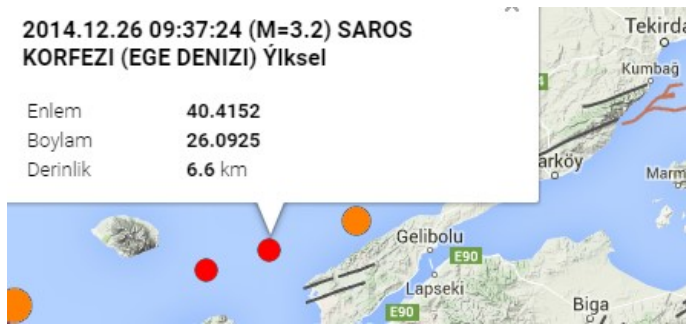
Şekil 4.12 27 Ekim 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.13 06 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.14 16 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.15 26 Aralık 2014 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.16 01 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.17 02 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



Şekil 4.18 06 Şubat 2015 de Bölgede Meydana Gelen Deprem



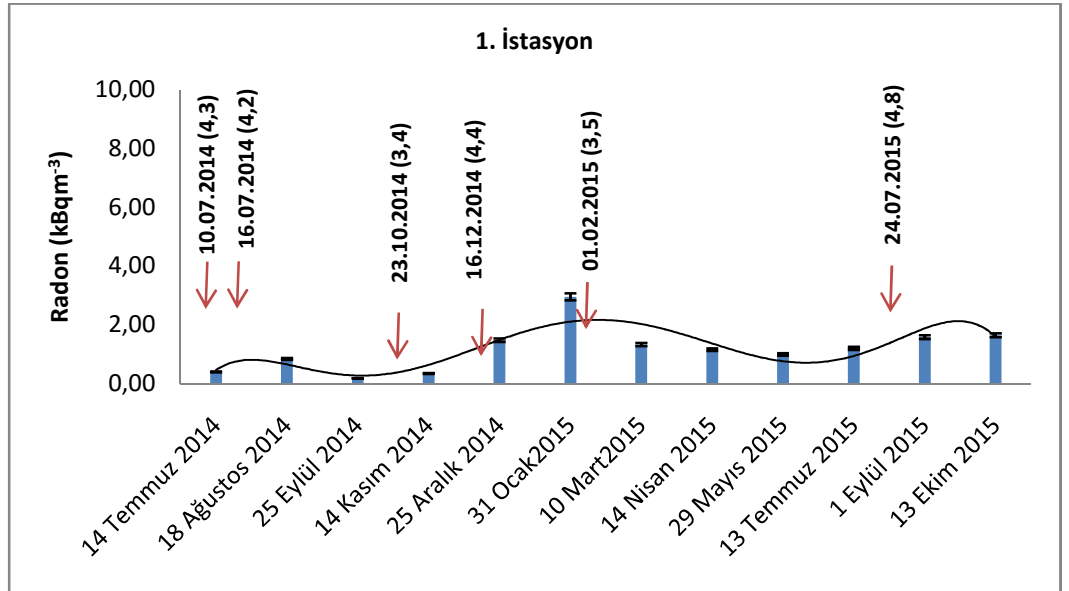
Şekil 4.19 24 Temmuz 2015 de Bölgede Meydana Gelen Depremler

4.3. İstasyonlara Göre Sismik Aktivite ile Radon Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

1. Örneklem İstasyonu

1. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,18 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $2,96 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $1,18 \pm 0,21 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.20).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. 23.10.2014 tarihindeki 3,4 şiddetindeki deprem ile 01.02.2014 tarihinde meydana gelen 3,5 şiddetindeki deprem bu örneklem noktasına en yakın olan iki depremlerdir. etkilediği düşünülen diğer 4 deprem bu örneklem noktasına oldukça uzaktadır. Özellikle 01.02.2014 tarihinde meydana gelen depremden önceki radon konsantrasyonundaki artış oldukça anlamlı olup örneklem noktasında kaydedilen en yüksek radon konsantrasyonuna sahiptir.



Şekil 4.20 1. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

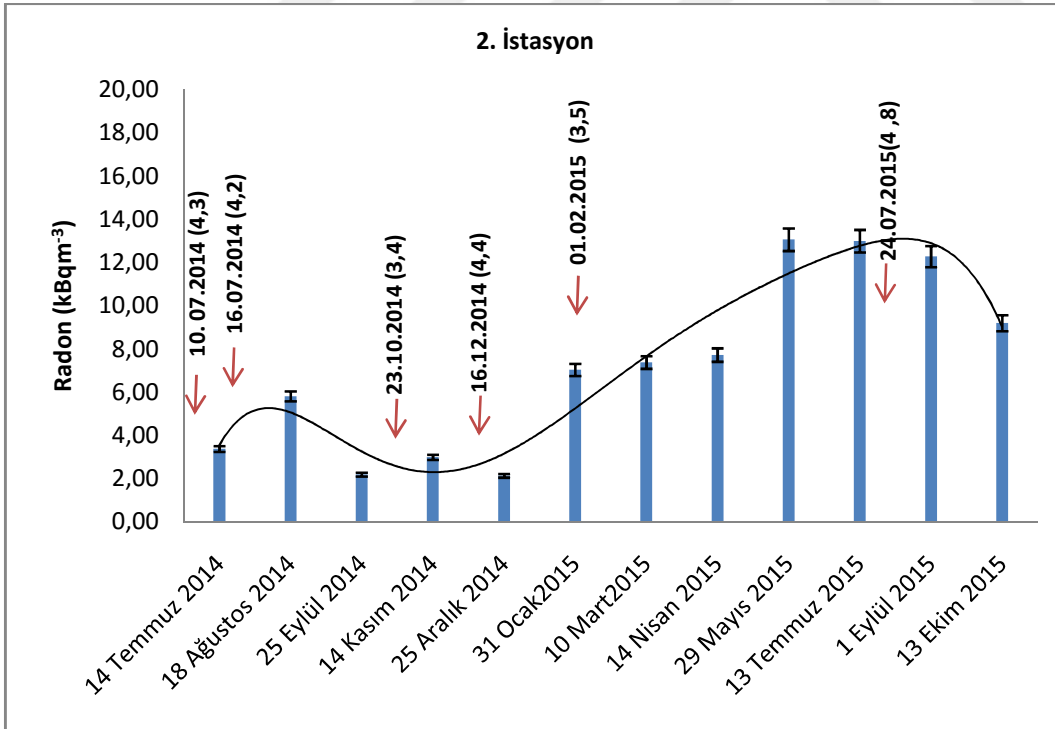
2. Örneklem Noktası

2. Örneklem Noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $2,14 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 14 Kasım 2014 ile 25 Aralık 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $13,06 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 14 Nisan 2015 ile 29 Mayıs 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $7,18 \pm 1,17 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.21).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. 23.10.2014 tarihindeki 3,4 şiddetindeki deprem ile 01.02.2015 tarihinde meydana gelen 3,5 şiddetindeki deprem bu örneklem Noktasına en yakın olan iki depremlerdir.

Bölgede meydana gelen diğer 4 deprem bu örneklem noktasına oldukça uzaktadır.

Özellikle 01.02.2015 tarihinde meydana gelen depremden önceki radon konsantrasyonundaki artış bir önceki ölçüme göre oldukça fazladır.



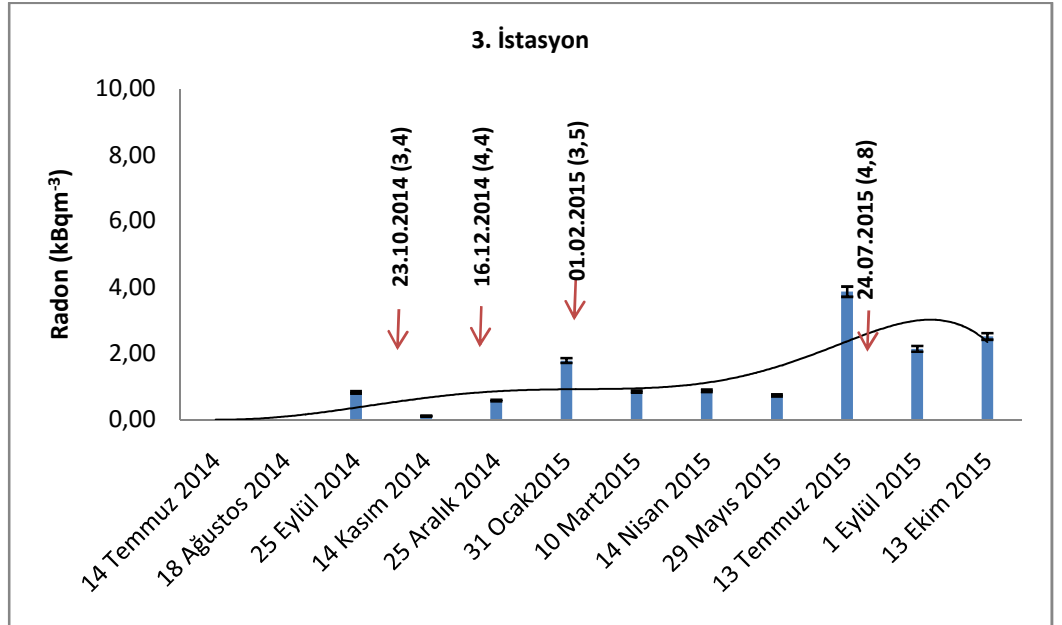
Şekil 4.21 2. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

3. Örneklem Noktası

3. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,11 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Eylül 2014 ile 14 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $3,77 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $1,19 \pm 0,34 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.22).

Çalışma süresinde bu bölgede 4 deprem meydana gelmiştir. 23.10.2014 tarihindeki 3,4 şiddetindeki deprem ile 01.02.2015 tarihinde meydana gelen 3,5 şiddetindeki deprem bu örneklem noktasına en yakın olan iki depremlerdir.

Bölgede meydana gelen diğer 2 deprem bu örneklem noktasına oldukça uzaktır. 23.10.2014, 01.02.2014 ve bölgedeki en şiddetli deprem olan 24.07.2015 tarihindeki deprem öncelerinde radon konsantrasyonlarındaki artış oldukça anlamlıdır

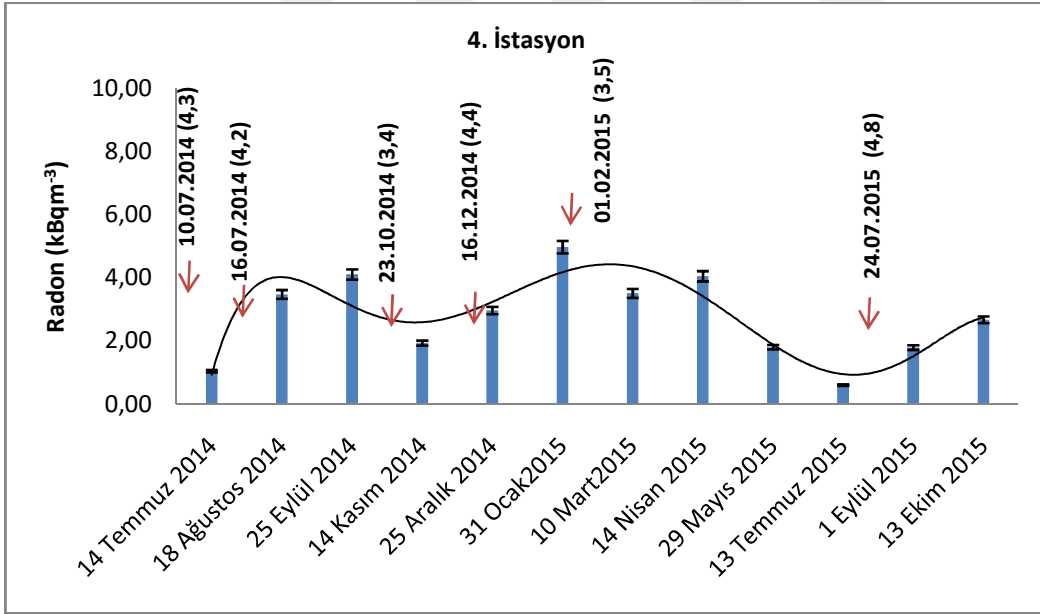


Şekil 4.22 3. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

4. Örneklem Noktası

4. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,60 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $4,98 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $2,75 \pm 0,39 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.23).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. 23.10.2014 tarihindeki 3,4 şiddetindeki deprem ile 01.02.2015 tarihinde meydana gelen 3,5 şiddetindeki deprem bu örneklem noktasına en yakın olan iki depremlerdir. Bu iki deprem öncesindeki radon konsantrasyonlarındaki artış oldukça anlamlıdır.



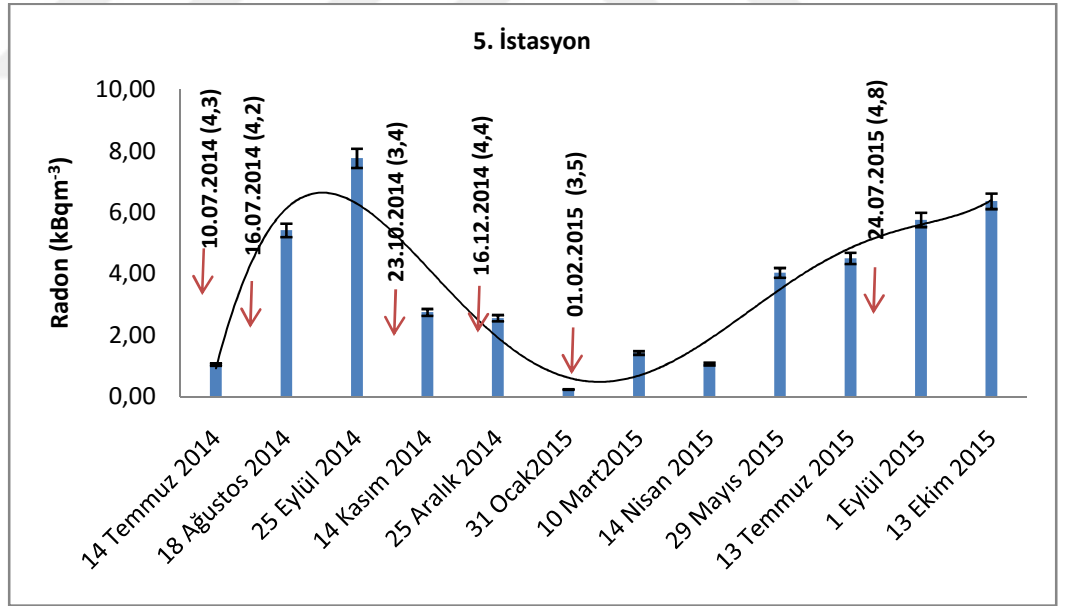
Şekil 4.23 4. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

5. Örneklem Noktası

5. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,23 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $7,77 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,58 \pm 0,70 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.24).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. Etkilediği hesaplanan bu 6 depremin meydana geldikleri yerler bu örneklem noktasına oldukça uzaktır.

Bu örneklem noktasındaki radon konsantrasyon eğilimlerine bakıldığında kış aylarında konsantrasyon azalırken yaz aylarındaki radon konsantrasyonu arttığı görülmektedir.

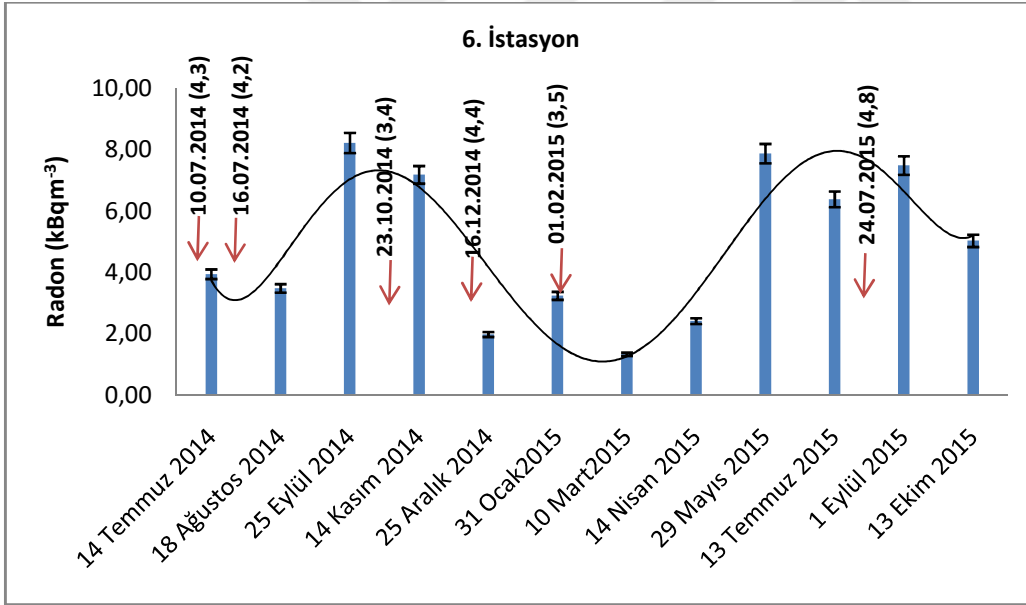


Şekil 4.24 5. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

6. Örnekleme İstasyonu

6. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $1,33 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 31 Ocak 2015 ile 10 Mart 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $8,22 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örnekleme noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $4,88 \pm 0,071 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.25).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. Bu örnekleme noktasında kış aylarındaki radon konsantrasyonları azalırken yaz aylarındaki radon konsantrasyonunun artışı Şekil 4.21 de görülmektedir.

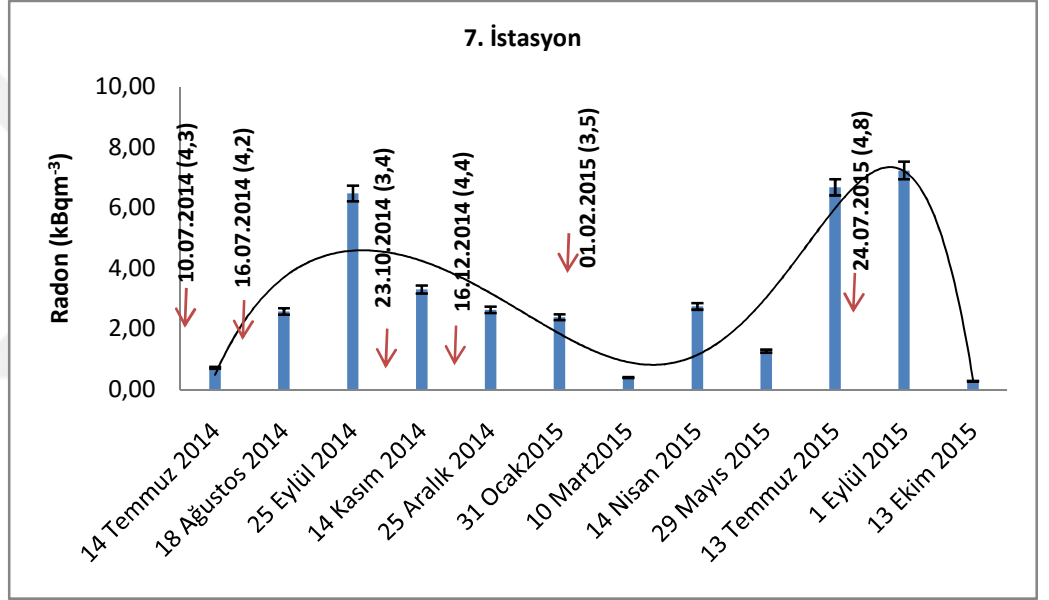


Şekil 4.25 6. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

7. Örneklem Noktası

7. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,28 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 1 Eylül 2015 ile 13 Ekim 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $7,24 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 13 Temmuz 2015 ile 13 Ekim 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,06 \pm 0,71 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.26).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir.

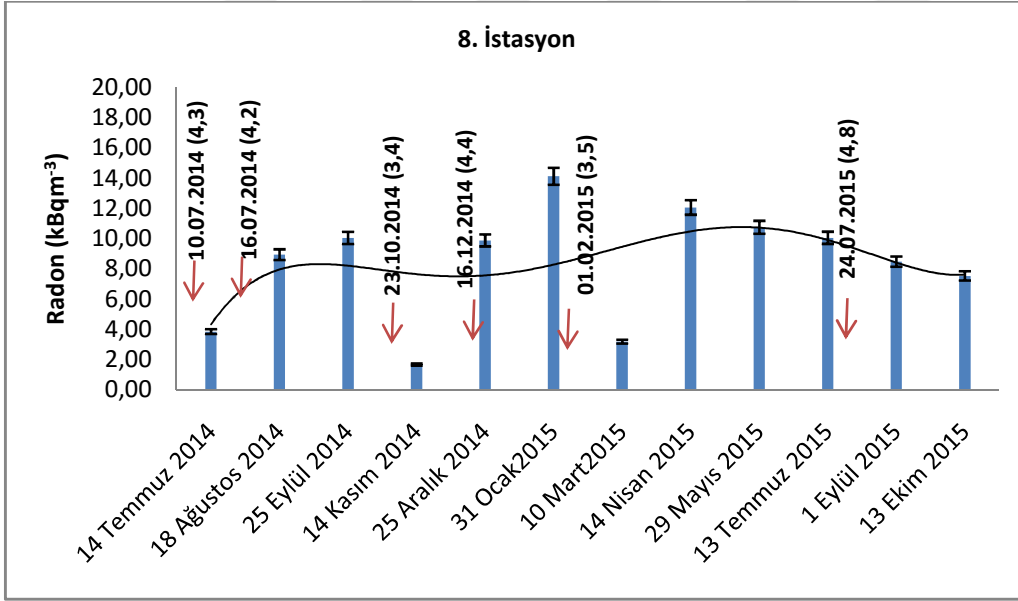


Şekil 4.26 7. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

8. Örneklem İstasyonu

8. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $1,69 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Eylül 2014 ile 14 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $14,13 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $8,39 \pm 1,07 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.27).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. Kış ayında olmasına rağmen 01.02.2015 tarihinden hemen öncesindeki radon konsantrasyonundaki artışın depremden etkilendiği düşünülebilir.

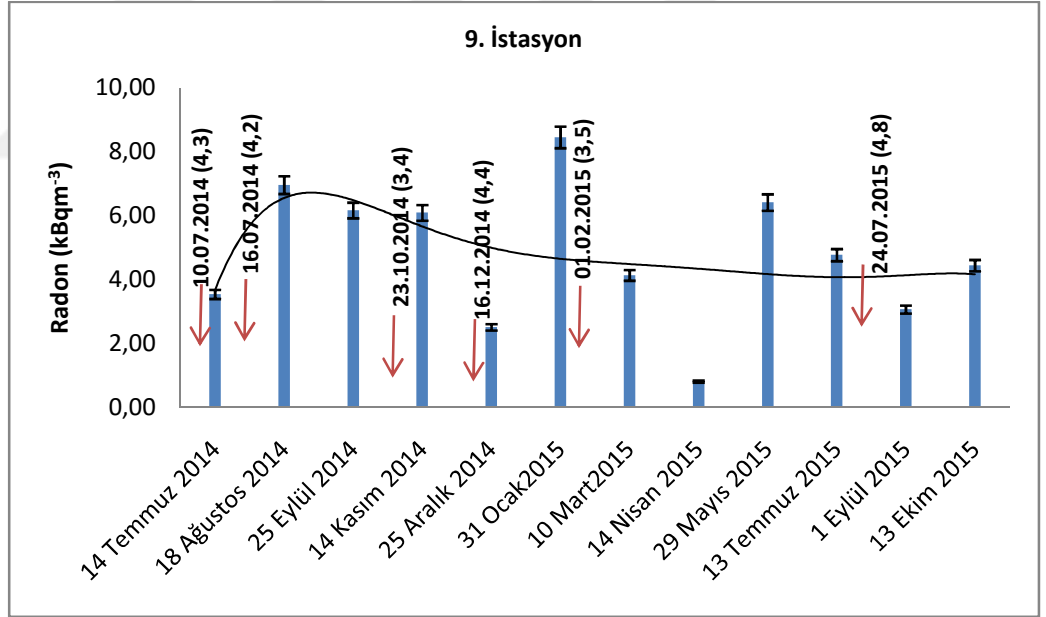


Şekil 4.27 8. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

9. Örneklem Noktası

9. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,82 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 10 Mart 2015 ile 14 Nisan 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $8,85 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $4,78 \pm 0,61 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.28).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir. Kış aylarında olmasına rağmen 01.02.2015 tarihinde meydana gelen 3,5 şiddetindeki depremden önceki ölçümdeki radon konsantrasyonun tüm ölçüm zamanına göre en yüksek olması bu depremin örneklem noktasındaki radon konsantrasyonunu artırdığı düşünülebilir.

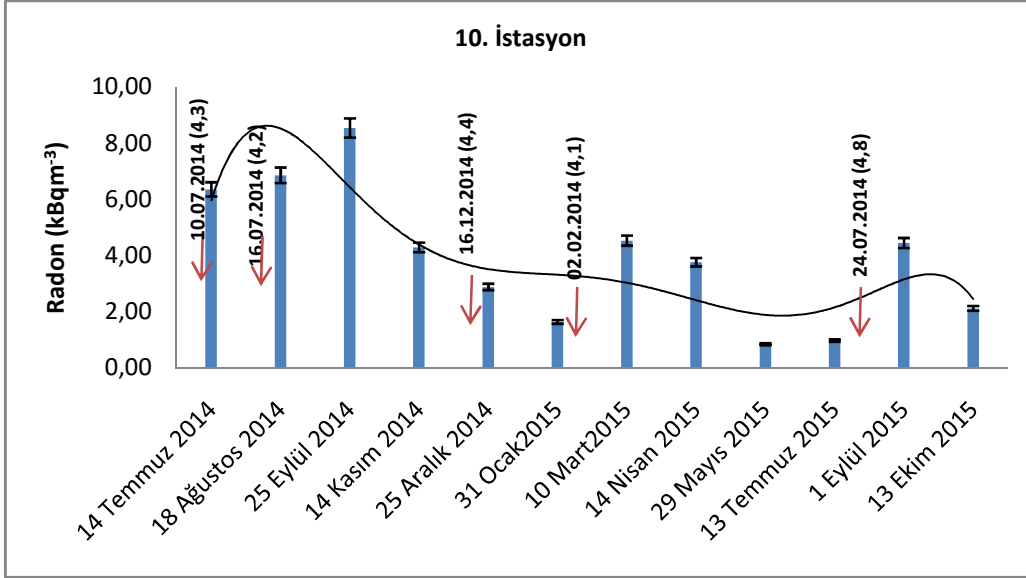


Şekil 4.28 9. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

10. Örnekleme Noktası

10. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,85 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 14 Nisan ile 29 Mayıs 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $8,50 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örnekleme Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,94 \pm 0,70 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.29).

Çalışma süresinde bölgede 5 deprem meydana gelmiştir.

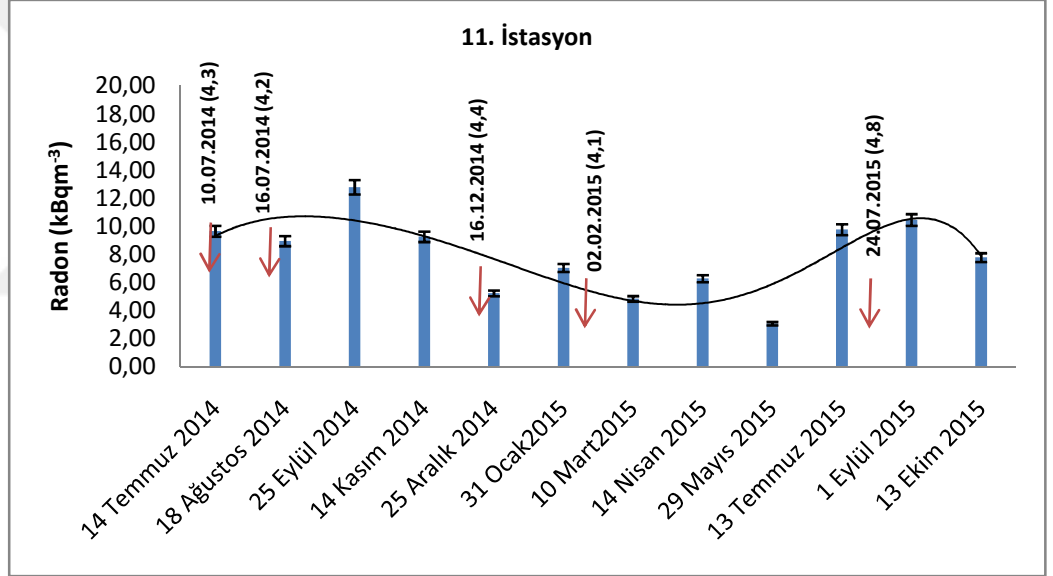


Şekil 4.29 10. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

11. Örneklem Noktası

11. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $3,07 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 14 Nisan ile 29 Mayıs 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $12,79 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örneklem noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $7,93 \pm 0,80 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.30).

Çalışma süresinde bölgede 6 deprem meydana gelmiştir.

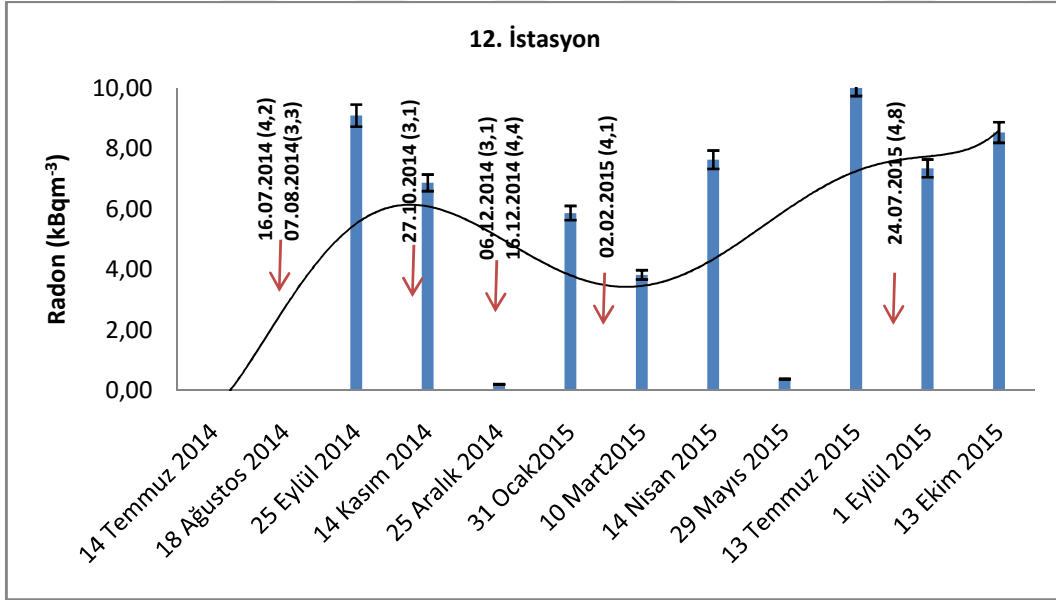


Şekil 4.30 11. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

12. Örnekleme Noktası

12. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,21 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 14 Nisan ile 29 Mayıs 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $10,14 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örnekleme noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $4,99 \pm 1,12 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.31).

Çalışma süresince bölgede 7 deprem meydana gelmiştir. Bu 7 deprem arasında hem yakınlık olarak bakıldığında oldukça yakın hem de şiddet olarak bakıldığında en fazla şiddete sahip olan 24.07.2015 tarihinde meydana gelen 4,8 şiddetindeki deprem öncesindeki radon konsantrasyonundaki artış Şekil 4.27 de görülmektedir. 4,8 şiddetindeki bu depremin radon konsantrasyonundaki artışın sebebi olarak düşünülebilir.

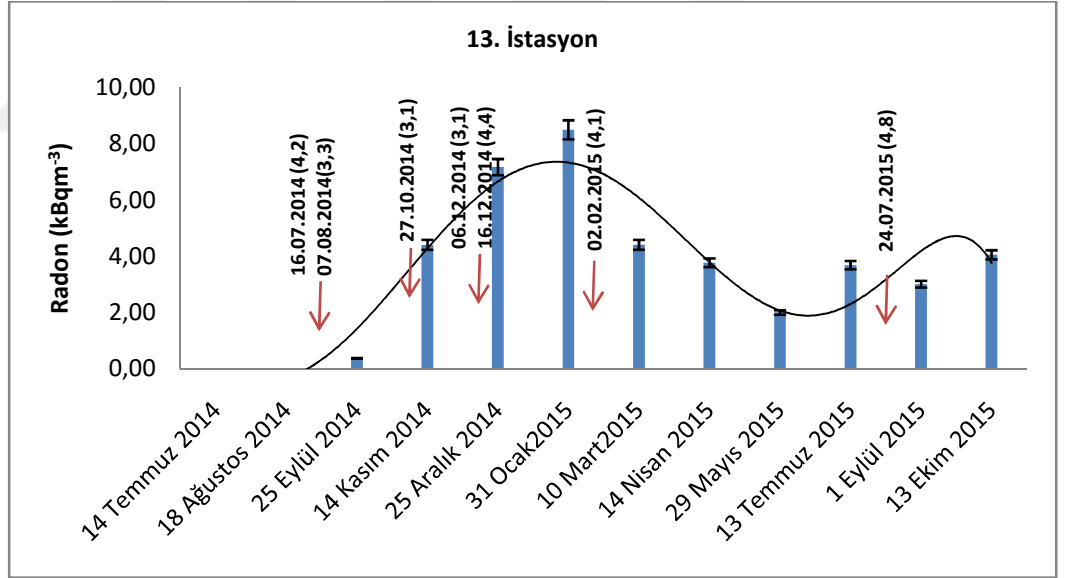


Şekil 4.31 12. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

13. Örnekleme İstasyonu

13. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,37 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $8,50 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 25 Aralık 2014 ile 31 Eylül 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örnekleme noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,44 \pm 0,76 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.32).

Çalışma süresinde bölgede 5 deprem meydana gelmiştir. Kış aylarında olmasına rağmen 01.02.2015 tarihindeki 4,1 şiddetindeki deprem öncesindeki radon konsantrasyonun diğer ölçümlere göre en yüksek olması (Şekil 4.28) depremin radon konsantrasyonun artırdığı düşünülebilir.

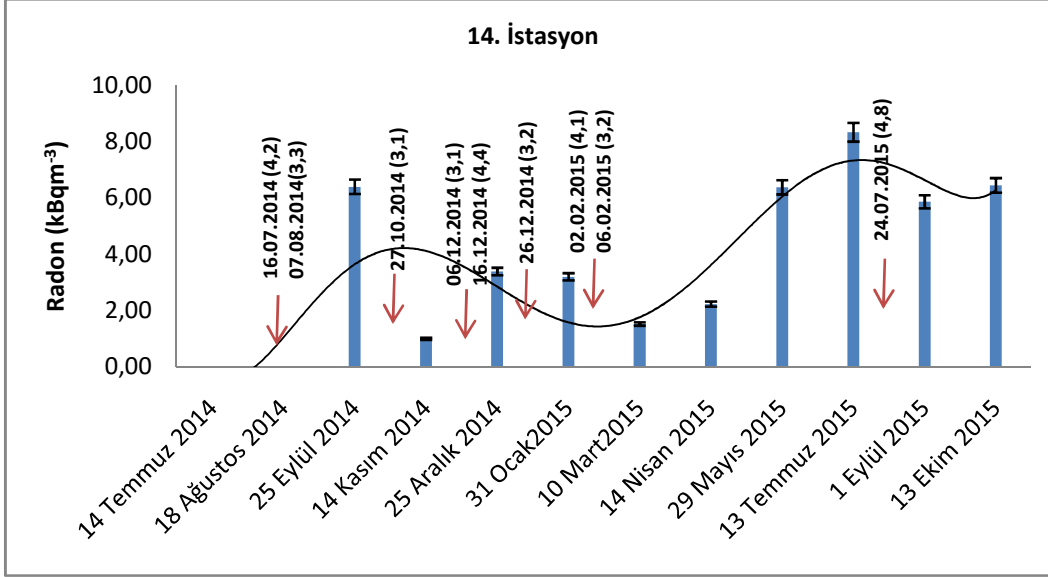


Şekil 4.32 13. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

14. Örneklem Noktası

14. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,99 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Eylül 2014 ile 14 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $8,34 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,73 \pm 0,82 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.33).

Çalışma süresinde bölgede 9 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin içindeki 24.07.2015 tarihinde meydana gelen 4,8 şiddetindeki öncesindeki radon konsantrasyonun artışı depremin bu örneklem noktasındaki radon konsantrasyonunu artırdığı düşünülebilir.

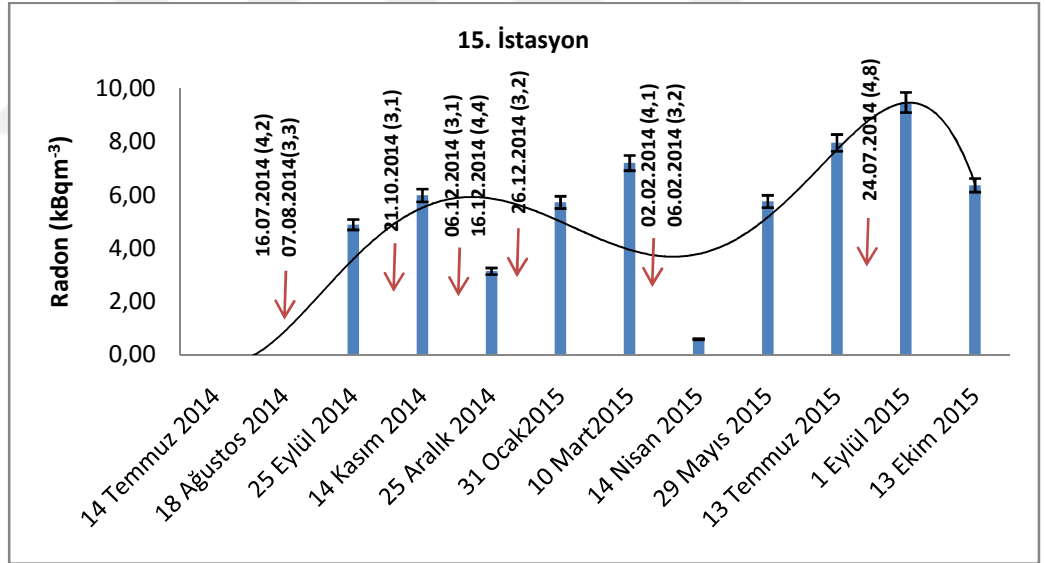


Şekil 4.33 14. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

15. Örneklem İstasyonu

15. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,58 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 10 Mart 2015 ile 14 Nisan 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $9,49 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 13 Temmuz 2015 ile 1 Eylül 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $4,76 \pm 0,91 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.34).

Çalışma süresinde bölgede hesaplanan 9 deprem meydana gelmiştir.



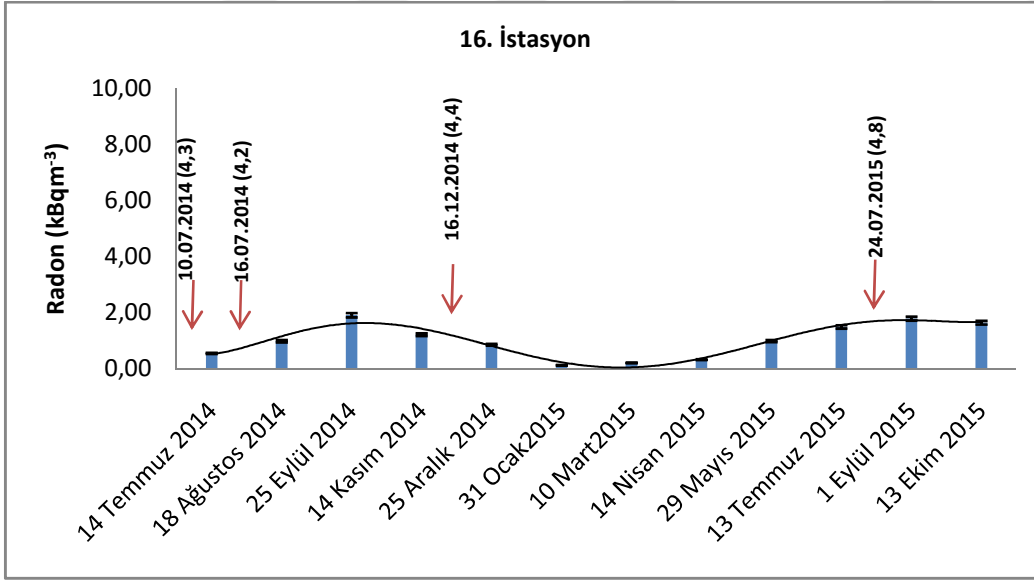
Şekil 4.34 15. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

16. Örnekleme İstasyonu

16. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,14 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Aralık 2014 ile 31 Ocak 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $1,92 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örnekleme Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $1,02 \pm 0,17 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.35).

Çalışma süresinde bölgede 4 deprem meydana gelmiştir.

Radon konsantrasyonu bu istasyon için kış aylarında düşük iken yaz aylarından yüksek çıkmıştır. Bu istasyonun radon konsantrasyonu ile deprem arasında herhangi bir olmadığı düşünülebilir.

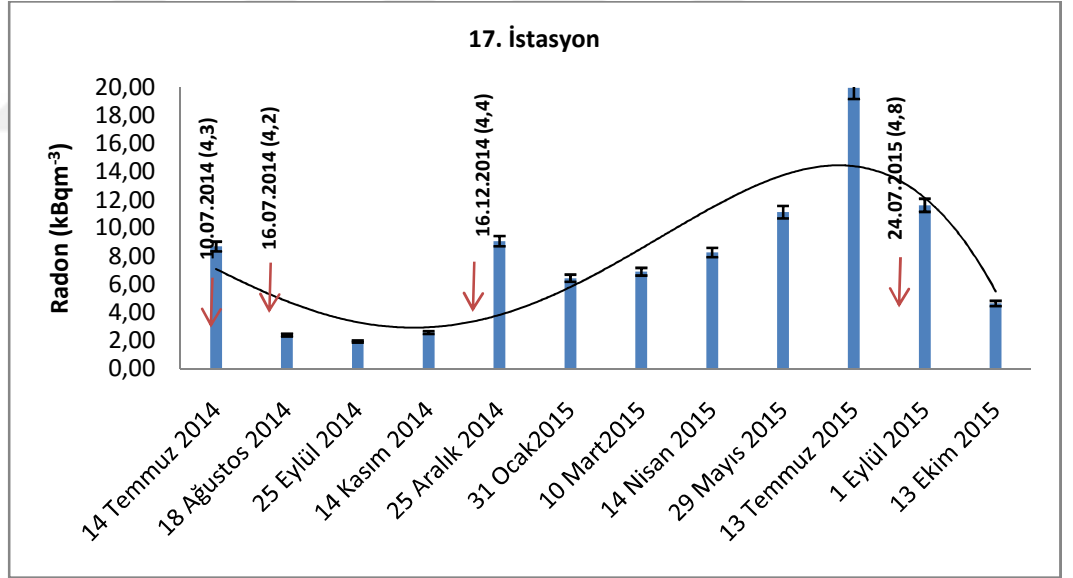


Şekil 4.35 16. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

17. Örneklem İstasyonu

17. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $1,92 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $19,98 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $7,80 \pm 3,70 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.36).

Çalışma süresinde bölgede 4 deprem meydana gelmiştir. Bu dört deprem arasından özellikle 24.07.2015 tarihinde meydana gelen 4,8 deprem öncesindeki radon konsantrasyonundaki artışın depremden etkilenmesinden kaynaklanıyor olabilir.

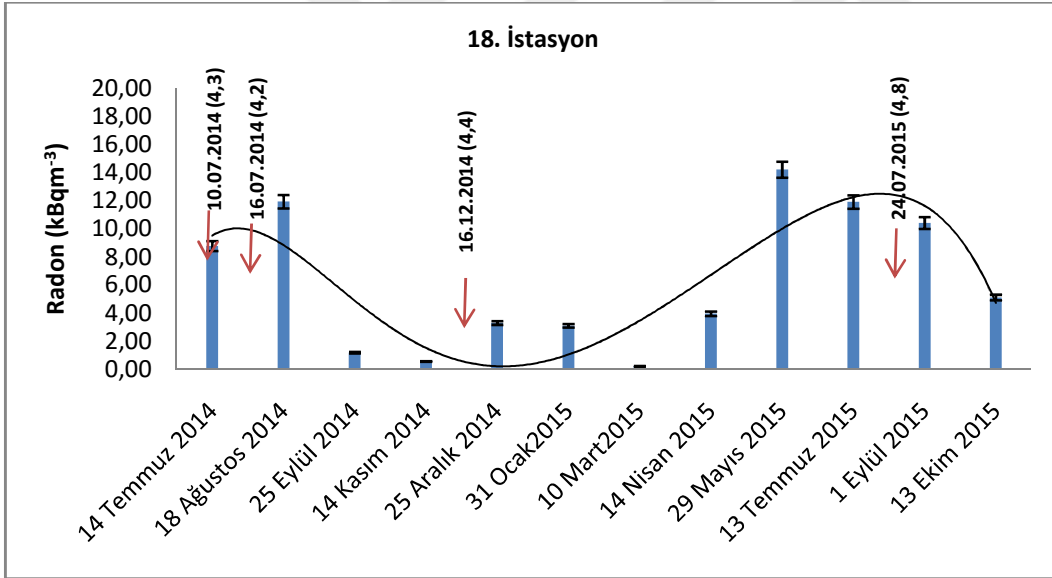


Şekil 4.36 17. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

18. Örnekleme İstasyonu

18. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,56 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 31 Ocak 2015 ile 10 Mart 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $14,21 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 14 Nisan 2015 ile 29 Mayıs 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örnekleme noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $6,22 \pm 1,43 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.37).

Çalışma süresinde bu bölgede 4 deprem meydana gelmiştir. Bu istasyonda şekil 4.33 incelendiğinde kış aylarında radon konsantrasyonu oldukça düşük iken yaz aylarındaki radon konsantrasyonları oldukça yüksektir.



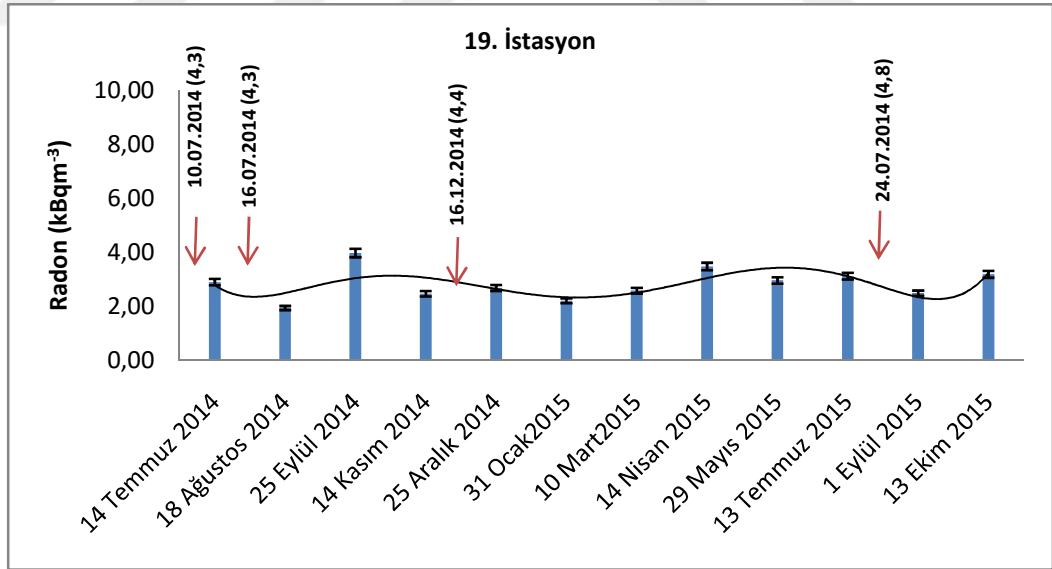
Şekil 4.37 18. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

19. Örneklem Noktası

19. Örneklem noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $1,94 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 14 Temmuz 2014 ile 18 Ağustos 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $3,97 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 18 Ağustos 2014 ile 25 Eylül 2014 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örneklem Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $2,83 \pm 0,16 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.38).

Çalışma süresinde bu bölgede 4 deprem meydana gelmiştir.

Bu örneklem noktasında ölçümler arasındaki radon konsantrasyondaki değişim oldukça azdır. Bu değişim hem yaz ayları ve kış aylarına göre olan değişim çok azdır. hemde deprem öncesi ve sonrasındaki değişim oldukça azdır.

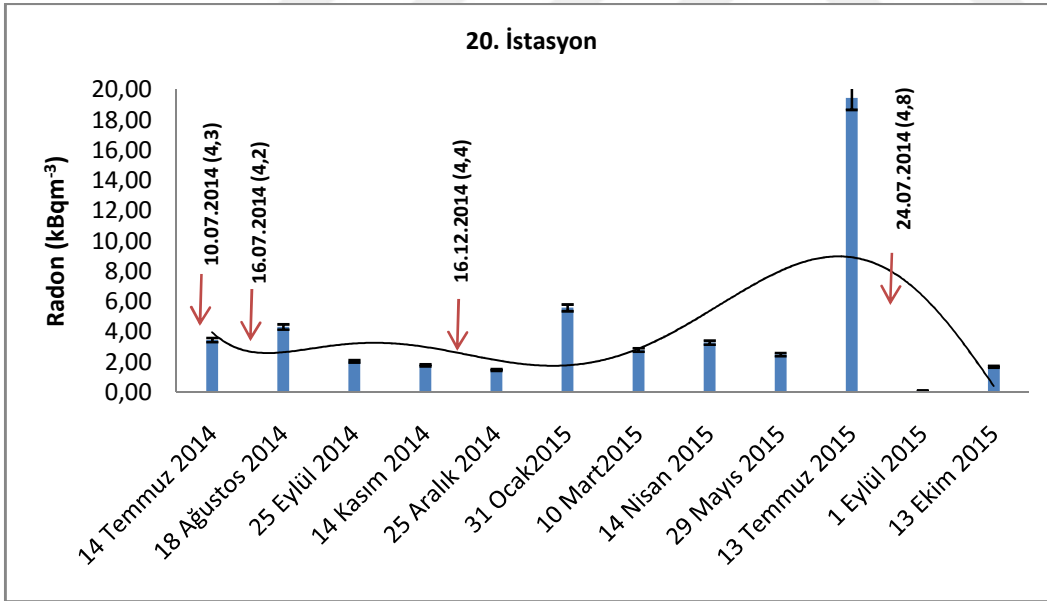


Şekil 4.38 19. Örneklem Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

20. Örnekleme Noktası

20. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,10 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 13 Temmuz 2015 ile 1 Eylül 2015 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $19,46 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu Örnekleme Noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $4,05 \pm 1,46 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.39).

Çalışma süresinde bu bölgede 4 deprem meydana gelmiştir. Bu örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonları sürekli olarak 3 kBqm^{-3} ile 4 kBqm^{-3} seviyesinde çıkarken (1. ölçüm, 2. ölçüm, 3.ölçüm, 4. ölçüm, 5. ölçüm, 6. ölçüm, 7. ölçüm, 8. ölçüm, 9. ölçüm, 11. ölçüm ve 12. ölçüm) 10. ölçümde bu değerlerden aşırı yüksek bir radon konsantrasyonu çıkmıştır (Şekil 4.39).



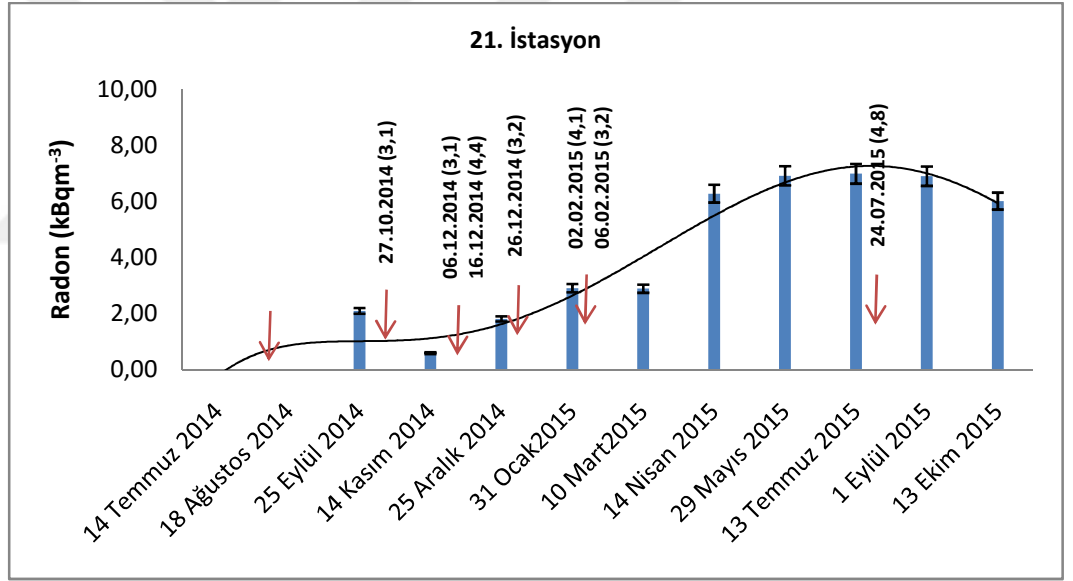
Şekil 4.39 20. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

21. Örnekleme Noktası

21. Örnekleme noktasında ölçülen en düşük radon konsantrasyon değeri $0,60 \text{ kBqm}^{-3}$ olup bu ölçüm 25 Eylül 2014 ile 14 Kasım 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. En yüksek radon konsantrasyon değeri ise $6,99 \text{ kBqm}^{-3}$ olup 29 Mayıs 2015 ile 13 Temmuz 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu örnekleme noktasındaki yıllık ortalama radon konsantrasyonu $3,62 \pm 0,81 \text{ kBqm}^{-3}$ dir (Şekil 4.40).

Çalışma süresinde bölgede 7 deprem meydana gelmiştir.

Bu örnekleme noktasında kış aylarında radon konsantrasyonu düşük çıkarken yaz aylarındaki radon konsantrasyonları yüksek çıkmaktadır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40 21. Örnekleme Noktasının Zamana Göre Radon Konsantrasyonları

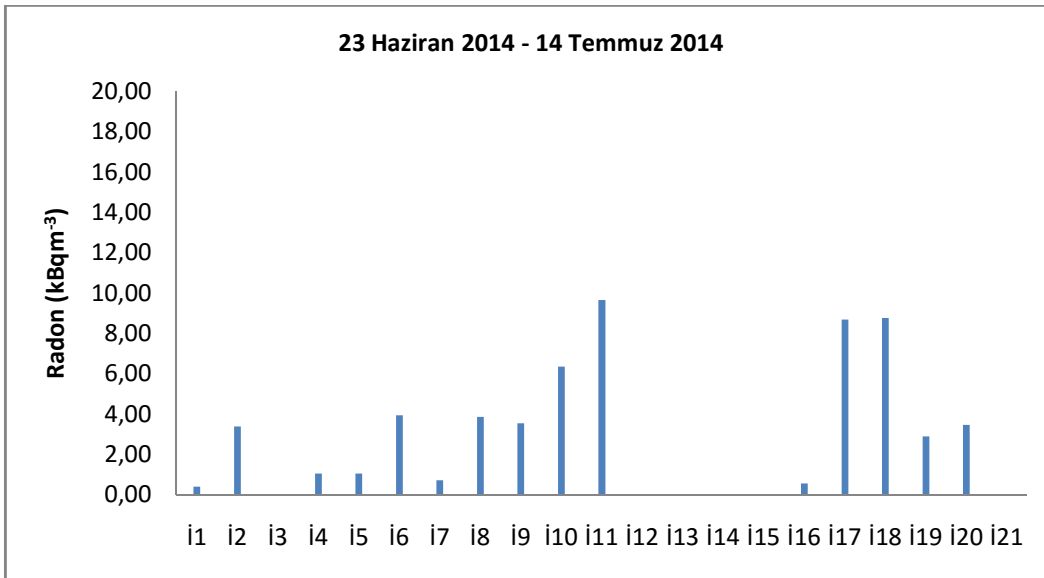
4.4. Ölçüm Zamanlarına Göre Sismik Aktivite ile Radon Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

1. Ölçüm (23 Haziran 2014 -14 Temmuz2014)

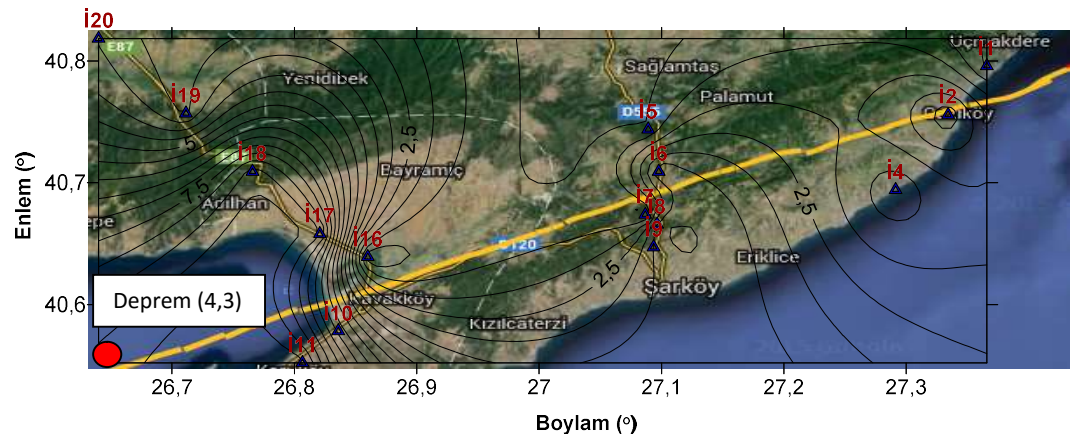
1. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $3,89 \pm 0,68$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 1. ölçüm sonucunda 11. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $9,66$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 1. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,40$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.41).

Bu ölçüm esnasında 3,12,13,14,15 ve 21 örnekleme noktalarındaki detektörlere ulaşılammıştır. Dolayısıyla grafikteki değerleri 0 olarak görülmektedir.

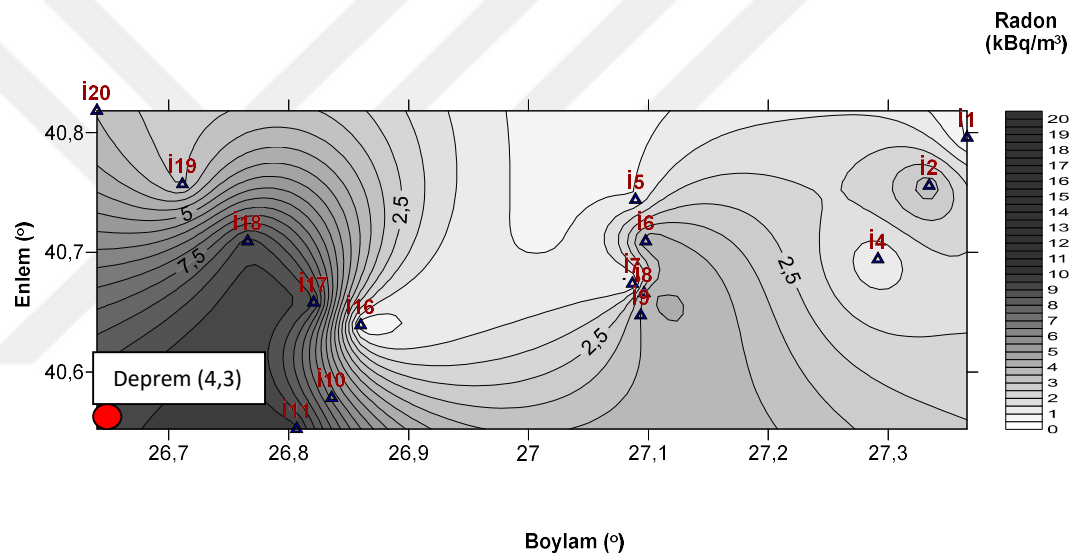
Birbirlerine yakın bölgelerde olan 10., 11., 17. ve 18. örnekleme noktası çevresindeki radon konsantrasyonunun diğer örnekleme noktalarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43). Ölçüm tarihleri arasında radon konsantrasyonun yüksek olduğu bu bölge yakınındaki 4,3 şiddetinde deprem meydana gelmiştir. Depremin olması bu bölgedeki radon konsantrasyonunu artırdığını söylenebilir.



Şekil 4.41 1. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.42 1. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



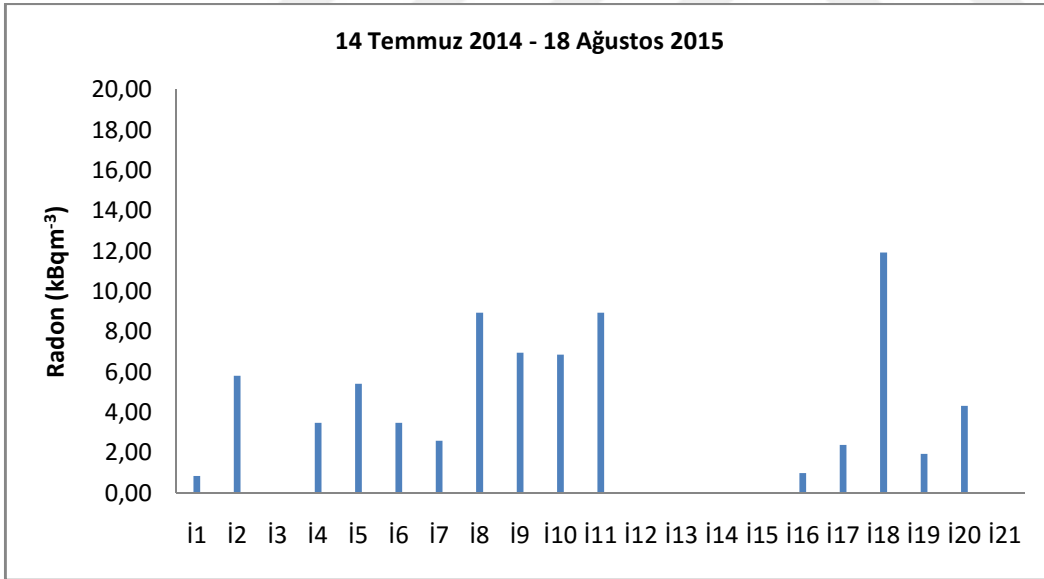
Şekil 4.43 1. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

2. Ölçüm (14 Temmuz 2014 - 18 Ağustos 2014)

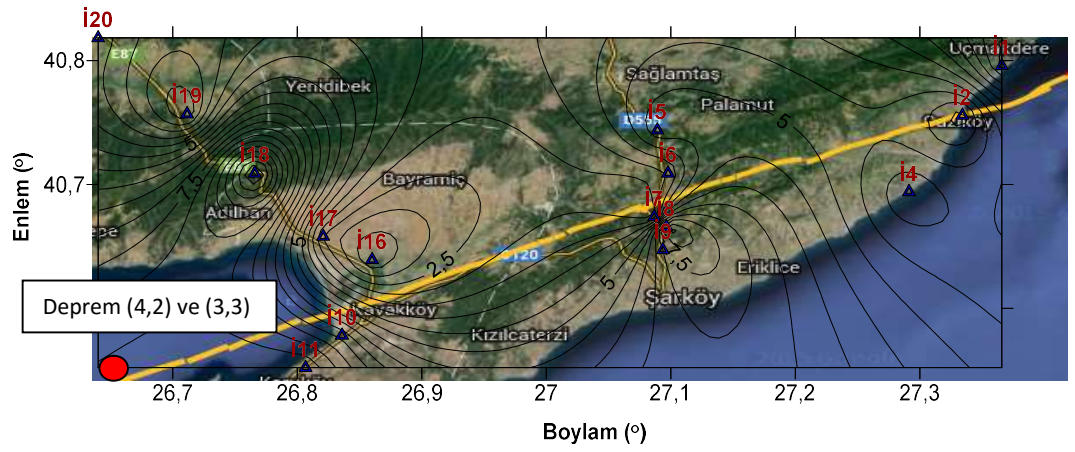
2. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $4,99 \pm 0,71$ kBqm^{-3} olarak hesaplanmıştır. 2. ölçüm sonucunda 18. örnekleme Noktasındaki radon konsantrasyonun $11,93$ kBqm^{-3} ile en yüksek değer 1. Örnekleme Noktasındaki radon konsantrasyonu $0,85$ kBqm^{-3} ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.44).

Bu ölçüm esnasında 3,12,13,14,15 ve 21 örnekleme noktalarındaki detektörlere ulaşılammıştır. Dolayısıyla grafikteki değerleri 0 olarak görülmektedir.

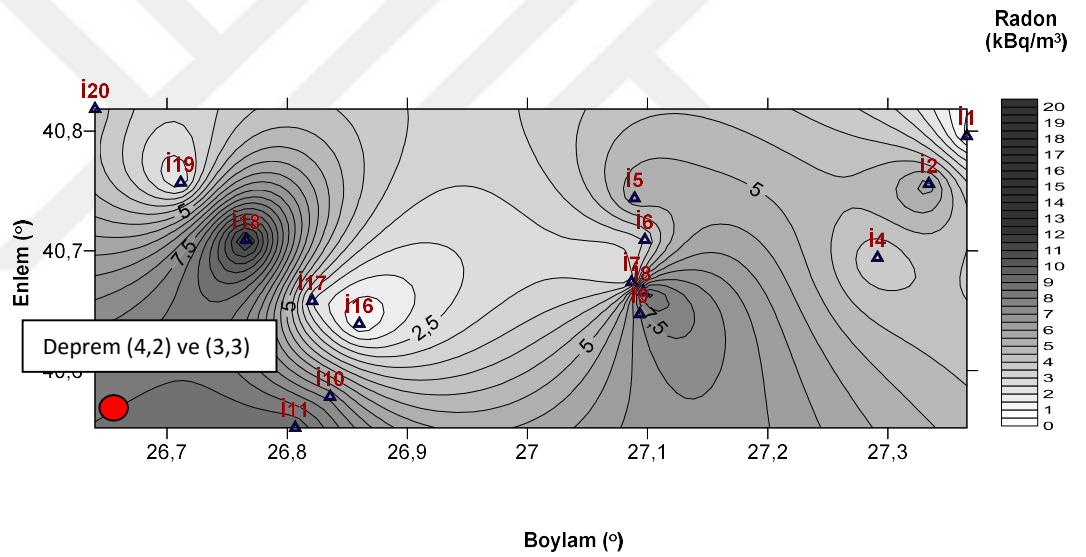
Ölçüm süresince bölgede 4,2 ve 3,3 şiddetinde iki deprem meydana gelmiştir (Şekil 4.45). Depremi olduğu bölgeye yakın olan 10., 11. ve 18. Örnekleme Noktalarındaki radon konsantrasyonu diğer örnekleme noktalarından daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4.44 ve Şekil 4.46).



Şekil 4.44 2. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.45 2. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)

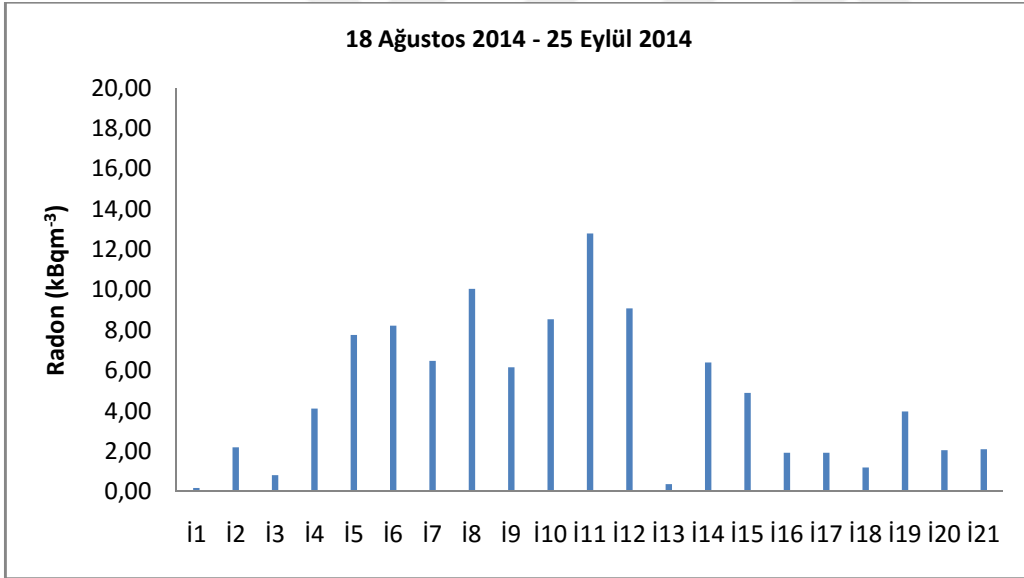


Şekil 4.46 1. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

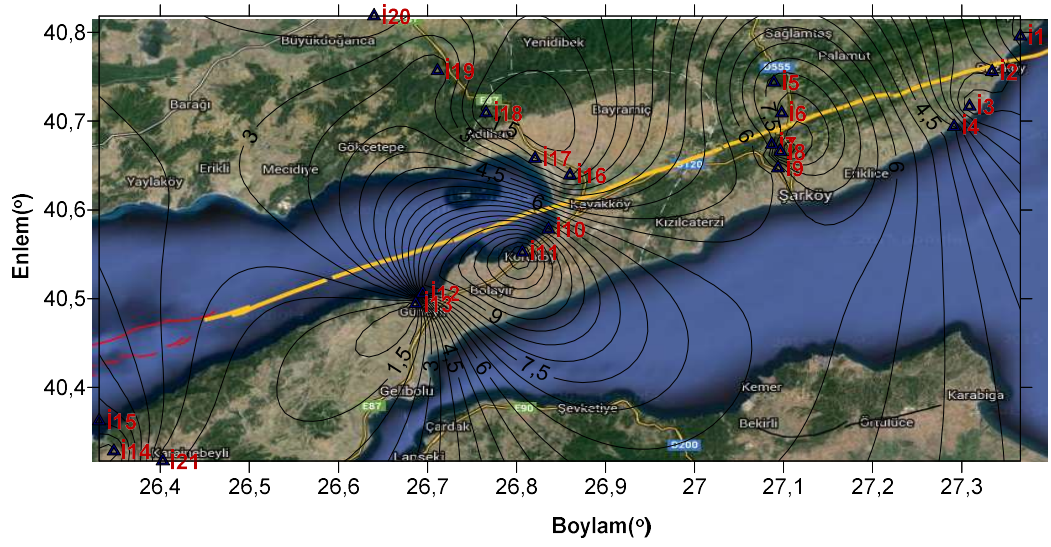
3. Ölçüm (18 Ağustos 2014 - 25 Eylül 2014)

3. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $4,82 \pm 0,78$ kBqm^{-3} olarak hesaplanmıştır. 3. ölçüm sonucunda 11.örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $12,79$ kBqm^{-3} ile en yüksek değer 1. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,18$ kBqm^{-3} ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.47).

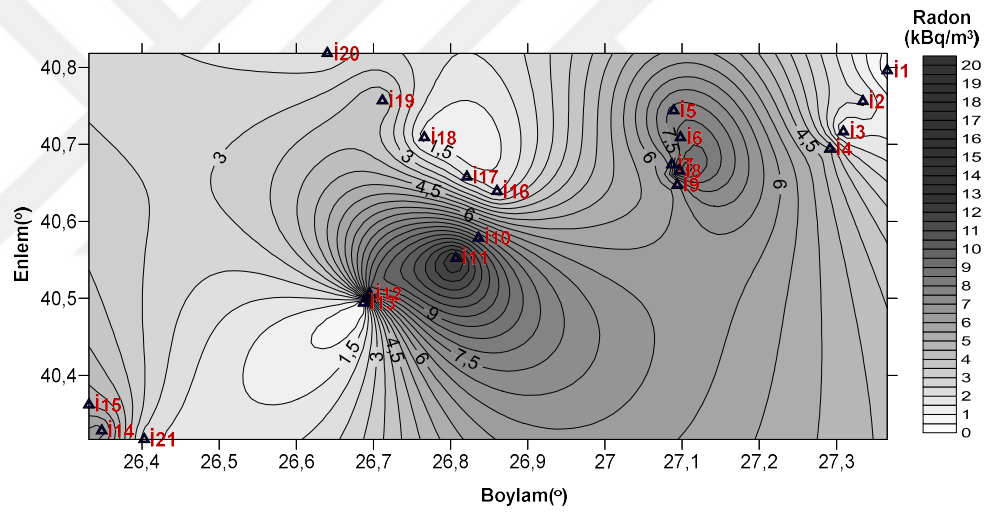
3. ölçüm zaman aralığında bölgede örnekleme noktalarını etkileyecek herhangi bir deprem meydana gelmemiştir. Bu ölçüm esnasında 8., 9., 10., 11. ve 12. Örnekleme Noktalarının çevresindeki radon konsantrasyonu diğer bölgelere göre daha yüksektir (Şekil 4.48 ve Şekil 4.49).



Şekil 4.47 3. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.48 3. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



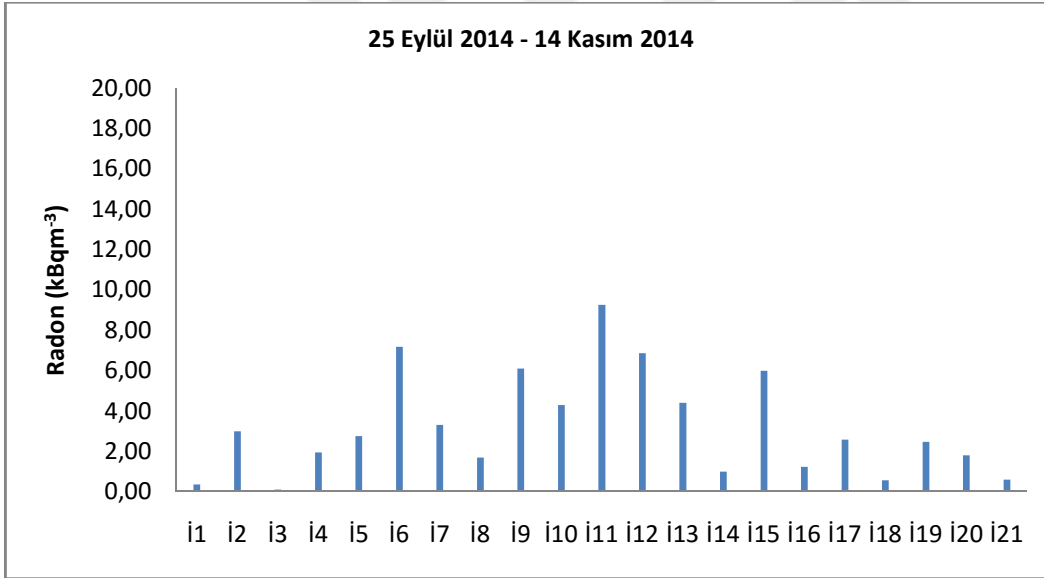
Şekil 4.49 3. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

4. Ölçüm (25 Eylül 2014 -14 Kasım 2014)

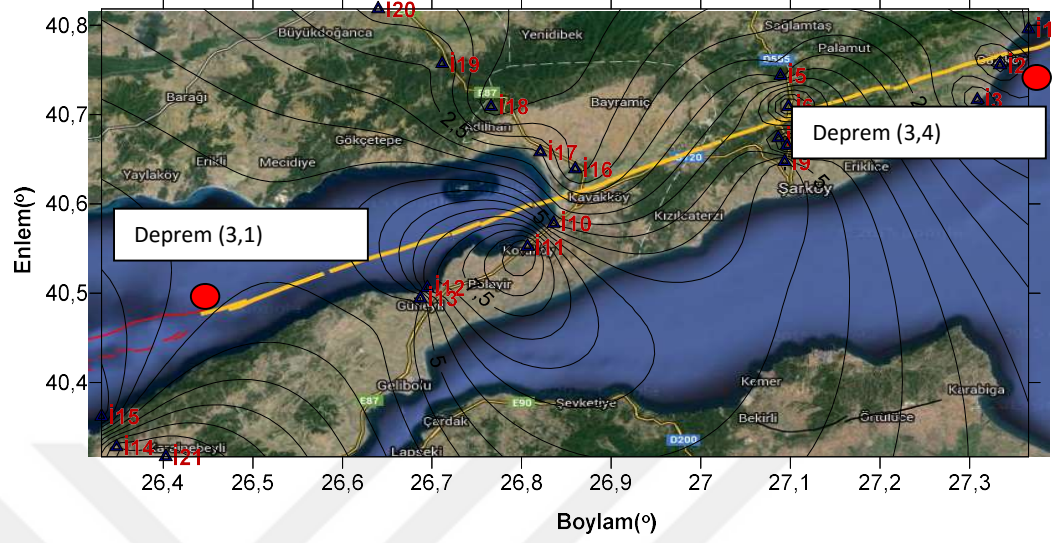
4. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $3,21 \pm 0,56$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 4. ölçüm sonucunda 11. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $9,26$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 3. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,15$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.50).

4. ölçüm zaman aralığında bölgede 3,1 ve 3,4 şiddetinde 2 deprem meydana gelmiştir (Şekil 4.51 ve Şekil 4.52).

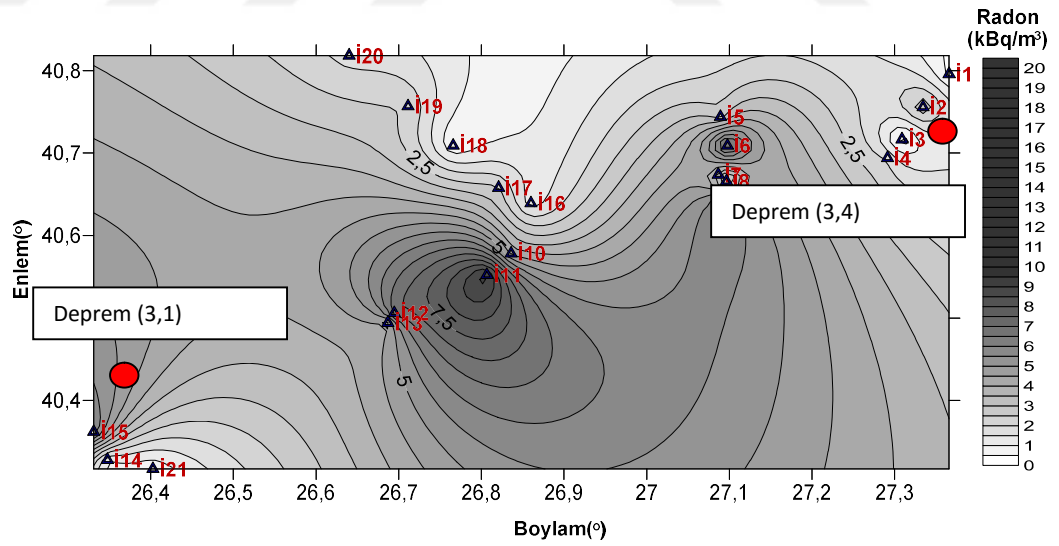
Depremlerin meydana geldiği bölgenin yakınındaki radon konsantrasyonlarının yoğunluğunda fazla bir artış meydana gelmemesinin sebebi depremlerin şiddetinin 3,1 ve 3,4 gibi küçük olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.50 4. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.51 4. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)

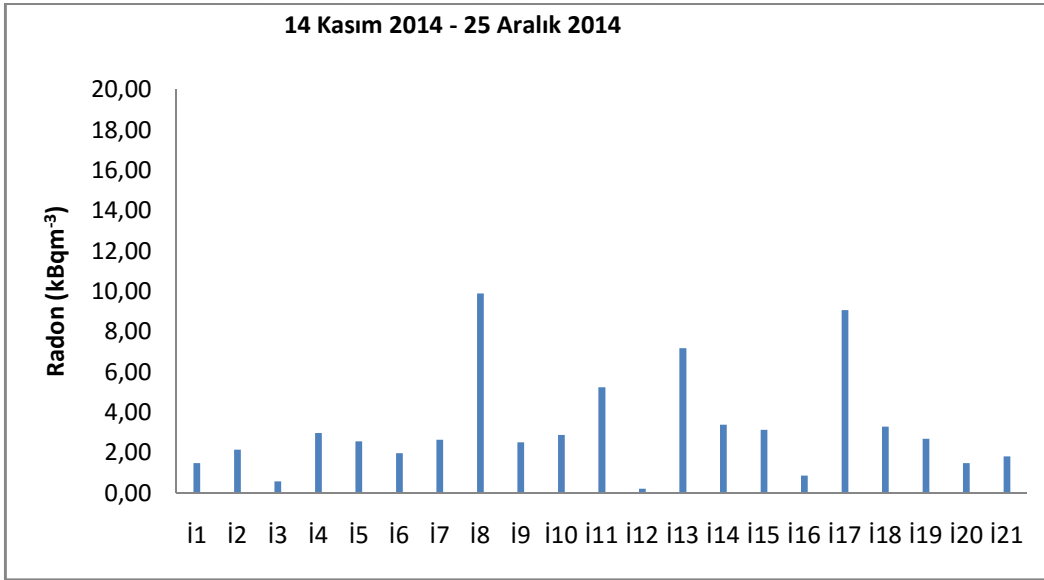


Şekil 4.52 4. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

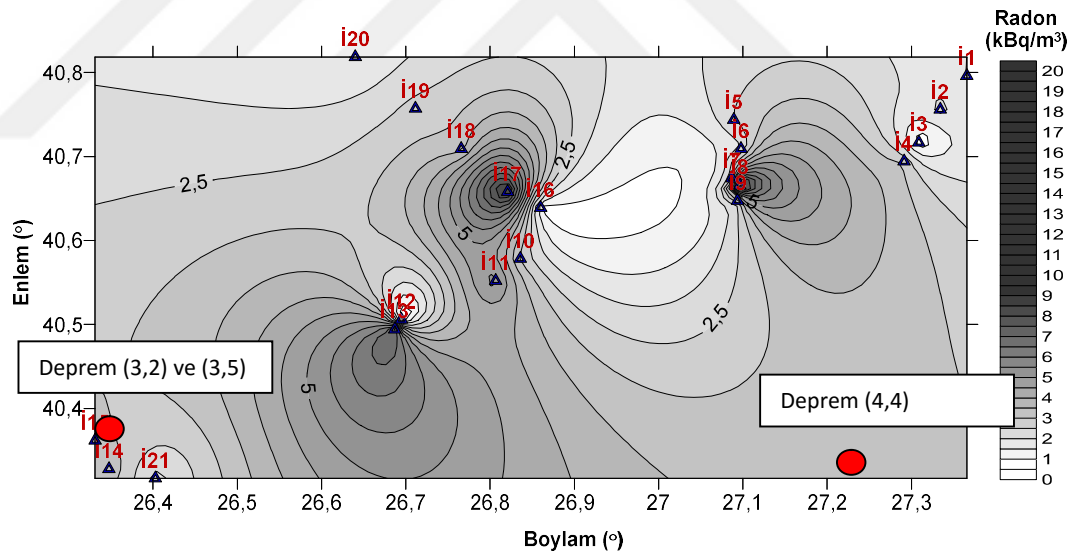
5. Ölçüm (14 Kasım 2014- 25 Aralık 2014)

5. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $3,24 \pm 0,56$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 5. ölçüm sonucunda 8. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $9,89$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 3. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,58$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.53).

5. Ölçümün alındığı tarih aralığında bölgede 3,2 , 3,5 ve 4,4 şiddetinde 3 ayrı deprem meydana gelmiştir (Şekil 4.54 ve Şekil 4.55). özellikle 4,4 şiddetindeki depreme yakın olan 8. örnekleme noktasında radon konsantrasyonu bir önceki ölçüme göre oldukça fazla bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca bu ölçümde 17 örnekleme noktası her 3 depreme de eşit uzaklıkta olup radon konsantrasyonun fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.53 5. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



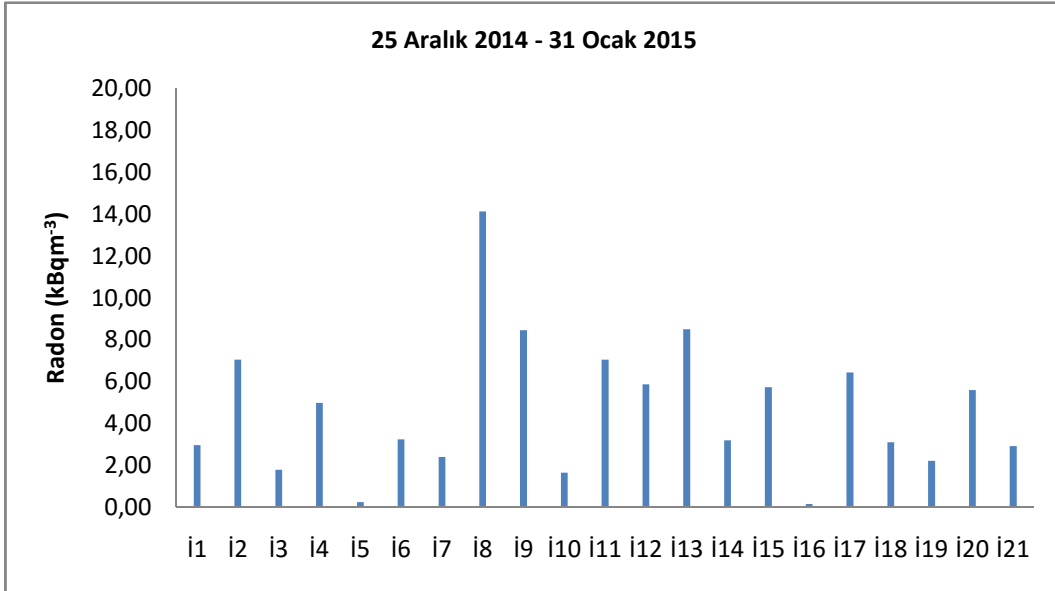
Şekil 4.55 5. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

6. Ölçüm (25 Aralık 2014-31 Ocak 2015)

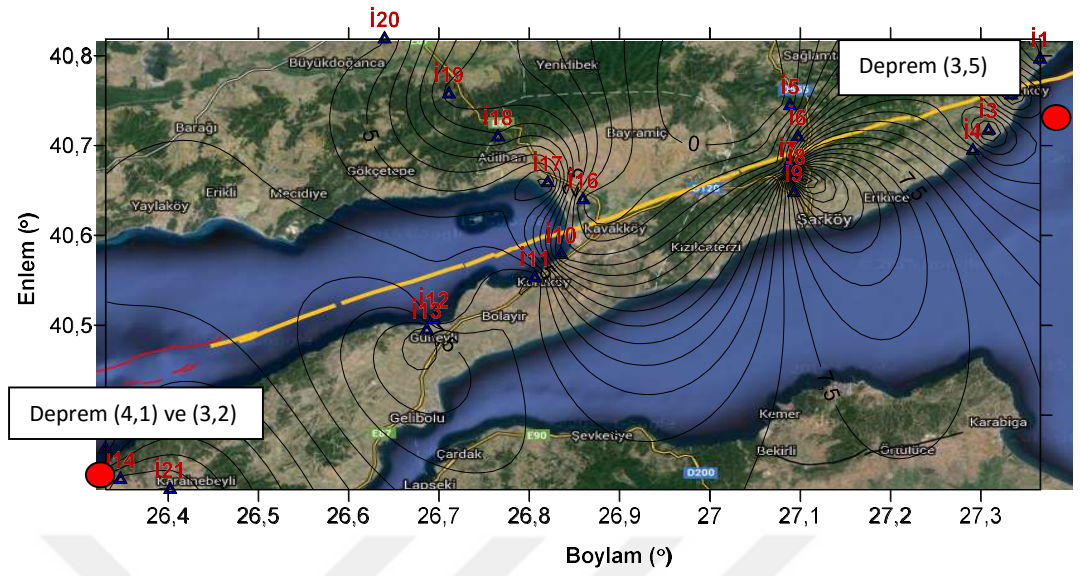
6. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $4,65 \pm 0,072$ kBqm^{-3} olarak hesaplanmıştır. 6. Ölçüm sonucunda 8. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $14,13$ kBqm^{-3} ile en yüksek değer 5. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,23$ kBqm^{-3} ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.56).

6. Ölçüm zaman aralığında çalışma bölgesinde 3,2 , 3,5 ve 4,1 şiddetinde 3 ayrı deprem meydana gelmiştir(Şekil 4.57 ve Şekil 4.58). Bu depremlerden 3,2 ve 4,1 olan Saroz körfezine yakın olan 14., 15. ve 21. örnekleme noktaların civarında 3,5 şiddetindeki, deprem ise Marmara denizinde ve 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. örnekleme noktaların yakınında meydana gelmiştir.

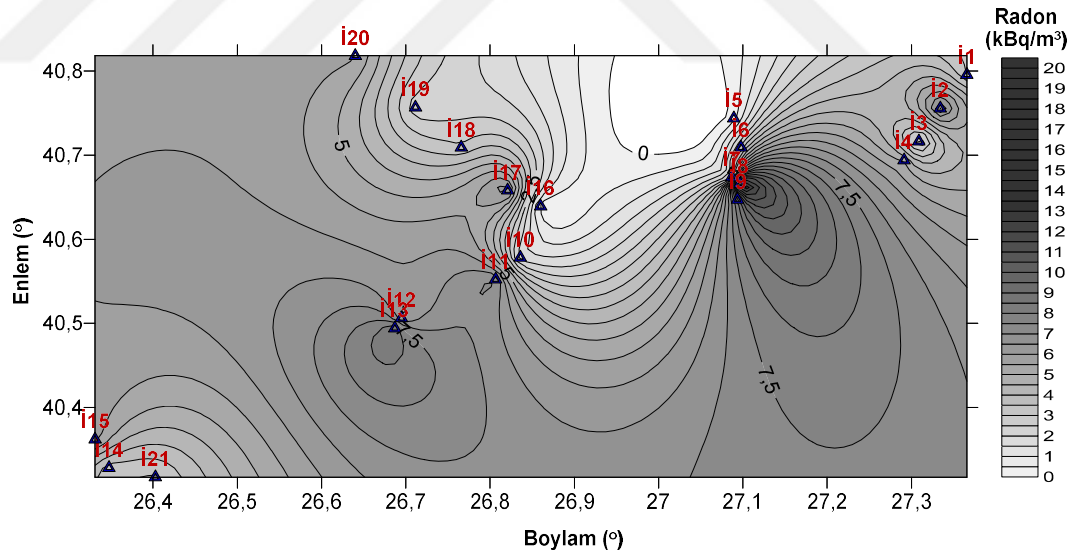
12 ölçümlük periyot incelendiğinde 8. örnekleme noktasının bu 6. ölçümdeki değerinin en yüksek olması yakınında meydana gelen 3,5şiddetindeki depremden etkilendiği ve radon konsantrasyonun yüksek çıktığı söylenebilir. Bu ölçüm esnasında 8. ve 9. örnekleme noktası civarındaki radon konsantrasyonun oldukça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.58).



Şekil 4.56 6. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.57 6. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



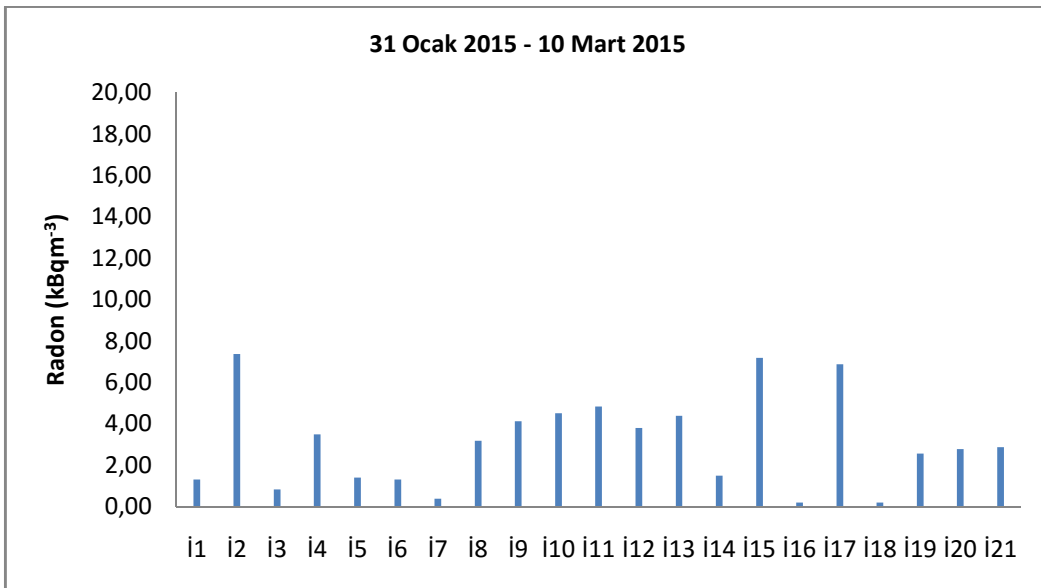
Şekil 4.58 3. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

7. Ölçüm (31 Ocak 2015-10 Mart 2015)

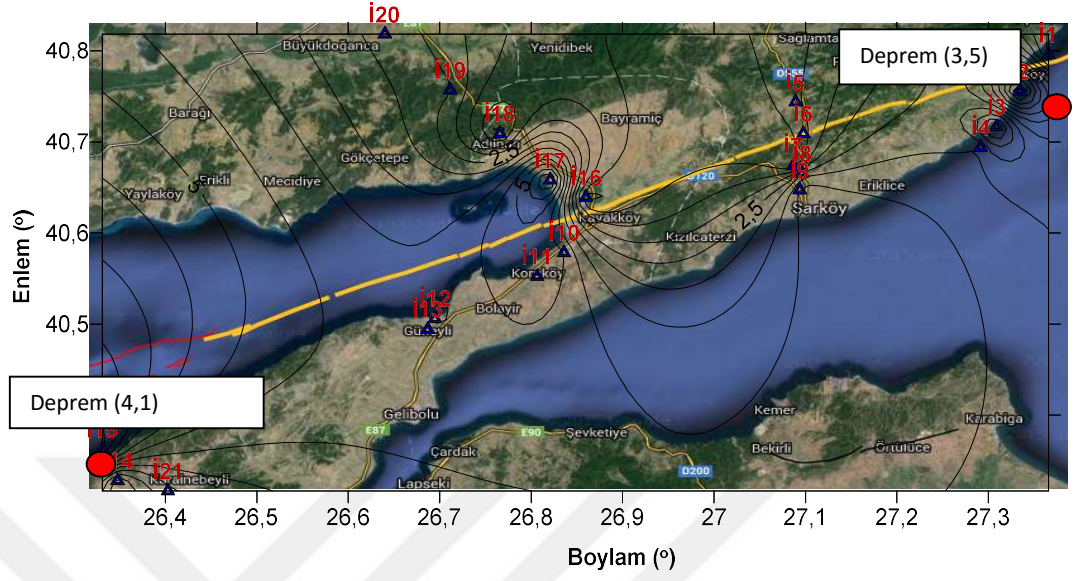
7. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $3,12 \pm 0,48$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 7. Ölçüm sonucunda 2. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $7,38$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 16. ve 18. Örnekleme Noktasındaki radon konsantrasyonu $0,22$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.59).

7. Ölçüm zaman aralığında çalışma bölgesinde 3,5 ve 4,1 şiddetinde 2 ayrı deprem meydana gelmiştir (Şekil 4.60). Bu depremlerden 4,1 olan Saroz körfezine yakın olan 14., 15. ve 21. örnekleme noktaların civarında 3,5 şiddetindeki, deprem ise Marmara denizinde ve 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. örnekleme noktaların yakınında meydana gelmiştir (Şekil 4.60).

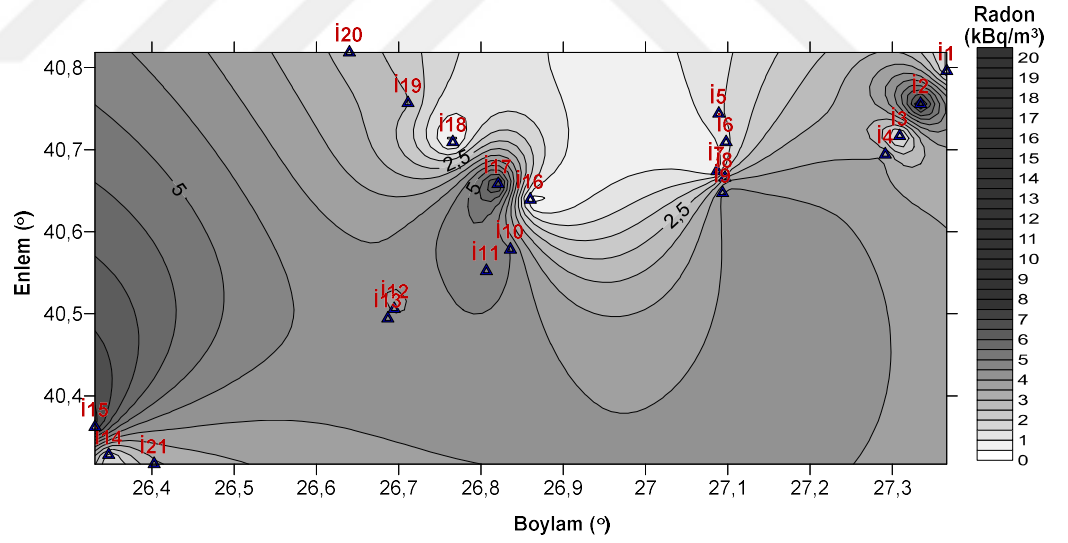
12 ölçümlük periyot incelendiğinde 2. örnekleme noktasının bu 6. ölçümdeki radon konsantrasyon değerinin en yüksek olması yakınında meydana gelen 3,5 şiddetindeki depremden etkilendiği ve radon konsantrasyonun yüksek çıktığı söylenebilir. Ayrıca 15. örnekleme noktası bundan önceki ölçümlere göre değerinin en yüksek olması yakınlarında meydana gelen 4,1 şiddetindeki depremden etkilendiği düşünülebilir. 2. ve 15. örnekleme noktası civarındaki radon konsantrasyonun fazlalığı şekil 4.61 da görülmektedir.



Şekil 4.59 7. Ölçümün Örneklem Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.60 7. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)

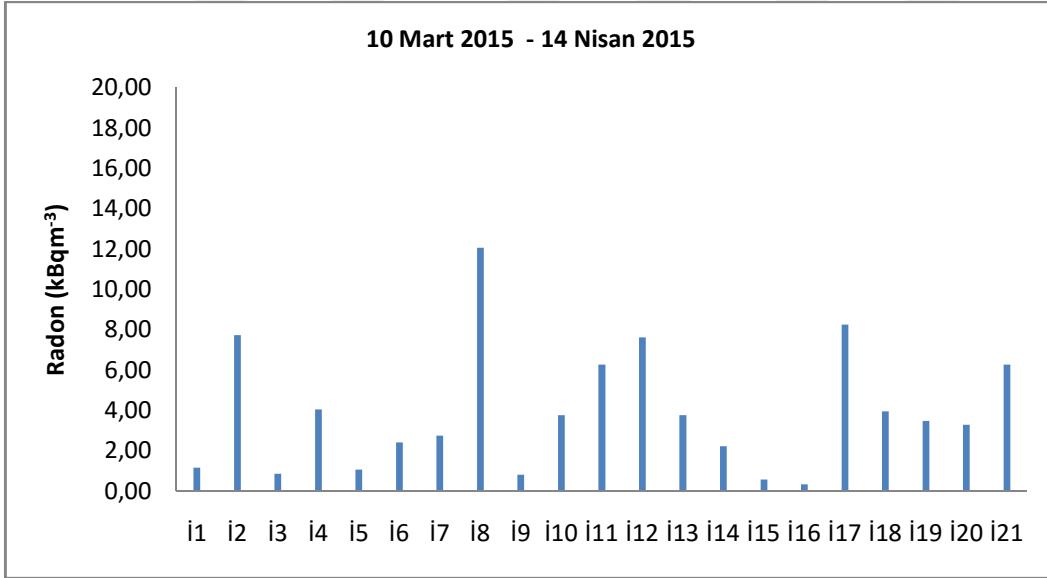


Şekil 4.61 7. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

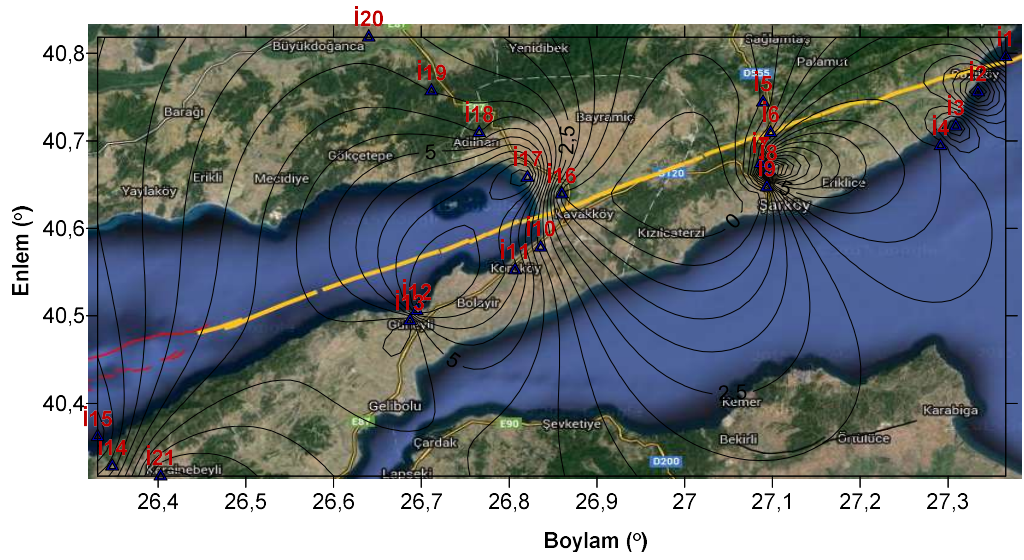
8. Ölçüm (10 Mart 2015-14 Nisan 2015)

8. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $3,94 \pm 0,67$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 8. ölçüm sonucunda 8. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun 12,07 kBqm⁻³ ile en yüksek değer 16. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu 0,34 kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.62).

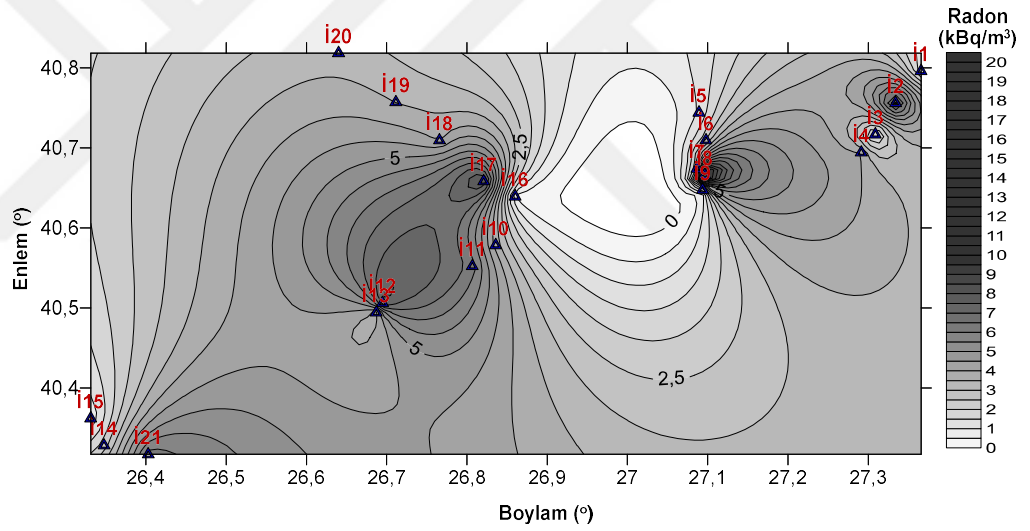
8. Ölçüm sürecinde bölgede herhangi bir deprem meydana gelmemiştir (Şekil 4.63 ve Şekil 4.64).



Şekil 4.62 8. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.63 8. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



Şekil 4.64 8. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

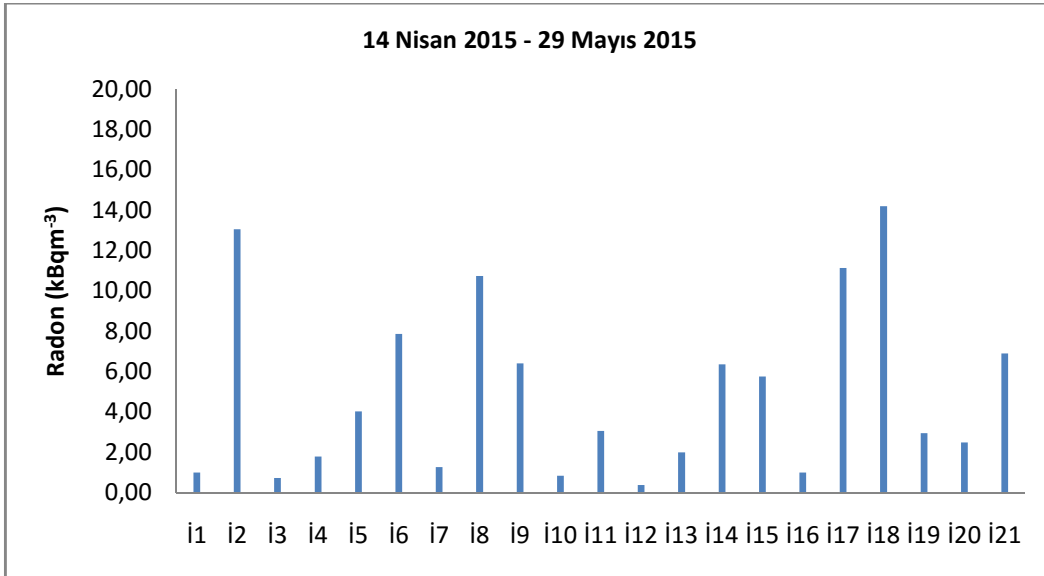
9. Ölçüm (14 Nisan 2015- 29 Mayıs 2015)

9. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $4,96 \pm 0,94$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 9. ölçüm sonucunda 18. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $14,21$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 12. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,85$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.65).

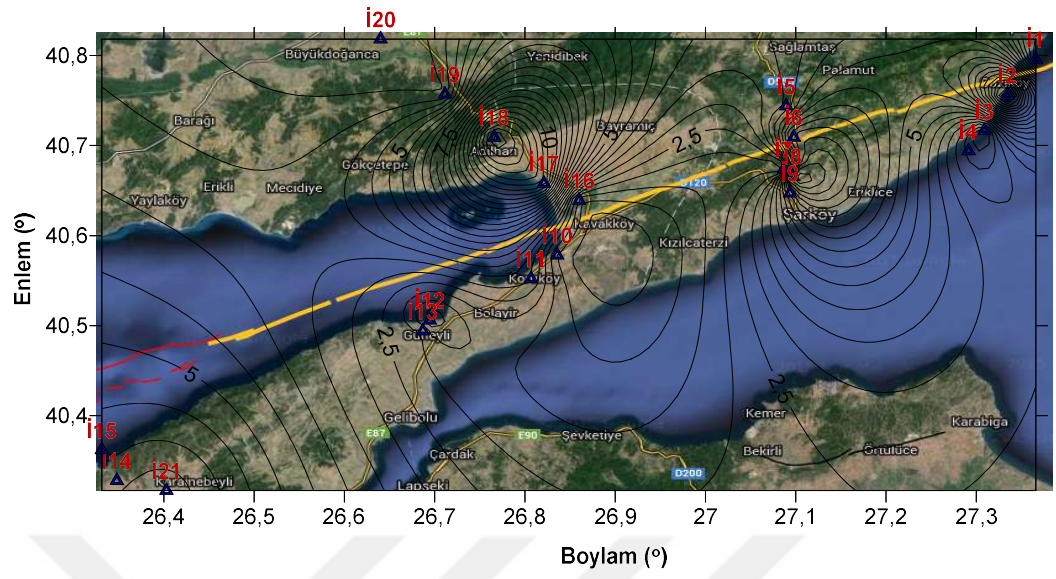
9. Ölçüm esnasında bölgede herhangi bir deprem meydana gelmemiştir.

Tüm bölgenin 9 ölçüm boyunca ortalama radon konsantrasyonları incelendiğinde Kasım ayı içerisinde $3,21$ kBqm⁻³ , Aralık $3,24$ kBqm⁻³ , Ocak $4,65$ kBqm⁻³ (Bu ayda deprem yoğunluğu fazla), Mart $3,12$ kBqm⁻³ , Nisan $3,94$ kBqm⁻³ iken kış aylarının bitmesiyle yağışların azalmasıyla bölgedeki radon konsantrasyonunda bir artış meydana gelerek $4,96$ kBqm⁻³ değerine ulaşmıştır. Bundan sonraki ölçümlerde ise daha sonra detaylı olarak açıklanacak olup bu değerlerden daha yüksek değerler elde edilmiştir.

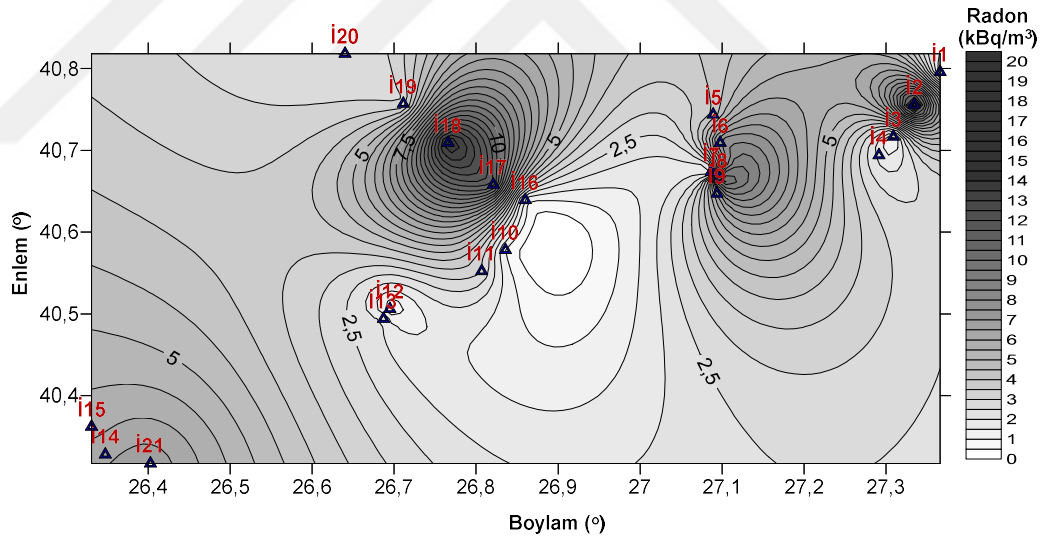
9. Ölçüm zaman aralığında 17. ve 18. örnekleme noktası civarında radon konsantrasyonun diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu şekil 4.66 ve şekil 4.67 de görülmektedir.



Şekil 4.65 9. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.66 9. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



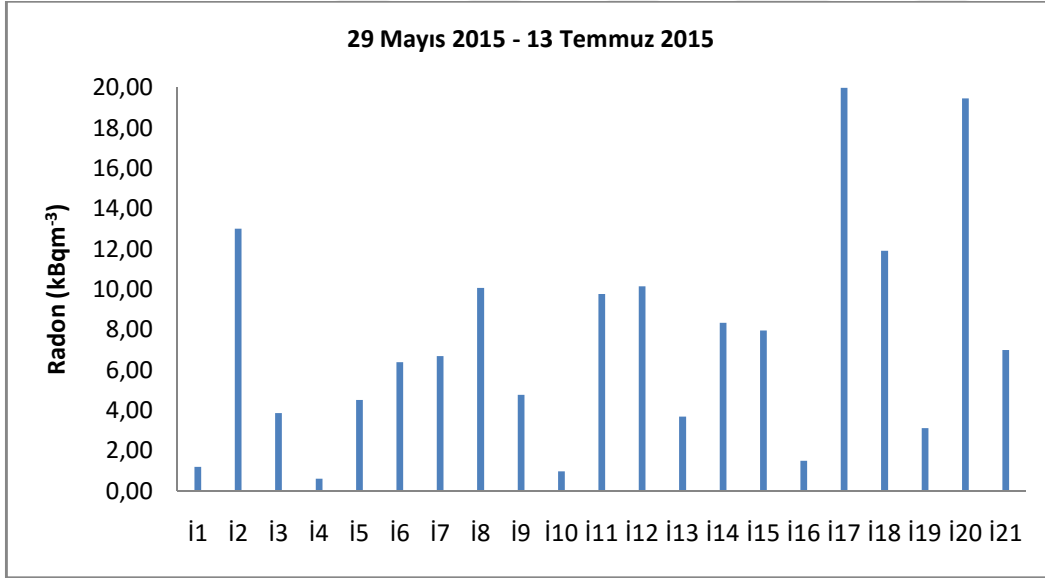
Şekil 4.67 9. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

10. Ölçüm (29 Mayıs 2015-13 Temmuz 2015)

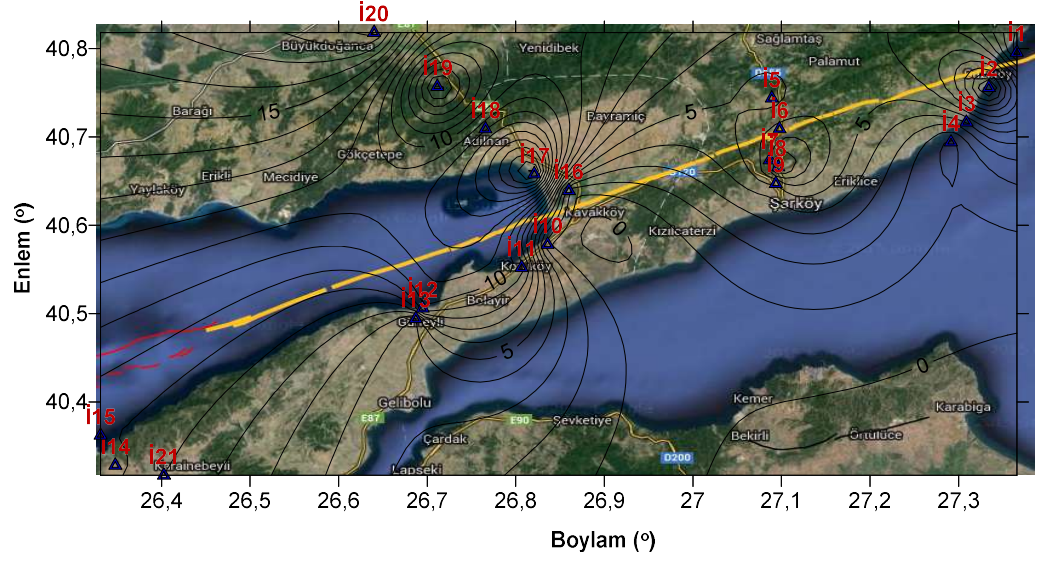
10. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $7,38 \pm 0,1,19 \text{ kBqm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. 10. Ölçüm sonucunda 17. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $19,98 \text{ kBqm}^{-3}$ ile en yüksek değer 4. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,60 \text{ kBqm}^{-3}$ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.68).

Bu ölçüm esnasında çalışma bölgesinde herhangi bir deprem meydana gelmemiştir. Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ,Mart ve Nisan dönemlerinde düşük olan radon konsantrasyonu bir önceki ölçüme olan 9. ölçüm ile artmaya başlamış bu ölçümde de bu artış devam ederek maksimum düzeye ulaşmıştır.

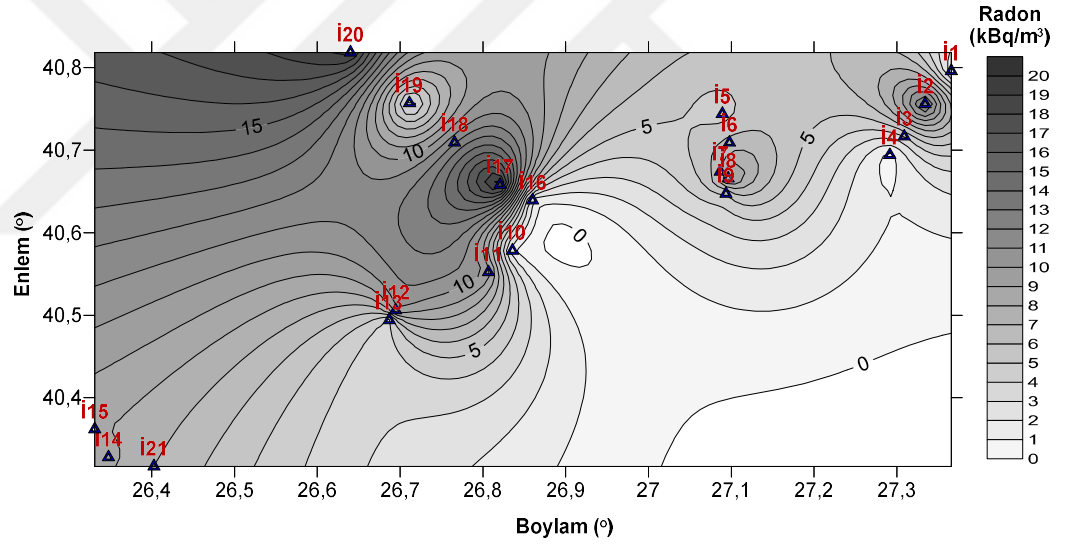
Şekil 4.69 ve şekil 4.70 de çalışma bölgesinin radon yoğunluğu görülmektedir. 17. istasyon civarında radon yoğunluğu yüksektir.



Şekil 4.68 10. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.69 10. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)

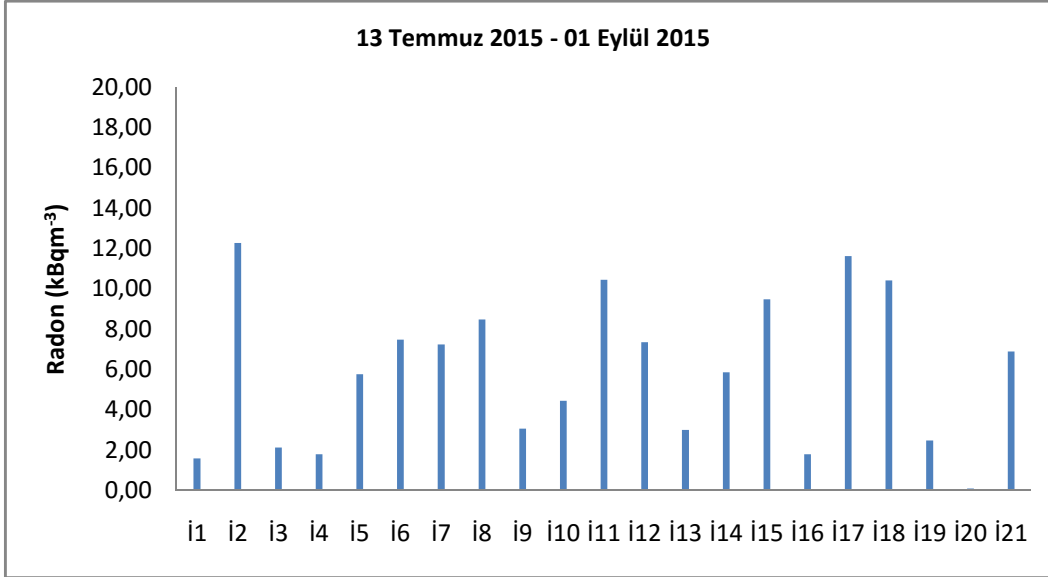


Şekil 4.70 10. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonunun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

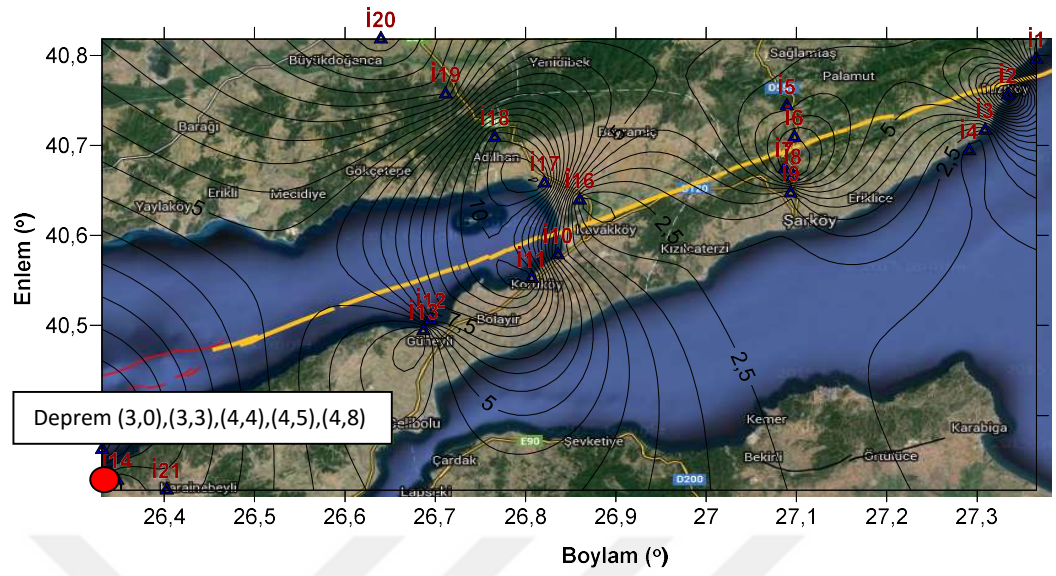
11. Ölçüm (13 Temmuz 2015 - 01 Eylül 2015)

11. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $5,89 \pm 0,80$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 11. Ölçüm sonucunda 2. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $12,28$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 20. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,10$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.71).

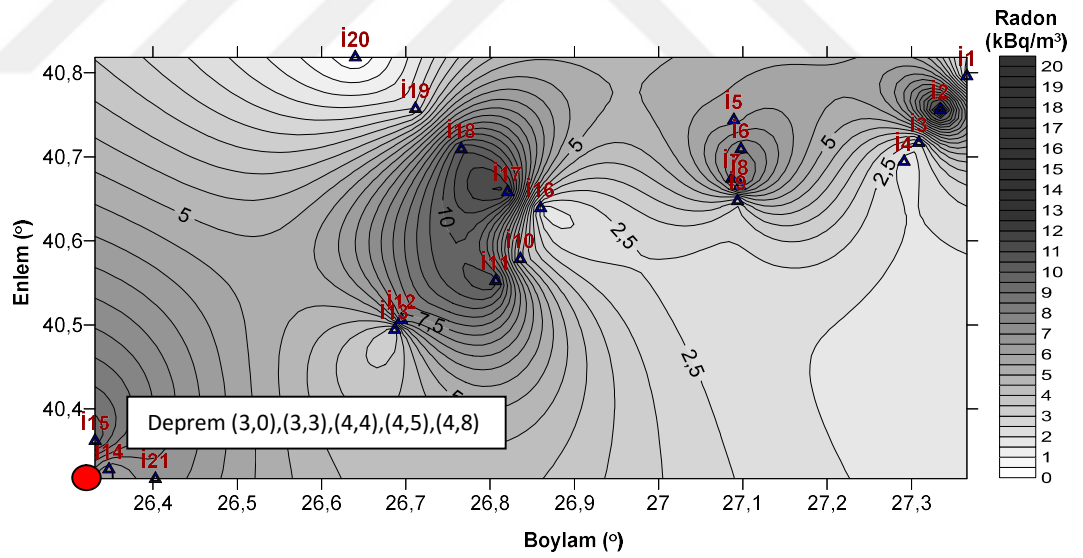
Bu ölçüm zaman aralığında aynı noktada ve aynı gün içerisinde beş ayrı deprem meydana gelmiştir. bu depremlerin yeri şekil 4.72 ve 4.73 de görülmekte olup şiddetleri 3,0, 3,3, 4,4, 4,5 ve 4,8 şiddetindedir. Bu depremler şiddet ve mesafe olarak incelendiğinde tüm örnekleme Noktalarını etkileyebilecek durumdadır. Fakat 2., 11., 17. ve 18. örnekleme noktaları diğer örnekleme noktalarına göre daha fazla etkilendiği söylenilebilir (Şekil 4.71). Belirtilen bu örnekleme noktaları çevrelerindeki radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu şekil 4.72 ve şekil 4.73 de görülmektedir.



Şekil 4.71 11. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.72 11. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Haritalı)



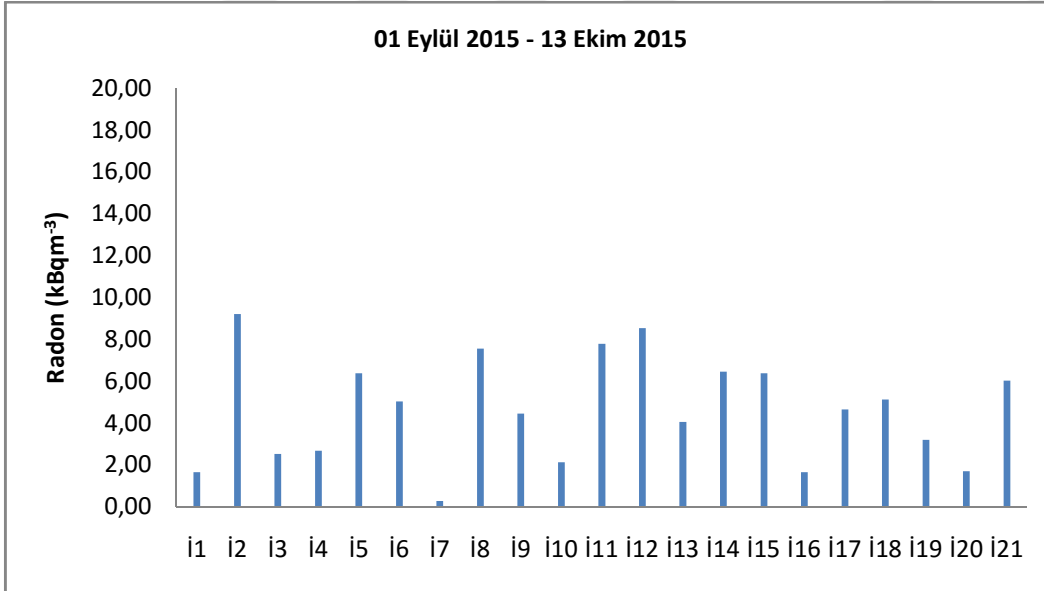
Şekil 4.73 11. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

12. Ölçüm (01 Eylül 2015 - 13 Ekim 2015)

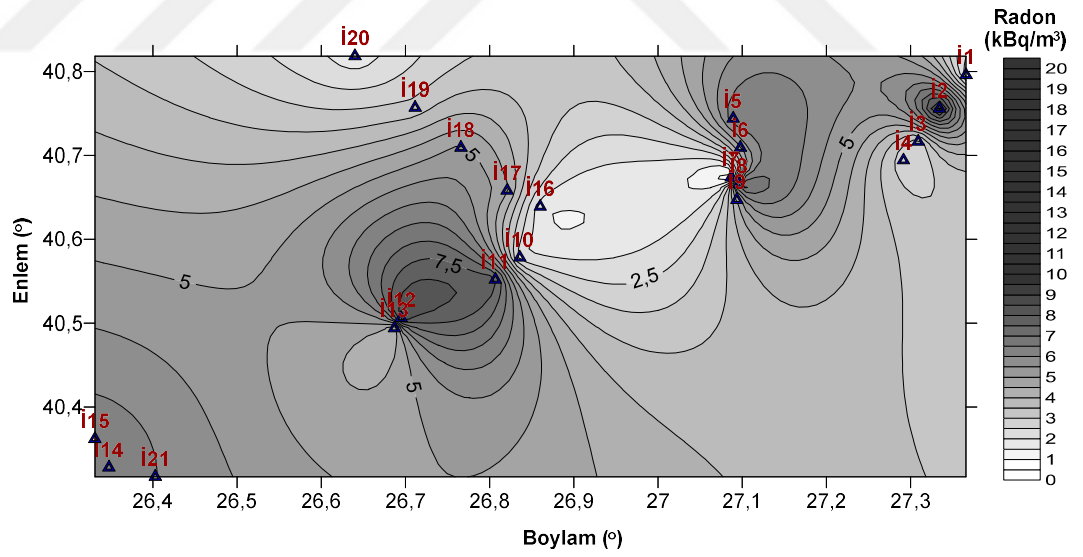
12. ölçüm sonucundaki bölgedeki ortalama radon konsantrasyonu $4,63 \pm 0,55$ kBqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 12. Ölçüm sonucunda 2. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonun $9,20$ kBqm⁻³ ile en yüksek değer 7. örnekleme noktasındaki radon konsantrasyonu $0,28$ kBqm⁻³ ile en düşük değer olduğu görülmektedir(Şekil 4.74).

12. ölçüm zaman aralığında bölgede örnekleme Noktalarını etkileyecek herhangi bir deprem meydana gelmemiştir (Şekil 4.75 ve Şekil 4.76).

2. Örnekleme noktasıyla beraber 11. ve 12. örnekleme noktası civarında radon yoğunluğunun diğer örnekleme noktalarına göre daha yüksek olduğu şekil 4.73 ve şekil 4.74 de görülmektedir.



Şekil 4.74 12. Ölçümün Örnekleme Noktalarına Göre Radon Konsantrasyonları



Şekil 4.76 12. Ölçümdeki Radon Konsantrasyonun Bölgesel Dağılımı (Yoğunluklu)

Yapılan bu çalışmada tüm ölçüm zamanları ve tüm istasyonlar göz önünde bulundurulduğunda en düşük ölçümün $0,10 \text{ kBq m}^{-3}$ olduğu ve en yüksek ölçümün $19,98 \text{ kBq m}^{-3}$ olduğu görülmektedir. Tüm verilerin ortalamalar hesaplandığında ise $4,35 \pm 0,47 \text{ kBq m}^{-3}$ olduğu bulunmuştur.

2006 yılında, Baykara ve Doğru Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Sisteminden radon konsantrasyonlarını CR-39 nükleer iz kazıma detektörleriyle belirlemişlerdir. Çalışmada radon konsantrasyonlarını $0,13$ ile $3,32 \text{ kBq/m}^3$ arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Baykara ve Doğru'nun çalışmalarındaki radon konsantrasyonları bizim sonuçlarımıza göre daha düşüktür.

2006 yılında İnceöz ve arkadaşları, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hattında CR-39 detektörler ile yapılan bir çalışmada, radon konsantrasyonları $4,3$ ile $9,8 \text{ kBq m}^{-3}$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Kuzey Anadolu Fayındaki radon konsantrasyonların Doğu Anadolu Fayında ölçülen radon konsantrasyonlarından belirgin bir şekilde daha yüksek olduğu belirtilmiştir. İnceöz ve arkadaşlarının sonuçlarının ortalaması bizim sonuçlarımıza yakındır.

2005 yılında Shweikani ve Hushari Suriye' de yapmış olukları çalışmada toprak gazındaki ölçülen radon konsantrasyonları $0,1 \text{ kBqm}^{-3}$ ile $12,0 \text{ kBqm}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Suriye'de yapılmış olan bu çalışmanın sonuçları bizim çalışmamızın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Değerler birbirlerine yakındır.

2006 yılında Ereeş ve arkadaşları Denizli'de yapmış olukları çalışmada toprak gazındaki ölçülen radon konsantrasyonları $0,21 \text{ kBqm}^{-3}$ ile $7,38 \text{ kBqm}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ereeş ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmadaki radon konsantrasyon sonuçları bizim çalışmamızda bulunan sonuçlara yakındır.

2007 yılında Vaupotic ve arkadaşlarının Slovenya' da yapmış olukları çalışmada toprak gazındaki ölçülen radon konsantrasyonları 2 kBqm^{-3} ile 14 kBqm^{-3} arasında değiştiğini bulmuşlardır. Vaupotic ve arkadaşlarının yapmış olduğu bu çalışmanın sonucu ortalama olarak bizim çalışmamın sonucuna yakındır. Ölçüm aralığı ise bizim çalışmamın daha geniştir.

2008 yılında Shashikumar ve arkadaşları yapmış olukları çalışmada toprak gazındaki ölçülen radon konsantrasyonları $0,11 \text{ kBqm}^{-3}$ ile $11,85 \text{ kBqm}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Shashikumar' ın sonuçları ile bizim çalışmanın sonuçları birbirine yakındır.

2011 yılında İçhedef, Ege bölgesinde Tuzla fayı civarında farklı toprak gruplarında radon difüzyon hızının belirlenmesine yönelik olan çalışmada LR-115 detektörleri 5 farklı toprak grubuna yerleştirilerek radon konsantrasyonlarını izlenmiş ve tüm istasyonlarının ölçümlerin tamamı göz önünde bulundurulduğunda radon konsantrasyonları $0,1$ ile $261,1 \text{ kBq m}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuştur. Fakat istasyonlardan bir tanesinde radon konsantrasyonunun çok fazla olduğu o istasyon haricindeki diğer istasyonlardaki radon konsantrasyonlarındaki değişimin $0,1$ ile $38,5 \text{ kBq m}^{-3}$ (ortalama $3,7 \text{ kBq m}^{-3}$) olduğunu hesaplamıştır. Aynı çalışmada radon konsantrasyon değişimlerinin radyonüklid konsantrasyonlarına bağlı olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Radonun kaynağının ölçüm yapılan topraktaki radyonüklide değil, daha aşağıdaki katmanlarda bulunan kaynaklara bağlı olduğu bulunmuştur. İçhedef' in sonuçlarının ortalaması bizim çalışmanın sonuçlarının ortalamasına yakındır. Fakat İçhedef'teki bazı spesifik değerler oldukça yüksektir.

2014 yılında Taşköprü' nün küçük menderes havzasında yapmış olduğu çalışmada istasyonlar bazında radon konsantrasyonları $0,17 \text{ kBq m}^{-3}$ ile $15,18 \text{ kBq m}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuştur. Çalışma bölgesinin tamamının ortalaması ise $4,06 \text{ kBq m}^{-3}$ olarak hesaplamıştır. Taşköprü'nün yapmış olduğu çalışmadaki hem ortalama değer olarak hem de ölçüm aralığı olarak bizim çalışmanın sonuçlarına oldukça yakındır.

2016 yılında Öztürk' ün Bodrum Yarımadasında yapmış olduğu çalışmada toprak gazı radon ölçümleri 27 Temmuz 2013 ile 12 Temmuz 2014 tarihleri arasında oluşturulan 20 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Bu sürede ölçülen toprak gazı radon konsantrasyonlarının $0,7$ ile $52,9 \text{ kBqm}^{-3}$ arasında değiştiği görülmüştür. Öztürk' ün sonuçları bizim çalışmamızın sonuçlarına yakındır. Fakat Öztürk' ün ölçüm aralığı daha geniştir.

4.5. Topraklarda Doğal Radyonüklid Konsantrasyon Sonuçları

Bu çalışmadaki doğal radyonüklid konsantrasyonları gama sintilasyon spektrometresiyle belirlenmiştir. 21 Örnekleme noktasının doğal radyonüklid konsantrasyonları çizelge 4.3' deki gibidir. Örnekleme noktalarından alınan toprak örneklerdeki ^{226}Ra konsantrasyonları 0 ile 24,12 Bq kg⁻¹, ^{232}Th konsantrasyonları 6,01 ile 40,20 Bq kg⁻¹ ve ^{40}K konsantrasyonları 315,87 ile 748,85 Bq kg⁻¹ arasında değişmektedir (Çizelge 4.3). Tüm örnekleme noktalarının ortalaması hesaplandığında ^{226}Ra konsantrasyonun 9,90 Bq kg⁻¹, ^{232}Th konsantrasyonun 26,82 Bq kg⁻¹ ve ^{40}K konsantrasyonun 445,05 Bq kg⁻¹ olduğu hesaplanmıştır(Çizelge 4.3).

2011 yılında İçhedef' in çalışmasında Ege bölgesindeki toprak örneklerinden ölçülen ^{226}Ra konsantrasyonlarının 7,1 Bq kg⁻¹ ile 32,0 Bq kg⁻¹ arasında, ^{232}Th konsantrasyonlarının 15,2 Bq kg⁻¹ ile 35,9 Bq kg⁻¹ arasında ve ^{40}K konsantrasyonları 223,1 ile 802,2 Bq kg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. İçhedef' in çalışmasının sonuçları bizim çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. Aynı bölgede yapılan diğer bir çalışmada termal su kaynaklarının çevresinde alınan toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarından ^{226}Ra , 49,23 Bq/kg ile 595,68 Bq/kg arasında ^{232}Th , 1,35 Bq/kg ile 27,87 Bq/kg arasında ve ^{40}K , 171,49 Bq/kg ile 645,38 Bq/kg arasında bunmuştur (Özsoylu, 2006).

2014 yılında Taşköprü' nün küçük menderes havzasında yapmış olduğu çalışmada istasyonlar bazında doğal radyoaktivite konsantrasyonları ^{226}Ra konsantrasyonları 16,4 Bq/kg ile 73,0 Bq/kg arasında, ^{232}Th konsantrasyonları 15,8 Bq/kg ile 45,4 Bq/kg arasında ve ^{40}K konsantrasyonları 225,0 Bq/kg ile 545,2 Bq/kg arasında bulunmuştur. Bizim çalışmamıza göre Taşköprü'nün sonuçlarından ^{226}Ra konsantrasyonu yüksek iken ^{40}K konsantrasyonu daha düşük ^{232}Th konsantrasyonu ise yaklaşık aynı seviyededir.

2016 yılında Öztürk' ün Bodrum Yarımadasında yapmış olduğu çalışmada doğal radyoaktivite sonuçları, ^{232}Th konsantrasyonları 48,8 Bq/kg ile 215,8 Bq/kg (ort. 150,64 Bq/kg), ^{226}Ra konsantrasyonları 8,7 Bq/kg ile 195,7 Bq/kg (ort. 106,63 Bq/kg) ve ^{40}K konsantrasyonları 106,7 Bq/kg ile 1316,7 Bq/kg (ort. 646

Bq/kg) arasında bulunmuştur. Öztürk'ün yapmış bulmuş olduğu sonuçların her üçüde hem ortalama değer olarak hemde ölçüm aralığı orak bizim çalışmamıza göre oldukça yüksektir.

Çizelge 4.3 Toprağın Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonları

Örnekleme Noktası Numarası	²³² Th (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
1. Örnekleme Noktası	28,53	9,28	748,85
2. Örnekleme Noktası	24,76	13,96	524,85
3. Örnekleme Noktası	26,53	36,21	407,33
4. Örnekleme Noktası	28,89	1,98	421,81
5. Örnekleme Noktası	26,41	11,59	425,18
6. Örnekleme Noktası	19,69	0,00	450,31
7. Örnekleme Noktası	40,20	0,00	424,67
8. Örnekleme Noktası	23,34	8,87	315,87
9. Örnekleme Noktası	33,01	9,22	442,22
10. Örnekleme Noktası	6,01	0,00	395,49
11. Örnekleme Noktası	31,48	0,00	503,80
12. Örnekleme Noktası	32,66	4,62	528,39
13. Örnekleme Noktası	27,94	16,39	433,79
14. Örnekleme Noktası	24,05	11,96	420,27
15. Örnekleme Noktası	37,96	17,30	468,58
16. Örnekleme Noktası	26,06	9,28	439,32
17. Örnekleme Noktası	24,64	11,62	396,06
18. Örnekleme Noktası	28,18	24,12	387,68
19. Örnekleme Noktası	27,35	2,53	391,98
20. Örnekleme Noktası	26,76	17,18	333,58
21. Örnekleme Noktası	18,75	1,90	485,99
Ortalama	26,82	9,90	445,05

Dünya genelinde doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının ölçüm sonuç ve UNSCEAR tarafından verilmektedir. UNSCEAR tarafından verilen verilere göre, ²³²Th konsantrasyonunun ortalaması 30 Bqkg⁻¹ olup ölçüm aralığı 17 Bqkg⁻¹ ile 60

Bqkg⁻¹ arasında değişmektedir. ²²⁶Ra konsantrasyonunun ortalaması 35 Bqkg⁻¹ olup ölçüm aralığı 11 Bqkg⁻¹ ile 64 Bqkg⁻¹ arasında değişmektedir. ⁴⁰K konsantrasyonunun ortalaması 400 Bqkg⁻¹ olup ölçüm aralığı 14 Bqkg⁻¹ ile 850 Bqkg⁻¹ arasında değişmektedir (Çizelge 4.4).

Bizim çalıştığımız bölgede ise ²²⁶Ra konsantrasyonu hem hem ortalama olarak (9,90 Bq kg⁻¹), hemde ölçüm aralığı olarak (0 ile 24,12 Bq kg⁻¹) dünya ortalamasının ve ölçüm aralıklarının altındadır. ²³²Th konsantrasyonu ise ortalama 26,82 Bq kg⁻¹ olarak dünya ortalamasına yakın bir değerdir. Benzer şekilde ve ⁴⁰K konsantrasyonu da ortalama 445,05 Bq kg⁻¹ değeri ile dünya ortalamasının biraz üzerinde çıkmıştır.

Çizelge 4.4 Doğal Radyonüklid Konsantrasyon Sonuçlarının Bazı Ülkelere Göre Kıyaslanması (UNSCEAR, 2000 ve Ülküm, 2016)(Bodrum değerleri Ülküm'ün 2016 yılındaki çalışmasından alınmıştır).

BÖLGE	²³² Th (Bq/kg)		²²⁶ Ra (Bq/kg)		⁴⁰ K (Bq/kg)	
	Ölçüm Aralığı	Ortalama	Ölçüm Aralığı	Ortalama	Ölçüm Aralığı	Ortalama
Yunanistan	1--193	28	1--310	29	12--1570	383
Bulgaristan	7--160	30	12--210	45	40--800	400
Ermenistan	29--60	30	32--77	51	310--420	360
Azerbeycan	10--56	33	15--35	25	60--180	120
İran	13--55	39	20--97	30	29--710	640
Suriye	10--32	20	13--32	20	87--780	270
Bodrum	49--215	150	9-195	106	106-1316	646
Dünya Ortalaması	11--64	30	17--60	35	14--850	400
Bu Çalışma	6--40	27	0--36	10	39--107	445

⁴⁰K' ın konsantrasyonunun da az bir değer de olsa dünya ortalamasından fazla olmasının sebebi ise dünyada yapılmış olan birçok çalışmada da anlatıldığı gibi tarımsal faaliyet amaçlı olarak gübrenin kullanılmasının sonucu ⁴⁰K konsantrasyonlarının fazlaşmasına neden olduğu şeklinde ifade edilebilir.. (Cocceçao, et al., 2009; Boukhenfouf and Boucenna, 2011).

4.6. Karasal Gama Doz Hızları

Doğal yollardan oluşan radyonüklidler, insanların yaşamları boyunca etkilendiği radyasyonların büyük bölümünü oluşturmaktadır. Doğal yollardan meydana gelen bu radyonüklidler yer kabuğunun içerisinde ve toprakta varlığını sürdürmektedir. Bu radyonüklidlerin varlığı hem toprağın yüzeyinde hem de hava içerisinde gama-beta alanı oluşturmaktadır (Akhtar et al., 2005). Meydana gelen bu radyasyon alanı toprakta bulunan radyonüklid yoğunluğuna bağlıdır. Bu yoğunluk hesaplamalarıyla ilgili oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. (Sroor et al., 2001; Taşköprü, 2014)

1998 yılında UNSCEAR tarafından doğal yollardan meydana gelen radyoaktivitenin dağılımını tekdüze olarak kabullenip, toprak yüzeyinden 1 m üzerindeki yoğunluğu formülize edilmiştir.

Bu bağlantı,

$$D(\text{nGy h}^{-1}) = 0,462C_{\text{Ra}} + 0,604C_{\text{Th}} + 0,0417C_{\text{K}}$$

olarak hesaplanmıştır.

Burada,

D; Doz hızı

C_{Ra} ; Radyum aktivite konsantrasyonu

C_{Th} ; Toryum aktivite konsantrasyonu

C_{K} ; Potasyum aktivite konsantrasyonu

olarak verilmiştir.

Canlılar hayatları boyunca sürekli kayalardan ve topraklardan çıkan radyasyona maruz kalacakları için doğal radyonüklidlerden gelen gama doz hızlarının bilinmesi oldukça faydalıdır. bundan dolayı karasal doz hızları uluslararası standartlar çerçevesinde sınırları belirlenmiştir. 2000 yılında UNSCEAR tarafından ortalama karasal doz hızları 56 nGy/h olarak bildirilmiştir (Kant et al., 2006; Mahur et al., 2008).

Çalışma bölgesindeki 21 Örnekleme Noktasının ortalama doz hızı 39,33 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır. En düşük doz hızı 20,12 nGyh⁻¹ ile 10. Örnekleme Noktasında meydana gelirken en yüksek doz hızı ise 52,75 nGyh⁻¹ ile 1. Örnekleme Noktasında bulunmuştur. UNSCEAR tarafından belirlen dünya ortalamasının 56 nGyh⁻¹ değeri ile kıyaslandığında hem bölgenin tüm ortalaması bu değerden düşüktür hem de çalışmadaki en yüksek değer olan 52,75 nGyh⁻¹ bu ortalama değerden daha düşüktür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Doğal Radyoaktivite Doz Hızı

Örnekleme Noktası Numarası	²³² Th (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D(nGyh ⁻¹)
1. Örnekleme Noktası	28,53	9,28	748,85	52,75
2. Örnekleme Noktası	24,76	13,96	524,85	43,29
3. Örnekleme Noktası	26,53	36,21	407,33	49,74
4. Örnekleme Noktası	28,89	1,98	421,81	35,95
5. Örnekleme Noktası	26,41	11,59	425,18	39,04
6. Örnekleme Noktası	19,69	0,00	450,31	30,67
7. Örnekleme Noktası	40,20	0,00	424,67	41,99
8. Örnekleme Noktası	23,34	8,87	315,87	31,37
9. Örnekleme Noktası	33,01	9,22	442,22	42,64
10. Örnekleme Noktası	6,01	0,00	395,49	20,12
11. Örnekleme Noktası	31,48	0,00	503,80	40,02
12. Örnekleme Noktası	32,66	4,62	528,39	43,89
13. Örnekleme Noktası	27,94	16,39	433,79	42,54
14. Örnekleme Noktası	24,05	11,96	420,27	37,58
15. Örnekleme Noktası	37,96	17,30	468,58	50,46
16. Örnekleme Noktası	26,06	9,28	439,32	38,35
17. Örnekleme Noktası	24,64	11,62	396,06	36,77
18. Örnekleme Noktası	28,18	24,12	387,68	44,33
19. Örnekleme Noktası	27,35	2,53	391,98	34,04
20. Örnekleme Noktası	26,76	17,18	333,58	38,01
21. Örnekleme Noktası	18,75	1,90	485,99	32,47
Ortalama	26,82	9,90	445,05	39,33

4.7. Bölgenin Meteorolojik Değerleri

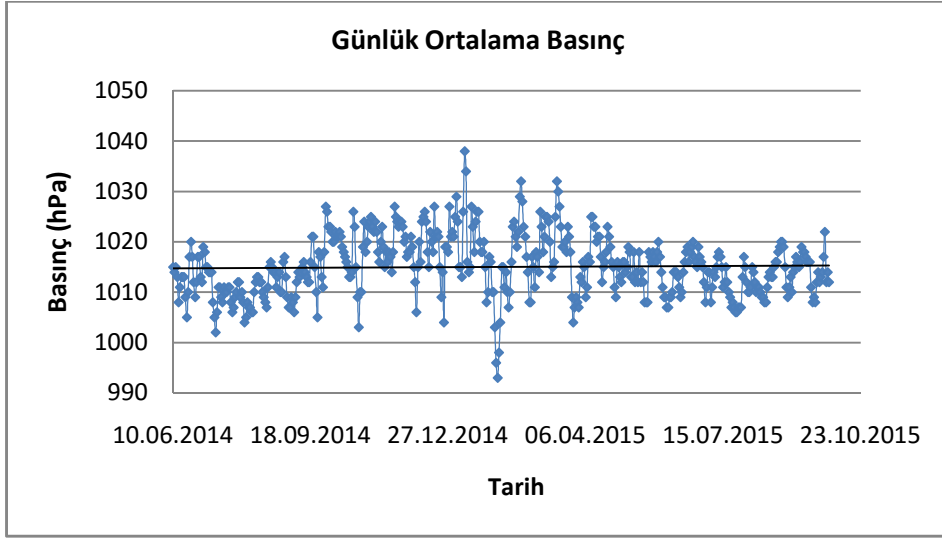
Çizelge 4.6 de detektörlerin toplanma zamanlarına göre bölgedeki ortalama Nispi nem, ortalama sıcaklık, ortalama atmosferik basınç ve 25 cm derinlikteki ortalama sıcaklık gösterilmiştir. İlk detektörün yerleştirilme tarihi 23.06.2014, çıkarılma tarihi ise 14.07.2014 dür. Çizelge 4.3 deki 1. Ölçüm olan 14.07.2014 ün karşısındaki değerler 23.06.2014 ile 14.07.2014 tarihleri arasındaki ortalama değerlerdir. Benzer şekilde 2. Ölçüm ise 14.07.2014 ile 18.08.2014 arasında yapılmıştır. Çizelgedeki 18.08.2014 ün karşısındaki değerler bu tarihler arasındaki ortalama değerlerdir. Diğer ölçümlerde benzer ortalamalar alınmıştır.

Çizelge 4.6 Ölçüm Zamanlarına Göre Meteorolojik Veriler

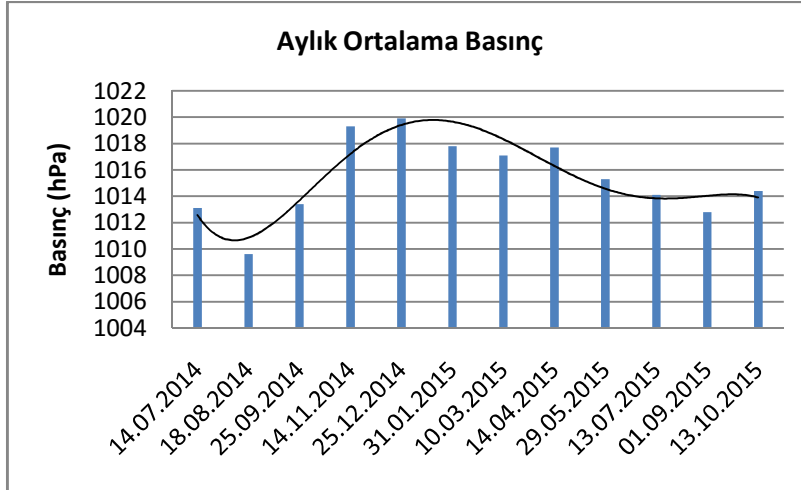
	Günlük Ortalama Nispi Nem(%)	Günlük Ortalama Sıcaklık(°C)	Ort. Mahalli Basınc (hPa)	25cm Derinlikteki Toprak Sıcaklığı(°C)
14.07.2014	68,4	23,9	1013,1	27,5
18.08.2014	77,2	25,3	1009,6	26,6
25.09.2014	75,7	22,5	1013,4	23,6
14.11.2014	80,1	14,6	1019,3	15,1
25.12.2014	88,2	9,9	1019,9	9,5
31.01.2015	82,4	5,7	1017,8	4,8
10.03.2015	78,7	6,3	1017,1	6,6
14.04.2015	77,6	8,5	1017,7	10,2
29.05.2015	76,2	16,2	1015,3	20
13.07.2015	71,2	21,8	1014,1	27,3
01.09.2015	69,1	25,7	1012,8	29,9
13.10.2015	77,1	22,6	1014,4	25,2

4.7.1. Atmosferik Basınç Verileri

Çalışma bölgesindeki atmosfer basıncı incelendiğinde 16 ay boyunca en düşük 993 hPa, en yüksek ise 1038 hPa, ortalama değerin ise 1015,37 hPa olduğu görülmektedir(Şekil 4.77). Detektörlerin toplanma zamanlarına göre çizilmiş olan şekil 4.78 daki grafik incelendiğinde kış aylarındaki (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ortalama atmosferik basıncın yaz aylarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.77 Günlük Ortalama Atmosfer Basıncı



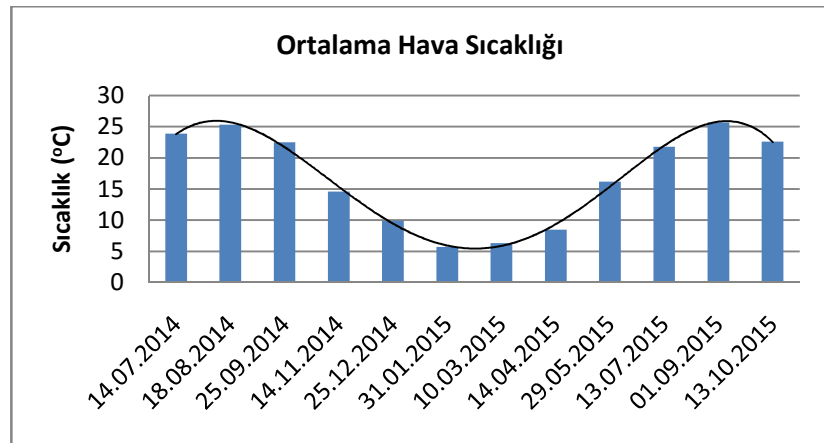
Şekil 4.78 Ölçün Zaman Aralığına Göre Ortalama Atmosfer Basıncı

4.7.2. Hava Sıcaklık Verileri

Çalışma bölgesinin 16 aylık ortalama hava sıcaklığı 16.9°C dır. 6. Ölçüm zaman aralığı olan 25.15.2014 ile 31.01.2015 tarihleri arasındaki ortalama hava sıcaklığı $5,7^{\circ}\text{C}$ ile en düşük ortalama sıcaklıktır. 11. ölçüm zaman aralığı olan 13.07.2015 ile 01.09.2015 tarihleri arasındaki ortalama hava sıcaklığı $25,7^{\circ}\text{C}$ ile en yüksek ortalama hava sıcaklığıdır (Şekil 4.79). Hava sıcaklığının günlük değişimi Şekil 4.80'de ölçüm aralıklarına göre ortalama değişimleri de Şekil 4.80'de gösterilmiştir.



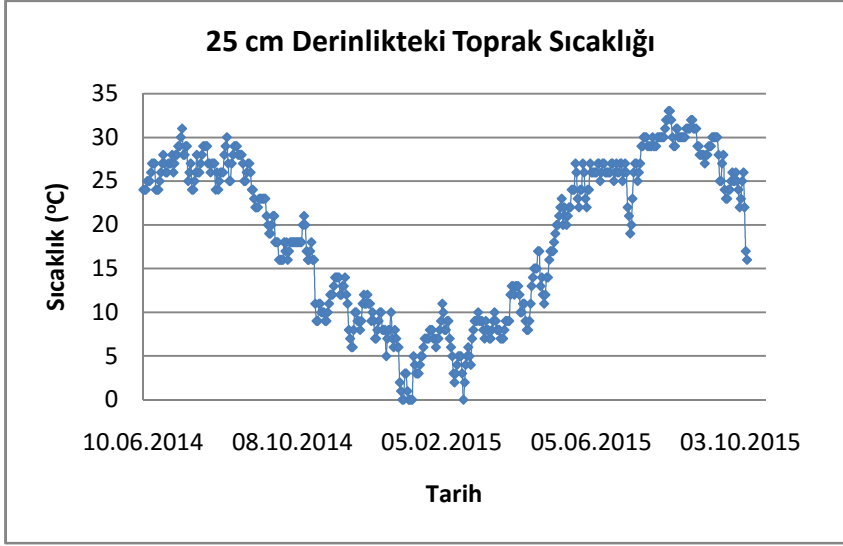
Şekil 4.79 Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı



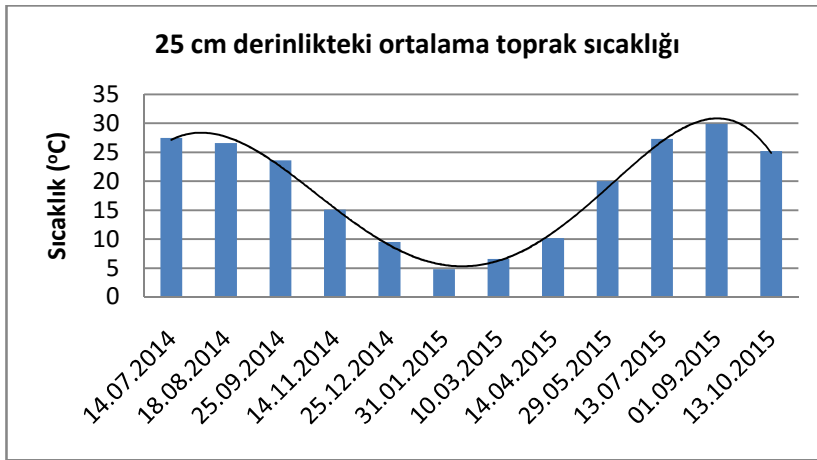
Şekil 4.80 Ölçüm Zaman Aralığına Göre Ortalama Hava Sıcaklığı

4.7.3. 25cm Derinlikteki Toprak Sıcaklığı

Çalışma bölgesinin 16 aylık ortalama toprak sıcaklığı 18,8 °C dir. 6. Ölçüm zaman aralığı olan 25.15.2014 ile 31.01.2015 tarihleri arasındaki ortalama toprak sıcaklığı 4,8 °C ile en düşük ortalama sıcaklıktır. 11. ölçüm zaman aralığı olan 13.07.2015 ile 01.09.2015 tarihleri arasındaki ortalama toprak sıcaklığı 29,9 °C ile en yüksek ortalama hava sıcaklığıdır. Toprak sıcaklığının günlük değişimi şekil 4.81 da ölçüm aralıklarına göre ortalama değişimleri de şekil 4.82 de gösterilmiştir.



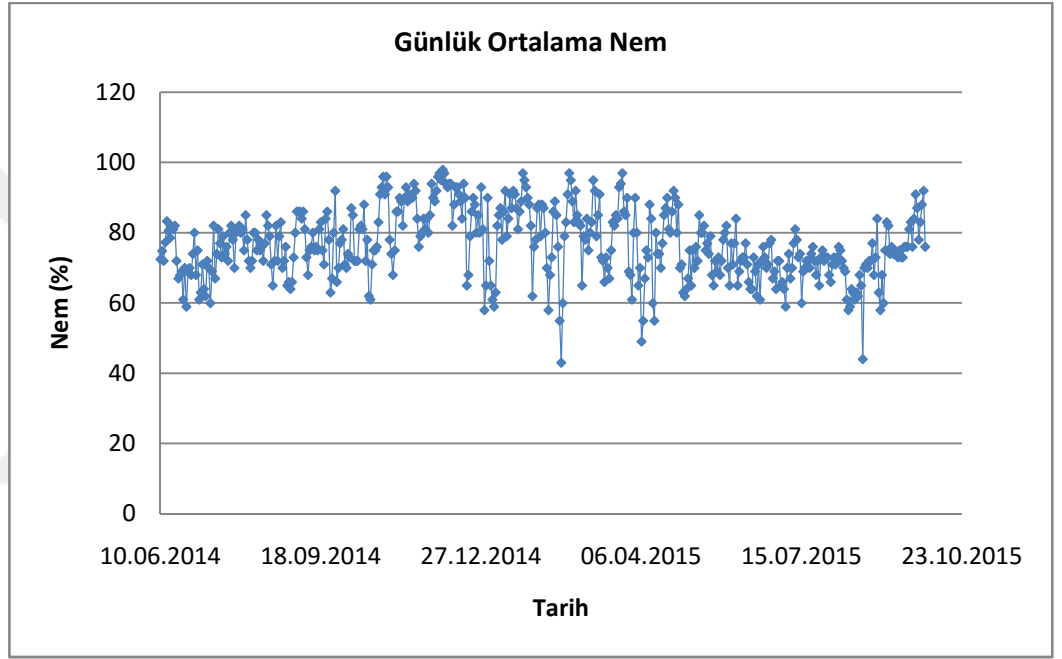
Şekil 4.81 Günlük 25 cm Derinlikteki Ortalama Toprak Sıcaklığı



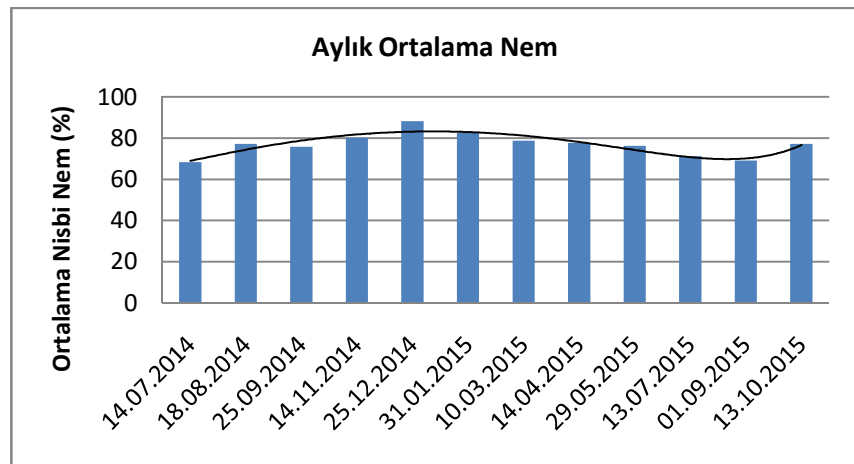
Şekil 4.82 Ölçüm Zaman Aralığına Göre 25 cm Derinlikteki Ortalama Toprak Sıcaklığı

4.7.4. % Nem

Bölgedeki 16 aylık ortalama nispi nem % 76,8 dir. 1. Ölçüm olan 23.06.2014 tarihi ile 14.07.2014 tarihleri arasında nisbi nem ortalama %68 ile en düşük değerde iken 5. Ölçüm olan 14.11.2014 ile 25.12.2014 tarihleri arasında ortalama %88,2 ile en yüksek değerdedir. Bölgedeki nispi nemin günlük değişim şekil 4.83 de ve ölçüm zamanlarına göre ortalama değerleri ise şekil 4.84 de görülmektedir. Kış aylarındaki nemin yaz aylarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.83 Günlük % Nem



Şekil 4.84 Ölçüm Zaman Aralığına Göre % Nem

4.8. Toprağın Fiziksel Ve Kimyasal Özellik Sonuçları

Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üç ayrı kısımda incelenmiştir. Bunlardan birincisi bünye analizi, ikincisi pH ve tuzluluk oranı, üçüncüsü ise toprağın kireçlilik yapısıdır.

4.8.1 Toprağın Bünye Analizi

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin bünye analizleri Çizelge 4.7 de gösterilmiştir. Çalışmadaki 21 örnekleme noktasından 13 tanesi kumlu-tın toprak bünyesi geriye kalan 8 tanesi de tın olarak çıkmıştır. Kum oranı en düşük % 42 ile 2. örnekleme noktasında, en yüksek ise %74 ile 1. örnekleme noktasında çıkmıştır. Mil oranı incelendiğinde en düşük mil oranı %16 ile 1. örnekleme noktasında en yüksek ise, %40 ile 13. örnekleme noktasında çıkmıştır. Kil oranları ise %2 ile 15. örnekleme noktası en yüksek ise % 20 ile 3. örnekleme noktası da çıkmıştır.

Çizelge 4.7 Toprağın Bünye Analizi

Örnekleme Noktası No	% Kum	% Mil	% Kil	Bünye
1	74	16	10	Kumlu tın
2	60	22	18	Kumlu tın
3	42	38	20	Tın
4	62	22	16	Kumlu tın
5	52	34	14	Tın
6	44	38	18	Tın
7	62	30	8	Kumlu tın
8	60	24	16	Kumlu tın
9	50	30	20	Tın
10	50	28	22	Tın
11	66	26	8	Kumlu tın
12	68	20	12	Kumlu tın
13	44	40	16	Tın
14	62	30	8	Kumlu tın
15	70	28	2	Kumlu tın
16	60	24	16	Kumlu tın
17	48	38	14	Tın
18	52	30	18	Tın
19	56	32	12	Kumlu tın
20	54	30	16	Kumlu tın
21	60	32	8	Kumlu tın

4.8.2. Toprağın pH ve Tuzluluk Miktarları

Çalışma bölgesindeki 21 örnekleme noktasından alınan toprak örneklerinin pH ları incelendiğinde hafif alkali ve nötr olduğu görülmektedir. 21 örnekleme noktasından 11 tanesi hafif alkali, 6 tanesi nötr, 2 tanesi hafif asit, 1 tane orta asit, 1 tane orta alkali olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Çalışmadaki 21 örnekleme noktasının tamamında tuzluluk oranlarının çok düşük olduğu (%0,01 ile %0,06 arasında) ve tuzluluk yok olarak değerlendirilebileceği görülmüştür (Çizelge 4.8)

Çizelge4.8 Toprağın pH ve Tuzluluk miktarları

Örnekleme Noktası No	pH	Değerlendirme	Direnç (µS/cm)	% Tuz	Değerlendirme
1	6,9	Nötr	301	0,02	Tuzluluk Yok
2	7,3	Nötr	399	0,03	Tuzluluk Yok
3	7,6	Hafif Alkali	679	0,04	Tuzluluk Yok
4	7,8	Hafif Alkali	377	0,02	Tuzluluk Yok
5	6,8	Nötr	365	0,02	Tuzluluk Yok
6	7,6	Hafif Alkali	531	0,03	Tuzluluk Yok
7	6,3	Hafif Asit	266	0,02	Tuzluluk Yok
8	7,5	Hafif Alkali	574	0,04	Tuzluluk Yok
9	7,5	Hafif Alkali	580	0,04	Tuzluluk Yok
10	7,4	Hafif Alkali	890	0,06	Tuzluluk Yok
11	5,8	Orta Asit	918	0,06	Tuzluluk Yok
12	7,6	Hafif Alkali	491	0,03	Tuzluluk Yok
13	7,4	Hafif Alkali	692	0,04	Tuzluluk Yok
14	7,0	Nötr	647	0,04	Tuzluluk Yok
15	8,3	Orta Alkali	796	0,05	Tuzluluk Yok
16	7,5	Hafif Alkali	350	0,02	Tuzluluk Yok
17	7,3	Nötr	566	0,04	Tuzluluk Yok
18	6,3	Hafif Asit	191	0,01	Tuzluluk Yok
19	7,6	Hafif Alkali	618	0,04	Tuzluluk Yok
20	7,5	Hafif Alkali	406	0,03	Tuzluluk Yok
21	7,3	Nötr	541	0,03	Tuzluluk Yok

4.8.3 Toprağın Kireç Analizi

21 Örnekleme Noktasının kireç yapısı incelendiğinde bölgenin kireççe zengin olduğu söylenilebilir. 21 örnekleme noktasından 7 si kireççe zengin, 5 i kireçli, 5 i Bünye+Marn, 4 ise kireççe fakir çıkmıştır. En düşük %1 ile 7. örnekleme noktası, en yüksek ise %18 ile 16. örnekleme noktası çıkmıştır (Şekil 4.9).

Çizelge 4.9 Toprağın Kireçlilik Değerlendirilmesi

Örnekleme Noktası No	% CaCO ₃	% CaCO ₃ Değerlendirme
1	6	Kireççe Zengin
2	9	Kireççe Zengin
3	14	Bünye+Marn
4	15	Bünye+Marn
5	4	Kireçli
6	8	Kireççe Zengin
7	1	Kireççe Fakir
8	9	Kireççe Zengin
9	4	Kireçli
10	4	Kireçli
11	1	Kireççe Fakir
12	8	Kireççe Zengin
13	12	Bünye+Marn
14	13	Bünye+Marn
15	8	Kireççe Zengin
16	18	Bünye+Marn
17	2	Kireççe Fakir
18	1	Kireççe Fakir
19	7	Kireççe Zengin
20	4	Kireçli
21	4	Kireçli

4.9. İstatistiksel Analiz Sonuçları

Çalışma neticesinde elde edilen veriler bu bölümde istatistiki olarak değerlendirilmiştir. İstatistiki değerlendirmede öncelikle radon ölçüm verilerinin normal istatistiki dağılıma uyup uymadığı araştırılmıştır. Herhangi bir veri sisteminin normal dağılıma uyup uymaması çok önemlidir. Çünkü normal dağılıma uyan veri grubunda parametrik testler kullanılırken, normal dağılıma uymayan veri grubunda ise parametrik olmayan (non parametrik) testler kullanılır.

Çalışmadan elde edilen veri grubu değerlendirildiğinde parametrik olmayan bir veri grubuna sahip olduğu görülmüş ve istatistiki değerlendirme non parametrik olan Spearman korelasyon analizi ile değerlendirilmeye tabii tutulmuştur.

Çalışma kapsamında kullanılan veriler Spearman korelasyon katsayı değerleri kullanılmıştır. Spearman korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve ilişkinin miktarını belirlenir. Bulunan katsayı değerinin artı (pozitif) çıkması; iki değişkenin arasında biri artarken (azalırken) diğerinin de arttığı (azaldığı) doğru orantılı olan bir ilişkinin olduğunu gösterir. Eksi (Negatif) olması ise biri azalırken (artırken) diğerinin arttığını (azaldığı) durumunu gösterir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1; değeri arasında olmaktadır. Bu değişim katsayı -1 veya +1'e yaklaştıkça ilişkinin kuvvetli uzaklaştıkça zayıf olduğunu temsil etmektedir.

Çizelge 4.10 de istasyonlara göre ^{226}Rn , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , pH, % Tuz, %CaCO₃, % Kum, % Mil ve % Kil miktarları değerlendirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Burada radon, doğal radyoaktiviteyi oluşturan radyoniklidler ve toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Çizelge 4.11 de ise ölüm zaman aralıklarına göre ^{226}Rn , Nem, Hava Sıcaklık, Basınç, Toprak Sıcaklığı (25 cm) parametrelerinin aralarında ilişkiler incelenmiştir. Bu inceleme esnasında tüm parametrelerin bölgedeki tüm örnekleme noktalarındaki ölçümlerin, ölçüm zamanlarına göre ortalaması alınmış (ölçüm zamanlarına göre aylık olarak) ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

Çizelge4.10 Çalışmadaki elde Edilen Veriler Arasındaki Spearman Korelasyon Katsayıları-1

	²²² Rn	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	pH	% Tuz	% CaCO	% Kum	% Mil	% Kil
²²² Rn	1									
²²⁶ Ra	- 0,029	1								
²³² Th	- 0,114	0,085	1							
⁴⁰ K	- 0,036	- 0,198	0,283	1						
pH	- 0,158	0,065	0,041	-0,069	1					
% Tuz	- 0,345	- 0,053	-0,131	-0,093	0,209	1				
% CaCO	- 0,383	- 0,246	-0,189	0,064	0,603**	0,006	1			
% Kum	- 0,033	- 0,202	0,434*	0,453*	-0,099	- 0,145	0,022	1		
% Mil	- 0,071	- 0,183	-0,265	-0,341	-0,030	0,182	-0,165	- 0,768**	1	
% Kil	- 0,070	- 0,151	-0,310	-0,325	0,228	- 0,025	0,182	- 0,717**	0,128	1

Not: N=21 için, *p<0.05, **p<0.001

Çizelge4.11 Çalışmadaki elde Edilen Veriler Arasındaki Spearman Korelasyon Katsayıları-2

	^{226}Rn	Nem	Sıcaklık	Basınç	Toprak Sıcaklığı (25 cm)
^{226}Rn	1				
Nem	-0,559*	1			
Sıcaklık	0,538	-0,755**	1		
Basınç	-0,636*	0,818**	-0,860**	1	
Toprak Sıcaklığı (25 cm)	0,594*	-0,881**	0,937**	-0,839**	1

Not: N=12 için, *p<0.05, **p<0.001

Verilerin değerlendirilmesi neticesinde bazı veriler arasında anlamlı ilişki, bazı veriler arasında ise kuvvetli anlamlı ilişki bulunmuştur.

Bu ilişkiler;

- ❖ ^{232}Th ile Kum arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,434, p<0,05),
- ❖ ^{40}K ile Kum arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,453, p<0,05),
- ❖ pH ile % CaCO_3 arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,603, p<0,001),
- ❖ % Kum ile % Mil arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,768, p<0,001),
- ❖ % Kum ile % Kil arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,717, p<0,001),
- ❖ ^{222}Rn ile Nem arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,559, p<0,05),
- ❖ ^{222}Rn ile Basınç arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,636, p<0,05),
- ❖ ^{222}Rn ile Toprak sıcaklığı arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,594, p<0,05),
- ❖ Basınç ile Nem arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,818, p<0,001),
- ❖ Hava sıcaklığı ile Nem arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,755, p<0,001),

- ❖ Toprak sıcaklığı ile Nem arasında pozitif (Korelasyon kat. 0,881, $p<0,001$),
- ❖ Basınç ile Hava sıcaklığı arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,860, $p<0,001$),
- ❖ Basınç ile Toprak sıcaklığı arasında negatif (Korelasyon katsayısı 0,839, $p<0,001$),
- ❖ Hava sıcaklığı ile Toprak sıcaklığı arasında pozitif (Korelasyon katsayısı 0,937, $p<0,001$),

Atmosfere salınan radonun ön önemli kaynağının radyum olduğu çeşitli çalışmalardan dolayı bilinmektedir. Bu sebepten dolayı toprak içerisindeki radon konsantrasyonları ile radyum konsantrasyonları arasındaki korelasyonun incelenmesi önemlidir. Çalışma bölgesinden LR-115 detektörleriyle ölçülen ve ortalamaları hesaplanan toprak gazındaki radon konsantrasyonları ile topraktaki radyum konsantrasyonları arasında herhangi bir anlamlı ilişki bulunamamıştır. Bu ilişkinin bulunamamasının birçok sebebi olabilir. Fakat esas sebebinin bölgedeki radyum konsantrasyonunun dünya ortalamasına yakın bir konsantrasyona sahip olması olabilir. Bu bakış açısıyla çalışma bölgesinde ölçülen radonun kaynağının toprak değil, daha alt katmanlardaki kaynaklardan meydana geldiği düşünülebilir. derin kaynaklardan oluşan radon atmosfere doğru göç etmektedir. Benzer sonuçlar hem İç hedef (2011), hem de Taşköprü (2014) ün sonuçlarında da görülmektedir. Bundan dolayı radon konsantrasyonlarında meydana gelen anomalinin sebeplerinden bir tanesi de yer kabuğu hareketlerinden kaynaklandığı söylenebilir.

2010 yılında Al-Hilal ve Al-Ali'nin Suriye' deki yaptığı çalışmada fay hatları bölgesinde ve çevresinde ölçülen radon konsantrasyonlarının diğer bölgelere göre daha fazla olduğu bildirilmiştir. Bu ölçümlerle yüzey altındaki bilinmeyen faylanmaların radon ölçümleriyle yerlerinin tam olarak tespit edilebileceği yorumlanmıştır.

Meteorolojik verilerden elde edilen sonuçlarla deprem arasındaki ilişkinin açıklanabilmesi çoğu kez oldukça zordur. Fakat meteorolojik faktörler radon çıkış hızını ve yoğunluğunu büyük oranda etkilemektedir. Atmosfer basıncının yüksek

olduğu zaman diliminde alt kısımlarda oluşan radonun yukarıya doğru göçü ve atmosfere çıkışı zor olacağı için radon konsantrasyonları bu zaman diliminde daha düşük olarak karşımıza çıkmaktadır (Nazaroff and Nero, 1992).

2011 yılında İçhedef'in yaptığı çalışmada atmosferik basıncın artmasıyla radon çıkışının azaldığını bildirmiştir. Fakat bazı istasyonlarında bu ilişkiyi gözlemleyememiştir. 2007 yılında Vaupotic ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada atmosferik basınç ile radon çıkışı arasında ters orantı olduğunu raporlamışlardır. 2002 yılında Zamazek ve arkadaşları Slovenya sınırları içerisinde yaptıkları çalışmada atmosferik basıncın artışıyla radon çıkışının azaldığını rapor etmişlerdir. 2012 yılında İnan ve arkadaşları Hatay, Gaziantep ve Adana sınırlarını kapsayan bölgede radon konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi irdelemek amacıyla üç yıl boyunca (2008 ile 2011) radon gözlem istasyonu kurmuşlardır. Radon konsantrasyonlarının mevsimsel olarak uzun periyotlardaki değişimlerini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmanın neticesinde kış aylarındaki radon konsantrasyonunun daha düşük çıktığını, yaz aylarında daha yüksek çıktığını bildirmişlerdir. 2013 yılında Tarakçı'nın Tuzla Fayı yakınlarında yapmış olduğu çalışmada nem ile radon konsantrasyonu arasında güçlü bir negatif korelasyon bulmuştur. Ayrıca toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasında pozitif bir güçlü korelasyon bulmuştur. Ayrıca sıcaklık değişimiyle radon konsantrasyonu arasında güçlü bir korelasyon bulmuştur.

Bizim çalışmamızda da yukarıdaki 5 çalışmayı da destekleyecek biçimde sonuçlar bulunmuştur. Nem ile radon çıkışı arasında negatif korelasyon, sıcaklık ile radon arasında pozitif korelasyon bulunmuştur.

2002 yılında Navas ve arkadaşlarının İspanya sınırları içerisinde yapmış oldukları çalışmada pH ve % CaCO_3 arasında pozitif yönde bir korelasyon bulmuşlardır. Genel olarak topraklardaki kireç miktarıyla pH'nın yükseldiği bilinmektedir. İçhedef'in çalışmasında da pozitif ilişki bulunmuştur. Benzer biçimde bizim çalışmamızda da pozitif bir korelasyon bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Batı Marmara Bölgesinde, Çanakkale, Tekirdağ ve Edirne illerini kapsayan kısımlarında toprak gazı radon konsantrasyon değişimleri belirlenmiş ve depremle radon anomalilerin arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Öncelikle çalışma bölgesinin jeolojik yapısı incelenmiş ve uygun bölgelere 21 tane örnekleme noktası kurulmuştur. Bu örnekleme noktalarından 9 tanesi Tekirdağ sınırlarında 9 tanesi Çanakkale sınırlarında 3 tanesi de Edirne sınırlarındadır. Çalışma 23.06.2014 ile 13.10.2015 tarihleri arasında aylık periyotlarla yapılmıştır.

Ayrıca belirlenen örnekleme istasyonlarından toprak örnekleri de alınmıştır. Toprak örneklerin bir kısmı topraktaki doğal radyoaktiviteyi bulmak amacıyla kullanılmış diğer kısmı da toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerin bulunması için laboratuarda analiz edilmiştir. Radon konsantrasyonlarının miktarını etkilediği için meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Deprem verileri ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesin'den alınmıştır.

Elde edilen verilerin tamamının birbirleriyle olan ilişkileri istatistiki olarak değerlendirilmiştir.

Meteorolojik veriler sonucunda, ortalama atmosferik basınç 1015 hPa olup yaz aylarında düşük, kış aylarında yüksek çıkmıştır. Ortalama hava sıcaklığı 16.9 °C olup yaz aylarında yüksek kış aylarında düşük çıkmıştır. Ortalama toprak sıcaklığı 18,8 °C olup hava sıcaklığına göre daha yüksek çıkmıştır. Ortalama nisbi nem % 76,8 olup kış aylarında yaz aylarına göre daha yüksek çıkmıştır.

Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde, genellikle kumlu-tın toprak, bazıları ise tın olarak çıkmıştır. pH ları genellikle nötr ve hafif alkali çıkmış, tuzluluk oranı ise yok denecek kadar az çıkmıştır. Kireçlilik özelliği ise çok çeşitli olup, 7 örnekleme istasyonunda kireççe zengin, 5 i kireçli, 5 i Bünye+Marn, 4 ise kireççe fakir çıkmıştır.

Doğal radyoaktivite sonuçlarında, tüm örnekleme noktalarının ortalaması hesaplandığında ^{226}Ra konsantrasyonun $9,90 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{232}Th konsantrasyonun $26,82 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve ^{40}K konsantrasyonun $445,05 \text{ Bq kg}^{-1}$ olduğu bulunmuştur. ^{226}Ra konsantrasyonu ortalama olarak dünya ortalamasının altındadır. ^{232}Th

konsantrasyonu ise Dünya ortalamasına yakın bir değerdir. ^{40}K konsantrasyonu da Dünya ortalamasının biraz üzerinde çıkmıştır. Çalışma alanındaki bazı istasyonlarda veya çevresinde tarım yapıldığı için potasyum konsantrasyonu Dünya ortalamasının üzerinde çıkmıştır.

Çalışma bölgesinde ortalama doz hızı $39,33 \text{ nGyh}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. UNSCEAR tarafından belirlen dünya ortalamasının 56 nGyh^{-1} değeri ile kıyaslandığında bölgenin ortalaması bu değerden düşüktür.

Bölgeden elde edilen ortalama radon konsantrasyonu ($4,35 \pm 0,47 \text{ kBqm}^{-3}$) diğer çalışmalara benzer olduğu bulunmuştur. Radon konsantrasyonu, istasyonun özelliğine göre, meteorolojik faktörlere göre ve sismik aktiviteye göre değişmektedir. Yaz aylarında radon konsantrasyonu daha yüksek çıkarken kış aylarında daha düşük çıkmıştır. Bazı istasyonlar bazı depremlere tepki verip deprem öncesinde radon konsantrasyonlarında bir artış meydana gelirken bazı istasyonlarda bu tepki gözlemlenmemiştir. Ocak 2015 de kış mevsimi olmasına rağmen hem Aralık 2014' de hem de Şubat 2015' den daha yüksek bir radon konsantrasyon (tüm bölge ortalamasının) çıkmasının sebebi verilen tarihte örnekleme noktalarının çok yakınında deprem olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca fay hattına yakınlık arttıkça radon konsantrasyonunda bir artış olduğu da gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışma kümülatif bir çalışma olduğu için deprem tahminlerinde kullanılması uygun değildir. Depremle ilişkilendirilebilmesi için 10-15 dakikalık ölçümler alınıp sonuçların analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun için sürekli ölçüm istasyonuna ihtiyaç vardır. Bölgeye sürekli bir ölçüm istasyonunun kurulması, özellikle Marmara Denizi' nde meydana gelecek bir deprem için önem arz etmektedir. Bu çalışmada hem Marmara Denizi yakınlarında hem de Saroz körfezi yakınlarında örnekleme noktaları vardır. Marmara denizine yakın olan 9 örnekleme noktasından 2. ve 8. örnekleme noktaları özellikle Ocak 2015 meydana gelen depreme tepki vermektedirler. Dolayısıyla bu örnekleme noktalarının civarlarına sürekli gözlem istasyonu kurulması problemin çözümüne katkı sağlayacaktır. Saroz körfezine yakın olan 12 istasyondan 14., 15. ve 20 istasyonlar özellikle 24 Temmuz 2015 de meydana gelen depreme tepki verdikleri için bu istasyonların civarına sürekli radon ölçüm istasyonu kurulabilir.

Ayrıca olası bir Marmara Denizi'ndeki depremin incelenmesi için çalışılan bu bölgeyle beraber fay hattının kara ile en yakın bağlantısı olan adalar (Büyükada, Heybeli ada, Burgaz ada) bölgesine sürekli radon izleme istasyonunun kurulması gerekebilir. Sismik aktivite tahminlerinde radonun yanında diğer tahmin parametrelerinde sürekli ölçülmesi ve değerlendirilmesi olası depremlerin önceden belirlenmesine yardımcı olacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- AFAD**, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://www.deprem.gov.tr> (erişim tarihi 01.05.2015)
- Akalan, İ.**, 1968, Toprak Oluşu, Yapısı ve Özellikleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 356, 556 s.
- Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M. and Mohsin Iqbal, M.**, 2005, Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan, *Radiation Measurements*, 39, 11 – 14.
- Akol, B.**, 2009, Çanakkale ve Çevresinin Deprem Riskinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Akyıldırım, H.**, 2005. Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta. 99 s.
- Alam, M.N., Chowdhury, M.I., Kamal, M., Ghose, S., Banu, H. and Chakraborty, D.**, 1997, Radioactivity in chemical fertilizers used in Bangladesh, *Applied Radiation and isotopes*, 48 (89), 1165-1168.
- Al-Hilal, M. and Al-Ali, A.**, 2010, The role of soil gas radon survey in exploring unknown subsurface faults at Afamia B dam, Syria, *Radiation Measurements*, 45, 219–224.
- Al-Karouf, S., Al-Hamarneh, I.F. and Dababneh, M.**, 2008, Natural radioactivity, dose assessment and uranium uptake by agricultural crops at Khan Al-Zabeeb, Jordan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1192-1199 p.
- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y. ve Delibacak, S.**, 2008, Toprak Bilimi, Üçüncü baskı, Ege Üniversitesi Basım Evi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:557, 355 s..
- Ambraseys N.N.**, 2002, The seismic Activity of Marmara Sea Region over the Last 200 years. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1):1-18

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ambraseys N.N., and Jackson J. A., 2000**, seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1950. *Geophysical Journal International*, 141:F1-F6
- Ambraseys N.N. ve Finkel, C.F., 1991.** Long-term seismicity of Istanbul and the Marmara Sea region. *Terra Nova*, 3: 527-539.
- Ambraseys N.N. and Moinfar, A.A., 1988**, İsoseismal maps across national frontiers: the Caldiran (Turkey) earthquake of November 1976, *European Earthquake Engineering*, 1:15-21
- Atabey, E., 2000**, Deprem, Maden Tetkikve Arama Genel Müdürlüğü Yayınlarından, Eğitim serisi No: 4
- Aydın, Y., 1974**, étude petrographique dela partic centrale du massif D'Instranca, Doktora Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi
- Baixeras, C., Climent, H., Font, L.L., Bacmeister, G.U., Albarracín, 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),713-716.
- Barka A., 1997.** Neotectonics of the Marmara sea region, Active tectonics of the Northwestern Anatolia- The Marmara Poly-Project.vdf Hochschulverlag AG an der ETHZürich. 55-87.
- Başdan, N., 2013**, Denizli Bölgesindeki Jeotermal Alanlarda RRadon Ölçümleri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü
- Balducci, O., Bigazzi, G., Cioni, R., Leonardi, M., Meletti, C., Norelli, P., Pescia, A., and Taddeucci, G., 1994**, Monitoring ²²²Rn in soil gas of Garfagnana (Tuscany) aimed at earthquake prediction, *Annali di Geofisica*, 37(5), 861-881.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baykara, O. and Doğru, M.**,2006, Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey), *Radiation Measurements*, 41, 362–367.
- Baykara, O., Doğru, M. İnceöz, M. ve Aksoy, E.**, 2005, Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of north and east anatolian active faults systems in Turkey, *Radiation Measurements*, 39, 209-212 p.
- Biddle and N. Christie-Blick (Editors)**, Strike-Slip Faulting and Basin Formation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, Special Publication No.37 pp. 227-264
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ulusal Deprem İzleme Merkezi**, “GoogleMap üzerinde Türkiye’ meydana Gelen Depremler”, <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/gmapt.asp>, (Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2016).
- Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M.M., Kumru, M.N., Çolak, B., Esetlili, T. ve Özen, F.**, 2010, Alangüllü (Aydın) Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Kimyasal Özelliklerinin ve İçerdikleri Radyoaktif Maddelerin Su Kaynakları, Tarım Toprakları ve Kültür Bitkilerine Etkilerinin Multidisipliner Yaklaşımla Saptanması Üzerine Araştırmalar, (107O085), Tübitak Projesi.
- Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M.M., Kumru, M.N., Çolak, B., Esetlili, T. ve Özen, F.**, 2010, Alangüllü (Aydın) Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Kimyasal Özelliklerinin ve İçerdikleri Radyoaktif Maddelerin Su Kaynakları, Tarım Toprakları ve Kültür Bitkilerine Etkilerinin Multidisipliner Yaklaşımla Saptanması Üzerine Araştırmalar, (107O085), Tübitak Projesi.
- Bondarenko, O.A., Korneev, A.A., Onishchuk, Yu. N., Berezhnoy, A.V., Aryasov, P.B., Antonyuk, D. and Dmitrienko, A.V.**, 1999, Application of SSNTD for maintenance of radiation and nuclear safety of the Sarcophagus, *Radiation Measurements*, 30 (6), 709-714.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bondarenko, O.A., Korneev, A.A., Onishchuk, Yu. N., Berezhnoy, A. V., Aryasov, P.B., Antonyuk, D. And Dmitrienko, A.V.,** 1999, Application of SSNTD for maintenance of radiation and nuclear safety of sarcophagus, Radiation Measurements, 30 (6), 709-714)
- Bouyoucoucous, G.J.,**1962, A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soils, Agronomy Journal, 419-434
- Boukhenfouf, W. and Boucenna, A.,** 2011, The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique, Journal of Environmental Radioactivity, 102, 336-339.
- Canbaz, C., Çam, N.F., Yaprak, G. and Candan, O.,** 2010, Natural Radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and Assessment of Radiological Hazards in The Kestanbol Granitoid, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 141(2), 192–198.
- Cocceçao, F.T., Bonotto, D.M., Jimenz-Rueda, J.D. and Roveda, J.A.F.,** 2009, Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soils and sugarcane crops at Corumbatai river basin, Sao Paulo State, Brazil, Applied Radiation and Isotopes, 67, 1114–1120.
- Cosma, C., Dancea, F., Jurcut, T. and Ristoiu, D.,** 2001, Determination of ^{222}Rn emanation fraction and diffusion coefficient in concrete using accumulation chambers and the influence of humidity and radium distribution, applied Radiation and Isotopes, 54, 467,473
- Cothorn, R.C., and Smith, J. E.,**1987, Enviromental Radon, Enviromental Science Research, Plenum Press, New York and London
- Cothorn, R.C. and Smith J. E.,** 1987, Environmental Radon, Enviromental Science Research, Plenum Press, New York and London
- Çınar, S.,** 2011, Ganos Fayı'nın Neotektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, 140

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- de Jong, E., Acton, D.F. and Kozak, L.M.,** 1994, Naturally occurring gamma-emitting isotopes, radon release and properties of parent materials of Saskatchewan soils, Canadian Journal Of Soil Science, 74(1), 47-53.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F, A.M.C.,** 1986, Shortening of continental lithosphere; the neotectonics of eastern Anatolia, a young collision zone. Collision Tectonics. Geol. Soc. Sp. Publish, 19:3-36
- Dubinchuk, V.T.,** 1993, Radon as a precursor of earthquakes, isotopic and geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruptions IAEA TECDOC-726.
- Eappen, K.P., Nair, R.N. and Mayya, Y.S.,** 2008, Simultaneous measurement of radon and thoron using Lucas scintillation cell, Radiation Measurements, 43, 91-97.
- Erdil, C.S.,**2004, Gübre üretiminden çevreye gelen radyoaktif katkısının incelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 69 sayfa.
- Ereeş, S., Aytaş, Ş., Saç, M. M., Yener, G. and Şalk, M.,** 2001, Investigation of Correlation Between the Earthquake and Radon concentration in Thermal water along the Faults at Denizli Basin in Turkey, IAEA Research Contract No: Tur-11096.
- Ereeş, F.S., Aytaş, Ş., Saç, M.M., Yener, G. and Şalk, M.,** 2007, Radon concentrations in thermalwaters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey Radiation Measurements, 42, 80-86.
- Ghosh D., Deb A. and Sengupta R.,** 2009, Anomalous radon emission as precursor of earthquake, Journal of Applied Geophysics, 69, 67-81.
- Ghosh D., Deb A., Sengupta R., Bera, S., Sahoo, S.R., Haldar, S. and Patra, K.K.,** 2011, Comparative study of seismic surveillance on radon in active and non-active tectonic zone of West Bengal, India, Radiation Measurements, 46, 365-370.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gökçe, O., Tüfekçi, M.K., Gürboğa, Ş.,** 2014, Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi ve Fay Sakınım Bantlarını Oluşturulması, AFAD yayınları,
- Güloğlu, A.,** 2007, Çeşme bölgesi aktif fay hatlarındaki kaplıcalarda radon anomalileri ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, ege Üniversitesi Nükleer bilimler enstitüsü, 61s.
- Gülkan P. Ne Kalkan E.** 2002. Attenuation modeling of recent earthquake in Turkey. Journal of Sismology, 6(3): 397-409
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z.,** 1997, Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44, 9-11.
- Gülkan P. Ne Kalkan E.** 2002. Attenuation modeling of recent earthquake in Turkey. Journal of Sismology, 6(3): 397-409
- Günay, T.,** 1997, Orman, Ormansızlaşma, Toprak, Erozyon, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları No:1, İstanbul, 71 s.
- Herece E.,** 1990. 1953 Yenice-Gönen Deprem Kırığı ve Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Biga Yarımadası'ndaki Uzantıları. *MTA Dergisi*, 111: 47-59.
- Humanante, B.F., Giroletti, E., Idrovo, J., Monnin, M., Pasinetti, R. and Siedel, J.L.,** 1990, Radon Signals Related to Seismic Activity in Ecuador, March 1987, *Pageoph*, 132(3), 506-520.
- İçhedef, M.,** 2011, Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 123
- 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, 349–353.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İnan, S., Kop, A., Çetin, H., Kulak, F., Pabuçcu, Z., Seyis, C., Ergintav, S., Tan, O., Saatçılar, R. and Bodur, M.N.,** 2012, Seasonal variations in soil radon emanation: long-term continuous monitoring in light of seismicity, Nat Hazards, 62:575–591.
- Kalkan E., Gulkan, P., Yılmaz, N. And Celebi, M.,** 2008, Seismic Hazard in the Istanbul Metropolitan Area: A preliminary re-examination. Journal of Earthquake Engineering, 12 (2): 151-164
- Kalkan E., Gulkan, P., Yılmaz, N. And Celebi, M.,** 2008, Seismic Hazard in the Istanbul Metropolitan Area: A preliminary re-examination. Journal of Earthquake Engineering, 12 (2): 151-164
- Kant, K., Upadhyay S.B., Sonkawade R.G., and Chakarvarti S.K,** 2006, Radiological risk assessment of use of phosphate fertilizers in soil, Iran. J. Radiat. Res., 4 (2), 63-70 p.
- Kazancı, N.,** 1996, Deprem, Bilimve Teknik Dergisi, 341:64-68s.
- Kılıçarslan, Ö.,** 2015, Soğrulma Parametrelerin Belirlenmesi ve Deprem Büyüklüğü Ölçeklerinin Kalibrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kolbaşı, A.,**1997, Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile İzmir Fay Hattında Deprem Tayinine Yönelik Radon Ölçümleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü
- Leung, S.Y.Y., Nikezic, D. And Yu, K.N.,** 2007, Derivation of V function for LR-115 SSNTD from its partial sensitivity to ^{222}Rn and its short-lived progeny, Journal of Environmental Radioactivity, 92 (1), 55-61
- Mahur, A.K., Kumar, R., Sengupta, D. and Prasad, R.,** 2008, Estimation of radon exhalation rate, natural radioactivity and radiation doses in fly ash samples from Durgapur thermal power plant, West Bengal, India, Journal of Environmental Radioactivity, 99, 1289–1293 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Monnin, M.M. and Siedel, J.L.,**1997, Physical Models Related to Radon Emission in Connection with Dynamic Manifestations in the Upper Terrestrial Crust: A Review, Radiation Measurements, 28 (I-6), 703-712.
- Muminov, I.T., Muhamedov, A.K. and Osmanov B.S.,** 2005, Application of NaI(Tl) detector for measurement of natural radionuclides and ^{137}Cs in environmental samples: new approach by decomposition of measured spectrum, Journal of Environmental Radioactivity, 84, 321-331.
- MTA** www.mta.gov.tr (Erişim Tarihi:01.05.2016).
- Navas, A., Soto, J. and Machin, J.,** 2002, ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th and ^{40}K activities in soil profiles of the Flysch sector (Central Spanish Pyrenees), Applied Radiation and Isotopes, 57, 579–589.
- Narayana, Y., Rajashekara, K.M. and Siddappa, K.,** 2007, Natural radioactivity in some major rivers of coastal Karnataka on the southwest coast of India, Journal of Environmental Radioactivity, 95, 98-106.
- Nazaroff, W.W.,** 1992, Radon Transport from Soil to air, Reviews of Geophysics, 30:137-160p.
- 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, 225-233.
- Negarestani, A., Setayeshi, S., Ghannadi-Maragheh, M. and Akashe, B.,** 2003, “Estimaion Of The Radon Concentration In Soil Related To The Environmental Parameters By A Modified Adaline Neural Network”, Applied Radiation and Isotopes, 58, 269-273.
- Nikezic, D. And Yu, K.N.,** 2004, Formation and growth of tracks in nuclear track materials, Materials Science and Engineering R, 46, 51-123
- Okay, A.I., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N. Ve Kuşçu, İ.,** 1999, An active, deep marine strike slip basin along the North Anatolian fault in Turkey. Tectonics, 18(1):129-147

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özgümüş, A.**,1995, Tarla Bitkileri, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim fakültesi, No.724.
- Özdemir, F.** 2013.Konya'nın Termal Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesiSelçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 70 s.
- Özden, B.**,2010, Gediz havzası tarım yapılan ve yapılmayan alanlarda erozyon hızının radyoaktif kurşun dağılımından belirlenmesi, (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özsoylu, F.B.**, 2006, İzmir-Seferihisar Termal Suları ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 64 sayfa.
- Papastefanou, C.**, 2007, Measurement radon soil gas and groundwaters: a review, Annals of geophysics, 540, 569-578
- Papazachos B.C., and Papazachos, C.**, 1997, The Eartquakes of Greece, ZITI editions, Thessalokoni
- Papazachos B.C., and Papazachos, C.**, 1997, The Eartquakes of Greece, ZITI editions, Thessalokoni
- Polat O**, 2005, Fay Düzlemi Çözümü, Ders Notu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendislii Bölümü Sismoloji Anabilimdalı(Yayınlanmamış)
- Richon, P.,Bernard, P., Laved, V., Sabroux, J.-C, Beneito, A., Lucius, D., Abbad, S. and Robe, M.-C.**, 2007, Results of monitoring ^{222}Rn in soil gas of the Gulf of Corinth region, Greece, Radiation Measurements, 42, 87 – 93.
- Ruckerbauer, F. and Winkler, R.**,2001, Radon concentration in soil gas: a comparison of methods, Applied Radiation and Isotopes, 55, 273–280.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saç, M.M.**, 1994, İzmir ili İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite ve Veriler Arasında Korelasyon Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 64 s.
- Saç, M. M. and 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, (Eng. Abst., 315-316), İzmir-Turkey.
- Saç, M.M. ve Camgöz, B.**, 2005, İzmir’ de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 7, Sayı 3, 47-54.
- Saç, M.M., Kumru, M.N., Yener, G., Şalk, M., Karalı, T., Uğur, A., Sözbilir, H., Camgöz, B., Harmanşah, Ç., Özden, B., Sümer, Ö. ve Erkut, S.L.**, 2008, Yeraltı Suyu ve Toprak Gazı Radon Konsantrasyonlarındaki Değişimin Yerkabuğu (Sismik) Hareketleriyle İlişkilendirilmesi: Doğanbey Fay Hattı, İzmir, Batı Anadolu, (104Y314), Tübitak Projesi.
- 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), 93-98.
- Savovic, S., Djordjevich, A., Tse, P.W. and Krstic, D.**, 2011, Explicit finite difference solution of the diffusion equation describing the flow of radon through soil, Applied Radiation and Isotopes, 69, 237-240
- Seidel, J.L. and Monnin, M.**, 1998, An automatic radon probe for earth science studies, Journal of Applied Geophysics, 39, 209-220.
- Selim H.H.**, 2004. Kuzey Anadolu Fayı’nın Güney Koluna ait Yenice-Gönen, Manyas-Mustafakemalpaşa, Uluabat ve Bursa Faylarının Morfolojik, Sismolojik ve Jeolojik Özellikleri, Doktora Tezi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Selim H.H., Eyidoğan H. ve Tüysüz O.,** 2005. Güney Marmara Bölgesi' nde Tarihsel ve Aletsel Dönemlerde Oluşan Depremlerin Sismolojik ve Jeolojik İncelenmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 112-118.
- Shashikumar, T.S., Ragini, N., Chandrashekara, M.S. and Paramesh, L.,** 2008, Studies on radon in soil, its concentration in the atmosphere and gamma exposure rate around Mysore city, India, Current Science, 94 (9), 1180-1185.
- Shari-ur-Rehman, M. And Shakeel-ur-Rehman, S.R.,**2006, Studying ^{222}Rn exhalation rate from soil and sand samples using CR-39 detector, Radiation measurements, 41 (6),708-7013
- Shearer, P.M.,** 1999, Introduction to Seismology, Cambridge Universty Press, 188-189.
- Shweikani, R. and Hushari, M.,**2005,The correlations between Radon in soil gas and its exhalation and concentration in air in the southern part of Syria, Radiation Measurements, 40, 699 – 703
- Somogyi, G., Hafez, A., Hunyadi, I., and Toth-Szilagyi, M.,** 1986, MEasurement of exhalation and difusion parameters of radon in solids by plastic trackdetektors, Nucl. Tracks Radiat. Meas.,12,701-704.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Shmed, F. and Abdel-Haleem, A.S.,** 2001, Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt, Applied Radiation and Isotopes, 55, 873–879.
- Swakon, J., Kozak, K., Paszkowski, M., Gradzinski, R., Loskiewicz, J., Mazur, J., Janik, M., Bogaz, J., Horwacik, T. and Olko, P.,** 2005, Radon concentration in soil gas around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area, Journal of Environmental Radioactivity, 78, 137–149.
- Straden, E., Kolstad, A.K., and Lin, B.,** 1984, The influence of moisture and tenperature on radon exhalation, Radiat. Prot. Dosira., 7:55-58p.
- Şahin, S.,** 2009, Sivrice Fay Zonundaki Radon Değişimi ve Doğal Radyoaktivite, Dokora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şengör, A.M.C., 1980,** Türkiye Neotektoniğinin Esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını,40
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985,** Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: K.T:
- Şengör A., Görür, N. ve Saroglu, F., 1985.** Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation In Zones of Tectonic Escape: Turkey as case study, in Bittle, K.T. and Christe-Blick, N. (eds.), strike slip formation and sedimation. *Soc. Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publucation*, 37: 227-265.
- Şimşek, H., 1999,** Deprem Bilgisi, Harp Akademisi Basımevi, İstanbul
- Talha, S.A., de Meijer, R. J.,Lindsay, R., Newman, R.T., Maleka, P.P. and Klatshwayo, I. N., 2010,** In-field in water: a nowel approach, *Journal of Environmental Radioactivity*, 101,1024-1031.
- Tarakçı M.,2013,** Tektonik Aktivite İle Radon Değişimleri Arasındaki İlişkilerin Doğrusal Olmayan Analiz İle Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 107
- Tabar E., 2010,** Dikili ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 85
- Taşköprü, C., 2014,** Küçük Menderes Havzası Topraklarında Radon Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 103
- Tanner, A.B., 1980,** Radon Migration in the Ground: A Supplemantary Rewiew, In: *Natural Radiation Environment III*, University of Chicago Press, Chicago, 8-56p

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TUMAS**, “Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi”, <http://tumas.dmi.gov.tr/wps/portal>, (Erişim Tarihi: 05.05.2016).
- Ülküm, Ö.**, 2016, Bodrum Yarımadasında Radon Ölçümleri İle Depremsellik Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- UNSCEAR**, 1988, 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,.
- 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.
- USGS, U.S. Geological Survey**, <http://pubs.usgs.gov/gip/interior/>, (Erişim Tarihi:01.05.2016).
- Vaupotic, J., Barisic, D., Kobal, I. and Lulic, S.**, 2007, Radioactivity and Radon potential of the terra rossa soil, Radiation Measurements, 42, 290–297.
- Virk, H.S. and Walia, V.**, 2001, Helium/radon precursory signals of Charmoli earthquake, India, Radiation Measurements, 34, 379-384.
- Walia V., Virkb H.S., Bajwaa B.S. and Sharmac N.**, 2003, Relationships between radon anomalies and seismic parameters in N-W Himalaya, India, Radiation Measurements, 36, 393-396
- Wattananikorn K., Kanaree M. And Wiboolsake S.**, 1998, Soil Gas Radon as as Earthquake precursor: Some Consideration on Data Improvement, Radiation Measurements, 29, 593-598.
- www. aygünhoca.com/coğrafi-haritalar** (Erişim Tarihi:01.05.2016)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yaprak, G.**, 2003, Aktif Gediz Grabeninde yer alan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı Radon Anomalilerinin İncelenmesi, Tübitak Projesi, ege Üniversitesi Nükleer bilimler Enstitüsü, İzmir
- Yılmaz M. ve Koral H.**, 2007. Yenişehir Havzasının (Bursa) Neotektonik Özellikleri ve Jeolojik Gelişimi. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 20(1): 21-32.
- Zmazek, B., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupotic, J. and Kobal, I.**, 2003, Application of decision trees to the analysis of soil radon data for earthquake prediction, *Applied Radiation and Isotopes*, 58, 697–706.
- Zmazek, B., Zivcic, M., Vaupotic, J., Bidovec, M., Poljak, M. and Kobal, I.**, 2002, Soil radon monitoring in the Krsko Basin, Slovenia, *Applied Radiation and Isotopes*, 56, 649-657.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman GÜNAY

Doğum Yeri : Antalya

Doğum Yılı : 01.01.1979

Öğrenim Durumu:

Lisans :1996-2000 Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği

Yüksek Lisans : 2000-2004 İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Nükleer Enerji Anabilim Dalı

Doktora : 2012-Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Mesleki Durumu:

2000-2009 : İmaj Dershaneleri (Fizik Öğretmenliği)

2009-2013 : Helikon Yayınları (Yazar)

2014- : Okan Üniversitesi SHMYO (Öğretim Görevlisi)