

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİVRİCE FAY ZONUNDAKİ RADON DEĞİŞİMİ VE
DOĞAL RADYOAKTİVİTE**

Sultan ŞAHİN

Tez Yöneticisi
Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2009

TEŞEKKÜR

Sadece bana değil, bütün öğrencilerine hiçbir konuda büyüklüğünü esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Mahmut Doğru'ya en içten saygımla teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, tezimin her basamağında bulunup; önerilerde bulunan tez izleme kurulundaki, saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ercan AKSOY ve Doç. Dr. Soner ÖZGEN'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Tezimde atmosferik verileri alabilmem için, MEKASİS'i yapmasından dolayı da ayrıca Doç. Dr. Soner ÖZGEN hocama teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim sırasında desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım; Doç Dr. Fatih KÜLAHCI'ya, Doç. Dr. Oktay BAYKARA'ya ve Yrd. Doç. Dr. Cumhur CANBAZOĞLU'na teşekkür ederim.

MEKASİS'in yapımında yardımcı olan, arazi ve laboratuvar çalışmalarında da daima yardımını gördüğüm Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK'e; deneysel çalışmalarında laboratuvarını kullanmamda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Murat GENÇ'e çok teşekkür ederim.

11 yıl boyunca hep yanımda olan ve desteklerini sürekli hissettiğim değerli arkadaşlarım Sayime BEKTAŞ'a ve Tuba KARABOĞA'ya, daima yanımda olan arkadaşım Neslihan SEL'e, doktorayı bitirmemi benden çok isteyen ve bu ölçüde de her türlü yardımı esirgemeyen kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Ayşe MERMUTLU'ya çok teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan ve sabrına daima imrendiğim saygıdeğer Subutay Murat HAN'a sayısız kez teşekkür ederim.

Kelimelerle anlatılmayacak kadar değerli, canımdan öte can olan babama, anneme ve kız kardeşlerime hayatımdaki her şey için; hayatımda oldukları için, büyük bir sevgi ile çok teşekkür ederim.

Sultan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	IX
EKLER LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII

1.GİRİŞ	1
---------------	---

2. RADYOAKTİVİTE ve RADYASYON	3
-------------------------------------	---

2.1. Alfa (α) Parçacığı	3
2.2. Beta (β) Parçacığı.....	4
2.3. Gama (γ) Işını.....	5
2.4. Radyoaktif Seriler	5
2.4.1. Uranyum Serisi	6
2.4.2. Toryum Serisi	7
2.4.3. Aktinyum Serisi	8
2.4.4. Neptünyum Serisi.....	9

3. RADYASYON SAYAÇLARI	10
------------------------------	----

3.1. Gaz Doldurulmuş Detektörler.....	10
3.2. Geiger-Müller (G-M) Sayaçları	10
3.3. Parıldama (Sintilasyon) Sayıcıları	13
3.3.1. Parıltıcı (Sintilatör) Türleri	13
3.3.1.1. İnorganik Sintilatörler.....	14
3.3.1.1.1. NaI(Tl) Sintilatörü.....	14
3.3.1.1.2. ZnS(Ag) Sintilatörü.....	15

3.3.1.1.3. CsI(Tl) ve CsI(Na) Sintilatörü	15
3.3.1.1.4. Bizmut Germanyum (BGO) Sintilatörü	16
3.3.1.1.5. Baryum Florür (BaF ₂) Sintilatörü	16
3.3.1.2. Organik Kristaller.....	16
3.3.1.2.1. Saf Organik Kristaller	16
3.3.1.2.2. Sıvı Organik Sintilatörler.....	17
3.3.1.2.3. Plastik Sintilatörler.....	17
3.4. Yarı İletken Detektörler.....	18
3.5. Katıhal Nükleer İz Dedektörleri.....	19
3.5.1. Polimerlerde Yüklü Parçacık İzleri	19
3.5.2. Kazıma Metodolojisi.....	20
3.5.2.1. Kimyasal Kazıma	20
3.5.2.2. Elektrokimyasal Kazıma	20
3.5.3. İz Sayım Metodu ve İstatistiği	20
4. RADON	22
4.1. Radonun Fiziksel Özellikleri	23
4.2. Radon Konsantrasyonlarının Derinlikle İlişkisi	27
4.3. Ana Kayadaki Fay ve Kırık Bölgelerinden Radon Yayılımı	28
5. DEPREM.....	31
5.1. Depremler Nasıl Meydana Gelir?.....	31
5.2. Fay Çeşitleri.....	32
5.2.1. Normal Fay.....	32
5.2.2. Ters Fay.....	33
5.2.3. Yanal Atımlı Fay (Doğrultu Atımlı Fay)	33
5.2.4. Verev (Diyagonal, Eğik) Atımlı Fay.....	33
5.3. Depremlerin Ölçülmesi.....	34
5.4. Depremlerin Şiddet ve Büyüklük Dereceleri	34
5.5. Deprem Türleri.....	35
5.5.1. Tektonik Depremler	35
5.5.2. Volkanik Depremler.....	36
5.5.3. Çöküntü Depremleri.....	36

6. SİVRİCE FAY ZONU.....	37
6.1. Pütürge Metamofitleri (Karbonifer (?)-Permien-Triyas)	39
6.2. Elazığ Magmatitleri (Senoniyen)	40
6.3. Hazar Karmaşığı (Maestrihtiyen-Alt Eosen)	40
6.4. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)	40
6.5. Alüvyonlar	40
6.6. Doğu Anadolu Fay (DAF) Sistemi.....	41
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
7.1. Toprak ve Su Radon Gazı Ölçümleri	42
7.1.1. CR-39 Katı Hal İz Radon Algılayıcıları ve Kalibrasyonu	43
7.1.2. CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri.....	45
7.1.3. Radon Gazı Aktivite Yoğunluğunun Hesaplanması	46
7.2. Çevresel Sıcaklık ve Atmosferik Basınç Ölçümleri	46
7.2.1. Meteorolojik veri Kayıt Sistemi (MEKASİS)	47
7.3. Çevresel Gama Ölçümleri.....	48
7.4. Toprak ve Suda Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesinin Belirlenmesi	49
7.4.1. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması (Kalibrasyonu)	49
7.4.2. Toprak ve Suda Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitelerinin Hesaplanması	51
8. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	52
8.1. Toprak Radon Gazı Ölçümleri	53
8.2. Toprak ve Su Numunelerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonları ve Radon Yayılımı.....	61
8.3. Çevresel Gama Ölçümleri.....	69
8.4. Parametrelerin Mevsimsel Karşılaştırılması	72
8.5. Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri ile Çevresel Gama Ölçümlerinin Karşılaştırılması.....	75
8.6. Toprak Radon Gazı ile Çevresel Gama Ölçümlerinin Karşılaştırılması.....	83
8.7. Toprak Radon Gazı ile Bazı Atmosferik Parametrelerin (Sıcaklık, Basınç ve Nem) Değişimlerinin Karşılaştırılması.....	85

8.8. Toprak ve Su Numunelerinde Radon Yayılımının Karşılaştırılması.....	91
8.9. Toprak Radon Gazı ile Toprak ve Su Numunelerinin Radon Yayılımlarının Karşılaştırılması.....	93
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	97
10.KAYNAKLAR.....	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Uygulanan gerilime bağlı olarak oluşan iyon çifti sayısı	12
Şekil 4.1: ^{238}U den ^{206}Pb 'a radyoaktif bozunum serisi	25
Şekil 4.2: Deprem öncesinde bazı fiziksel parametrelerdeki değişim	29
Şekil 4.3: Radon gazının topraktaki yayılımı.....	30
Şekil 6.1: Sivrice Fay Zonu'nu oluşturan başlıca faylar.....	38
Şekil 6.2: Elazığ yakın çevresinin, (a) Türkiye'nin tektonik çatısındaki konumu; (b) jeolojik haritası.....	39
Şekil 7.1: Radon gazı izlenmesinde kullanılan algılama sisteminin şematik gösterimi	42
Şekil 7.2: Difüzyon kabı (içine iz detektörü yerleştirilmiş)	43
Şekil 7.3: Kalibrasyon odası (225 litre hacime sahip varil).....	44
Şekil 7.4: Pozlama süresince elde edilen net iz sayısı	45
Şekil 7.5: Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi	45
Şekil 7.6: CR-39 katı hal iz detektörü ve alfa parçacıklarının izleri.....	46
Şekil 7.7: MEKASİS veri kayıtçı sisteminin blok devre şeması	48
Şekil 7.8: MEKASİS veri kayıtçı sisteminin önden (üste) ve arkadan (altta) görüntüsü.....	48
Şekil 7.9: Düşük seviyeli alfa sayıcısının uygulama geriliminin belirlenmesi.....	50
Şekil 7.10: Sayım hızının eşik gerilimi ile değişimi.....	51
Şekil 8.1: Radon istasyonlarının Sivrice Fay Zonu üzerindeki konumları	52
Şekil 8.2: İstasyonlardan elde edilen Ekim 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	53
Şekil 8.3: İstasyonlardan elde edilen Kasım 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	54
Şekil 8.4: İstasyonlardan elde edilen Aralık 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	54
Şekil 8.5: İstasyonlardan elde edilen Ocak 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	55
Şekil 8.6: İstasyonlardan elde edilen Şubat 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	55
Şekil 8.7: İstasyonlardan elde edilen Mart 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.....	56
Şekil 8.8: İstasyonlardan elde edilen Nisan 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	56
Şekil 8.9: İstasyonlardan elde edilen Mayıs 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.....	57
Şekil 8.10: İstasyonlardan elde edilen Haziran 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	57
Şekil 8.11: İstasyonlardan elde edilen Temmuz 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.....	58
Şekil 8.12: İstasyonlardan elde edilen Ağustos 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.....	58
Şekil 8.13: İstasyonlardan elde edilen Eylül 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi	59
Şekil 8.14: Soğukpınardan kaydedilen radon yayılımları ile meydana gelen depremlerin ilişkisi (a: Yıllık, b: Temmuz 2008 ayına ait değerler)	60

Şekil 8.15: Sonbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	62
Şekil 8.16: Sonbaharda alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	63
Şekil 8.17: Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	64
Şekil 8.18: Kış mevsiminde alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	65
Şekil 8.19: İlkbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	66
Şekil 8.20: İlkbaharda alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	67
Şekil 8.21: Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	68
Şekil 8.22: Yaz mevsiminde alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	69
Şekil 8.23: Sivrice Fay Zonu üzerinde bulunan dört istasyonun zemin seviyesinde çevresel gama değişimi	71
Şekil 8.24: Sivrice Fay Zonu üzerinde bulunan dört istasyonun 1 m seviyesinde çevresel gama değişimi.....	71
Şekil 8.25: Sivrice Fay Zonu üzerinde kurulu olan istasyonlardan on-line olarak alınan sürekli radon gazının mevsimsel değişimi (a: Kösebayır, b: Soğukpınar, c: Gezin, d: Sivrice).....	72
Şekil 8.26: Sivrice Fay Zonu üzerinde sürekli radon gazı ölçüm istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin radon yayılımlarının mevsimsel değişimleri.....	73
Şekil 8.27: Sivrice Fay Zonu üzerinde sürekli radon gazı ölçüm istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki mevsimsel değişim	74
Şekil 8.28: Sivrice Fay Zonu üzerinde ölçülen çevresel gama değerlerinin mevsimsel değişimleri.....	75
Şekil 8.29: 1. istasyonda (Kösebayır) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	76

Şekil 8.30: 1. istasyonda (Kösebayır) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	76
Şekil 8.31: 2. istasyonda (Soğukpınar) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	77
Şekil 8.32: 2. istasyonda (Soğukpınar) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	78
Şekil 8.33: 3. istasyonda (Gezin) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	79
Şekil 8.34: 3. istasyonda (Gezin) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	80
Şekil 8.35: 4. istasyonda (Sivrice) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	81
Şekil 8.36: 4. istasyonda (Sivrice) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	82
Şekil 8.37: 1. istasyonun (Kösebayır) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	83
Şekil 8.38: 2. istasyonun (Soğukpınar) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	84
Şekil 8.39: 3. istasyonun (Gezin) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	84
Şekil 8.40: 4. istasyonun (Sivrice) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması	85
Şekil 8.41: 2004-2005 yıllarında Sivrice istasyonundan elde edilen veriler	87
Şekil 8.42: 2004-2005 yılında tarafımızdan kaydedilen veriler ile DMM tarafından kaydedilen verilerin karşılaştırılması	87
Şekil 8.43: MEKASİS tarafından kaydedilen veriler ile DMM tarafından kaydedilen verilerin karşılaştırılması	88

Şekil 8.44: 1. istasyonun (Kösebayır) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.....	89
Şekil 8.45: 2. istasyonun (Soğukpınar) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri	90
Şekil 8.46: 3. istasyonun (Gezin) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.....	90
Şekil 8.47: 4. istasyonun (Sivrice) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.....	91
Şekil 8.48: 1. (Kösebayır) ve 2. (Soğukpınar) istasyonlarının toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılmaları	92
Şekil 8.49: 3. (Gezin) ve 4. (Sivrice) istasyonlarının toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılmaları	93
Şekil 8.50: Kösebayır'ın toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması	94
Şekil 8.51: Soğukpınar'ın toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması	95
Şekil 8.52: Gezin'in toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması	95
Şekil 8.53: Sivrice'nin toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması	96

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1: Bazı saf beta kaynakları	4
Çizelge 2.2: Radyoaktif seriler.....	5
Çizelge 2.3: Uranyum serisi.....	6
Çizelge 2.4: Toryum serisi	7
Çizelge 2.5: Aktinyum serisi.....	8
Çizelge 2.6: Neptünyum serisi	9
Çizelge 3.1: Sintilatörlerin özellikleri.....	14
Çizelge 3.2: Yarı iletken detektör materyallerinin fiziksel özellikleri.....	18
Çizelge 4.1: ²³⁸ U Bozunum serisindeki bazı radyoizotopların özellikleri.....	22
Çizelge 4.2: Radon ürünlerinin bozunum serisi	23
Çizelge 8.1: Sonbaharda (2007 yılı) alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı	61
Çizelge 8.2: Kış mevsiminde alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı	63
Çizelge 8.3: İlkbaharda alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı	65
Çizelge 8.4: Yaz mevsiminde alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı	67
Çizelge 8.5: Çevresel gama ölçümü yapılan noktaların konumu	70
Çizelge 8.6: İstasyonlarda zemin ve 1m seviyelerde yapılan çevresel gama ölçüm değerleri...	70

EKLER LİSTESİ

- EK-1:** Ekim 2007'ye ait deprem listesi
- EK-2:** Kasım 2007'ye ait deprem listesi
- EK-3:** Aralık 2007'ye ait deprem listesi
- EK-4:** Ocak 2008'e ait deprem listesi
- EK-5:** Şubat 2008'e ait deprem listesi
- EK-6:** Mart 2008'e ait deprem listesi
- EK-7:** Nisan 2008'e ait deprem listesi
- EK-8:** Mayıs 2008'e ait deprem listesi
- EK-9:** Haziran 2008'e ait deprem listesi
- EK-10:** Temmuz 2008'e ait deprem listesi
- EK-11:** Ağustos 2008'e ait deprem listesi
- EK-12:** Eylül 2008'e ait deprem listesi

ÖZET

Doktora Tezi

SİVRİCE FAY ZONUNDAKİ RADON DEĞİŞİMİ VE DOĞAL RADYOAKTİVİTE

Sultan ŞAHİN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

2009, Sayfa: 107

Türkiye’de büyük depremleri üreten iki önemli diri fay sistemlerinden biri olan Doğu Anadolu Fay Sistemi’nin (DAFS) Sivrice Fay Zonu üzerine dört radon izleme istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlardan kaydedilen sürekli radon gazı çıkışları, çevresel gama ölçümleri ve bu istasyonların bulunduğu yerlerden alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonlarının değişimleri ve bunların radon yayılımları incelendi. Elde edilen veriler ile bölgenin sürekli radon değişimi gözlemlendi ve doğal radyoaktivite seviyesi belirlendi.

Sivrice Fay Zonunda jeolojik oluşumun, toprak yapısının ve çevresel faktörlerin; elde edilen bulguların değişimine etkilerinin olduğu görüldü. Fay zonu boyunca sürekli radon gazı çıkışının bazı atmosferik parametrelerin (sıcaklık, basınç ve nem) değişimine bağlılığı ve sürekli radon gazı çıkışındaki değişimin deprem ön habercisi olup olmayacağı incelendi. Elde edilen bulgulardan fay zonu boyunca sürekli radon gazı değişiminin atmosferik şartların etkisinden arındırılmasıyla; deprem ön kestirimde önemli bir parametre olarak kullanılabileceği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Sivrice Fay Zonu, Radon, Doğal Radyoaktivite.

ABSTRACT

PhD Thesis

RADON CHANGE and NATURAL RADIOACTIVITY ON THE SİVRİCE FAULT ZONE

Sultan ŞAHİN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Physics Department

2009, Page: 107

It is built up four radon stations on the Sivrice Fault Zone of the East Anatolia Fault System which one of the two important seismically active fault that products big earthquake in the Turkey. Radon existence recorded from the stations, environmental gamma measurements, changes of the gross alpha and beta radioactivity concentrations in water and soil from the stations and their radon exhalation were examined. Radon changes and natural radioactivity concentrations of the location were determined by the data obtained.

It is seen that geological formation, soil structure and environmental factors have important effects on the changes of the data obtained. As other same studies in the literature show, this study also shows that changes in the radon exhalation and atmospheric factors are not directly accepted as the predict of earthquake.

Keywords: Sivrice Fault Zone, Radon, Natural Radioactivity.

1. GİRİŞ

Radyoizotopların büyük bir bölümünün keşfine öncü olan; Becquerel, Pierre ve Marie Curie'nin çalışmalarının ardından radyoaktiflik alanında ciddi araştırmalar yapılmıştır. Doğal radyoaktif çekirdeklerin her biri, kendi karakteristik yayılım düzeni ile bozunur ve belirli kimyasal davranışları ile teşhis edilebilirler. Rutherford ve Soddy, radyoaktif atomların çeşitli radyasyonlar yayarak daha hafif yapılara dönüştüğünü ileri sürmüşlerdir [1].

Dış uzaydan iyonize edici radyasyon (kozmetik radyasyon), yeryüzünü sürekli olarak bombardıman eder. İyonize edici kozmik radyasyonlar ve doğal kaynaklardan ortama yayılan benzer radyasyonlar arka plân (background) radyasyonu olarak adlandırılırlar. Radyasyon, yüksek hızlı parçacıklar veya değişik seviyelerde enerjilere sahip elektromanyetik dalgalar şeklinde ortamdaki enerji transferidir. Doğal olarak oluşan radyoaktif madde; toprak ve kayalarda, binaların duvarları ve zeminlerinde, içtiğimiz su ve yediğimiz besinlerde bulunur [2, 3].

Doğada kendiliğinden bulunan veya başka bir atomun bozunmasından oluşan doğal radyoaktivitenin önemli bir bölümü, toprak ve kayalarda bulunan radyoaktif cevherlerden kaynaklanır. İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyonların arka plân (background) aktiviteleri esas olarak bölgenin jeolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Toprakta var olan radyoizotoplar, toprakla devamlı temas halinde olan sular içerisinde çözünabilmekte ve sularda doğal arka plân radyasyon seviyesi meydana getirmektedir.

Radyoaktif kaynakların aktivitesi klasik birim sisteminde Curie (Ci) veya SI birim sisteminde Becquerel (Bq) cinsinden ölçülür. Bir Curie; saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunuma sahip herhangi bir radyoaktif maddenin miktarıdır [4].

Radyoaktiflik, bir atom çekirdeğinin tanecikler veya elektromanyetik ışınlar yayarak kendiliğinden parçalanması olayıdır. Radyoaktif elementlerin bozunması ile ortama alfa (α) ve beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışını yayınlanır.

Genel olarak magmatik kütleler sedimanter kütlelerden daha fazla radyoaktif element içerir. Radyoaktif elementlerin başlıcaları ^{40}K , ^{87}Rb , ^{235}Th , ^{235}U ve ^{238}U 'dir.

İnsanlık tarihi boyunca toplumları en çok etkileyen ve korkutan doğal afetlerin başlıcalarından birisi çeşitli şiddetlerde meydana gelen depremlerdir. Bu yüzden depremlerin önceden tahmin edilmesi konusu insanların sürekli gündeminde olan bir konudur.

Dünyanın sayılı deprem kuşaklarından biri, Alp'lerden başlayıp, Himalaya Dağlarından geçer, Türkiye'de bu faal deprem kuşağının ortasında yer alır [5]. Dünyanın en faal deprem bölgesi olan ülkemizde zaman zaman mal ve can kaybına neden olan depremler meydana

gelmektedir. Birçok tahripkar doğa olayından kurtulmak amacı ile başarılı yöntemler geliştirilmiş ise de henüz deprem felaketini önleyecek pratik önlemler bulunamamıştır.

Depremlerin önceden bilinmesi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların geçmişi çok yenidir ve bu konudaki çalışmalar, özellikle asrımızın ikinci yarısından sonra gelişen modern sismoloji bilimine paralel olarak gelişmiştir. Özellikle depremlerin nerede, ne zaman ve hangi büyüklükte olacağını önceden bilmeyi amaçlayan ve mutlaka çok yönlü ve sistemli çalışmaları gerektiren araştırmaların başlangıcı hemen bütün dünyada 1960'lerden sonradır. İlk ciddi çalışmalar, Japonya, Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi deprem problemi olan ileri teknolojiye sahip ülkelerde başlamış ve 1966 yılından sonra ise bu devletlere Çin Halk Cumhuriyeti de katılmıştır.

Ülkemizde deprem araştırmaları ve deprem zararlarının azaltılması konusundaki olumlu çalışmaların başlangıcı 1966 Varto depreminden sonraya rastlamaktadır. Her ne kadar 1939 büyük Erzincan depreminden sonra bazı çalışmalar yapılmışsa da; zaman içerisinde bu çalışmalar yavaşlamış ve önemini büyük ölçüde yitirmiştir. Ülkemizde deprem zararlarının azaltılması konusunda yapılacak çalışmalardan sorumlu olan kuruluş maalesef 1970 yılı içerisinde kurulabilmiştir [6].

Dünyanın çeşitli yerlerinde çok ağır hasarlara, yüzlerce insanın ölmesine ve büyük maddi kayıplara sebep olan çok kuvvetli deprem oluşmaktadır. Bu nedenle depremlerden ileri gelen ölüm, hasar, sosyal ve ekonomik kayıpları en aza indirmek tüm insanları ilgilendiren bir problemdir. Depremlerin önceden bilinmesi sayesinde bir bölgedeki sismik tehlikeyi en aza indirmek mümkün olacaktır.

Türkiye’de büyük depremleri üreten ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) ile Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) olarak isimlendirilen iki önemli diri fay sistemi vardır. Büyük can ve mal kayıplarına yol açan 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım Düzce depremlerinden sonra Marmara Bölgesinde, Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde ve Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde başlatılan çalışmalar, depremlerin önceden tahmin edilmesi konusunda ülkemizde gerçekleştirilen ilk çalışmalar olmakla birlikte elde edilen sonuçlar benzer sistemlerin diğer bölgelerde kurulmasına öncülük edecek nitelikte olmuştur [7].

Bu çalışmanın, arazi çalışması için ulaşım ve deneysel çalışmalarında kullanılan bazı araç-gereçlerin giderleri FÜBAP tarafından; sürekli radon gazı gözlem istasyonlarının kurulumu ve dataların kaydedilmesi için gerekli düzeneğin kurulması da TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenmiştir.

2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

İyonlaşma, bir atom ya da molekülden bir elektronun kopması olayıdır. Bunu oluşturabilen radyasyon tiplerine, iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir [8].

Radyoaktif bozunma sırasında çevreye enerji salımı gerçekleşir. Bozunma sırasında dışarıya salınan enerjiye değişim enerjisi denir. Bu enerji, parçacık veya foton şeklinde salınabilir. Salınan enerjinin çoğunluğu parçacıklı tipte ise, oluşan ürünün atom ağırlığı azalmış olur. Böylece radyoaktif bozunma, nükleer enerjinin bir başka şekle dönüşümünden ibaret olmayıp; aynı zamanda kütleinin enerjiye dönüşmesi anlamına da gelir [9].

Radyoaktif atomların çekirdekleri kararlı hale gelirken; alfa, beta parçacığı ve gama ışınımı yaparlar.

2.1. Alfa (α) Parçacığı

İki nötron ve iki protondan oluşan parçacıktır. Bu yapı helyum atomu çekirdeğinin sahip olduğu yapıdır. Alfa bozunumu, nötron sayısının proton sayısından çok fazla olduğu çekirdeklerde meydana gelir. Alfa parçacığı, yapısında bulunan protonlar nedeniyle pozitif yüklü; proton ve nötronlar nedeni ile diğer radyasyon bozunmasından oluşan ürünlere göre oldukça ağır kütleye sahip parçacıktır [10]. Radyum, uranyum, toryum ve plütonyum gibi ağır radyoaktif çekirdekler alfa parçacığı yayarak bozunur.

Alfa parçacığı genel olarak tek enerjili (mono-enerjik) yapıda olup kendileri ile ana izotopun yarı ömrü arasında bir korelasyona sahiptir [11]. Alfa parçacığı mono enerjik doğasını ve orijinal enerjisini muhafaza edebilirse; metalik kâğıt veya ince bir materyal ile durdurulabilir.

Bir alfa taneciğinin yolu boyunca meydana getirdiği iyon çifti sayısı enerjisi ile değişir. Tek enerjili ince alfa ışınının yörüngesi boyunca, milimetre başına, meydana getirdiği iyonizasyonun şiddeti ışının özellikli (spesifik) iyonizasyonudur. En uzun ömürlü alfa-aktif çekirdekler en düşük enerjili tanecikler yayınlar, diğer taraftan en kısa ömürlü çekirdek ise en yüksek enerjili tanecikler yayınlar [12].

Madde içerisinden geçerken radyoaktif bozunumda alfa parçacığı yayınlandığında; alfa parçacıkları, çarpışmalar vasıtasıyla hemen hemen tamamen enerjisini kaybeder. Alfa parçacıkları, genellikle bir kâğıt tabakası, 0,004 cm kalınlıkta bir alüminyum folyo veya havanın birkaç santimetresinde yutularak ortamdan arındırılırlar [13].

2.2. Beta (β) Parçacığı

Radyoaktif bir çekirdeğin kararlı hale gelmesi sırasında oluşan enerji çekirdek dışına çıkarken maddeleşerek beta parçacığını oluşturur ve ortam içerisine bu halde yayılır. Eğer çekirdekteki bir nötron bir protona dönüşürse; bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerjinin yoğunlaşmasıyla negatif yüklü bir beta parçacığı oluşur. Bu bir serbest elektron yükü gibi düşünülebilir ve genellikle beta parçacığı denilince negatif yüklü ve elektron tabiatında bir parçacık kastedilir [10].

Beta parçacığının madde ile etkileşmesi iyonlaşma ve uyarılma ile olur ve bunun sonucunda beta parçacığı giderek enerjisini yitirir. Beta parçacıkları, kütlelerinin küçük oluşu ve negatif yükleri nedeniyle; genellikle yolları üzerindeki atomların yörünge elektronları ile çarpışırlar. Bu arada atom çekirdekleri ile çarpışma olasılıkları da vardır [8]. Beta bozunumunda; bir nötron, protona dönüşerek elektrona dönüşür.

Beta yayımı, alfa yayımından farklı bir şekilde, teorik olarak sıfırdan belli bir üst sınıra kadar sıralanan sürekli bir enerji dağılımı gösterir. Saf beta yayıcı olarak adlandırılan bazı radyo çekirdekler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Bazı saf beta kaynakları [11].

Çekirdekler	Yarı Ömür	Enerji (MeV)
³ H	12,26 yıl	0,0186
¹⁴ C	5730 yıl	0,156
³² P	14,28 gün	1,710
³³ P	24,4 gün	0,248
³⁵ S	87,9 gün	0,167
³⁶ Cl	3,08x10 ⁵ yıl	0,714
⁴⁵ Ca	165 gün	0,252
⁶³ Ni	92 yıl	0,067
⁹⁰ Sr / ⁹⁰ Y	27,7 yıl / 64 saat	0,546 / 2,27
⁹⁹ Tc	2,12x10 ⁵ yıl	0,292
¹⁴⁷ Pm	2,62 yıl	0,224
²⁰⁴ Tl	3,81 yıl	0,766

Çizelge 2.2: Radyoaktif Seriler.

Kütle Numarası	Seriler	Ana Çekirdek	Yarı Ömrü (yıl)
$A=4n$	Toryum Serisi	${}^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \times 10^{10}$
$A=4n+1$	Neptünyum Serisi	${}^{237}_{93}\text{Np}$	$2,25 \times 10^6$
$A=4n+2$	Uranyum Serisi	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \times 10^9$
$A=4n+3$	Aktinyum Serisi	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7,07 \times 10^8$

2.3. Gama (γ) Işını

Alfa, beta ve pozitron yayılımı ya da elektron yakalama olaylarından sonra çekirdek hemen kararlı hale gelemez. Bozunmadan sonra oluşan ürün çekirdek hala uyarılmış durumdadır. Çekirdek bu uyarılma enerjisini gama ışını olarak dışarı salmak suretiyle temel seviyeye ya da mümkün olan en düşük enerji seviyesine dönmek ister. Gama ışınları, elektromanyetik dalga özelliğindedir. Diğer bozunum türlerinden farklı olarak, gama ışını dalga vasıtasıyla nakledilen enerjiyi ifade eder; radyo dalgaları veya görünür ışık benzeri elektromanyetik radyasyon türündedir, fakat onlara göre çok daha kısa dalga boyudur [10].

Gama ışınları enerji dalgaları olmalarından dolayı elektriksel yüke sahip olmayıp kütesiz olarak kabul edilirler. Bu nedenle α ve β parçacıkları tarafından itilme ve çekilmeye maruz kalmazlar.

Gama ışını emiliminin temel özelliği, homojen gama ışınları demetinin maddenin ince tabakası içinden geçerken şiddetinin üstel olarak azalmasıdır [13].

2.4. Radyoaktif Seriler

Doğal radyoaktif seriler (Çizelge 2.2); uranyum, toryum, aktinyum ve neptünyum (izotopları tükenmiş ya da geçerli olan yöntemlerle varlığı gösterilemeyecek kadar az olan radyoaktif seri) serileridir [14-16, 1].

2.4.1. Uranyum Serisi

Uranyum serisi, üyesi olan ^{226}Ra ve ^{222}Rn radyoizotoplarının bozunum karakteristikleri nedeniyle; bozunum serileri içinde en önemli olanıdır. Özellikle Radium, endüstride ve sağlıkta yaygın olarak kullanılır.

^{238}U ile başlar, sekiz alfa ve altı beta parçacığı yayınlayarak RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{206}Pb kararlı bir atoma dönüşür, serinin başında bulunan elementin kütle numarası $4n+2$ sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.3: Uranyum Serisi.

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			α	β	γ	
92 Uranyum	^{238}U	$4,5 \times 10^9$ yıl	4,2	-	0,048	23
90 Toryum	^{234}Th	24,1 gün	-	0,19	0,09	4
91 Protoaktinyum	^{234}Pa	1.17 dakika	-	2,29	1	0,6
92 Uranyum	^{234}U	$2,5 \times 10^5$ yıl	4,8	-	0,05	28
90 Toryum	^{230}Th	8×10^4 yıl	4,8	-	0,068	24
88 Radium	^{229}Ra	1602 yıl	4,8	-	0,186	4
86 Radon	^{222}Rn	3,82 gün	5,49	-	0,5	0,07
84 Polonyum	^{218}Po	3,05 dakika	6	-	-	-
82 Kurşun	^{214}Pb	26,8 dakika	-	0,65	0,24	4
83 Bizmut	^{214}Bi	19,7 dakika	5,5	1,5	0,61	47
84 Polonyum	^{214}Po	160 μs	7,7	-	0,8	0,014
82 Kurşun	^{210}Pb	21 yıl	-	0,016	0,046	81
83 Bizmut	^{210}Bi	5 gün	-	1,16	-	-
84 Polonyum	^{210}Po	138 gün	5,30	-	0,08	0,001
82 Kurşun	^{206}Pb	Kararlı				

2.4.2. Toryum Serisi

^{232}Th ile başlar, altı alfa ve dört beta parçacığı yayınlayarak ThD denilen kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb 'a dönüşür. n bir tam sayı olmak üzere, serinin başında bulunan elementin kütle numarası 4n sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.4: Toryum Serisi.

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			α	β	γ	
90 Toryum	^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ yıl	4	-	0,06	23
88 Radium	^{228}Ra	6,7 yıl	-	0,054	-	-
89 Aktinyum	^{228}Ac	6,13 saat	-	1,11	0,90	30
90 Toryum	^{228}Th	1,91 yıl	5,43	-	0,08	28
88 Radium	^{224}Ra	3,64 gün	5,68	-	0,24	5
86 Radon	^{220}Rn	55 s	6,29	-	-	-
84 Polonyum	^{216}Po	0,16 s	6,78	-	-	-
82 Kurşun	^{212}Pb	10,6 saat	-	0,36	0,238	81
83 Bizmut	^{212}Bi	60,6 dakika	6,05	2,20	0,04	17
84 Polonyum	^{212}Po	300 ns	8,78	-	-	-
81 Talyum	^{208}Tl	3,1 dakika	-	1,79	2,62	100
82 Kurşun	^{208}Pb	Kararlı				

2.4.3. Aktinyum Serisi

^{235}U ile başlar, yedi alfa ve dört beta parçacığı yaymak suretiyle AcD olarak adlandırılan ^{207}Pb kurşunun bir izotopuna dönüşür. Serinin başında bulunan elementin kütle numarası $4n+3$ sayı dizisi ile gösterilir.

Çizelge 2.5: Aktinyum Serisi.

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			α	β	γ	
92 Uranyum	^{235}U	$7,1 \times 10^8$ yıl	4,38	-	0,185	12
90 Toryum	^{231}Th	25,5 saat	-	0,30	0,25	90
91 Proaktinyum	^{231}Pa	$3,2 \times 10^4$ yıl	5,06	-	çok	
89 Aktinyum	^{227}Ac	21,6 yıl	4,95	0,046	çok	
90 Toryum	^{227}Th	18,2 gün	6,04	-	çok	
88 Radyum	^{223}Ra	11,4 gün	5,86	-	çok	
86 Radon	^{219}Rn	4 s	6,82	-	0,27	11
84 Polonyum	^{215}Po	1,78 ms	7,38	-	-	-
82 Kurşun	^{211}Pb	36,1 dakika	-	1,36	0,83	20
83 Bizmut	^{211}Bi	2,15 dakika	6,62	0,59	0,35	?
81 Talyum	^{207}Tl	4,79 dakika	-	1,44	0,90	0,16
82 Kurşun	^{207}Pb	Kararlı				

2.4.4. Neptünyum Serisi

Yapma bir seridir ve ^{237}Np ile başlar. Seri, ^{209}Bi izotopu ile son bulur ve serinin başında bulunan elementin kütle numarası $4n+1$ sayı dizisi ile gösterilir. Bu seri gaz üyesi olmayan tek seridir. Periyodik cetvelde bulunmayan ^{85}At ve ^{87}Fr radyoizotopları, bu serinin üyeleridir.

Çizelge 2.6: Neptünyum Serisi.

Element	Sembol	Yarı Ömür	Enerji (MeV)			Oluş Yüzdesi
			α	β	γ	
93 Neptünyum	^{237}Np	$2,1 \times 10^6$ yıl	4,8	-	0,09	50
91 Proaktinyum	^{233}Pa	27 gün	-	0,26	0,06	0,20
92 Uranyum	^{233}U	$1,6 \times 10^5$ yıl	4,8	-	0,04	14
90 Toryum	^{229}Th	$7,3 \times 10^3$ yıl	4,8	-	0,11	6
88 Radyum	^{225}Ra	14,8 gün	-	0,32	0,04	33
89 Aktinyum	^{225}Ac	10 gün	5,8	-	0,03	28
87 Fransiyum	^{221}Fr	4,8 dakika	6,3	-	0,22	14
85 Astatin	^{217}At	0,03 s	7	-	0,22	15
83 Bizmut	^{213}Bi	47 dakika	6	1,39	0,44	?
83 Polonyum	^{213}Po	4,2 μs	8,4	-	-	-
82 Kurşun	^{209}Pb	3,3 saat	-	0,63	-	-
83 Bizmut	^{209}Bi	Kararlı				

3. RADYASYON SAYAÇLARI

Radyasyon sayacı, yüklü parçacıkların ve fotonların belli ortamlarda iyonlaşma meydana getirmelerinden hareketle yapılırlar. Özel bir sayaç seçimi iki faktöre göre yapılır. Bu faktörlerden birincisi mevcut radyasyon türü, ikincisi ise radyasyonun özelliğidir.

3.1. Gaz Doldurulmuş Detektörler

Gaz doldurulmuş detektörler, iyonizasyon detektörleri olarak da adlandırılır. Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımını ölçerler. Silindirik bir kap içerisine yüksek basınçta bir gaz (genellikle hava, helyum, argon gibi) doldurulmuştur. Bu gaz anot ve katot olarak bilinen iki elektrot arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan bu elektrotlar arasında bir manyetik alan oluşturur. İyonlaştırıcı radyasyon, gaz molekülleriyle etkileşerek gazı iyonlarına ayrıştırır. Pozitif iyonlar katoda, negatif iyonlar anoda doğru hareket ederler. Böylece iki zıt kutup da bir iyon ya da iyonizasyon akımı meydana gelir. Oluşan bu akımın şiddeti gelen radyasyonun etkisine bağlı olarak değişir.

İyonizasyon odalarının çoğunda elektrotlar arasındaki gaz, atmosfer ile karışması önlenmiş, muhafazalı havadır. Çok farklı tipleri olmakla birlikte en sık kullanılanı, silindirik şekilde olup silindirin merkezi ekseninde asılı olan metalik bir telden ibaret olan tipleridir. Odaya giren radyasyon içerdeki gazı iyonlaştırır. Pozitif iyonlar odanın çeperine, negatif yüklü olan elektronlar da orta tele doğru hareketlenirler. Başlangıçta iyonlar küçük bir gerilim etkisi altında olduklarından elektrotlarda toplanma yerine tekrar birleşirler ve iyonların ancak pek az bir kısmı elektrotlara erişebildiklerinden geçen akım zayıftır. Gerilim arttırıldığında iyonlar daha hızlı hareket etmeye başlarlar ve tekrar birleşmeye vakit bulamadan gittikçe daha çok sayıda elektrotlarda toplanmış olurlar.

Gerilim artışının belli bir değerinden sonra iyonizasyon akımının tekrar artmaya başladığı görülür. Bunun nedeni iyonlaştırıcı radyasyonun meydana getirdiği ilk (primer) iyonların elektrik alanda daha fazla hızlanmaları sonucunda gazda sekonder (ikincil) iyonlar meydana getirmeleridir. Oluşan ikincil iyonlar ilk iyonlarla orantılıdır. Buna gaz yükseltmesi denir. Bu orantının sürdüğü gerilim aralığına orantılı bölge denir.

3.2. Geiger-Müller (G-M) Sayacıları

Geiger-Müller sayacıları, var olan radyasyon sayacıları içinde en eski detektör türlerinden biridir (1928). Bununla beraber bu detektörlerin; basitliği, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı günümüzde çok kullanılmalarına neden olur.

Geiger-Müller sayaçları, iyonizasyona dayalı gaz dolgulu detektörlerdir. Orantılı sayıcılarda radyasyon izi boyunca şekillenen orijinal iyon çiftleri tarafından oluşan yükü, arttırmak için çoğaltıcı gaz kullanılır. Orantılı sayıcı bölgesinde; orijinal iyonizasyon olayı ile ilişkili elektronlardan oluşan ve diğer meydana gelen bütün çığlardan bağımsız bir çığ meydana gelir. Bütün çığların hemen hemen özdeş olmasından dolayı; toplanan yük, orijinal elektronların sayısı ile orantılıdır. Elektrik alanın kritik değerinde; her bir çığ, birçok çığ ve kendiliğinden çoğalma zincir reaksiyonları meydana gelir. Geiger boşalma bölgesinde; Geiger tüpündeki bütün pulsar (atmalar), başlangıçtaki iyon çiftlerinin sayısı ile aynı bolluكتadır.

Geiger tüpünde oluşan tipik puls (atma), toplanan yükün miktarını gösterir; yaklaşık 10^9 - 10^{10} iyon çifti oluşumu boşalma bölgesinde meydana gelir. Bu yüzden, çıkış atması tipik olarak volt mertebesinde oldukça yüksektir. Geiger-Müller sayacı, basit ve ekonomik bir radyasyon sayacına ihtiyaç duyulduğunda sıklıkla yapılan en iyi tercihtir.

Enerji bilgisi vermesi eksikliğinin haricinde, G-M sayacının başlıca dezavantajı; diğer sayaçlara göre geniş ölü zamana sahip olmasıdır. Bu nedenle, nispeten düşük sayım oranı ile sınırlanmıştır.

Geiger tüpüne doldurulan gaz içinde meydana gelen tek bir iyon çiftinin, tam bir Geiger boşalmasını başlatmaya yeterli olmasından dolayı; tüpün aktif hacmine giren herhangi bir yüklü parçacık için sayım verim % 100'dür. Bu yüzden efektif sayım verimi, absorbe edilen (yutulan) veya geri saçılmayan radyasyonun haricinde; tüpün penceresinde geri saçılan radyasyonun girişim olasılığı ile belirlenir [11].

Tüpteki gazın cinsine göre Geiger-Müller sayıcıları iki tipe ayrılır. Birinci tip sayıcılarda: hava, hidrojen, asal gazlar (genellikle argon), ya da bunların karışımları kullanılır. Bu tip sayıcılara kendinden sönümlü olmayan G-M sayıcıları denilir. İkinci tip sayıcıların tüplerindeki gaz kendinden sönümlüdür. Söndürme gazı olarak; organik cisimler ya da klor, brom gibi halojen buharları kullanılır [9].

Birçok organik moleküller uygun söndürücü gaz özelliğini taşırlar, bunların arasında etil alkol GM detektörlerinde en fazla kullanılandır (etil alkolün iyonizasyon potansiyeli 11,3 eV olup argonun 15,7 eV değerine göre daha düşüktür). Esas gaz ile söndürücü gaz arasındaki etkileşmelerde söndürücü gazın uyarılma olasılığı da vardır, bu durumda söndürücü gaz molekölü taban seviyeye foton salarak geçerse, bu fotonların büyük bir kısmının enerjileri katotun iş fonksiyonundan daha küçük olacaktır. Yayınlanan fotonlar büyük olasılıkla söndürücü gaz tarafından tekrar soğurulacaklardır (etil alkolün UV bölgesindeki fotonlara karşı geniş bir soğurma bandı vardır), dolayısıyla çözölme uyarılmış tüm moleküller için kaçınılmazdır.

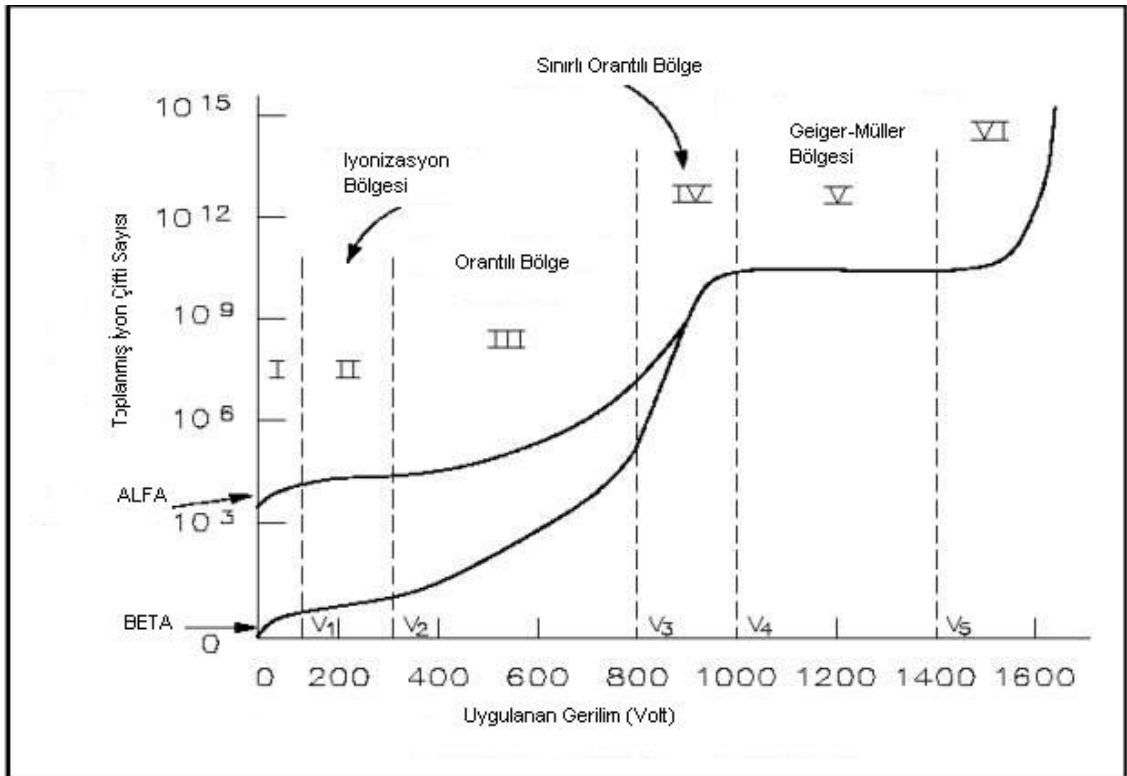
Söndürücü gazın esas fonksiyonunun moleküler çözülme olması, sonuçta tüpün kullanımına sınır getirecek ve tüp içerisindeki gaz tükenecektir. Bu tip organik sönümlü gaz kullanan bir tüpün 10^9 sayım kadar bir ömrü vardır.

Söndürücü gaz olarak halojenlerin (klor ya da brom) kullanılması; tüp kullanımının sınırını kaldıran bir yöntemdir. Halojen moleküllerde sönüm işlevlerini yerine getirirken moleküler ayrışmaya uğrarlar, ancak daha sonraki bir zamanda aniden birleşerek tekrar tazelenirler. Halojen tüpler yüksek sayım hızlarının kullanıldığı uygulamalarda sınırsız ömürleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Ancak anot yüzeyinin zamanla tahrip olması ve gazın kirlenmesi tüp ömrünü etkileyen diğer önemli faktörlerdir [17].

Çıkış pulsu sinyalinin genliği birincil iyonlaşmadan bağımsızdır. Bu yüzden bir G-M sayacındaki parçacıklardan her biri, enerjileri ve sebep oldukları birincil iyonlaşma miktarlarından bağımsız olarak aynı büyüklükte bir sinyal üretir. Bu özellik, Geiger-Müller sayacını tek parçacıkların deteksiyonu için çok uygun kılar [18].

Meydana gelen iyon çiftleri sayısının birincil iyon çiftleri sayısına oranı yani gaz yükseltme faktörü 10^9 kadar büyük bir değeri alabilir ve dolayısı ile pulslar çok büyük olur [14].

Gaz dolgulu detektörlerin genel çalışma prensiplerini ve çalışma gerilimlerine bağlı olarak sınıflandırılması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Uygulanan gerilime bağlı olarak oluşan iyon çifti sayısı.

3.3. Parıldaama (Sintilasyon) Sayıcıları

İyonize radyasyonun bazı maddelerde oluşturduğu sintilasyon ile algılanması eski yöntemlerden biri olup, farklı radyasyonların dedeksiyonu ve spektroskopisinde kullanılan yararlı tekniklerden bir tanesidir.

Radyoaktif ışınlar bir maddenin atom ve molekülleriyle etkileşime girdiğinde enerjisine göre; madde içinde iyonizasyon ya da eksitasyon meydana getirir. Şayet radyasyon enerjisi her iki olayı da meydana getiremeyecek kadar düşük ise, etkileştiği ortamdaki moleküller arasında sadece titreşim meydana getirir ve yok olur. Üzerine düşen radyasyon enerjisi ile orantılı olarak dışarıya görünür ışık yayan cisimlere parıldatıcı (sintilatör) denilir. Parıldatıcıdan yayılan görülebilir ışıklara da parıldaama (sintilasyon) denir [9].

Parıldamalı (sintilasyonlu) sayıcılar yüksek enerjili parçacıkların veya gama ışınlarının flor veya fosfor denilen cisimler üzerine gönderilmeleri suretiyle meydana gelen radyasyonlar, önce bir foto katot üzerine gönderip burada meydana gelen foto elektronları foto çoğaltıcılardan geçirmek suretiyle sayılarını arttırmak ve sonunda bunları kaydediciler ile tespit etmekten ibarettir [14].

Sintilasyon sayaçlarının gaz dolgulu sayaçlara sahip olduğu birkaç avantaj vardır.

- i. Hassas hacim genellikle katı halde olduğundan, x-ışınları veya γ ışınları dedeksiyonundaki verim Geiger sayaçlarının (x-ışınları için %1'lik) verimine kıyasla oldukça yüksektir.
- ii. Sayacın çözme zamanı 10^{-6} saniyeden (bazı inorganik kristaller için), 10^{-9} saniyeye (bazı organik kristaller için) kadar değişir. Böyle kısa çözme zamanı, yüksek hızlı sayımları kayıpsız olarak mümkün kılar.
- iii. Sintilasyon sayacının çıkış pulsunun büyüklüğü gelen gama ışınlarının enerjileriyle doğru orantılı yapılabilir.
- iv. Radyasyon kaynağı, sintilatörün çok yakınında hatta bazen içinde bile tutulabileceğinden ince pencerelerin kullanılmasına gerek yoktur.

Birçok sayaca göre; yüksek verime ve kısa çözme zamanına sahip olması nedeniyle sintilasyon sayacı oldukça kullanışlıdır. Sintilasyon sayacında elde edilen pulsun yüksekliği gelen foton veya parçacığın enerjisi ile orantılıdır. Bu pulslar büyütülerek bir sayıcı ile sayılabilir [18].

3.3.1. Parıldayıcı (Sintilatör) Türleri

İnorganik ve organik sintilatörler olmak üzere iki tür sintilatör bulunmaktadır. Sintilatörlerin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1: Sintilatörlerin Özellikleri [12].

Kristaller	Madde	$\lambda_{\max}(A^\circ)$	Yoğunluk (g/cm ³)	Kırma İndisi	Azalma Sabit (ns)	Kullanılması
İnorganik	NaI(Tl)	4100	3,67	1,775	250	Gama ışını
	CsI(Tl)	4200-5700	4,51	-	1100	Gama ışını
	KI(Tl)	4100	3,13	-	1000	Gama ışını
	CdW	5200	7,90	2,2	1000	Gama ışını
	LiI(Eu)	4400	4,06	-	2000	Yavaş nötronlar
	ZnS(Ag)	4500	4,09	2,356	200	Alfa, beta
Organik	Antresin	4400	1,25	1,59	32	γ, α, β , hızlı nötron
	Trans-Stilben	4100	1,16	1,622	6	γ, α, β , hızlı nötron

3.3.1.1. İnorganik Sintilatörler

İnorganik sintilatörler katı kristal yapıdadırlar. Bu yapılarda bireysel atom ve moleküller, sintilatör özellik göstermeyip; sintilatör özellik sadece kristal yapıya aittir.

İnorganik maddelerde sintilasyon mekanizması maddenin kristal örgüsü ile belirlenmiş enerji durumlarına bağlıdır. Elektronlar, yalıtkan ya da yarıiletken olarak sınıflandırılan maddelerde sadece ayırık enerji bantlarında bulunur.

Kristal kendi ışığına geçirgen olmalıdır. Saf kristalde, elektron-deşik (hole) çiftinin tekrar birleşmesi durumunda yeniden uyarılabilmesi için aynı miktar enerji gerekir. Yani salınım ve soğurum spektrumları üst üste binmiş olup önemli ölçüde kendi kendine soğurum olacaktır. Ancak salınım aktivatör merkezlerinden olduğu zaman enerji geçişi, bir elektron-deşik çiftinin oluşturulması için gerekli enerjiden azdır. Salınım spektrumu daha büyük dalga boylarına kaydığından kristalin optik soğurma bandından etkilenmez. Salınan bütün ışığın kullanılabilmesi için spektrumunun, bu ışığı algılayacak foto tüpün soğurma bandına yakın olması gerekir [17].

İnorganik kristaller genellikle saf olmayıp, Tl ve Ag gibi aktivatör elementlerle safsızlaştırılır. Bu şekildeki kristal yapıda olup, en sık kullanılan inorganik sintilatörler; NaI(Tl) ve ZnS(Ag)'dir.

3.3.1.1.1. NaI(Tl) Sintilatörü

Günümüzde en fazla kullanılan sintilatördür. Saf NaI kristaline 10^{-3} mol kadar Talyum, aktivatör olarak ilave edilir. Higroskopik olduğu için atmosfere maruz bırakılırsa su soğurarak

bozulur, bu nedenle bir kılıf içerisinde kullanılmaktadır. Gama spektroskopisinde genellikle kullanılır. Birçok boyut ve şekilde imal edilebilir, ancak mekanik ve termal şoklara karşı hayli kırılgandır. Dominant azalım zamanı 230 ns olup, yüksek sayım hızları için uygun değildir [17].

NaI(Tl)'un en dikkate değer özelliği, onun mükemmel parıltı vermesidir. Elektronlara ve gama ışınlarına tepkisi, önemli enerji oranının birçoğunu doğrusallığa yakınlaştırmasıdır. Rutin gama ışını spektroskopisi için standart sintilasyon materyalleri gibi kabul edilir. Kristal, bir dereceye kadar kırılgandır ve kolayca mekanik veya termal şok ile zarar görebilir. NaI(Tl) da sintilasyon bozulma zamanı, bir dereceye kadar yüksek sıcaklıklarda daha hızlı tepki vermesi ile sıcaklığın bir fonksiyonu şeklindedir.

NaI(Tl) kristalinin avantajları [9],

- i. Yoğunluğu $3,67 \text{ g/cm}^3$, katkı maddesi olan iyodun atom ağırlığı 53 olup; gama ve x-ışınlarını iyi soğurur.
- ii. Yaklaşık 30 eV enerji soğurmasında bir görünür ışık fotonu salar.
- iii. Kendi içinde soğurmayla (self-absorpsiyonla) sebep olunan sintilasyon kaybını en aza indirir.
- iv. Kristal içinde soğurduğu radyasyon enerjisiyle orantılı sintilasyon çıkarır.

Bu avantajlara karşılık NaI(Tl) kristalinin dezavantajları,

- i. Mekanik ve termal darbelere karşı dayanıksız olup kolayca kırılabilir.
- ii. NaI(Tl) kristali hidroscopik olup, nemli ve rutubetli ortamlarda kaldığı sürece kristal içinde sarı lekeler oluşur ki bu da kristalin verimini azaltır.

3.3.1.1.2. ZnS(Ag) Sintilatörü

Gümüş katkılı çinko sülfür, en eski inorganik sintilatörlerden biridir. Sadece polikristal toz olarak bulunmasının haricinde, NaI(Tl)'a göre çok yüksek sintilasyon verimine sahiptir. Sonuç olarak; bu sintilatörün kullanımı aslında alfa parçacığı veya diğer ağır iyon dedeksiyonu için kullanılan ince perdeler ile sınırlanmıştır. 25 mg/cm^2 'den fazla kalınlıklarda çok kristalli tabakalar kendi ışığına karşı geçirgen değildirler.

3.3.1.1.3. CsI(Tl) ve CsI(Na) Sintilatörü

CsI kristali, Tl ya da Na aktivatör ilavesiyle sintilatör olarak kullanılmaktadır. CsI, NaI ile kıyaslandığında birim boyutu başına daha fazla gama soğurum katsayısı vardır, kullanılacak hacmin sınırlı olduğu durumlarda tercih edilir; ayrıca daha dayanıklıdır. CsI(Tl)'nin en faydalı özelliği farklı parçacıklara karşı değişik azalım zamanlarının olmasıdır. Bu sayede farklı tipteki radyasyonların ayrılabilmesi için puls (darbe) ayırım teknikleri kullanılabilir. CsI(Na)'ün

yayılm spektrumu NaI(Tl) çok benzer, ışıık verimi biraz daha fazladır, ancak son derece yavaş azalımı vardır.

3.3.1.1.4. Bizmut Germanyum (BGO) Sintilatörü

BGO'nun en dikkat çekici özelliğı yüksek atom numarası ($Z_{Bi}=83$) ve yoğunluğudur ($\rho=7.3 \text{ gr/cm}^3$), böylelikle gama ışını etkileşmelerinde fotoelektrik olay olasılığı yüksektir. Ancak, NaI(Tl) göre çok düşük ışık verimi (%10-20) vardır. Yani yüksek sayım etkinliğı yanında enerji ayırma gücü düşüktür.

3.3.1.1.5. Baryum Florür (BaF₂) Sintilatörü

Bu saf inorganik sintilatörün en önemli özelliğı yüksek atom numarası ve InSn'den az olan azalım zamanıdır, foto diyotlarla kullanıldığı zaman yüksek ışık verimi vermekle beraber bu verim yine de NaI'ün %20 si kadardır. Düşük enerji ayırma gücüne karşılık hızlı sayım uygulamalarında kullanılmaktadır.

3.3.1.2. Organik Kristaller

Organik kristallerdeki floresans işlemleri tek bir molekülün enerji seviye yapısındaki geçişlerden ortaya çıkar ve kristalin fiziksel yapısından bağımsızdır. Bu durum sintilasyon işlemleri için düzenli bir örgü yapısı isteyen inorganik kristallere göre farklıdır.

Inorganik ve organik kristaller arasındaki önemli fark cevap zamanıdır; organik kristaller 10 ns'lik süre ile çok hızlı sintilatörlerdir.

Bütün organik kristallerde uyarılma enerjisi, foton salınımı olmadan önce bir molekülden diğere transfer edilir. Bu enerji transfer işlemleri bilhassa yapısında birden fazla molekül bulunan organik kristallerde önemlidir. Eğer etkin bir sintilatörün az bir miktarı esas çözücüye eklenirse, başlangıçta bu çözücüde soğurulan enerji, transfer işlemleri ile etkin sintilatör molekülüne ulaşır o noktada foton salınımı gerçekleşebilir.

Üçüncü bir bileşen, birincil sintilatörden yayınlanan ışığı soğurarak tekrar bir başka dalga boyunda yayar. Salınan spektrumdaki bu değışikliğın amacı salınan ışığın dalga boyunun foto tüpün spektral hassasiyetine uygun yapmak ve sintilatör içerisindeki soğurulmaları önlemek içindir.

3.3.1.2.1. Saf Organik Kristaller

En iyi bilinen iki saf organik kristal vardır. Antresin, herhangi bir organik sintilatöre göre; en yüksek sintilasyon verimi olan enerji başına en büyük ışık çıkışına sahiptir ve sintilasyonun amacına uygunluğu nedeniyle kullanılan en eski organik materyallerden biridir.

Sitilben, daha düşük sintilasyon verimine sahiptir, fakat yüklü parçacıklar ve elektronlar tarafından elektrik akımı oluştururken; sintilasyonlar arasındaki puls şekli farklarını ayırt etmek için tercih edilir. Her iki materyal nispeten, büyük hacimlerde geçerli olan; geçilmesi zor ve kolayca kırılabilme özelliğine sahiptirler. Hatta sintilasyon veriminin kristal eksenine göre iyonize olan parçacığın yönelimine dayanır.

3.3.1.2.2. Sıvı Organik Sintilatörler

Kullanılan sintilatörlerin bir kısmı uygun çözücü içinde organik sintilatörün erimesi ile elde edilir. Sıvı sintilatörler basit olarak iki bileşenden meydana gelebilir ya da foto çoğaltıcı tüplerin spektral tepkisine en iyi denk olan yayılım spektrumuna uyum sağlamak için dalga boyu değiştirilerek üçüncü bileşik ilave edilir.

Sıvı sintilatörler, katı sintilatörler gibi aynı tarzda kullanılır. Birçok sıvıda, erimiş oksijenin varlığı güçlü bir söndürme yetkisine sahip olarak kullanılabilir ve esasen azalan floresans verimine götürür.

Sıvı sintilatörler, radyoaktif materyal sayımı için yaygın olarak kullanılır. Bu durumda; bütün radyasyonlar sintilatörün aynı kısmının içinden doğrudan doğruya geçerek kaynak tarafından yayınlanır ve sayım verimi hemen hemen %100 olabilir. Bu sintilatör tekniği, ^{14}C ve Trityum gibi düşük seviyeli beta aktivitesi sayımı için yaygın olarak kullanılır [11].

Genellikle beta sayımı için kullanılırlar. Organik sıvı maddelerin sintilatör olarak katı maddelere göre önemli bir üstünlüğü, radyoaktivitenin tarayıcıdaki sıvı hacmine tamamı ile nüfuz edebilmesi ve dedeksiyon etkinliğinin artmasıdır [9].

3.3.1.2.3. Plastik Sintilatörler

Organik sintilatörler, polimerize edilebilen çözücü içinde eritilirse; katı eriyiğe eşit miktarda meydana gelebilir. Yaygın bir örnek; eritilmiş uygun organik sintilatör içindeki sitrin monomerinden meydana gelen çözücüdür. O zaman sitrin, katı plastik şekline polimerize edilir [11].

Plastik, işlenmesi oldukça kolay bir maddedir, ancak sintilasyon ışığının ortamdaki soğurulması bir sorundur. Plastik sintilatörlerin çok ince filmleri ($20\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$) delicilik gücü çok zayıf olan ağır iyonların dedeksiyonunda kullanılır [17].

Çizelge 3.2: Yarı iletken detektör materyallerinin fiziksel özellikleri.

Fiziksel özellik	Si	Ge	HgI	CdTe	CdZnTe
Yoğunluk (g/cm ³)	2,3	5,3	6,4	5,85	5,8
Yasak enerji aralığı (eV)	1,12	0,74	2,13	1,47	1,5
e-h enerjisi (eV)	3,6	2,9	4,2	4,4	4,4

3.4. Yarı İletken Detektörler

Yarı iletken detektörlerin işlevleri genelde iyon odalarına benzer ancak yük taşıyıcıları elektron ve pozitif iyonlar değil elektron ve deşiklerdir. En yaygın olarak kullanılan yarı iletken detektörler silisyum ve germanyumdan yapılmışlardır. Bu detektörlerin diğerlerine göre en önemli üstünlükleri enerji ayırma güçlerinin diğer detektörlere göre son derece yüksek olmasıdır [17]. Günümüzde kullanılan yarı iletken detektör materyallerinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Birçok dedeksiyon uygulamalarında, katı dedeksiyon materyallerinin kullanımı büyük avantaj sağlar. Yüksek enerjili elektronlar veya gama ışınlarının ölçülmesi için, detektör boyutları; katı hacminin gazdan yaklaşık olarak bin kat daha büyük olmasından dolayı gaz dolgulu detektörlerden çok daha küçük tutulabilir.

Sintilasyon sayaçlarının başlıca sınırlamalarından biri, onların zayıf enerji çözünürlükleridir. Bir bilgi taşıyıcının oluşması için gereken enerji, 100 eV mertebesinde veya daha fazladır ve tipik radyasyon etkileşmelerinde meydana gelen taşıyıcıların sayısı genellikle 5000’den daha çok değildir. Sodyum iyodür sintilasyonlarının enerji çözünürlüğü, 0,662 MeV’lik gama ışını dedekte edildiğinde yaklaşık olarak %6 ile sınırlanmıştır.

Enerji çözünürlüğündeki istatistik sınırı düzeltmenin tek yolu puls başına taşıyıcıların sayısını arttırmaktır. Yarı iletken materyallerin kullanıldığı detektörler de, diğer detektör türlerine göre daha geniş sonuçlar elde edilir. Temel taşıyıcılar, detektör içindeki birincil radyasyon veya ikincil parçacık olan yüklü parçacık tarafından alınan yol boyunca meydana gelen elektron-deşik çiftleridir. Elektron-deşik çifti, gaz dolgulu detektörler içinde meydana gelen iyon çiftlerine bir dereceye kadar benzerdir. Uygulanan elektrik alandaki hareketleri, detektör içinde elektrik sinyali oluşturur.

Temel dedeksiyon araçları olarak kullanılan yarı iletken cihazlar, 1960 larda pratik olarak uygun hale gelirler [11].

3.5. Kathal Nükleer İz Dedektörleri

Hem evlerde hem de arazide en yaygın radon ölçüm metotları arasında plastik iz dedektörlerinin kullanıldığı yöntemler gelmektedir. Bunun nedeni bu dedektörlerin oldukça küçük boyutlarda (1cmx1cm ve yaklaşık 100-500 µm kalınlığında), kullanımı kolay (herhangi bir elektroniğe ihtiyaç yok), çok pahalı olmayan ve okunması oldukça basit (basit kimyasal işlem ve basit bir optik mikroskop) olması olarak açıklanabilir.

İz kazıma temeline dayanan plastik dedektörler pasif algılayıcılar olarak adlandırılmaktadır. Bu tür dedektörlerin bazı algılama durumlarında kullanışlı olmasına karşın, bunlardan alınan ölçümlerin gerçek zamanlı olmamaları bir dezavantajdır. Diğer bir eksiklik ise, el ile bir mikroskop altında, kazınmış izlerin sayımının oldukça sıkıcı olması ve bu sayımların uzun zamanda yapılmasıdır.

Alfa parçacıkları, radon gazı ve bunun katı formunda olan ürünleri tarafından yayınlanır ve bunlar plastik dedektörler tarafından kaydedilir. Verilen bir zaman üzerinden kaydedilen alfa parçacıklarının sayılmasıyla ki bu durumda radon ve diğer ürünleri arasında doğal dengenin var olduğu kabul edilir. Kapalı bir sistem içerisinde radon yoğunlaşması (Bq/m^3) hesaplanır [19, 20].

3.5.1. Polimerlerde Yüklü Parçacık İzleri

Plastikler bilinen bütün nükleer iz dedektörlerinin en hassasıdır. Bu algılama yeteneği CR-39 (allil diglycol karbonat polimeri veya diğer bir ifadeyle poli-dietilen glycol-bis) tipi iz dedektörleri ve birçok selüloz nitrat algılayıcılar için de geçerlidir. Bütün selüloz nitratlar alfa parçacıklarını kaydedebilirler (dağlama şartlarına bağlı olarak belirli enerji aralığı içerisinde).

CR-39 olarak adlandırılan plastikler, hızlı nötronlara da tepkileri vardır. Polimerin kendi bileşenleri (H, C ve O) ile (n , α) reaksiyonundan gelen izlerde olduğu gibi (n , p) geri saçılma izlerini de kaydedebilir. Bu tür izler bazen iç izler olarak adlandırılır (dedektör içerisinde yüklü parçacıklar meydana gelir) ve dış kaynaklardan gelen izler ise dış izler olarak adlandırılır.

Yüklü bir parçacık bir plastik dedektör içerisinde geçerken, polimerik zincirin bazılarının kopmasına neden olur. Bu işlem aynı zamanda serbest radikaller gibi reaktif türleri meydana getirir. Plastikler kullanıldıktan sonra uygun bir dağlayıcı kimyasal (NaOH veya KOH gibi sıvı çözücüler gibi alkali hidroksitler, bazen de bunlara alkol ilave edilir) ile kazınır ve sonuç olarak dedektör üzerinde oluşan boşluklar 10^2 - 10^3 kat büyütülmüş olur. Kazınmış izler, genişletme süresince, belirli özelliklere sahip (10x-40x büyütmeye sahip) optik mikroskop altında görünür duruma dönüştürülür. Hasarın miktarı, kazınmış izin büyüklüğü ve dağlanılma özelliğinden dolayı, yüklü parçacığın izlediği yoldan çok, lineer enerji transferinin miktarına bağlıdır. Ortamdaki parçacığın kaybettiği toplam enerji miktarı, uygulanan dağlama şartlarına

bağlı olarak detektördeki kazınmış boşluğun büyüklüğünün belirlenmesinde önemli bir rol oynar [19, 20].

3.5.2. Kazıma Metodolojisi

Kazıma metodu, yaygın olarak kullanılan kimyasal kazıma ve elektrokimyasal kazıma işleminden sonra el ile veya bir optik mikroskop yardımıyla izlerin sayılması işlemidir.

3.5.2.1. Kimyasal Kazıma

Kimyasal kazıma, genellikle 40-70 °C sıcaklık aralığındaki bir banyoda gerçekleştirilir ve en yaygın materyal olarak 2 ile 6 M arasında değişen NaOH veya KOH sıvı eriyik kullanılır. Genellikle kazıma süresi 2 ile 6 saat arasında değişir. Kazıyıcı eriğin molaritesinin, kazınma süresinin, kazınma sıcaklığının artması kazınan detektör üzerindeki çukurun büyüklüğünü artırır. Plastik detektörler genellikle bir sicim veya bir ip yardımıyla askıda kalacak şekilde tutturulurlar.

Detektörler kazıyıcı cam bardakların içerisindeki eriyiğe daldırılır ve sabit sıcaklığa sahip su banyosunun içerisine bırakılır. Kazıma işleminin sonunda, detektörler saf su ile iyice yıkanır. Kurutulduktan sonra, detektörler optik mikroskop altında sayıma hazır hale gelir. Kazınmış iz yarıçapları genellikle birkaç μm civarındadır, fakat kazıma işleminden sonra 50 μm veya daha büyük bir değere çıkabilir.

3.5.2.2. Elektrokimyasal Kazıma

Elektrokimyasal kazımanın amacı, detektör üzerindeki çukurları 100 kat daha büyütmektir, böylelikle düşük büyütme (mikrofilm okuyucu, slayt yansıtıcı veya düşük büyütme mikroskop (10x)) aygıtla rahatlıkla sayılabilir. Elektrokimyasal kazıma sonucundaki izler çıplak gözle kolaylıkla görülebilir.

Bu işlemdeki basit mekanizma, plastik detektöre boylu boyunca yüksek bir elektrik alan uygulanması sonucu elektrotların bölmeler veya iki parça arasında bir engel olarak hareket etmesine (her bir bölme elektronik kazıma odası diyagramı için elektrik alanın bir kutbunu içerir) dayanır. 200 μm kalınlığındaki bir plastik detektör için 50 kVcm^{-1} 'lik bir elektrik alanı verebilmesi için sadece 1000 V uygulanması yeterlidir.

3.5.3. İz Sayım Metodu ve İstatistiği

Radon çalışmalarında, ana gereksinim genellikle istatistikî olarak güvenli değerlerin verilmesi için detektör üzerindeki kazınmış izlerin sayılmasıdır. Burada sadece ilgili değerlere ihtiyaç duyulur ve iz yoğunluğu nadiren çok yüksektir ve izlerin üst üste binme problemi vardır.

Kazınmış çukurların büyüklüğü ve şekli değişkendir; kazınmış çukurların çoğunluğu eliptik olmasına karşın ki bu da yüzeysel dalma açısında (detektörün yüzeyine göre izin açısı, θ_k kazımanın kritik açısından düşük) detektör yüzeyine gelen alfa parçacıklarından kaynaklanır, dik olarak gelen alfa parçacıkları dairesel şeklinde çukur formları oluşturur. Aynı zamanda, alfa parçacığı havada herhangi bir noktada 0 ile 4 cm aralığında yayılım yapabilir, nihai kazınmış çukurun büyüklüğü, kimyasal kazıma şartlarına bağlı olarak, yaklaşık 0 (veya 3 μm , bu değer kullanışlı bir optik mikroskop için çözünürlük limitidir) ile birkaç μm yarıçap arasında değişecektir. Genellikle, izleri iyi görebilmek için uygun en düşük boyut limit seçilir ve daha sonra sürekli olarak daha düşük boyutlu kazınmış çukurlar ihmal edilir. Aynı zamanda, gerçek kazınmış çukur ile temel etki ve kullanım sırasında meydana gelebilecek kazınmış çukurların ayırt edilmesi gereklidir. Bu etkiler detektör tabakasının üzerinde genelde vardır ve kazımayla büyür. Herhangi bir dış etki çeşidinden, çizik (yank, kazı) veya inci dizimi gibi görünen etkiler kolaylıkla göz ardı edilebilir. Gerçek izin kazınmış olduğu çukurlar (kimyasal kazımada) mikroskobun alt ve üstünde ince odağının yavaşça hareket ettirilmesiyle ve kazınmış çukur koninin altından yansıyan parlak bir ışığa bakılmasıyla rahatlıkla tanınabilir. Kimyasal olarak kazınmış gerçek bir çukur iyi tanımlanmış geometrik bir şekle (detektör yüzeyinde dairesel veya eliptik açılmış bir ağız şeklinde) sahip olması da gereklidir.

Detektör üzerinde sürekli temel seviye gerçek iz çukurları vardır ve bu izler plastik üzerinde herhangi bir radyoaktif safsızlıktan veya detektör üzerine düşen hızlı nötron/kozmetik ışınlardan veya detektörün üretimi sırasında deneysel ölçüm amaçlı radona maruz kaldıklarından, çevrede var olan radon tarafından ışınlanmasından kaynaklanırlar. Bu sebepten dolayı plastik tabakalar veya yalnız detektörün kullanılması gerekir.

İyi bir istatistik alabilmek için yeterince büyük bir alana sahip detektör üzerindeki temel seviye izlerinin (pozlanmamış fakat kazınmış detektör) sayılmasına ihtiyaç vardır. Temel seviye iz yoğunluğu genelde 10-40 iz cm^{-2} arasında değişmektedir. Eğer gerçek (veya toplam) iz yoğunluğu 1000 iz cm^{-2} ise, o zaman temel seviye izlerinin ihmal edilebilir bir katkı yapar, bu durumda temel seviye izlerde yaklaşık %16'lık bir hata ve toplam izlerde yaklaşık %3'lük bir hata ve toplam hata yaklaşık olarak %3,5 olur [19].

Kazıma işleminden sonra, hareketli durumdaki bir araştırma mikroskobu deneysel gözlemler için kullanılabilir. Mikroskop rafı üzerine konulan pozlanmış detektörün her iki yüzeyinde; raf öncelikle X-ekseni boyunca daha sonra Y-ekseni boyunca hareket ettirilerek gerçek izler sayılırlar.

4. RADON

Uranyum elementi okyanuslarda ve dünya kabuğunda yaygın olarak bulunur. Uranyum atomu kararsız bir yapıya sahiptir. Çekirdekten atom altı parçacıkların yayınlanması uranyumun, yeni bir element olan toryuma bozunmasını ya da değişmesine sebep olur. Radyoaktif bozunum süreci, kurşunun kararlı bir izotopuna kadar sürekli element serileri oluşturur [21].

^{238}U (yarı ömrü $t_{1/2} = 4,49 \times 10^9$ yıl ve izotopik bolluğu = 0,9927) gibi bazı çok uzun ömürlü radyo çekirdekler, dünyada doğal olarak bulunur. ^{238}U bozunum zinciri, oluştuğunda topraktaki gözeneklerden doğrudan kaçan, atmosferde saçılabilen ve az bulunan bir gaz olan ^{222}Rn u içeren 15 elemente sahiptir (Çizelge 4.1). Radon kaybı, ^{238}U zincirindeki radyoaktif dengesizliğin sonucudur. Radon çekirdeği, ^{226}Ra radyum izotopunun, 86 keV geri tepme enerjisi ile alfa parçacığı yayınlaması ile oluşur [22].

Havadaki radon değişimi birçok faktör ile yakından ilgilidir. Bunlardan en önemlileri arasında; yeryüzü üzerindeki farklılıklar (asfalt vb, binalar ve bitki örtüsü), yerin yüksekliği ve rakımı, toprak gözenekliliği ve tane büyüklüğü, sıcaklık, atmosferik basınç, toprak nemi, yağış ve kar örtüsü, atmosferik şartlar ve mevsimsel farklılıklardır.

Atmosferik radon yoğunlaşmasındaki mevsimlik, günlük ve farklı jeolojik yapıya bağlı olarak belirgin değişimler olabilmektedir. Yeryüzü yoğunlaşma seviyesinin sonbahar ayı boyunca ve kışın ilk yarısında yüksek ve ilkbahar boyunca da düşük olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Yeryüzünden atmosfere yayılan radon miktarının yaklaşık olarak yıllık 9×10^{19} Bq olduğu tahmin edilmektedir [20].

Çizelge 4.1: ^{238}U Bozunum Serisindeki Bazı Radyoizotopların Özellikleri [23].

İzotop	Fiziksel Hali	Başlıca Radyoaktif Emisyonu	Yarı Ömrü	Bozunum Formu
^{238}U	Katı	Alfa	$4,49 \times 10^9$ yıl	^{234}Th
^{226}Ra	Katı	Alfa	1600 yıl	^{222}Rn
^{222}Rn	Gaz	Alfa	3,8 gün	^{218}Po
^{218}Po	Katı	Alfa	3 dakika	^{214}Pb
^{214}Pb	Katı	Beta, Gama	27 dakika	^{214}Bi
^{214}Bi	Katı	Beta, Gama	19,7 dakika	^{214}Po
^{214}Po	Katı	Alfa	164 μs	^{210}Pb

4.1. Radonun Fiziksel Özellikleri

^{222}Rn , ^{238}U bozulma zincirindeki ^{226}Ra 'nın bozulması ile sürekli olarak meydana gelen asal bir gazdır. Uranyum serisinin elementlerinin genelinin katı olmasına rağmen, radon bir gazdır. Havadan yaklaşık olarak yedi defa daha ağır olan ^{222}Rn , çukur yerlerde toplanır ve suda çözünür. Radonun birkaç farklı izotopu olmasına rağmen, insan sağlığına en büyük kaygı verici ve potansiyel bir tehdit oluşturan izotopu ^{222}Rn dur. Radyoaktif bozunum reaksiyonları (bozunum serisi) süresince doğal olarak oluşur [23].

Radon, doğal olarak meydana gelir ve her yerde genelde gaz olarak bulunur. Renksiz, kokusuz ve kimyasal olarak tepkisizdir. Gaz olmasından dolayı, dolaylı olarak su ya da doğrudan toprakta hareket edebilme özelliği ile yer değiştirir ve sürekli türemiş olur.

^{235}U , beş radyoçekirdek aracılığı ile ^{226}Ra 'ya bozulduğu zaman ağır çekirdek yerinde, yani bulunduğu kaya içinde kalırsa da meydana gelen radon dışarıya kaçar ve bir kısmı etraftaki hava içine karışır. ^{226}Ra 'nın 1602 yıllık yarı ömrü, kendisinden meydana gelen bütün ürünlerinden çok daha uzun olduğundan 3,8 gün yarı ömürlü ^{222}Rn için üretim hızı değişmeyen bir üreteç görevini yapar ve daha sonra gelen kısa yarı ömürlü RaA (^{218}Po), RaB (^{214}Pb), RaC (^{214}Bi) ve RaC' (^{214}Po) ile denge halinde bulunur (Çizelge 4.2). Özellikle radon gazı bozulduğu zaman meydana gelen ^{218}Po (RaA) atomları iyonize halde, atmosfer içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğilimindedir. Sonuç olarak tozla yüklü havadaki parçacığa yapışmış haldedirler. Tozla yüklü havadaki parçacıklar emilme yoluyla radyoaktif hale geçeceklerdir [23-25].

Doğal olarak üretilen radonun her üç radyoizotopu alfa parçacığı yayar. Bu parçacıkların hepsi katıhal iz detektörleriyle kolaylıkla algılanabilirler.

Çizelge 4.2: Radon ürünlerinin bozunum serisi [21].

Radyoizotop	Radon Bileşiği	Yarılama ömrü
^{218}Po	RaA	3,05 dakika
^{214}Pb	RaB	26,8 dakika
^{214}Bi	RaC	19,7 dakika
^{214}Po	RaC'	164 μs
^{210}Pb	RaD	22 yıl

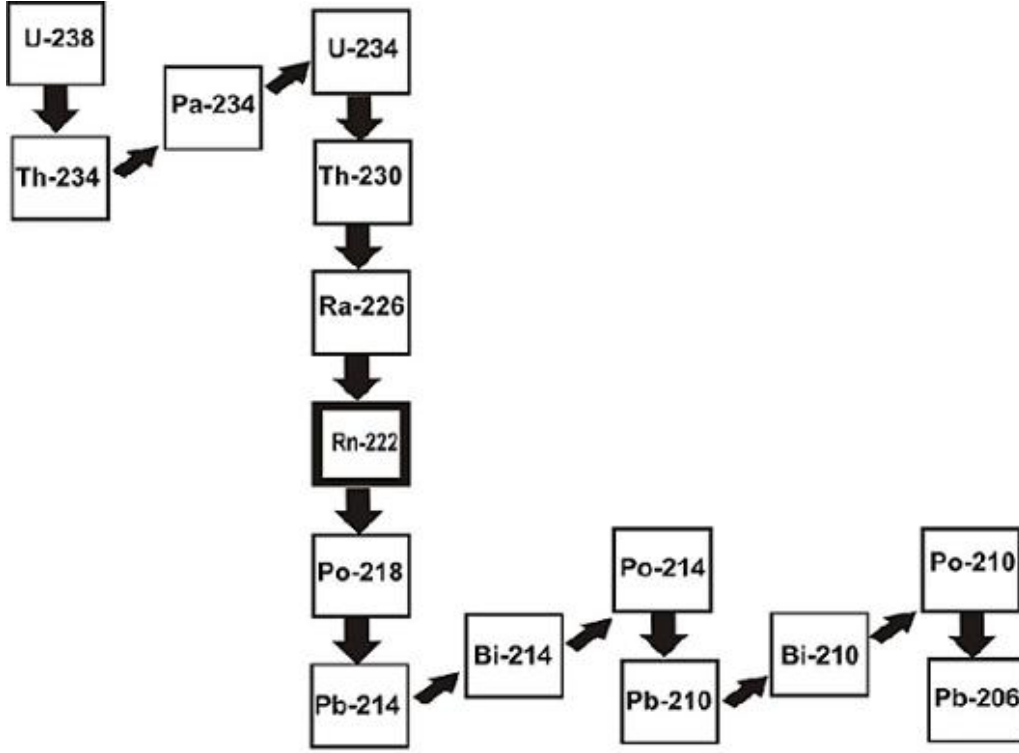
Radon izotopları mineraller içerisinde radyumun bozunmasıyla üretilir ve bu izotopta ^{238}U , ^{235}U veya ^{232}Th ile başlayan bozunma zincirlerinin doğal bir üyesidir. Radonun en temel kaynağı, bu radyoaktif çekirdekleri bünyesinde bulunduran, toprak, yer altı suyu ve bina yapım malzemeleridir.

Radon aktivitesi, sıcaklığın artmasıyla çözünürlüğünün azalmasına rağmen, suyun sıcaklığının artmasıyla yükselmektedir ve metan, karbondioksit, nitrojen gibi gazlarla, genellikle yer altı suları ile birlikte dışarı taşınmaktadır. Radonun bu özellikleri, hidrotermal sistemlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde radonun bir araç olarak kullanılmasına izin verir [26, 27].

Radon suyu metallere oluşur ve kimyasal olarak aktiftir (Pb, Bi, Po gibi). Radon, üç radyasyon yayılım türünün (alfa, beta ve gama) biri ve en tehlikeli olan 4,78 MeV enerjili alfa parçacığı yayılımı yapar [28].

Radon doğada bulunan tek radyoaktif asal gazdır. Genellikle radon yarı ömrü 3,825 gün olan ^{222}Rn ile anılır. Radonun ortalama yarı ömürleri daha kısa olan ^{220}Rn (54,5 sn) ve ^{219}Rn (3,92 sn) olan iki izotopu daha vardır. ^{222}Rn , Uranyum (^{238}U) bozulma serisine ait, doğrudan ^{226}Ra 'un radyoaktif bozunması sonucu oluşan ve alfa parçacıkları yayan hareketsiz bir elementtir (Şekil 4.1). Radon, oldukça uzun yarı ömürlü ^{210}Pb ye bozunmadan önce ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po radyoizotoplarına bozunur. Sonuç olarak üç alfa, iki beta ışını ve çok sayıda gama ışını radonun radyoaktif bölünmesiyle yayılır. Radon ölçümleri bu (alfa, beta ve gama) ışınlardan birinin ölçülmesi ile yapılır.

Radon aktivitesi üstel olarak azalır, böylelikle beş yarı ömür veya yaklaşık 20 günde başlangıç aktivitesinin %1'i kadar aktiviteye sahip olmaktadır. Difüzyon ile normal şartlar altında radonun topraktaki taşınımı, radonun kısa yarı ömründen dolayı birkaç metre ile sınırlıdır. Toronun ise 55 saniyelik yarı ömründen dolayı çok daha kısa erişim uzaklığına sahiptir.



Şekil 4.1: ^{238}U 'den ^{206}Pb 'a radyoaktif bozunum serisi [23].

Kristal katılarda radonun difüzyon katsayısı oldukça küçüktür ve radon kristal boyutlarına bağlı olmaksızın herhangi bir uzaklığa erişmeden önce bozulacaktır. Toprak içerisinde moleküler difüzyon ile radonun taşınımı, radonun kısa yarı ömründen dolayı sınırlıdır. Bu taşınım ile radonun çakılda erişim uzaklığı 5 m, doymuş çamur ve kilde 2 m'dir.

Basınç değişimi yerkabuğundaki ara yüzeylerdeki sıvı ve gazların akmasına neden olabilir ve böylelikle radonun bu maddeler ile taşınması sağlanır. Basıncın neden olduğu bir katkı da; basınç dalgalanmalarıyla yüzeye yakın topraktaki atmosferik pompalamadır.

Sudaki radon ile havadaki radon oranı arasındaki denge ilişkisi sıcaklıktan bağımsızdır. Ayrıca gözeneğin nem oranının artmasına paralel olarak radon yayılımı da artmaktadır. Su ve havanın hacmine eşit kapalı bir hacimde ve $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan üç kat daha büyüktür. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki havada radon yayılımı su içerisindeki yayılımdan iki kat daha yüksektir.

Radonun, topraktan, çatlak kayalardan veya bir betondan çıkışı ve yayılımı gözeneklerin su ile dolu olma durumuna bağlı olarak arttığı daha önce yapılan çalışmalarda görülmüştür. Su içeriğinin artmasıyla radon yayılımının artmasının nedeni, radyum atomunun bozunması sonucunda dışarı fırlatılan radon atomu, eğer gözenek boşluğu su ile dolu olursa en

yakın mineral tanesinin içerisine girmesini engelleyecektir, dolayısıyla fırlatılan radon atomunu yavaşlatmış olacaktır.

Radon sınırlı bir ömre sahiptir ve radonun büyük bir kısmı belirli bir difüzyon uzaklığından sonra bozulacaktır. Radon kaynağından yayılan radonun %90'ı su içerisinde 5 cm uzaklıktan sonra, ince taneli toprakta ve normal nem miktarında yaklaşık 2 cm ve havada 5 cm sonra bozunacaktır. Toprak yüzeyinden atmosfere yayılan radonun difüzyonu, farklı derinliklerdeki toprak havasındaki radon yoğunluğunun belirlenmesinde oldukça önemlidir. Yeryüzü üzerindeki rüzgârların etkisi toprak havasındaki radon yoğunluğunu azaltma yönünde etki etmektedir. Sonuç olarak; çok büyük havalandırılmalar toprağın üzerinde ve içinde çok düşük radon konsantrasyonlarının oluşmasına neden olmaktadır.

Yer kabuğunda bulunan az miktardaki (ortalama 3 ppm) uranyumdan meydana gelen radon gazı, kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0,1 pCi/L lik bir ortalama radon konsantrasyonu bulunmaktadır. Yer kabuğundaki kayalarda bulunan radon ya doğrudan gaz olarak ya da yeraltı suyundan çözünerek yeryüzüne ulaşır ve oradan atmosfere yayılır.

Yerkabuğundaki şekil değişimleri ve episantr alanı içinde veya yakınındaki kayalarda gerilmeler nedeniyle meydana gelecek genleşmeler sonucu kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda da bir artış görülmektedir.

Radyoaktivite yeraltında iki şekilde gözlenir. Bunlar geçici ve kalıcı radyoaktivitedir. Sıcak sulara gözlenen radyoaktivite genellikle geçici radyoaktivitedir. Geçici radyoaktivite suların radyoaktif kütlelerden geçerken kazandığı radyoaktivitedir. Sürekli radyoaktivitede ise radyoaktif izotopların yayılımı sonucu oluşan radyoaktivitedir. Suyun radyoaktifliği, suda çözünmüş halde bir veya birkaç radyoaktif izotopun bulunmasından ileri gelmektedir. Radon gazının nispeten uzak mesafelere göçü ancak sulu ortamlarda mümkün olmaktadır. Yerkabuğu içindeki radyoaktif izotopların difüzyona uğraması sonucu kayalarda ve bunlar içindeki sulara radyoaktivite oluşmaktadır. Suların içindeki radon derin kökenli değildir. Çünkü bu gazın suda erimesi sıcaklık yükselince birdenbire azalmaktadır. Geldiği yerlerin 100 °C den az sıcaklıkta olması gerekir. Bu yüzden soğuk ve ılık sular daha çok radyoaktiftir. Radon, difüzyon sonucunda kayaç çatlaklarında taşınma ile günde 100 metre kadar göç edebilir [6].

Evlerde bulunan radon seviyesinin başlıca kaynakları, binanın temelindeki ve bodrum katlardaki çatlaklar, kanalizasyon, zemin ve duvarlar arasındaki eklemler, su ve elektrik tesisat borularıdır. Oda içindeki diğer radon kaynakları, su (özellikle kuyu suyu), tuğla ve beton gibi kayadan yapılan inşaat materyalleridir. Radon seviyesi, fayans, karo, seramik zeminlerde ve alt

katlarda; üst katlara göre daha fazladır. Soğuk havada, kapı ve pencerelerin kapalı olması radon seviyesinin daha yüksek olmasına neden olur.

Radonun üç dakikalık yarı ömre sahip ^{218}Po ve katı bozunum ürünleri ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po insan sağlığında en büyük riski oluşturan bozunum ürünleridir. Radonun bu bozunum ürünlerinin radyoaktif bölünmesinden yayınlanan alfa parçacıkları, yeterince güçlü bir şekilde akciğer dokularını geçer ve hassas bazal epitelyum hücrelere zarar vererek akciğer kanserine yol açar.

Radonun ölçülmesinde kullanılan birkaç metot vardır, bunlardan en yaygınları arasında; alfa izi görüntülemesi ve dielektrik iyon odası metotları sayılabilir.

Alfa iz görüntüleme metodunda, radon bozunumu sonucunda yayınlanan alfa parçacık izleri kaydedilerek; radon ölçümü için 3-12 ay gereklidir. Uzun ve kısa süreli testler için tasarlanmış dielektrik iyon odası, hava içine ışınlama yapıldığında; radonun radyoaktif bozunumu ile tepkiyen özellikle yüklenmiş bir cihaz içerir. Tavsiye edilen süreç, kısa süreli bir test ile başlamak ve sonuçlar yüksek radon seviyeleri gösterirse; başka testler eklemektir [29].

Radonun radyoizotopu olan ^{222}Rn akısı, atmosferik basınç ve sıcaklık, toprak sıcaklığı, toprak nemi, düşen yağmur miktarı ve rüzgâr hızı gibi çevresel değişkenlerden etkilenebilir [25].

Yeraltı suyundaki ve havadaki ^{222}Rn konsantrasyonu; yeraltında bulunan Uranyum depolarının yerini saptama, dünya içinde gazların uzun mesafeli göçünün belirlenmesi, depremlerin önceden kestirilmesi ve yeraltındaki hidrokarbon depolarının varlığını saptamak gibi uygulamalar için dünya bilimlerinde iz olarak kullanılır [30].

4.2. Radon Konsantrasyonlarının Derinlikle İlişkisi

Toprağın 0,5 metre derinliğindeki radon yoğunluğu, toprak havasından kaçan ve giren radon arasındaki dengenin konsantrasyonunun yaklaşık olarak %50'si civarındadır ve topraktaki derinlik azalınca radon yoğunluğunda büyük değişimler meydana gelir. Bir metre derinlikte ise denge konsantrasyonu yaklaşık olarak %70-80'i civarındadır.

Radon ölçümleri yaklaşık olarak 1 m civarındaki derinliklerde en uygun ölçüm şartlarını sağlamaktadır. Bir metreden daha derin toprak havasındaki radon yoğunluğu, daha sığ bölgelerdekine göre hemen hemen sabittir. 1 m civarındaki derinliklerde ölçüm almanın diğer bir nedeni ise, toprağın üst kısmından sızan uranyum ve radyumun toprağın 0-70 cm aralığında birikmesinin bu derinliklerde radon yoğunluğunu arttırmasıdır.

Toprak tipine, nem içeriğine ve maruz kaldığı rüzgâr ile ilişkili olarak radon yoğunluğu birbirine çok yakın noktalarda dahi değişiklik göstermektedir.

4.3. Ana Kayadaki Fay ve Kırık Bölgelerinden Radon Yayılımı

Kırık zonlar üzerindeki yeraltı sularında çözülmüş uranyum iyonları veya ürün çekirdekler vardır ve bunlar, yeryüzüne yakın yerlerde çökelişirler, böylece bunların bozunmasından oluşan radyumdan da radon yayılır.

Sismik olarak aktif faylarda CO₂ çıkışı olmaktadır, olayın sürekliliği aktif fayların göstergesidir ve yüksek geçirgenlik, gözeneklilik ve hareketle karakterize edilmektedir. Karbondioksitin, kırık zonlardan yüzeylere radonun taşınmasında büyük bir taşıyıcı rolü vardır. Radonun yeryüzündeki çatlak ve kırıklardan, değişik gaz ve sıcak termal sular ile çıkabilmesinin yanı sıra, termal suların sıcaklığının artması çözünürlüğü arttırdığından aktivitesi de artar.

Yerkabuğundan atmosfere yayılan radonun miktarı oldukça küçüktür, bununla birlikte faylarda, jeotermal kaynaklarda ve volkanik bölgelerde yerkabuğundan yayılan radonun miktarı değişiklik gösterebilmektedir. Buralardaki radon anormallikleri, toprak ve kayaların radon yayım gücüne ve iklim kaynaklı faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir.

Toprakta yer altı suyu ile dolu gözeneklere yayılan radon, su dolu gözeneklerde kalır ve bozunmadan önceki difüzyon uzunluğu oldukça küçüktür. Sadece yer altı suyunun hareket etmesiyle bir miktar radon yer altı suyundan süratle kaçar. Bu durumda ana kayadaki ince çatlaklardaki sularda radon miktarı farklı olabilmekte ve buralardaki radon yoğunluğu kaya havasındakinden oldukça yüksek çıkabilmektedir.

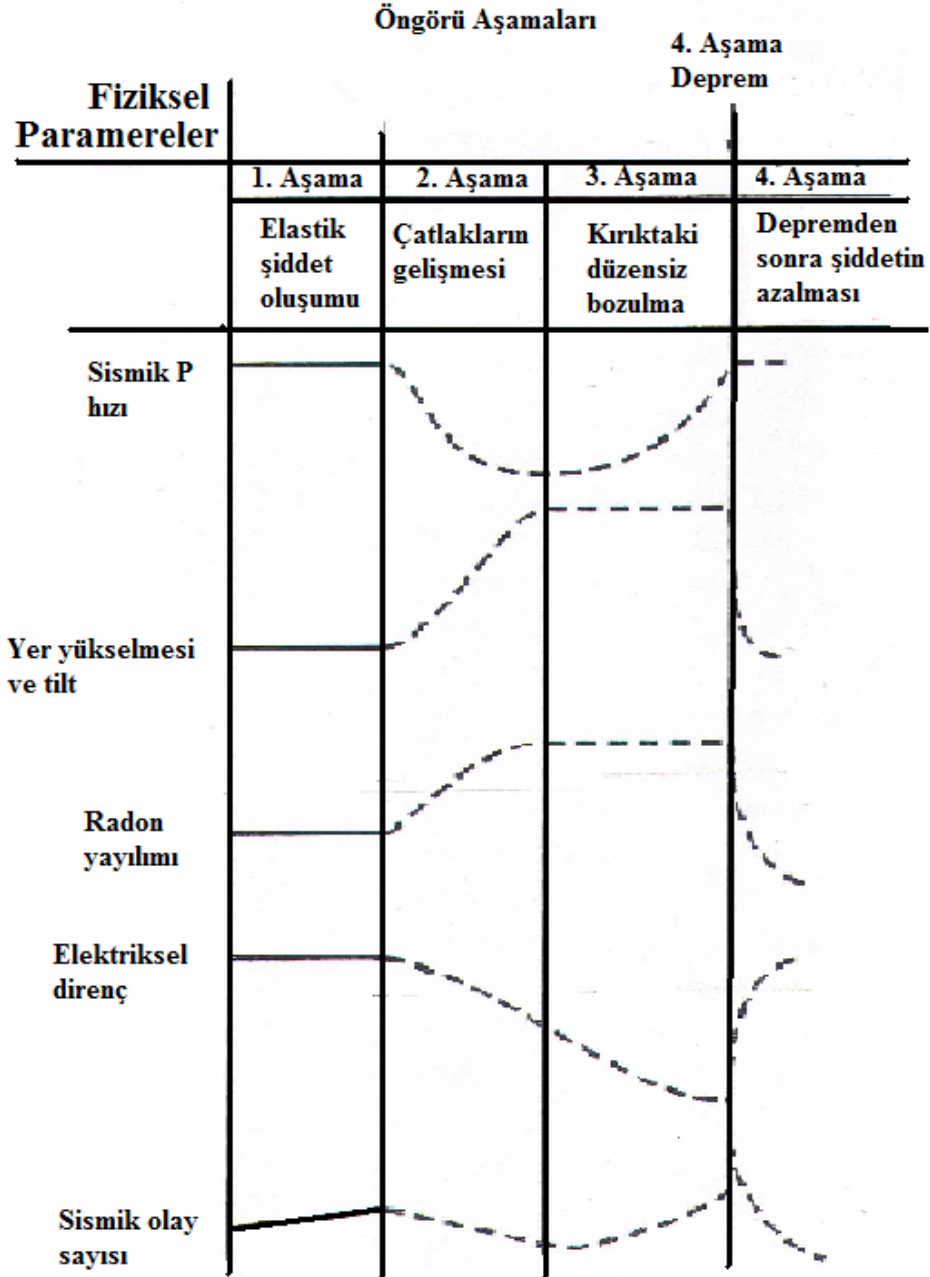
Bu sularda radon konsantrasyonunun yüksek olmasının sebebi; kolaylıkla çözünebilen altı değerlikli uranyumun su vasıtasıyla kaya dışına kolaylıkla çıkabilmesinden kaynaklanmaktadır. Uranyum ve ürün çekirdekleri çatlakta çözülebilirler ve kısmen çatlakların yüzeyindeki mineraller ile etkileşirler. Bu ortamda ürün çekirdekler az çözünerek dışarıda çökelişirler.

Genelde kuyu sularındaki radon konsantrasyonu normal şartlar altında çok fazla değişmez. Radon konsantrasyonu mevsimsel olarak $\pm\%10$ bir değişimle, her ilkbaharda maksimuma, sonbaharda ise minimuma ulaşır. Ancak, kayalar içinde oluşan mikro çatlaklar radon çıkışını sağlayabilir. Deprem öncesindeki küçük deformasyonlara bağlı olarak kayalarda oluşan mikro çatlaklar, kaya içindeki radonun kaya yüzeyine ulaşmasına ve suya karışmasına neden olacağından sudaki radon konsantrasyonunda bir artış görülecektir. Çatlaklar oluştukça, radon konsantrasyonunda da artışlar olacaktır. Mikro çatlakların oluşumunun tamamlandığı evrede radon artışı da duracak, radon konsantrasyonu artık değişmeyecektir [31].

Kırık tabakalardaki uranyum miktarı burayı çevreleyen kayalardaki konsantrasyonlardan yaklaşık olarak 3-20 kat arası değişen yüksek bir yoğunluğa sahiptirler. Bu nedenle, radyum yönünden zengin mineral tabakaları ince çatlak ve kırıkların yüzeylerini

oluştururlar ve buralardan yayılan radon doğrudan çatlak içerisindeki suya girerler. Özellikle uranyum mineral taneleri; buralardaki radon miktarı çevre kaya ve sularındaki konsantrasyonlardan birkaç kat daha yüksektir. Bu nedenle, uranyum içeren tanelerdeki radon su fazına difüz eder [19].

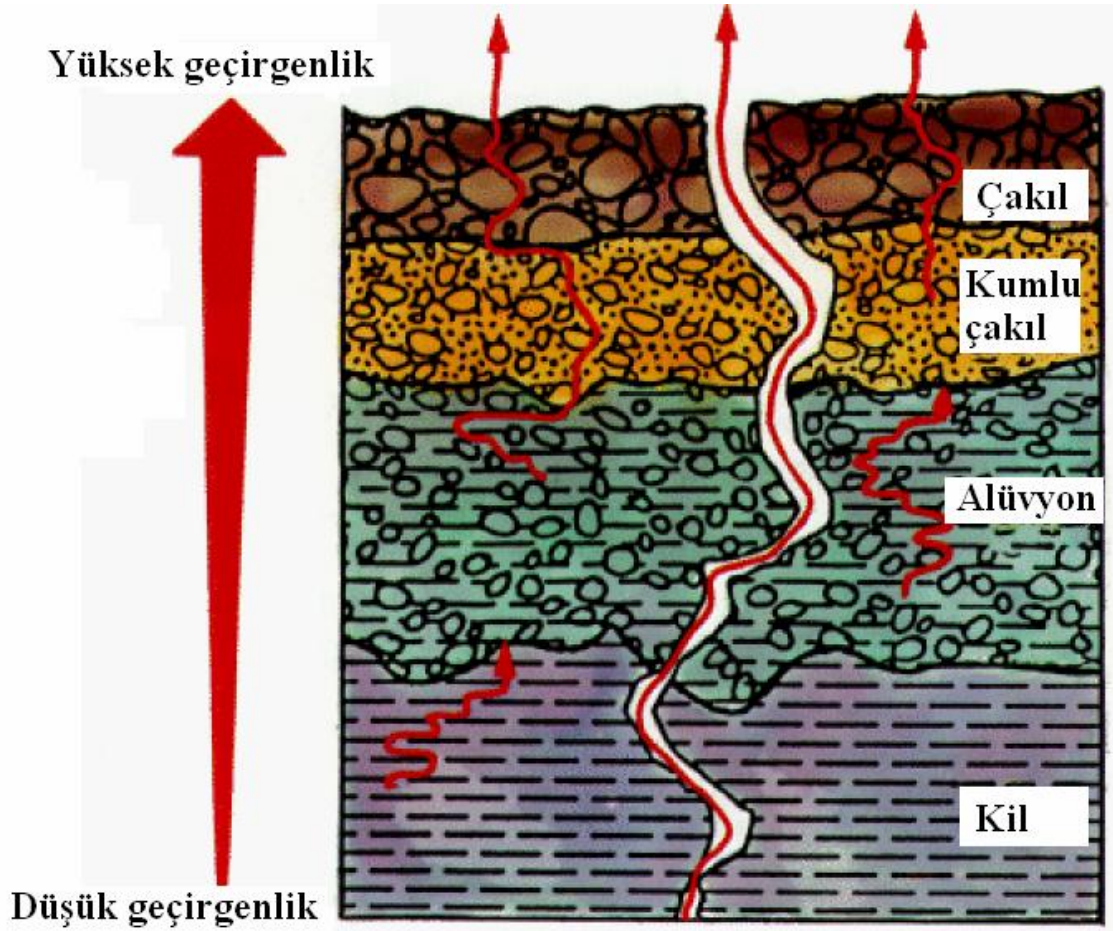
Son yıllarda deprem ön kestirimi için bazı fiziksel parametreler üzerindeki çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu parametrelerin başında elektriksel iletkenlik, sismik P hızı değişimi, yer yükselmesi, tilt ve radon yayılımı bu parametrelerin başında gelmektedir. Öncül olarak kabul edilen safhalar ile parametrelerin değişimi arasındaki ilişki Şekil 4.2’de verilmektedir [32].



Şekil 4.2. Deprem öncesinde bazı fiziksel parametrelerdeki değişim [32].

Bu parametrelerin temel alındığı deprem ön kestirimlerinde önemli fiziksel parametre radon gazı yayılımındaki değişimdir. Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi deprem öncesinde özellikle radon yayılımında artma meydana gelmektedir. Bu artışlar sonucunda azalmanın başlangıcında, tepe noktasında ya da azalma olduğu sırada depremler meydana gelmektedir.

Radon, uranyumun mevcut olduğu bütün kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.3). Bazen de kapalı gözenekler arasına girerek orada kalır. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir [31].



Şekil 4.3. Radon gazının topraktaki yayılımı.

5. DEPREM

Deprem; yerkürenin sarsılması, titremesi, göçmesi, yükselmesi ve oynaması şeklinde meydana gelen yer kabuğunun kısa süreli anî hareketidir. Hareketin başladığı merkez, hiposantr adı verilen ve derinlerde bulunan bir noktadır. Bunun yeryüzündeki dik izdüşümü ise merkez üssü (episantr) olarak adlandırılır. Yer kabuğunun yapısından kaynaklanan hareketler; gerçekte, belli kurallar gereğince belli yerlerde enerji (gerilme) birikimlerine yol açar. Biriken enerji o bölgeyi oluşturan kayaçların direncini aşınca kırılma meydana gelir; kırılma sonucu ani olarak boşalan enerji sismik dalga olarak da adlandırılan deprem dalgaları şeklinde yayılır ve bu yayılma sırasında yerkabuğunda sarsıntılara sebep olur.

Deprem hareketleri, bir havuza taş atılması ile kırılan su yüzeyinde meydana gelen enerji taşıyan su dalgaları ile tamamen benzerdir. Deprem titremelerini, sismik dalgaların enerjisinin elastik kayalardaki titreşmesi ile hissederiz [32].

5.1. Depremler Nasıl Meydana Gelir?

Yerküresinin 70–100 km lik dış bölümünü oluşturan ve litosfer olarak adlandırılan taş küreyi oluşturan kayalar katı ve kırılğan haldedir. Bu kayaların büyük basınçların tesiriyle kırılması neticesinde depremler meydana gelir ve yeryüzünde sarsıntılar şeklinde hissedilir. .

Yerkabuğunun belli bir derinliğinde, bir iç merkezden başlayarak oluşan ani sarsıntı, onu meydana getiren sebebe göre üç çeşide ayrılır.

Bunlar, yer altı boşluklarının çökmesi, volkan faaliyetleri ve yer kabuğunun tektonik hareketleri sonucu meydana gelen depremlerdir. Yer altı boşluklarının çökmesi ile meydana gelen depremlerde, çok küçük enerjinin açığa çıkması nedeni ile sarsıntı ufak alanlarda hissedilebilir ve son derece az hasar yaparlar. Bu depremler, yer altı sularının, karstik bölgelerde yaptıkları aşındırmalar sonucu oluşan boşlukların ve mağaraların bulunduğu bölgelerde, aşırı üretim yapılan ve gerekli teknik önlemlerin alınmadığı maden, yer altı suyu havzaları ve petrol alanlarında beklenebilir. Magmatik faaliyetlerden olan yanardağ püskürmesi, neticesinde ortaya çıkan volkanik depremler, çöküntü depremlerine nazaran daha şiddetlidir. Volkan patlamalarının deprem etkisi, genellikle volkanın hemen civarında olmaktadır.

Yerküresinin 70-100 km derinliğe kadar uzanan en dış bölümünü meydana getiren ve litosfer olarak adlandırılan yerküresi bölümü, levha ya da plaka adı verilen ve altında yer alan magma üzerinde yılda birkaç cm gibi çok yavaş nispi hızlarla hareket eden 7 büyük ve bazı küçük bloktan oluşmuştur. Bu blokların birbirine göre hareketi sonucu meydana gelen sürtünme ve çarpışmalar, bu bölgelerde büyük basınçlar meydana getirmektedir. Bu basınçların giderek artması ve dolayısıyla buna dayanmayan litosfer, ani olarak kırılır. Bu kırılma olayı ve bununla

ilgili sarsıntılar deprem olayının kendisidir. Depremlerden sonra yerkabuğunda görülen fay sistemleri çoğunlukla levha sınırlarında meydana gelir. Ülkemizde meydana gelen büyük depremleri oluşturan fay sistemleri de levha sınırlarında oluşur, dolayısıyla nedeni tektonik olaylardır. Anadolu'nun kuzeyini bir baştan diğer başa kat eden, Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerindeki yıkıcı depremler, Asya-Avrupa (Avrasya) levhası ile Anadolu levhasının birbirine yaklaşma hareketi sonucu meydana gelmektedir [5]. Yer kabuğunun kırılması, kayması gibi hareketleriyle meydana gelen depremler, tektonik depremlerdir. Jeolojik depremlerin %90'ı tektonik tip, %3'ü çöküntü, %7'si volkanik tiptedir.

Teorik olarak yerküresinin 70-100 km derinliğe kadar olan bölümü katı-kırılğan özellikte olduğu için, deprem odak derinlikleri en fazla buraya kadar olmalıdır. Bu derinlikten aşağılara inildikçe, sıcaklık ve basınç arttığı için sığ derinliklerde kırılğan olan kayalar plastik davranmaya başlarlar. Kısacası, kırılğan olmayan bir ortamda depremi meydana getirecek enerji birikmesi gerçekleşmez. 70-100 km den daha derin odaklı depremlerin nedeni ise, yaklaşan levha sınırlarında, dalmakta olan litosferin soğuk ve gevrek yapısını daha derinlere kadar koruyabilmesidir. Japonya ve Meksika'da meydana gelen birkaç yüz km odak derinlikli depremler böyle meydana gelmektedir.

Deprem litosferde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken biçim değiştirme (deformasyon) enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karmaşık elastik dalga hareketleridir.

Yerkabuğundaki biçim değiştirme enerjisinin artmasıyla depremin oluşumunu hazırlayan, kayaçların kırılarak yer değiştirmesiyle sonuçlanan yerinden oynamalara fay denilmektedir. Kırılmanın olduğu düzleme fay düzlemi denir. Bu düzlemin her iki yanında kalan parçalar blok olarak adlandırılır ve düzlem boyunca birbirine göre yer değiştirirler. Fay düzleminin üzerinde kalan bloğa, tavan bloğu, altında kalan bloğa ise taban bloğu denilmektedir. Taban ve tavan bloklarının önceden bitişik noktalarının yer değiştirmelerini gösteren uzaklığa da atım denilir.

5.2. Fay Çeşitleri

Faylar, oluşmaları sırasında yer değiştiren blokların düzlem üzerindeki hareket doğrultularına göre sınıflara ayrılarak tanımlanır.

5.2.1. Normal Fay

Çekme (tansiyon) kuvvetlerinin etkin olduğu bu fay türünde, tavan bloğu, fay düzlemi üzerinde, fay düzleminin eğimli olduğu tarafa, taban bloğuna göre aşağıya doğru hareket

etmiştir. Yani iki blok birbirinden uzaklaşmıştır. Ege Bölgesi'ndeki depremleri bu tür fayların oluşturduğu bilinmektedir.

5.2.2. Ters Fay

Tavan bloğu, taban bloğuna göre fay düzlemi eğiminin tersi yönünde yukarı doğru kayar ve her iki blok birbirine yaklaşarak, biri diğerinin üzerine abanmış bir durum gösterir. Bu tip faylar, normal fayların aksine, yerkabuğundaki sıkıştırma (kompresyon) kuvvetlerinin etkisiyle oluşmaktadır.

5.2.3. Yanal Atımlı Fay (Doğrultu Atımlı Fay)

Bir bloğu diğerine oranla fay düzlemi boyunca yatay olarak yer değiştirmiş olan faydır. Bu tür faylarda fay düzlemi düşey olduğundan, tavan ve taban bloğundan bahsedilemez. Fay bloklarının birbirlerine göre bağıl hareketleri, fay düzlemi boyunca yatay olan hareketten oluşur. Yani, iki blok birbirinden yatay doğrultuda uzaklaşmıştır. Bu durumda, bloklardan birisi üzerinde duran ve öbür bloğa bakan bir kimseye göre, karşı bloğun sağa ya da sola doğru kaymış olmasına göre fay, sağ ya da sola atımlı (yönlü) olarak tanımlanır. Yurdumuzdaki Kuzey Anadolu Fay Sistemi, sağ yönlü doğrultu atımlı, tez çalışmasının gerçekleştirildiği Doğu Anadolu Fay Sistemi ise sol yanal atımlıdır. Bu tür faylar yerkabuğundaki makaslama kuvvetleri ile meydana gelir.

5.2.4. Verev (Diyagonal, Eğik) Atımlı Fay

Bir bloğun diğerine oranla fay düzlemi boyunca verev olarak yer değiştirmiş olduğu faydır. Bu tür faylar boyunca meydana gelen harekette hem yanal hem de düşey bileşen vardır.

Bunların dışında, iki normal fay arasındaki bloğun aşağı doğru çökmesi ile meydana gelen çukurlara Graben-Tektonik Çukur-Çöküntü Havzası denilmektedir. Batı Anadolu'daki nehirler, vadiler ve ovalar, birer graben olarak belirmektedir. İki normal fay arasında yüksekte kalan bloklara da Horst denilmektedir. Fay düzlemleri birbirlerine paralel fayların bir araya gelmesi ile oluşan faylara da basamaklı faylar denilmektedir.

Yer kabuğunda fayın oluşması, ani bir hareket değildir. Yer kabuğunun belirli bir parçası, gerilmelerin etkisi ile şekil değiştirmeye uğrar ve kırılır. Kırılan parçalar kayarak birbirinden uzaklaşır. Faylar, mekanik bakımından kesme ve kayma hareketleridir. Kabuktaki değişik kuvvetlerin etkisiyle ve elastik biçim değiştirmeye oluşurlar.

5.3. Depremlerin Ölçülmesi

Depremler, sismografla ölçülen sismik dalgalardır. Deprem büyüklüğünün nicel hesabı, depremle açığa çıkan enerji miktarlarını sırayla gösteren çizelgeye; Richter Ölçeğine göre yapılır. Belirli bir büyüklük değeri için depremin şiddeti, bölgedeki zeminin ve varsa yapılaşmanın türüne de bağlıdır; yumuşak toprak zeminde hissedilen şiddet, kayada hissedilenden iki veya üç kat daha fazladır [33].

Depremlerin şiddet derecelerine üç dalga sarsım (Recfe) kabul edilmiştir. Bunlar, dikey dalgalar, yatay dalgalar, hem dikey hem de yatay dalgalardır.

Dikey dalgalar, en tehlikelidir; bir bomba patlaması gibi binaları yukarıya fırlatır. Yatay dalgalar, daha az tehlikelidir; en çok meydana gelen deprem dalgaları yatay sarsıntılardır. Hem dikey ve hem yatay dalgalarla, yeryüzü denizdeki dalgalar gibi oynar; toprak irtibatını kaybeder, birçok fay ve çatlaklar meydana gelir.

Yer kabuğunda ani kırılmaların (depremlerin) veya çeşitli suni patlamaların meydana getirdiği titreşimler patlama noktasından itibaren her doğrultuda yayılan sismik dalgaları meydana getirmektedir. Bu dalgaların başlıcaları P ve S olarak adlandırılan dalgalardır. P dalgaları, içerisinden geçtikleri kayaçları yayılma doğrultusuna paralel olarak sıkıştırıp gevşetirler. Yani hacimlerinin değişmesine neden olurlar. Aynı zamanda bu dalgalar en hızlı dalgalar olduklarından kayıt istasyonlarına ilk olarak varırlar. Bu nedenle latince birinci anlamına gelen Primea sözcüğünün baş harfi alınarak P dalgası olarak adlandırılmıştır. S dalgaları ise içinden geçtikleri kayaçları, yayılma doğrultusuna dik olan bir doğrultuda hareket ettirirler ve kayaçlarda şekil değişikliklerine neden olurlar. Bu dalgalar kayıt istasyonlarına ikinci olarak ulaşan dalgalar olduklarından; latince ikinci anlamına gelen Seconde sözcüğünün baş harfini almıştır.

Yer kabuğunun belirli bir bölgesi tektonik kuvvetlerin etkisi altında büyük basınçlara maruz kaldığında bu bölgedeki kayaçlarda sonsuz sayıda çok küçük çatlamlar meydana gelir ve kayaçlar kırılmaya karşı direnirler. Böyle bir durumda; kayaçlar içerisindeki P dalga hızları normalinden daha düşük değerlere sahip olur ve S dalga hızlarında da pek değişme olmamaktadır. Çatlakların genişlemesi ve bölgedeki kayaçların hacimlerinin artması nedeniyle civardaki yer altı suları çatlakların içerisine dolar ve P hızları yeniden artar [6].

5.4. Depremlerin Şiddet ve Büyüklük Dereceleri

Depremin büyüklüğü, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Şiddet ise, deprem sırasında meydana gelen hasarın (yıkımın) bir ölçüsüdür. Tabiidir ki meydana gelen hasar zemin şartları ve yapılaşma tipiyle yakından ilişkilidir. Dolayısıyla depremleri karşılaştırmakta objektif bir ölçüt değildir. Bunun yerine, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin

bir ölçüsü olan Richter Ölçeği oluşturulmuş ve depremin büyüklüğünü belirlemek için kullanılmaya başlamıştır. 1’den 9’ a kadar numaralanan Richter ölçeği logaritmik bir ölçektir, yani depremin etkisi, ölçeğin derecesiyle artar.

Deprem büyüklüğünün ölçümünde; şiddet ölçekleri (hasarın yapısı ve önemi); genlik ölçekleri (aygıtlarla yapılan, ölçme noktasından bağımsız ölçümler) gibi ölçekler kullanılır.

Depremlerin şiddeti belirli bir ölçeğe göre derecelendirilmiştir. En çok kullanılan Mercalli-Cancani ölçeğine göre deprem şiddeti 1’den 12’ye dek derecelenir: 1. dereceyi, ancak sismograflar saptayabilir. 2. derece; çok hafiftir, 3. derece; hafiftir ve çoğu kimse deprem olduğunu duymaz. 4. derece; orta şiddettedir, 5. derece oldukça şiddetlidir, 6. derece şiddetlidir ve binaların sıvaları çatlar. 7. derece çok şiddetlidir, evlerde çatlaklar olur. 8. derece yıkıcıdır, bacaları, heykelleri yıkar ve binalarda yarıklar oluşturur. 9. derece çok yıkıcıdır, taş binalar yıkılır. 10. derecede evler yıkılır, demiryolları, su, havagazı boruları eğrilip kopabilir. 11. derecede köprüler, barajlar yıkılır, yerde yarıklar açılır, sular fışkırır. 12. derece büyük felakettir, hiçbir şey ayakta kalmaz, yeryüzünün biçimi değişir, yeni göller oluşabilir, ırmakların yatağı değişebilir.

Depremlerin büyüklükleri ile oluş frekansları arasında Gutenberg-Richter tarafından ortaya konulan doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

$$\log N = a - bM \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğindeki b değeri incelenen alandaki sismik aktiviteyi göstermektedir. Genel olarak sismik bakımdan aktif olan bir bölge her zaman sabit bir aktivite göstermez ve aktivite zaman içerisinde değişir. Genellikle büyük depremlerden önce b değerinde azalma görülür. Ancak tek başına b değerindeki azalmadan depremin olacağı yeri, zamanı ve büyüklüğünü tespit etmek mümkün değildir [6].

5.5. Deprem Türleri

5.5.1. Tektonik Depremler

Yukarıdaki paragraflarda temel özellikleri verilmiş olan fayların ilk kez oluşumu ya da mevcut faylar boyunca meydana gelen yer değiştirmeler sonucu oluşan depremler; tektonik depremlerdir. Yeryüzünde meydana gelen depremlerin %80’i bu gruptan oluşur. Türkiye’de oluşan depremlerin hemen hepsi bu gruba girmektedirler. Tektonik deprem dalgaları, zayıf ve dengesiz bir yerden (hiposantr) başlayarak toprağı, denize atılan bir taşın meydana getirdiğı dalgalar gibi çevresine yayılarak yerkabuğunu ve onun üzerinde inşa edilmiş yapıları titreten, oynatan ve sarsan şiddetli hareketlerdir. Tektonik depremler sırasında oluşan veya yeniden

hareketlenen fayların uzunlukları kilometrelerce olabilir. Fayın türüne bağlı olarak yerkabuğunda çökmeler, yükselmeler veya yanal kaymalar olur. Tektonik depremler kendi aralarında; odak noktası derin olmayan depremler (0-60 km), odak noktası orta derinlikte olan depremler (60-300 km) ve odak noktası derin olan depremler olarak üç gruba ayrılırlar.

5.5.2. Volkanik Depremler

Yerkabuğunun alt kısmı ya da üst mantodaki kısmi ergimelerle oluşan magmanın yeryüzüne kuvvetli bir basınçla çıkmasından yanardağlar (volkanlar) meydana gelir. Volkanların çok şiddetli bir basınçla çıkardıkları lavların yeri sarsması sonucunda meydana gelen depremler; volkanik depremlerdir. Gerek jeolojide gerek deprembilimde; yerin derinliklerindeki ergimiş maddenin, yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar yanardağlarla ilgili olduklarından, Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedirler. Volkanik depremler, mahalli depremler olmakla beraber, yayılma alanı mağara depremlerinden fazla, yaptığı hasarlarda tektonik depremlerden az olur. Meydana gelen depremlerin %14'ü volkanik depremlerdir.

5.5.3. Çöküntü Depremleri

Yerkabuğunun yapısında jips, kaya tuzu ve kalker gibi sularla kolaylıkla eriyen mineral ya da kayalar vardır. Bunların bulunduğu yerlerdeki erimeyle meydana gelen büyük boşlukların (mağaraların) göçmesi ile meydana gelen depremlerdir. Kireçtaşlarının (kalker) yaygın olduğu bölgelerdeki erimeyle meydana gelen yeryüzü şekilleri karstik yapılar olarak adlandırılır. Karstik yapılardan biri de mağara olarak adlandırılan büyük boşluklardır. Ülkemizde Antalya ve Burdur civarlarında görülen ve bir kısmı turizme açılmış olan büyük mağaralar bu türdendir. Maden işletmesi amacıyla yeraltında açılan galeriler yapay boşluklar olup, bu boşluklarda da zaman zaman oluşan göçükler, yakın çevrede sarsıntılara neden olur. Gerek doğal gerekse yapay yollarla ortaya çıkan mağara veya boşlukların çökmesi ile oluşan depremler sadece yerel hasarlara neden olurlar. Bu hasarları tektonik depremlerin meydana getirdikleriyle karşılaştırmak mümkün değildir. Büyük yer kaymalarının ve gök taşlarının etkileriyle oluşan depremler de bu gruptan sayılabilirler. Ülkemizin Çankırı, Çorum, Acıçay Havzası ile Zonguldak kömür bölgesinde yaşanan depremler, çöküntü depremleridir. Göçme depremlerinde yalnız çöken mağaraların çevresindeki yerler sarsılır, titrer, oynar ve hasar görür. Mağara depremleri, şiddetli bir sarsıntı meydana getirmediği gibi, önemli hasarlar da yapmazlar. Şimdiye kadar dünyada meydana gelen depremlerin %6'sının mağara depremlerinden meydana geldiği tespit edilmiştir [34].

6. SIVRİCE FAY ZONU

Sivrice İlçesi, Elazığ İl merkezine 31 km uzaklıkta olup, ulaşım kara ve demiryolu ile sağlanmaktadır. Sivrice, Hazar Gölü kıyısındadır ve bu göl tektonik bir göldür.

Sivrice İlçesi'nin doğusunda Maden İlçesi, batısında Baskil İlçesi, güneybatısında Doğanyolu İlçesi (Malatya), güneydoğusunda Çüngüş İlçesi (Diyarbakır), kuzeyinde Elazığ Merkez İlçesi bulunmaktadır. Ayrıca, ilçenin güneydoğusunda 2347 m yükseklikteki Hazarbaba Dağı ile 2171 m yükseklikteki Karaoğlan Dağı bulunmaktadır.

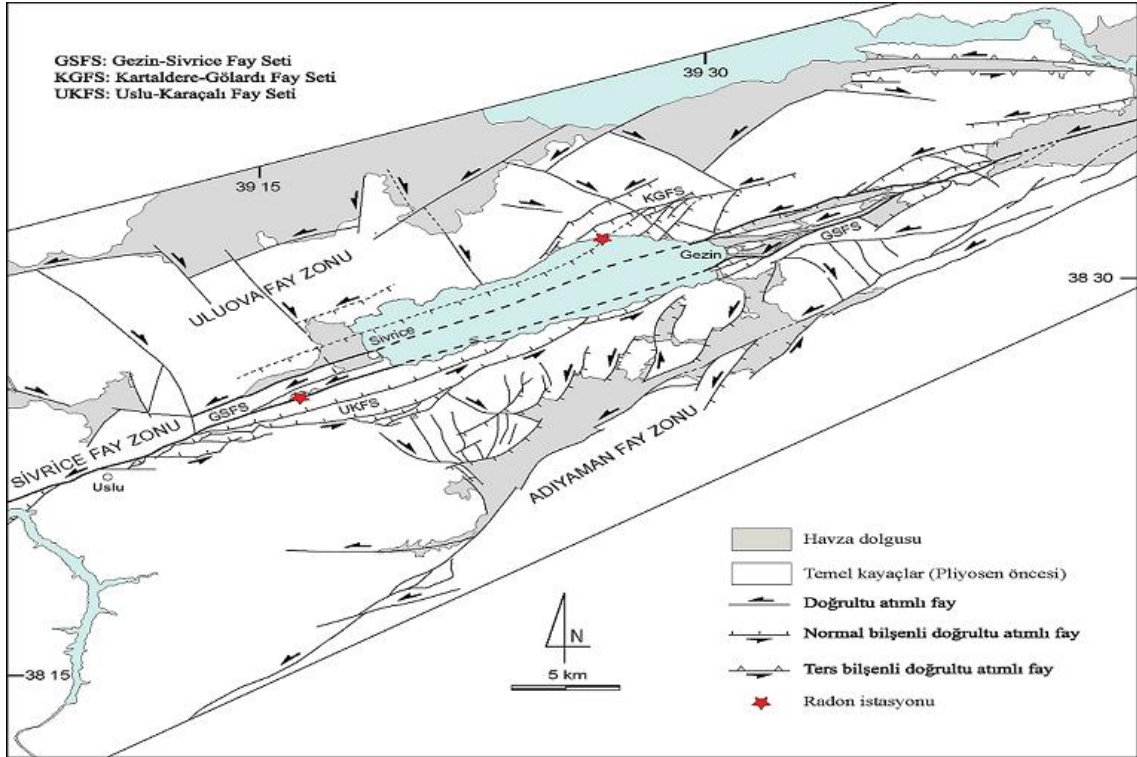
Dik yamaçlarla göle inen bu dağlar, göl çevresinde geniş düzlüklerin gelişmesine imkan tanımamıştır. Nitekim gölün güney batısında Kürk suyu ağzında gelişen Kürk deltası ve onun devamı olan Gölbaşı düzlükleri ilçenin başlıca düzlüklerini oluşturmuştur. Bu delta dışında, dağlardan göle dik olarak ulaşan derelerin göl kıyısında oluşturduğu birikinti koni ve yelpazeleri ile Hazar Dağı'nın güney yamaçlarında gelişen fay basamakları tarım ve yerleşmeye imkân tanıyan başlıca alanlardır.

Tektonik bir göl olan Hazar Gölü'nün doğusunda ve güneybatısında Üst Neojene ve Kuvaternere ait eski göl birikintileri ve bugün zamanla gölün çekilmesiyle meydana gelen taraçalar mevcuttur. Gölün bugünkü seviyesinden 30-100 m yükseklikte iki taraça bulunur ki bunlar eski gölün kalıntılarıdır.

Gölde periyodik yükselme ve alçalmalar tespit edilmiştir. Sivrice yerleşim alanının zemini kumlu ve çakıllı kildir. Fay zonu üzerinde yer alan bu tür zeminler deprem dalgalarının etkilerini büyüttükleri için yerleşime çok da uygun değildir.

Hazar Gölü Havzasının temelini Pliyosen öncesi kayalar oluşturmaktadır. Pliyokuvaterner çökelleri, Hazar Havzasını sınırlayan fayların kontrolünde depolanmıştır ve bunlar Neotektonik birimler olarak kabul edilebilir. Temel kayanın aşınma yüzeyleri, travertenler ile aşıl uyumsuzluk göstermektedir [35].

Radon istasyonlarının üzerinde kurulmuş olduğu Sivrice Fay Zonu yaklaşık 5 km genişlikte, 32 km uzunlukta, kenarları normal bileşene sahip doğrultu atımlı faylarla sınırlanmış merccek biçimli bir çöküntü alanı oluşturur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Sivrice Fay Zonu'nu oluşturan başlıca faylar [31].

Hem morfotektonik hem de yapısal unsurlar dikkate alındığında Sivrice Fay Zonu boyunca birikmiş olan sol yanal yer değiştirme miktarı (atım) 9 ± 1 km olarak ölçülmüştür [36]. Bu yer değiştirme miktarı ve fay sisteminin yaklaşık 2,6 milyon yıllık yaşı (Pliyo-Kuvaterner) esas alınır, Sivrice Fay Zonu üzerindeki kayma hızı 4 mm/yıl olarak hesaplanır. Diğer fay zonları üzerinde de kayma hızlarının varlığı düşünüldüğünde, hesaplanan değer Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS)'nin bütünü için geçerli olamayacağı; toplam değer daha büyük olacağı açıktır.

Genelde DAFS, özelde onun bir bölümü olan ve üzerinde proje çalışmalarının yürütüldüğü Sivrice Fay Zonu, tarihsel ve âletsel dönemlerde bazıları yıkıcı olan değişik büyüklükte depremlere kaynaklık etmiş aktif faylardır.

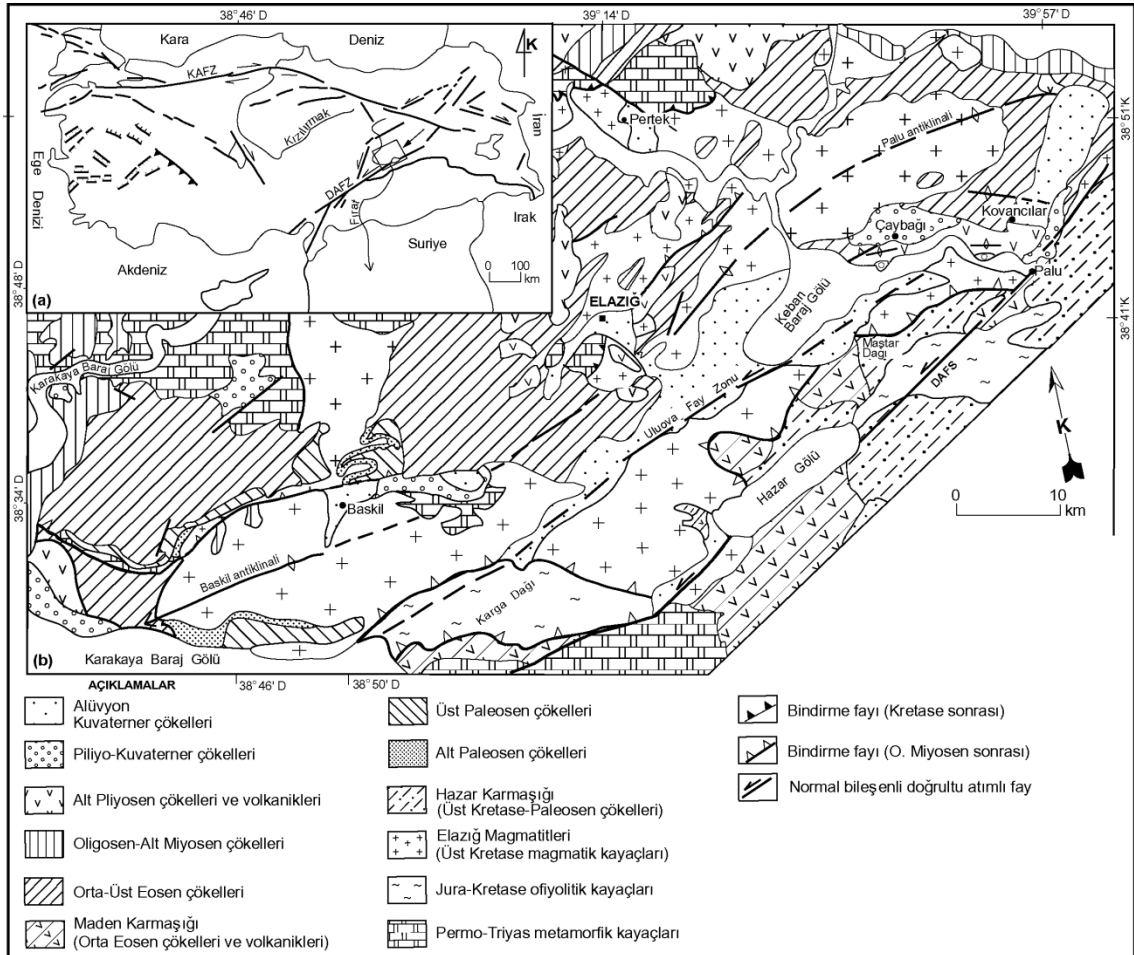
Sivrice ilçesi ve çevresinde, Permokarbonifer'den Kuvaterner'e kadar farklı kayaç türlerinden oluşan birimler yüzeylemektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru şöyle sıralanabilir: Metapelit, kalkışist, rekristalize kireçtaşı ve metakuvarsitlerle temsil edilen Pütürge Metamorfitleri (Karbonifer (?)- Permien-Triyas); gabro, diyabaz, bazalt ve andezitlerle temsil olunan Elazığ Magmatitleri (Senoniyen); kumtaşı, kıltaşı ve çamurtaşı aralanmasından oluşan Simaki Formasyonu (Maastrichtiyen-Üst Paleosen); volkanik arakatlı çamurtaşı, kumtaşı, tuf, andezit, bazalt ve volkanik breşlerle temsil olunan Maden Karmaşığı (Orta Eosen); gevşek

tutturulmuş çakıl, kum ve killerden oluşan Pliyo (?) -Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile ayrık kum, kil ve çakıllardan oluşan güncel alüvyonlardır [37].

6.1. Pütürge Metamofitleri (Karbonifer (?)-Permiyen-Triyas)

Sivrice İlçesi yakınındaki çalışma alanında Pütürge Metamofitleri; Soğukpınar, Düzbahçe köyleri güneyinde ve Beyazkaya Tepe güney ve batı kesimlerinde yüzeylemektedir. Pütürge Metamofitleri metapelitler, kalkıştiller, rekrystalize kireçtaşları ve meta-kuvarsitlerden oluşan metasedimenter birimlerle temsil edilmektedir.

Metamofitler, gözlü gnayslar, granatlı granitik gnayslar, granatlı amfibolit ve granatlı biyotit mikaşistlerden oluşan bir çekirdek kısmından ve çekirdeği oluşturan bu alt birim üzerinde ise bir makaslama düzleminde sonra mikaşist, mermer, kalkışt, kuvarsit ve rekrystalize kireçtaşlarından oluşan bir örtü seviyesinden meydana gelmektedir.



ŞEKİL 6.2: Elazığ yakın çevresinin, Türkiye'nin tektonik çatısındaki konumu (a); jeolojik haritası (b) ([38]'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

Pütürge Metamorfitlei içerisindeki amfibolşist, amfibolit ve prasintlerin mağmatik kökenlidir. Mağmatik kökenli bu metamorfitlelerinin oluşum ortamının, levha içi alkali bazalt-ada yayı ortak alanıdır [39].

6.2. Elazığ Magmatitleri (Senoniyen)

Elazığ Magmatitleri; Sivrice ilçesi, Dzbahe ve Karaçalı köyleri çevresi ile Sürek köyü kuzeybatısı ve Krk köyü kuzeyindeki alanlarda geniş yüzlekler vermektedir.

Elazığ Magmatitleri değişik kayaç türleri ile temsil edilmekte olup, bunlar litolojik özelliklere göre; Gabro yesi, Diyabaz yesi, Bazalt yesi ve Andezit yesi adıyla dört ayrı üyeye ayrılmıştır. Elazığ Magmatitleri hem magmatik hem de tortul kayaçlar içeren bir topluluktur, ayrıca birimin içerisinde yer alan bazaltik yastık lavlar, birimin, bir denizaltı volkanizması ürünü olduğunu gösterir.

6.3. Hazar Karmaşığı (Maastrichtiyen-Alt Eosen)

Hazar Karmaşığı alttan üste doğru; konglomeratik özellikteki Ceffan: kumtaşı, çamurtaşı ve şeyl ardağanmasından oluşan fliş zellikli Simaki, pembe ve gri renkli pelajik kireç taşları ile nadiren volkanik ara katkılı seviyelerden oluşan Gehroz formasyonlarına ayrılır. Simaki Formasyonu; kumtaşı, çamurtaşı ve şeyl ardağanmasıyla temsil olunur.

6.4. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)

Sivrice ilçesinde belirlenen çalışma bölgesinde Maden Karmaşığı esas olarak volkano-tortul kayaçlar, kireçtaşları, andezit, bazalt, volkanik breş ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır. Maden Karmaşığı; en altta kırmızı renkli çamur taşları ile başlamaktadır. Bu amur taşları arasında devamsız olarak tf ve volkanik malzemeden oluşmuş kumtaşı ve kumlu kireçtaşı seviyeleri yer alır. Birim daha st seviyelerinde kırmızı renkli çamur taşı ara seviyeli andezit ve bazalt türü volkanik kayaçlarla temsil edilmektedir [37].

Maden Karmaşığı içerisinde önemli bir yer tutan çamur taşları ve bunlara ara katkılı volkanikler birimin bir denizaltı ürünü olduğunu gösterir. Ayrıca, birim, yitim zonlarına özgü volkanotortul bir karmaşık niteliği sergilenmektedir. Buna dayanılarak birimin en azından bir yitim zonu ürünü olduğu söylenbilir [39].

6.5. Alüvyonlar

Bu bölgede gözlenen alüvyonlar; Pliyo (?) -Kuvaterner eski alüvyonlar ve güncel alüvyonlar olmak üzere ayrı ayrı incelenir.

Eski alüvyonlar, kendinden daha yaşlı Kömürhan Ofiyoliti ile Maden Karmaşığı'nı uyumsuz olarak örter. Birim, kötü boylanmalı çakıltası, kumtaşı ve kıltaşları ile temsil edilmektedir. Taneleri genellikle gevşek tutturulmuş olan bu alüvyonlar, yatay bir tabakalanma gösterir.

Güncel alüvyonlar bu bölgede, özellikle dere yataklarında çakıl, kil ve silt birikintisi şeklinde gözlenir. Çakıl, kil ve silt boyutundaki tanelerden oluşan alüvyon malzemesi; tutturulmamış depolanmalar biçimindedir. Bu alüvyonlar, kendinden daha yaşlı Pütürge Metamorfikleri, Kömürhan Ofiyoliti ve Maden Karmaşığı'nı uyumsuz olarak örter.

6.6. Doğu Anadolu Fay (DAF) Sistemi

Türkiye'nin en önemli doğrultu atımlı faylarından birisidir. Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesinden başlayarak kuzeydoğuya doğru 400 km kadar devam edip, Karlıova yakın doğusunda Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile kesişir. Günümüzde de etkinliğini sürdüren sol yanal atımlı bu fay, tek bir fay hattı olmaktan ziyade, çoğu kesiminde dallanarak birçok kollara ayrılmış bir fay sistemi halindedir.

Fay sistemini oluşturan fay zonları boyunca etkisini sürdüren sismik etkinlik, aktif heyelanlar, sol yanal ötelenmeli dere yatakları, fay hatlarına paralel çok sayıda soğuk su kaynakları, eski taraçalar ve alüvyal yelpaze çökelleri aktif fay hatlarının varlığına işaret eden en belirgin kanıtlar olarak düşünülür [39].

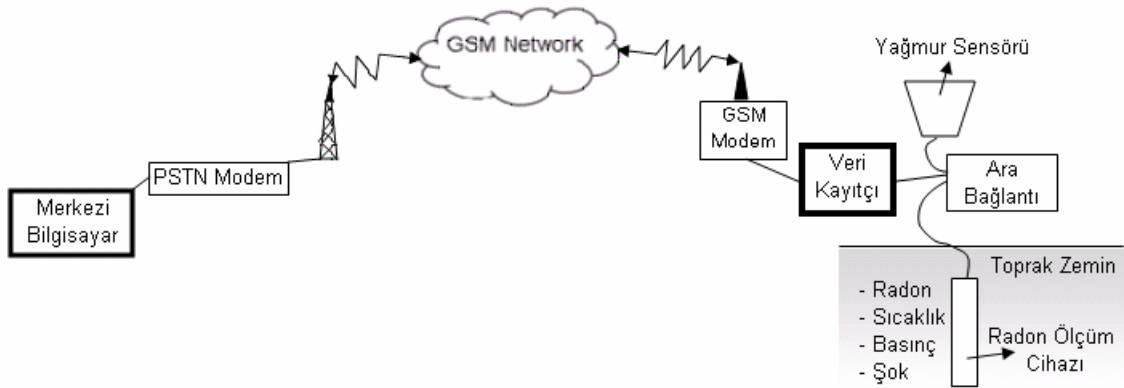
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sivrice Fay Zonundaki radon değişiminin ve doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; toprak radon gazı ölçümleri, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri, çevresel gama ölçümleri uygun algılama sistemleri kullanılarak belirlenmiştir.

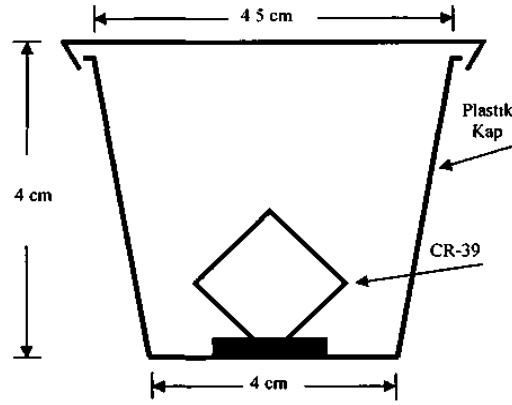
7.1. Toprak ve Su Radon Gazı Ölçümleri

Toprak radon gazı, sürekli ölçüm sistemi yöntemine göre belirlenmiştir. Ölçümler, söz konusu fay zone üzerinde önceden belirlenmiş bir yerde sabit olarak toprağa gömülü Nükleer Spektroskopik sistem içeren bir algılama sistemi aracılığı ile yapıldı. Sistem, Fay Zonu üzerinde kurulmuş olup içerisinde silisyum yarı-iletken detektör içermektedir. Radon gazı aktivitesi, radonun radyoaktif özelliğinden yararlanılarak Nükleer Spektroskopik Yönteme dayalı olarak belirlenmiştir. Radon gazı ölçümü uygun yazılımlar kullanılarak her on beş dakikada bir olmak üzere kaydedilip sistem içerisine depolanmıştır. Sistemde depolanan değerler istenildiği anda uzaktan veri transferi sistemleri kullanılarak GSM veya sabit telefon hattı üzerinden on-line olarak laboratuara aktarılmıştır.

Sistem, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nin Marmara Bölgesi'nde Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde kurulan toprak radon gözlem sisteminin benzeri olacak şekilde tasarlanmıştır ve Şekil 7.1'de şematize edilmiştir [7].



Şekil 7.1: Radon gazı izlenmesinde kullanılan algılama sisteminin şematik gösterimi.



Şekil 7.2: Difüzyon kabı (içine iz detektörü yerleştirilmiş).

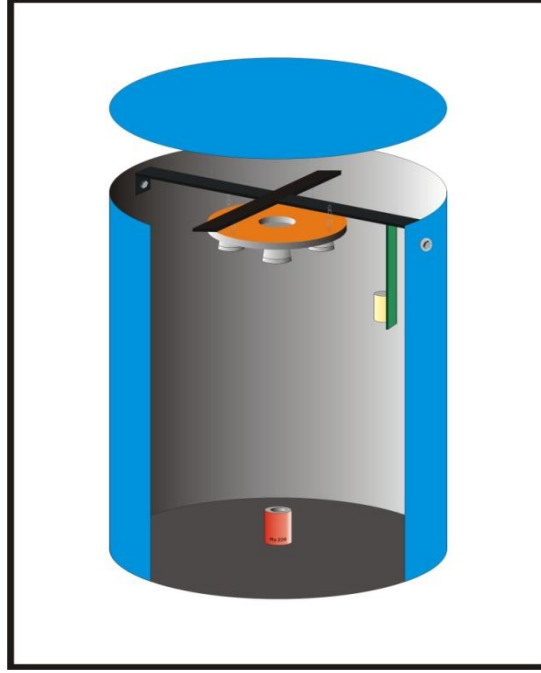
Ayrıca laboratuvar ortamında; çalışma bölgesinde alınan su ve toprak örneklerinde radon gazının yayılımının belirlenmesi ve izlenmesi çalışması da CR-39 detektörleri kullanılarak yapılmıştır.

Boyutları 2cmx2cm olarak kesilen iz detektörleri bardak benzeri boyutları 4,5cm ve 9cm olan plastik radon difüzyon kabı içine yerleştirildi. Difüzyon kabı da numunenin bulunduğu kabın içerisine yerleştirildi. İçerisine iz detektörü yerleştirilmiş olarak bir difüzyon kabı Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

Bozunmalar sonucu açığa çıkan alfa parçacıkları detektör üzerine çarparak iz bırakır. Difüzyon kabı içine giren radon gazının, radyoaktif bozunması sonucu çıkan alfa parçacıklarının detektör ile etkileşmesi sonucu oluşacak izlerin sayısı, bu kap içine giren radon konsantrasyonu ile orantılıdır [40].

7.1.1. CR-39 Katı Hal İz Radon Algılayıcıları ve Kalibrasyonu

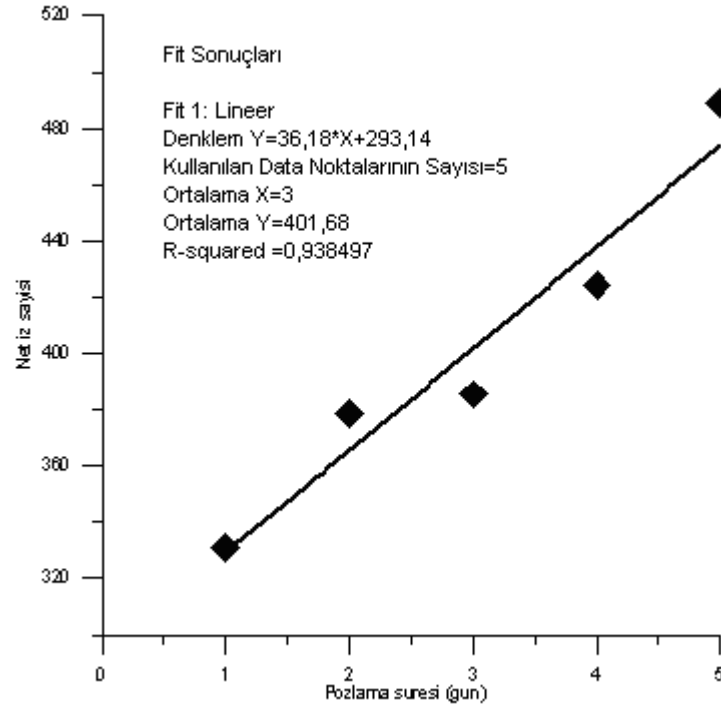
Radon ölçümlerinde kullanılan ve genel ismi Alil Diglikol Karbonat olan bu algılayıcılar, camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastiktir.



Şekil 7.3: Kalibrasyon odası (225 litre hacme sahip varil).

Bu algılayıcıların kalibrasyon işlemleri 225 litrelik bir kalibrasyon odası kullanılarak yapılmıştır (Şekil 7.3). Kalibrasyon odasının tabanına ^{226}Ra kaynağı konularak; ortamda ^{226}Ra ile ^{222}Rn arasındaki seküler (sürekli) dengenin sağlanması için radonun en az 6-7 yarı ömrü kadar süre geçmesi gerektiğinden 25 gün beklenmiştir ve bu süre sonunda 5 adet 2cmx2cm'lik CR-39 plastik detektörler kalibrasyon odasının tavanına yerleştirilmiştir. Ayrıca kalibrasyon odasının içine bir fan yerleştirilerek ortamın homojen yoğunlukta olması sağlanmıştır. 25. günden itibaren kalibrasyon odasının içerisinden her gün pozlanmış (ışınlanmış) bir detektör çıkarılmıştır. Bu kalibrasyon odasının denge konsantrasyonu $3,2 \text{ kBq/m}^3$ 'tür.

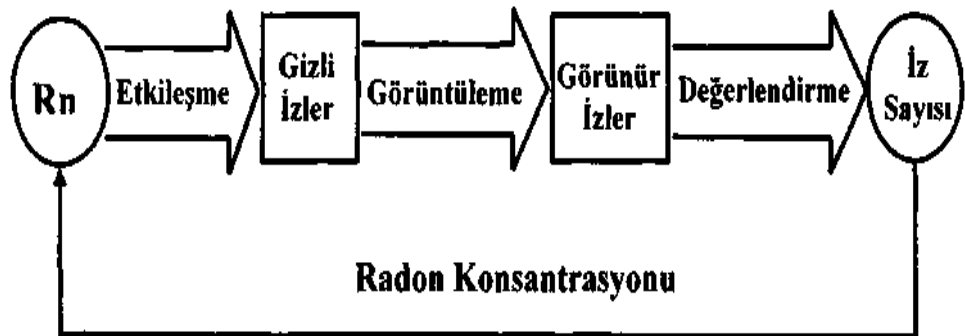
Pozlanmış olan CR-39 plastik detektörlerinin üzerinde oluşan izlerin sayımı sonucunda, pozlama süresine karşılık net iz sayısını gösteren grafik çizilmiş (Şekil 7.4) ve oluşan eğrinin eğiminden radon kalite faktörü $0,089 \text{ (iz cm}^{-2} \text{ gün}^{-1})/(\text{Bq m}^{-3})$ elde edilmiştir. Hesaplanan radon kalite faktörü, bu çalışmada radon yayılımlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.



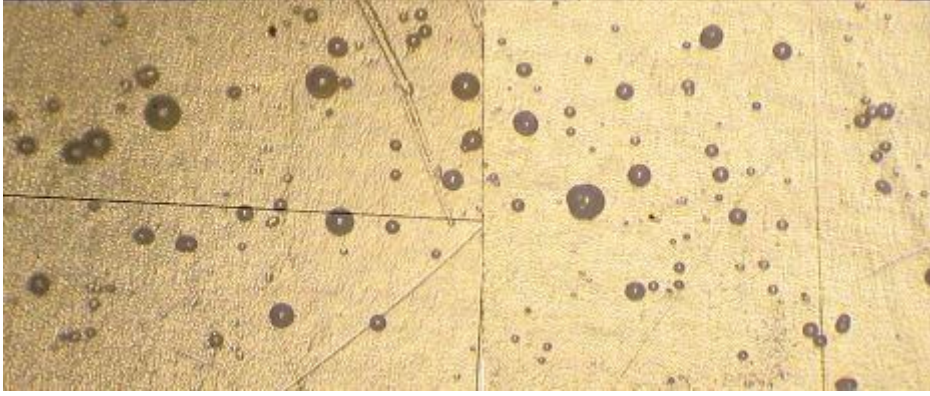
Şekil 7.4: Pozlama süresince elde edilen net iz sayısı.

7.1.2. CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri

Laboratuar ortamında yaklaşık 1 litrelik kavanozlar içinde 30 gün sürekli dengenin sağlanması için bekletilen toprak ve su numuneleri; kavanoz içinde sürekli denge sağlandıktan sonra, 2cmx2cm kesilmiş CR-39 algılayıcıları yerleştirilmiştir. Algılayıcılar 30 gün sonunda çıkarılmış ve 60 °C sıcaklıkta 15 saat süreyle %30'luk NaOH çözeltisi içerisinde bekletildikten sonra saf su ile dikkatlice yıkanarak kurutulmuştur. Daha sonra, her bir algılayıcı üzerinde farklı en az 10 bölge seçilerek radon gazından dolayı bu bölgeler üzerinde alfa parçacıklarının bırakmış olduğu izler kameralı mikroskop kullanılarak sayılmıştır.



Şekil 7.5: Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi.



Şekil 7.6: CR-39 katı hal iz detektörü ve alfa parçacıklarının izleri.

Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik olarak Şekil 7.5’de elde edilen izler ise Şekil 7.6’da gösterilmiştir.

7.1.3. Radon Gazı Aktivite Yoğunluğunun Hesaplanması

Toprak ve su havasındaki radon gazı aktivitesinin hesaplanması,

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{\eta T} \quad (7.1)$$

Denklemleri kullanılarak yapılmıştır. Burada, C_{Rn} (kBq/m³) birimi cinsinden radon derişimi, ρ iz yoğunluğu (iz/cm²), η deteksiyon verimi (0,089 (iz cm⁻² gün⁻¹)/(Bq m⁻³)) ve T algılayıcının radona maruz kaldığı süredir [41].

Radon yayılım oranı ise Denklem (7.2) ile hesaplandı.

$$E = \frac{\rho h \lambda}{\eta T_{eff}} \quad (7.2)$$

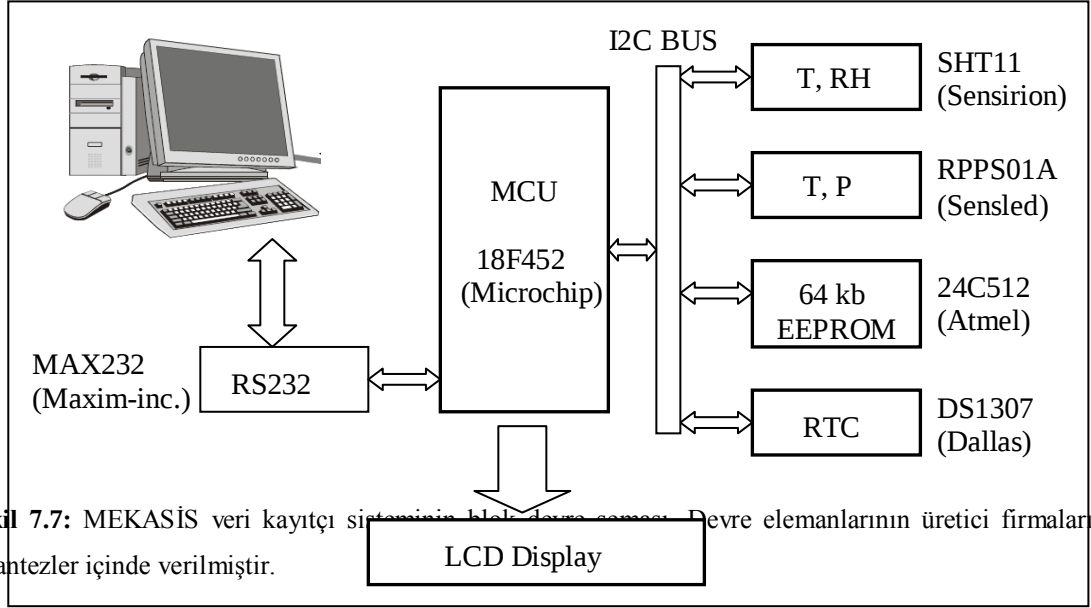
Burada λ ($2,1 \times 10^{-6}$) radon yayılım sabiti, $h(m)$ numune kabının yüksekliğidir.

7.2. Çevresel Sıcaklık ve Atmosferik Basınç Ölçümleri

Sıcaklık ve atmosferik basınç değişimi bölgede kurulu istasyonların bulunduğu konumlara uygun olan Meteorolojik veri Kayıt Sistemi (MEKASİS) kullanılarak onbeş dakikada bir olacak şekilde sürekli olarak kaydedildi. Kaydedilen veriler, radon verilerinin aksine on-line sistemi yerine uygun aralıklarla yerinde okuma yapılarak incelendi. Bunun yanı sıra, bölgenin atmosferik verileri için Devlet Meteoroloji Enstitüsü’nün kayıtlarından da yararlanıldı.

7.2.1. Meteorolojik veri Kayıt Sistemi (MEKASİS)

Meteorolojik veri Kayıt Sistemi (MEKASİS), toprak yüzeyine yakın bölgelerde açık arazi şartlarında meteorolojik verilerin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin bir elektriksel hafıza biriminde saklanması amacıyla, Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir cihazdır. Bu cihaz, bir mikro kontrolör tüm devresi tarafından yönetilen; elektrik kesintilerine karşı koruma görevi üslenen bir pil ile desteklenmiş bir adet gerçek zaman sayıcısı, 64kB büyüklüğünde bir statik hafıza birimi, bir adet sıcaklık ve nem algılayıcısı ve bir adet sıcaklık ve basınç algılayıcısından oluşmaktadır. Tüm birimler birbirleri ile sayısal olarak iletişim kurmakta ve böylece çevreden kaynaklanan elektrik ve manyetik olumsuz etkiler minimum düzeyde tutulmaktadır. Bu sistemde 15 dakikada bir ölçme yapılarak kayıt yapılması halinde 105 güne kadar veri kaydı yapılabilen ve daha sonra kayıtlı veriler bir dizüstü bilgisayara aktarılabilir. Sıcaklık, nem ve basınç algılayıcılarının üretici firma verilerine göre; sıcaklıklar $\pm 0,5$ °C, nem ± 3 % RH ve basınç ± 1 hPa hata payı ile ölçülebilmektedir. Tüm algılayıcılarda sıcaklığa bağlı düzeltme ve lineerlik hatalarında iyileştirme üretici firmaları tarafından yapılmıştır. Ayrıca, 5 adet algılayıcı aynı ortamda çalıştırılarak birbirlerine göre hataları gözlenmiş ve elde edilen sonuçların üretici firmanın verdiği hata sınırları içinde bulunduğu doğrulanmıştır. Sıcaklık ve nem algılayıcısı olarak Sensirion firmasının SHT11 (SMD) elemanı ve sıcaklık-basınç için Sensled firmasının RPPS01A sayısal barometre elemanı kullanılmıştır. Tüm sistem +5V gerilimle çalışmaktadır ve normal çalışmada 22mA akım çekmektedir. Tüm donanımın elektronik tasarımı, mikro kontrolörün işletiminde kullanılan bellek (firmware) ve verilerin bilgisayar ortamına alınmasında kullanılan yazılım kendi imkanlarımızla hazırlanmıştır. Verilerin bilgisayara aktarılmasında Hyper Terminal uygulama programı da kullanılabilir. Bu sayede; sistemin tarih ve saat ayarları, veri kayıt aralığı, sistemin kurulduğu bölge adı gibi temel bilgiler, sistemin kurulumu sırasında yüklenmektedir. MEKASİS sisteminin blok devre şeması Şekil 7.7 de ve sistemin bir görüntüsü Şekil 7.8 de verilmiştir.



Şekil 7.8: MEKASİS veri kayıtçı sisteminin önden (üste) ve arkadan (altta) görüntüsü.

7.3. Çevresel Gama Ölçümleri

Çevresel gama ölçümleri; 1inç×1inç NaI(Tl) kristale sahip sintilasyon sayacı içeren Doz Hızı Ölçer yardımıyla, toprak seviyesi ve zeminin 1m üzerinden yapıldı [42]. Kullanılan sistem taşınabilir olduğundan bölge sismik aktiviteye bağlı olarak belirli aralıklarla tarandı. Elde edilen veriler çalışma süresince belirlenen diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmiştir.

7.4. Toprak ve Suda Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitesinin Belirlenmesi

Toplam alfa ve toplam beta ölçümleri; bölgenin sismik aktivitesine bağlı olarak çeşitli aralıklarla alınan su ve toprak örneklerinde yapıldı. Toplam alfa ve toplam beta ölçümleri alfa ve beta ışımlarına duyarlı düşük seviyeli radyasyona duyarlı Nükleer Spektroskopik sistemler yardımıyla yapıldı.

Deneyde kullanılan malzemeler (planşetler, beherler ve spatula) deterjanla tamamen yıkanmıştır. Deterjanla yıkanmış olan malzemeler musluk suyu ile durulandı ve daha sonra $Kr_2Cr_2O_7$ (Kromik asit) yıkama suyu ile iyice temizlenmiş ve yaklaşık bir gün bu şekilde bekletilmiştir. Yıkama suyu ile temizlenen malzemeler, saf sudan geçirilerek kurutulmuştur.

Su örnekleri, 100 mL'lik beherler içerisine konularak; bir elektrik ocağı kullanılarak 60 °C'de kaynatılmaksızın buharlaştırıldı ve beherler içerisinde yaklaşık olarak 5-10 cm³ oluşan tortu saf su yardımı ile önceden darası alınmış alüminyum planşetlere aktarıldı.

Toprak örnekleri ise, öncelikle oda sıcaklığında birkaç gün bekletildikten sonra mümkün mertebe küçük partiküller haline getirildi daha sonra ise etiketlenmiş alüminyum folyalara konuldu ve 105 °C'deki bir etüvde kurutulma işlemine tabi tutulmuştur. Fırınlama işleminden sonra, toz haline getirilen toprak örnekleri 100 mesh'lik gözenekli elekten geçirildi.

Her bir numune, darası alınmış aktif alanı 11,34 cm² olan üç ayrı alüminyum planşete spesifik kütlesi 5mg/cm² yi aşmayacak şekilde aktarılmıştır. Daha sonra planşetlere aktarılmış numunelerin üzerine yeterince saf su eklenmiş ve pozlanmıştır. Pozlama işlemi ile numunelerin planşetlere yapışması sağlanmış ve numuneler uygun algılama sistemleri ile sayılabilecek hale getirilmiştir.

Örneklerin toplam alfa sayımları; 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir sintilatöre sahip 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı ile toplam beta sayımları ise beta radyasyonuna duyarlı BP4 plastik sintilatörlü sintilasyon sayıcısı SR8 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayım sistemlerinin kalibrasyonu, cihazların kullanım kılavuzlarına uygun olarak yapılmıştır [43, 44].

7.4.1. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması (Kalibrasyonu)

Knoll(1979) ve Leo(1987), bir detektörün doğru ve en verimli şekilde sayım yapabilmesi için detektöre uygulanması gereken yüksek gerilim ve eşik (threshold) voltajı değerlerinin belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmiştir. Buna uyarlama işlemi adı verilir [45].

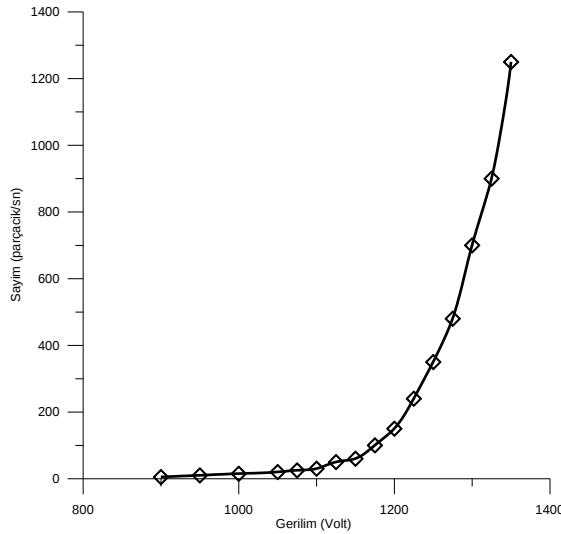
Düşük seviyeli alfa sayıcısının uyarlanması için yapılan işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- a) Herhangi bir radyoaktif kaynak kullanmadan 0 Volt ile 1325 Volt arasında 25 Volt aralıklarla detektöre uygulanan gerilim artırılmış ve her gerilim adımı için taban

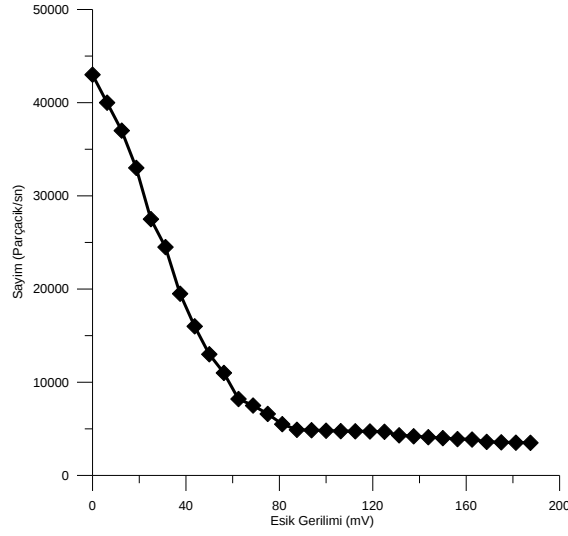
sayım hızı (cpm) belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak sayım hız–gerilim grafiği çizilmiştir.

- b) Sistemin azami verimle çalışabilmesi için foto çoğaltıcı tüpün elektronik gürültü bölgesinin hemen altındaki gerilim detektöre uygulanması gereken yüksek gerilim değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer Şekil 7.9’da görüldüğü gibi 1200 Volt’tur.
- c) Aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynak detektör önüne bırakılmış ve çalışma gerilimi olan 1200 Volt detektöre uygulanmıştır. Uygulanan çalışma gerilimi sabit kalmak şartıyla eşik gerilim 0 ila 175 mV arasında 6,25 mV aralıklarla arttırılmış ve her artış için 10 s zaman kademesinde üç sayım alınmıştır. Artış adımlardaki her eşik gerilimi için radyoaktif kaynağın sayım hızı belirlenmiştir. Alınan sonuçlar Şekil 7.10’da çizilmiştir. Sayım hızı–gerilim grafiğinde eşik gerilimi ile sayım hızının lineer olarak değiştiği bölge bulunur ve hemen hemen bu lineer bölgede bulunan en yüksek eşik gerilimi belirlenir [45].

Sırasıyla verdiğimiz bu işlemler düşük seviyeli alfa sayıcısının ayarlanması işlemidir. Beta sayıcısı ve diğer sayım sistemlerinin ayarlanması işlemleri de benzer yöntemlerle yapılmıştır.



Şekil 7.9: Düşük seviyeli alfa sayıcısının uygulama geriliminin belirlenmesi.



Şekil 7.10: Sayım hızının eşik gerilimi ile değişimi.

7.4.2. Toprak ve Suda Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivitelerinin Hesaplanması

Toprak ve su numunelerinde toplam alfa aktivitesinin hesaplanması,

$$A_{\alpha} = \frac{A \times 1000}{2,22 \times C \times V} \quad (7.3)$$

denklemleri kullanılarak yapılmaktadır. A_{α} toplam alfa radyoaktivitesi (pCi/L), A net alfa sayım oranı, C alfa verim faktörü (cpm/dpm), V numunenin hacmi (mL) ve 2,22 (dpm/pCi)'den dönüşüm faktörüdür.

Toprak ve su numunelerinde toplam beta aktivitesinin hesaplanması ise,

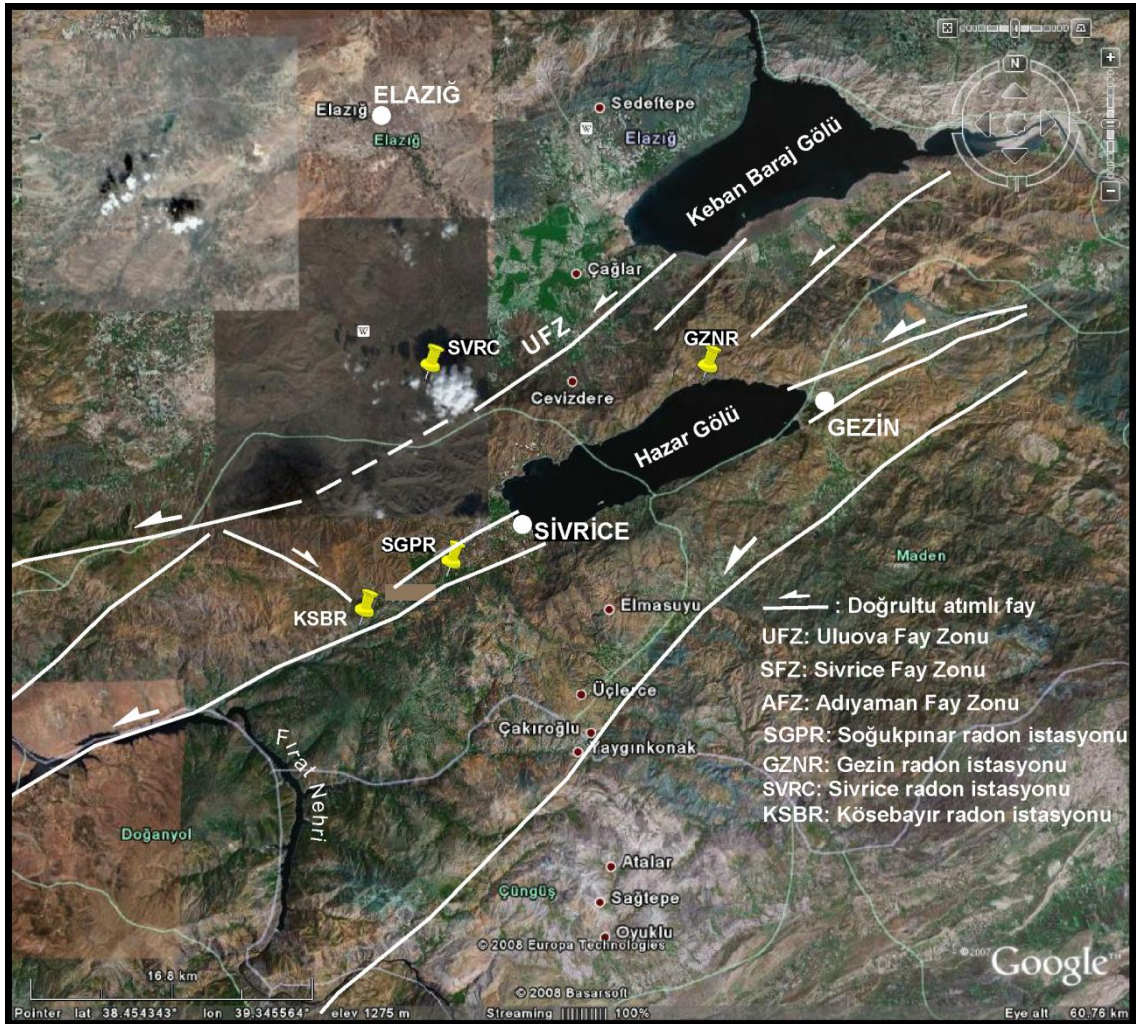
$$A_{\beta} = \frac{B \times 1000}{2,22 \times D \times V} \quad (7.4)$$

denklemleri kullanılarak yapılmaktadır. A_{β} toplam beta radyoaktivitesi (pCi/L), B net beta sayım oranı, D beta verim faktörü (cpm/dpm), V numunenin hacmi (mL) ve 2,22 (dpm/pCi)'den dönüşüm faktörüdür [46].

8. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı, Doğu Anadolu Fay Sisteminin Sivrice Fay Zonu kesiminde toprak radon gazı değişiminin izlenmesi ve bu kesimde doğal radyoaktivitenin belirlenmesidir.

TÜBİTAK tarafından desteklenen ‘Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) Üzerinde Radon Gazı Hareketlerinin İzlenmesi’ projesi ile Sivrice Fay Zonu üzerine kurulmuş olan dört radon gazı izleme istasyonu çevresinden toprak ve su numuneleri alındı ve aylık çevresel gama ölçümleri yapıldı. Radon gazı istasyonlarının Sivrice Fay Zonu üzerindeki konumları Şekil 8.1’de verilmiştir.

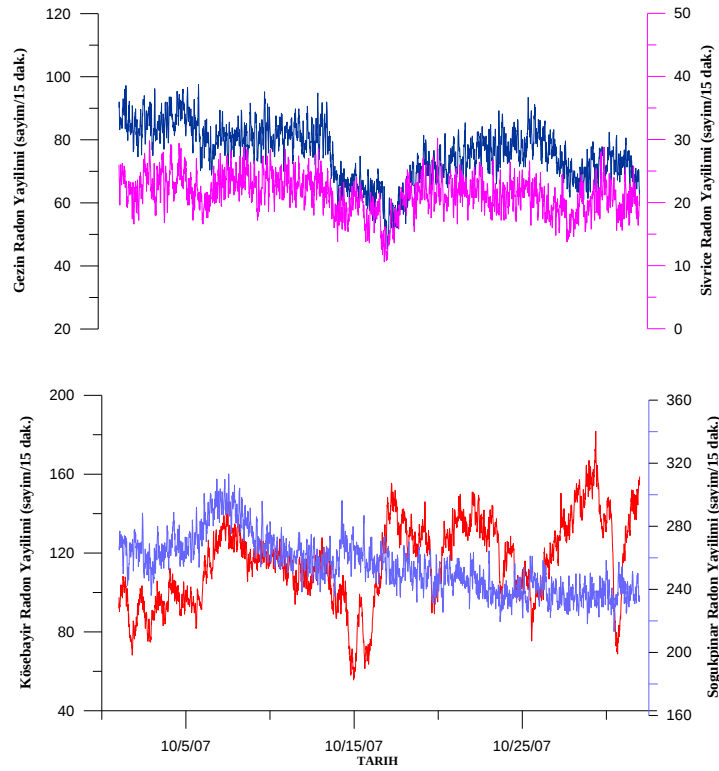


Şekil 8.1. Radon gazı istasyonlarının Sivrice Fay Zonu üzerindeki konumları [31].

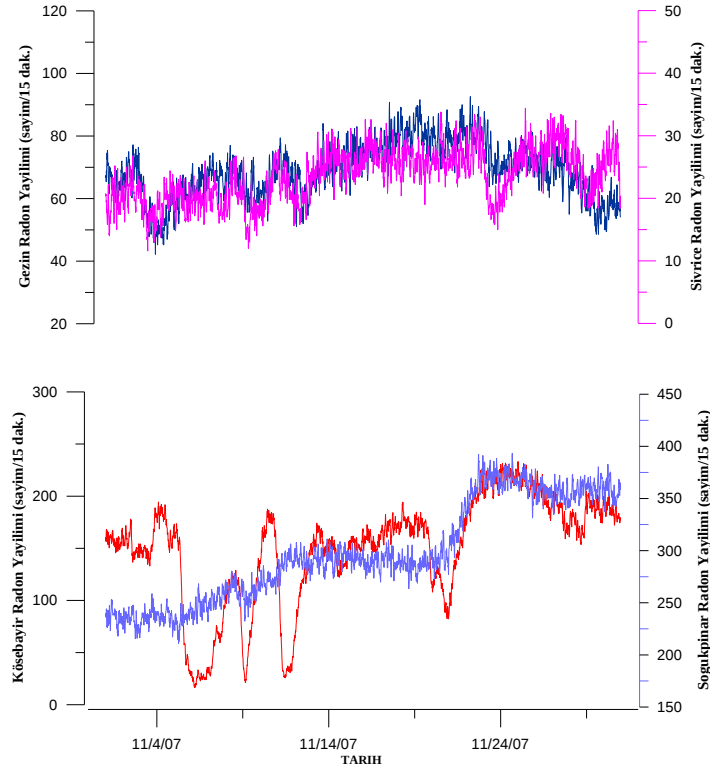
8.1. Toprak Radon Gazı Ölçümleri

Toprak radon gazı ölçümleri sürekli ölçüm yöntemiyle yapılmıştır. Ölçümler, fay zone üzerinde önceden belirlenmiş istasyonlarda sabit olarak toprağa gömülü Nükleer Spektroskopik sistem içeren bir algılama sistemi aracılığı ile yapılmıştır.

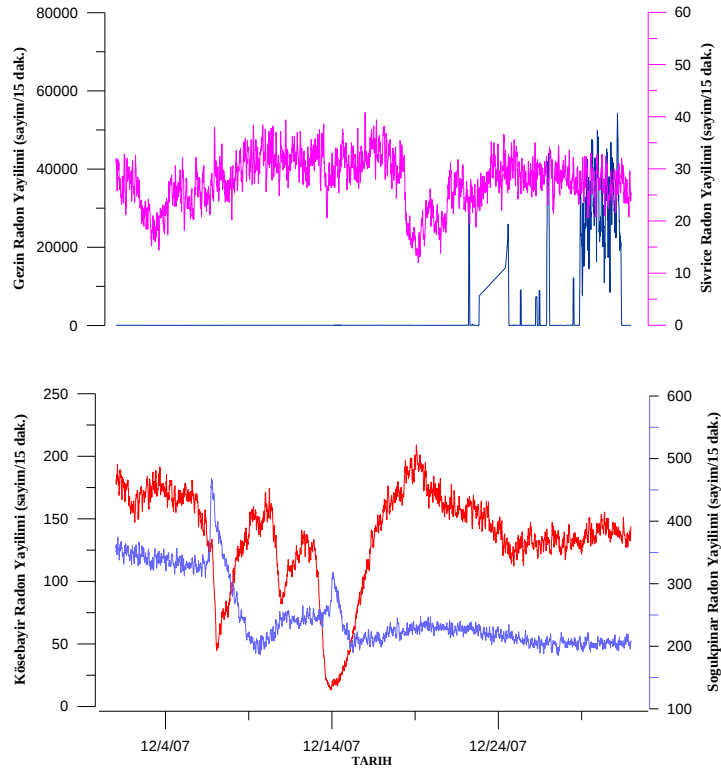
Dört istasyondan bir yıl boyunca alınan radon gazı değişimleri aylık olarak sırayla Şekil 8.2-Şekil 8.13 görülmektedir. Bu grafiklerde, dört istasyondan alınan toprak radon gazı çıkışlarındaki ani düşüş ve artışların meydana geldiği tarihlerin EK1-EK12 de verilen deprem listelerinde depremlerin meydana geldiği tarihlerle genel olarak aynı olduğu görülmektedir.



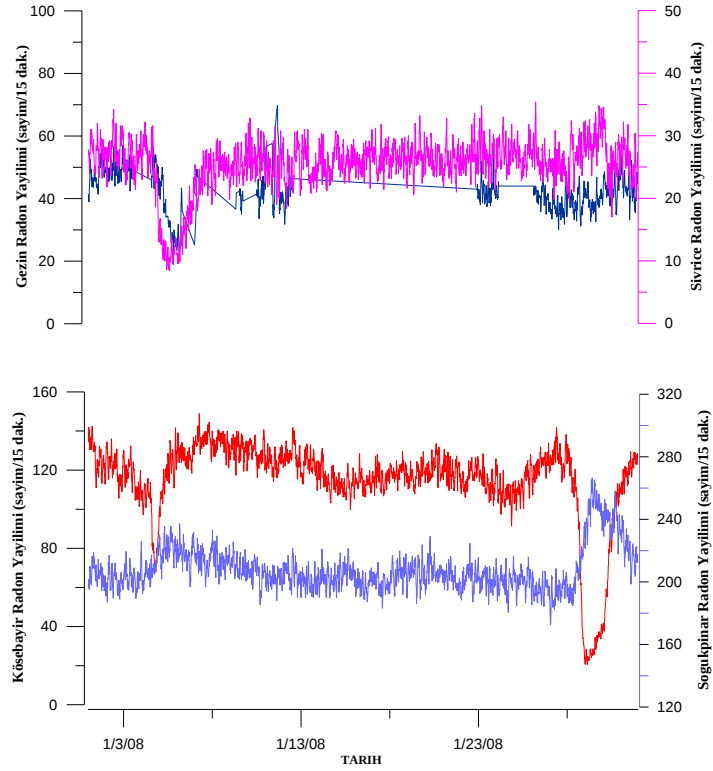
Şekil 8.2: İstasyonlardan elde edilen Ekim 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.



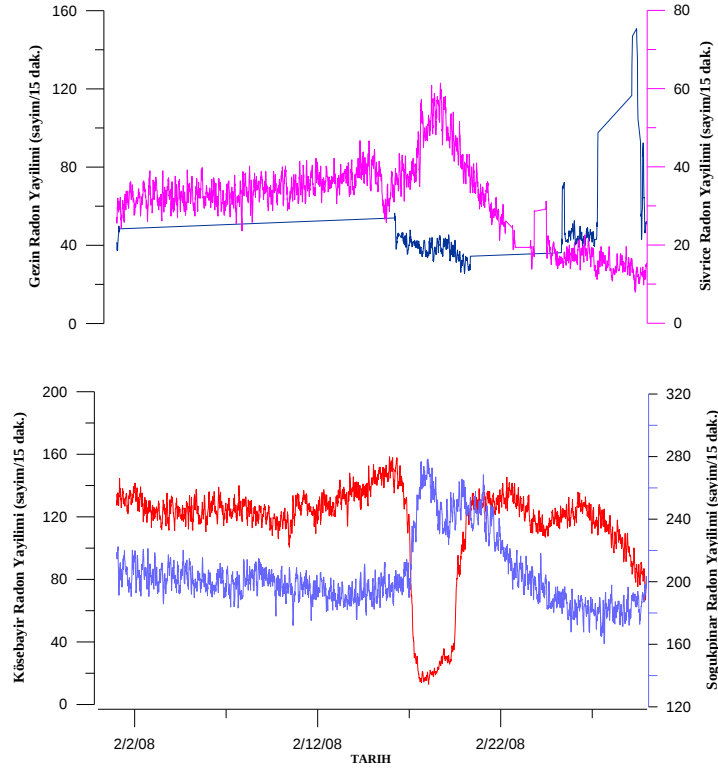
Şekil 8.3: İstasyonlardan elde edilen Kasım 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.



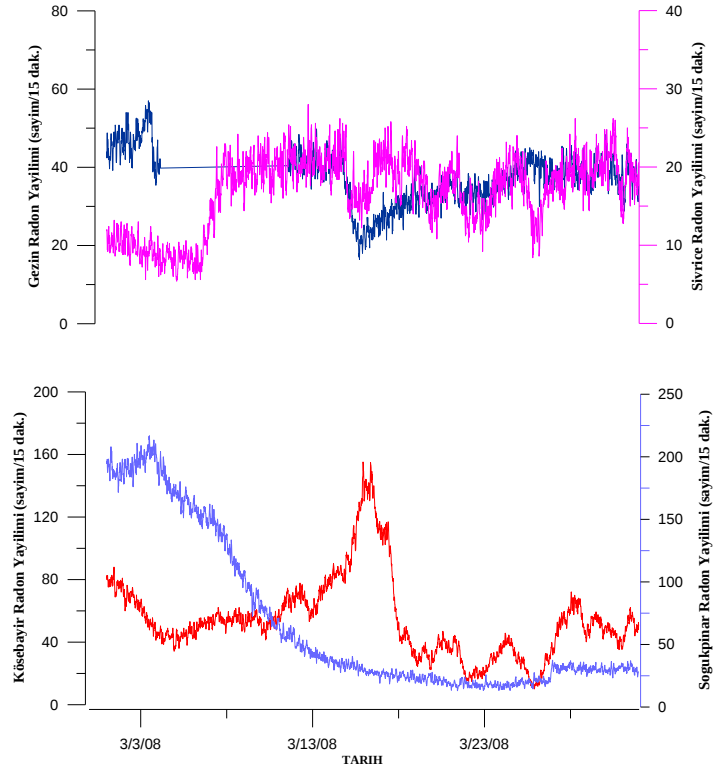
Şekil 8.4: İstasyonlardan elde edilen Aralık 2007 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.



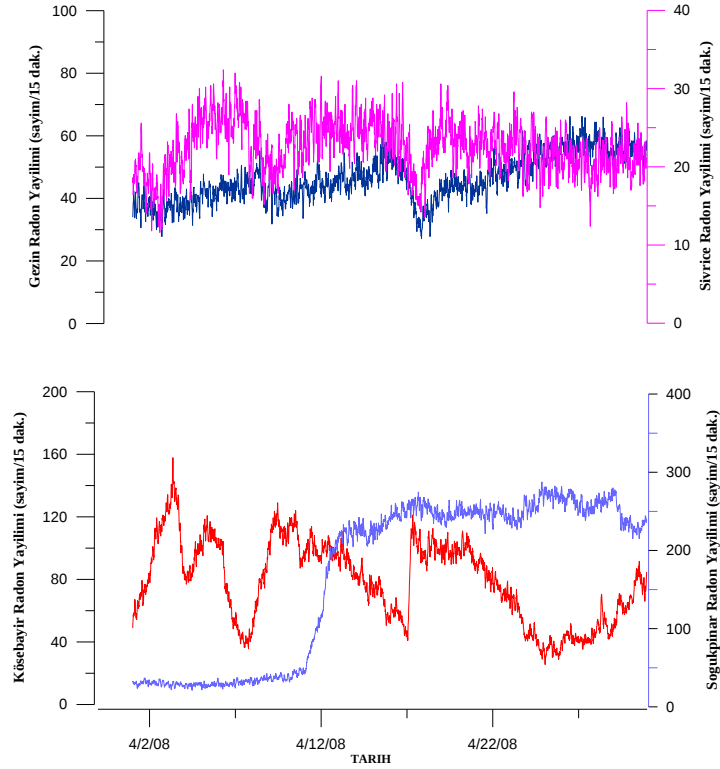
Şekil 8.5: İstasyonlardan elde edilen Ocak 2008 ayna ait verilerin değerlendirilmesi.



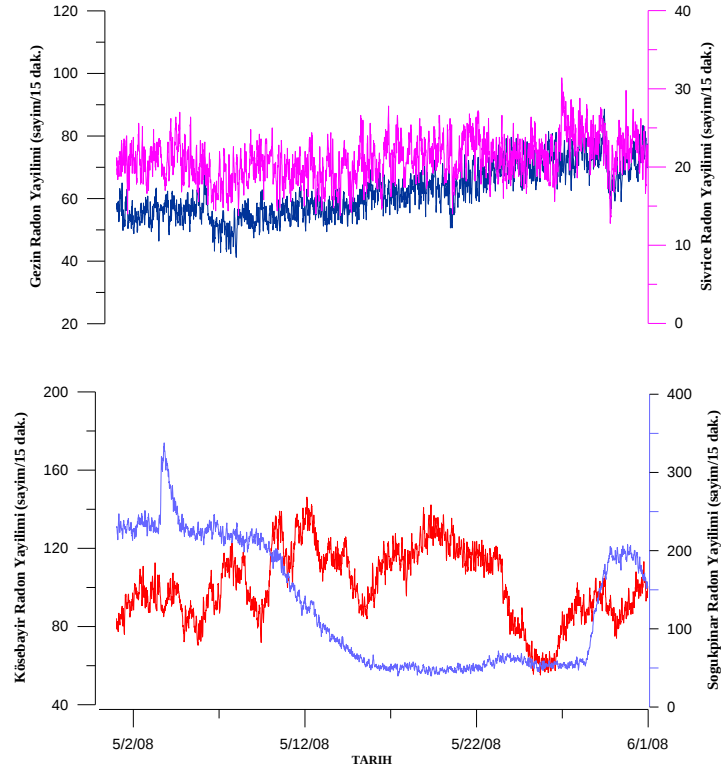
Şekil 8.6: İstasyonlardan elde edilen Şubat 2008 ayna ait verilerin değerlendirilmesi.



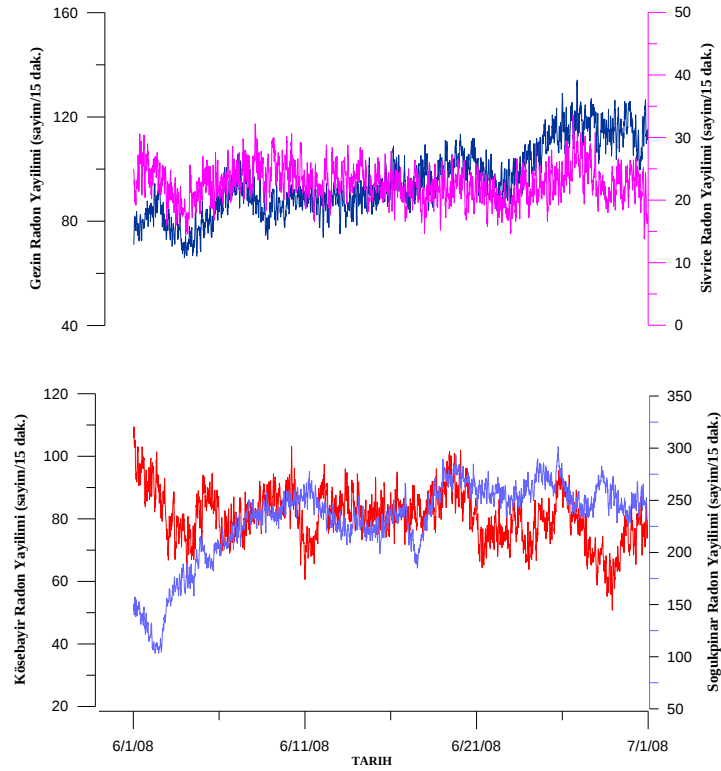
Şekil 8.7: İstasyonlardan elde edilen Mart 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.



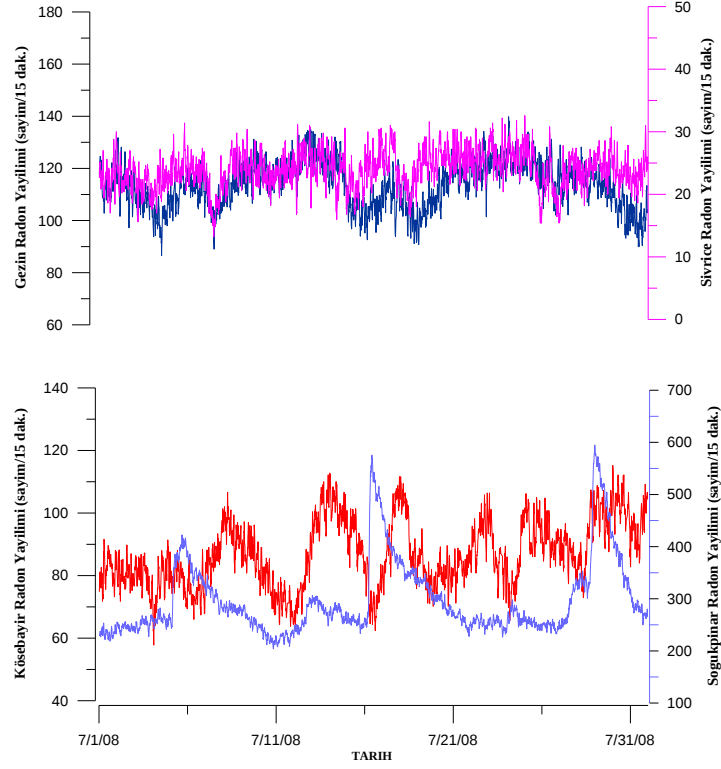
Şekil 8.8: İstasyonlardan elde edilen Nisan 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.



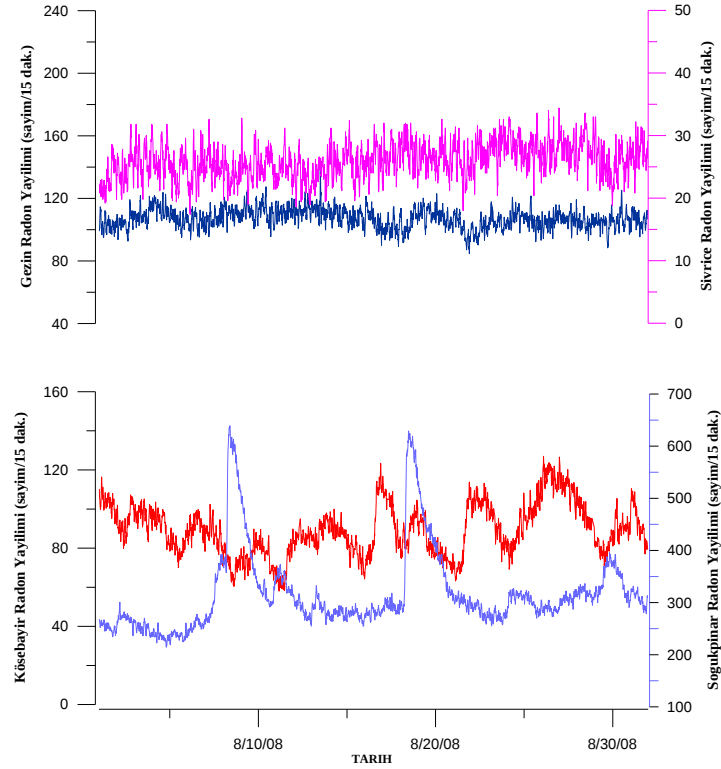
Şekil 8.9: İstasyonlardan elde edilen Mayıs 2008 ayına ait verilerin değ rlendirilmesi.



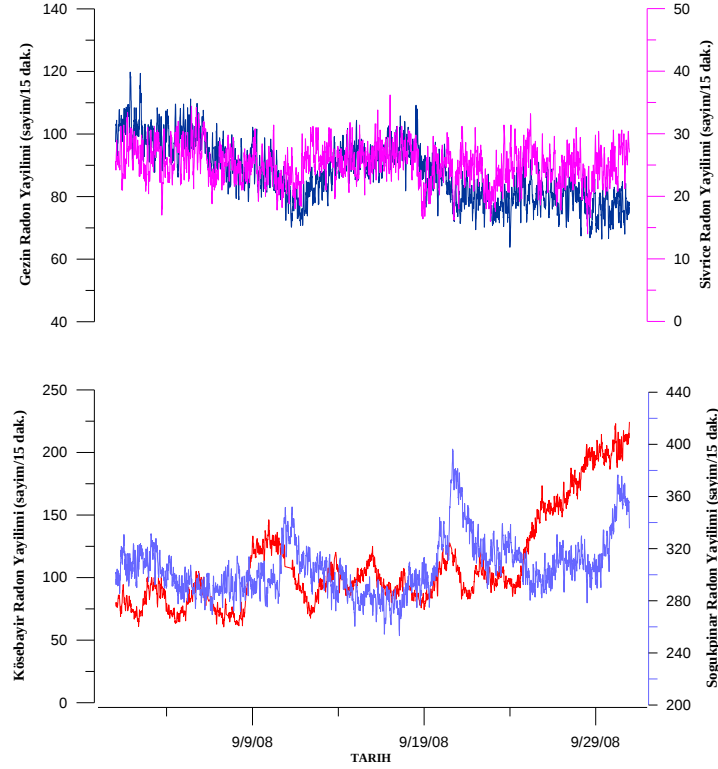
Şekil 8.10: İstasyonlardan elde edilen Haziran 2008 ayına ait verilerin değ rlendirilmesi.



Şekil 8.11: İstasyonlardan elde edilen Temmuz 2008 ayına ait verilerin değ rlendirilmesi.



Şekil 8.12: İstasyonlardan elde edilen Ağ stos 2008 ayına ait verilerin değ rlendirilmesi.



Şekil 8.13: İstasyonlardan elde edilen Eylül 2008 ayına ait verilerin değerlendirilmesi.

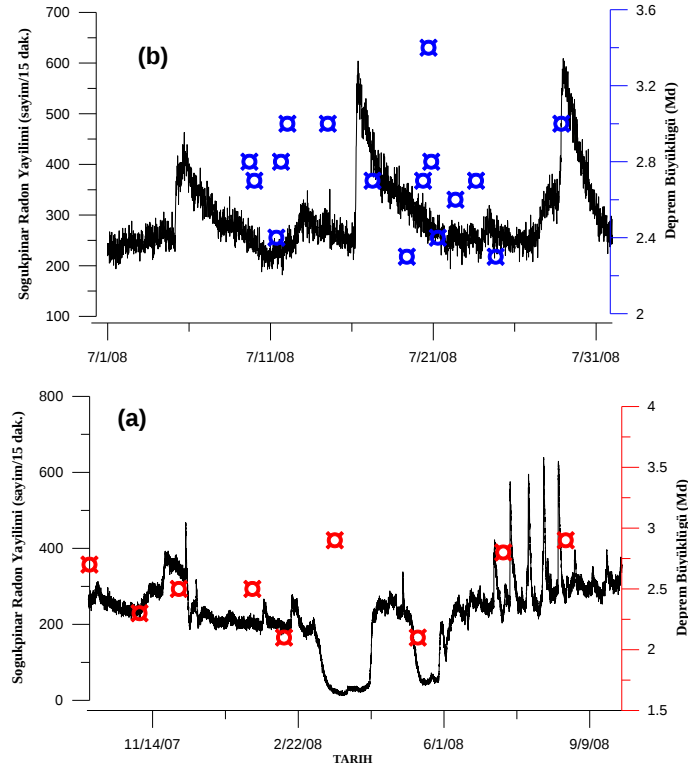
Aktif fay zonları boyunca, yer kabuğundaki deformasyonlar ve buna bağlı olarak yer kabuğunu oluşturan kayalardaki ikincil kırık ve çatlaklar artmakta; bu artış radon çıkışını hızlandırmaktadır. Depremlerin kısa aralıklarla meydana geldiği dönemlerdeki toprak radon gazı çıkışındaki artış, daha uzun aralıklı depremlere göre daha azdır. Bu durum deprem öncesinde bölgedeki kayalarda meydana gelen kırılma ve çatlamların fayın hareketiyle denetlendiğinin işaretidir [47].

İstasyonlardan elde edilen toprak radon çıkışı değişimlerinin görüldüğü grafikler ile deprem listeleri (EK-1 – EK-12) incelendiğinde, depremlerin tamamına yakın bölümünün radon çıkışındaki yükselmeyi izleyen azalma sürecinde meydana geldiği görülür. Bu durum, deprem öncesinde fay zonu boyunca enerji birikimine neden olan deformasyonlara bağlı olarak kayaların geçirirliliğini arttıran ikincil çatlaklarda artış olmasıyla açıklanabilir. Gerilme birikimi en büyük değere ulaştıktan sonra radon çıkışındaki artış durmakta ve bunu izleyen azalma döneminde deprem oluşumu görülmektedir.

Dört istasyondaki Ekim 2007 - Eylül 2008 tarihlerini kapsayan bir yıllık radon gazı çıkışındaki değişimlerin gösterildiği grafikler incelendiğinde; her bir istasyondaki değişimlerin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Değişimlerde farklılığın olması, bunların Sivrice Fay Zonu'nun sismik aktiviteleri birbirinden farklı olan fayları üzerinde kurulmuş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Soğukpınar istasyonu Sivrice Fay Zonu'nun sismik aktivitesi daha yüksek olan güney kolu (Hazar Gölü'ne göre) üzerinde bulunmaktadır [31].

Sivrice Fay Zonu üzerine kurulmuş olan sürekli radon gazı ölçümlerinin yapıldığı istasyonlar arasında; Soğukpınar istasyonu, sürekli toprak radon gazı çıkışları ile depremin ön kestirimi arasındaki ilişkinin olup olmadığının görülmesi açısından örnek istasyon olarak alındı ve çizilen grafik Şekil 8.14'de verilmiştir. Şekil 8.14'de yıllık değişim ve sürekli radon gazı çıkışları ile deprem şiddetlerinin birbiri ile paralelliğinin net olarak görüldüğü Temmuz 2008 ayına ait değişim görülmektedir.

Şekil 8.14 incelendiğinde; toprak radon gazı çıkışlarındaki değişimlerin (artış/azalış) meydana geldiği zamanlarda genel olarak depremlerin de meydana geldiği görülmektedir. Sonuç olarak sürekli radon gazı değişiminin deprem ön kestiriminde önemli bir parametre olarak kullanılabileceği görüldü.



Şekil 8.14: Soğukpınardan kaydedilen radon yayılımları ile meydana gelen depremlerin ilişkisi (a: Yıllık, b: Temmuz 2008 ayına ait değerler).

8.2. Toprak ve Su Numunelerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonları ve Radon Yayılımı

Ekim-2007 ile Eylül-2008 tarihleri arasında yapılan bu çalışmada, Sivrice Fay zone üzerinde önceden belirlenmiş olan noktalardan alınan toprak ve su örneklerinin mevsimsel olarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiş ve bu noktalardaki toprak radon gazı yayılımına bakılmıştır. Sonbahar mevsiminde alınan örneklerin toplam alfa ve toplam beta için bulunan sonuçları toprak ve su örnekleri için ayrı ayrı Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 incelendiğinde; sonbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,206 \pm 0,081$ Bq/g (I-3) ile $0,837 \pm 0,092$ Bq/g (II-1), toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise temel seviye (IV-2) ile $0,423 \pm 0,025$ Bq/g (II-1) arasında değiştiği görülür. Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,119 \pm 0,019$ Bq/L (II-2) ile $0,618 \pm 0,074$ Bq/L (IV-3), toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise temel seviye (II-1) ile $0,226 \pm 0,012$ Bq/L (II-2) arasında değiştiği görülür.

Çizelge 8.1: Sonbaharda (2007 yılı) alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı.

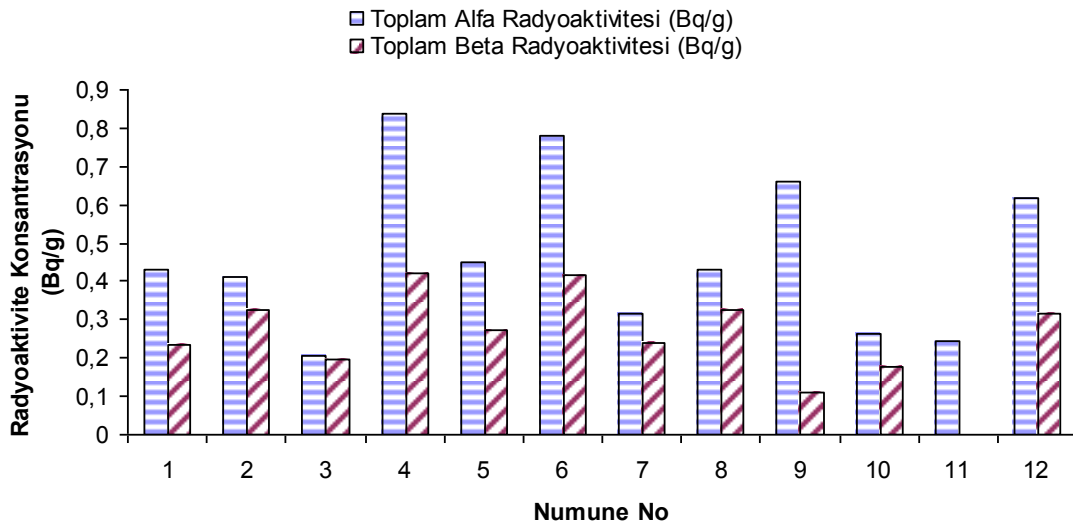
Örnek	Topraktaki ölçümler			Sudaki ölçümler		
	Toplam alfa konst. (Bq/g)	Toplam beta konst. (Bq/g)	Radon yayılımı (Bq/m ³)	Toplam alfa konst. (Bq/L)	Toplam beta konst. (Bq/L)	Radon yayılımı (Bq/m ³)
I-1	$0,430 \pm 0,073$	$0,236 \pm 0,020$	6255 ± 1315	$0,120 \pm 0,017$	$0,018 \pm 0,014$	4361 ± 1042
I-2	$0,412 \pm 0,072$	$0,325 \pm 0,026$	6564 ± 1353	$0,374 \pm 0,023$	$0,134 \pm 0,010$	4624 ± 1251
I-3	$0,206 \pm 0,081$	$0,194 \pm 0,025$	6155 ± 1796	$0,135 \pm 0,022$	$0,187 \pm 0,011$	3798 ± 1317
II-1	$0,837 \pm 0,092$	$0,423 \pm 0,025$	5193 ± 1468	$0,430 \pm 0,022$	ALA	3962 ± 1122
II-2	$0,450 \pm 0,082$	$0,271 \pm 0,023$	6206 ± 1479	$0,119 \pm 0,019$	$0,226 \pm 0,012$	3771 ± 1554
II-3	$0,781 \pm 0,074$	$0,416 \pm 0,025$	5324 ± 911	$0,245 \pm 0,018$	$0,179 \pm 0,011$	3357 ± 1382
III-1	$0,316 \pm 0,080$	$0,240 \pm 0,024$	6073 ± 1317	$0,197 \pm 0,018$	$0,123 \pm 0,012$	3477 ± 708
III-2	$0,431 \pm 0,082$	$0,325 \pm 0,024$	6721 ± 1431	$0,455 \pm 0,062$	$0,123 \pm 0,004$	2750 ± 736
III-3	$0,660 \pm 0,083$	$0,111 \pm 0,025$	9057 ± 1831	$0,243 \pm 0,023$	$0,212 \pm 0,010$	3361 ± 1268
IV-1	$0,262 \pm 0,071$	$0,176 \pm 0,024$	4985 ± 1284	$0,526 \pm 0,046$	$0,118 \pm 0,005$	3489 ± 1228
IV-2	$0,244 \pm 0,075$	ALA	8408 ± 1630	$0,244 \pm 0,075$	$0,061 \pm 0,007$	4071 ± 1177
IV-3	$0,618 \pm 0,074$	$0,316 \pm 0,024$	8790 ± 1904	$0,618 \pm 0,074$	$0,093 \pm 0,008$	3996 ± 1032

ALA: Algılama Limitinin Altında

Toprak örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 4985 ± 1284 Bq/m³ değerinde IV-1 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 9057 ± 1831 Bq/m³ değerinde III-3 örneği sahiptir. Su örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 2750 ± 736 Bq/m³ değerinde III-2 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 4624 ± 1251 Bq/m³ değerinde I-2 örneği sahiptir.

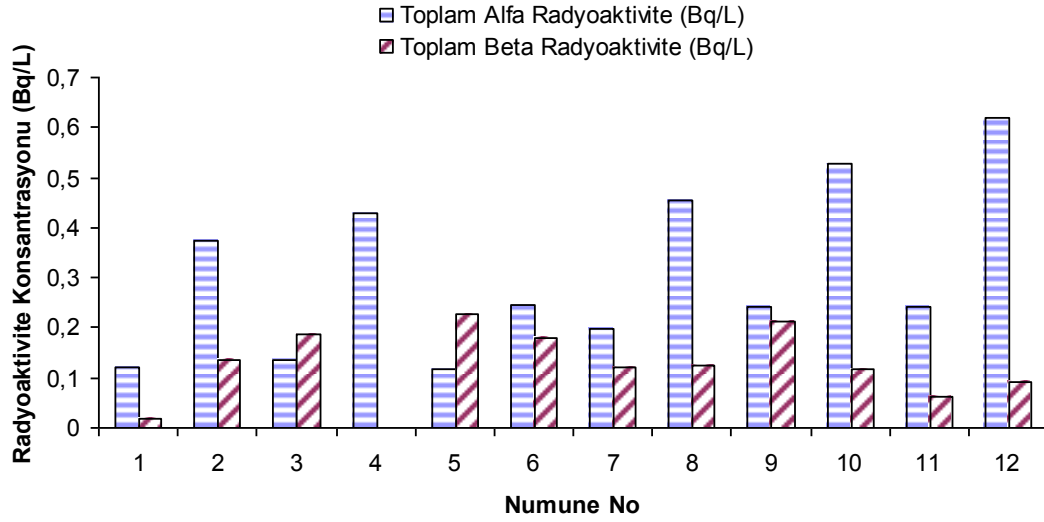
Şekil 8.15 ve Şekil 8.16'de 2007 yılı sonbahar mevsiminde alınan toprak ve su örneklerine ait toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları değişimleri görülmektedir.

Şekil 8.15 incelendiğinde; sonbaharda alınan toprak örneklerinin tümünün toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülür. Şekil 8.16 incelendiğinde ise su örneklerinin de yaklaşık olarak %83'nün toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 8.15: Sonbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.2’de 2008 yılı kış mevsimine ait toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımları verilmiştir.



Şekil 8.16: Sonbaharda alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.2: Kış mevsiminde alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı.

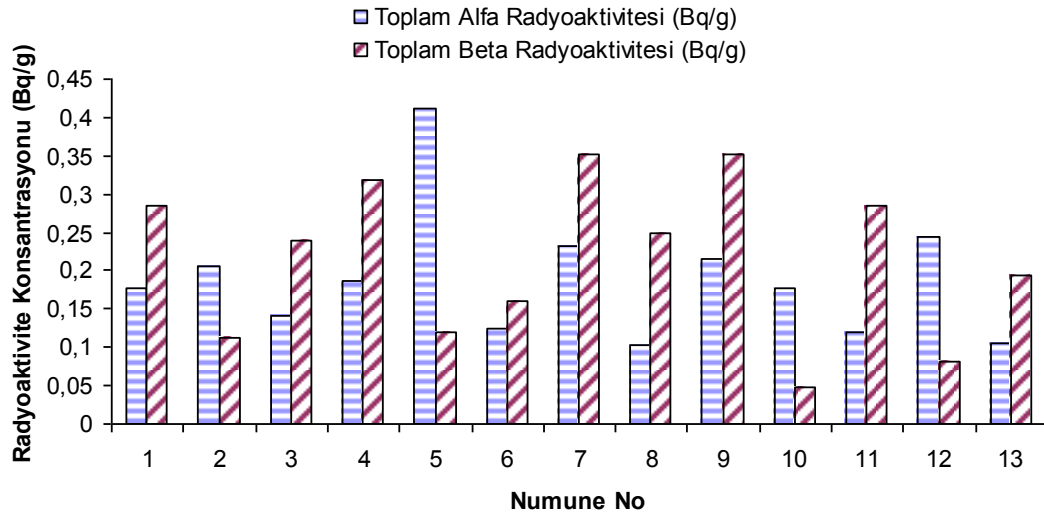
Örnek	Topraktaki ölçümler			Sudaki ölçümler		
	Toplam alfa konst. (Bq/g)	Toplam beta konst. (Bq/g)	Radon yayılımı (Bq/m ³)	Toplam alfa konst. (Bq/L)	Toplam beta konst. (Bq/L)	Radon yayılımı (Bq/m ³)
I-1	0,178 ± 0,047	0,284 ± 0,015	5446±1302	0,108±0,012	0,433±0,006	6236±2358
I-2	0,206 ± 0,041	0,112 ± 0,015	4045±2865	0,124±0,014	0,019±0,005	6163±1257
I-3	0,141 ± 0,041	0,240 ± 0,016	3696±2658	-	-	-
II-1	0,187 ± 0,046	0,319 ± 0,015	2920±1472	0,070±0,012	0,079±0,005	7991±2920
II-2	0,412 ± 0,050	0,119 ± 0,014	2821±1668	0,040±0,011	0,067±0,007	4670±1644
II-3	0,125 ± 0,042	0,160 ± 0,015	5087±2303	0,065±0,009	0,068±0,007	6259±2430
III-1	0,231 ± 0,044	0,352 ± 0,015	3921±1268	0,098±0,011	0,132±0,006	6592±1392
III-2	0,103 ± 0,043	0,248 ± 0,014	4199±1312	-	-	-
III-3	0,215 ± 0,050	0,353 ± 0,015	4118±1645	-	-	-
IV-1	0,178 ± 0,041	0,049 ± 0,017	7090±3234	-	-	-
IV-2	0,119 ± 0,040	0,284 ± 0,019	7165±2242	-	-	-
IV-3	0,244 ± 0,046	0,080 ± 0,015	4785±2843	-	-	-
Trf	0,106 ± 0,046	0,195 ± 0,014	6013±2453	0,048±0,011	0,104±0,008	5082±2449

Çizelge 8.2 incelendiğinde; kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,103 \pm 0,043$ Bq/g (III-2) ile $0,412 \pm 0,050$ Bq/g (II-2), toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise $0,049 \pm 0,017$ Bq/g (IV-1) ile $0,353 \pm 0,015$ Bq/g (III-3) arasında değiştiği görülür. Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,040 \pm 0,011$ Bq/L (II-2) ile $0,124 \pm 0,014$ Bq/L (I-2), toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise $0,019 \pm 0,005$ Bq/L (I-2) ile $0,433 \pm 0,006$ Bq/L (I-1) arasında değiştiği görülür.

Toprak örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 2821 ± 1668 Bq/m³ değerinde II-2 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 7165 ± 2242 Bq/m³ değerinde IV-2 örneği sahiptir. Su örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 4670 ± 1644 Bq/m³ değerinde II-2 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 7991 ± 2920 Bq/m³ değerinde II-1 örneği sahiptir.

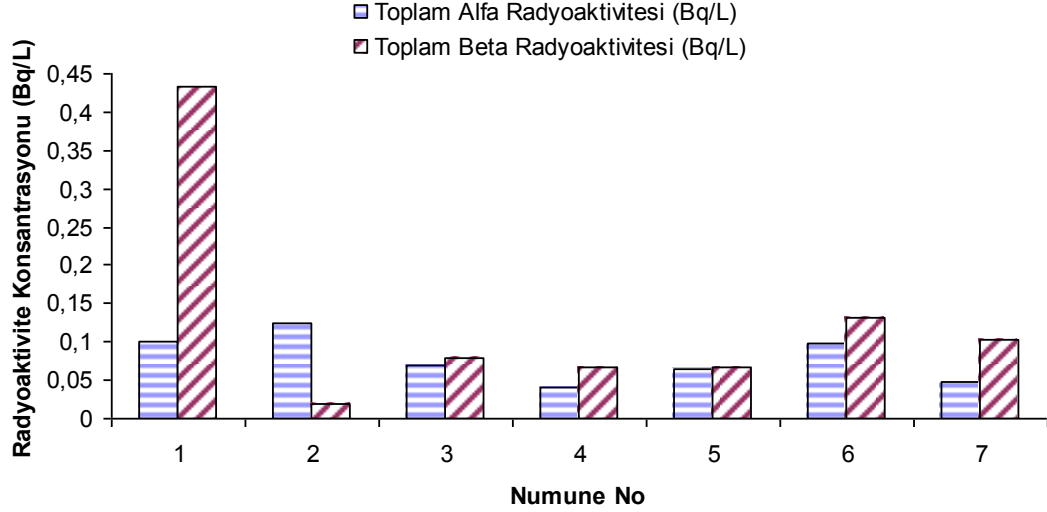
Şekil 8.17 ve Şekil 8.18’de 2008 yılı kış mevsiminde alınan toprak ve su örneklerine ait toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları değişimleri görülmektedir.

Şekil 8.17 incelendiğinde; kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin yaklaşık olarak %30’unun toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülür. Şekil 8.18 incelendiğinde de; su örneklerinin de yaklaşık %14’ü toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 8.17: Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.3’de bir 2008 yılı ilkbahar mevsimine ait toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımları verilmiştir.



Şekil 8.18: Kış mevsiminde alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.3: İlkbaharda alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı.

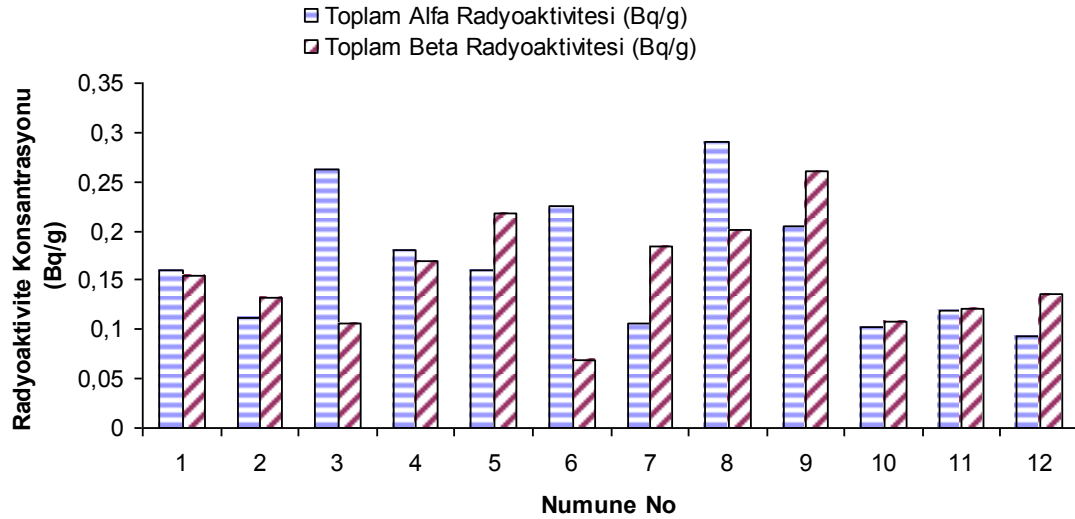
Örnek	Topraktaki ölçümler			Sudaki ölçümler		
	Toplam alfa konst. (Bq/g)	Toplam beta konst. (Bq/g)	Radon yayılımı (Bq/m ³)	Toplam alfa konst. (Bq/L)	Toplam beta konst. (Bq/L)	Radon yayılımı (Bq/m ³)
I-1	0,159 ± 0,041	0,154 ± 0,014	2940±1750	0,087±0,008	0,072±0,008	5021±1143
I-2	0,112 ± 0,040	0,133 ± 0,013	3715±752	0,050±0,010	0,039±0,006	6200±1008
I-3	0,262 ± 0,042	0,106 ± 0,013	2897±365	-	-	-
II-1	0,181 ± 0,041	0,169 ± 0,014	3768±670	0,067±0,008	0,022±0,007	7163±1941
II-2	0,159 ± 0,038	0,217 ± 0,014	3577±732	0,040±0,010	0,021±0,006	7021±2521
II-3	0,225 ± 0,042	0,069 ± 0,016	4712±1137	0,044±0,008	0,082±0,008	4464±1524
III-1	0,106 ± 0,041	0,185 ± 0,017	4794±1409	0,032±0,009	0,051±0,007	4721±1251
III-2	0,290 ± 0,045	0,201 ± 0,017	3809±1080	-	-	-
III-3	0,205 ± 0,044	0,261 ± 0,018	3949±1356	-	-	-
IV-1	0,102 ± 0,040	0,107 ± 0,013	4891±1349	0,046±0,023	0,075±0,003	5631±1907
IV-2	0,119 ± 0,040	0,121 ± 0,012	5049±1164	-	-	-
IV-3	0,094 ± 0,038	0,137 ± 0,014	5013±999	-	-	-

Çizelge 8.3 incelendiğinde; ilkbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,094 \pm 0,038$ Bq/g (IV-3) ile $0,290 \pm 0,045$ Bq/g (III-2), toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise $0,069 \pm 0,016$ Bq/g (II-3) ile $0,261 \pm 0,018$ Bq/g (III-3) arasında değiştiği görülür. Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,032 \pm 0,009$ Bq/L (III-1) ile $0,087 \pm 0,008$ Bq/L (I-1), toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise $0,021 \pm 0,006$ Bq/L (II-2) ile $0,082 \pm 0,008$ Bq/L (II-3) arasında değiştiği görülür.

Toprak örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 2897 ± 365 Bq/m³ değerinde I-3 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 5049 ± 1164 Bq/m³ değerinde IV-2 örneği sahiptir. Su örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 4464 ± 1524 Bq/m³ değerinde II-3 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 7163 ± 1941 Bq/m³ değerinde II-1 örneği sahiptir.

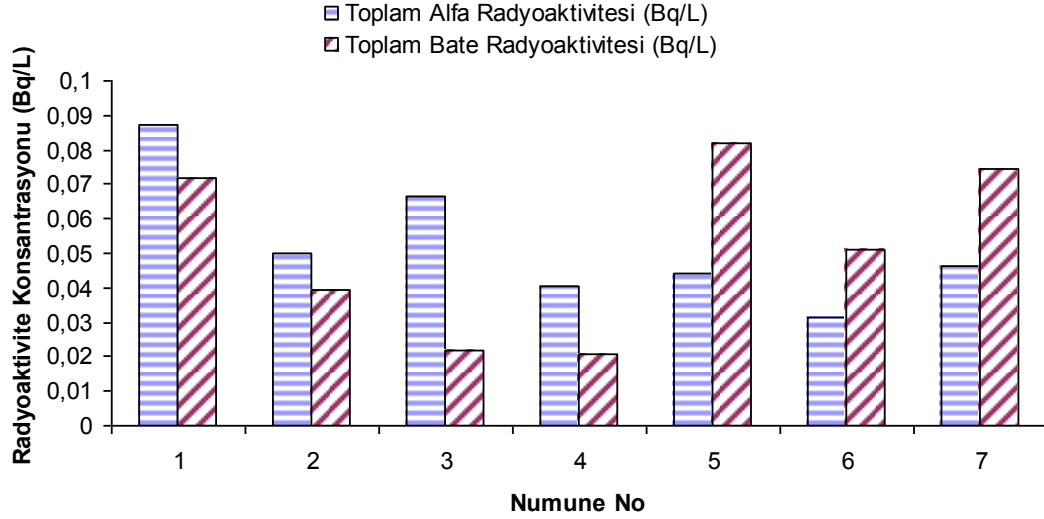
Şekil 8.19 ve Şekil 8.20’de 2008 yılı ilkbahar mevsiminde alınan toprak ve su örneklerine ait toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları değişimleri görülmektedir.

Şekil 8.19 incelendiğinde; ilkbahar mevsiminde alınan toprak örneklerinin yaklaşık %41’i toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülür. Şekil 8.20 incelendiğinde de; su örneklerinin de yaklaşık olarak %57’si toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 8.19: İlkbaharda alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.4’de bir 2008 yılı yaz mevsimine ait toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımları verilmiştir.



Şekil 8.20: İlkbaharda alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

Çizelge 8.4: Yaz mevsiminde alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa, beta radyoaktivite konsantrasyonları ve radon yayılımı.

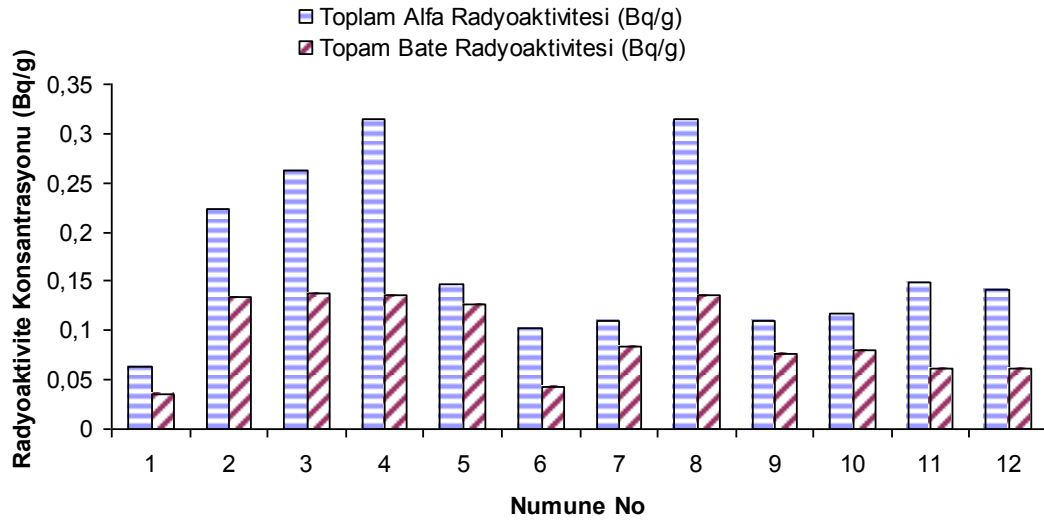
Örnek	Topraktaki ölçümler			Sudaki ölçümler		
	Toplam alfa konst. (Bq/g)	Toplam beta konst. (Bq/g)	Radon yayılımı (Bq/m ³)	Toplam alfa konst. (Bq/L)	Toplam beta konst. (Bq/L)	Radon yayılımı (Bq/m ³)
I-1	0,064 ± 0,034	0,035 ± 0,012	10161±3160	0,067±0,011	0,045±0,006	14406±5268
I-2	0,223 ± 0,039	0,135 ± 0,014	11249±2421	0,045±0,009	0,047±0,007	7994±1426
I-3	0,263 ± 0,037	0,137 ± 0,013	6633±1720	0,064±0,010	0,051±0,006	12249±2132
II-1	0,314 ± 0,035	0,135 ± 0,011	7006±1057	0,014±0,009	0,018±0,007	14966±2726
II-2	0,147 ± 0,039	0,127 ± 0,013	8449±2300	0,079±0,010	0,032±0,006	12809±3568
II-3	0,102 ± 0,036	0,043 ± 0,011	12601±2770	0,075±0,009	0,044±0,007	8867±2603
III-1	0,109 ± 0,037	0,083 ± 0,012	10275±2324	0,163±0,027	0,038±0,002	8541±1382
III-2	0,315 ± 0,038	0,137 ± 0,011	10523±2347	0,047±0,009	0,050±0,006	7496±2731
III-3	0,110 ± 0,039	0,076 ± 0,012	10440±2281	0,311±0,033	0,021±0,002	9536±2411
IV-1	0,117 ± 0,039	0,081 ± 0,011	12378±3404	0,124±0,023	0,019±0,003	14783±3234
IV-2	0,149 ± 0,035	0,062 ± 0,014	13133±1746	-	-	-
IV-3	0,141 ± 0,036	0,062 ± 0,009	8004±2472	-	-	-

Çizelge 8.4 incelendiğinde; yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,064 \pm 0,034$ Bq/g (I-1) ile $0,315 \pm 0,038$ Bq/g (III-2), toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise $0,035 \pm 0,012$ Bq/g (I-1) ile $0,137 \pm 0,013$ Bq/g (I-3) arasında değiştiği görülür. Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,014 \pm 0,009$ Bq/L (II-1) ile $0,311 \pm 0,033$ Bq/L (III-3), toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise $0,018 \pm 0,007$ Bq/L (II-1) ile $0,051 \pm 0,006$ Bq/L (I-3) arasında değiştiği görülür.

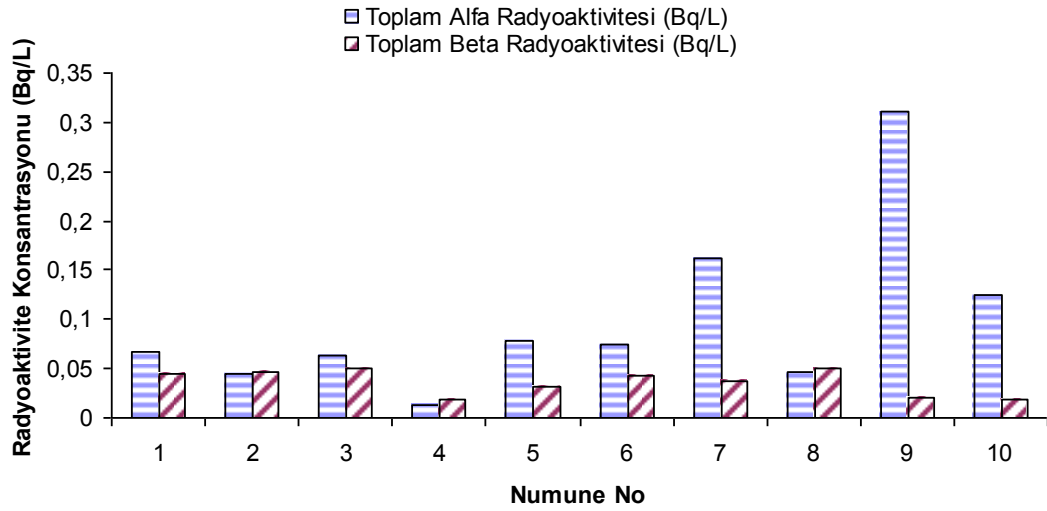
Toprak örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 6633 ± 1720 Bq/m³ değerinde I-3 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 13133 ± 1746 Bq/m³ değerinde IV-2 örneği sahiptir. Su örnekleri arasında en düşük radon yayılımına 7496 ± 2731 Bq/m³ değerinde III-2 örneği ve en yüksek radon yayılımına da 14966 ± 2726 Bq/m³ değerinde II-1 örneği sahiptir.

Şekil 8.21 ve Şekil 8.22’de 2008 yılı yaz mevsiminde alınan toprak ve su örneklerine ait toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları değişimleri görülmektedir.

Şekil 8.21 incelendiğinde; yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin hepsinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülür. Şekil 8.22 incelendiğinde de; su örneklerinin de %70’nin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 8.21: Yaz mevsiminde alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.



Şekil 8.22: Yaz mevsiminde alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları.

İstasyonlardan alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları mevsimsel olarak karşılaştırıldığında; genel olarak toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonlarının toplam beta konsantrasyonlarından fazla olduğu görülmektedir.

Çalışma alanı jeolojik yapısı açısından (Hazar Karmaşığı ve Maden Karmaşığı) volkano-tortul kayalar, kireçtaşları, andezit, bazalt, volkanik breş ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır. Bu kayaç türleri genellikle alfa parçacıklarını absorbe etme özelliğine sahiptir [37, 39]. Ayrıca, kırık zonlar üzerindeki yer altı sularında çözünmüş uranyum iyonları veya ürün çekirdekler vardır ve bunlar, yer yüzüne yakın yerlerde çökelirler, böylece bunların bozunmasından oluşan radyumdan da radon yayılır [20]. İstasyonların fay hattı üzerinde bulunması, bölgenin jeolojik oluşumunun radon birikimine müsait olması ve alınan su örneklerinin kaynak suyu olması nedeniyle toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonunun yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

8.3. Çevresel Gama Ölçümleri

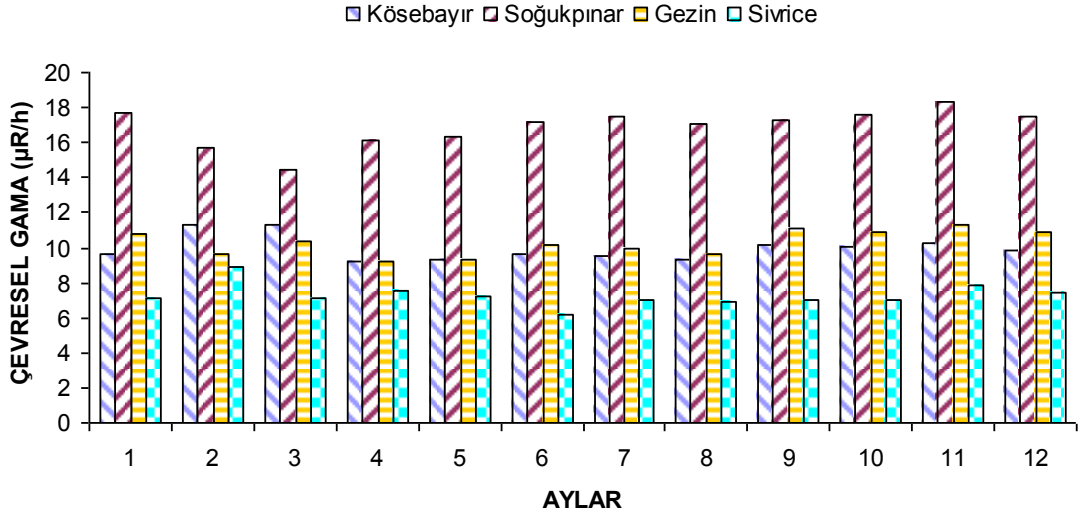
Çevresel gama ölçümleri; toprak seviyesi ve zeminin 1m üzerinden, bir yıl süresince aylık periyotlarla yapılmıştır. Sivrice Fay Zonu üzerinde çevresel gama ölçümlerinin yapıldığı 10 noktanın konumu Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5: Çevresel gama ölçümü yapılan noktaların konumu.

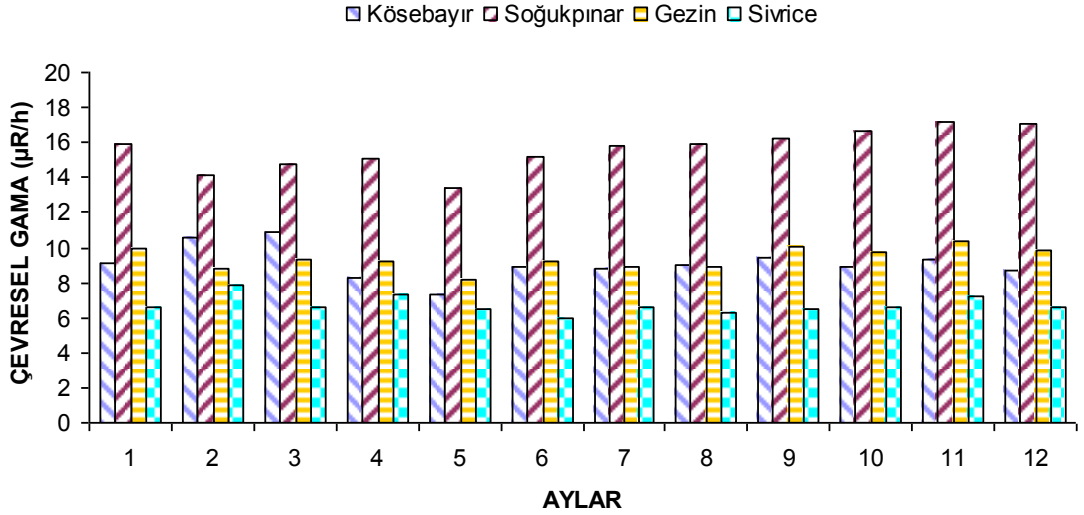
	Enlem (kuzey)	Boylam (doğu)
I	38.23652	39.11782
II	38.25214	39.15454
III	38.31601	39.26346
IV	38.31742	39.14616
V	38.41321	39.20873
VI	38.41110	39.21552
VII	38.43328	39.24941
VIII	38.47002	39.27153
IX	38.45107	39.30000
X	38.52226	39.41743

Çizelge 8.6: İstasyonlarda zemin ve 1m seviyelerde yapılan çevresel gama ölçüm değerleri.

Aylar	Ölçüm	(µR/h)									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Yüksekliği										
Ekim2007	Zemin	9,6	17,7	10,8	7,1	3,6	10,5	8,8	7,5	4,9	6,7
	1m	9,2	16	9,9	6,6	2,9	9,6	7,8	7	4,6	6,1
Kasım2007	Zemin	11,4	15,8	9,7	8,9	4	11,8	9,8	8,4	5,5	7,5
	1m	10,6	14,1	8,8	7,8	3,2	10,9	8,8	7,9	5,2	6,9
Aralık2007	Zemin	11,3	14,4	10,4	7,1	4,4	12,9	10,8	7,7	4,7	7,6
	1m	10,9	14,8	9,4	6,6	3,9	12,9	10,5	7,2	5,4	6,9
Ocak2008	Zemin	9,2	16,1	9,3	7,6	5,5	10,3	10,4	7,4	5,2	8,2
	1m	8,2	15	9,2	7,4	5,1	9,8	7,1	8	6,4	7,4
Şubat2008	Zemin	9,3	16,3	9,4	7,2	4	7,5	8,9	7	4,8	6,1
	1m	7,3	13,4	8,2	6,5	3,8	11,5	8,4	6,6	5,4	5,8
Mart2008	Zemin	9,7	17,2	10,1	6,3	4,5	11,4	10,5	7,3	5,6	6,7
	1m	8,9	15,2	9,2	6	4,1	10,5	10	6,6	5,6	6,9
Nisan2008	Zemin	9,6	17,5	9,9	7	4,8	12	11	7,4	5,2	6,9
	1m	8,8	15,8	8,9	6,6	4,1	10,9	10,3	6,8	5,1	6,6
Mayıs2008	Zemin	9,4	17,1	9,7	6,9	4,7	11,7	11,1	7,5	5,9	7,7
	1m	9	15,9	8,9	6,3	4,3	10,6	10	6,7	5,4	6,7
Haziran2008	Zemin	10,1	17,3	11,1	7,1	5,3	12,2	11,2	7,4	6	7
	1m	9,4	16,2	10,1	6,5	4,4	11,3	10,2	6,8	5,5	6,5
Temmuz2008	Zemin	10	17,6	10,9	7	5,6	12,3	11	7,6	5,2	7
	1m	8,9	16,7	9,7	6,6	5,2	11,4	10,6	6,9	5	6,4
Ağustos2008	Zemin	10,3	18,3	11,3	7,9	5,7	12,4	11,4	8	5,9	8,2
	1m	9,3	17,1	10,3	7,2	5,2	11,9	10,6	7,4	5,6	7,5
Eylül2008	Zemin	9,8	17,5	10,9	7,4	5,4	12,6	11,1	7,4	6,1	6,8
	1m	8,7	17,1	9,9	6,6	5,2	11,3	10,4	7,4	5,4	5,9



Şekil 8.23: Sivrice Fay Zonu üzerinde bulunan dört istasyonun zemin seviyesinde çevresel gama değişimi (1: Ekim 2007, 2: Kasım 2007, 3: Aralık 2007, 4: Ocak 2008, 5: Şubat 2008, 6: Mart 2008, 7: Nisan 2008, 8: Mayıs 2008, 9: Haziran 2008, 10: Temmuz 2008, 11: Ağustos 2008, 12: Eylül 2008).



Şekil 8.24: Sivrice Fay Zonu üzerinde bulunan dört istasyonun 1 m seviyesinde çevresel gama değişimi (1: Ekim 2007, 2: Kasım 2007, 3: Aralık 2007, 4: Ocak 2008, 5: Şubat 2008, 6: Mart 2008, 7: Nisan 2008, 8: Mayıs 2008, 9: Haziran 2008, 10: Temmuz 2008, 11: Ağustos 2008, 12: Eylül 2008).

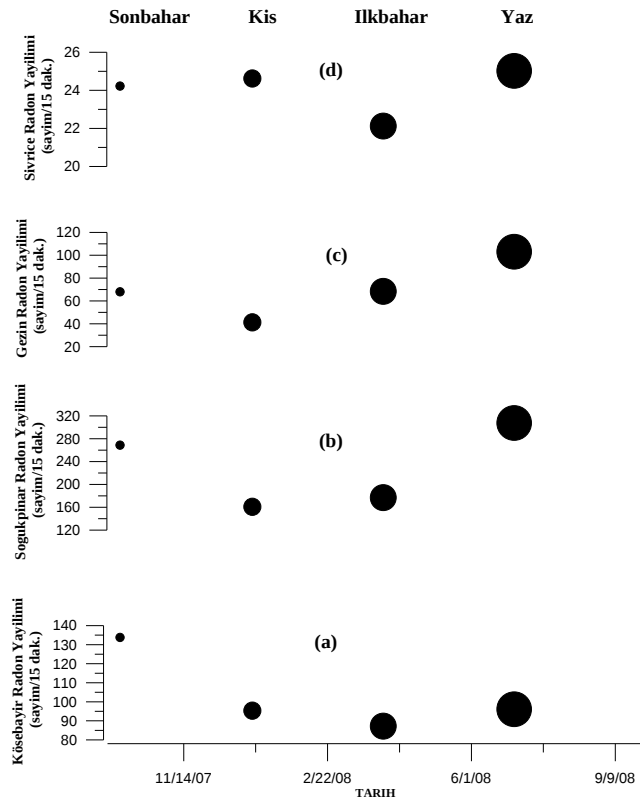
Çizelge 8.6, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24 incelendiğinde; doğrudan topraktan gelen gama radyasyonunun ölçüldüğü zemin seviyesindeki değerlerin, 1 m seviyesinde ölçülen değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Mevsimsel açıdan bakıldığında, genel olarak en yüksek değerlerin yaz aylarında ölçülen değerler olduğu görülür. Kış aylarında özellikle kar tabakasının toprak üzerinde bulunması nedeni ile topraktan kaynaklanan gaz çıkışı düşmektedir ve bununla beraber kış aylarında güneş ışınlarının dik değil de açılı olarak yeryüzüne gelmesi de yine kış aylarında çevresel gama değerlerinin düşük olarak ölçülmesine sebep olmuştur. Zemin ve 1 m

seviyelerinde ölçülen değerlerin ikisinde istasyonlar arasında karşılaştırma yapılırsa, Soğukpınar'da alınan çevresel gama ölçüm değerlerinin diğer istasyonlardan ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Soğukpınar'dan sonra, çevresel gama değerleri; yüksek değerden düşük değere sırasıyla Gezin, Kösebayır ve Sivrice istasyonundan ölçülmüştür.

Ayrıca, Çizelge 8.6'da bir yıllık ölçümlerde; en yüksek çevresel gama değerinin Ağustos 2008 de Soğukpınar istasyonunda ölçüldüğü de görülmektedir.

8.4. Parametrelerin Mevsimsel Karşılaştırılması

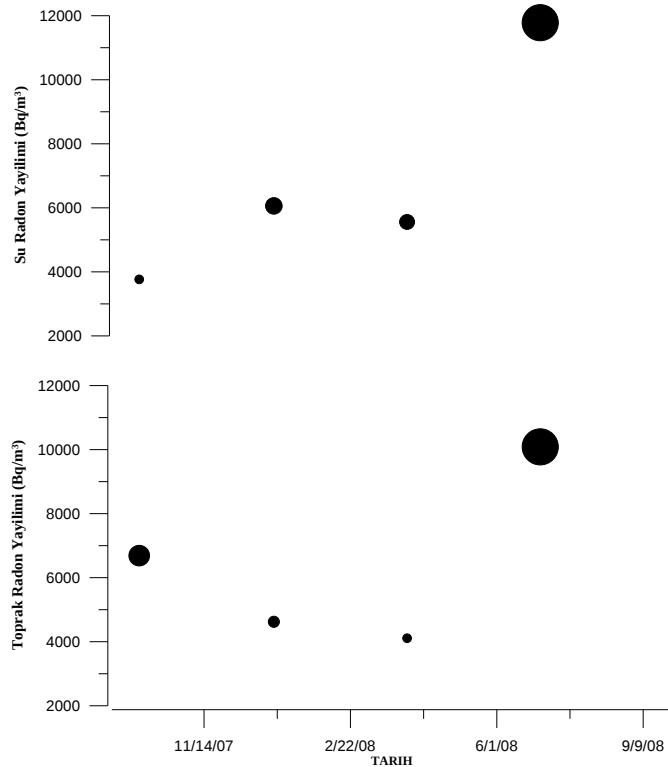
Sivrice Fay Zonu boyunca her bir ölçüm yerinden alınan değerlerin ortalaması alınarak; incelenen parametrelerin mevsimsel değişimleri incelendi. Buna göre; mevsimsel sürekli radon gazı değişimleri Şekil 8.25'de, fay zonu üzerinde kurulu olan sürekli radon gazı ölçüm istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin radon yayılımlarının mevsimsel değişimi Şekil 8.26'da, toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki mevsimsel değişim Şekil 8.27'de ve ölçülen çevresel gama değerlerinin mevsimsel değişimleri Şekil 8.28'de görülmektedir.



Şekil 8.25: Sivrice Fay Zonu üzerinde kurulu olan istasyonlardan on-line olarak alınan sürekli radon gazının mevsimsel değişimi (a: Kösebayır, b: Soğukpınar, c: Gezin, d: Sivrice).

Sürekli radon gazı gözlem istasyonundan elde edilen radon gazı çıkışı değerlerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde; istasyonlarda mevsimsel değişimlerin paralel olduğu görülmektedir. Genel olarak sonbahar mevsiminde değerlerin düştüğü ve kış mevsiminde en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde, kar yağışının yoğun olması ve toprak üzerinde kar tabakasının bulunması toprak radon gazı çıkışını engellemektedir. Bu nedenle de kış mevsiminde toprak radon gazı çıkışı en düşük değerde ölçülmüştür. Kösebayır istasyonunun dışında, diğer istasyonlarda toprak üzerindeki kar tabakası ilkbahar mevsimine kadar kalmaktadır. Kösebayır istasyonunda kış mevsiminde ölçülen toprak radon gazı çıkışında artış olduğu görülmektedir; bu durum kar tabakasının temizlenmiş olmasından ve bu şekilde toprak üzerindeki tabakanın kalkması nedeniyle toprak radon gazı çıkışının kolaylaşmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek değer ise yaz mevsiminde ölçülmüştür. Toprakta depo edilen suyun miktarındaki azalma ile radon aktivite konsantrasyonunda artış meydana gelmesi nedeni ile en yüksek değer yaz mevsiminde ölçülmesi beklenen bir durumdur [48].

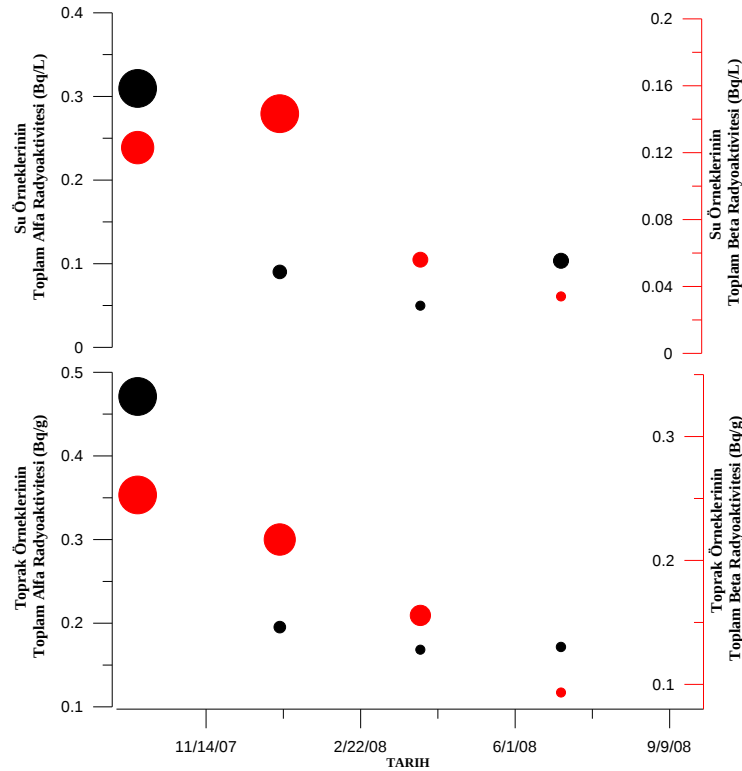
Sürekli radon gazı çıkışı gözlem istasyonlarından ve civarından alınan toprak ve su örneklerindeki radon yayılımlarının mevsimlik değişimleri Şekil 8.26’da görülmektedir.



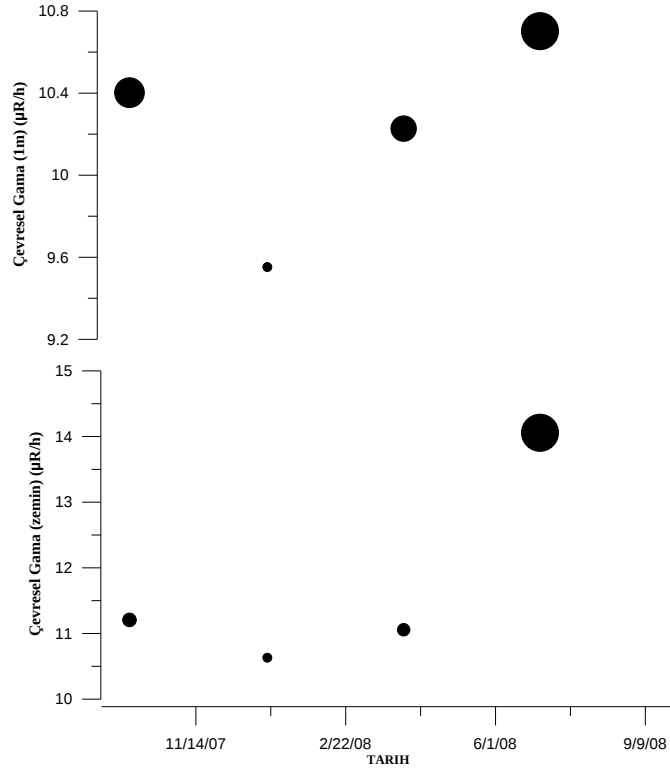
Şekil 8.26: Sivrice Fay Zonu üzerinde sürekli radon gazı ölçüm istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin radon yayılımlarının mevsimsel değişimleri.

Şekil 8.26’da toprak ve su örneklerindeki radon yayılımlarının mevsimsel değişimlerinin genelde paralel olduğu görülmektedir. Radon yayılımındaki mevsimsel değişimin en yüksek değerinin yaz mevsiminde ölçüldüğü görülmektedir.

Şekil 8.27’de ise gerek toprak gerekse su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin sonbahar mevsiminde en yüksek olduğu ve yaz mevsiminde azalan değişim göstererek yaz mevsiminde en düşük değerleri aldıkları görülmektedir. Toprak ve su örneklerinin alındığı bölgenin jeolojik oluşumunun aynı olması nedeniyle; toprak ve su örneklerinden ölçülen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki değişimlerin paralel olduğu görülmektedir.



Şekil 8.27: Sivrice Fay Zonu üzerinde sürekli radon gazı ölçüm istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki mevsimsel değişim.



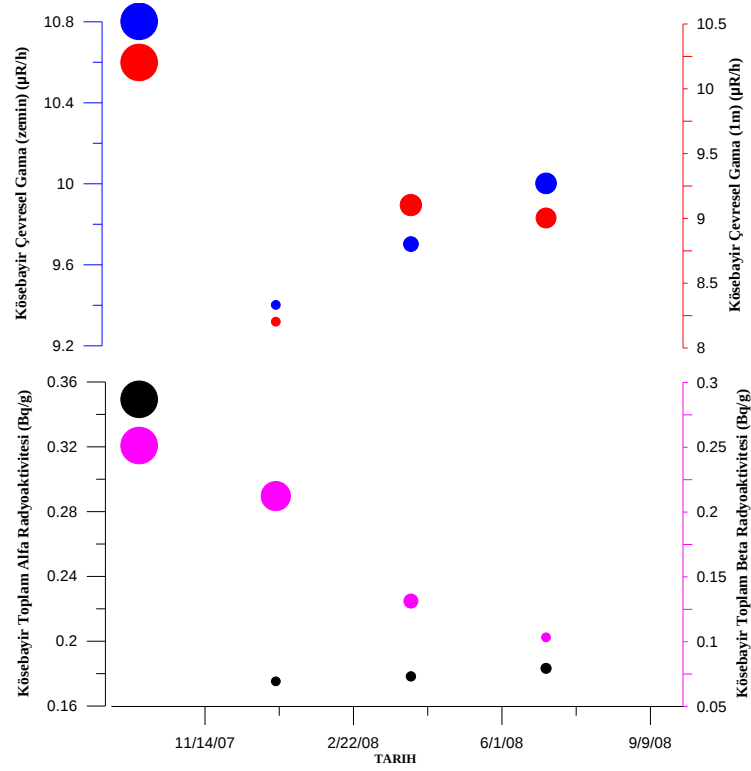
Şekil 8.28: Sivrice Fay Zonu üzerinde ölçülen çevresel gama değerlerinin mevsimsel değişimleri.

Şekil 8.28 incelendiğinde ise; en düşük değerin kış ve en yüksek değerin yaz mevsiminde olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde en düşük değerin ölçülmesi; güneş ışınlarının geliş açısı ve yağışlar sonucunda toprak üzerinde oluşan katman nedeniyle gaz çıkışlarının az olmasından kaynaklanmaktadır.

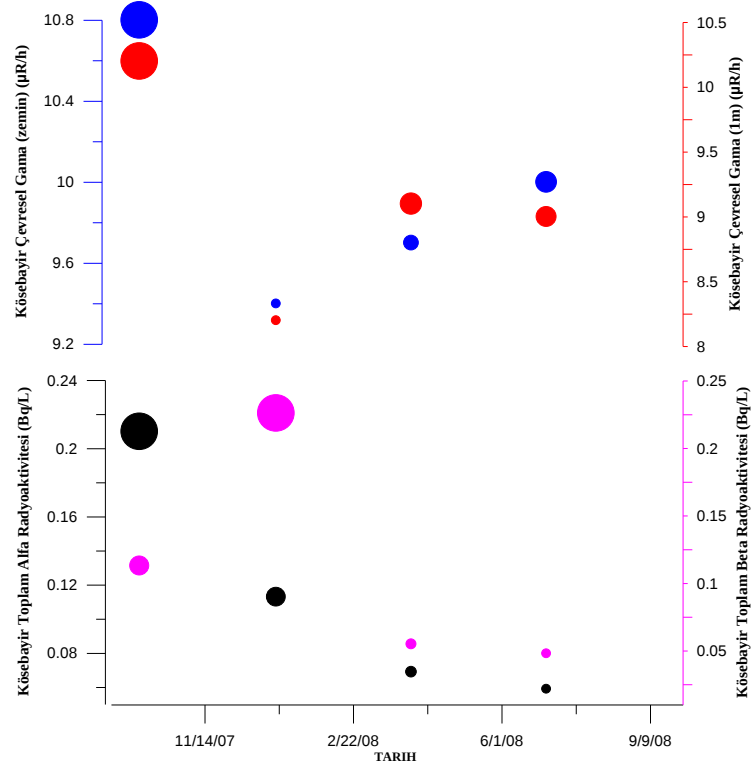
8.5. Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri ile Çevresel Gama Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Baloncuk grafiklerinin kullanılmasının amacı; grafiklerde değer okumak değil, mevsimsel olarak değişimi ve değişkenlerin birbirlerine göre değişimini (artış/azalış) daha net olarak görmektir.

Kösebayır'dan alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin mevsimsel değişiminin verildiği Şekil 8.29 incelenirse; sonbahar mevsiminde toplam alfa radyoaktivitesinin en yüksek ve kış mevsiminde en düşük, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise küçük değerlerle de olsa artış olduğu görülmektedir.



Şekil 8.29: 1. İstasyonda (Kösebayır) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

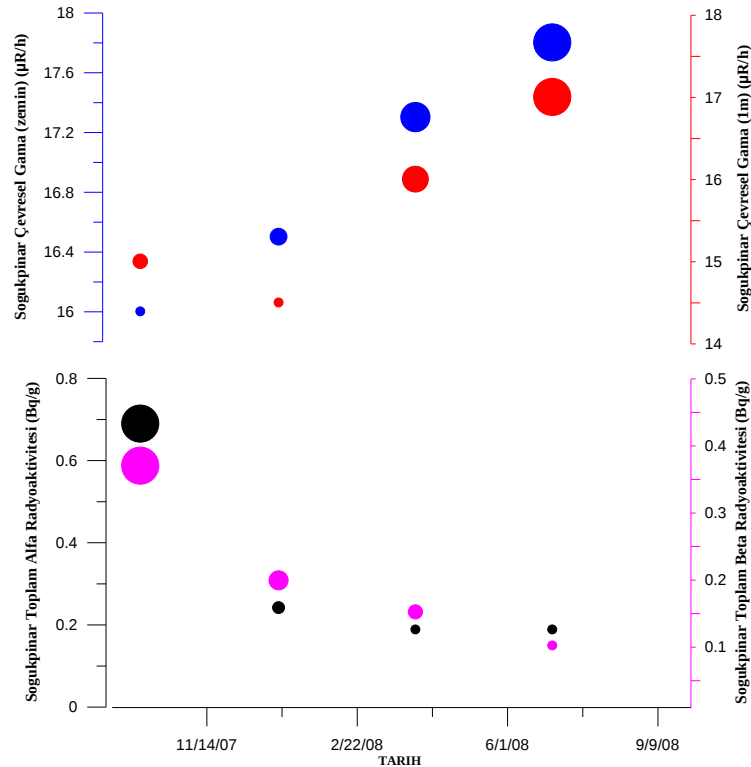


Şekil 8.30: 1. İstasyonda (Kösebayır) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

Kösebayır'da alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin mevsimsel değişimlerinin gösterildiği Şekil 8.30 incelenirse; toplam alfa radyoaktivitesinin sonbahar mevsiminde en yüksek ve yaz mevsiminde en düşük değerde olduğu, mevsimsel olarak değerlerin azaldığı görülmektedir. Toplam beta radyoaktivitesinin kış mevsiminde en yüksek ve yaz mevsiminde de en düşük seviyede olduğu görülmektedir.

Şekil 8.29 ve Şekil 8.30 grafiklerinde; çevresel gama ölçümlerinin zemin seviyesinde en yüksek sonbahar mevsiminde, en düşük kış mevsiminde ve ilkbahar, yaz mevsimlerinde değerler arasında artış olduğu görülmektedir. Zeminden 1 metredeki seviyede yapılan ölçümlerde ise; sonbahar mevsiminde, zemin seviyesinde alınan ölçüm değerlerinde olduğu gibi en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde ise en düşük değerde, ilkbahar mevsiminde değerin arttığı ve yaz mevsiminde de değerin tekrar düştüğü görülmektedir.

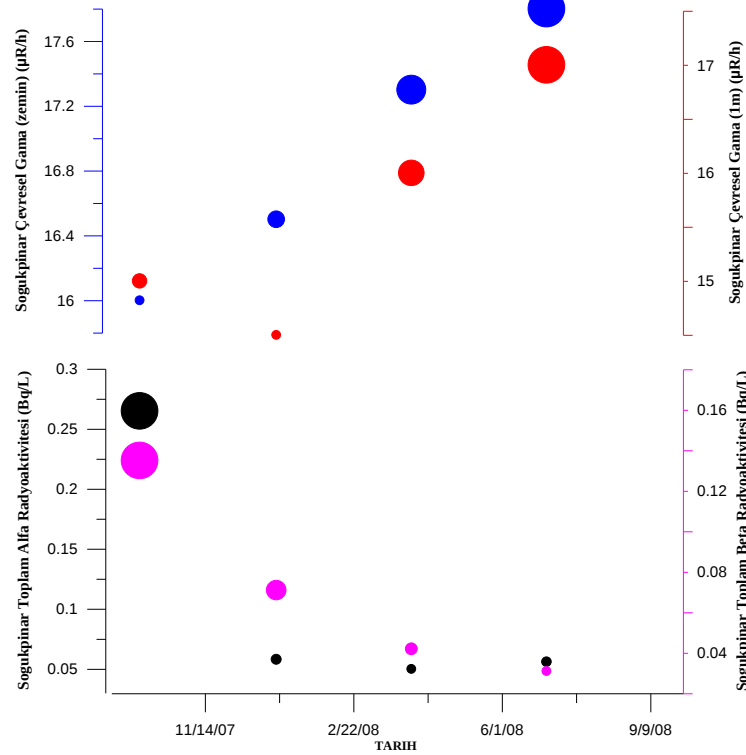
Diğer istasyonlarda çeşitli zamanlarda meydana gelen teknik arızalar ve gerek hesaplanan gerekse ölçülen değerlerin birbiri ile korelasyon sağlamaması nedeni ile veriler açısından en verimli ve radon çıkışındaki değişimi daha net olarak yansıtan istasyon olan Soğukpınar'dan alınan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ve çevresel gama ölçümlerinin mevsimsel değişimini gösteren Şekil 8.31 incelendiğinde; toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin en yüksek değerinin sonbahar mevsiminde ve en düşük değerinin yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.31: 2. İstasyonda (Soğukpınar) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

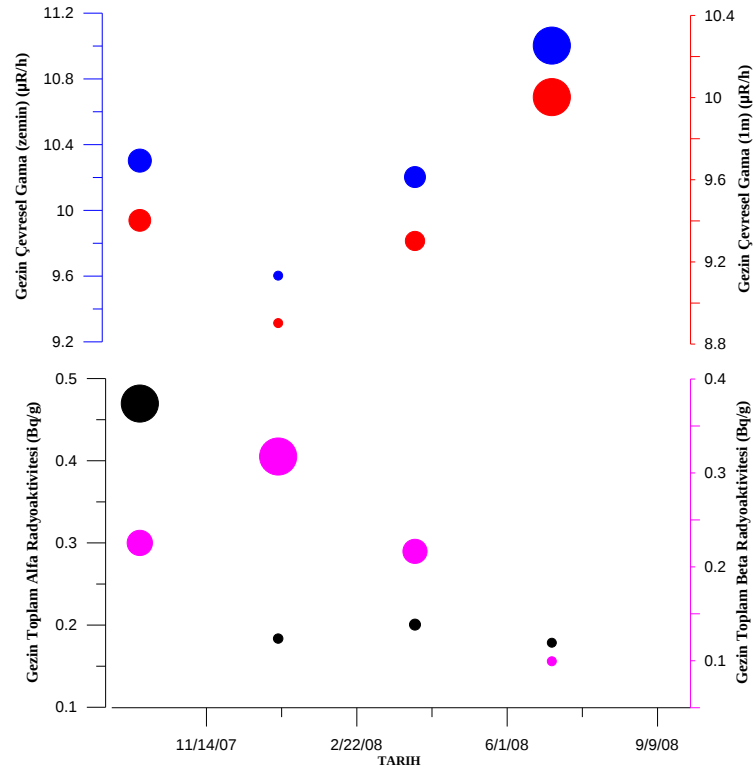
Şekil 8.32 incelendiğinde; Soğukpınar'dan alınan su örneklerinin, toprak örneklerinde olduğu gibi sonbahar mevsiminde en yüksek ve her mevsimde daha azalarak en düşük değere yaz mevsiminde sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 8.31 ve Şekil 8.32'de; çevresel gama değerlerinin, zemin seviyesinde yapılan ölçümlerin en düşük değerinin sonbahar mevsiminde ve sonraki mevsimlerde artarak, en yüksek değere yaz mevsiminde sahip olduğu görülmektedir. 1 m seviyesinde ise, en düşük değerin kış mevsiminde ve en yüksek değerin de yaz mevsiminde ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 8.32: 2. İstasyonda (Soğukpınar) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

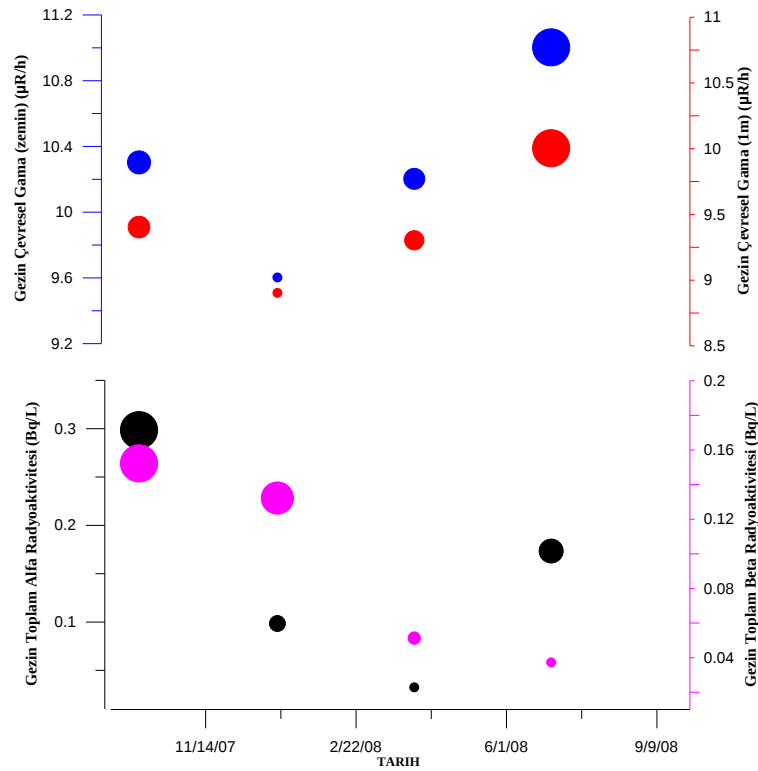
Şekil 8.33 incelendiğinde; 3. İstasyon Gezinden alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin sonbahar mevsiminde en yüksek değerde, diğer mevsimlerde artıp azalan değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 8.33: 3. İstasyonda (Gezin) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

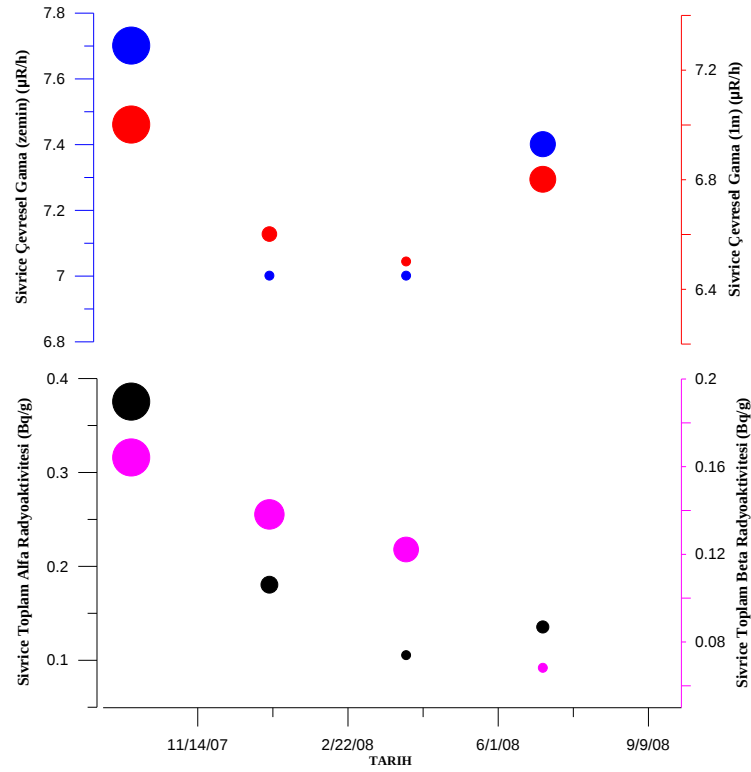
Şekil 8.34 incelendiğinde ise; su örneklerinde belirlenen toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin en yüksek değerinin sonbahar mevsiminde ve en düşük değerin de ilkbahar mevsiminde, mevsimsel azalma ve yaz mevsiminde de tekrar toplam alfa radyoaktivite seviyesinin arttığı görülmektedir. Toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise, sonbahar mevsiminden yaz mevsimine doğru azalan seviyelerde olduğu görülmektedir.

Şekil 8.33 ve Şekil 8.34’de görüldüğü gibi; gerek zemin gerekse zeminin 1 m üzerinde ölçülen çevresel gama değerlerinin en düşük kış mevsiminde ve yaz mevsiminde de en yüksek değere sahip olarak mevsimsel artışın olduğu görülmektedir.



Şekil 8.34: 3. istasyonda (Gezin) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

Şekil 8.35 incelendiğinde; 4. İstasyonda alınan toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesinin sonbahar mevsiminde en yüksek seviyede ve azalarak ilkbahar mevsiminde en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde tekrar artışın olduğu görülür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise, sonbaharda en yüksek değere, yaz mevsiminde en düşük değere sahip ve mevsimsel azalma olduğu görülmektedir.

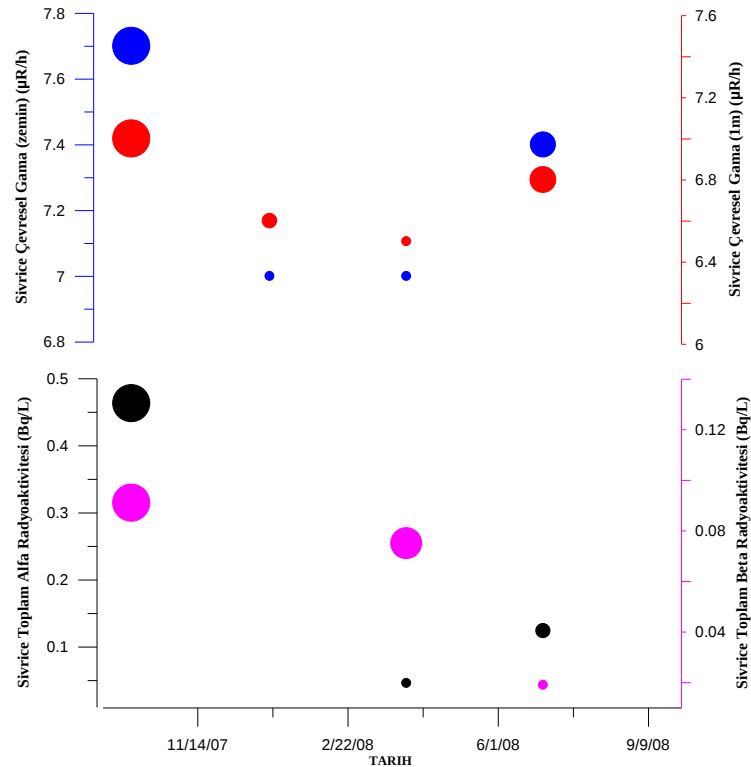


Şekil 8.35: 4. İstasyonda (Sivrice) alınan toprak numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

Şekil 8.36 incelendiğinde; su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin en yüksek değeri sonbahar mevsiminde, en düşük değerin ilkbahar mevsiminde ve yaz mevsiminde tekrar bir yükseliş olduğu görülmektedir. Toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki mevsimsel değişim; sonbaharda en yüksek ve yaz mevsiminde de en düşük değerini alarak azalma göstermiştir.

Şekil 8.35 ve Şekil 8.36 incelendiğinde; zemin ve 1 m mesafesinde çevresel gama ölçümlerinin mevsimsel değişimlerinin karşılaştırılmaları görülmektedir. Zemin ve 1 m seviyelerinde en yüksek değer sonbaharda ve en düşük değerin yaz mevsiminde ölçüldüğü görülmektedir.

Dört istasyonun gerek toprak gerekse su örnekleri için toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve zeminin 1 m üzerinde çevresel gama ölçümlerinin mevsimsel olarak değişimlerinin birbirleri ile bağlantılı olmadığı görülmektedir. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin doğrudan topraktan ve sudan kaynaklanması, jeolojik oluşuma ve toprağın yapısına bağlı olması; çevresel gamanın da gaz çıkışı, çevresel faktörler ve dış etkenlerden kaynaklanması nedeni ile bu sonuç beklenen bir durumdur.

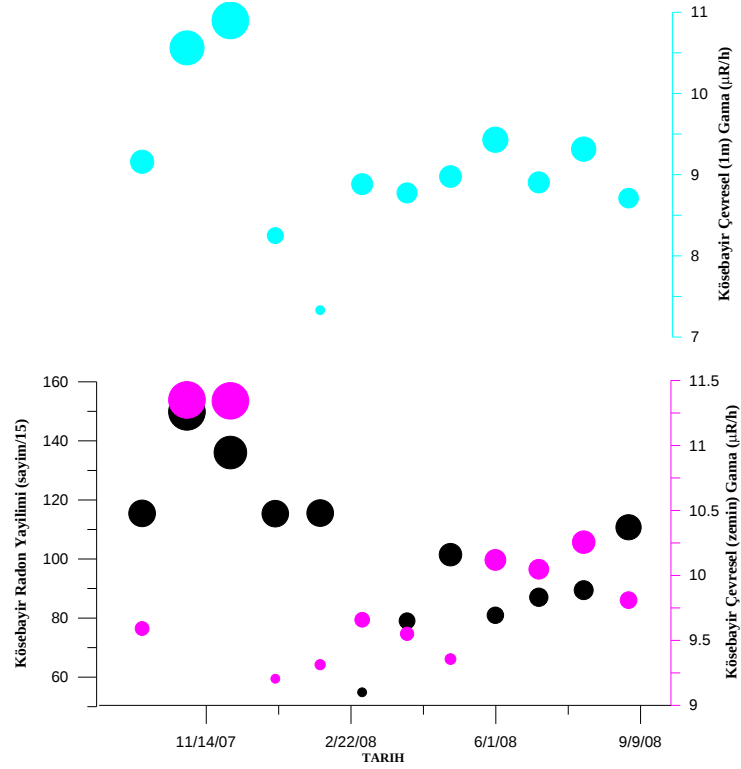


Şekil 8.36: 4. istasyonda (Sivrice) alınan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

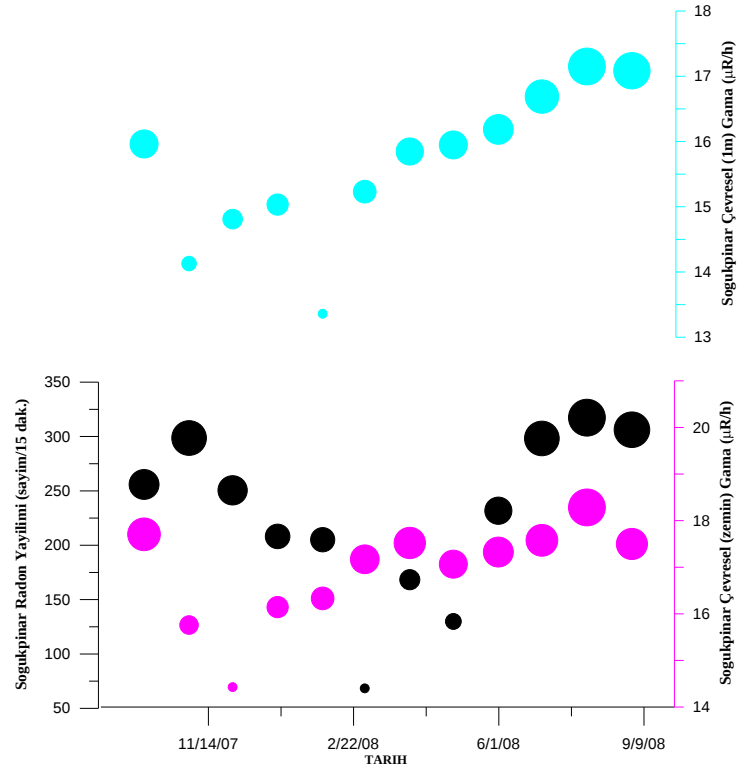
8.6. Toprak Radon Gazı ile Çevresel Gama Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Şekil 8.37-Şekil 8.40 incelendiğinde; dört istasyon için de toprak radon gazı çıkışı ile gerek zemin gerekse zeminin 1 m üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler arasında bir yıl boyunca değişimlerin paralel olduğu görülmektedir.

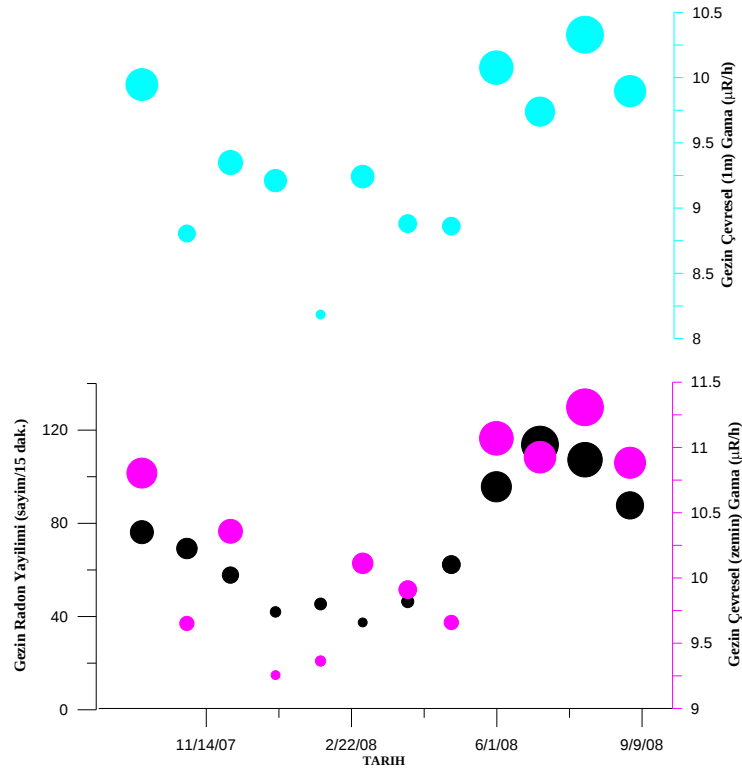
Her iki değişkenin (toprak radon gazı yayılımı ve çevresel gama) genelde topraktan gelen gaz çıkışı ve toprak yapısındaki radyo-çekirdeklerin çeşitliliği ve miktarına bağlı olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur.



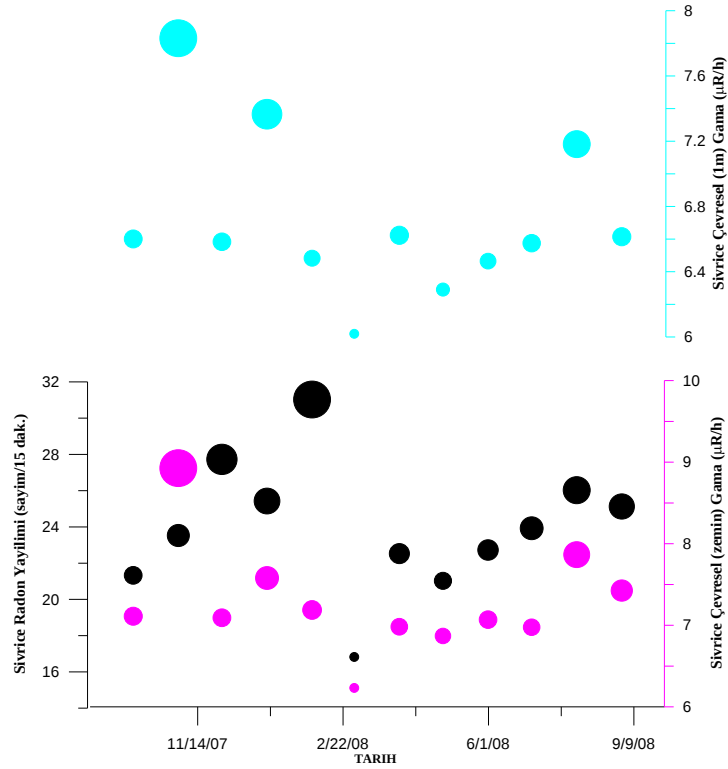
Şekil 8.37: 1. İstasyonun (Kösebayır) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.



Şekil 8.38: 2. İstasyonun (Soğukpınar) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve zeminden 1m mesafedeki çevresel gamaların karşılaştırılması.



Şekil 8.39: 3. İstasyonun (Gezin) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.



Şekil 8.40: 4. istasyonun (Sivrice) toprak radon gazı ölçümü ile zemin ve 1m mesafelerindeki çevresel gamaların karşılaştırılması.

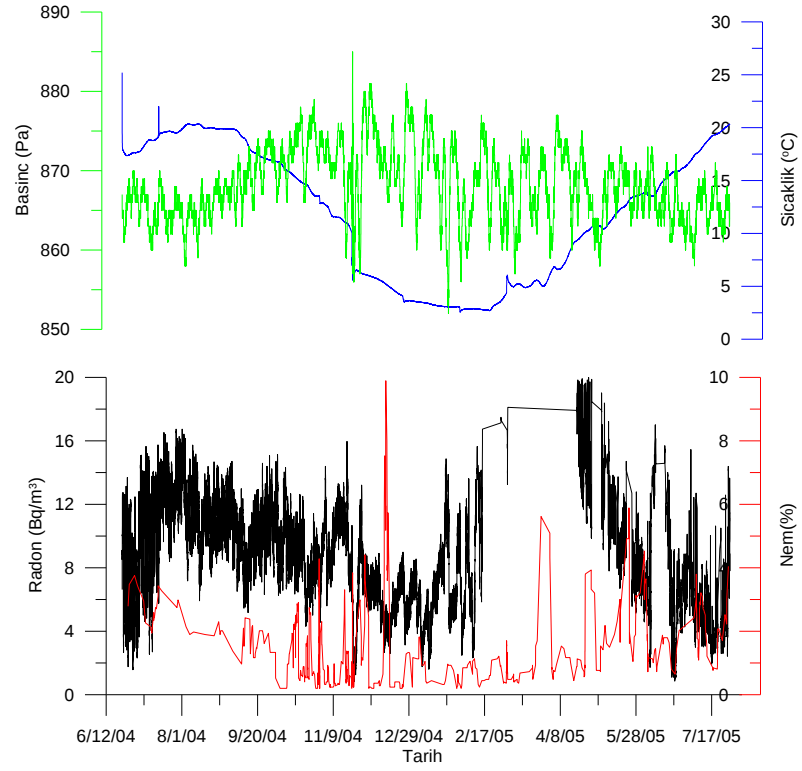
8.7. Toprak Radon Gazı ile Bazı Atmosferik Parametrelerin (Sıcaklık, Basınç ve Nem) Değişimlerinin Karşılaştırılması

Bazı atmosferik parametrelerle radon gazı çıkışının doğrudan bir etkisinin olup olmadığının incelenmesi için radon gazı çıkışının kaydedildiği istasyonları da temsil edebilecek bir referans noktası seçilerek burada nem basınç ve sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Burada amaç sadece değişimlerin gözlenmesi olduğundan atmosferik parametrelerin değişimlerinin radon gazı çıkışı değişimleriyle karşılaştırılmıştır. Özellikle sıcaklık ve nem değişimlerinin toprak radon gazı ölçümlerinin yapıldığı noktada yapılması bu değişimlerin daha detaylı olarak incelenmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak, bu incelemeyi yapacak teknik imkânlar bu çalışma süresince sağlanamadığından yapılan karşılaştırma için referans mevki olarak istasyonlara da yakın olması açısından Sivrice merkez seçilmiştir. Bu mevkideki atmosferik parametreler Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden (DMM) temin edilerek kullanılmıştır. DMM'den alınan değerlerin bu karşılaştırmada kullanılabilirliğinin sınanması için 2004-2005 yılında Sivrice mevkiindeki sürekli radon ölçüm istasyonundan alınan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır. Bu yıllarda Sivrice istasyonunda kullanılan Fransız yapımı Barasol ölçüm sistemi olup bu sistemle radon ölçüm noktasından aynı anda atmosferik parametrelerin ölçümlerinin

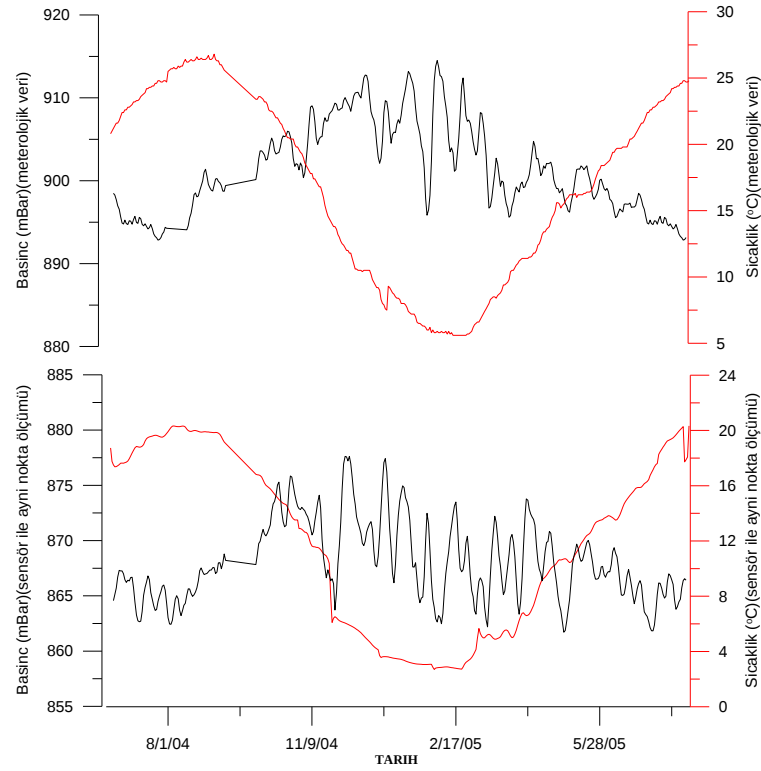
yapılması imkanı da bulunmaktadır [47]. Daha sonraki yıllarda bu sistemin dayanıklı olmaması ve sık sık arıza yapmasından dolayı kullanımından vazgeçilmiş ve bu sistem yerine Kanada yapımı olan AlphaLogger sistemi kullanılmıştır. Ancak bu sistem içerisinde aynı anda atmosferik parametre ölçümleri yapılmasına imkan tanımamakta ve bu parametreler farklı bir sistemle ölçülmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan atmosferik parametrelerle ilgili verilerin büyük bir kısmı DMM tarafından kaydedilen verilerdir. Bu verilerin kullanılabilirliği Şekil 8.42’de gösterilmiştir. Şekil 8.42’den de görüleceği gibi 2004-2005 yılında tarafımızdan kaydedilen veriler ile DMM tarafından kaydedilen veriler arasında uyumluluk vardır. Bu parametrelerin radon gazı çıkışı ile değişimlerinin daha detaylı incelenmesi için teknik hazırlıklar laboratuvarımızda devam ettirilmektedir. Bu amaç için kullanılması planlanan sistem MEKASİS adıyla laboratuvarımızda Doç.Dr. Soner ÖZGEN tarafından geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu tez çalışması sırasında bu sistemin denemesi toprak üstü ölçümler olarak birkaç istasyonda denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Burada MEKASİS’ten alınan sonuçlar sadece iki ay için kullanılmıştır. MEKASİS verilerinin kullanılabilirliği iki aylık veriler için Şekil 8.43’de gösterilmiştir. DMM tarafından ölçülen atmosferik parametrelerin değerleri ile MEKASİS tarafından ölçülen değerler karşılaştırıldığında (Şekil 8.43); ölçüm noktalarının (konum, genel/bölgesel alan ölçüm vb.) farklı olması nedeniyle değerlerin farklı ancak değişimlerinin paralel olduğu görülmektedir.

Elde edilen verilerin daha sağlıklı değerlendirilmesi ve bu çalışmada yapılan genel karşılaştırmaların ve izlenen yöntemin uygulanabilirliğine örnek olması açısından tez çalışmasına başlanmadan önce bu tez çalışmasının da desteklendiği proje çalışmasında Sivrice istasyonundan elde edilen radon gazı çıkışı ve buna paralel olarak aynı noktada kaydedilen basınç ve sıcaklık değişimleri Şekil 8.41’da verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi her iki parametre ile radon gazı çıkışı arasında doğrudan çok sıkı bir ilişki görülmemektedir [31, 49].

İstasyonlardan ölçülen atmosferik parametreler ile radon gazı çıkışı arasında karşılaştırma yapmak için çizilen grafiklerde de, Şekil 8.36’da verilmiş karşılaştırmada olduğu gibi; atmosferik parametrelerdeki değişim ile radon gazı ölçümleri arasında doğrudan bir ilişki olmadığı bir kez daha görülmektedir.

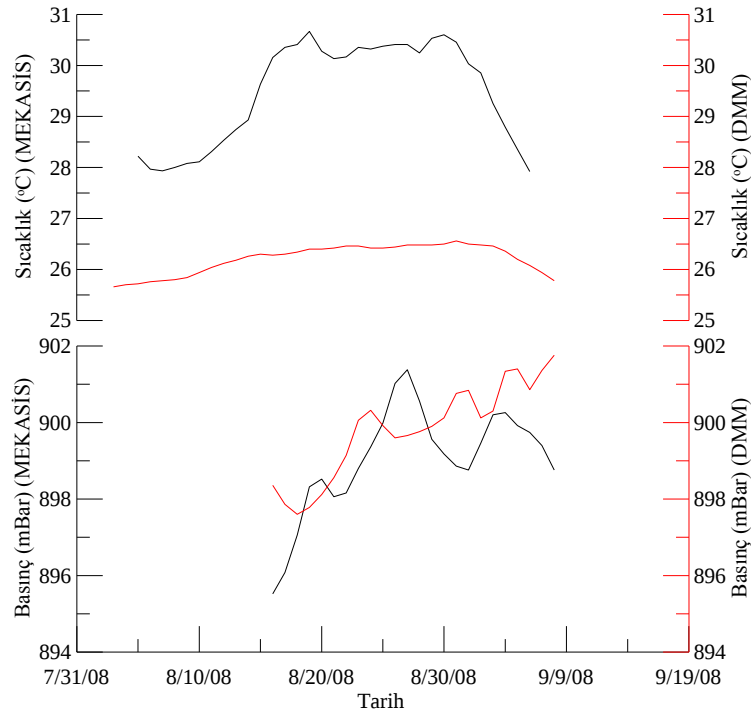


Şekil 8.41: 2004-2005 yıllarında Sivrice istasyonundan elde edilen veriler. Atmosferik parametreler toprak altında radon probunun olduğu yerde alınmıştır.



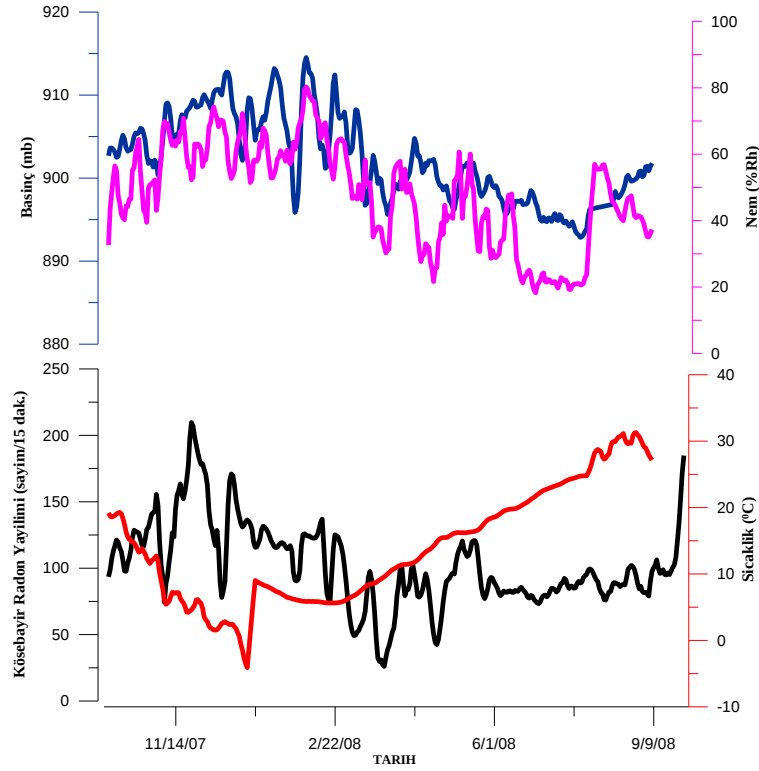
Şekil 8.42: 2004-2005 yılında tarafımızdan kaydedilen veriler ile DMM tarafından kaydedilen verilerin karşılaştırılması.

Şekil 8.42 de, istasyonun bulunduğu mevkide yapılan basınç ve sıcaklık ölçümleri ile DMM tarafından Elazığ'ın genelinde alınan basınç ve sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda DMM'den temin edilen atmosferik parametrelerin değeri ile istasyonun bulunduğu mevkiden alınan atmosferik parametrelerin değerleri arasında farkın olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle çalışmamızdan sonra yapılacak herhangi benzer bir çalışmada da, atmosferik parametrelerin ölçümü doğrudan çalışma bölgesinden yapılmadan da; DMM'den temin edilerek kullanılabilir. Bu kullanım genel karşılaştırma yapılması açısından bir sorun teşkil etmemesine karşılık, verilerin daha detaylı incelenmesi açısından laboratuvarımızda geliştirilmekte olan MEKASİS sisteminin kullanılmasında yarar vardır.

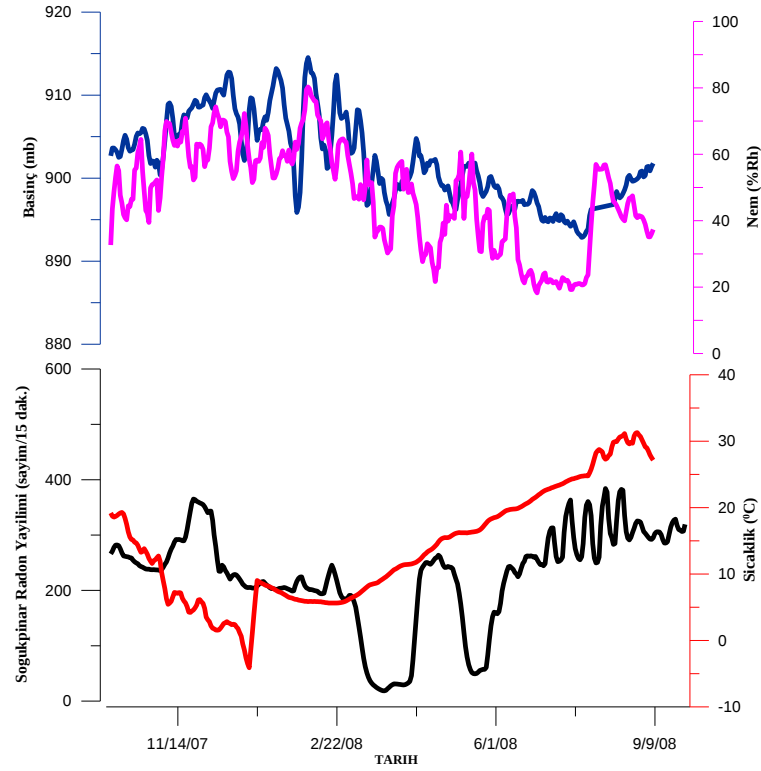


Şekil 8.43: MEKASİS tarafından kaydedilen veriler ile DMM tarafından kaydedilen verilerin karşılaştırılması.

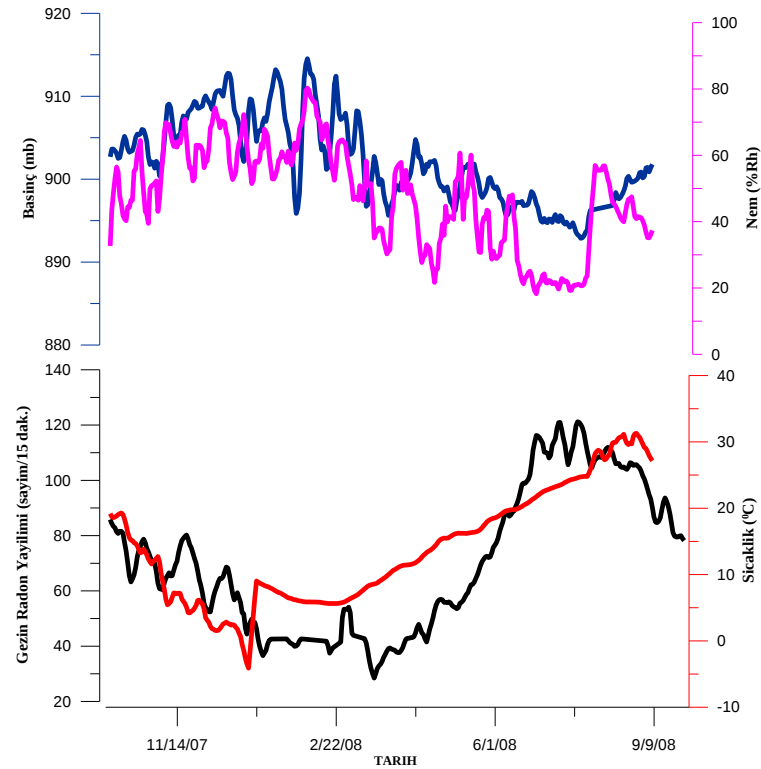
Şekil 8.44-Şekil 8.47 incelendiğinde; kaydedilen radon gazı çıkışlarının atmosferik şartlara aynı anda ve doğrudan bağımlı olmadığı görülmektedir. Atmosferik parametreler ile radon gazı çıkışındaki artış ve azalışlar bütün parametreler için aynı anda paralel değildir. Ancak değişimler ayrı ayrı incelendiğinde radon gazı çıkışının özellikle nem değişimi ile paralellik gösterdiği gözlenmektedir. Elde edilen bu sonuç literatür ile uyumludur [50-53].



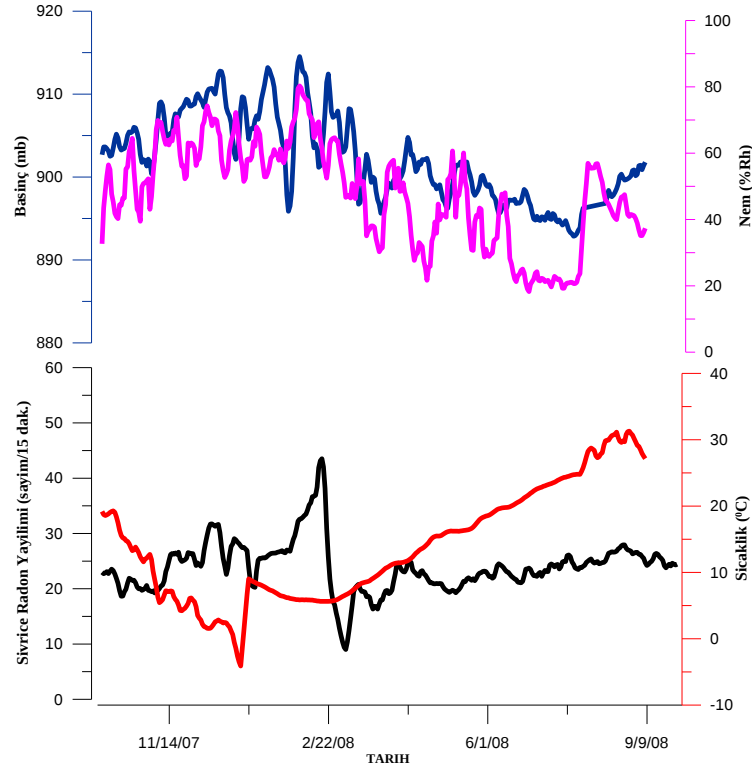
Şekil 8.44: 1. İstasyonun (Kösebayır) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.



Şekil 8.45: 2. İstasyonun (Soğukpınar) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.



Şekil 8.46: 3. İstasyonun (Gezin) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.

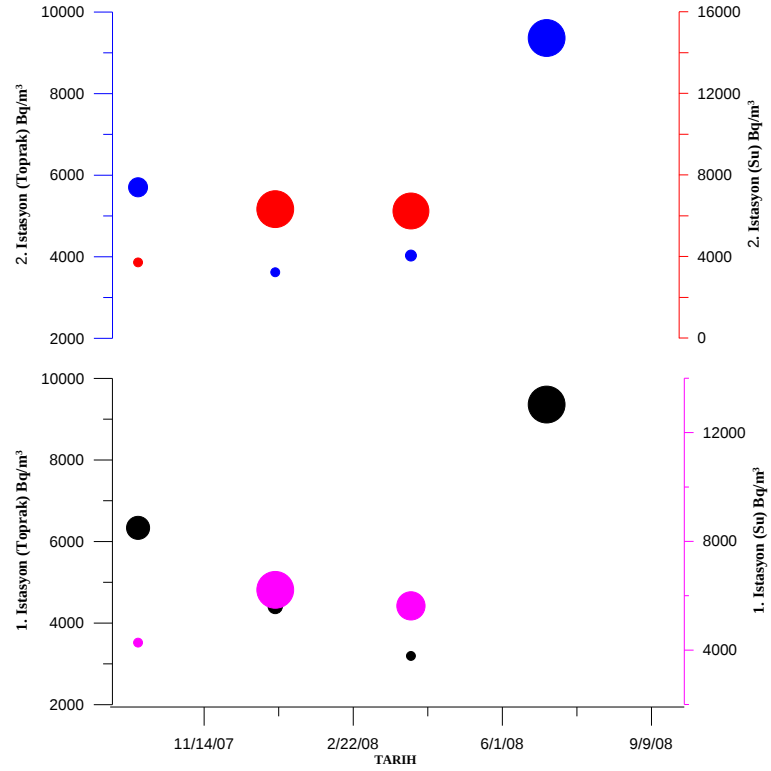


Şekil 8.47: 4. İstasyonun (Sivrice) toprak radon gazı ölçümü ile atmosferik (sıcaklık, basınç, nem) değişimleri.

8.8. Toprak ve Su Numunelerinde Radon Yayılımının Karşılaştırılması

1. ve 2. istasyonlarda alınan toprak ve su numunelerinde radon yayılımını gösteren Şekil 8.48, 3. ve 4. istasyonlarda alınan toprak ve su örneklerindeki radon yayılımını gösteren Şekil 8.49 incelendiğinde; 1. istasyonda (Kösebayır) alınan toprak örneklerindeki radon yayılımının sonbahar mevsiminden ilkbahar mevsimine kadar düşüşün ve yaz mevsiminde tekrar artarak en yüksek değere sahip olduğu görülür. Su örneklerinin ise mevsimler arasında düşen ve artan değerler olarak en düşük radon yayılımı değerinin sonbahar mevsiminde ve en yüksek değerinde yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.

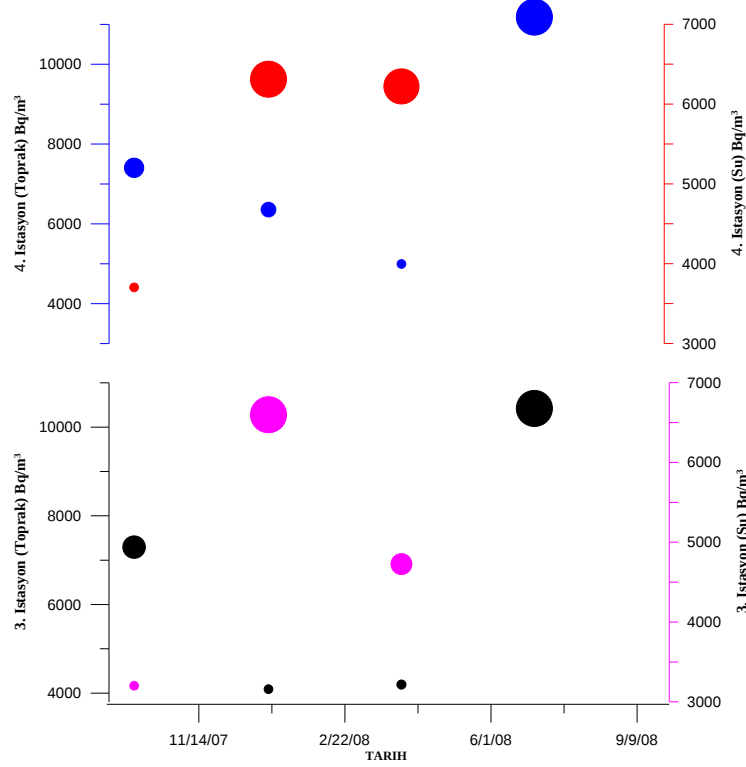
2. istasyondan (Soğukpınar) alınan toprak örneklerindeki radon yayılımı, kış mevsiminde en düşük değerde, diğer mevsimlerde artış olmuş ve yaz mevsiminde en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Su örneklerinde ise, en düşük radon yayılımı değerinin kış mevsiminde olduğu, mevsimsel artış ve azalışlar ile en yüksek radon yayılımının yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.48: 1. (Kösebayır) ve 2. (Soğukpınar) istasyonlarının toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılmaları.

3. istasyondan (Gezin) alınan toprak örneklerinde; en düşük radon yayılımının kış mevsiminde ve değerlerde mevsimsel artış ile en yüksek radon yayılımının yaz mevsiminde olduğu görülmektedir. Su örneklerinde ise; en düşük değer sonbahar mevsiminde olduğu, mevsimsel artış ve azalış ile en yüksek değer yaz mevsiminde belirlendiği görülmektedir.

4. ve son (Sivrice) istasyondan alınan toprak örneklerinin radon yayılımının ise sonbahardan ilkbahara kadar düşüş gösterdiği ve yaz mevsiminde artarak en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Su örneklerinde ise; 3. istasyondan alınan su örneklerinde olduğu gibi en düşük radon yayılımının sonbaharda ve en yüksek radon yayılımının da yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.49: 3. (Gezin) ve 4. (Sivrice) istasyonlarının toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılmaları.

Toprakta depo edilen suyun miktarındaki azalma ile radon aktivite konsantrasyonunda artış meydana gelir [48]. Şekil 8.48 ve Şekil 8.49 incelendiğinde, bütün istasyonlardan alınan toprak ve su örneklerinde radon yayılımlarının yaz mevsiminde en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, yaz mevsiminde radon yayılımlarının en yüksek seviyede olması literatür ile uyum olduğunu ve elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermektedir.

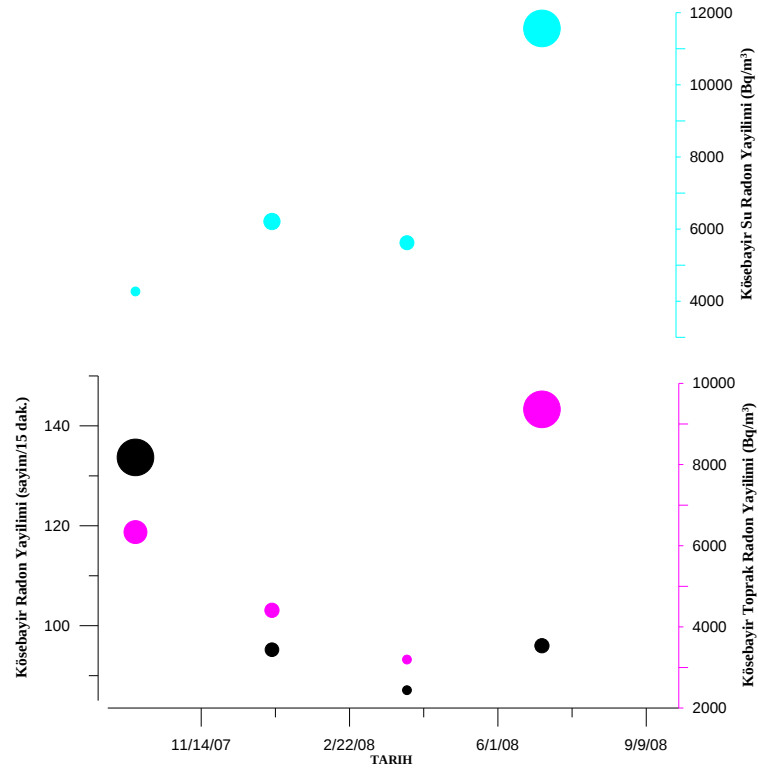
8.9. Toprak Radon Gazı ile Toprak ve Su Numunelerinin Radon Yayılımlarının Karşılaştırılması

Şekil 8.50-Şekil 8.53'de, toprak radon gazı çıkışı ile istasyonlardan alınan toprak ve su örneklerinde belirlenen radon yayılımları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; bir yıl boyunca bütün istasyonlarda mevsimsel olarak toprak radon gazı çıkışı ile toprakta radon yayılımlarında görülen değişimlerin paralel olduğu, suda radon yayılımının ise toprak radon gazı çıkışı ile değişimlerinin birbirinin tersi olduğu görülmektedir.

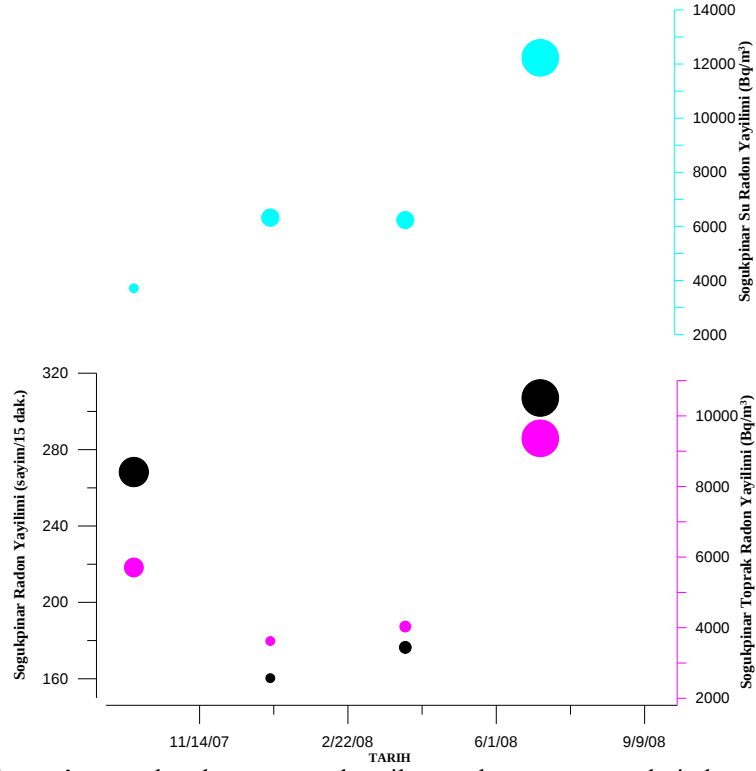
Bir bölgedeki radon konsantrasyonunun kayaç türü (litoloji), yapısal elemanlar (özellikle de faylar) ve o bölgedeki uranyum mineralizasyonlarının varlığıyla yakından

ilişkilidir [47]. Toprak örneklerinin radon yayılımı ile toprak radon gazı çıkışının paralelliği, toprak yapısının aynı olmasından kaynaklanmaktadır.

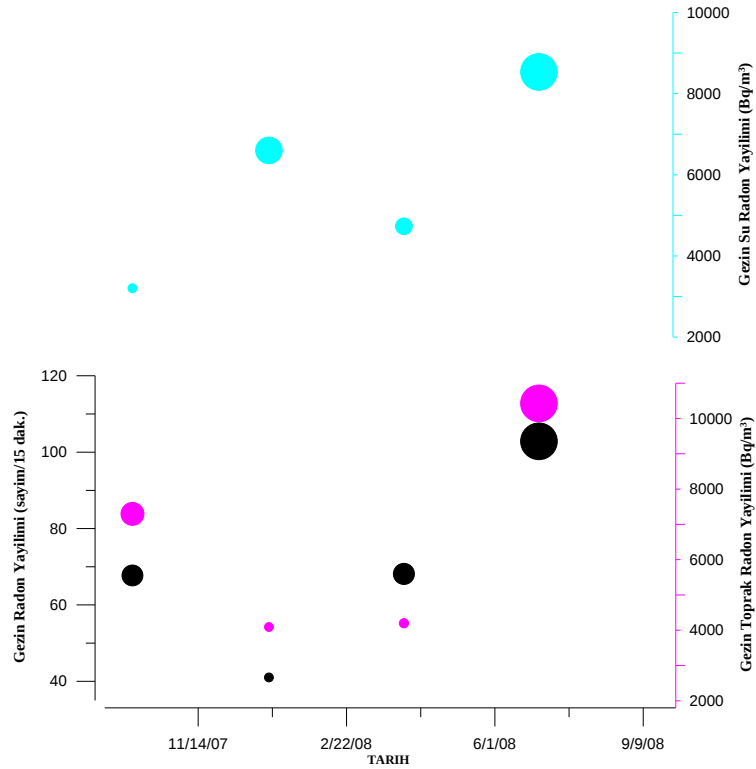
Radon yayılımı Sivrice Fay zonu üzerinde kurulan istasyonlardan alınan toprak ve su örneklerinin laboratuvar ortamında; bir tür plastik detektör olan CR-39'ların üzerinde alfa parçacıklarının çarpması ile oluşan izlerin sayılması ve radon gazı aktivitesinin hesaplanması ile bulunmuştur.



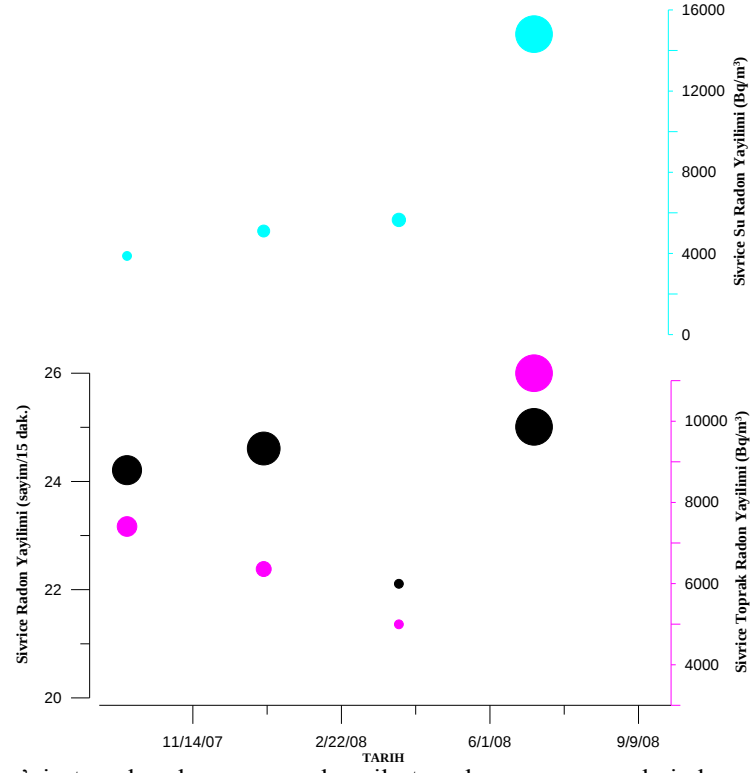
Şekil 8.50: Kösebayır'ın toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması.



Şekil 8.51: Soğukpınar'ın toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması.



Şekil 8.52: Gezin'in toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması.



Şekil 8.53: Sivrice'nin toprak radon gazı yayılımı ile toprak ve su numunelerinde radon yayılımlarının karşılaştırılması.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Doğu Anadolu Fay Sisteminin Sivrice Fay Zonu kesiminde toprak radon gazı değişiminin izlenmesi ve bu kesimde doğal radyoaktivitenin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada; fay zonu üzerine kurulan dört istasyondan on-line kaydedilen toprak radon gazı çıkışları, alınan toprak ve su örneklerinin radon yayılımları, toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ve çevresel gama ölçümleri yapılmıştır.

Fay sistemi veya zonlarının aktifliğinin ölçüsü bunlar üzerinde meydana gelmiş olan depremlerdir. Bu fay sistemi üzerinde meydana gelmiş olan 995 ve 1789 Palu, 1822 Hassa, 1872 Hatay ve 1874 Gölcük (Sivrice), 1971 Bingöl ve en son 2004 yılındaki Sivrice depremleri, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin yıkıcı depremler üretme potansiyeline sahip olduğunu gösterir [47].

Yerin oluşunda jeolojik kütlelerin içindeki büyük boşlukların göçmesi, yerleşmesi ve yükselmesi sonucunda meydana gelen depremler, tektonik depremlerdir. Türkiye'de oluşan depremlerin hemen hemen hepsi bu gruba girmektedirler [34]. Doğu Anadolu Fay Sisteminde bulunan Sivrice Fay Zonunda meydana gelen depremler de tektonik depremler grubuna girmektedir.

Toprak radon gazı değişiminin; fay sistemi üzerinde fayın karakteri, fay zonu boyunca yüzeyleyen kayaç ve toprağın türü göz önüne alınarak sık aralıklarla kurulması, uzun sürelerle ve sürekli gözlem yapılması durumunda deprem ön kestiriminde önemli bir parametre olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Toprak radon gazı çıkışlarının aylık değişimini gösteren grafikler (Şekil 8.2-Şekil 8.13) ile EK-1 - EK-12 de verilen deprem listeleri karşılaştırıldığında, grafiklerde toprak radon gazındaki belirgin değişimlerin Elazığ merkezi, Sivrice ve civarında meydana gelen depremlerle genelde denk geldiği görülmektedir.

Radon alfa parçacıkları yayınlayarak bir süre sonra kısa yarı ömürlü ürünlerinin birikmesiyle bulunduğu ortamın radyoaktivitesini artırır. Toprak gazında radon konsantrasyonu; topraktaki radyumun radyoaktivite kütle konsantrasyonuna, yayılma gücüne, toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine bağlıdır.

Depremler ile radon gazı çıkışları arasında bir bağlantı olup olmadığına ve radon gazı çıkışının depremin habercisi olabileceğine dair birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür [54-56].

Depremler meydana gelirken; kayaçların hareket etmesi, çökmesi ya da yükselmesi ile toprak altında biriken radon gazı çıkışında artış ya da azalış olur. Bu çalışmada da bir yıl

boyunca kaydedilen verilerle toprak radon gazı çıkışında değişimler görülmüş ve bu değişimlerin genellikle küçük şiddetli de olsa meydana gelen depremlerle paralel olduğu gözlenmiştir. Toprak radon gazı çıkışlarındaki değişim ile depremlerin meydana gelmesi arasında bir ilişki olduğu söz konusudur ancak, başka parametrelerin de radon çıkışı üzerinde etkisinin olduğu da görülmüştür. Buna rağmen toprak radon gazı çıkışlarındaki değişimlerin depremlerin ön kestirimlerinde önemli bir parametre olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Topraklar oluştukları ana materyalde bulunan radyoaktif izotoplar nedeniyle bir miktar radyasyon içerirler. Yerkabuğunun oluşumunda doğal olarak mevcut olan radyo-çekirdekler ve bunların bozulma ürünleri, yayınladıkları gama ışınları ile çevresel radyasyonların büyük bir kısmını oluştururlar. Karasal kökenli radyasyon kaynaklarının başında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi uzun yarı ömürlü radyo-çekirdekler gelmektedir. Bu gibi doğal radyo-çekirdeklerin kütle aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir [57, 58].

Çalışma alanı jeolojik yapısı açısından (Hazar Karmaşığı) volkano-tortul kayalar, kireçtaşları, andezit, bazalt, volkanik breş ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır. Bu kayaç türleri genellikle alfa parçacıklarını absorbe etme özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması sonucunda, genelde toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesinden fazla olduğu görülmüştür. Toprak yapısı nedeniyle sonuçların bu şekilde çıkması beklenen bir durumdur ve literatüre uymaktadır [19, 59-61].

Toprak ve kayalarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyo-çekirdekler en önemli dış radyasyon kaynaklarıdır. Uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferdeki reaksiyonları sonucu meydana gelen yüksek enerjili nötronlar, protonlar, elektronlar ve müyonlar da uzay orijinli dış radyasyon kaynaklarıdır [56].

Kütle aktivite konsantrasyonu, yerden 1 m yükseklikte havadaki absorplanmış doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir [57]. Bu nedenle havada ölçülen radyasyon dozu topraktaki radyo-çekirdek konsantrasyonları ile yakından ilgilidir. Volkanik kayaların kütle aktivite konsantrasyonları tortul kayalarinkine nazaran daha yüksektir.

Bu çalışmada ölçülen çevresel gamanın, 1 m mesafesinde ölçülmüş olan değerleri; ölçüm yapılan noktanın toprağının radyoaktivite konsantrasyonu hakkında bize ayrıca bilgi vermektedir.

Çevresel gamanın mevsimsel değişimi incelendiğinde, elde edilen veriler ve çizilen grafikler genelde değerlerin yaz mevsiminde yüksek, yağışın bol olduğu özellikle kış mevsiminde az olduğunu göstermiştir. Bu durum, yine topraktan gaz çıkışının toprağın

gözenekliliğine, geçirgenliğine, nem içeriğine ve toprak üzerindeki tabakalaşmaya bağlı olduğunu göstermektedir.

Fay hatları yeryüzüne sıvı taşınmasında öncelikli geçiş yolları sunarlar. Taşınmaları esnasında gazlar (radon, metan, helyum vd.) kayalardan ve minerallerden çevredeki sıvılara örneğin yer altı sularına ve havaya, son olarak atmosfere sızarlar. Yer altı suyundaki yüksek radon konsantrasyonu faylarla ilgilidir [62]. Sivrice Fay Zonu üzerinde kurulan istasyonlarda alınan su örneklerinin hepsi kaynak sularıdır, bu nedenle radon yayılımlarının yüksek olduğu görülmüştür.

Fay zonlarındaki radon yayılımının yüksek olmasının nedeni; bu bölgelerde yer altı sularının rahatlıkla yeryüzüne çıkabilmelerinden dolayı, yer altı sularında çözünmüş uranyum veya ürün çekirdeklerinin yeryüzüne yakın yerlerde birikme eğiliminin daha yüksek olmasıdır.

Karasal doğal radyo-çekirdeklerin neden olduğu, karasal gama doz seviyesinin çok yüksek olduğu noktalar genellikle uranyum ve toryum maden yataklarının varlığını gösterir.

Literatürde yapılan bazı çalışmalarda, radon konsantrasyonu ile barometrik basınç arasında yakın bir korelasyon olduğu, atmosferik basınçtaki azalmayı radon konsantrasyonundaki artışın takip ettiği gözlenmiştir [63]. Bu çalışmada ise atmosferik değişkenler ile radon çıkışı arasında kuvvetli bir bağlantı olmadığı görülmüştür.

Toprakta depo edilen suyun miktarındaki azalma ile radon aktivite konsantrasyonunda artış meydana gelir [48]. Mevsimsel karşılaştırma yapıldığında, yaz mevsiminde toprak radon gazı çıkışının ve toprak örneklerindeki radon yayılımının artışı da; toprakta depo edilen suyun miktarındaki azalmadan kaynaklandığı hükmüne varılmıştır.

Ev içi ve ev dışı gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması UNSCEAR tarafından sırası ile 7,0 $\mu\text{R/saat}$ ve 5,5 $\mu\text{R/saat}$ olarak belirlenmiştir [65, 66]. Sivrice fay zonu üzerinde yapılan çevresel gama ölçümlerinin UNSCEAR tarafından belirlenen değerlerin genellikle (2,9 $\mu\text{R/saat}$ – 18,3 $\mu\text{R/saat}$) üstünde olduğu görülmüştür. Bu ölçümlerin yüksek oluşu, incelenen alanın fay zonu üzerinde olmasından kaynaklanabilir. Fay zonu üzerindeki radyoaktiflik genel olarak diğer yerlere göre daha yüksek olup radyoaktiflik fayın sismolojik açıdan aktifliği ile değişebilmektedir. Burada alınan sonuçlar ve bu fay zonu boyunca kaydedilen depremler elde edilen diğer yöre değerlerden farklılığı destekler mahiyettedir [54, 55, 67, 68].

Çalışma alanın jeolojik oluşumu, toprak yapısı ve özellikle fay hattı üzerinde olması; alınmış olan bütün değerlerin, ölçümlerin ve hesaplamaların gerek TSE tarafından gerekse dünya standartlarında belirlenen değerlerden yüksek çıktığı görülmüştür. Bu

bölgede yaşayan halk, yer altı kaynaklı olan kaynak sularını kullanmakta, toprağı işlemekte ve genellikle besinlerini bu topraklarda yetişen gıdalarla sağlamaktadırlar. Belirlenen değerlerin standartlardan yüksek olması burada yaşayan halkın sağlığı ile ilgili risk faktörünün olabileceğini göstermektedir. Ancak bu yargının kuvvetlendirilmesi için gerek tıbbi açıdan bir çalışmanın başlatılması gerekse yaşam alanlarının özellikle radon gazı açısından sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

Bölgenin çok önemli fay zonlarını içermesi, toprağın oluşumu nedeniyle doğal radyoaktiviteye sahip olması ve depremlerin önceden kestirilebilmesine yardımcı olabilmesi açısından; bu çalışmanın kapsamı daha genişletilerek ve daha uzun periyotlarda daha detaylı olarak devam ettirilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın devamı olması açısından yapılabilecek çalışmalar kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- a. Sivrice Fay Zonu üzerine, bu çalışmanın yapıldığı radon gözlem istasyonlarının dışında; yeni radon gözlem istasyonlarının kurulması ile çalışma alanının genişletilmesi mümkün olacaktır.
- b. Radon gözlem istasyonlarından alınan toprak ve su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi dışında; radyoizotop analizi yapılabilir.
- c. Sıcaklık, basınç, nem gibi atmosferik parametrelerin haricinde, başka atmosferik parametreler (yağış v.b) de ölçülerek sürekli toprak radon gazı çıkışları ile karşılaştırılarak değişimlerine bakılabilir.
- d. MEKASİS daha geliştirilerek, farklı atmosferik parametrelerin ölçümünde kullanılabilir.
- e. Bu çalışmada çevresel gama ölçümlerini yapmak için kullanılan; 1inç×1inç NaI(Tl) kristale sahip sintilasyon sayacı içeren Doz Hızı Ölçerin haricinde, filtreli gama sayıcıları kullanılarak havadaki gama seviyesini belirlemek için ölçümler yapılabilir.
- f. İstasyonların kurulu olduğu bölgeden, bitki örnekleri alınarak; bu örneklerin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerine bakılabilir.
- g. Fay zonu üzerinde olmayan bölgelerden toprak, su ve bitki örnekleri alınarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri belirlenip; çevresel gama ölçümleri yapılabilir ve elde edilen sonuçlar, aynı periyotta fay zonu üzerinde alınan örneklerden elde edilen veriler ile karşılaştırılabilir.

- h. Sivrice Fay Zonu üzerinde kurulan istasyonlarda kaydedilen toprak radon gazı çıkışlarının takibi daha uzun periyotlarda yapılarak; deprem oluşumu ile toprak radon gazı çıkışı arasındaki ilişkisinin daha net görülmesi sağlanabilir.
- i. Sivrice Fay Zonu üzerinde kurulu olan evlere detektörler yerleştirerek ev içi radon ölçümü yapılabilir ve fay hattı dışında yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırılabilir.
- j. Sivrice (Hazar) gölünden dip çamuru ve su örnekleri alınarak, gölün radyoaktif seviyesine bakılabilir ve elde edilen sonuçlar başka göllerde yapılan benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılabilir.
- k. Fay zonu üzerinde yaşayan halkın beslediği hayvanlardan elde edilen ürünlerin, bu hayvanların beslendiği bitkilerin ve yemlerinin radyoaktivite seviyesi belirlenerek; diğer bölgelerde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılabilir.

10. KAYNAKLAR

1. LAPP, R., E., ANDREWS, H., L., 1972, Fourth Edition, Nuclear Radiation Physics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Ccliffs, New Jersey
2. <http://www.radioactivitewaste.gov-au/PDF/factsheets/fact1> (03.03.2006)
3. <http://www.ans.org/pi/ps/docs/ps41> (11.04.2006)
4. YETKİNOĞLU, S., 1991, Batı Anadolu'da Yetişen Kekiklerde Radyoaktivite Araştırması, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bornova-İzmir
5. DİZER, M., 1991, Deprem, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul
6. ÖZMEN, B., 1995, Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesinde Kullanılan Yöntemler, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara
7. İNAN, S., AKGÜL, T., SEYİŞ, C., SAATÇILAR, R., BAYKUT, S., ERGİNTAV, S., BAS, M., 2008, Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity, J. Geophysical Res., 113, 1-15.
8. ÖZALPAN, A., 1980, Radyobioloji, İstanbul Üniversitesi Yayını, Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul
9. DEMİR, M., 2000, Nükleer Tıp Fiziği, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul
10. <http://www.bnl.gov/esd/99ser/appc> (18.03.2006)
11. KNOLL, G.F., 1979, Radiation Detection and Measurement, Wiley and Sons, New York
12. YENİÇAY, F., 1971, Çekirdek Fiziği, İkinci Cilt, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul
13. KAPLAN, I., 1969, Nuclear Physics, Third Printing, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts
14. YARAMIŞ, B., 1985, Nükleer Fizik Cilt-1, İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, İstanbul
15. YILMAZ, M., 1998, Çekirdek Fiziği, Balıkesir Üniversitesi Basımevi, Balıkesir
16. PATEL, S.B., 1991, Nuclear Physics-An Introduction, John Wiley&Sons, Wiley Eastern Limited, India
17. BOR, D., 2001, Radyasyon Deteksiyon ve Ölçüm Yöntemleri, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği, Ankara
18. ŞAHİN, Y., 1989, Çekirdek Fiziğinin Esasları, Bakanlar Matbaacılık, Erzurum
19. DURRANI, S.A., ILIĆ, R., 1997, Radon Measurements by Etched Track Detectors, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore

20. BAYKARA, O., 2005, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ
21. www.mvsengineering.com/chapter13
22. DENAGBE, S.J., 2000, Radon-222 Concentration in Subsoil and its Exhalation Rate from a Soil Sample, Radiation Measurements, 32, 27-34
23. www.nj.gov/dep/rpp/radon/download/jgainv4
24. ALKAN, H., GÖKSEL, S.A., 1975, Türkiye Kaplıca ve Maden Sularının Doğal Radyoaktiviteleri, Sularda Radon Tayini, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, T.B.T.A.K. V. Bilim Kongresi, İstanbul
25. VIÑAS, R., et al., 2004, Comparative Analysis of Continuous Radon Sensors in Underground Environments, Environmental Geology, 46, 1108-1117
26. TOUTAIN, J.P., 1999, Gas Geochemistry and Seismotectonics, A Review, Tectonophysics, 304, 1-27
27. BAYKARA, O., 2002, Nükleer Radyasyon Algılama Yöntemleriyle Deprem Olasılığının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, Elazığ
28. <http://interno.asap.um.maine.edu/physics/radiation/radon.htm>
29. www.teachengineering.com/collection/cub_/lessons/cub_air/cub_air_lesson09_radon
30. GARVER, E., BASKARAN, M., 2004, Effects of Heating on the Emanation Rates of Radon-222 from a Suite of Natural Minerals, Applied Radiation and Isotopes, 61, 1477-1485
31. DOĞRU, M., vd., 2008, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) Üzerinde Radon Gazı Hareketlerinin İzlenmesi, TÜBİTAK Projesi, Fırat Üniversitesi, Proje No: 104Y158
32. BOLT, B.A., 1993, Earthquake and Geological Discovery, W.H. Freeman and Company, New York, 182-191.
33. LEVY, M., SALVADORI, M., 1995, Deprem Kuşağı, Doğan Kitapçılık A.Ş., İstanbul
34. ŞİMŞEK, H., 1999, Deprem Bilgisi, Harp Akademisi Basımevi, İstanbul
35. sismo.deprem.gov.tr/DEPREM/DEPREMRAPORLARI (21.02.2007)
36. AKSOY, E., İNCEÖZ, M., KOÇYİĞİT, A., 2007, Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 319-338.
37. GÜROCAK, Z., 1993, Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ

38. AKSOY, E., TÜRKMEN, İ. ve TURAN, M., 2005. Tectonics and sedimentation in convergent margin basins:an example from the Tertiary Elazığ Basin, Eastern Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 25, 459-472.
39. GÜZEL, S., 1997, Krkky (Sivrice)- Karakaya Baraj Gölü Arasında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Jeolojik zellikleri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ
40. Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye.
41. BAYKARA, O., DOğRU, M., TAőDEMİR, B., 2006, Determination of Radium and Radon Concentrations in Some Rock Samples, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 1, Number: 2
42. ASP-2/2e Portable Radiation Monitor Technical Manual, Eberline Instruments, July 1995
43. Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter, Type 6001, NE Technology Limited, UK, 1994
44. 7286 Low Level Alpha Counter User Manual, Littlemore Scientific Eng. (ELSEC), UK, 1994
45. KLAHCI, F., 2005, Hazar Gl(Elazığ) Suyunun Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
46. www.epo.gov/waterscience/methods/method/files/900_0
47. DOğRU, M., vd., 2006, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Palu evresindeki Radon Gazı Hareketlerinin İzlenmesi, FBAP Projesi, Fırat Üniversitesi, Proje No: 915
48. TURK, M., VOLARIĆ, B., ANTOLKOVIĆ, B., 1996, Radon Activity Concentration in the Ground and Its Correlation with the Water Content of the Soil, Appl. Radiat. Isot., 47, No 3, 377-381
49. KLAHCI, F., et al.,2009, Artificial neural network model for earthquake prediction with radon monitoring, Applied Radiation and Isotopes, 67, 212-219
50. ZMAZEK, B., et al., 2005, Radon in Soil Gas: How to Identify Anomalies Caused by Earthquakes, Applied Geochemistry, 20, 1106-1119
51. ZMAZEK, B., et al., 2003, Application of Decision Trees to the Analysis of Soil Radon Data for Earthquake Prediction, Applied Radiation and Isotopes, 58, 697-706
52. FUJIYOSHI, R., et al., 2005, Variation of ²²²Rn Activity Concentration in Soil Gas at a Site in Sapporo, Japan, Environmental Geochemistry and Health, 27, 539-547
53. ZMAZEK, B., et al., 2000, Radon Monitoring for Earthquake Prediction in Slovenia, Fizika B (Zagreb), 3, 111-118

54. YANG, T.F., et. al., 2005, Variations of Soil Radon and Thoron Concentrations in a Fault Zone and Prospective Earthquakes in SW Taiwan, *Radiation Measurements*, 40, 496-502
55. AL-BATAINA, B.A., AL-TAJ, M.M., ATALLAH, M.Y., 2005, Relation Between Radon Concentrations and Morphotectonics of the Dead SEa Transform in Wadi Araba, Jordan, *Radiation Measurements*, 40, 539-543
56. ZMAZEK, B., et al., 2002, Soil Radon Monitoring in the Krško Basin, Slovenia, *Applied Radiation and Isotopes*, 56, 649-657
57. KARAHAN, G., 1997, İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul
58. BECK, H.L., 1982, The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-P2, p. 101-104
59. BAYKARA, O., DOĞRU, M., İNCEÖZ, M., AKSOY, E., 2005, Measurements of Radon Emanation from Soil Samples in Triple-Junction of the North and East Anatolian Active Fault Systems in Turkey. *Radiat. Meas.*, 39, 209–212.
60. İNCEÖZ, M., BAYKARA, O., AKSOY, E., 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, *Radiat. Meas.*, 41, 349–353
61. YANG, Y., WU, X., JIANG, Z., WANG, W., LU, J., LIN, J., WANG, L.M., HSIA, Y., 2005, Radioactivity Concentrations in Soil of the Xiazhuang Granite Area, China. *Appl. Radiat. Isot.*, 63, 255–259
62. BAYKARA, O., 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
63. VIÑAS, R., et al., 2004, Comparative Analysis of Continuous Radon Sensors in Underground Environments, *Environmental Geology*, 46, 1108-1117
64. UNSCEAR, 1993, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York
65. CANBAZOĞLU, C., 2004, Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
66. HARTMANN, J., 2005, Difference Information Criterion for the Analysis of a Seismotectonic Influence on a Radon Time-Series at the KSM Site, Japan, *Geophys. J. Int.*, 160, 891-900

67. TANSI, C., et al., 2005, Interpretation of Radon Anomalies in Seismotectonic and Tectonic-Gravitational Settings: the South-Eastern Crati Graben (Northern Calabria, Italy, *Tectonophysics*, 396, 181-193

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini yine Elazığ'da tamamladıktan sonra, 2001 yılında Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında nükleer fizik anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı üniversitede ve anabilim dalında 2004 yılında doktora öğrenimine başladı.

EK-1**Ekim 2007'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
01.10.2007	18:09:02.21	38.4038	39.3180	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.10.2007	04:37:58.10	38.4948	39.2852	06.6	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.10.2007	10:12:21.18	38.3543	38.6837	07.0	2.3	KALE-MALATYA
04.10.2007	19:18:36.29	38.3198	39.0727	07.0	2.9	DOĞANYOL-MALATYA
07.10.2007	00:27:38.42	38.3305	39.2518	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
07.10.2007	18:46:30.62	38.3165	39.2483	05.0	2.9	ÇÜNGÜŞ-DİYARBAKIR
08.10.2007	10:00:59.52	38.3423	38.6958	07.2	2.6	KALE-MALATYA
09.10.2007	19:24:28.51	38.5565	39.5600	07.0	2.7	MADEN-ELAZIĞ
10.10.2007	20:04:18.47	38.3065	38.8200	07.0	2.6	PÜTÜRGE-MALATYA
11.10.2007	01:35:17.07	38.3988	39.3672	06.9	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.10.2007	23:58:40.08	38.5697	38.9805	07.0	-	MERKEZ-ELAZIĞ
15.10.2007	08:25:31.44	38.3738	39.2537	05.8	3.3	SİVRİCE-ELAZIĞ
15.10.2007	08:28:05.93	38.3823	39.2675	07.0	2.5	SİVRİCE-ELAZIĞ
15.10.2007	22:21:39.76	38.4315	39.2298	07.0	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.10.2007	16:57:51.80	38.4943	39.2570	05.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.10.2007	22:33:24.61	38.5932	39.7102	07.0	2.6	MERKEZ-ELAZIĞ
17.10.2007	22:50:00.05	38.3552	38.9998	07.1	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
18.10.2007	08:52:36.99	38.3412	38.6920	06.8	2.3	KALE-MALATYA
19.10.2007	22:51:49.34	38.4045	39.0232	13.4	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
20.10.2007	20:01:12.78	38.3935	39.1233	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.10.2007	01:40:56.68	38.3812	39.2683	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.10.2007	20:59:15.70	38.3358	38.9178	07.0	2.6	PÜTÜRGE-MALATYA
22.10.2007	12:10:32.45	38.3540	38.6815	07.0	2.7	KALE-MALATYA
23.10.2007	08:21:04.72	38.3770	39.4000	06.8	2.8	MADEN-ELAZIĞ
23.10.2007	12:36:25.99	38.3248	38.5323	07.0	2.4	MERKEZ-MALATYA
29.10.2007	16:54:30.07	38.3622	39.3555	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	12:11:14.44	38.4710	39.0222	06.8	2.8	MERKEZ-ELAZIĞ
30.10.2007	15:24:04.35	38.3846	39.0271	02.4	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	15:25:26.01	38.3843	38.9993	07.1	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	15:37:14.56	38.3597	39.0105	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	20:05:22.30	38.3996	39.2994	05.6	3.3	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	20:06:14.01	38.3923	39.3246	10.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	20:14:07.01	38.4018	39.3069	04.7	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	20:16:16.82	38.4090	39.3318	07.0	3.2	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.10.2007	20:31:48.47	38.4107	39.3183	07.0	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ

EK-2**Kasım 2007'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyük­lük Md	Yer
04.11.2007	22:37:41.52	38.4035	39.3712	07.0	2.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
05.11.2007	02:36:31.93	38.8123	39.0323	07.2	2.3	MERKEZ-ELAZIĞ
06.11.2007	10:12:50.41	38.3608	38.6515	07.0	2.5	MERKEZ-MALATYA
07.11.2007	02:36:54.17	38.4193	39.0907	06.6	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
07.11.2007	02:39:22.53	38.4070	39.0507	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
07.11.2007	18:46:34.04	38.3148	39.2337	06.8	2.5	ÇÜNGÜŞ-DİYARBAKIR
07.11.2007	21:42:10.82	39.0658	39.6973	08.4	2.3	MAZGİRT-TUNCELİ
08.11.2007	01:16:40.17	38.3877	39.2677	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
08.11.2007	03:08:50.58	38.3888	39.3293	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
08.11.2007	19:15:28.69	38.3457	38.9575	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
09.11.2007	08:24:18.34	38.7033	40.1692	07.0	2.8	PALU-ELAZIĞ
10.11.2007	11:58:02.03	38.3460	38.6845	06.9	2.5	KALE-MALATYA
13.11.2007	05:09:26.80	38.3493	38.9520	07.4	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
15.11.2007	07:23:32.11	38.8605	40.1422	07.0	2.4	KOVANCILAR-ELAZIĞ
15.11.2007	15:02:15.84	38.4075	39.0722	07.0	2.2	SİVRİCE-ELAZIĞ
15.11.2007	23:52:26.12	38.4122	39.1005	07.0	2.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.11.2007	00:07:20.33	38.3012	39.3148	05.8	2.1	ÇÜNGÜŞ-DİYARBAKIR
16.11.2007	00:08:07.62	38.3972	39.0860	07.0	1.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.11.2007	17:30:46.94	38.3313	38.9540	07.0	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
17.11.2007	01:17:50.18	38.3762	39.2620	07.8	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
19.11.2007	12:49:00.10	38.5352	39.3360	07.0	2.4	MERKEZ-ELAZIĞ
20.11.2007	03:24:31.08	38.4473	39.1805	07.2	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
20.11.2007	04:11:16.70	38.4022	39.1445	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
20.11.2007	11:31:05.42	38.3038	39.3238	02.5	2.8	ÇÜNGÜŞ-DİYARBAKIR
20.11.2007	23:56:45.83	38.4103	39.2338	13.1	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
23.11.2007	01:55:52.04	38.5822	39.5945	07.0	3.2	MADEN-ELAZIĞ
23.11.2007	18:19:27.71	38.5801	39.9540	27.7	3.0	PALU-ELAZIĞ
27.11.2007	01:46:59.84	38.4913	39.2615	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
27.11.2007	17:30:33.91	38.3725	39.0402	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
28.11.2007	11:49:57.37	38.7268	38.9252	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
30.11.2007	14:33:28.79	38.6620	39.9932	03.0	2.9	PALU-ELAZIĞ
30.11.2007	14:48:46.60	38.5137	39.7128	06.7	2.8	MADEN-ELAZIĞ

EK-3**Aralık 2007'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
01.12.2007	16:33:35.02	38.2303	38.6518	10.6	2.3	MERKEZ-MALATYA
02.12.2007	01:34:23.26	38.2995	39.1940	01.8	2.5	ÇÜNGÜŞ-DİYARBAKIR
04.12.2007	02:37:10.61	38.2522	38.7975	07.0	2.1	PÜTÜRGE-MALATYA
04.12.2007	06:43:54.47	38.3573	38.8875	14.3	3.1	PÜTÜRGE-MALATYA
09.12.2007	02:23:24.35	38.4232	38.2977	07.0	2.7	BATTALGAZİ-MALATYA
10.12.2007	16:38:50.48	38.8333	39.0572	07.0	2.9	MERKEZ-ELAZIĞ
15.12.2007	05:30:44.29	38.3570	39.1415	07.0	2.5	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.12.2007	05:03:15.66	38.4542	39.1263	14.8	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
16.12.2007	12:55:08.27	38.5847	38.6853	07.0	2.7	BASKİL-ELAZIĞ
22.12.2007	11:27:08.43	38.4818	38.9085	07.6	2.6	BASKİL-ELAZIĞ
22.12.2007	11:32:55.89	38.4417	39.0435	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
22.12.2007	17:47:37.58	38.3970	39.0587	07.1	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
25.12.2007	14:28:54.46	38.4107	39.0867	07.1	3.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
26.12.2007	08:04:14.85	38.4168	39.0242	11.8	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
26.12.2007	17:14:30.20	38.4235	39.1578	04.3	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
29.12.2007	19:49:16.89	38.3842	39.0648	07.0	2.1	SİVRİCE-ELAZIĞ

EK-4**Ocak 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
02.01.2008	06:52:27.58	38.3910	39.1127	07.0	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
02.01.2008	10:10:33.28	38.4060	39.0740	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.01.2008	03:59:26.61	38.3715	39.0938	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.01.2008	13:10:27.31	38.6422	38.9873	07.0	2.5	MERKEZ-ELAZIĞ
07.01.2008	05:18:43.11	38.4017	39.0700	07.3	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
10.01.2008	01:25:55.57	38.3955	39.0730	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
12.01.2008	00:18:42.37	38.3858	39.0303	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.01.2008	01:50:35.47	38.4295	39.1445	05.2	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.01.2008	08:11:25.25	38.4370	39.0915	14.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.01.2008	14:20:26.14	38.6568	39.1320	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
15.01.2008	15:23:30.01	38.7338	39.0865	09.8	2.8	MERKEZ-ELAZIĞ
18.01.2008	02:00:24.74	38.3553	39.0508	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
19.01.2008	03:17:24.03	38.3887	39.0088	07.0	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
19.01.2008	04:07:09.30	38.4343	38.9227	07.0	2.4	BASKİL-ELAZIĞ
19.01.2008	07:32:20.32	38.3857	39.1405	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.01.2008	02:28:01.78	38.4113	38.9460	07.2	2.1	BASKİL-ELAZIĞ
21.01.2008	03:48:51.66	38.2398	38.8413	07.0	2.2	PÜTÜRGE-MALATYA
21.01.2008	12:38:29.60	38.3502	39.0388	07.0	2.5	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.01.2008	12:52:57.72	38.3512	39.0253	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.01.2008	15:33:26.60	38.3652	39.0317	07.0	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
22.01.2008	15:49:21.99	38.2622	38.8505	07.0	2.6	PÜTÜRGE-MALATYA
25.01.2008	16:37:49.74	38.2160	38.8300	07.0	1.9	PÜTÜRGE-MALATYA
26.01.2008	03:43:53.91	38.4717	38.9087	07.0	1.9	BASKİL-ELAZIĞ
27.01.2008	09:15:21.03	38.2408	39.0368	07.0	2.1	DOĞANYOL- MALATYA
28.01.2008	00:55:55.03	38.4555	39.1728	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
29.01.2008	02:59:54.30	38.2737	38.8063	06.8	2.5	PÜTÜRGE-MALATYA
30.01.2008	06:19:25.43	38.4282	39.1122	09.8	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
31.01.2008	14:07:17.46	38.5427	39.0160	15.3	3.5	MERKEZ-ELAZIĞ

EK-5

Şubat 2008'ye Ait Deprem Listesi

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
01.02.2008	16:20:07.53	38.3693	39.1105	07.0	2.2	SİVRİCE-ELAZIĞ
01.02.2008	19:48:42.27	38.4500	39.1095	16.6	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
02.02.2008	16:49:57.59	38.6898	39.9650	16.2	3.1	PALU-ELAZIĞ
03.02.2008	13:07:43.85	38.3915	39.0910	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.02.2008	15:45:10.85	38.3545	39.2538	06.6	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
03.02.2008	22:01:43.24	38.3492	38.9272	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
04.02.2008	09:28:13.34	38.4073	39.1378	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
04.02.2008	22:22:14.51	38.3227	38.7760	07.0	2.1	KALE-MALATYA
05.02.2008	09:00:35.69	38.4878	39.1565	06.7	3.1	MERKEZ-ELAZIĞ
05.02.2008	12:08:04.64	38.8785	40.1848	07.0	2.8	KOVANCILAR-ELAZIĞ
06.02.2008	13:23:33.59	38.7632	40.0514	11.8	3.2	KOVANCILAR-ELAZIĞ
08.02.2008	13:14:50.49	38.2992	39.0220	07.0	3.0	DOĞANYOL-MALATYA
09.02.2008	04:28:53.63	38.4338	38.9383	03.3	2.5	BASKİL-ELAZIĞ
09.02.2008	09:06:01.69	38.7295	39.2672	06.8	2.8	MERKEZ-ELAZIĞ
10.02.2008	00:50:46.86	38.3832	39.3425	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.02.2008	03:36:20.71	38.4950	39.3147	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.02.2008	04:35:15.98	38.3612	39.0857	07.0	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.02.2008	06:33:24.23	38.3477	39.1052	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.02.2008	09:23:27.42	38.4638	39.2358	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
12.02.2008	04:41:21.77	38.4372	39.4140	07.0	2.1	MADEN-ELAZIĞ
12.02.2008	05:16:47.94	38.4283	39.2437	07.1	2.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.02.2008	00:58:43.86	38.3557	39.2703	06.8	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.02.2008	10:17:07.86	38.5257	39.5437	07.0	3.1	MADEN-ELAZIĞ
13.02.2008	12:59:10.96	38.8590	40.0902	06.8	2.8	KOVANCILAR-ELAZIĞ
13.02.2008	13:30:59.74	38.3263	38.9727	07.1	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.02.2008	14:00:31.78	38.3460	39.1067	06.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.02.2008	21:15:25.40	38.3990	39.0472	07.1	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
18.02.2008	05:00:31.58	39.0388	40.2892	07.3	2.6	MERKEZ-BİNGÖL
18.02.2008	19:57:28.40	38.4185	39.3558	07.0	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.02.2008	18:30:27.59	38.3582	39.0715	07.0	2.5	SİVRİCE-ELAZIĞ
23.02.2008	13:46:37.75	38.7547	40.2333	07.4	3.1	PALU-ELAZIĞ
23.02.2008	18:39:30.64	39.0834	40.1394	27.4	3.1	KARAKOÇAN-ELAZIĞ
25.02.2008	04:36:51.56	38.3817	39.1095	07.2	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
27.02.2008	13:31:01.69	38.6712	39.1450	06.9	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
27.02.2008	18:25:33.63	38.4283	39.2362	06.9	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ

EK-6**Mart 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
01.03.2008	00:26:31.48	38.3105	39.1960	07.0	2.8	ÇÜNGÜŞ-DIYARBAKIR
01.03.2008	00:32:16.54	38.3118	39.1930	05.0	2.8	SIVRICE-ELAZIG
02.03.2008	04:12:34.42	38.6028	38.9342	07.0	2.5	MERKEZ-ELAZIG
05.03.2008	06:24:24.67	38.2952	38.5265	06.7	2.6	MERKEZ-MALATYA
05.03.2008	07:15:14.12	38.4065	39.1280	07.0	2.3	SIVRICE-ELAZIG
06.03.2008	08:07:07.33	38.2598	38.7397	07.0	3.1	PÖTÜRGE-MALATYA
06.03.2008	08:10:40.63	38.2478	38.7500	07.0	2.5	PÖTÜRGE-MALATYA
06.03.2008	09:48:59.85	38.3323	38.6955	05.6	3.4	KALE-MALATYA
08.03.2008	14:56:24.42	38.3565	38.9267	07.0	2.7	SIVRICE-ELAZIG
10.03.2008	14:33:14.50	38.6843	39.0722	07.0	2.2	MERKEZ-ELAZIG
10.03.2008	14:52:06.26	38.6745	38.9548	07.0	2.6	MERKEZ-ELAZIG
11.03.2008	06:58:55.76	38.2837	38.8605	07.0	2.9	PÖTÜRGE-MALATYA
12.03.2008	00:30:09.68	38.3560	39.0558	07.0	2.8	SIVRICE-ELAZIG
13.03.2008	11:52:31.12	38.3507	38.9683	07.0	2.6	SIVRICE-ELAZIG
14.03.2008	01:08:43.64	38.4213	39.1503	07.0	2.5	SIVRICE-ELAZIG
15.03.2008	21:21:39.20	38.3423	38.8782	14.2	2.8	PÖTÜRGE-MALATYA
17.03.2008	02:22:49.00	38.3025	38.2715	07.0	2.4	MERKEZ-MALATYA
18.03.2008	01:29:07.31	38.2455	38.8090	07.0	2.9	PÖTÜRGE-MALATYA
20.03.2008	06:36:05.14	38.4013	39.1053	07.0	2.3	SIVRICE-ELAZIG
25.03.2008	01:17:12.52	38.4215	39.1225	07.3	3.3	SIVRICE-ELAZIG
26.03.2008	01:17:32.06	38.3998	39.1155	07.0	2.8	SIVRICE-ELAZIG
26.03.2008	09:49:18.83	38.3462	38.9907	07.0	2.9	SIVRICE-ELAZIG
26.03.2008	22:57:11.88	38.3445	38.9162	07.1	2.8	PÖTÜRGE-MALATYA
27.03.2008	10:10:18.85	38.3145	38.7115	05.5	2.3	MERKEZ-MALATYA

EK-7**Nisan 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
07.04.2008	10:03:34.95	38.4920	39.8093	07.0	2.7	ALACAKAYA-ELAZIĞ
11.04.2008	00:22:32.47	38.5215	39.6757	16.3	3.5	MADEN-ELAZIĞ
11.04.2008	23:34:09.44	38.3483	39.3137	06.9	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.04.2008	04:06:43.75	38.3258	38.9747	07.0	2.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.04.2008	11:35:24.38	38.3997	38.8820	07.0	2.9	BASKİL-ELAZIĞ
15.04.2008	00:23:57.42	38.3663	38.9945	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
15.04.2008	09:22:32.13	38.3413	38.6925	06.7	2.7	KALE-MALATYA
16.04.2008	06:44:46.31	38.4743	38.9840	07.1	3.1	MERKEZ-ELAZIĞ
17.04.2008	16:26:36.55	38.6752	39.9815	11.5	3.0	PALU-ELAZIĞ
18.04.2008	17:17:50.64	38.3867	39.0877	07.0	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
19.04.2008	03:54:49.67	38.2623	38.8095	11.1	2.9	PÜTÜRGE-MALATYA
20.04.2008	04:15:59.02	38.4775	39.1630	14.9	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
26.04.2008	20:32:27.65	38.4193	39.1298	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
27.04.2008	14:22:41.55	38.2750	38.8645	07.0	2.7	PÜTÜRGE-MALATYA
30.04.2008	00:05:58.06	38.3550	39.0675	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
30.04.2008	04:23:00.14	38.3592	39.0563	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ

EK-8**Mayıs 2008’ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyük­lük Md	Yer
09.05.2008	02:44:38.08	38.3023	38.9990	07.0	2.3	DOĞANYOL-MALATYA
09.05.2008	03:18:41.35	38.4173	39.1250	04.6	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
09.05.2008	20:24:50.33	38.3545	38.8822	06.8	3.2	PÜTÜRGE-MALATYA
10.05.2008	12:48:24.08	38.5437	39.5070	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
10.05.2008	22:57:06.77	38.7578	40.0485	23.5	3.3	KOVANCILAR-ELAZIĞ
12.05.2008	13:16:26.77	38.3402	39.0752	07.0	2.3	DOĞANYOL-MALATYA
13.05.2008	12:57:25.42	38.3483	38.9348	10.8	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
13.05.2008	20:53:34.76	38.3510	38.9890	07.0	2.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.05.2008	00:17:14.82	38.3328	38.9122	07.0	2.1	PÜTÜRGE-MALATYA
16.05.2008	10:18:45.24	38.6747	39.7728	06.9	2.9	KOVANCILAR-ELAZIĞ
18.05.2008	20:39:25.36	38.3920	39.2598	07.0	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.05.2008	08:45:42.46	38.3115	38.7172	07.0	2.5	KALE-MALATYA
22.05.2008	00:49:03.35	38.4810	39.2752	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
22.05.2008	21:10:05.02	38.8810	40.0535	10.4	2.9	KARAKOÇAN-ELAZIĞ
22.05.2008	21:38:04.78	38.9060	40.0203	07.5	2.7	KARAKOÇAN-ELAZIĞ
23.05.2008	09:47:29.29	38.5143	39.5025	06.8	2.9	MADEN-ELAZIĞ
24.05.2008	05:23:17.00	38.6043	39.6568	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
25.05.2008	08:57:47.24	38.6355	38.8358	07.0	2.9	BASKİL-ELAZIĞ
25.05.2008	09:04:46.16	38.4382	38.6607	07.0	2.5	BASKİL-ELAZIĞ
27.05.2008	15:10:38.55	38.4850	39.6343	07.1	2.8	MADEN-ELAZIĞ
30.05.2008	13:48:32.06	38.7490	39.0375	07.0	2.5	MERKEZ-ELAZIĞ

EK-9**Haziran 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
04.06.2008	08:47:30.50	38.3310	38.6997	06.8	2.4	KALE-MALATYA
04.06.2008	12:57:23.74	38.4878	39.2310	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
05.06.2008	23:11:22.39	38.4873	38.6812	07.0	2.1	BASKİL-ELAZIĞ
07.06.2008	22:48:01.05	38.3218	38.8122	07.0	2.4	KALE-MALATYA
09.06.2008	08:51:42.07	38.3647	38.6625	07.0	2.6	KALE-MALATYA
09.06.2008	23:55:53.40	38.4960	39.2328	06.9	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
10.06.2008	15:16:06.39	38.6595	39.6732	06.9	3.5	MERKEZ-ELAZIĞ
11.06.2008	08:19:04.81	38.3888	39.0148	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.06.2008	00:16:13.31	38.3740	39.0125	07.5	2.5	SİVRİCE-ELAZIĞ
14.06.2008	08:48:45.15	38.3148	38.7000	11.9	2.4	MERKEZ-MALATYA
17.06.2008	10:32:17.30	38.7102	39.2760	07.0	3.1	MERKEZ-ELAZIĞ
19.06.2008	15:32:23.71	38.7362	39.4017	07.0	2.9	MERKEZ-ELAZIĞ
20.06.2008	03:04:13.19	38.3957	39.3325	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.06.2008	10:34:10.91	38.4638	39.0902	03.7	2.8	MERKEZ-ELAZIĞ
27.06.2008	23:39:27.85	38.3220	38.9722	07.2	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
28.06.2008	15:51:20.87	38.7308	40.2517	07.3	2.9	PALU-ELAZIĞ

EK-10**Temmuz 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
09.07.2008	17:00:32.12	38.3742	38.9373	07.0	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
10.07.2008	00:16:58.13	38.4707	39.3563	07.4	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.07.2008	08:41:53.34	38.3423	38.6852	06.6	2.4	KALE-MALATYA
11.07.2008	15:23:41.33	38.4273	39.3002	04.8	2.8	SİVRİCE-ELAZIĞ
12.07.2008	00:50:29.54	38.8212	40.3180	07.0	3.0	PALU-ELAZIĞ
14.07.2008	12:34:22.84	38.6498	39.8095	02.5	3.0	PALU-ELAZIĞ
17.07.2008	06:30:56.15	38.5563	39.3172	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
19.07.2008	08:49:50.83	38.3347	38.7117	07.0	2.3	KALE-MALATYA
20.07.2008	08:57:04.35	38.4492	39.3770	07.0	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
20.07.2008	17:04:02.18	38.3538	39.5473	05.0	3.4	MADEN-ELAZIĞ
20.07.2008	21:05:10.61	38.7685	40.2128	06.6	2.8	PALU-ELAZIĞ
21.07.2008	06:42:22.02	38.3223	38.9900	07.0	2.4	DOĞANYOL-MALATYA
22.07.2008	08:40:25.84	38.3478	38.6975	07.0	2.6	KALE-MALATYA
23.07.2008	15:07:39.46	38.7542	39.3820	07.0	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
24.07.2008	19:56:24.02	38.3967	39.1530	07.0	2.3	SİVRİCE-ELAZIĞ
28.07.2008	20:49:19.04	38.6102	39.6928	16.3	3.0	MERKEZ-ELAZIĞ

EK-11**Ağustos 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
06.08.2008	16:09:59.76	38.7697	39.1827	06.5	2.6	MERKEZ-ELAZIĞ
07.08.2008	16:18:26.66	39.0738	40.0257	07.0	2.6	KARAKOÇAN-ELAZIĞ
09.08.2008	08:26:54.11	38.3935	39.0557	06.2	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
11.08.2008	05:03:09.19	38.7705	39.1863	06.5	2.7	MERKEZ-ELAZIĞ
12.08.2008	13:37:17.12	38.3335	38.8512	07.2	3.4	PÖTÜRGE-MALATYA
14.08.2008	05:49:04.72	38.3355	38.7813	07.0	2.5	KALE-MALATYA
14.08.2008	14:43:11.69	38.3858	38.9968	17.1	3.0	SİVRİCE-ELAZIĞ
17.08.2008	05:56:03.25	38.3222	38.7977	07.2	3.2	KALE-MALATYA
17.08.2008	23:37:10.49	38.3535	39.1585	07.0	2.6	SİVRİCE-ELAZIĞ
19.08.2008	19:28:10.65	38.3483	39.0895	11.5	2.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
20.08.2008	05:24:42.67	38.3848	38.8723	03.8	2.3	BASKİL-ELAZIĞ
20.08.2008	08:35:47.08	38.3367	38.6908	07.0	2.5	KALE-MALATYA
20.08.2008	10:34:16.69	38.4147	38.9775	13.7	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.08.2008	12:05:42.75	38.4072	39.5698	09.8	2.6	MADEN-ELAZIĞ
21.08.2008	12:21:31.25	38.3225	39.2153	02.5	3.4	SİVRİCE-ELAZIĞ
21.08.2008	23:15:03.43	38.3857	39.2643	07.1	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
22.08.2008	00:48:46.51	38.3597	39.2643	03.9	3.3	SİVRİCE-ELAZIĞ
23.08.2008	11:31:22.68	38.4650	39.1435	01.7	3.2	SİVRİCE-ELAZIĞ
23.08.2008	12:15:54.02	38.4652	39.1453	07.0	2.9	SİVRİCE-ELAZIĞ
23.08.2008	18:39:24.62	38.8192	40.1523	07.0	2.9	KOVANCILAR-ELAZIĞ
25.08.2008	14:27:48.23	38.7570	40.3290	07.0	3.1	MERKEZ-BİNGÖL
26.08.2008	13:22:36.99	38.4292	39.1375	12.8	3.1	SİVRİCE-ELAZIĞ
26.08.2008	14:23:25.87	38.3648	39.1995	07.1	2.7	SİVRİCE-ELAZIĞ
26.08.2008	20:55:14.12	38.3487	38.7755	12.9	3.0	KALE-MALATYA
27.08.2008	06:50:54.04	38.3612	38.7770	07.0	2.4	KALE-MALATYA
30.08.2008	22:12:12.04	38.3650	38.8335	07.0	2.5	KALE-MALATYA

EK-12**Eylül 2008'ye Ait Deprem Listesi**

Tarih	Yerel Saat	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Odak Derinliği (Km)	Büyüklik Md	Yer
01.09.2008	08:39:16.07	38.3393	38.6853	06.8	2.6	KALE-MALATYA
02.09.2008	18:26:11.07	38.3487	39.1852	07.0	2.6	SIVRICE-ELAZIG
03.09.2008	05:04:35.52	38.3235	39.1908	07.0	2.5	SIVRICE-ELAZIG
03.09.2008	16:42:16.84	38.6462	39.6653	06.8	2.6	KOVANCILAR-ELAZIG
04.09.2008	03:03:14.26	38.8125	39.0082	06.9	2.9	MERKEZ-ELAZIG
05.09.2008	19:43:34.68	38.7133	39.1773	06.2	2.7	MERKEZ-ELAZIG
05.09.2008	19:55:29.62	38.7123	39.2228	06.2	2.6	MERKEZ-ELAZIG
06.09.2008	08:27:27.26	38.3265	38.7000	06.7	2.4	KALE-MALATYA
06.09.2008	21:52:22.16	38.3243	38.7792	07.0	2.7	KALE-MALATYA
08.09.2008	14:17:59.27	38.4028	39.1225	07.4	2.9	SIVRICE-ELAZIG
08.09.2008	14:37:22.91	38.6863	39.1845	06.8	2.8	MERKEZ-ELAZIG
10.09.2008	17:43:13.48	38.4668	38.9425	14.2	2.2	MERKEZ-ELAZIG
12.09.2008	15:37:08.49	38.6362	39.6882	07.2	3.1	MERKEZ-ELAZIG
13.09.2008	08:07:03.08	38.4305	39.2053	07.0	2.7	SIVRICE-ELAZIG
13.09.2008	12:00:32.13	38.7732	39.2618	03.5	2.5	MERKEZ-ELAZIG
13.09.2008	12:01:53.28	38.7063	39.1437	05.3	2.4	MERKEZ-ELAZIG
13.09.2008	12:03:52.62	38.7325	39.2745	09.1	2.7	MERKEZ-ELAZIG
17.09.2008	14:54:41.84	38.7895	39.2317	07.0	2.5	MERKEZ-ELAZIG
22.09.2008	13:50:59.90	38.7315	40.0195	06.8	2.8	KOVANCILAR-ELAZIG
23.09.2008	08:14:38.64	38.3203	38.8880	07.1	2.9	PÖTÜRGE-MALATYA
24.09.2008	01:57:14.74	38.3372	39.1637	07.0	2.7	SIVRICE-ELAZIG
29.09.2008	11:02:25.29	38.3655	38.8857	07.0	3.4	SIVRICE-ELAZIG
30.09.2008	10:12:09.92	38.3888	39.0337	20.5	2.9	SIVRICE-ELAZIG