



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**JEOLJİK, PEDOLOJİK VE ATMOSFERİK
KOŞULLARIN TOPRAK RADON GAZININ HAREKETİNE
ETKİLERİ**

Cemil SEYİS

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. M. Namık YALÇIN

II. Danışman

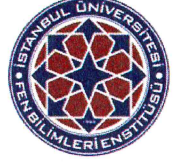
Doç. Dr. Sedat İNAN

Haziran, 2015

İSTANBUL



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

JEOLOJİK, PEDOLOJİK VE ATMOSFERİK
KOŞULLARIN TOPRAK RADON GAZININ HAREKETİNE
ETKİLERİ

Cemil SEYİS

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. M. Namık YALÇIN

II. Danışman

Doç. Dr. Sedat İNAN

Haziran, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 08/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından *Jeoloji Mühendisliği*
Anabilim Dalı *Jeoloji Mühendisliği* programında *Doktora Tezi* olarak kabul edilmiştir.

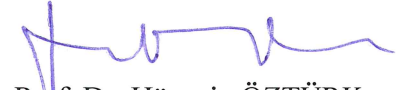
Tez Jürisi:




Prof. Dr. M. Namık YALÇIN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Mehmet KARACA
İstanbul Teknik Üniversitesi
Rektörlük



Prof. Dr. Hüseyin ÖZTÜRK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Mahmut DOĞRU
Bitlis Eren Üniversitesi
Rektörlük



Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Üniversite ve iş hayatımda hep yol göstermiş olan, gerek yüksek lisans ve gerekse bu doktora tez çalışmasında tez danışmanlık görevini kabul ederek çok değerli görüş ve katkılarını sunan, sabır ve emeklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. M. Namık Yalçın'a,

Tez konusunu öneren ve tezimin şekillenmesinde maddi-manevi tüm desteğini sunan, aynı zamanda tez çalışmamın ikinci danışmanlık görevini üstlenen, TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü eski Müdürü Sayın Doç. Dr. Sedat İnan'a,

Değerli görüş ve eleştirilerini esirgemeyen tez izleme komitesinden Sayın Prof. Dr. Mehmet Karaca ve Sayın Prof. Dr. Hüseyin Öztürk'e,

Hem yüksek lisans hem de doktora çalışmalarımda imkanlarını sunarak destek olan TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne, Enstitü eski Müdür Yardımcısı Prof. Dr. Semih Ergintav, Jeoloji Mühendisi Furkan Kulak, Doç. Dr. Onur Tan, Jeoloji Y. Müh. Fırat Duyğun, Levent Kurt, Hakan Yakan, Ersin Karakaş ve Salih Akar'a,

YDBE bünyesindeki toprak radon gazı ile ilgili çalışmaların 2001-2005 yılları arasında sürdürülmesinde destek olan İBB'ye ve başta Sayın Mahmut Baş olmak üzere tüm DEZİM çalışanlarına, 2005 yılı itibarı ile radon çalışmalarının Türkiye genelinde geniş bir alana yayılmasına ve tez çalışma önemli imkanlar sunan "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek - Ancak Tektonik Rejimleri Farklı – Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi'ni (TÜRDEP)" TARAL programı ile destekleyen TÜBİTAK'a ve tüm proje ortağı kurum ve çalışanlarına,

Matlab ile sinyal ayırma konusundaki destekleri için İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi'nden Sayın Prof. Dr. Tayfun Akgül ve TÜBİTAK BİLGEM'den Dr. Süleyman Baykut'a, Radon gazı konusundaki çeşitli katkıları için Bitlis Eren Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Mahmut Doğru ve Araş. Gör. M. Fatih Kuluoztürk'e, Gönen Sarıköy'de yer alan 7474-A kuyusunun kullanılmasına izin veren Balıkesir DSİ 25.'nci Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Eski Müdürü Dr. M. Turgut Safa'ya ve kurulum aşamasında desteklerini sunan Mehmet Emin Aydın Bey'e ve Sarıköy Belediyesi Fen İşleri Müdürü İsmail Hakkı Bostancıoğlu'na, XRD analizlerini titizlikle gerçekleştiren TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nden Sayın Dr. Esin Günay ve dane boyu ve kıvam limitleri analizlerinin yapıldığı Zemin Araştırma ve Mühendislik Arş.Ltd.Şti. ve çalışanlarına,

teşekkür ederim.

Tez çalışma süresince maddi manevi desteğini esirgemeyen eşim Beyza ve oğlum Yunus'a en içten sevgilerimi sunarım.

Haziran, 2015

Cemil SEYİS

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	xx
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xxii
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. AMAÇ.....	4
1.2. KAPSAM VE ÇALIŞMA ALANLARI	4
2. GENEL KISIMLAR	6
2.1. RADON GAZI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	6
2.1.1. Toprak Radon Gazı Nedir	6
2.1.1.1. Radon'un Keşfi ve Adlandırılması	10
2.1.1.2. Aktivite ve Konsantrasyon Birimleri	10
2.1.1.3. Radon'un Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	11
2.1.1.4. İzotopları.....	12
2.1.1.5. Bileşikleri	13
2.1.1.6. Radon Gazının Toprak İçindeki Hareket Mekanizması	13
2.1.2. Radon Gazı Ölçüm Yöntemleri.....	16
2.1.2.1. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri.....	17
2.1.2.2. Sintilasyon (Pırl dama) Dedektörleri.....	19
2.1.2.3. Katı Hal Yarı İletken Dedektörleri.....	20
2.1.3. Toprak Radon Gazına Dayalı Uygulamalar.....	23
2.1.3.1. Aktif veya Gömülü Fayların Saptanması Çalışmaları	23
2.1.3.2. Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesi.....	25
2.1.3.3. Volkan Patlamalarının Önceden Tahmin Edilmesi.....	28
2.1.3.4. Diğer Uygulamalar	28

2.2. TOPRAK RADON GAZI DEĞİŞİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERE AİT ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	30
2.2.1. Sıcaklık.....	31
2.2.2. Basınç.....	33
2.2.3. Yağış.....	34
2.2.4. Rüzgar.....	36
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	37
3.1. LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ.....	37
3.1.1. Dane Boyu Dağılımı, Atterberg Limitleri ve Organik Madde Miktarı.....	37
3.1.2. Mineralojik Bileşim Tayini (X-Işını Kırınım XRD Yöntemi).....	37
3.2. SAHA ÖLÇÜMLERİ.....	39
3.2.1. Toprak Radon Gazı.....	39
3.2.2. Toprak Nemi ve Sıcaklığı.....	41
3.2.3. Atmosferik Parametreler.....	44
3.2.4. Yeraltı Su Seviyesi.....	45
3.3. ÖLÇÜM LOKASYONLARI.....	47
3.3.1. Gebze İstasyonları.....	47
3.3.2. Armutlu İstasyonu (Jeotermal alan etkisi).....	53
3.3.3. Sarıköy İstasyonu (Yeraltı su seviyesi ilişkisi).....	55
4. BULGULAR.....	58
4.1. SAHA ÖLÇÜM VERİLERİ.....	58
4.1.1. Gebze Gözlem İstasyonları.....	60
4.1.2. Armutlu İstasyonu (Yalova).....	65
4.1.3. Sarıköy İstasyonu (Gönen).....	67
4.2. VERİLERİN ÖN ANALİZİ.....	70
4.2.1. Ham Veri Kontrolü.....	70
4.2.1.1. Radon Gazı.....	71
4.2.1.2. Toprak Nem.....	73
4.2.1.3. Hava Sıcaklığı.....	74
4.2.1.4. Hava Basıncı.....	76
4.2.1.5. Yağış.....	77
4.2.1.6. Rüzgar.....	78
4.2.2. İstatistiksel Özellikler.....	79
4.2.3. Günlük Ortalama.....	82
4.3. VERİLERİN İLERİ ANALİZİ.....	84

4.3.1. Saçılım Grafikleri.....	84
4.3.1.1. Gebze İstasyonları.....	84
4.3.1.2. Armutlu İstasyonu	85
4.3.1.3. Sarıköy İstasyonu	86
4.3.2. Görgül Kip Ayırıştırma (EMD) ve Korelasyon	87
4.3.2.1. Gebze İstasyonları.....	91
4.3.2.2. Armutlu İstasyonu	99
4.3.2.3. Sarıköy İstasyonu	103
4.3.2.4. EMD Analizi Neticesinde Elde Edilen IMF Bileşenleri Arasındaki Korelasyon Hesaplamaları	107
4.3.3. Türev (Fark Alma)	119
4.3.3.1. Gebze İstasyonları.....	121
4.3.3.2. Armutlu İstasyonu	125
4.3.3.3. Sarıköy İstasyonu	126
4.4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI.....	129
4.4.1. Pedolojik Koşullar.....	129
4.4.1.1. Zemin Özellikleri.....	129
4.4.1.2. Ölçüm Derinliği	132
4.4.1.3. Toprak Sıcaklığı	141
4.4.1.4. Toprak Nemi.....	148
4.4.2. Jeolojik Koşullar	154
4.4.2.1. Yeraltı Su Seviyesi.....	154
4.4.2.2. Jeotermal Koşullar.....	156
4.4.2.3. Depremsellik	158
4.4.3. Atmosferik Koşullar.....	170
4.4.3.1. Hava Sıcaklığı.....	171
4.4.3.2. Yağış.....	174
4.4.3.3. Hava Basıncı.....	176
4.4.3.4. Rüzgar	179
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	182
KAYNAKLAR.....	187
EKLER.....	200
EK A. Saçılım Grafikleri.....	200
EK B. XRD Çekim Grafikleri	222
ÖZGEÇMİŞ.....	225

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 2.1:** Doğal ve yapay kaynaklı radyasyonların oransal dağılım grafiği (NCRP, 2009)..... 6
- Şekil 2.2:** ²³⁸U radyoaktif bozunma serisi. U-Uranyum, Th-Toryum, Pa-Protaktinyum, Ra-Radyum, Rn-Radon, Po-Polonyum, Pb-Kurşun, Bi-Bizmut (IEC, 2006'den değiştirilerek). 7
- Şekil 2.3:** Radyoaktif bir çekirdeğin yarılanma ömrü ile ana izotop-ürün izotop arasındaki ilişki. 8
- Şekil 2.4:** Bir radyasyon kaynağından yayılan alfa, beta ve gama radyasyonlarının birbirlerine göre madde içine etki güçleri. Alfa parçacıkları büyük kütleleri nedeni ile ince bir kağıt levha ile durdurulabilmektedir. 9
- Şekil 2.5:** Küçük bir radyasyon kaynağından etrafa yayılan alfa parçacıklarına ait izlerin görünümü. Sis odası (cloud chamber) adı verilen, özel sıcaklık, doymunluk ve basınç koşullarına sahip bir ortam ile yüklü parçacıkların izledikleri yollar çıplak gözle görülebilir olması sağlanabilmektedir (Fotoğraf: J. Chadwick, Cavendish Laboratory). 9
- Şekil 2.6:** Radon'un sıcaklığa bağlı olarak sudaki çözünürlük değişimi (Clever, 1985). 12
- Şekil 2.7:** Radyum atomunun bozunması sırasında çekirdek içinden fırlayan alfa parçacığı bir yönde ve meydana gelen radon atomu bunun tam tersi yönünde hareket eder. Bu harekete alfa geri tepmesi (alpha recoil) adı verilmektedir (Otton ve diğ. 1993). 13
- Şekil 2.8:** Daneler içinde yer alan radon atomlarının serbest kalma prosesinin şematik gösterimi. Radon atomu A) dane içinde kalır, B) bitişikte başka daneye geçer, C) başka bir daneye isabet eder, D) gözenek boşluğunda serbest kalır, E) dane dışındaki gözenek suyunda hızını kaybederek suda kalır ve buradan difüzyon ile gözenek boşluğuna karışır, F) dane içi süreksizliklere ulaşır ve buradan daneyi terk eder (Kemski, 1996). 14
- Şekil 2.9:** Radon gazının toprak gibi gözenekli bir ortamda, basınç (P) ve konsantrasyon (C) gradyanlarına göre difüzyon ve adveksiyon ile taşınmasının şematik gösterimi (van der Pal, 2003)..... 15
- Şekil 2.10:** Radon gazının salınım ve göç mekanizmasının şematik gösterimi (Kemski, 1996)..... 16
- Şekil 2.11:** Toprak zemine gömülen bir nükleer iz dedektörünün şematik gösterimi. Dedektörü meydana getiren film parçası, alt ucu açık veya filtreli, ters koni şeklinde plastik bir kap içinde tavana yapıştırılır ve toprağa gömülür. Plastik bir kabın içinde kullanılması ile, dedektöre sadece gaz formunda ulaşabilen alfa ışımalarının (radon gazının) iz bırakması sağlanmaya çalışılır (Lindmark ve Rosen, 1985). 17

Şekil 2.12: Büyük kütleli alfa parçacıklarının bir katı hal nükleer iz dedektörü (CR-39) üzerinde meydana getirmiş olduğu izlerin optik mikroskop altındaki görüntüsü.	18
Şekil 2.13: Nükleer iz dedektörlerini saymak için optik mikroskop ve bilgisayardan oluşan otomatik ölçüm sistemi (Track Analysis Systems Ltd).	18
Şekil 2.14: Bir sintilasyon dedektörünün çalışma prensibini gösteren şema. Sintilatöre giren iyonlaştırıcı radyasyon önce ışık fotonları ve ardından da ölçülebilir bir akım meydana getiren elektronlara dönüştürülür (Miglerini, 2004).	20
Şekil 2.15: Yarı iletken silikon dedektörleri.	20
Şekil 2.16: Yüklü bir parçacığın yarı iletken dedektörünün içinden geçerken oluşan elektron-deşik (electrons-holes) çiftleri. Radyasyon ile meydana gelen bu çiftler, dedektör içinde ölçülebilecek bir akım meydana getirmektedir (Miglerini, 2004).	21
Şekil 2.17: Radon gazı ölçüm cihazının toprak içinde farklı konuşlandırma şekilleri. Sol tarafta ölçüm cihazı açılan bir kuyu içinde yere indirilmekte ve üstü kapatılmaktadır. Sağ tarafta ise açılan kuyu cihaz tepesine kadar tekrar toprak ile örtülmektedir (Thomas ve diğ., 1992).	22
Şekil 2.18: Mısır'da yapılan bir çalışmada, aktif bir fayı diklemesine kesen bir profil boyunca farklı dönemlerde ölçülmüş toprak radon gazı konsantrasyonları. a) 7 Mayıs 2001, b) 1 Kasım 2001 ve b) 12 Haziran 2006 tarihlerinde alınmış ölçümleri göstermektedir. Her üç farklı dönemde alınmış ölçümlerde de maksimum radon konsantrasyonu fay yeri ile kesişmektedir. (Moussa, El Arabi, 2003).	24
Şekil 2.19: Kuzey Yunanistan'da yer alan Almopia fayının topoğrafik kesit üzerindeki görünümü ve bu faya dik bir şekilde alınan toprak radon gazı ölçüm sonuçlarına ait grafik. Radon gazı ölçümleri iki farklı dönemde gerçekleştirilmiş ve iki ayrı çizgi halinde işaretlenmiştir. Faylanmanın olduğu alanlarda radon gazının da pikler verdiği görülmektedir (Ioannides et al., 2003).	24
Şekil 2.20: Çin'in Fuzhou kentinde bir profil boyunca toprak gazındaki radon ve cıva konsantrasyon değişimleri grafikte görülmektedir. Grafiğin altında, aynı profil boyunca sığ sismik ile elde edilmiş faylar görülmektedir. Toprak gazındaki anomaliler ile faylanmaların birbirleriyle tam uyumlu olduğu açıkça görülmektedir (Wang et al., 2006).	25
Şekil 2.21: Faylanmaların olduğu bir bölgede birden fazla toprak radon profil ölçümlerinde elde edilen sonuçların şematik gösterimi. Şekilde görüldüğü üzere, farklı ölçüm profillerinin süresizliklere denk gelen yerlerinde radon konsantrasyonları belirgin artışlar sergilemektedir (Kemski, 1993).	25
Şekil 2.22: Taşkent'te 1956 yılı ile 1967 yılları arasında yeraltı su örneklerinden ölçülen radon konsantrasyon değerlerinin zamana bağlı grafiği. 1966 yılında meydana gelen deprem (M=5.3) aktivitesi öncesinde radon gazında uzun süreli ve belirgin bir artış ve deprem sonrası belirgin bir düşüş izlenmektedir (Ulumov ve Mavashev, 1971).	26
Şekil 2.23: Kosta Rika'da yer alan Arenal volkan konisinde yapılan toprak radon gazı konsantrasyon ölçümlerinin zaman bağlı grafiği. 24-26 Mart 2001 tarihinde meydana gelen lav akıntısı öncesinde toprak radon gazı konsantrasyonunda belirgin bir artış ve ardından azalış gözlenmiştir (Vindas, et al., 2002).	28

Şekil 2.24: Toprak sıcaklığına bağlı olarak radon emanasyon (yayınım) değerlerinin değişimi. İki değer arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğru orantılı bir ilişki vardır (İskandar ve diğ., 2004).	32
Şekil 2.25: Toprak zemin içinde 10, 40 ve 90 cm derinliklerinde radon gazının artan basınç ile ilişkisi. Artan basınç ile beraber her seviyede de bir azalma mevcuttur (Israelsson, 1980'den grafiklenerek).	33
Şekil 2.26: Toprak altında (1.5 m) saatlik radon gazı ile barometrik basınç (ters) değişimi. Burada radon gazı ile barometrik basınç arasında büyük bir uyum izlenmektedir (Thomas ve diğ., 1992).	33
Şekil 2.27: Toprağın 3 farklı derinliğinde ölçülen saatlik radon gazı değerlerinin zamanla değişimi. Şekilde yağış miktarı ve barometrik basınç değişimi görülmektedir. Özellikle 0.5 ve 1.3 metre derinlikte yağış sonrası radon gazında belirgin bir artış izlenmiştir (Thomas ve diğ., 1992).	35
Şekil 2.28: Bir bina çevresinde rüzgar etkisi ile meydana gelen türbülanslar ve toprak zemin içinde meydana getirdikleri pozitif veya negatif basınç etkileri (US EPA, 1988/89).	36
Şekil 2.29: Toprak zemin içinde 10, 40 ve 90 cm derinliklerinde radon gazının artan rüzgar hızı ile olan ilişkisi. Artan rüzgar hızı ile beraber radon gazı seviyesinde bir azalım mevcuttur (Israelsson, 1980'den grafiklenerek).	36
Şekil 3.1: XRD yönteminin şematik gösterimi (Cihaz broşüründen değiştirilerek).	38
Şekil 3.2: Kesintisiz toprak radon gazı ölçüm cihazı (Alpha Nuclear: AlphaMeter-611).	40
Şekil 3.3: 10 adet toprak radon gözlem cihazının toprak dolu bir kap içinde test edilmesi neticesinde elde edilen kontrol grafikleri. Tüm cihazlar 5-15 alfa ışınması /15 dakika aralığında yoğunlaşan birbirine benzer değerler ölçmüştür.	41
Şekil 3.4: Decagon firmasına ait a) Em5b tipi veri kayıtcı, b) ECH ₂ O EC-5 modeli kapasitans tip toprak nem ve c) ECT modeli toprak sıcaklık sensörü.	42
Şekil 3.5: Toprak nem sensörlerinin nemli toprak, hava ve su içinde kontrol edilmesi işlemi. .	43
Şekil 3.6: 10 adet toprak nem sensörüne ait kontrol grafiği	44
Şekil 3.7: Otomatik meteoroloji gözlem cihazları (Rainwise firmasına ait a) MK-III ve b) Portlog)	45
Şekil 3.8: YAS ölçümü için tedarik edilen Şamandıralı tip limnigraf'ın çalışma prensibinin şematik gösterimi ve kurulum aşamasında ölçülen mesafeler.	46
Şekil 3.9: DSİ'ye ait olan 7474-A kuyusuna 08.05.2008 tarihinde kurulan Akım Elektronik marka ve OEL-104 model şamandıralı tip limnigraf, verilerin uzaktan erişilmesini mümkün kılmak için kullanılan GSM modem ve 12V 60A akü.	46
Şekil 3.10: Çalışma kapsamında Gebze, Armutlu (Yalova) ve Sarıköy (Gönen)'de kurulan istasyonların (sarı renkli daireler) lokasyon haritası. Kırmızı çizgiler bölgedeki aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).....	47
Şekil 3.11: Gebze istasyonları için seçilen alanda iş makinası vasıtası ile 4 adet çukurun açılması işlemi. Her bir çukur 60 cm genişliğinde ve 100 cm derinliğinde açılmıştır.	48

Şekil 3.12: Açılan çukurlara yüzeyden 80 cm ve 50 cm seviyelerine radon, toprak nem-sıcaklık sensörlerinin yerleştirilmesi.	48
Şekil 3.13: Gebze istasyonlarında kullanılan a) toprak radon ve b) toprak nem-sıcaklık sensörleri. Toprak radon gözlem cihazları toprak içine gömülmeden önce, eriyen bant (self amalgamating tape) adı verilen ve birbirine kaynayarak geçirimsiz bir kılıf haline gelen özel bantlar kullanılarak korunmaya alınmıştır c). Bu şekilde cihazların metalik dış yüzeyleri toprak altındaki yıpratıcı-kirletici etkilerden korunmaktadır.	49
Şekil 3.14: Gebze’de oluşturulan 4 istasyonluk test sahasının şematik gösterimi. Dört farklı zemini temsil eden ve birbirine çok yakın açılan 100 cm derinliğindeki her bir çukur içine 80 cm ve 50 cm derinliklerinde toprak radon gazı ve toprak nem-sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.	50
Şekil 3.15: Gebze’de yer alan 4 istasyona ait 8 adet radon cihazında ölçülen toprak radon verilerini kaydeden ve online erişime imkan veren sistem.	50
Şekil 3.16: Gebze istasyonlarının yer aldığı sahanın genel görünümü. 4 farklı zemini temsil eden çukurlar, veri kayıt ve online erişim ekipmanını içeren metal pano ve otomatik meteoroloji gözlem cihazı.	51
Şekil 3.17: Gebze istasyonlarının yer aldığı bölgenin jeoloji haritası (Gedik ve diğ. 2005’den değiştirilerek)	52
Şekil 3.18: Armutlu istasyonunun bulunduğu alanın jeoloji haritası (Tekin ve diğ., 1998’den değiştirilerek)	54
Şekil 3.19: Armutlu’da kurulan toprak radon gazı ve toprak sıcaklık-nem gözlem istasyonunun genel görünümü.....	54
Şekil 3.20: Armutlu’da kurulan meteoroloji gözlem sistemi.....	55
Şekil 3.21: Sarıköy-Gönen istasyonunun bulunduğu alanın jeoloji haritası (Akçay ve diğ., 2008’den değiştirilerek)	56
Şekil 3.22: Sarıköy’de kurulan toprak radon gazı ve toprak sıcaklık-nem gözlem istasyonunun genel görünümü. Bu istasyonda diğerlerinden farklı olarak DSİ’ye ait bir kuyuda kesintisiz yeraltı su seviye ölçümleri de yapılmıştır.	57
Şekil 4.1: Gebze Test Sahasında yer alan T1 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T150RA), toprak sıcaklık (T150TS), toprak nem (T150TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	60
Şekil 4.2: Gebze Test Sahasında yer alan T1 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T180RA), toprak sıcaklık (T180TS), toprak nem (T180TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	61
Şekil 4.3: Gebze Test Sahasında yer alan T2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T250RA), toprak sıcaklık (T250TS), toprak nem (T250TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	61

Şekil 4.4: Gebze Test Sahasında yer alan T2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T280RA), toprak sıcaklık (T280TS), toprak nem (T280TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	62
Şekil 4.5: Gebze Test Sahasında yer alan T3 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T350RA), toprak sıcaklık (T350TS), toprak nem (T350TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	62
Şekil 4.6: Gebze Test Sahasında yer alan T3 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T380RA), toprak sıcaklık (T380TS), toprak nem (T380TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	63
Şekil 4.7: Gebze Test Sahasında yer alan T4 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T450RA), toprak sıcaklık (T450TS), toprak nem (T450TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	63
Şekil 4.8: Gebze Test Sahasında yer alan T4 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T480RA), toprak sıcaklık (T480TS), toprak nem (T480TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	64
Şekil 4.9: Gebze Test Sahasında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (THS), hava basınç (THB), rüzgar hızı (TRH) ve rüzgar yön (TRY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	64
Şekil 4.10: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (AR80RA), toprak sıcaklık (AR80TS), toprak nem (AR80TN) ve yağış (ARYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	65
Şekil 4.11: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (AR80RA), 50 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklık (AR50TS) ile toprak nem (AR50TN) ve yağış (ARYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	66
Şekil 4.12: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (ARHS), hava basınç (ARHB), rüzgar hızı (ARRH) ve rüzgar yön (ARRY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	66
Şekil 4.13: Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (SA80RA), toprak sıcaklık (SA80TS), toprak nem (SA80TN) ve yağış (SAYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	67
Şekil 4.14: Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (SA80RA), 50 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklık (SA80TS) ile toprak nem (SA80TN) ve yağış (SAYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	68
Şekil 4.15: Sarıköy istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (SAHS), hava basınç (SAHB), rüzgar hızı (SARH) ve rüzgar yön (SARY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).	68

- Şekil 4.16:** Sarıköy istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen yeraltı su seviyesi (SAYAS) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama)..... 69
- Şekil 4.17:** Veri analiz aşamalarının şematik gösterimi. 69
- Şekil 4.18:** Gebze test sahasında parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. T=Test Sahası, 1,2,3,4= istasyon numaraları, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak Sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı. 70
- Şekil 4.19:** Armutlu istasyonunda parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. AR= Armutlu, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı. 71
- Şekil 4.20:** Gönen Sarıköy istasyonunda parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. SA= Sarıköy, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı, YAS= Yeraltı Suyu Seviyesi. 71
- Şekil 4.21:** Gebze test sahasında yer alan T1 istasyonunda 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş radon gazı değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Solda kesintili 50 cm veri seti (A), sağda ise enterpole edilmiş 50 cm veri seti (B) kullanılarak üretilen grafikler yer almaktadır. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir. 72
- Şekil 4.22:** 2010 yılı Ekim ayındaki yoğun yağışlar nedeniyle su altında kalan Sarıköy istasyonunun görüntüsü 73
- Şekil 4.23:** 01.05.2009-31.12.2009 tarihleri arasında Gebze Test sahasında kaydedilen (turuncu çizgi) ve DMİ'den temin edilen (kırmızı kesikli çizgi) Gebze'ye ait günlük ortalama sıcaklık verilerinin zaman serisi (üst grafik) ve saçılma diyagramı (alt grafik). 75
- Şekil 4.24:** Gebze Test sahası, Gönen Sarıköy ve Armutlu istasyonlarında, 06.01.2010-18.03.2010 tarihleri arasında kaydedilen barometrik basınç değerlerinin (günlük ortalama) zaman serisi (üst grafik) ve Gebze değerlerine göre Sarıköy ve Armutlu değerlerinin saçılma diyagramı (alt grafik). 77
- Şekil 4.25:** Gebze Test Sahasında kaydedilen yağış verisi (mavi sütun) ile T1 istasyonunda 50 cm'de kaydedilen toprak nem verisi (siyah çizgi) arasındaki değişim uyumunu gösteren grafik. 78
- Şekil 4.26:** Gebze T-2 (80cm) istasyonuna ait 15 dakika aralıklı toprak radon gazı zaman serisi (siyah noktalar) ve 15'e günlük zaman pencereleri halinde kayan ortalama (mavi çizgi) ile kayan standart sapma değerleri 81
- Şekil 4.27:** Gebze T-2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, 01.06.2009-15.06.2009 tarihleri arasında ölçülen 15 dakika aralıklı radon gazı verilerinin gün içi değişim grafiği. 82

Şekil 4.28: Gebze T-4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, 15.08.2009-01.09.2009 tarihleri arasında ölçülen 15 dakika aralıklı radon gazı verilerinin gün içi değişim grafiği.	82
Şekil 4.29: Gebze test sahasında kaydedilmiş olan bir toprak radon gazı zaman serisinin 15 dakika aralıklı (A) ve günlük ortalaması alınmış (B) grafikleri.....	83
Şekil 4.30: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.....	84
Şekil 4.31: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.	85
Şekil 4.32: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunun 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.....	85
Şekil 4.33: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunun 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.	86
Şekil 4.34: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunun 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.....	86
Şekil 4.35: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunun 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.	87
Şekil 4.36: EMD analizinin ana fikrinin şematik gösterimi. Soldaki şekilde yer alan kalın çizgili orjinal sinyal (a), aslında düşük frekanslı bir salınım (b) ile yüksek frekanslı bir salınımın (c) üst üste binmesinden meydana gelmektedir (Flandrin and Gonçelvels, 2004).	88
Şekil 4.37: Bir sinyal (siyah çizgi) üzerinde yerel en büyük (mavi noktalar) ve yerel en küçük (turuncu noktalar) noktaların bulunarak işaretlenmesi, noktaların birleştirilerek üst zarf (emax(t), mavi çizgi) ve alt zarf (emin(t), turuncu çizgi) elde edilmesi ve bu zarfların ortalaması alınarak ortalama sinyalin (m(t), pembe çizgi) elde edilmesi işlemi (Rilling, 2007).	89
Şekil 4.38: Üç bileşenli bir sinyalin örnek EMD analizi. Analiz edilen ve lineer olmayan salınımlara (osilasyonlara) sahip sinyal (a), aslında ayrıştırılan 3 IMF sinyalin (b, c ve d) toplamından meydana gelmektedir. En altta yer alan grafikte (e) ise, ana sinyalden 1, 2 ve 3. IMF'in çıkartılmasından arta kalan (residue) sinyal görülmektedir (Rilling et al., 2003).	90
Şekil 4.39: Gebze "T1 80 cm" istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	91
Şekil 4.40: Gebze "T1 80 cm" istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	92

Şekil 4.41: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	92
Şekil 4.42: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	93
Şekil 4.43: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	93
Şekil 4.44: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	94
Şekil 4.45: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	94
Şekil 4.46: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	95
Şekil 4.47: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	95
Şekil 4.48: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	96
Şekil 4.49: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	96
Şekil 4.50: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	97
Şekil 4.51: Gebze istasyonlarına ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	97
Şekil 4.52: Gebze istasyonlarına ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	98
Şekil 4.53: Gebze istasyonlarına ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	98
Şekil 4.54: Gebze istasyonlarına ait rüzgar hızı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	99
Şekil 4.55: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	99
Şekil 4.56: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	100
Şekil 4.57: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	100
Şekil 4.58: Armutlu istasyonuna ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).	101

Şekil 4.59: Armutlu istasyonuna ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	101
Şekil 4.60: Armutlu istasyonuna ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	102
Şekil 4.61: Armutlu istasyonuna ait rüzgar hızı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	102
Şekil 4.62: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	103
Şekil 4.63: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	103
Şekil 4.64: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	104
Şekil 4.65: Sarıköy istasyonuna ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	104
Şekil 4.66: Sarıköy istasyonuna ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	105
Şekil 4.67: Sarıköy istasyonuna ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	105
Şekil 4.68: Sarıköy istasyonuna ait rüzgar hızı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	106
Şekil 4.69: Sarıköy istasyonuna ait YAS zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).....	106
Şekil 4.70: Gebze T-2 (80cm) istasyonuna ait toprak radon verilerinin IMF bileşenlerine ait normal olasılık grafiği. Her bileşen farklı renkte (+) simgeleri ile çizdirilmiştir.	107
Şekil 4.71: Linner ilişki göstermeyen iki bağımlı değişken arasında hesaplanan Spearman ve Pearson korelasyon katsayıları.	108
Şekil 4.72: Bir dakikalık zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerlerinden oluşan örnek bir veri setine ait normal (A) ve türev grafikleri (B).	120
Şekil 4.73: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	121
Şekil 4.74: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	121
Şekil 4.75: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	121
Şekil 4.76: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	121

Şekil 4.77: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	122
Şekil 4.78: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	122
Şekil 4.79: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	122
Şekil 4.80: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	122
Şekil 4.81: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	123
Şekil 4.82: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	123
Şekil 4.83: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	123
Şekil 4.84: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	123
Şekil 4.85: Gebze istasyonlarına ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	124
Şekil 4.86: Gebze istasyonlarına ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	124
Şekil 4.87: Gebze istasyonlarına ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	124
Şekil 4.88: Gebze istasyonlarına ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	124
Şekil 4.89: Armutlu istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	125
Şekil 4.90: Armutlu istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	125
Şekil 4.91: Armutlu istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	125
Şekil 4.92: Armutlu istasyonuna ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	125
Şekil 4.93: Armutlu istasyonuna ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	126
Şekil 4.94: Armutlu istasyonuna ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	126
Şekil 4.95: Armutlu istasyonuna ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.....	126

Şekil 4.96: Sarıköy istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	126
Şekil 4.97: Sarıköy istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	127
Şekil 4.98: Sarıköy istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	127
Şekil 4.99: Sarıköy istasyonuna ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	127
Şekil 4.100: Sarıköy istasyonuna ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	127
Şekil 4.101: Sarıköy istasyonuna ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	128
Şekil 4.102: Sarıköy istasyonuna ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	128
Şekil 4.103: Sarıköy istasyonuna ait yeraltı suyu (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.	128
Şekil 4.104: Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Armutlu ve Gönen Sarıköy istasyonlarının dane boyu dağılımlarına göre USDA üçgen sınıflandırma grafiği (Soil Survey Staff, 1993).	130
Şekil 4.105: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen radon gazı değerlerinin ortak eksenli grafikleri.	133
Şekil 4.106: Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş radon gazı değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.	134
Şekil 4.107: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri kalın çizgi) ve 80 cm (siyah ince çizgi) derinliklerinde ölçülen radon gazı değerlerinin ayrı eksenli grafikleri.	136
Şekil 4.108: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen toprak sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi.	137
Şekil 4.109: Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş toprak sıcaklık değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.	138
Şekil 4.110: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen toprak nem değerlerinin zamana bağlı değişimi.	140

- Şekil 4.111:** Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x ekseni) ve 50 cm (y ekseni) derinliklerinde kaydedilmiş toprak nem değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir. 141
- Şekil 4.112:** Gebze T-2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi. 142
- Şekil 4.113:** Armutlu istasyonunda 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi. 142
- Şekil 4.114:** Armutlu istasyonu'nda 50 cm ve 80 cm derinliklerinde ölçülmüş toprak sıcaklığı zaman serisi. 143
- Şekil 4.115:** Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi. 143
- Şekil 4.116:** Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafikleri. 144
- Şekil 4.117:** Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile toprak sıcaklık (TS) değerlerinin türev (fark) grafikleri. 146
- Şekil 4.118:** Gebze T-2 istasyonunda 01.06.2010-30.06.2010 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri. 147
- Şekil 4.119:** Armutlu istasyonunda 15.01.2010-15.02.2010 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri. 147
- Şekil 4.120:** Sarıköy istasyonunda 10.10.2009-08.11.2009 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri. 147
- Şekil 4.121:** Gebze (T-2) Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak nem verileri arasındaki saçılım grafikleri. 148
- Şekil 4.122:** Gebze (T2) istasyonunda kaydedilen toprak radon gazı (siyah kalın çizgi) ve toprak nem (mavi kalın çizgi) verileri arasında tespit edilen yaklaşık 1 haftalık pozitif (A), 3 aylık pozitif (B) ve 6 aylık dönemden uzun negatif korelasyonların verideki karşılığını gösteren grafikler. 149
- Şekil 4.123:** Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile toprak nem (TN) değerlerinin türev (fark) grafikleri. 150
- Şekil 4.124:** Gebze (T-2) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri. 151

Şekil 4.125: Armutlu (AR) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri.	152
Şekil 4.126: Sarıköy (SA) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri.	153
Şekil 4.127: Sarıköy istasyonunda ölçülmüş olan toprak radon (siyah çizgi) ve yeraltı su seviyesi (YAS, mavi çizgi) değerlerine ait grafik. Pempe dörtgen negatif, yeşil dörtgen ise pozitif korelasyonun belirgin olduğu kısımları göstermektedir.....	154
Şekil 4.128: Sarıköy istasyonunda kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ile yeraltı su seviyesi (y eksen) verilerine ait saçılım grafiği. Kırmızı kesikli çizgi birinci dereceden polinom eğrisi ($r=0.45$), pempe dörtgen negatif, yeşil dörtgen ise pozitif korelasyonun belirgin olduğu kısımları göstermektedir.	155
Şekil 4.129: Sarıköy (SA) istasyonuna ait radon gazı (üstte) ile YAS (altta) değerlerine ait türev (fark) grafikleri.	156
Şekil 4.130: Armutlu (kırmızı çizgi) ve Gebze T2 (siyah çizgi) istasyonlarında ölçülen toprak radon değerlerine ait grafik (A). Uzun dönemsel değişimlerin daha belirgin görülebilmesi için EMD analizi neticesinde elde edilen ve yaklaşık 1 yıllık dönemsellikleri temsil eden ilgili IMF bileşenleri kesikli çizgiler şeklinde çizdirilmiştir (B).	157
Şekil 4.131: TÜRDEP projesi kapsamında işletilmiş, jeotermal özelliği olan Susurluk (kırmızı çizgi) ve jeotermal olmayan Uluabat (siyah çizgi) istasyonlarına ait 3 yıllık toprak radon gazı grafikleri (günlük ortalama).....	158
Şekil 4.132: TÜRDEP projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulmuş olan mikrosismoloji gözlem ağı (sarı üçgenler) ve 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen depremlere ait lokasyon dağılım (kırmızı daireler) haritası (Aktif Faylar: Şaroğlu ve diğ., 1992).....	159
Şekil 4.133: Deprem kataloğu üzerinde deprem şiddet formülünün uygulanması ile üç ölçüm lokasyonuna göre elde edilen zamana bağlı deprem şiddet grafikleri (A- Gebze, B- Armutlu, C- Gönen).	161
Şekil 4.134: Gebze (T-2) istasyonu için, 12.07.2009-09.11.2009 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 10.09.2009 tarihinde 2.5'lik lokal şiddet meydana getiren depremi göstermektedir.	162
Şekil 4.135: Armutlu istasyonu için, 12.04.2010-10.08.2010 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 11.06.2009 tarihinde 3.7'lik lokal şiddet meydana getiren deprem zamanını göstermektedir.	162
Şekil 4.136: Gönen istasyonu için, 09.06.2009-07.10.2009 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 08.08.2009 tarihinde 3.8'lik lokal şiddet meydana getiren deprem zamanını göstermektedir.	162
Şekil 4.137: Marmara Bölgesi'nde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen depremlerin zamana bağlı büyüklük grafiği. Bu dönemde 4 ve üzeri büyüklüğe sahip 8 deprem meydana gelmiş olup grafikte kırmızı ok ile işaretlenmiştir.	163

- Şekil 4.138:** Marmara Bölgesi'nde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen 7 adet 4'den ve 1 adet 5'den büyük depreme (kırmızı daireler) ait lokasyon dağılım haritası. 3 adet radon gözlem istasyonları içi siyahlı sarı daireler ile gösterilmiştir..... 164
- Şekil 4.139:** 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı verileri ile aynı dönemde Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremler (kırmızı kare)..... 165
- Şekil 4.140:** Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 1 ve 2 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 02.06.2009-30.09.2009 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri..... 165
- Şekil 4.141:** Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 3 ve 4 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 30.03.2010-28.07.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri..... 167
- Şekil 4.142:** Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 5 ve 6 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 13.06.2010-11.10.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri..... 168
- Şekil 4.143:** Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 7 ve 8 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 23.08.2010-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri..... 169
- Şekil 4.144:** Gebze (T-2) Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafikleri. 171
- Şekil 4.145:** Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile hava sıcaklık (HS) değerlerinin türev (fark) grafikleri. 173
- Şekil 4.146:** Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile yağış verileri arasındaki saçılım grafikleri. 174
- Şekil 4.147:** Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile yağış (YA) değerlerinin türev (fark) grafikleri. 176
- Şekil 4.148:** Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava basınç verileri arasındaki saçılım grafikleri. 177
- Şekil 4.149:** Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile hava basınç (HB) değerlerinin türev (fark) grafikleri. 178
- Şekil 4.150:** Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile rüzgar hız verileri arasındaki saçılım grafikleri. 179

- Şekil 4.151:** Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile rüzgar hızı (RH) derlerinin türev (fark) grafikleri. 180
- Şekil 4.152:** Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile rüzgar yön verileri arasındaki saçılım grafikleri. 181

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Ölçüm lokasyonlarında izlenen parametreler	5
Tablo 4.1: Sahada ölçülen parametreler ve bu parametrelere ait ölçümlerin başlangıç-bitiş tarihleri, kayıt aralığı, birim ve parametre başına toplam ölçüm sayısı bilgileri.	59
Tablo 4.2: Sahada ölçülen parametreler ve bu parametrelere ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri.....	80
Tablo 4.3: Veri sıralama (ranking) düzeni örneği.....	109
Tablo 4.4: Test Sahası T-1 80 cm (kum) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.	110
Tablo 4.5: Test Sahası T-2 80 cm (karışık toprak) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. $+0.3$ 'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, -0.3 'den düşük negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.	111
Tablo 4.6: Test Sahası T-3 80 cm (silt) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. $+0.3$ 'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.....	112
Tablo 4.7: Test Sahası T-4 80 cm (kil) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.....	113
Tablo 4.8: Armutlu istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.	114
Tablo 4.9: Sarıköy istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.	115
Tablo 4.10: Tüm istasyonlarda kaydedilen verilerin IMF bileşenleri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarının birleştirilmiş ve basitleştirilmiş hali. 0.5-0.6 arası korelasyonlar tek, 0.7-0.8 arası korelasyonlar çift, 0.9-1 arası korelasyonlar ise üçlü +/- işaretler şeklinde gösterilmiştir.	119
Tablo 4.11: Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Sarıköy ve Armutlu istasyonlarına ait zemin örnekleri üzerinde yapılan dane boyu, kıvam limitleri, özgül ağırlık ve organik madde miktarı analiz sonuçları.....	130

Tablo 4.12: XRD analiz sonuçları (bolluk sırasına göre).	131
Tablo 4.13: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait toprak sıcaklığı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	145
Tablo 4.14: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait toprak nem ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	149
Tablo 4.15: Sarıköy istasyonuna ait YAS ile toprak radon gazı arasında 0.3 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.....	155
Tablo 4.16: Marmara Bölgesi genelinde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında meydana gelen 4 ve daha büyük depremlere ait bilgiler.	164
Tablo 4.17: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait hava sıcaklığı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	172
Tablo 4.18: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait yağış miktarı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	175
Tablo 4.19: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait hava basıncı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	177
Tablo 4.20: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait rüzgar hızı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.	180

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

R_n	: Radon
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
r	: Korelasyon katsayısı (Pearson)
r_s	: Korelasyon katsayısı (Spearman)
SR	: Strain (Deformasyon) Yarıçapı
ϵ_r	: Rölatif Dielektrik Katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
YDBE	: Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü
TARAL	: Türkiye Araştırma Alanı
TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek 'Ancak Tektonik Rejimleri Farklı' Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
EMD	: Görgül Kip Ayırıştırma (Empirical Mode Decomposition)
IMF	: Öz Kip İşlevleri (Intrinsic Mode Function)
T1	: Gebze T1 İstasyonu (kum)
T2	: Gebze T2 İstasyonu (karışık toprak)
T3	: Gebze T3 İstasyonu (silt)
T4	: Gebze T4 İstasyonu (kil)
AR	: Armutlu İstasyonu
SA	: Sarıköy İstasyonu
RA	: Radon Gazı
TN	: Toprak Nemi
TS	: Toprak Sıcaklığı
HS	: Hava Sıcaklığı
HB	: Hava Basıncı
YA	: Yağış Miktarı
RY	: Rüzgar Yönü
RH	: Rüzgar Hızı
YAS	: Yeraltı Su Seviyesi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

JEOLOJİK, PEDOLOJİK VE ATMOSFERİK KOŞULLARIN TOPRAK RADON GAZININ HAREKETİNE ETKİLERİ

Cemil SEYİS

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. M. Namık YALÇIN

II. Danışman : Doç. Dr. Sedat İNAN

İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı'nda doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma kapsamında, toprak radon gazının zamansal değişimi üzerinde jeolojik, pedolojik ve atmosferik parametrelerin etkileri irdelenmiştir.

Toprak radon gazının zamansal davranışı üzerinde etkili olmuş parametreler ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda çelişkili sonuçlara ulaşılmış olması bu doktora tezinin başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada radon gazının toprak zemindeki konsantrasyon değişimleri ve bu değişimler üzerinde etkili olabilecek farklı parametreleri; yerinde, yeterli süre ve zamansal çözünürlükte ölçerek olası korelasyonların ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunun için, 4'ü Gebze'de, biri Armutlu (Yalova), bir diğeri ise Sarıköy (Gönen)'de olmak üzere toplam 6 gözlem istasyonu kurulmuştur. Gebze'deki istasyonlar farklı toprak özelliklerinin, Armutlu

istasyonu jeotermal koşulların, Sarıköy istasyonu ise yeraltısuyu seviyesi değişimlerinin etkisini araştırmak üzere oluşturulmuştur. İstasyonlarda Nisan 2009 ile Kasım 2010 tarihleri arasında yaklaşık 1.5 yıllık bir süre boyunca yapılan gözlemlerde 9 farklı parametre (toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem, hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yeraltı su seviyesi) olmak üzere genel toplamda 1.120.715 adet zamana bağlı veri toplanmıştır. Toprak radon gazı ve yeraltı su seviyesi 15 dakika; toprak sıcaklık, toprak nem, hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hızı, rüzgar yönü verileri ise 1 saat zaman aralıklarında ölçülmüştür.

Toplanan veriler öncelikle kontrol edilmiş ve sahada veri toplamanın doğası gereği yaşanması doğal olan çeşitli veri eksiklikleri giderilmiş, istatistiksel özellikleri incelenmiş ve tüm veriler günlük ortalama değerlere dönüştürülmüştür. Bu ilk aşama ardından veriler saçılım grafikleri ve türev grafikleri ile incelenmiş, görgül kip ayrıştırma (EMD) yöntemi ile de farklı frekansta sinyallere ayrıştırılarak parametreler arasında korelasyon değerleri hesaplanmıştır.

Elde edilen tüm veriler toprak özellikleri ve jeolojik koşullar ışığında değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, toprak radon gazı değişimlerini kontrol eden parametrelerin yalın bir ilişki sunmadığı, koşullara bağlı olarak farklı sonuçlara neden olabildiği görülmüştür. Topraktaki radon konsantrasyonlarını etkileyen en önemli parametrenin toprak nemi olduğu, özellikle kurak aylarda meydana gelen ani nem artışlarının radon konsantrasyonlarında da ani artışlar meydana getirdiği saptanmıştır.

Toprak radon gazı ile ilgili çalışmalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak için bir yıldan uzun süreli, yerinde, kesintisiz ve çok parametrelili gözlemlerin yapılmasının önemli olduğu, özellikle toprak neminin ve sıcaklığının mutlaka izlenmesi ve birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Haziran, 2015, 254 sayfa

Anahtar kelimeler: Toprak radon gazı, jeoloji, pedoloj, meteoroloji, zaman serileri, korelasyon

SUMMARY

Ph.D THESIS

EFFECTS OF GEOLOGIC, PEDOLOGIC AND ATMOSPHERIC CONDITIONS TO THE MOVEMENT OF SOIL RADON GAS

Cemil SEYİS

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. M. Namık YALÇIN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Sedat İNAN

Within the frame of this Doctoral Thesis, which has been conducted in Department of Geological Engineering of the Institute of Graduate Studies in Science and Engineering of Istanbul University, effects of geologic, pedologic and atmospheric conditions on the movement of soil radon gas are investigated.

Controverting results of previous studies for parameters, which probably control temporal distribution of soil radon gas, was the trigger for this doctoral thesis. In this study variations of soil radon gas concentration and parameters which most probably control these variations are measured in-situ, in a temporal high-resolution fashion and for a necessarily long time-period, in order to fulfil the scope of the thesis, namely to determine correlations between the soil radon gas concentrations and possible controlling parameters. For this purpose in total six observation sites/stations, four in Gebze, one in Armutlu (Yalova) and another one in Sarıköy (Gönen), are settled. Those in Gebze are settled to search effects of different pedologic properties, that in Armutlu

to investigate effects of geothermal conditions and that in Sarıköy to analyse the effects of changes in water-table. At these sites during the time-period of 18 months from April, 2008 to November, 2010, nine different parameters (soil radon gas, soil temperature, soil moisture, air temperature, air pressure, precipitation, wind speed, wind direction, groundwater level) are measured and in total 1.120.715 time-dependent data are collected. Hereby, soil radon gas and groundwater level are measured every 15 minutes, soil temperature, soil moisture, air temperature, air pressure, precipitation, wind speed and wind direction are measured every 60 minutes.

The collected data are controlled, some few gaps, which unavoidably happened during the long data acquisition period, are restored; the statistical properties of the data-set are checked and for all parameters daily average values are determined. After this step, scatter and derivative plots of the data are evaluated. The time-series of each measured parameter are then processed by Empirical Mode Decomposition (EMD) in order to obtain different frequency signals. Finally, correlation coefficients between these parameters are determined.

The results of data processing are evaluated and interpreted in the light of pedologic, geologic and atmospheric conditions. This indicated that the relation between the soil radon gas and these parameters are non-linear. Hence, depending on conditions different results can be achieved. However, it could be determined that the soil moisture is most critical parameter, which controls the soil radon gas concentrations. Particularly, increase of soil moisture after dry periods leads to sudden increase of soil radon gas concentrations.

This study showed that reliable results and interpretations can only be achieved, if multiple parameters are measured in-situ, continuously and for a period longer than one year. Especially, moisture and temperature of soil have to be measured and interpreted synchronously with soil radon gas concentrations.

June, 2015, 254 pages.

Keywords: Soil radon gas, geology, pedology, meteorology, time series, correlation

1. GİRİŞ

Topraktaki gözenek ve boşluklar içinde yer alan serbest radon atomlarına, toprak radon gazı adı verilmektedir. Radon (^{222}Rn) doğada var olan, renksiz, kokusuz ve uranyum (^{238}U) kökenli radyoaktif bir soy gazdır. Uranyum, yerkabuğunu oluşturan kaya ve topraklarda eser miktarda (1-4 ppm) bulunmasına rağmen yaygın bir dağılıma sahiptir. Radon gazının temelini oluşturan uranyumun bu geniş dağılımı nedeniyle neredeyse her yerde az veya çok miktarda radon gazına rastlamak mümkündür. Radon gazının bir bölümü oluştuğu ortamı terk ederek kayaları örten toprağa veya yeraltı sularına, oradan da atmosfere yayılmaktadır. Özellikle yerkabuğunun çatlaklı, kırıklı kesimleri boyunca taşıyıcılar vasıtası ile radon gazı daha hızlı bir şekilde yeryüzüne ulaşmakta ve buralardaki toprakta çevreye nazaran daha yoğun bir konsantrasyon göstermektedir. Toprak zeminde yoğunlaşan radon gazı atmosfere karıştığında ise hızlı bir şekilde dağılmaktadır.

Radon gazının yerkabuğunda yaygın bir şekilde bulunması, kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsız oluşu, radyoaktif özelliğinden dolayı çok düşük konsantrasyonlarda bile kolayca tespit edilebilir olması, onu çeşitli araştırmalar için çok elverişli bir jeokimyasal iz konumuna getirmiştir. Bu açıdan özellikle yerbilimleri alanında olmak üzere, pek çok bilimsel çalışmada bu radyoaktif gazdan yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle bina içlerinde, maden ocaklarında veya sularda bulunabilen yüksek radon gazı konsantrasyonları uzun vadede akciğer kanseri riski oluşturabilmektedir (ICRP, 1987). Radon gazının kullanıldığı çalışmalara örnek olarak; aktif fayların saptanması, volkan patlamaları ve depremler gibi yıkıcı ve tehlikeli doğal olayların önceden tahmin edilmesi, yeraltı sularının takip edilmesi, sağlık açısından elverişli yerleşim alanlarının tespit edilmesi ve bu amaçla radon risk haritalarının oluşturulması, su fazında olmayan akışkan (Non Aqueous Phase Liquids, NAPL) kirleticilerinin yayılımlarının tespit edilmesi, verilebilir.

Genel olarak, toprak gazındaki radon konsantrasyonu barometrik basınç, nem, yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörlerden etkilendiği yönünde bilgiler bulunmaktadır (Kraner ve diğ. 1964; Duenas ve diğ., 1997, İnan vd 2010a, 2012a, 2012b). Deprem kestirimi konusunda yapılan çalışmalarda Klusman ve Webster (1981) radon zaman serilerindeki değişimlerin %90'ından fazlasını meteorolojik etkiler ile açıklarken, Fleischer ve Mogro-Campero (1985) meteorolojik etkilerin ölçülebilir değişimlere neden olmadığını belirtmektedir. İnan vd. (2010a ve 2012b) meteorolojik faktörlerin radon gazı hareketine etkilerinin daha çok kış aylarında toprağın suya doymun olduğu dönemlerde önemli olduğunu göstermiştir. Sinyal gürültü oranının yüksek olduğu ölçüm noktalarında kış dönemlerinde bile sürekli toprak radon gazı ölçümlerinde deprem ile ilişkilendirilebilecek güvenilir değerler elde edilebilmiştir (İnan vd. 2010b). Mineral taneleri içindeki radon atomlarının serbest kalma oranını ve topraktaki gözeneklerdeki serbest radon gazının hareketini etkilemesi muhtemel atmosferik koşulların, toprak içindeki radon gaz seviyesini değiştirmesi beklenmelidir. Ancak farklı amaçlar ile yapılan çalışmalarda birbirleriyle çelişen farklı sonuçların elde edilmesi, meteorolojik parametrelerin etki mekanizmasının tam olarak ortaya konulamadığını göstermekte ve bazen ölçüm noktasındaki yerel koşulların atmosferik koşullardan daha önemli olduğunu düşündürmektedir. Özellikle, değişen zemin koşullarının ve kullanılan farklı ölçüm yöntemlerinin bu çelişkili sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir.

Thomas ve diğerleri (1986) Hawaii Kilauea volkanında 5 yıl boyunca yapılan gözlemlerde, toprak radon gazı konsantrasyonu ile meteorolojik faktörler arasında çok düşük korelasyonlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Radon gazı seviyesindeki değişimlerin temel nedeninin sismik ve volkanik aktivitenin neden olduğu sonucuna varılmıştır. Magmatik sokulumlar ile eş zamanlı, sismik aktiviteler ile ise öncü değişimler gözlenmiştir.

Asher-Bolinder ve diğerleri (1990), toprak radon gazı konsantrasyonunun kış aylarında artan nem, izole edici yüzey suyu veya don nedeni ile arttığını bildirmişlerdir. Yaz aylarında artan güneş etkisi ile radon yayılım sabitinin (emanation coefficient) düşmesi ve derin çatlakların oluşması ile atmosfere kaçan radon gazı nedeni ile toprak içindeki radon gazı yoğunluğunun düştüğünü ileri sürmüşlerdir. Winkler ve diğerleri (2001) toprak radon gazı konsantrasyonunun zaman-seri analizi sonucunda, kış aylarında en yüksek

konsantrasyon olmak üzere, mevsimsel değişimler tespit etmiş, Hubbard ve Hagberg (1996) ise topraktaki radon konsantrasyonunun yazın en yüksek, kışın ise en düşük olduğunu belirtmişlerdir. Mevsimsel değişimler üzerinde yapılan başka çalışmalarda da yüksek konsantrasyonlar kış veya yaz aylarında tespit edilmiş (Schumann et. al., 1989; Rose et al., 1990; Hutter, 1996) veya tespit edilememiştir (Fleischer et al., 1980).

Yurt dışında çok sayıda çalışmaya konu olan radon gazı ülkemizde ağırlıklı olarak TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü (İnan ve diğ. 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2010a, 2010b, 2012a, 2012b, Seyis ve diğ. 2010), TAEK Küçük Çekmece Nükleer Araştırma Enstitüsü (Köksal ve diğ. 1993, 2005), Ege Üniversitesi Nükleer Araştırma Enstitüsü (Saç, 2000) ve Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü (Baykara ve diğ. 2005, 2006) gibi kurumlar bünyesinde çalışılmaktadır.

Radon gazı ile ilgili yapılan çok sayıdaki çalışmalarda çelişkili sonuçların (toprakta su miktarının artması ile radon miktarını artması veya azalması gibi) elde edilmiş olması tereddütlere neden olmaktadır. Örneğin meteorolojik koşulların radon seviyesi üzerinde etkili olduğu bildirilmekte, ancak TÜBİTAK MAM'ın Marmara Bölgesi genelinde 17 farklı lokasyonda toprağın ~80 cm derinliğinde yaptığı uzun süreli gözlemler bunun her zaman doğru olmadığını göstermektedir. Bazen farklı hava koşulları olmasına rağmen radon seviyesi değişmeyen (sabit) bir şekilde seyredebilmektedir. Tüm Marmara bölgesini kapsayan yağışlı dönemlerde bazı noktalarda bazı dönemlerde radon seviyesi ani değişim gösterdiği halde, aynı dönemde değişim göstermeyen noktalar da bulunmaktadır. Bu gibi gözlemler bazı kabullerin hatalı olabileceğini, lokal farklılıkların (kırık-çatlak sistemi, toprak özellikleri gibi) önemli etkilere sahip olduğunu düşündürmektedir. Yine yapılan çeşitli çalışmalarda kullanılan radon ölçüm yöntemlerin farklı oluşunun (CR-39 filmleri, Lucas Cell, Silikon dedektör vb) elde edilmiş sonuçlar üzerinde etkili olmuş olabileceği düşünülmektedir.

Daha önceki çalışmalarda, toprak radon gazının çevre koşullarından etkilendiği ortaya konulmuşsa da, birbirleriyle çelişen sonuçlara ulaşılmış olması, söz konusu etki mekanizmasının basit bir ikili ilişki yerine, farklı şartlar altında farklı davranışlar sergileyen karmaşık bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, doğal ortamda ve farklı koşullarda geçerli olabilecek radon gazı davranışının en doğru şekilde ortaya

konulabilmesi, ancak deneyim ve bilgi birikimi ile çoklu parametrelerin uzun süreli izlenmesi ve yorumlanması durumunda mümkün olabilecektir.

1.1. AMAÇ

Toprak radon gazı ile ilgili olarak yapılmış çalışmalarda genel bir sonuç elde etmek için yetersiz kalan ölçüm süreleri, yeterli zamansal çözünürlüğü veremeyen ölçüm yöntemleri ve ölçüm ortam farklılıklarının gözetilmemesi radon gazının davranışı ile ilgili olarak çelişkili sonuçların elde edilmesi üzerinde etkili olmuştur. Bu noktadan yola çıkılarak, uzun gözlem süresi boyunca, güvenilir otomatik ölçüm sistemleri ile çoklu parametrelerin farklı lokasyonlarda gözleendiği bu tez çalışması planlanmıştır. Tez çalışmasının ana amacı; radon gazının toprak zemindeki konsantrasyon değişimlerini yeterli süre ve zamansal çözünürlükle saptayarak, bu değişimlerin nedenlerini yerinde (in-situ) ölçümler ile belirleyerek, radon konsantrasyonları ile bu parametreler arasındaki korelasyonları uygun veri işlem ve istatistiksel yöntemler yardımıyla saptamaktır. Değerlendirme çalışmaları sonucunda radon konsantrasyonları ölçümlerinin hangi koşullarda güvenilir olarak gözetilebileceği ve bunu kontrol eden parametrelerin hangi oranlarda belirleyici oldukları hakkında da bir sonuca gidilmesi hedeflenmiştir.

1.2. KAPSAM VE ÇALIŞMA ALANLARI

Tez çalışmasında atmosferik ve farklı yerel koşulların uzun süreli olarak izlenmesine ve yeterli zamansal çözünürlüğe sahip kayıtlara gereksinim olduğundan yola çıkılarak bu koşulları sağlayan ve/veya taşıyan ölçüm istasyonları oluşturulmuştur. Bunlardan 4'ü Gebze'de, biri Armutlu (Yalova), bir diğeri ise Sarıköy (Gönen)'de kurulmuştur. Gebze'deki istasyonlar farklı toprak özellikleri, Armutlu istasyonu jeotermal koşulların varlığı, Sarıköy istasyonu ise YAS değişimlerinin etkisini izlemek üzere oluşturulmuştur. Tüm bu istasyonlar, buldukları Marmara Bölgesi'nin aktif bir deprem kuşağında bulunması nedeniyle, deprenselliğın etkisinin de incelenmesi amacıyla kullanılmaları söz konusudur.

Bu çalışmada radon gazı ile ilişkilendirilmeye çalışılan parametrelerden zaman bağılı değişim gösterenler eş zamanlı ve otomatik bir şekilde yerinde izlenerek operatör

hataları ve ölçüm ortamına müdahale kaynaklı değişimler engellenmiştir. 15-60 dakikalık örnekleme aralıkları ile tüm anlık değişimler kaydedilerek ortamdaki zamana bağlı değişimler ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Özellikle toprak zemin farklılığının etkilerini ortaya koyabilmek için TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi içerisinde özel bir test sahası oluşturulmuştur. Bu saha içerisinde birbirine çok yakın 4 noktada açılan çukurlara farklı karakterde toprak (killi, siltli, karışık, kumlu) konularak toprak farklılığının etkileri araştırılmıştır. Bu dört noktanın her birinde iki ayrı seviyede (50 cm, 80 cm) radon gazı (15 dakikada bir), toprak nemi ve toprak sıcaklığı (60 dakikada bir) kesintisiz bir şekilde izlenmiştir. Saha içerisine kurulan meteoroloji gözlem istasyonu ile de atmosferik sıcaklık, basınç, yağış ve rüzgar değerleri 60 dakika aralıklar ile kaydedilmiştir. Ölçülen parametrelerin temsili olabilmeleri ve mevsimsel değişimleri de içermeleri amacıyla gözlem süresi 12 aydan uzun tutulmuştur. Toprak radon gazı üzerinde etkili olabileceği düşünülen ve radon gazı ölçüm lokasyonlarında izlenen parametreler Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Ölçüm lokasyonlarında izlenen parametreler.

Sürekli Ölçümler	Ölçüm Lokasyonuna Özgü Parametreler
<ul style="list-style-type: none"> • Toprak Radon Gazı (15 dakika) • Toprak Sıcaklığı (1 saat) • Toprak Nemi (1 saat) • Hava Sıcaklığı (1 saat) • Hava Basıncı (1 saat) • Yağış (1 saat) • Rüzgar Hızı ve Yönü (1 saat) • YAS seviye değişimi (15 dakika) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dane boyu ve diğer zemin özellikleri • Mineralojik bileşim • Organik madde miktarı

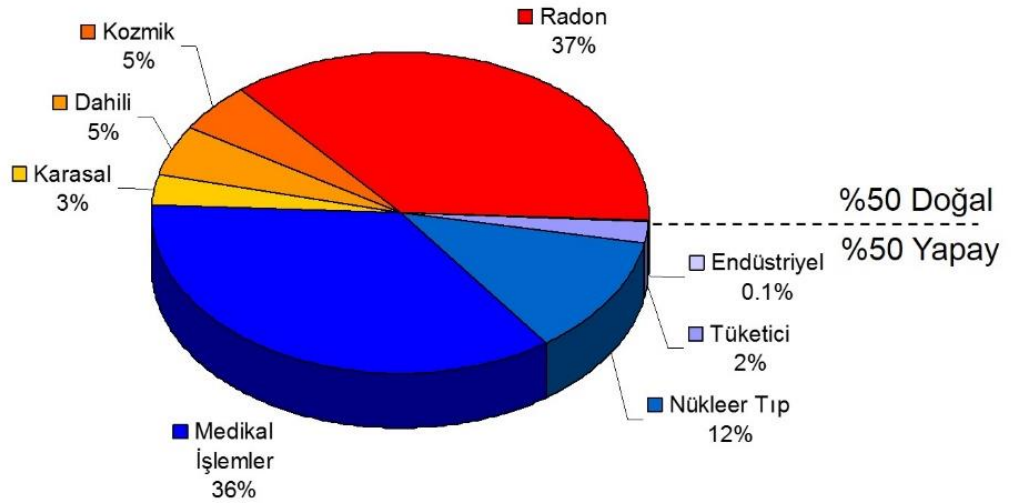
Kırık sistemlerinin ve jeotermal aktivitenin etkilerinin olası farklılıklarını ortaya koyabilmek için bu farklı ortamları temsil eden 2 farklı lokasyon, TÜBİTAK MAM YDBE bünyesinde yıllardır gözlenmekte olan toprak radon gazı ölçüm istasyonları arasından seçilmiştir. Seçilen noktalarda yine meteorolojik parametrelerin yanısıra toprak nem ve sıcaklık değerleri de kesintisiz ve otomatik bir şekilde ölçülmüştür. YAS değişimlerinin etkilerini incelemek üzere Gönen Sarıköy’de yer alan bir DSİ kuyusunda otomatik seviye ölçüm cihazı (limnigraf) ile kuyu içinde su seviyesi değişimleri 15 dakika aralıklı ve kesintisiz bir şekilde izlenmiştir. Ölçüm lokasyonları 3.3 başlığı altında detaylı olarak ele alınmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. RADON GAZI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1.1. Toprak Radon Gazı Nedir

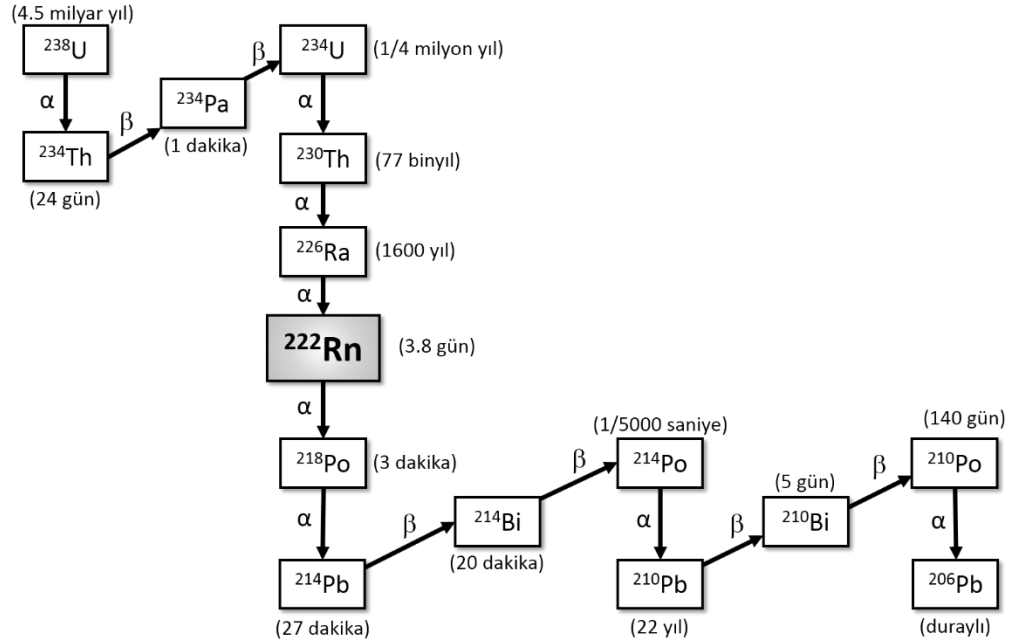
Radon (^{222}Rn) doğal olarak meydana gelen, renksiz, kokusuz ve uranyum (^{238}U) temelli radyoaktif bir soy (asal, inert) gazdır. Uranyum, yer kabuğunu oluşturan kayalar ve topraklarda eser miktarda (1-4 ppm) bulunur, fakat yaygın bir dağılıma sahiptir. Bu nedenle yeryüzünün neredeyse tamamında az veya çok miktarda radon gazına rastlamak mümkündür. Radon gazı, inert özelliği ve kolay tespit edilebilir olması nedeniyle çeşitli uygulamalarda jeokimyasal iz olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle bina içlerinde, maden ocaklarında ve sulara bulunabilen yüksek radon gazı konsantrasyonları uzun vadede akciğer kanseri riski oluşturabilmektedir (UNSCEAR, 1982). Radon gazı 1988 yılında Amerikan Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından kanserojen olarak sınıflandırılmış olup, 2009 yılında Dünya Sağlık Örgütü'nce küresel akciğer kanserinin sigaradan sonraki ikinci nedeni olarak belirtilmiştir (Laughlin, 2012). Radon gazı aynı zamanda en büyük doğal radyasyon kaynağıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Doğal ve yapay kaynaklı radyasyonların oransal dağılım grafiği (NCRP, 2009).

Uranyum gibi, atom numarası (proton sayısı) 83'den büyük olan ağır çekirdekli atomlar kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak üzere, atom ve kütle numaralarını azaltarak nötron/proton oranını bire yaklaştırmak isterler. Kararsız bir çekirdek, kararlı hale gelebilmek için yaptığı bozunma (parçalanma) sonucunda meydana getirdiği ürün çekirdek yine kararsız olabilir. Bu durumda, kararsız bir atomun kararlı yapıya

ulaşınca kadar geçirdiği zincirleme parçalanma olayına radyoaktif bozunma zinciri adı verilmektedir. Uranyum çekirdeği, bozunma zinciri boyunca farklı radyoaktif elementlere dönüşmekte ve zincirin sonunda radyoaktif olmayan Kurşun (^{206}Pb) çekirdeği ile kararlı yapıya ulaşmaktadır. Şekil 2.2’de 4.47 milyar yıllık yarılanma ömrüne sahip Uranyum’a (^{238}U) ait radyoaktif bozunma zinciri görülmektedir. Uranyum bozunma serisi içinde yer alan radyum (^{226}Ra) atomundan iki proton ve iki nötrondan meydana gelen alfa parçacığının (Helyum çekirdeği) atılması ile doğada bulunabilen tek radyoaktif asal gaz olan radon atomu (^{222}Rn) oluşmaktadır.

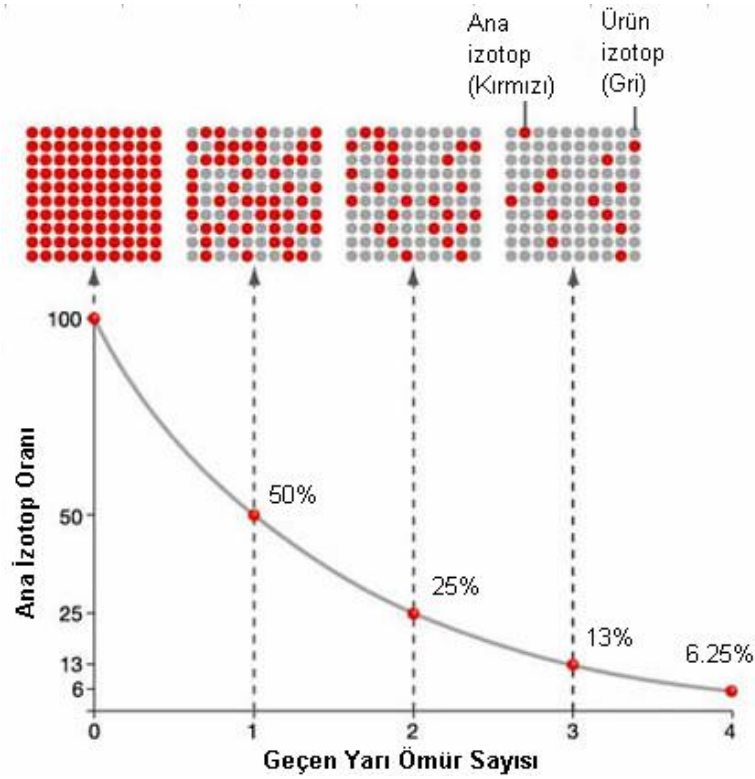


Şekil 2.2: ^{238}U radyoaktif bozunma serisi. U-Uranyum, Th-Toryum, Pa-Protaktinyum, Ra-Radyum, Rn-Radon, Po-Poloniyum, Pb-Kurşun, Bi-Bizmut (IEC, 2006’den değiştirilerek).

Radon gazına ait atomların bir bölümü meydana geldikleri ortamı terk ederek kayaları örten toprağa ve yeraltı sularına, oradan da atmosfere yayılmaktadır. Yerin derinliklerinden atmosfere doğru yükseldikçe radon gazı konsantrasyonunu giderek azalmakta, atmosfere karıştığında ise hızla dağılmaktadır. Toprak gözenekleri içinde mevcut olan radona, toprak radon gazı (soil radon gas) adı verilmektedir.

Radon gazının kendisinin de kararlı bir çekirdeğe sahip olmaması nedeniyle, 3.82 günlük bir yarılanma ömrü ve alfa ışınları ile yine radyoaktif, fakat gaz niteliğinde olmayan, polonyum, bizmut ve kurşun gibi bozunma ürünleri meydana getirmektedir. Radon çekirdeğinin radyoaktif bozunması da alfa parçacığının çekirdekten atılması ile gerçekleşmektedir.

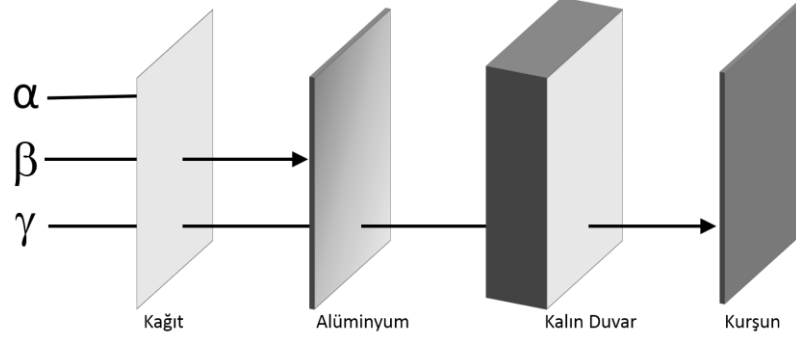
Radyoaktif bir elementin herhangi bir anda mevcut olan miktarının yarısının bozunması için geçen süreye yarılanma ömrü denir. Her radyoaktif izotopun kendine özgü belirli bir yarılanma ömrü vardır ve bu değişmez niteliktedir. Şekil 2.3'de radyoaktif bir maddenin yarılanma ömrü ile başlangıç miktarının ilişkisi görülmektedir. Bir yarılanma ömrü sonunda, radyoaktif maddenin başlangıçtaki ana izotoplarının yarısı ürün izotoplarına dönüşmektedir. İkinci yarılanma ömrü sonunda ise başlangıç miktarının %25'i geriye kalmakta olup, ürün izotoplar %75 oranına ulaşmaktadır.



Şekil 2.3: Radyoaktif bir çekirdeğin yarılanma ömrü ile ana izotop-ürün izotop arasındaki ilişki.

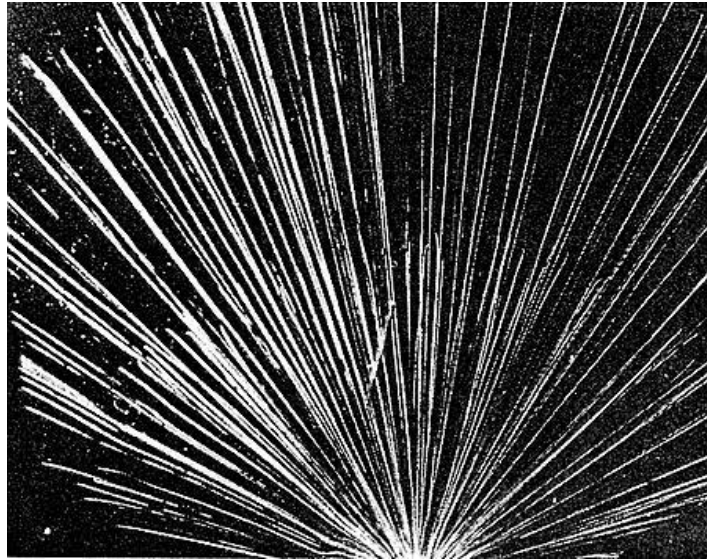
Beta ve gama gibi diğer ana radyoaktif yayınımlarına (emisyonlara) karşın alfa parçacıkları oldukça büyük bir kütleyle sahiptir. Büyük kütleleri nedeni ile alfa parçacıkları diğerlerine nazaran daha kısa mesafeler içinde enerjilerini tüketmekte

(birkaç cm) ve materyallerin çok derinlerine nüfus edememektedir (Şekil 2.4). Buna karşın, meydana getirdikleri tahribat daha ağır olmaktadır.



Şekil 2.4: Bir radyasyon kaynağından yayılan alfa, beta ve gama radyasyonlarının birbirlerine göre madde içine etki güçleri. Alfa parçacıkları büyük kütleleri nedeni ile ince bir kağıt levha ile durdurulabilmektedir.

Alfa parçacıkları madde içinden geçerken, yoğun ve yüksek seviyelerdeki enerji kaybı ile karakterize olmaktadır. Enerji kaybının yüksek seviyesi, alfa radyoaktivitesini diğer radyasyon tiplerinden (beta, gama) ayırt edilmesinde kullanılabilen yoğun bir iyonlaşma veya şiddetli ışımlar üretmektedir (ASTM D3648, 1995).



Şekil 2.5: Küçük bir radyasyon kaynağından etrafa yayılan alfa parçacıklarına ait izlerin görünümü. (Fotoğraf: J. Chadwick, Cavendish Laboratory¹).

¹ <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/alpha-particle-tracks-showing-their-short-range>

Şekil 2.5’de radyoaktif bir maddeden çevreye yayılan alfa parçacıklarının izledikleri ışınsal yollar görülmektedir. Sis odası adı verilen ve özel sıcaklık, basınç ve buhar doygunluk koşullarına sahip ortamlarda, radyoaktif çekirdeklerden fırlatılan alfa parçacıkları süper doygunluğa sahip buhar içinde hareket ederken gözle görülebilir bir iz bırakmaktadırlar.

2.1.1.1. Radon’un Keşfi ve Adlandırılması

1896 yılında Fransız fizikçi Antoine-Henri Becquerel uranyum tuzlarının siyah kağıda sarılı fotoğraf levhaları üzerinde izler bıraktığını gözlemlemiştir. Bu gözlem radyoaktivitenin keşfi sayılmaktadır. Uranyum tuzlarının bu özellikleri üzerine detaylı araştırmalara başlayan Polonya asıllı Fransız fizikçi Marie Curie toryumun da aynı özelliğe sahip olduğunu fark etmiş ve ışığa benzeyen ancak gözle görülemeyen bu olaya radyoaktivite adını vermiştir². Bu konuda yapılan pek çok araştırma esnasında, 1899 yılında Ernest Rutherford ve Robert B. Owens radonun bir izotopu olan toron (²²⁰Rn) (Rutherford ve Owens 1899, Brenner 2000, Marshall 2003), 1900 yılında Alman fizikçi Friedrich Ernst Dorn radon (²²²Rn) (Dorn 1900) ve 1902 yılında Friedrich O. Giesel ile André Debierne radonun bir başka izotopu olan aktinon’u (²¹⁹Rn) keşfetmiştir (Britannica 2014). 1908 yılında William Ramsey ve R.W. Whytlaw-Gray bu elementi ilk kez izole etmeyi başararak niton olarak adlandırmışlardır. 1918 yılında Schmidt tarafından önerilen radon ismi 1923 yılında International Committee for Chemical Elements tarafından kabul edilerek günümüzde de kullanılmaktadır³.

2.1.1.2. Aktivite ve Konsantrasyon Birimleri

Radyoaktif bir maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarına aktivite adı verilmektedir. Aktivite miktarını tanımlamak için kullanılabilen farklı birimler vardır. Bunlardan birisi olan Curie (Ci) saniyede 3.7×10^{10} bozunma gösteren maddenin aktivitesini ifade eder. Bequerel (Bq) ise saniyede bir parçalanmaya denk gelen aktivite için kullanılmaktadır. $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$. Günümüzde her iki ifade kullanılmakta ise de, SI (Système Internationale) sisteminde kullanılmakta olan birim Becquerel (Bq)’dir⁴. Radon gazının belirli bir hacimdeki konsantrasyonunu belirtmek için kullanılan standart birim, bir metre küp içerisindeki bozunmayı ifade eden Bq/m³’dür.

² <http://www.chemistryexplained.com/elements/P-T/Radon.html>

³ <http://www.vanderkrogt.net/elements/element.php?sym=Rn>

⁴ <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf4.html>

2.1.1.3. Radon'un Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

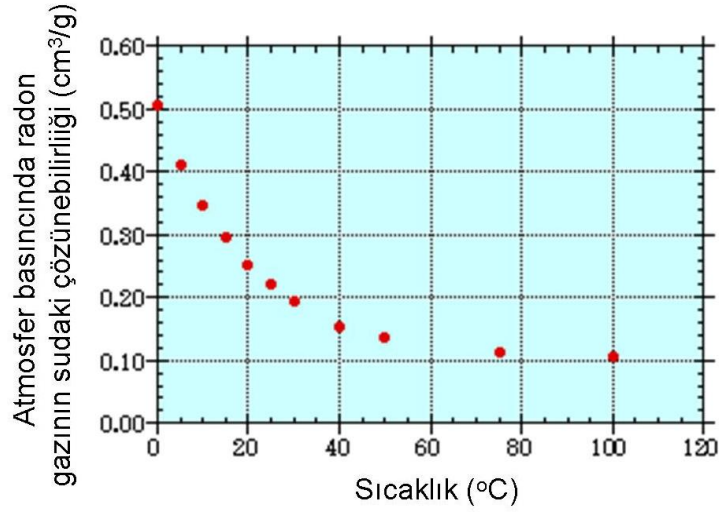
Radon, doğal olarak meydana gelen radyoaktif bir gaz olup, periyodik tablonun 18. grubunda (VIIIA) yer alan soy gazlar ailesinin son üyesini teşkil etmektedir. Asal gazlar veya diğer bir deyişle inert gazlar çok özel koşullar haricinde kimyasal olarak tepkimeye girmezler. Radon, asal gaz olmakla beraber aynı zamanda da radyoaktif bir elementtir. Simgesi "Rn", Atom Numarası 86, Atom Kütlesi ise 222.0176'dır (Britannica 2014).

Radon, renksiz, kokusuz ve tatsız olup oldukça yüksek toksik özelliktedir. Standart sıcaklık ve basınç koşulları altında bilinen en ağır gazdır. Yoğunluğu 9,73 gr/L olup, havadan 7.5 kat, hidrojenden ise 100 kat daha ağırdır. Radon gazı -61.8°C 'de sıvılaşmakta ve -71°C'de donmaktadır. Donma noktası altında soğutulması durumunda katı hal alan radon, yumuşak sarı bir ışık şeklinde parlamaya başlar ve sıcaklığı sıvı havanın sıcaklığına (-195°C) ulaşması halinde parlama turuncu-kırmızı bir renge döner (Britannica, 2014).

Radon kömür, silika jel gibi adsorbanlarda kolayca adsorblanır ve bu özelliği elementi gaz karışımlarından ayırmada kullanılabilir.

Radonun havadaki difüzyon katsayısı 0.1 cm²/sn, suda 10-5 cm²/sn (Budde, 1958), ve toprakta 0.04-0.004 cm²/sn'dir (Schroeder ve diğ., 1965).

Radon gazı su içinde oldukça iyi bir çözünme kabiliyetine sahiptir. Ancak artan sıcaklık ile beraber radonun bu çözünme kabiliyeti hızla azalır. Şekil 2.6'de bu ilişki grafik olarak gösterilmiştir. Sıcaklığa bağlı çözünme miktarları 0°C'de 510 cm³/kg, 20°C'de 230 cm³/kg, 30°C'de 169 cm³/kg'dır (NCRP, 1988).



Şekil 2.6: Radon'un sıcaklığa bağlı olarak sudaki çözünürlük değişimi (Clever, 1985).

2.1.1.4. İzotopları

Radon gazının 20'den fazla izotopu olduğu bilinmesine rağmen, doğada karşımıza çıkan başlıca 3 izotopu vardır. Bunlar ^{222}Rn (Radon), ^{220}Rn (Thoron) ve ^{219}Rn (Aktinon)'dur. Bu izotopların ait oldukları bozunma serileri ve yarılanma ömürleri aşağıda görülmektedir.

- 1 ^{238}U (Uranyum) > ^{226}Ra > ^{222}Rn (Radon, yarılanma ömrü 3.82 gün)
- 2 ^{232}Th (Toryum) > ^{223}Ra > ^{220}Rn (Thoron, yarılanma ömrü 55.2 saniye)
- 3 ^{235}U (Uranyum) > ^{224}Ra > ^{219}Rn (Aktinon, yarılanma ömrü 3.96 saniye)

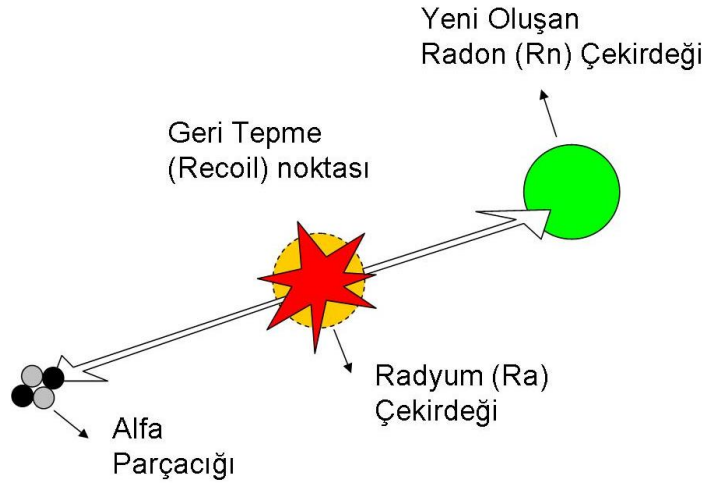
^{238}U (Uranyum) bozunma serisinde yer alan ve 1600 yıl yarılanma ömrüne sahip ^{226}Ra 'nın bozunması ile meydana gelen ^{222}Rn (Radon) 3.82 günlük bir yarılanma ömrüne sahiptir. ^{232}Th (Toryum) bozunma zinciri içinde oluşan ^{220}Rn (Thoron) sadece 55.6 saniye'lik yarılanma ömrüne sahip iken, ^{235}U ile meydana gelen ^{219}Rn (Aktinon)'un yarılanma ömrü ise sadece 3.96 saniyedir. Aktinon çok kısa yarılanma ömrü nedeni ile daha ilk oluştuğu yerde tükenmekte ve bu nedenle de radon gazına yönelik uygulamalarda pek yer almamaktadır. Aktinon'a nazaran biraz daha fazla ilgi gören thoron için de yine aynı durum geçerlidir (Monnin ve Seidel, 1992). Bu nedenle, çoğu çalışmada olduğu gibi, aksi belirtilmediği sürece radon, ^{222}Rn anlamında kullanılmaktadır.

2.1.1.5. Bileşikleri

Radon bir soy gaz olduğundan dolayı normal koşullarda tepkimeye girmez ve bileşik oluşturmaz. Ancak yapılan çeşitli çalışmalar ile, radon gazının O ve F ile tepkimeye girebildiği, su ve organik kimyasallar ile yapılar meydana getirebildiği bildirilmiştir. (Cotton ve Wilkinson, 1999). Suda çözünen radon gazı Van der Waals bağları yardımı ile $Rn \cdot 6H_2O$ tipi yapılar meydana getirmektedir (Nesmeyanov, 1974). Yüksek pH değerleri (pH 7-12) bu yapıların dengesini bozarak parçalamakta ve neticede sıvı fazdan gaz fazına geçişe neden olmaktadır (Gasparini and Veltri, 1987).

2.1.1.6. Radon Gazının Toprak İçindeki Hareket Mekanizması

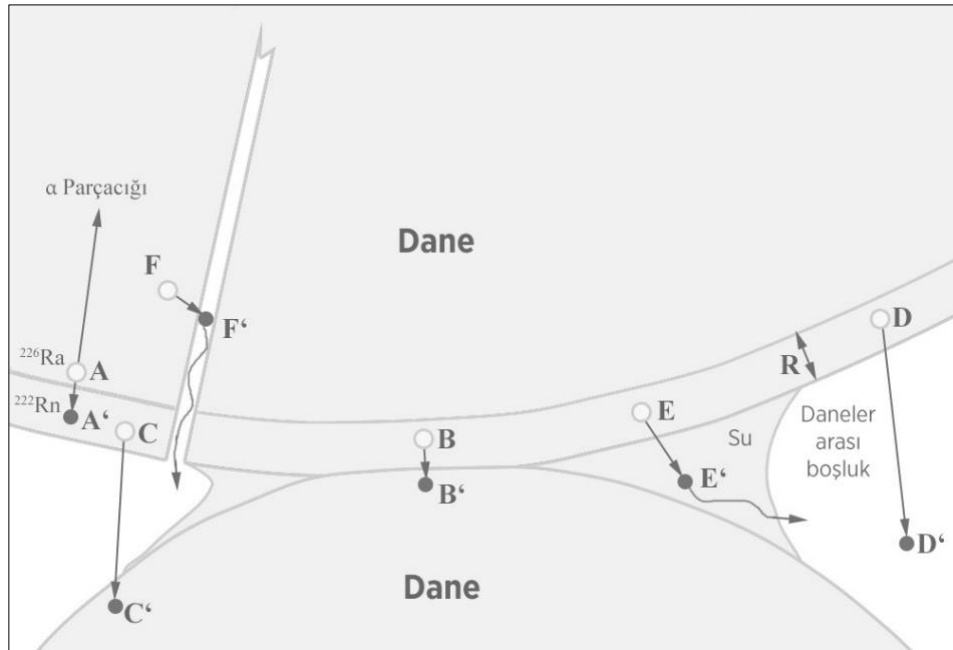
Radon atomlarının gaz olarak hareket edebilmeleri için meydana geldikleri katı ortamdan kurtularak gaz veya sıvı ortama geçmeleri gerekmektedir. Radon gazını meydana getiren radyoaktif radyum (Ra) atomu iki nötron ve iki protondan oluşan bir alfa parçacığını kendi çekirdeğinden dışarı atarak bozunur. Bu şekilde, geriye kalan çekirdeğin iki nötron ve protonunu kaybetmesi sonucunda meydana gelmiş olan radon (Rn) atomu, tıpkı güçlü bir silahın ateşlendiği anda geriye tepmesi gibi, alfa parçacığının tam tersi yönünde hareket eder (Şekil 2.7). Alfa geri tepmesi (alpha recoil) adı verilen bu olay, radon gazının mineral daneleri içinden kurtularak çevreye yayılmasının temel mekanizmasıdır.



Şekil 2.7: Radyum atomunun bozunması sırasında çekirdek içinden fırlayan alfa parçacığı bir yönde ve meydana gelen radon atomu bunun tam tersi yönünde hareket eder. Bu harekete alfa geri tepmesi (alpha recoil) adı verilmektedir (Otton ve diğ. 1993).

Radyum atomunun mineral danesi içindeki yeri (tane yüzeyi içinde yüzeye ne kadar yakın olduğu) ve geri tepme yönü oluşacak olan radon atomunun mineral daneleri arasındaki gözenek boşluğuna ulaşıp ulaşamayacağını belirler. Radyum atomu büyük

bir tanenin derinlerinde yer alıyorsa, geri tepme yönü ne olursa olsun, radon atomu dane içinde gömülü kalır. Radyum atomu bir danenin yüzeyine yakın bulunuyor ancak geri tepme yönü mineral danesinin merkezine doğru olursa, radon atomu mineralin daha derinine gönderilmiş olur. Bununla birlikte, yüzeye yakın bulunan bazı radyum atomlarının geri tepmesi yüzeye doğru olur ve bu şekilde yeni oluşan radon atomları mineral danesini terk ederek gözenek boşluğuna geçer. Şekil 2.8’de geri tepme mekanizması ile radon atomlarının serbest kalma prosesi detaylı olarak gösterilmiştir. Şekilde ana radyum çekirdekleri beyaz, oluşan radon atomları ise siyah yuvarlaklar daireler şeklinde gösterilmiştir. Radyum atomunun alfa bozunması sırasında ters yönlerde hareket eden alfa partikülü ve radon atomu meydana gelir. Alfa parçacığının hareketi sadece A seçeneğinde gösterilmiştir. Meydana gelen radon atomunun ilk yerinden yeni yerine doğru hareketi oklar ile gösterilmiştir. Radon atomu katı dane içinde kısa, su içinde orta ve hava içinde uzun mesafe alabilmektedir. Geri tepme etkisi ile dane dışına çıkılabilecek maksimum derinliği, R ile belirtilen şerit temsil etmektedir. R ile gösterilen derinlik sahası içinde yer alan ve hareket yönü gözenek boşluğuna doğru olan radon atomları dane dışına çıkabilecek yeterli kinetik enerjiye sahip olur.

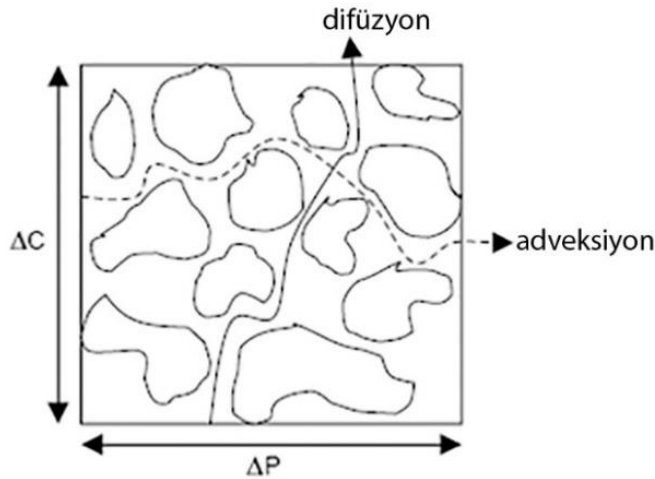


Şekil 2.8: Daneler içinde yer alan radon atomlarının serbest kalma prosenin şematik gösterimi. Radon atomu A) dane içinde kalır, B) bitişikte başka daneye geçer, C) başka bir daneye isabet eder, D) gözenek boşluğunda serbest kalır, E) dane dışındaki gözenek suyunda hızını kaybederek suda kalır ve buradan difüzyon ile gözenek boşluğuna karışır, F) dane içi süreksizliklere ulaşır ve buradan daneyi terk eder (Kemski, 1996).

Mineral yapısından kurtulan radonun, mineral içinde meydana gelen radon miktarına olan oranına emanasyon sabiti adı verilmektedir. Bu oran, U ve Th varlığı, poroziteye, nem miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olup, %1 ile %20 arasında değişen değerler alabilmektedir (Nazaroff, 1992).

Daneler arası boşluğa ulaşan ve serbest kalan radon gazı, tıpkı açık bir parfüm şişesinde olduğu gibi, konsantrasyonun yoğun olduğu yerlerden az olan yerlere (yüzey veya atmosfer) doğru difüzyon yolu ile hareket eder (Şekil 2.9). Ancak, toprak içindeki radon gazının difüzyon hızı $0.04-0.004 \text{ cm}^2/\text{sn}$ olduğundan dolayı (Schroeder ve diğ., 1965) radon gazının sadece difüzyon ile uzak mesafelere taşınması mümkün değildir. Radon gazının oluşum yerinden uzak mesafelere taşındığı durumlar için başka hareket mekanizmaları açıklayıcı olabilir (Etiope, Martinelli, 2002).

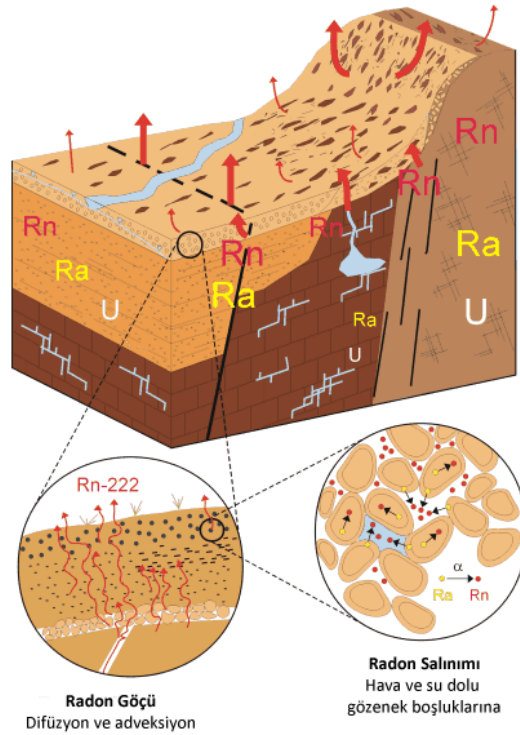
Radon difüzyon haricinde, hareketli gaz veya sıvı taşıyıcılar gibi harici güçlerin etkisi ile taşınarak (advektif) hareket edebilmektedir (Şekil 2.9). Toprak basıncının atmosfer basıncından yüksek olduğu durumlarda toprak içinde yer alan radon atomları diğer toprak gazları ile beraber yüzeye ve atmosfere doğru itilmiş/çekilmiş olur. Rüzgarların da basınç üzerindeki etkileri nedeni ile toprak gazının yüzeye doğru veya tersi yönde hareket etmesi ile ilişkileri vardır.



Şekil 2.9: Radon gazının toprak gibi gözenekli bir ortamda, basınç (P) ve konsantrasyon (C) gradyanlarına göre difüzyon ve adveksiyon ile taşınmasının şematik gösterimi (van der Pal, 2003).

Hem difüzyon hem de akışkan hareketi ile sağlanan taşınma zemindeki radon hareketinde önemli rol oynamaktadır. Temelde, taneler arası kanallarda, kapiler ve

küçük boşluklarda difüzyon esas mekanizmayı oluştururken, büyük boşluk ve mikro çatlaklarda ise taşınma (adveksiyon) esastır (Chyi ve diğ., 2001). Kırık ve çatlaklar radon gazının hareketini (migrasyon) kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, fay ve birim dokunakları gibi ortamlarda, derinlerden gelen radon gazının daha hızlı yüzeye doğru hareket edebilmesi nedeni ile lokal yüksek konsantrasyonlar gözlenebilmektedir. Şekil 2.10'da radon gazının zemin içindeki serbest kalma ve göç etme mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Radon gazının salınım ve göç mekanizmasının şematik gösterimi (Kemski, 1996).

2.1.2. Radon Gazı Ölçüm Yöntemleri

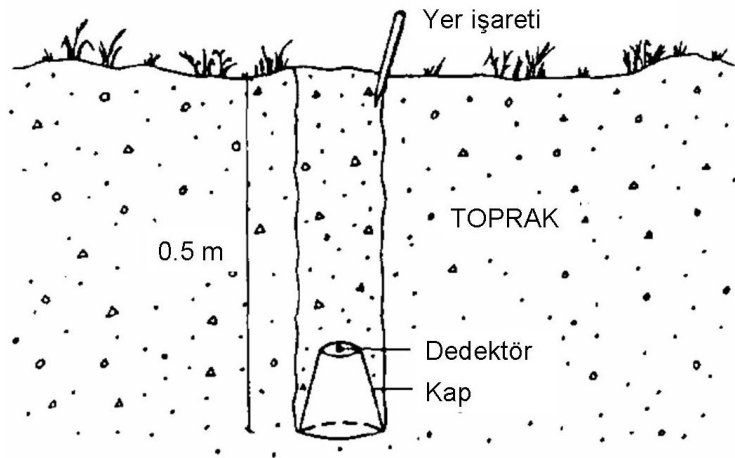
Radon gazı, renksiz, kokusuz, tatsız ve inert olduğundan dolayı özel cihazlar olmadan tespit edilememektedir. Ölçüm yöntemleri, radon gazının kendisinin ve katı bozunma ürünlerinin duraysız çekirdekleri tarafından yayılan alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarının tespit edilmesine dayanmaktadır. Bu açıdan, klasik radyasyon ölçüm yöntemleri arasında yer alan; gaz içerikli dedektörler (Geiger-Mueller, iyon odası, orantılı sayaç), katı hal yarı iletken dedektörleri (silikon), katı hal nükleer iz dedektörleri (CR-39, LR-115), sintilasyon-pırıldama dedektörleri (foto çoğaltıcı tüp ile beraber, ZnS dedektörü veya diğer adı ile Lucas Hücresi) radon gazı ölçümlerinde

kullanılabilmektedir (Knoll, 2000; Papastefanou, 2002). Radon gazının tespit edilmesi için pek çok farklı yöntem kullanılabilmekte ise de, toprak ortamında yer alan radon gazının yerinde (in-situ) ölçümlerinde çoğunlukla alfa parçacık tespitine dayalı; nükleer iz, sintilasyon hücresi ve silikon dedektörleri tercih edilmektedir. Bu bölümde bu üç ölçüm yöntemi üzerinde durulacaktır.

Toprak gazının toplanması ve radon konsantrasyonunun ölçülmesi için farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır. Genel çerçevede bunları; numune alarak veya yerinde (in-situ) yapılan ölçümler, difüzyif (pasif) veya advektif (aktif) gaz transferi ile topraktaki gazı dedektöre ulaştıran ölçümler; anlık (spot) veya sürekli (kesintisiz, gerçek zamanlı) ölçümler şeklinde sınıflandırmak mümkündür (NCRP, 1988; Tanner, 1991; Treutler et al., 1998; Hutter ve Knutson, 1998; Ruckerbauer ve Winkler, 2001; George, 1990).

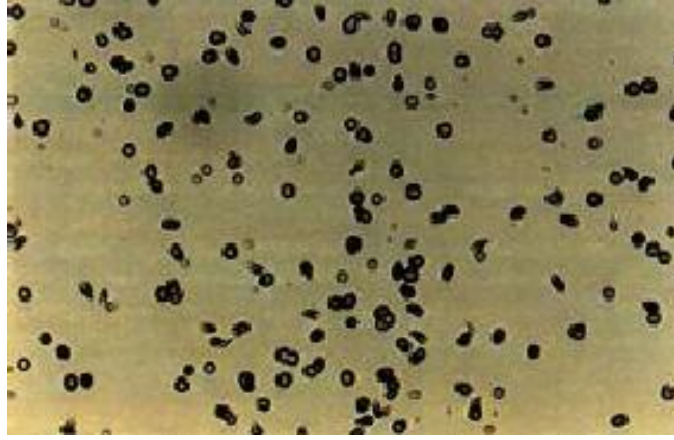
2.1.2.1. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri

Toprak radon gazı ölçümü ile ilgili çalışmaların çoğunda katı hal nükleer iz dedektörleri (Solid State Nuclear Track Detectors - SSNTD) kullanılmıştır (Fleischer ve Mogro-Campero, 1979; Somogyi ve diğ., 1984; Segovia ve diğ., 1989; Seidel ve diğ., 1988; Khan, 1989). CR-39 (poli-allil-diglikol-karbonat), LR-115 (selüloz nitrat) ve Makrofol (poli-karbonat) olarak bilinen çeşitleri vardır. Bunlar yüksek enerjili alfa parçacıklarına duyarlı özel film parçaları olup, genellikle bir ağzı açık veya geçirgen bir kap içinde toprağa gömülerek kullanılmaktadırlar (Şekil 2.11).

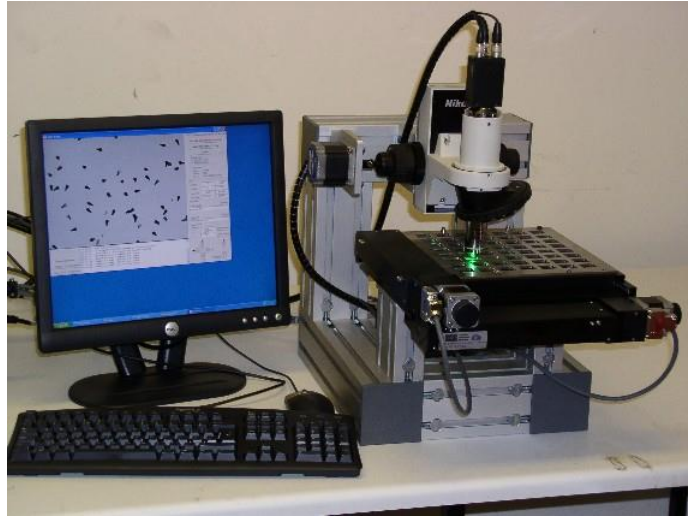


Şekil 2.11: Toprak zemine gömülen bir nükleer iz dedektörünün şematik gösterimi. Dedektörü meydana getiren film parçası, alt ucu açık veya filtreli, ters koni şeklinde plastik bir kap içinde tavana yapıştırılır ve toprağa gömülür. Plastik bir kabın içinde kullanılması ile, dedektöre sadece gaz formunda ulaşabilen alfa ışınlarının (radon gazının) iz bırakması sağlanmaya çalışılır (Lindmark ve Rosen, 1985).

Bu film parçaları oldukça düşük maliyetli ve yaygın kullanıma sahip bir dedektör çeşididir. Radon gazının bozunma zincirinde ortama saçılan alfa partikülleri bu film tabakasına çarpmakta ve yoğun kütleleri nedeni ile film üzerinde deformasyon izleri meydana getirmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Büyük kütleli alfa parçacıklarının bir katı hal nükleer iz dedektörü (CR-39) üzerinde meydana getirmiş olduğu izlerin optik mikroskop altındaki görüntüsü.



Şekil 2.13: Nükleer iz dedektörlerini saymak için optik mikroskop ve bilgisayardan oluşan otomatik ölçüm sistemi (Track Analysis Systems Ltd⁵).

Ortamdaki radon gazı aktivitesi arttıkça ve pozlanma süresi uzadıkça oluşan iz sayısı da artmaktadır. Ölçüm süresi sonunda bu dedektörler incelenmek üzere laboratuvar ortamına getirilir. Dedektör üzerinde oluşan nükleer izler normal bir optik mikroskop ile görülemeyecek kadar küçüktür. Bu nedenle plastik filmler aşındırıcı bir çözelti (NaOH

⁵ <http://www.tasl.co.uk/radon.php>

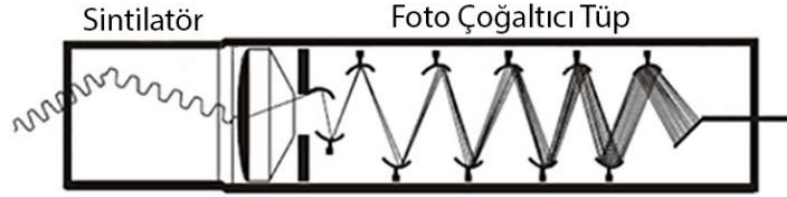
veya KOH) ile işlenerek, deformasyon izleri bir mikroskop ile sayılabilecek şekilde belirgin bir hale getirilir (Khan, 1989, Nikezic, 2004). Bu yöntem, nükleer iz kazıma adı verilmektedir (Köksal ve Çelebi, 2005). Film parçası üzerinde birim alandaki iz sayısından hesaplanarak ortamdaki radon gazı konsantrasyonunu elde edilmektedir. Elde edilen değer, tüm ölçüm zamanını kapsayan ortalama konsantrasyonunu vermektedir. Son dönemlerde, mikroskop ile yapılan okuma işlemlerini, görüntü analiz yardımı ile otomatik olarak gerçekleştiren cihazlar da geliştirilmiştir (Şekil 2.13).

Nükleer iz dedektörleri düşük maliyet, kolay kullanım ve ölçüm noktasında herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymamaları gibi avantajlara sahiptir. Ancak, ölçüm sonuçlarının elde edilmesi için laboratuvar çalışması gerektirmesi, ölçüm süresini kapsayan sadece ortalama bir değer vermesi ve uzun süreli ölçümlerde dedektörlerin sürekli değiştirilmesinin gerekmesi başlıca dezavantajlarıdır. Uzun dönemleri kapsayan ancak kısa zaman aralıklarını temsil eden ölçümlerin gerektiği çalışmalarda bu dedektörlerin kullanılması, uzak ve zor ulaşıma sahip ölçüm noktalarında oldukça sıkıntı yaratmaktadır (Monnin ve Seidel, 1998). Ayrıca, dedektör değişimi nedeni ile ölçüm yapılan ortam rahatsız edilmekte, kesintisiz ölçüm alınamamaktadır. Film tabakasının pozlanma öncesi ve sonrası ışımalara maruz kalabilmesi, kimyasal işlemin izlere zarar verebilmesi, sayım işleminde hatalar olabilmesi de bu dedektörlerde dikkat edilmesi gereken diğer noktalardır.

2.1.2.2. Sintilasyon (Pırladama) Dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri (Scintillation Detectors), sintilatör (scintillator) ve foto çoğaltıcı tüp (photo multiplier tube) olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir (Şekil 2.14). Sintilatörler, içlerinden iyonlaştırıcı radyasyon geçtiğinde pırladama özelliği gösteren, katı, sıvı veya gaz fazındaki maddelerdir (Miglerini, 2004). Alfa parçacıklarını ölçmek için sintilasyon hücresi içinde gümüş ile aktive edilmiş ZnS(Ag) (çinko sülfür) kaplama sintilatör olarak kullanılır. Radyasyon dedektör içine ulaştığında sintilatör ile olan etkileşim sonucunda zayıf görünür ışık fotonları meydana gelir ve bunlar tüp içinde ölçülebilir voltaja dönüştürülür. Meydana gelen voltajın büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile doğrudan orantılıdır, bu sayede enerji ayırımı yapmak ve dolayısı ile radyoaktif izotop çeşidini belirlemek mümkündür. Sintilasyon dedektörleri ile anlık numune olarak ölçüm yapmak mümkün olduğu gibi, sürekli ölçüm için kullanımı da söz konusudur. Genel radyasyon ölçümlerinde ve sıkça kullanılan standart

bir yöntem ve geniş algılama yüzeyine sahip olmaları gibi avantajlar yanında, nispeten büyük hacimli ve kırılğan olmaları, manyetik alanlardan etkilenmeleri, yüksek voltaj gerektirmeleri ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmeleri başlıca dezavantajlarıdır.



Şekil 2.14: Bir sintilasyon dedektörünün çalışma prensibini gösteren şema. Sintilatöre giren iyonlaştırıcı radyasyon önce ışık fotonları ve ardından da ölçülebilir bir akım meydana getiren elektronlara dönüştürülür (Miglerini, 2004).

2.1.2.3. Katı Hal Yarı İletken Dedektörleri

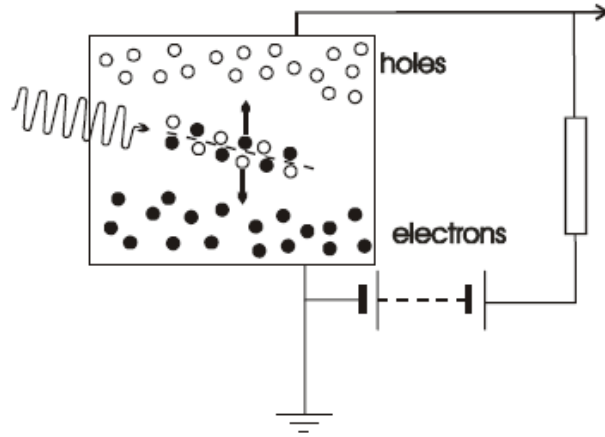
Toprak radon gazı ölçümlerinde sıkça kullanılan bir diğer dedektör tipi de silikon temelli katı hal yarı iletken dedektörleridir (Solid State Semiconductor).



Şekil 2.15: Yarı iletken silikon dedektörleri⁶.

Bir yarı iletken dedektör (Şekil 2.15), içinden geçen yüklü parçacıkları tespit etmek için, silikon veya germanyum gibi bir yarı iletken kullanmaktadır. Yarı iletken dedektörleri, kullanılan yarı iletken malzemesine ve mimarisine göre; surface-barrier, diffused-junction, silicon lithium-drifted (SiLi), germanium lithium-drifted (GeLi) ve hyperpure germanium (HPGe) olmak üzere farklı isimler almaktadırlar (Miglerini, 2004). Alfa parçacığı gibi bir iyonlaştırıcı radyasyon bu tip bir dedektöre girdiğinde, dedektör içinde yol aldığı hat boyunca elektron-deşik (electron-hole) çiftleri meydana getirir (Şekil 2.16).

⁶ <http://www.ortec-online.com>



Şekil 2.16: Yüklü bir parçacığın yarı iletken dedektörünün içinden geçerken oluşan elektron-deşik (electrons-holes) çiftleri. Radyasyon ile meydana gelen bu çiftler, dedektör içinde ölçülebilecek bir akım meydana getirmektedir (Miglerini, 2004).

Oluşan elektron-deşik çiftlerinin sayısı, yarı iletken içinden geçen radyasyonun enerjisine bağlıdır. Dışarıdan uygulanan bir elektrik alanı ile bu çiftler ayrıştırılarak elektronlar anoda, deşikler de katoda doğru sürüklenir ve meydana gelen akım ölçülerek radyasyonun enerjisi ve yoğunluğu tespit edilir. Bu yöntemle yüzeye çarpan alfa parçacıklarının enerjilerinin ayırt edilmesi mümkün olduğundan, alfa spektroskopisi yöntemi ile dedektöre ulaşan parçacıkların hangi radyoaktif izotopa (^{222}Rn , ^{220}Rn) ait olduğu tespit edilebilmektedir. Gaz iyonizasyon dedektörlerine nazaran yarı iletken dedektörleri daha az enerji gerektirmekte, daha iyi bir zaman ve enerji çözünürlüğüne sahiptirler.

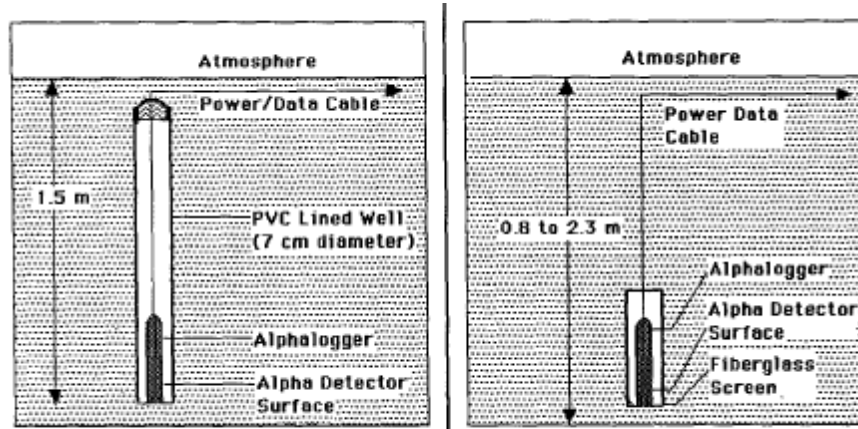
Yarı iletken dedektör yüzeyleri, ışık ve nem koşullarından etkilenmektedir. Bu nedenle arazi koşullarında kullanmak için, ışık ve nemden koruyucu ancak alfa ışımalarını geçiren özel koruyucu bir folyo (aluminized mylar) ile kullanılmaları gerekmektedir. Ancak gelişen teknoloji ile beraber üretilen özel kaplamalar (ışığa karşı alüminyum evaporasyon ve neme karşı ince polimer film) ile bu dedektörleri zorlu koşullarda herhangi bir ek koruyucu olmadan da sorunsuz bir şekilde kullanmak mümkündür⁷. Bu özel kaplamaya sahip dedektörlerin kullandığı cihazlar ile toprak zemin içinde hatalı

⁷ <http://www.ortec-online.com>

ölçüm ve dedektör değiştirme olasılığı en aza indirgenerek uzun süreli ve kesintisiz ölçümler yapmak mümkün olmaktadır.

Yarı iletken dedektörlerinin kullanıldığı radon gazı ölçüm cihazları, katı hal nükleer iz dedektörlerine nazaran pahalı olmakla beraber, sürekli kullanılabilir olmaları, kesintisiz ölçüm yapabilmeleri, ölçüm sonuçlarının anında ve istenilen aralıkta (dakikalar veya saatler aralığında) elde edilebilmesi, alfa spektroskopisine imkân vermeleri gibi üstün özelliklere sahiptirler.

Kesintisiz radon ölçüm cihazları toprak içinde farklı şekillerde konuşlandırılabilir. Toprağa açılan kuyular içine bu cihazlar indirilebileceği veya sarkıtılabileceği gibi, açılan kuyulara bu cihazların yerleştirilip üstlerinin yine toprak ile kapatılması da mümkündür (Şekil 2.17). Cihazın konulacağı kuyunun PVC boru ile desteklenmesi ve kuyunun toprak ile kapatılmaması, cihazın yerinden çıkarılması aşamasında kolaylık sağlayacaksa da, zeminin doğal yapısının mümkün olduğunca korunması açısından tercih edilmemelidir. Ölçüm cihazının ortalama 80-100 cm'lik bir derinlikte ve bütünü ile gömülü bir şekilde çalıştırılması, toprak içindeki doğal ortamın korunmuş olmasını ve ölçümlerin atmosferik koşullardan mümkün olduğunca az etkilenmesini sağlamaktadır (Wattanani ve diğ., 1998).



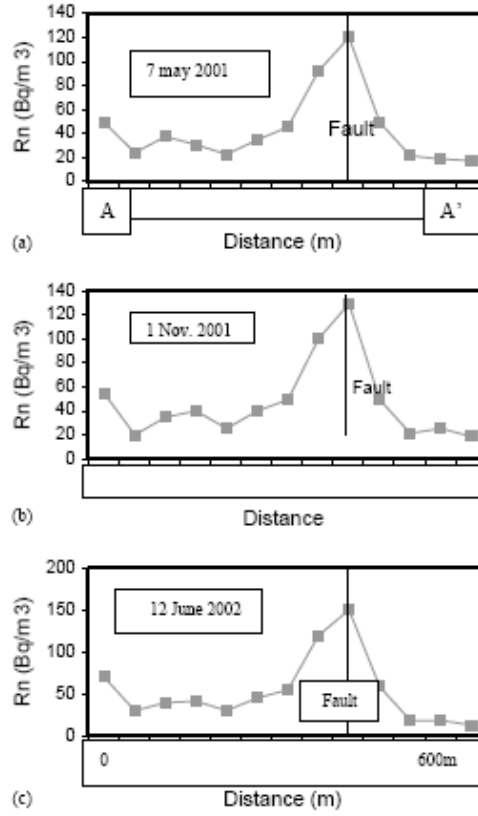
Şekil 2.17: Radon gazı ölçüm cihazının toprak içinde farklı konuşlandırma şekilleri. Sol tarafta ölçüm cihazı açılan bir kuyu içinde yere indirilmekte ve üstü kapatılmaktadır. Sağ tarafta ise açılan kuyu cihaz tepesine kadar tekrar toprak ile örtülmektedir (Thomas ve diğ., 1992).

2.1.3. Toprak Radon Gazına Dayalı Uygulamalar

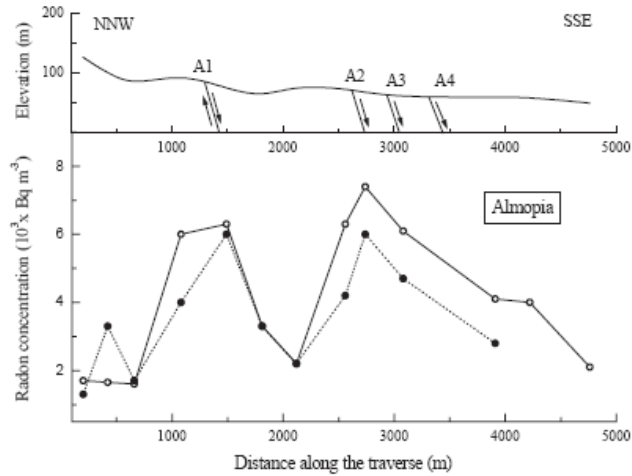
Radon gazının yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunması, kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsız oluşu ve radyoaktif özelliğinden dolayı çok düşük konsantrasyonlarda bile kolayca tespit edilebilir olması onu çeşitli araştırmalar için çok elverişli bir jeokimyasal iz konumuna getirmiştir. Özellikle yer bilimleri başta olmak üzere pek çok bilimsel çalışmada bu radyoaktif gazdan yararlanılmaktadır.

2.1.3.1. Aktif veya Gömülü Fayların Saptanması Çalışmaları

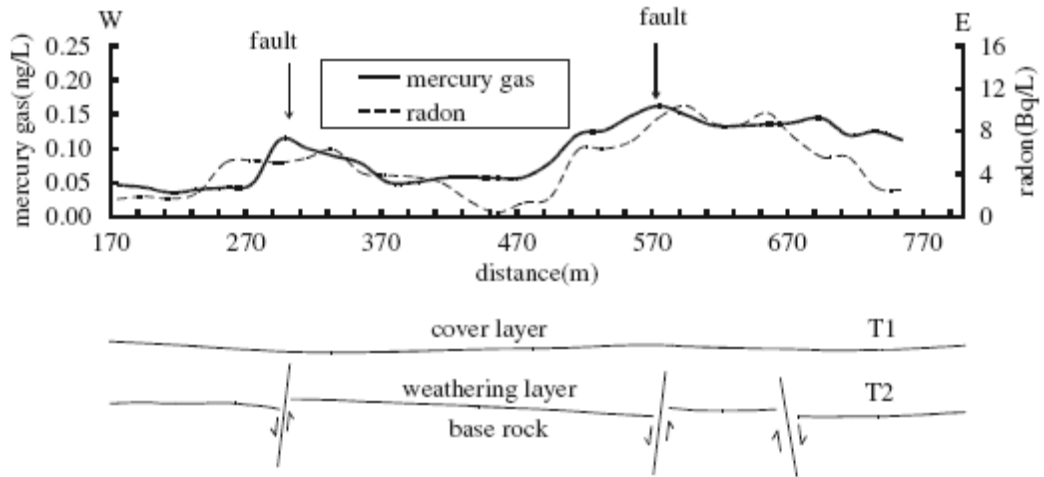
Fay zonları çevre kayalarına göre genel olarak daha kırıklı ve çatlaklı, geçirgen bir ortam sunmaktadır. Çevre kayalar ile fay zonu arasındaki bu geçirgenlik farklılığı birkaç katı kadar olabilmektedir (Pedersen et al., 1997). Geçirgenlik'teki bu artış, gaz taşıyıcı akışkanların hareketi için fay zonlarını tercih edilen yollara dönüştürebilmektedir. Derinlerden gelen akışkanlar yüzeye doğru yükseldikçe azalan basınç ile beraber taşınan gazlar akışkanlardan ayrılıp toprak gazına ve atmosfere karışmaktadır (King, 1986). Bir çalışma sahasında fay zonu üzerinde çevreye oranla daha yüksek miktarda gaz konsantrasyonları (CO₂, He, Hg, Rn...) tespit edildiğinde "jeokimyasal olarak aktif fay" tanımlaması yapılabilmektedir (Lombardi ve diğ., 1998). Ancak, jeokimyasal açıdan aktif olan bir fayın tektonik açıdan da mutlaka aktif fay olması beklenmemelidir. Yine de aktif fayların ezik zonları boyunca, aktif olmayan faylara nazaran daha yüksek radon konsantrasyon potansiyeli bulunduğu varsayılır (De La Cruz ve diğ., 1986; Steinitz et al., 1992; Schery et al., 1982; Banwall ve Parizek, 1988; Reimer, 1990; Kemski et al., 1992). Bu kabulden yola çıkılarak pek çok çalışmada aktif fayların tespit ve tanınmasında toprak radon gazı ölçümleri başarılı bir şekilde uygulanmıştır (İsraël and Björnsson, 1966; King, 1980; Kato et al., 1990; Kuşçu ve diğ. 1992, Varley ve Flowers, 1992; Clamp and Pritchard, 1998; Ciotoli et al., 1999; Dehandschutter, 2001; İnan ve diğ., 2001; Tansi ve diğ., 2005; Wang ve diğ., 2006). Toprak radon gazı ölçümleri ile aktif fayların tespit edilmesi çalışmalarında, fay hattına dik profiller boyunca ve mümkün olduğunca sık aralıklı radon gazı konsantrasyon ölçümleri amaçlanmaktadır. Toprak radon gazı ölçümleri ile aktif fay tespiti çalışmalarına ait bazı örnekler Şekil 3.1-3.3'de gösterilmiştir.



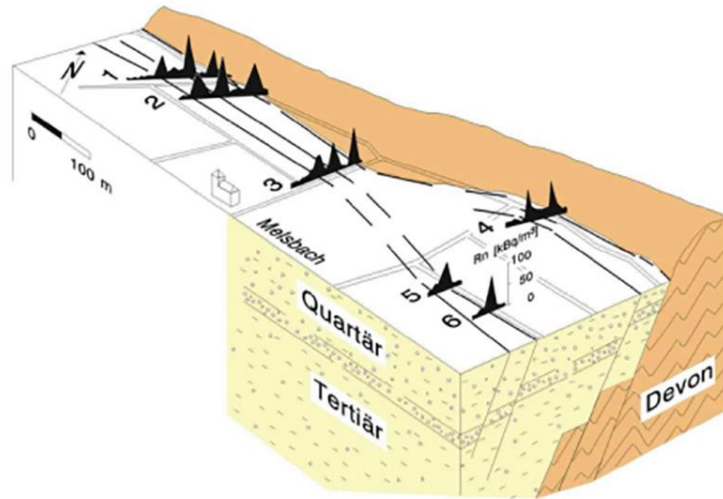
Şekil 2.18: Mısır'da yapılan bir çalışmada, aktif bir fayı diklemesine kesen bir profil boyunca farklı dönemlerde ölçülmüş toprak radon gazı konsantrasyonları. a) 7 Mayıs 2001, b) 1 Kasım 2001 ve b) 12 Haziran 2006 tarihlerinde alınmış ölçümleri göstermektedir. Her üç farklı dönemde alınmış ölçümlerde de maksimum radon konsantrasyonu fay yeri ile kesişmektedir. (Moussa, El Arabi, 2003).



Şekil 2.19: Kuzey Yunanistan'da yer alan Almopia fayının topoğrafik kesit üzerindeki görünümü ve bu faya dik bir şekilde alınan toprak radon gazı ölçüm sonuçlarına ait grafik. Radon gazı ölçümleri iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir ve iki ayrı çizgi halinde işaretlenmiştir. Faylanmanın olduğu alanlarda radon gazının da pikler verdiği görülmektedir (Ioannides et al., 2003).



Şekil 2.20: Çin'in Fuzhou kentinde bir profil boyunca toprak gazındaki radon ve cıva konsantrasyon değişimleri grafikte görülmektedir. Grafiğin altında, aynı profil boyunca sığ sismik ile elde edilmiş faylar görülmektedir. Toprak gazındaki anomaliler ile faylanmaların birbirleriyle tam uyumlu olduğu açıkça görülmektedir (Wang et al., 2006).

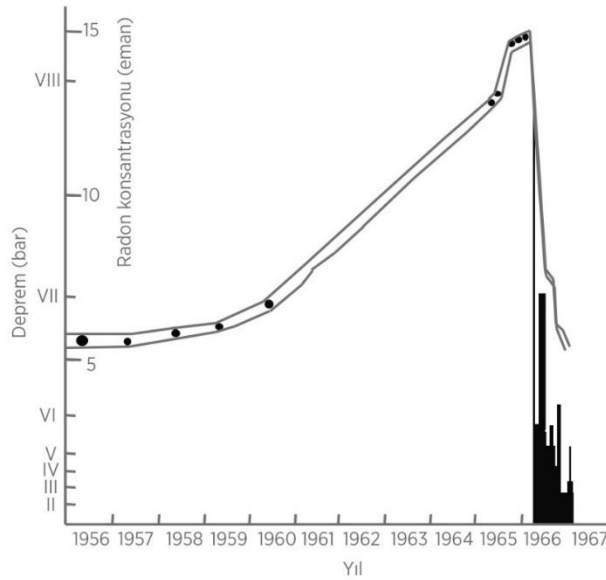


Şekil 2.21: Faylanmalar olduğu bir bölgede birden fazla toprak radon profil ölçümlerinde elde edilen sonuçların şematik gösterimi. Şekilde görüldüğü üzere, farklı ölçüm profillerinin süreksizliklere denk gelen yerlerinde radon konsantrasyonları belirgin artışlar sergilemektedir (Kemski, 1993).

2.1.3.2. Depremlerin Önceden Tahmin Edilmesi

Radon'un doğada var olan tek radyoaktif asal gaz olması nedeni ile içinde bulunduğu ortam kayaç, su veya gaz olsun, kimyasal reaksiyona girmemekte, sadece fiziksel mekanizmalardan etkilenmektedir. Yarılma ömrü insan hayatına nazaran kısa olmasına karşın, yer kabuğunda gelişen dinamik süreçler hakkında yararlı bilgiler taşıyabilmesi için yeterli bir süre teşkil etmektedir (Monnin ve Seidel, 1992). Diğer yandan, deprem öncesi birikmeye başlayan veya deprem sonrası serbest kalan stres yer kabuğu içindeki

gerilim alanını etkilemektedir (Fleischer, 1981). Yer kabuğunun elastik olduğu kabul edilirse gerilimdeki bu değişimin uzun mesafeler boyunca yayılması beklenir. Bu açılarından, sismik etkinlik öncesi yer kabuğunda meydana gelen değişimlerin, yine yer kabuğundan kaynaklanan radon gazı konsantrasyonlarının izlenerek tespit edilebileceği görüşü gelişmiştir. Radon gazının deprem öncesinde değişimine neden olan mekanizmayı açıklayan birkaç farklı teori vardır. Bunlardan bir tanesi; yer kabuğunun derinlerinde yoğunlaşan radon gazının deprem öncesinde kabukta meydana gelen sıkışmadan dolayı yüzeye doğru itilmesinden ileri geldiğini ileri süren sıkışma modelidir (King, 1978, Wattananikorn, 1998). Bir diğeri açıklama ise, yer kabuğunda tektonik stres arttığında kayaçlarda gelişen genişleme etkisi ile ortaya çıkan kırılmalar veya gözenek sularının atılması şeklinde belirtilen genişleme-difüzyon (dilatancy-diffusion) modelidir (Scholz ve diğ, 1973).



Şekil 2.22: Taşkent'te 1956 yılı ile 1967 yılları arasında yeraltı su örneklerinden ölçülen radon konsantrasyon değerlerinin zamana bağlı grafiği. 1966 yılında meydana gelen deprem (M=5.3) aktivitesi öncesinde radon gazında uzun süreli ve belirgin bir artış ve deprem sonrası belirgin bir düşüş izlenmektedir (Ulumov ve Mavashev, 1971).

Deprem öncesinde yer kabuğunda meydana gelen değişimlerin radon gazı ile tespit edilmeye çalışılması ve bu yöntem ile deprem tahmin çalışmaları 1966 yılında Taşkent (Özbekistan) depremi öncesi, sırasında ve sonrasında toplanmış olan veriler neticesinde yaygınlaşmıştır. Taşkent'te yer alan derin artezyen kuyularından toplanan su örneklerinin radon gazı konsantrasyonları 1956 yılından başlayarak uzun yıllar boyunca ölçülmüştür. Şekil 2.22'de toplanan bu verilerin zamana bağlı değişim grafiği

görülmektedir. 1966 yılındaki deprem ($M=5.3$) öncesinde uzun bir zamana dayanan radon gazı konsantrasyon artışı izlenmiştir. Burada elde edilen ölçümler neticesinde dünyada başta ABD, SSCB, Çin ve Japonya gibi ülkelerde, radon gazı ile sismik aktivite arasındaki ilişki, ilgi gören bir araştırma konusu olmuştur.

Dünyada insanların resmi olarak uyarıldığı ve can kaybının önleendiği tek deprem tahmini, 1975 Haicheng (Çin) depremi ($M=7.3$) için yapılmıştır. Burada da pek çok parametre yanında yeraltı sularında radon gazı ölçümleri yapılmış ve başarılı sonuç elde edilmiştir.

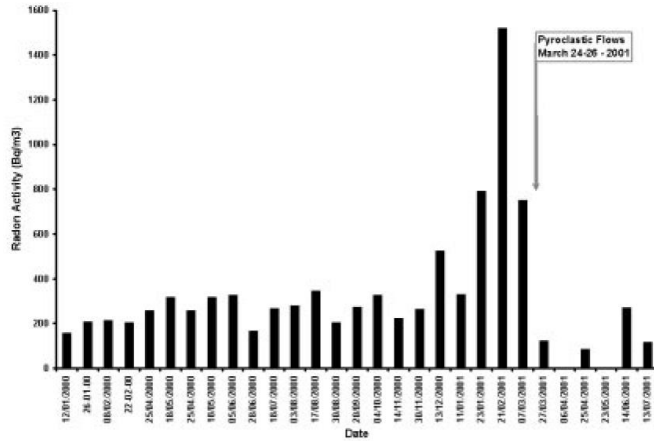
Türkiye’de toprak radon gazı ile sismik aktivite arasındaki ilişkiye yönelik olarak yapılan çalışmalara, Friedmann ve diğ. (1988), Woith ve diğ. (1989), Göksel ve diğ. (1987), İnan ve diğerleri (2003), ve Saç ve Camgöz (2005), İnan ve diğ. 2008, İnan ve diğ. 2010, İnan ve Seyis (2010), İnan ve diğ. (2012a), İnan ve diğ. (2012b), Kop ve diğ. (2013) örnek verilebilir.

Sismik aktivite ile radon gazı konsantrasyon değişimi arasında bir ilişki olduğunu ortaya koyan pek çok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca deprem öncesi gözlenen radon anomalilerinin mekanizma ve kökenine yönelik birçok matematiksel model ve laboratuvar çalışması da vardır. Buna rağmen bu ilişki henüz güvenilir bir metod olarak kullanılabilecek şekilde ortaya konulamamıştır.

Yapılan farklı çalışmalarda sismik aktivite ile toprak radon gazı arasında korelasyon elde edilemeyen gözlemler de mevcuttur. Seçilen ölçüm yerinin konumu ve zaman içinde sismik etkinliğe karşı duyarlılığın değişimi, meydana gelen depremlerin mesafe-büyükölük-derinlik ve karakter farklılıkları, tektonik blok farklılıkları (İnan ve diğ. 2012a) ölçüm cihazı-yöntemi farklılık ve hataları, radon gazının yerin derinliklerindeki hareketinin tüm ayrıntıları ile henüz bilinmemesi gibi parametrelerin elde edilen farklı sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Bu açıdan, radon gazı ölçümleri ile sismik etkinlik arasındaki ilişkiye yönelik belirsizlikleri ortadan kaldıracak çalışma alanları halen mevcuttur.

2.1.3.3. Volkan Patlamalarının Önceden Tahmin Edilmesi

Volkan aktivitesi ile radon gazı arasında ilişkiye yönelik ilk çalışma Chirkov (1976) tarafından yayınlanmıştır. Kendisi Karymsky volkanında (Kamchatka, Rusya) meydana gelen patlama öncesi sismik etkinlik ve termal sulardaki radon konsantrasyonunda artış tespit etmiştir. Radon gazında değişime neden olan etkenler içinde; volkan aktivitesi nedeni ile gelişen magma enjeksiyonu (Del Pezzo ve diğ., 1981; Flerov ve diğ., 1986), mikro çatlak gelişimi (Thomas ve diğerleri, 1986), hidrotermal sistemin sıcaklık ve derinliğindeki değişimler (Hauksson, 1981; Gasparini ve diğ., 1984; Connor ve diğ., 1996), ve gaz taşınımında etkili olan kırık ve çatlakların açılması/kapanması sonucunda kayaç geçirgenliğindeki değişimler (Heiligmann ve diğ., 1997) sayılabilir. Şekil 2.23'da Arenal (Kosta Rika) volkanında yapılan radon gazı ölçümlerinin zamana bağlı grafiği görülmektedir. 24-26 Mart 2001 tarihinde meydana gelen lav akıntısı öncesinde belirgin bir radon gazı artışı tespit edilmiştir.



Şekil 2.23: Kosta Rika'da yer alan Arenal volkan konisinde yapılan toprak radon gazı konsantrasyon ölçümlerinin zaman bağlı grafiği. 24-26 Mart 2001 tarihinde meydana gelen lav akıntısı öncesinde toprak radon gazı konsantrasyonunda belirgin bir artış ve ardından azalış gözlenmiştir (Vindas, et al., 2002).

2.1.3.4. Diğer Uygulamalar

Yukarıda sayılan ve doğrudan toprak radon gazına bağlı olan uygulamalar dışında, radon gazının başka kullanım alanları da vardır. Özellikle yoğun miktarda Radon gazı içeren kaplıçalarda sağlığa olumlu etkisi olduğuna inanılan radon kürleri uygulanmaktadır. Ancak bu inancı destekleyen kesin tıbbi veriler olmadığından dolayı radon kürleri tıbbi bir tedavi olarak kabul edilmemektedir. Ayrıca radon gazının yüksek akciğer kanser riskine karşın bu tür uygulamaların sağlığa zararlı olduğu görüşü de

yaygındır. Yine de çeşitli araştırmalarda radon kürelerinin özellikle romatizma ağrıları üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Falkenbach ve diğ. 2005).

Radon gazı seviyelerinin büyük ölçekteki farklılığı ile hava kütlelerinin taşınmasının izlenmesinde sınırlı da olsa kullanımına imkân vermektedir (Liu et al, 1984; Kritz et al, 1990).

Hidrojeolojik araştırmalarda da radon gazından yararlanılmaktadır. Radon gazının su içinde çözünebilirliği ve yeraltı suları ile uzak mesafelere taşınabilirliği nedeni ile yeraltı su hareket takiplerinde, saklı jeotermal alanların araştırılmasında veya akarsuların yeraltı suları ile etkileşimlerinin tespitine kullanımını mümkün kılmaktadır. Akarsularda yüksek radon seviyelerinin tespit edilmesi yerel yeraltı suyu ile karışım olduğuna işaret edebilmektedir. Çünkü bir akarsuyun içinde kısa bir süre kalması bile konsantrasyonunu büyük bir kısmını kaybetmesine yeterli olmaktadır. Bu nedenle, bir akarsuyun belirli kesimlerinde yüksek radon konsantrasyonlarının bulunması yeraltı suyu karışımına dair duyarlı bir işaret teşkil etmektedir. Kraemer ve Genereux (1998) ^{222}Rn karışım modellerini ve akarsulara yer altı suyu karışım alanlarını tespit etmekte radon kullanımını detaylı bir şekilde ele almıştır. Diğer yandan, yüzey sularının yeraltı sularına süzülmesinin de tespit edilebileceğini belirten çalışmalar mevcuttur (Hoehn ve Gunten, 1989).

Sahalarda toprak radon gazı yayılım tespit çalışmaları mineral keşif çalışmalarında da kullanılmıştır (Gingrich, 1975).

Amerika, Almanya gibi gelişmiş ülkelerde tüm ülkeyi kapsayan detaylı radon risk haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar özellikle yerleşim yerlerinin seçiminde, inşa edilen veya edilmiş olan binalarda radon gazına karşı çeşitli önleyici sistemlerin kullanılması gibi aşamalarda kullanılmaktadır.

Petrol veya çözücüler (solvent) gibi, su fazında olmayan akışkanların (non aqueous phase liquids, NAPL) zemine sızarak toprağı kirletmesi, pek çok endüstriyel veya askeri bölgede büyük bir sorun teşkil etmektedir (Boulding, 1996). Bu kirleticilerin yüzey altındaki yayılım alanlarının ve kirlenme miktarının sağlıklı belirlenebilmesi, kirlenmiş

alanların doğru bir şekilde ele alınması ve verimli bir şekilde temizlenebilmesi için çok önemlidir (Höhener ve Surbeck, 2004). Özellikle yeraltı sularında kirlenmeye neden olan kaynak zonlarına ait sınırların belirlenmesi için kullanılan geleneksel numune alma yöntemleri (örneğin toprak karotları, trençler) hem önemli zorluklara sahiptir hem de masraflıdır (Feenstra ve Cherry, 1996). Sağlıklı bir alan tespiti yapabilmek için mümkün olduğunda sık aralıklı ve çok sayıda örnekleme yapılması gerektiğinden, kullanılacak yöntemin mümkün olduğunca kolay ve ucuz olması tercih edilir. Toprak ortamında yaygın bir şekilde var olan radyoaktif ve inert radon gazının bu kirleticiler içindeki yüksek çözünme kabiliyeti ve kolay tespit edilebilme imkânı onu bu alanda kullanılabilir bir yöntem kılmaktadır (Schubert ve diğ., 2001 ve 2002).

Dünya dışındaki gezegenlerde su arama çalışmalarında da radon gazı ölçümlerinden faydalanılması düşünülmüştür. Mars toprağı boşluklarında var olabilecek donmuş suyun radon yayılımını arttırması ve bu şekilde yüzeyde yüksek radon gazı çıkışlarına neden olacağı kabul edilerek Nasa'nın Mars araştırmalarında radon gazı ölçümleri yapılmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır (Sabroux ve diğ., 2004).

2.2. TOPRAK RADON GAZI DEĞİŞİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERE AİT ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Genel olarak, toprak gazındaki radon konsantrasyonu barometrik basınç, nem, yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörlerden etkilendiği yönünde bilgiler bulunmaktadır (Kraner ve diğ., 1964; Duenas ve diğ., 1997). Klusman ve Webster (1981) radon zaman serilerindeki değişimlerin %90'ından fazlasını meteorolojik etkiler ile açıklarken, Fleischer ve Mogro-Campero (1985) meteorolojik etkilerin ölçülebilir değişimlere neden olmadığını belirtmektedir. Mineral taneleri içindeki radon atomlarının serbest kalma oranını ve toprak gözeneklerindeki serbest radon gazının hareketini etkilemesi muhtemel atmosferik parametrelerin toprak içindeki radon gaz seviyesini değiştirmeleri beklenmelidir. Ancak yapılan çalışmalarda birbirleriyle çelişen farklı sonuçların elde edilmesi, meteorolojik parametrelerin etki mekanizmasının tam olarak ortaya konamadığını göstermektedir. Özellikle, değişen zemin koşullarının ve kullanılan farklı ölçüm yöntemlerinin bu çelişkili sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir. Radon gazının olası meteorolojik etkilerden mümkün olduğunca az etkilenmesi için yapılacak

radon gazı ölçümlerinin toprağın yüzeyine yakın seviyelerden değil, ortalama 100 cm derinliğinde (Wattananikorn ve diğ., 1998) gerçekleştirilmesi ve ölçüm yöntemlerinde kaynaklanabilecek hatalı değişimlerin önüne geçebilmek için farklı yöntemler kullanılarak yapılması (Neznal ve diğ., 2004) önerilmektedir.

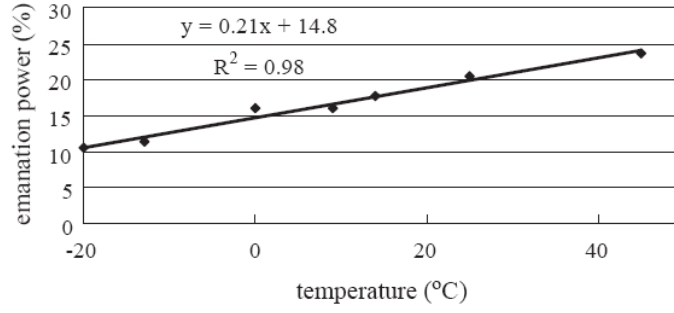
Gün içinde radon çıkış değişimlerinde farklılıklar olduğunu (Malakhov ve diğ., 1966) belirten çalışmalar olduğu gibi, gece ile gündüz arasında önemli farklılıklar olmadığı (Gogolak ve Beck, 1980; Wilkening ve diğ., 1975) yönünde de çalışmalar mevcuttur.

Thomas ve diğerleri (1986) Hawaii Kilauea volkanında 5 yıl boyunca yapılan gözlemlerde, toprak radon gazı konsantrasyonu ile meteorolojik faktörler arasında çok düşük korelasyonlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Radon gazı seviyesindeki değişimlerin temel nedeninin sismik ve volkanik aktivitenin neden olduğu sonucuna varılmıştır. Magmatik sokulumlar ile eş zamanlı, sismik aktiviteler ile ise öncü değişimler gözlenmiştir.

Asher-Bolinder ve diğerleri (1990), toprak radon gazı konsantrasyonunun kış aylarında artan nem, izole edici yüzey suyu veya don nedeni ile arttığını bildirmişlerdir. Yaz aylarında artan güneş etkisi ile radon yayılım sabitinin düşmesi ve derin çatlakların oluşması ile atmosfere kaçan radon gazı nedeni ile toprak içindeki radon gazı yoğunluğunun düştüğünü ileri sürmüşlerdir. Winkler ve diğerleri (2001) toprak radon gazı zaman serilerinin analizi sonucunda, kış aylarında en yüksek konsantrasyon olmak üzere, mevsimsel değişimler tespit etmiş, Hubbard ve Hagberg (1996) ise topraktaki radon konsantrasyonunun yazın en yüksek, kışın ise en düşük olduğunu belirtmişlerdir. Mevsimsel değişimler üzerinde yapılan başka çalışmalarda da yüksek konsantrasyonlar kış veya yaz aylarında tespit edilmiş (Schumann et. al., 1989; Rose et al., 1990; Hutter, 1996) veya tespit edilememiştir (Fleischer et al., 1980).

2.2.1. Sıcaklık

Iskandar ve diğerleri (2004) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada artan toprak sıcaklığı ile beraber radon atomlarının taneler içinde kurtulma oranı olan emanasyon gücünün arttığı ortaya konulmuştur (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Toprak sıcaklığına bağlı olarak radon emanasyon (yayınım) değerlerinin değişimi. İki değer arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğru orantılı bir ilişki vardır (İskandar ve diğ., 2004).

Kuru topraktaki radon emanasyonu deneysel olarak farklı sıcaklıklar için ölçmüşler ve sıcaklığa bağlı radon emanasyonunu hesaplamaya yarayan basit bir formül geliştirmişlerdir. Elde edilen formülü değişik tip topraklara ve farklı nem seviyelerine uygulayarak hesaplanan ve ölçülen değerlerin uyumlu olduğunu ortaya koymuşlardır. Buldukları sonuçların ilginç bir noktası, elde edilen formüle göre radon emanasyonunun “0” olduğu noktanın -71.5 °C’ye, yani radon’un donma noktasına (-71.0 °C) denk gelmesidir.

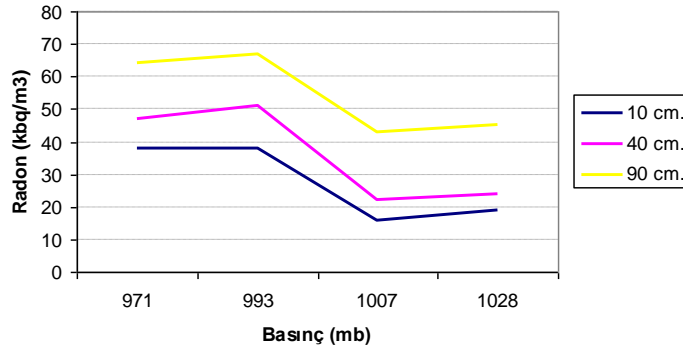
Fujiyoshi ve diğerleri (2006), toprağın 10 cm derinliğinde yaptıkları çeşitli radon gazı ölçümleri sonucunda özellikle toprak sıcaklık değişimlerinin radon gazı üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yine Washington ve Rose (1990) toprak gazındaki radon konsantrasyonunun, gaz fazı ile sıvı faz arasındaki dağılımı belirleyen sıcaklığa bağlı olduğunu belirtmiştir.

Hubbard ve Hagberg (1996) topraktaki radon konsantrasyonunun dış ortam sıcaklığı ile uyumlu olarak yazın en yüksek, kışın ise en düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu tespit İskandar ve diğerlerinin (2004) elde ettikleri radon emanasyonu-sıcaklık ilişkisine göre, artan sıcaklık ile beraber radon gazının taneler içinden kurtulma oranının artması ile uyumludur.

Asher-Bolinder ve diğerleri (1992) toprak radon gazı ile hava ve toprak sıcaklığı arasında mevsimsel bazda ters korelasyon hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada yaz aylarında düşük, kış aylarında ise yüksek radon gazı ölçmüşlerdir.

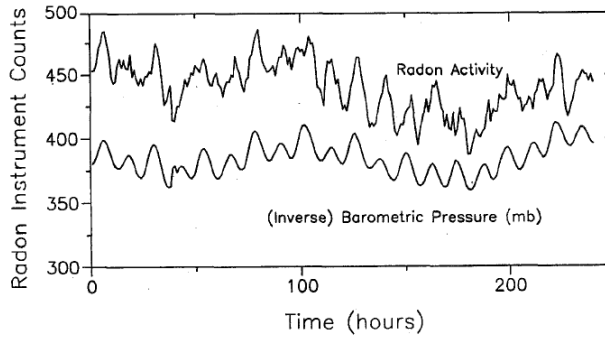
2.2.2. Basınç

Bender (1974), artan barometrik basıncın toprak radon gazı konsantrasyonunu arttırdığını, azalan basıncın da konsantrasyonu azalttığını belirtmiştir. Bununla beraber UNSCEAR (1982) raporunda, Israelsson (1980) çalışmasında elde edilen bilgilere göre (Şekil 2.25), artan basınç ile beraber toprak gazındaki radon konsantrasyonda bir azalma eğilimi olduğu belirtilmektedir. Bu azalmanın, dış ortamdan toprak içine doğru giren hava akımından dolayı yüzeye yakın bulunan toprak gazının daha derinlere doğru itilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2.25: Toprak zemin içinde 10, 40 ve 90 cm derinliklerinde radon gazının artan basınç ile ilişkisi. Artan basınç ile beraber her seviyede de bir azalma mevcuttur (Israelsson, 1980'den grafiklenerek).

Thomas ve diğerleri (1992) yine toprak radon gazı ile basınç arasında belirgin bir ters ilişki gözlemiştir. Şekil 2.26'de görüleceği gibi, anlık salınımlar basınç değerlerindeki salınımlar ile uyumlu seyretmektedir (şekildeki basınç verileri ters çevrilmiştir).



Şekil 2.26: Toprak altında (1.5 m) saatlik radon gazı ile barometrik basınç (ters) değişimi. Burada radon gazı ile barometrik basınç arasında büyük bir uyum izlenmektedir (Thomas ve diğ., 1992).

Abbad ve diğerleri (1995) ise toprak radon gazı ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak üzere güney Fransa'da deprem tahminine yönelik olarak işletilen 9 adet sürekli radon gözlem istasyonundan elde edilen verileri incelemişlerdir. 1990 ile

1992 yıllarını kapsayan gözlem süresi boyunca, toprak radon gazı ile barometrik basınç arasında belirgin bir korelasyon izlenmemiştir ($r^2 < 0.15$). Sadece 1 aylık bir dönem boyunca barometrik basınç değişimi ile radon gazı konsantrasyonu arasında belirgin bir uyum gözlenmiş ($r^2 < 0.4-0.6$) ve ardından bu uyum kaybolmuştur. Bu gözlem, daha önce Talwani ve diğerleri (1980) tarafından bildirilen gözlemler ile uyum içindedir. Düşük basınç durumlarında toprağın üst kesimlerinde yer alan gazlar üzerinde meydana gelen vakum etkisi ile radon gazı toprak dışına doğru çekilmekte, derinlerden gelen radon gazı ile ölçülen konsantrasyon artmaktadır. Yüksek basınç durumlarında ise, radonca fakir atmosferik hava toprak içine itilmekte ve radon konsantrasyonunu düşmesine neden olmaktadır (Clements ve Wilkening, 1974; Talwani et al., 1980; Ramola ve diğ., 1990). Ancak bazı araştırmacılar bu durumun tam tersi sonuçlara ulaşmışlar (King, 1980; Mogro-Campero et al., 1980; Duenas ve Fernandes, 1987), veya belirgin bir ilişki görememiştir (İnan et al. 2008).

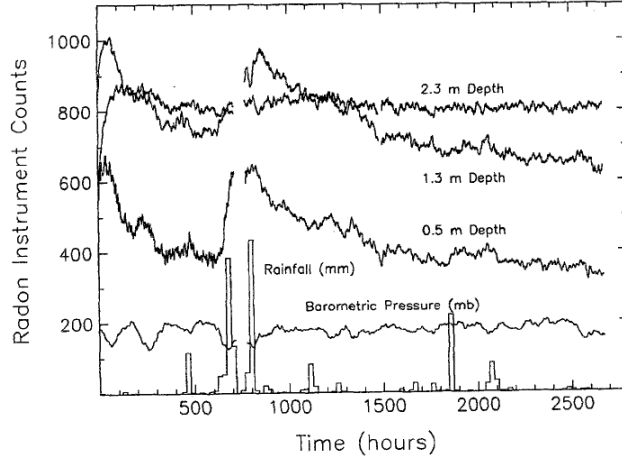
2.2.3. Yağış

Hafif nemli bir toprak, radon atomlarının geri tepme mekanizması ile serbest kalma oranını arttırdığından dolayı daha fazla radon gazının serbest kalmasına ve konsantrasyonun yükselmesine neden olur. Ancak tümü ile suya doymuş bir toprakta radon gazı kuru ortamdaki kadar kolay hareket edemeyeceğinden dolayı hafif nemli bir toprağa nazaran radon seviyesi daha düşük olacaktır (Tanner, 1980).

Thomas ve diğ. (1992) yaptıkları çeşitli ölçümlerde toprak radon gazını en çok etkileyen parametrenin yağış olduğunu belirtmişlerdir ki, bu bulgu Wattananikorn ve diğ. (1998) tarafından özellikle toprağın ilk 50 cm'lik kısmı için belirttikleri etkilenme ile uyumludur. Yağış ile beraber toprak radon gazının çok belirgin bir şekilde arttığı ölçümlerine ait grafik Şekil 2.27'de görülmektedir. Yağmur ile radon gazı değişiminin iki farklı mekanizmaya bağlı olabileceğini düşünmüşlerdir. Birincisi, yağmur ile beraber toprağa sızan su, boşluk çeperlerindeki radon gazının yerini alarak mikro gözeneklerden makro gözeneklere doğru itmektir. İkincisi de, yağmur ile beraber toprağın geçirgenliği azalmakta ve radon gazının toprak dışına çıkışı engellemektedir.

Woith ve Pekdeğer (1995) Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde Mudurnu civarlarında gerçekleştirilen çalışmalar çerçevesinde elde edilen radon gazı değerlerinin hem günlük

hem de yıllık bazda meteorolojik faktörlerden etkilendiğini, en büyük etkinin taneler arası boşlukların suya doygunluğunu kontrol eden yağış etkisi ile meydana geldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.27: Toprağın 3 farklı derinliğinde ölçülen saatlik radon gazı değerlerinin zamanla değişimi. Şekilde yağış miktarı ve barometrik basınç değişimi görülmektedir. Özellikle 0.5 ve 1.3 metre derinlikte yağış sonrası radon gazında belirgin bir artış izlenmiştir (Thomas ve diğ., 1992).

Wattananikorn ve diğ. (1998) 50cm ve 100cm derinliklerinde yaptıkları toprak radon gazı ölçümlerinde 50cm derinliğinde özellikle yağıştan etkilenme olduğu, ancak 100 cm derinliğinde meteorolojik etkilerin önemsiz olduğunu belirtmişlerdir.

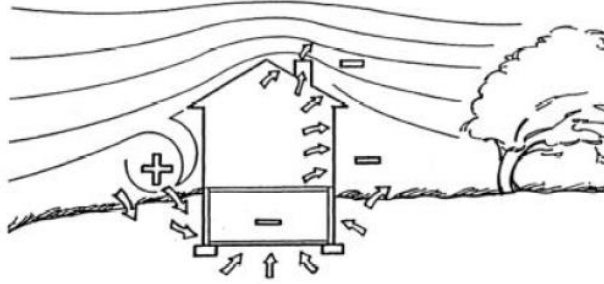
Abbad ve diğerleri (1995) tarafından toprak radon gazı konsantrasyonu ile yağış arasında ise genellikle ani bir artış ve düşüş şeklinde gelişen bir ilişki gözlenmiştir. Kuru bir zemine düşen yağış neticesinde radon gazının atmosfere kaçması engellendiğinden dolayı toprak gazı içerisindeki radon konsantrasyonu ani şekilde artmaktadır. Kar yağışında da aynı durum izlenmektedir. Çok geçirgen topraklarda ise yağmurun daha ilk düşüşü ile beraber radonun uzaklaştırılması neticesinde ani artış izlenmemektedir (Talwani ve diğ., 1980; Thomas ve diğ., 1986; Papastefanou ve diğ., 1989). Suyu doyan toprakta radon gazının su içinde çözünmesi ve suyun infiltrasyonu ile bulunduğu ortamdan uzaklaştırılması neticesinde ise birkaç saatlik ani ve kesin bir düşüş meydana gelmektedir.

Merolla ve diğerleri (2003) yaptıkları laboratuvar deneylerinde, radon gazının yeraltı su seviyesi değişimlerine bağlı olarak da değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Yükselmekte

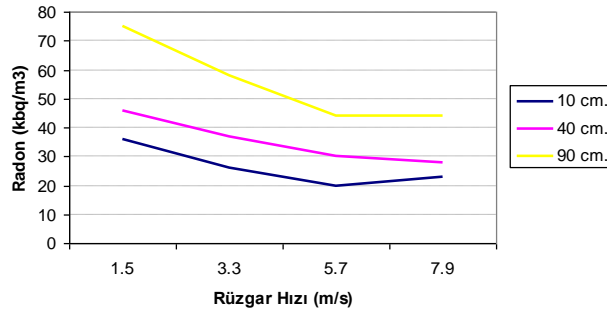
olan su seviyesi radon gazını arttırırken, düşmekte olan su seviyesi azaltmaktadır. Su seviyesi derinlerde sabit kalırsa daha çok radon oluşur.

2.2.4. Rüzgar

Rüzgarın güçlü bir şekilde esmesi toprak yüzeyinde türbülanslar (Şekil 2.28) meydana getirerek, toprak gazları üzerinde pompa etkisi yaratabilmektedir (UNSCEAR, 1982). Rüzgar temel olarak basınç etkisi yaratmakta ve pozitif basınç durumunda radonu zemin içine itmekte, negatif basınç durumunda ise zemin dışına doğru çekmektedir.



Şekil 2.28: Bir bina çevresinde rüzgar etkisi ile meydana gelen türbülanslar ve toprak zemin içinde meydana getirdikleri pozitif veya negatif basınç etkileri (US EPA, 1988/89).



Şekil 2.29: Toprak zemin içinde 10, 40 ve 90 cm derinliklerinde radon gazının artan rüzgar hızı ile olan ilişkisi. Artan rüzgar hızı ile beraber radon gazı seviyesinde bir azalım mevcuttur (Israelsson, 1980'den grafiklenerek).

Israelsson (1980) çalışmasında artan rüzgar hızına bağlı olarak toprağın farklı derinliklerinde radon gazı seviyesinin düştüğünü gösteren veriler elde etmiştir (Şekil 2.29). Ancak Şekil 2.28'de şematize edildiği gibi, rüzgarların toprak yüzeyi üzerinde hem pozitif hem de negatif etkileri olabileceğinden dolayı, bu sonuçların sadece rüzgarın pozitif basınç etkisi yarattığı durumlar için doğru olduğu düşünülmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ

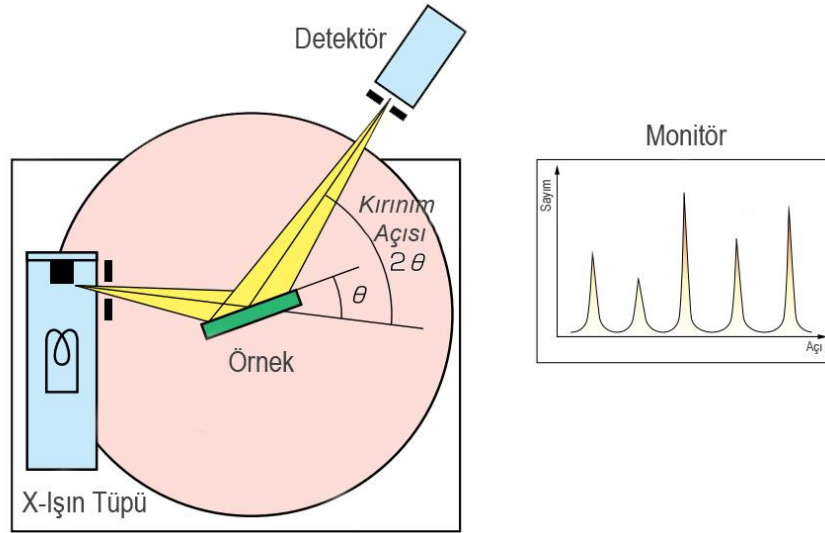
Çalışma kapsamında oluşturulan gözlem istasyonlarındaki toprak farklılıklarının radon gazının zamansal davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla, toprakların karakterizasyonuna yönelik olarak laboratuvar ortamında detayları aşağıda verilen çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Dane Boyu Dağılımı, Atterberg Limitleri ve Organik Madde Miktarı

Gebze istasyonları için açılan çukurların doldurulması için kullanılmış olan birbirinden farklı toprağın ve Sarıköy ile Armutlu istasyonlarına ait zeminlerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için dane boyu (elek ve hidrometre), kıvam limitleri, özgül ağırlık ve organik madde miktar analizleri yapılmıştır. Bu analizler, İstanbul Okmeydanı'nda yer alan ZEMAR Zemin ve Kaya Mekaniği laboratuvarında, elek ve hidrometre için ASTM D 422-63'e göre, kıvam limitleri olarak da adlandırılan likit limit, plastik limit ve plastisite indisi ASTM D 4318-05'e göre, özgül ağırlık ASTM D 854-00 ve toplam organik madde miktar tayini ASSHTO T 267-86'ya göre yapılmıştır. Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Bulgular bölümünde yer alan Tablo 4.11'de sunulmuştur.

3.1.2. Mineralojik Bileşim Tayini (X-Işını Kırınım XRD Yöntemi)

Radon sensörlerinin yerleştirildiği ortamdaki zeminlerin mineralojik bileşimlerinin saptanması için oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan X-Işını Kırınım (X-Ray Diffraction, XRD) yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem, minerallerin tanımlanması ve kimyasal yapının ortaya çıkartılmasında kullanılan temel tekniklerden biridir. Toz haline getirilmiş numune üzerine farklı açılarda gönderilen ve dalga boyu bilinen X-Işınları, malzeme içindeki kristal yapıların kendilerine has atomik dizilimlerine bağlı olarak karakteristik bir düzen içerisinde kırınıma uğrar ve kırınım desenleri adı verilen pikler oluşur. Şekil 3.1'de bu işlem şematik olarak gösterilmiştir. Elde edilen bu desenler, hazır desen kütüphanleri ile karşılaştırılarak numune içeriği tespit edilmektedir.



Şekil 3.1: XRD yönteminin şematik gösterimi (Cihaz broşüründen değiştirilerek).

XRD analizleri TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'ndeki X-Işınları Laboratuvarı tarafından gerçekleştirilmiştir. Öncelikle analiz aşamasında elde edilecek pikleri örtebilecek olası organik bileşikleri yok etmek amacıyla örnekler 600°C'de 2 saat süre ile yakılmıştır. Ardından bilyalı değirmende 325 mesh'in altında olacak şekilde öğütülerek Shimadzu marka XRD-6000 model X-ışınları toz difraktometre cihazı ile 2°/dk çekim hızında 2 - 70° aralığında analiz edilmiştir. Elde edilen pikler, XRD-6000 / Search Match yazılımı ile otomatik kıyaslama yolu ile değerlendirilmiştir. Mineralojik bileşime yönelik olarak elde edilen sonuçlar Bulgular başlığı altında yer alan Tablo 4.12'de sunulmuştur.

3.2. SAHA ÖLÇÜMLERİ

3.2.1. Toprak Radon Gazı

Radon gazının ölçülmesi için çeşitli klasik radyasyon tespit yöntemleri kullanılmaktadır. Toprak radon gazına yönelik araştırmalarda bunlar içinde şüphesiz en çok, eski ve zahmetli bir yöntem olan CR-39 (veya benzeri) olarak adlandırılan film dedektörler kullanılmıştır. Film dedektörlerinin kullanılması ile kesintisiz ve sürekli ölçümler elde etmek mümkün olmayıp, sadece filmin pozlanma süresi (çoğunlukla günler-haftalar) boyunca meydana gelmiş olan toplam aktivite ölçülebilmektedir. Bu açıdan toprak içinde meydana gelen ani değişimleri yakalayabilmek mümkün olamamaktadır. Filmler toprağa açılan çukurlara yerleştirilmekte ve belirli bir süre sonra yine topraktan çıkartılıp bazı kimyasal-fiziksel işlemler sonucunda mikroskop altında ölçülmeye hazır hale getirilmektedir. Alpha ışınmasının film üzerinde bıraktığı izlerin mikroskop altında sayılması ve bazı karşılaştırma ve hesaplamalar neticesinde bir sonuca ulaşılmaktadır. Daha yeni bir teknoloji olan silikon temelli yarı iletken sensörler ise (silikon), radon veya bozunma ürünlerinin parçalanması ile oluşan alfa ışınmasını elektronik olarak algılayıp kaydettiğinden, ölçüm ortamında kesintisiz bir şekilde ve istenilen zaman aralığında (dakikalar) meydana gelen aktivite değişimleri hakkında bilgi verebilmektedir.

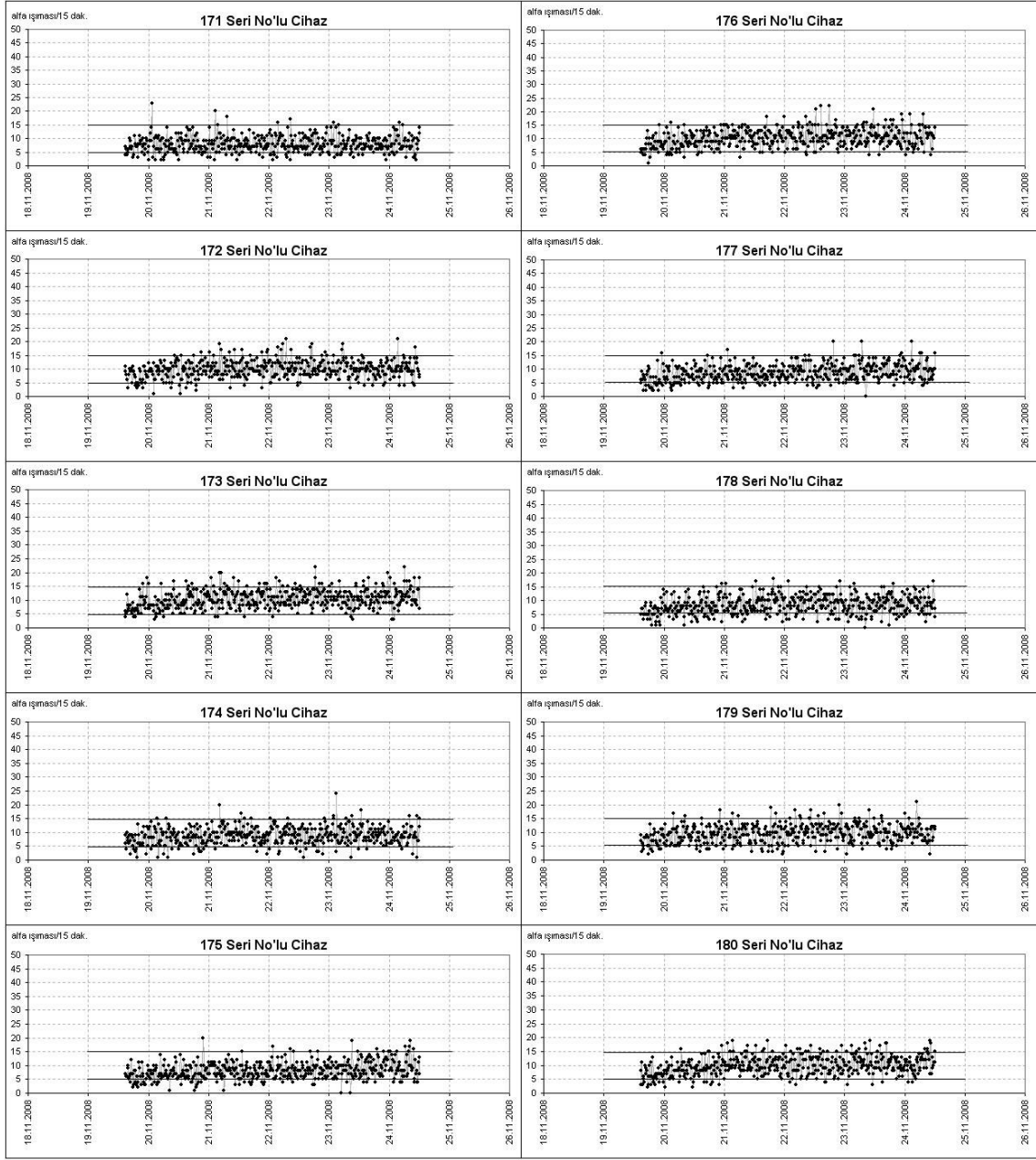
Bu çalışmada toprak radon gazı ölçümleri için, toprak içine gömülen ve 15 dakika zaman aralığında ölçüm yapabilen silikon temelli yarı iletken sensörlü radon ölçüm cihazları (Alpha Nuclear firmasına ait AlphaMeter Model 611) kullanılmıştır. Cihazdan toprak dışına çıkan bir kablo ile hem veri iletişimi sağlanmakta hem de cihaza gerekli olan enerji verilmektedir. Bu sayede sensörlerin konuldukları doğal zemin ortama sürekli müdahale olmadan kesintisiz ölçüm almak mümkün olmaktadır. Şekil 3.2’de gösterilen bu cihaz paslanmaz çelik bir muhafaza içinde yer alan silikon dedektör ve elektronik devrelerden oluşmaktadır. Cihazdan toprak dışına uzanan bir kablo vasıtası ile cihaza 12 volt besleme verilmekte ve RS-232 üzerinden bilgisayar ile bağlantı kurulabilmektedir. Cihazın toprak içinde bulunan ve alt ucu açık olan ölçüm haznesine pasif olarak ulaşan radon gazı burada bozunur ve silikon dedektöre çarpan alfa parçacıkları elektrik sinyallerine dönüştürülür. Ölçüm haznesi içinde meydana gelen bozunmalar 15 dakikalık aralıklı ve günlük dosyalar şeklinde kayıt edilmektedir. 42

günlük hafızaya sahip olan cihaz, hafızası dolduğunda eski verinin üzerine kayıt etmeye devam eder. Çalışma kapsamında veri kaybı olasılığının azaltılması ve istasyonların sağlıklı çalışıp çalışmadığının sürekli kontrol edilebilmesi için harici veri kayıtcı ve gsm modemler ile istasyonlar online erişilebilir duruma getirilmiştir.



Şekil 3.2: Kesintisiz toprak radon gazı ölçüm cihazı (Alpha Nuclear: AlphaMeter-611).

Toprak radon gözlem cihazlarını çalışma kapsamında kullanmadan önce, doğru çalışıp çalışmadıklarını kontrol etmek üzere cihazlar toprak dolu ve üstü açık plastik bir kap içinde 4 gün boyunca eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. 4 günlük ölçümler neticesinde tüm cihazların sağlıklı olarak çalıştığı, aynı radon gazı konsantrasyon seviyesine sahip bir ortamda birbirine çok yakın (5-15 alfa ışıması/15 dakika) ölçümler kaydettikleri görülmüştür. Şekil 3.3’de bu kontrol ölçümüne ait grafikler yer almaktadır.



Şekil 3.3: 10 adet toprak radon gözlem cihazının toprak dolu bir kap içinde test edilmesi neticesinde elde edilen kontrol grafikleri. Tüm cihazlar 5-15 alfa ışınması /15 dakika aralığında yoğunlaşan birbirine benzer değerler ölçmüştür.

3.2.2. Toprak Nemi ve Sıcaklığı

Yağış veya olası YAS yükselmeleri sonucunda toprak içindeki nem seviyesinin değişimini sürekli bir şekilde izleyebilmek ve toprak radon gazı üzerinde olası etkilerini araştırabilmek için toprak nem ve sıcaklık parametreleri izlenmiştir. Yerinde (in-situ) toprak nem muhtevası ölçümü için, kapasitans sensörü (capacitance probe), zaman alanı yansıması (time-domain reflectometry-TDR), nötron sensörü (neutron probe), frekans bölgesi sensörü (frequency domain sensor), elektriksel rezistivite tomografisi, yeraltı

radarı (GPR) gibi suyun fiziksel özelliklerine duyarlı olan yöntemler kullanılabilir.

Tez çalışması kapsamında toprak nemini ve sıcaklık değerlerini yerinde ve sürekli bir şekilde ölçmek üzere Decagon firmasına ait ECH2O EC-5 modeli kapasitans tip toprak nem ve ECT modeli toprak sıcaklık sensörler kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Decagon firmasına ait a) Em5b tipi veri kayıtcı, b) ECH₂O EC-5 modeli kapasitans tip toprak nem ve c) ECT modeli toprak sıcaklık sensörü.

EC-5 modeli nem sensörleri gönderilen dalğanın voltaj genlikleri farklarından zeminlerin dielektrik katsayılarını (elektriğin ortam içindeki hızı) belirlemekte, buradan da hacimsel su muhtevası değerlerini ölçebilmektedir. Toprak gibi zeminler, temel olarak hava, su ve mineral daneleri olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir. Suyun rölatif dielektrik katsayısı ($\epsilon_r=80$), hava ($\epsilon_r=1$) ve mineral danelerinden ($\epsilon_r=2-9$) çok daha fazla olduğundan dolayı toprağın dielektrik katsayısı su muhtevası ölçümü için çok kullanışlı bir parametredir (Topp et al., 1980, Blonquist et al., 2005). EC-5 sensörleri yüksek frekans (70 MHz) kullanarak çalıştıkları için, toprağın tuzluluğundan, dokusundan ve sıcaklık değişimlerinden minimum düzeyde etkilenerek su muhtevasını çok doğru bir şekilde tespit edebilmektedir. Sensörlerin ölçüm doğrulukları \pm %3 hacimsel su muhtevası seviyesinde olup, -40° ile $+50^\circ$ C arasında çalışabilir, oldukça düşük voltaj gereksinimi duymakta ve yüksek çözünürlük (% 0.1 m³/m³) sunmaktadır. Bu sayede çok az güç tüketimi ile sık aralıklı ve uzun süreli ölçümler almak mümkün olmaktadır. ECT model sıcaklık sensörleri 5° ile $+40^\circ$ C arasında 0.5° C doğruluk, 0.1° C çözünürlük sunmakta olup, -40° ile $+80^\circ$ C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Em5b model veri kayıtcı, 46 kB flash hafızaya (saate bir okuma için 138 gün) sahip 5 kanallı mini bir veri kayıtcıdır. Toprak nem ve sıcaklık sensörlerine çalışmaları için

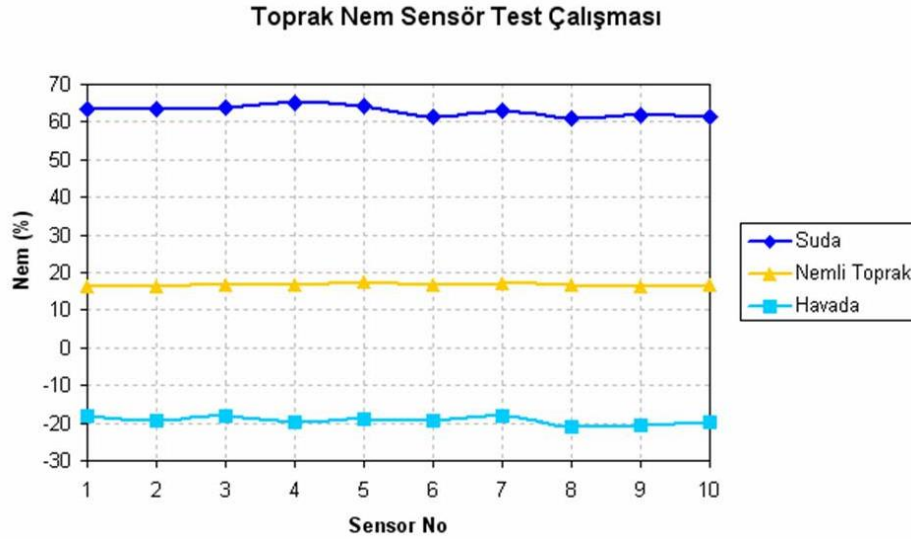
gerekli olan enerjiyi sağlamak ve istenilen zaman aralığında okumaları kaydedebilmektedir. 4 adet AAA tipi alkaline pil ile 5 aydan uzun çalışma süresine sahiptir.

Sensörlerin sorunsuz çalıştığından emin olmak için sürekli ölçümlere başlamadan önce sensörler havada, nemli toprakta ve suda olmak üzere 3 farklı ortamda test edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Toprak nem sensörlerinin nemli toprak, hava ve su içinde kontrol edilmesi işlemi.

10 adet sensörün test edilmesi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 3.6'de görülmektedir. Yapılan ölçümler neticesinde tüm sensörlerin birbirlerine oldukça yakın değerlerde ölçüm aldıkları ve sorunsuz çalıştıkları görülmüştür.



Şekil 3.6: 10 adet toprak nem sensörüne ait kontrol grafiği.

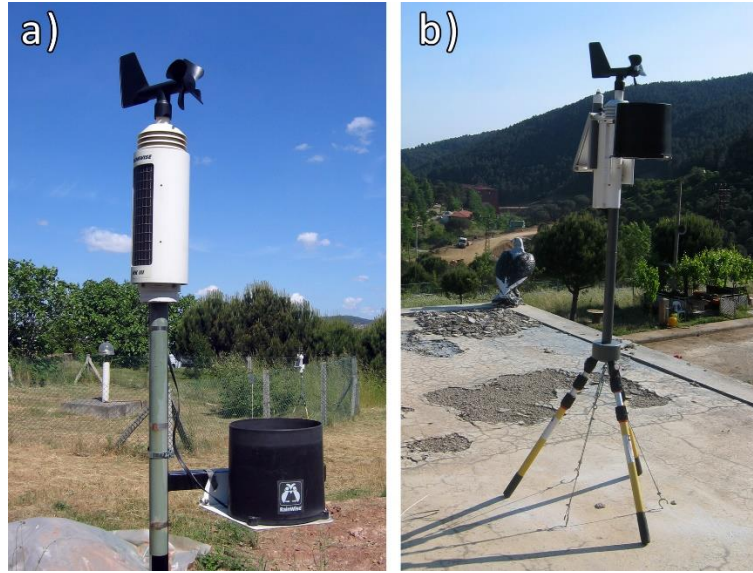
Havada %0 ve suda %100 şeklinde olması beklenen nem ölçümlerinin \sim -%20 ve \sim %65 seviyelerinde olmasının nedeni mineralli toprak için en uygun olan sinyal dönüştürme formülünden kaynaklanmaktadır. Sensörlerin ürettikleri sinyalleri su muhtevası değerlerine dönüştüren formül, mineralli toprak içindeki su muhtevası değerlerini daha doğru yansıtması açısından lineer olmak durumundadır. Bu nedenle de sensörün su içindeki ölçüm değerleri \sim %60 su muhtevası değerlerinde sonlanmaktadır. Su içindeki ölçümü %100, havadaki ölçümü ise %0 şeklinde görebilmek için ikinci dereceden bir formül kullanmak gerekir, fakat bu şekilde, çoğunlukla \sim %40-50 su muhtevası ile doymun hale gelen toprak zeminlerde daha az doğru sonuçlara neden olacağından toprak nem muhtevası ölçümlerinde kullanılmamaktadır.

3.2.3. Atmosferik Parametreler

Gerek Gebze Test Sahası ve gerekse Yalova-Armutlu ile Gönen-Sarıköy'de ölçüm yapılan lokasyonlarda atmosferik koşulları detaylı bir şekilde (mikro klima) izleyebilmek amacı ile Rainwise (ABD) firmasına ait olan bir adet MK-III ve iki adet Portlog model otomatik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7). Her iki model cihaz da hava sıcaklığı (-54 °C - +74 °C, doğruluk \pm 0.25 °C), hava basıncı (551 – 1084 hPa, doğruluk \pm 1.69hPa), yağış (çözünürlük 0.25mm, doğruluk \pm %2), rüzgar hız (0-240 km/s, doğruluk \pm %2) ve yön parametrelerini (360°) otomatik olarak ölçüp kaydedebilmektedir. Cihazlarda kullanılan sensörler, NIST (National Institute of Standards and Technology) standardı ile uyumludur.

Portlog cihazları dahili 3 W.'lık güneş panel, 4 A.'lik batarya ve 1 yıla yakın kayıt imkanı sağlayan hafızaları ile arazi koşullarında kolay kullanım imkanına sahiptir. MK-III sistemi ise dahili radyo vericisi ile online izleme imkanı sunmaktadır.

Gebze test sahasına nazaran, elektrik ve sık ulaşım imkanı açısından daha zor koşullara sahip olan Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında meteoroloji parametrelerin izlenmesi için portlog cihazları kullanılmıştır. Cihazlarda dahili hafızaya kaydedilen veriler aylık bazda yapılan istasyon kontrol ziyaretlerinde offline olarak aktarılarak depolanmıştır. Gebze'de yer alan MK-III sisteminden gelen veriler ise online olarak sürekli takip edilip kaydedilmiştir.

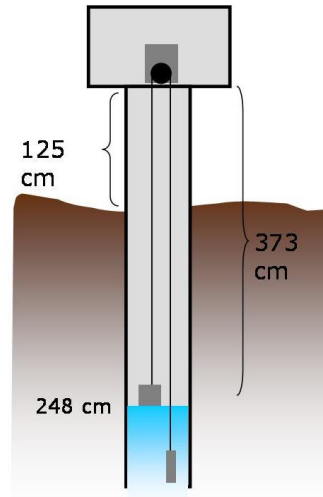


Şekil 3.7: Otomatik meteoroloji gözlem cihazları (Rainwise firmasına ait a) MK-III ve b) Portlog).

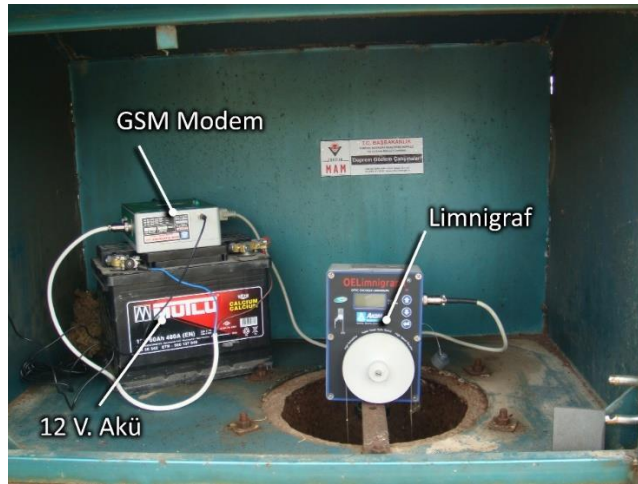
3.2.4. Yeraltı Su Seviyesi

Yeraltı Su Seviyesi (YAS) ölçümleri için Akım Elektronik firmasına ait OEL-104 modeli, şamandıralı tip limnigraf cihazı kullanılmıştır. Cihazın şematik çalışma prensibi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Cihaz bir ucunda şamandıra, diğer ucunda ağırlık bulunan çelik bir ip vasıtası ile su seviyesinde meydana gelen pozitif veya negatif değişimleri optik çözümleyiciye ile cm mertebesinde dijital sinyale dönüştürmekte ve dahili hafızaya kaydetmektedir. Cihaz dahili bataryası ile 10 yıl kesintisiz olarak çalışabilmekte ve 256 K'lık EEPROM hafızası ile 1 saat kayıt aralığında 15 yıla kadar veri saklayabilmektedir. Cihazdan offline veya GSM modem vasıtası ile online olarak

veri çekmek mümkündür. Cihaz 08.05.2008 tarihinde Gönen Sarıköy’de DSİ’ye ait 7474-A kodlu su kuyusunda başarılı bir şekilde kurulmuş ve işletilmiştir. Kurulum Limnigraf’ın kaydettiği verilerin uzaktan transfer ve kontrol edilebilmesi için üretici firmadan bir adet özel GSM modem satın alınmış ve sisteme entegre edilmiştir (Şekil 3.9). Bu sayede limnigraf cihazının kaydettiği YAS verilerini istenilen zaman aralığında kontrol etmek mümkün olmuştur. Modemin çalışması için gerekli olan enerjiyi sağlamak üzere bir adet 60 A.’lik akü kullanılmış ve bu akü aylık bazda değiştirilerek kesintisiz enerji sağlanmıştır.



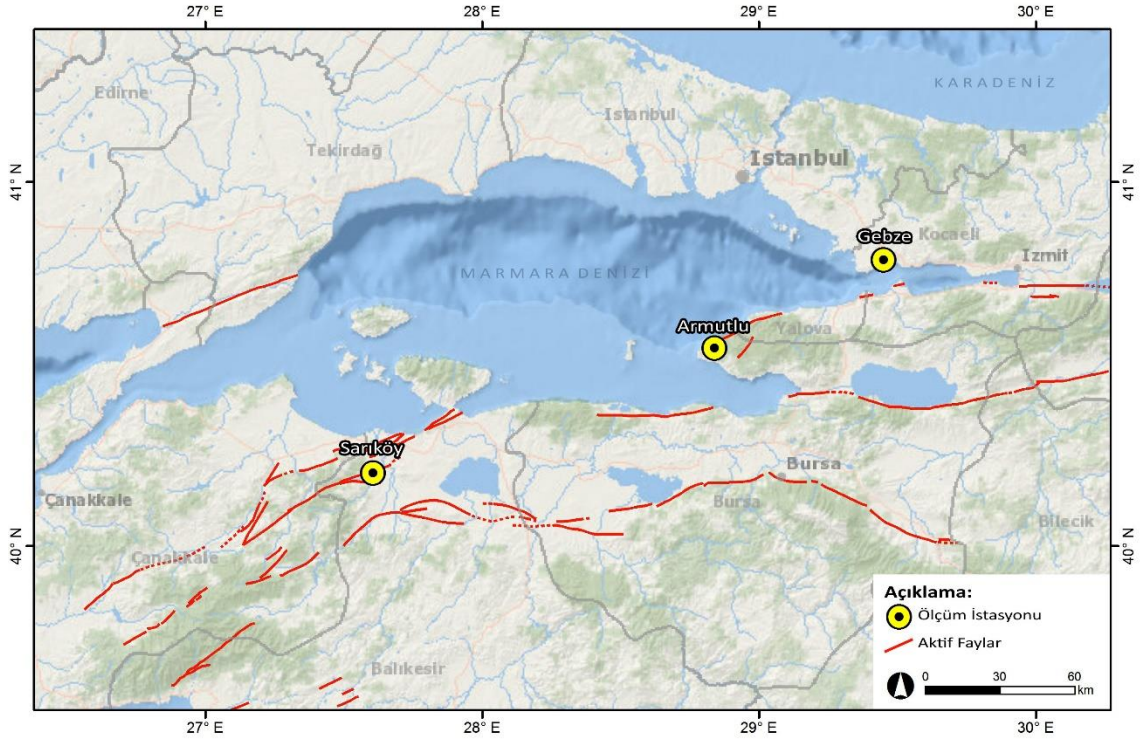
Şekil 3.8: YAS ölçümü için tedarik edilen Şamandıralı tip limnigraf’ın çalışma prensibinin şematik gösterimi ve kurulum aşamasında ölçülen mesafeler.



Şekil 3.9: DSİ’ye ait olan 7474-A kuyusuna 08.05.2008 tarihinde kurulan Akım Elektronik marka ve OEL-104 model şamandıralı tip limnigraf, verilerin uzaktan erişilmesini mümkün kılmak için kullanılan GSM modem ve 12V 60A akü.

3.3. ÖLÇÜM LOKASYONLARI

Tez çalışması kapsamında araştırılması amaçlanmış olan jeolojik, pedolojik ve atmosferik parametrelerin toprak radon gazının zamansal değişimi üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek amacı ile 3 farklı lokasyonda ölçüm istasyonları oluşturulmuştur. Toprak özelliklerinin etkisini incelemek için, Gebze’de yer alan TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi içinde kalan bir alanda birbirlerine çok yakın dört farklı istasyon, Jeotermal saha etkisi için Yalova Armutlu’da bir istasyon ve yeraltı suyu seviye değişiminin etkisi için Gönen Sarıköy’de bir istasyon oluşturulup bu istasyonlarda yaklaşık 1.5 yıllık süre ile çok parametrelili ve kesintisiz ölçümler kaydedilmiştir. Oluşturulan istasyonların konumları Şekil 3.10’da harita üstünde gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Çalışma kapsamında Gebze, Armutlu (Yalova) ve Sarıköy (Gönen)’de kurulan istasyonların (sarı renkli daireler) lokasyon haritası. Kırmızı çizgiler bölgedeki aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).

3.3.1. Gebze İstasyonları

Farklı toprak tiplerinin etkisini incelemek amacıyla, TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi içerisinde yer alan Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü (YDBE) binası arkasında kalan bir alanda iş makinası yardımı ile 4 adet 100 cm derinliğinde ve 60 cm genişliğinde çukur açılmıştır (Şekil 3.13).

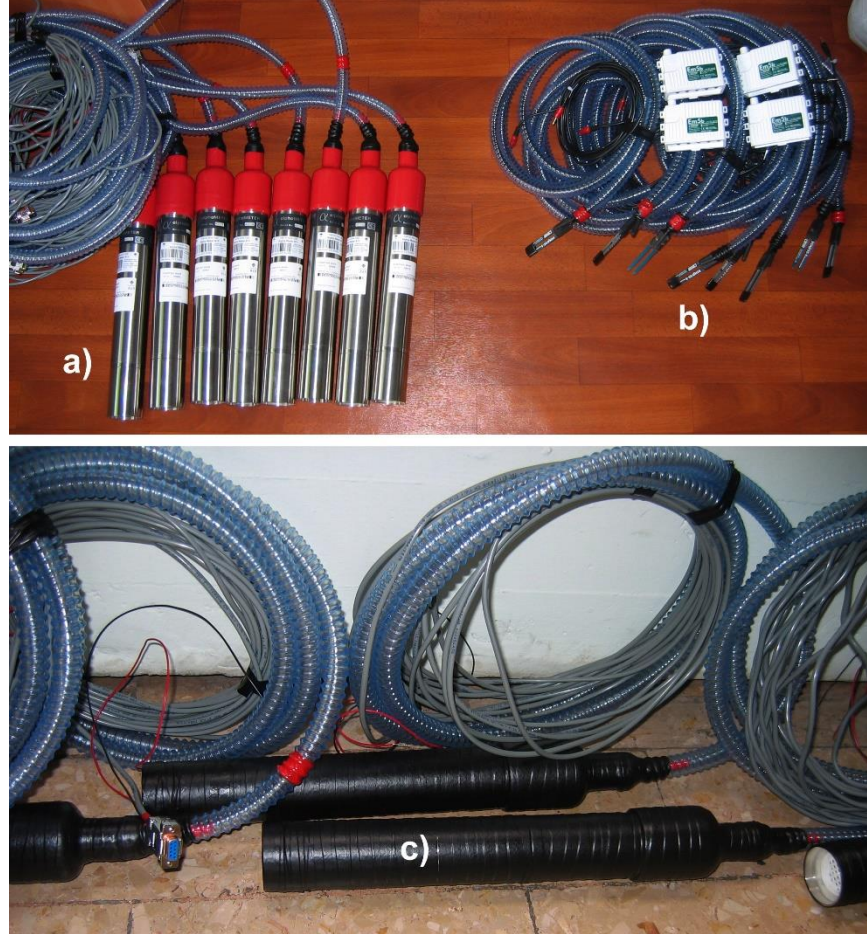


Şekil 3.11: Gebze istasyonları için seçilen alanda iş makinası vasıtası ile 4 adet çukurun açılması işlemi. Her bir çukur 60 cm genişliğinde ve 100 cm derinliğinde açılmıştır.



Şekil 3.12: Açılan çukurlara yüzeyden 80 cm ve 50 cm seviyelerine radon, toprak nem-sıcaklık sensörlerinin yerleştirilmesi.

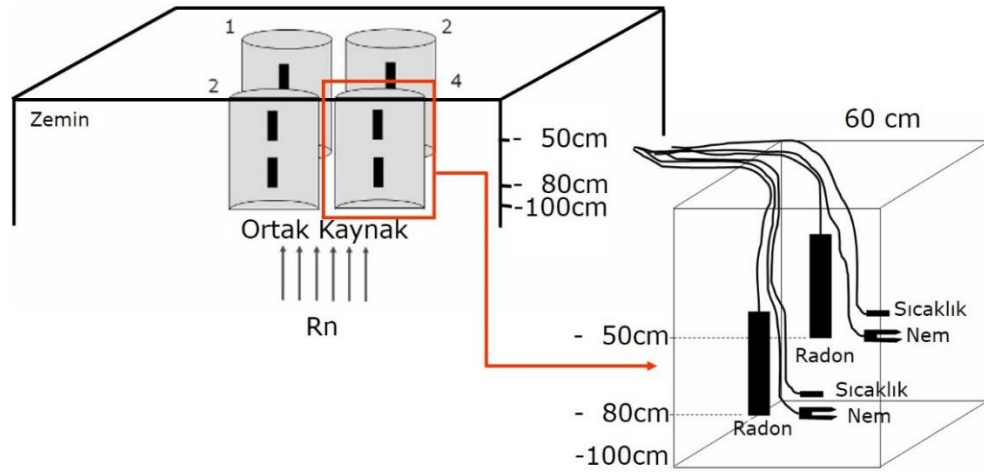
Açılan çukurlara sürekli ve yerinde ölçüm yapan (in-situ) toprak radon gazı ve toprak nem-sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Derinlik değişiminin olası etkilerini görebilmek amacıyla bu lokasyonda Armutlu ve Gönen istasyonlarından farklı olarak, 80 cm'ye ek olarak 50 cm derinliğine de sensörler yerleştirilmiştir.



Şekil 3.13: Gebze istasyonlarında kullanılan a) toprak radon ve b) toprak nem-sıcaklık sensörleri. Toprak radon gözlem cihazları toprak içine gömülmeden önce, eriyen bant (self amalgamating tape) adı verilen ve birbirine kaynatarak geçirimsiz bir kılıf haline gelen özel bantlar kullanılarak korunmaya alınmıştır c). Bu şekilde cihazların metalik dış yüzeyleri toprak altındaki yıpratıcı-kirletici etkilerden korunmaktadır.

Toprak radon gözlem cihazları toprak içine gömülmeden önce cihazların metalik dış yüzeylerini toprak altındaki yıpratıcı-kirletici etkilerden korumak için, eriyen bant (self amalgamating tape) adı verilen ve birbirine kaynatarak geçirimsiz bir kılıf haline gelen özel bantlar kullanılarak korunmaya alınmıştır (Şekil 3.13). Toprak altında kalacak olan kablolar da gırtlak boru içine alınarak, özellikle cihazların yerinden çıkartılma aşamasında zarar görmelerinin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Farklı özelliklere sahip zeminlerin toprak radon gazı üzerindeki etkisi inceleyebilmek için sensörlerin yerleştirildiği her bir çukur, tane boyu dağılımlarına göre çevreden seçilen farklı tipte topraklar kullanılarak tekrar doldurulmuştur. Zemin özellikleri değişen farklı lokasyonlara istasyon kurmak mümkün gibi görünse de, ana kaya, mikro iklim gibi lokasyonlar arası mesafeden kaynaklı ve ölçümler üzerinde etkili olabilecek farklılıkların önüne geçmek için, birbirine çok yakın mesafede 4 istasyon kurularak ortak ana kaya ve ortak lokal şartlara sahip bir test sahası oluşturulması tercih edilmiştir. Şekil 3.14’de oluşturulan test sahasının şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Gebze’de oluşturulan 4 istasyonluk test sahasının şematik gösterimi. Dört farklı zemini temsil eden ve birbirine çok yakın açılan 100 cm derinliğindeki her bir çukur içine 80 cm ve 50 cm derinliklerinde toprak radon gazı ve toprak nem-sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.



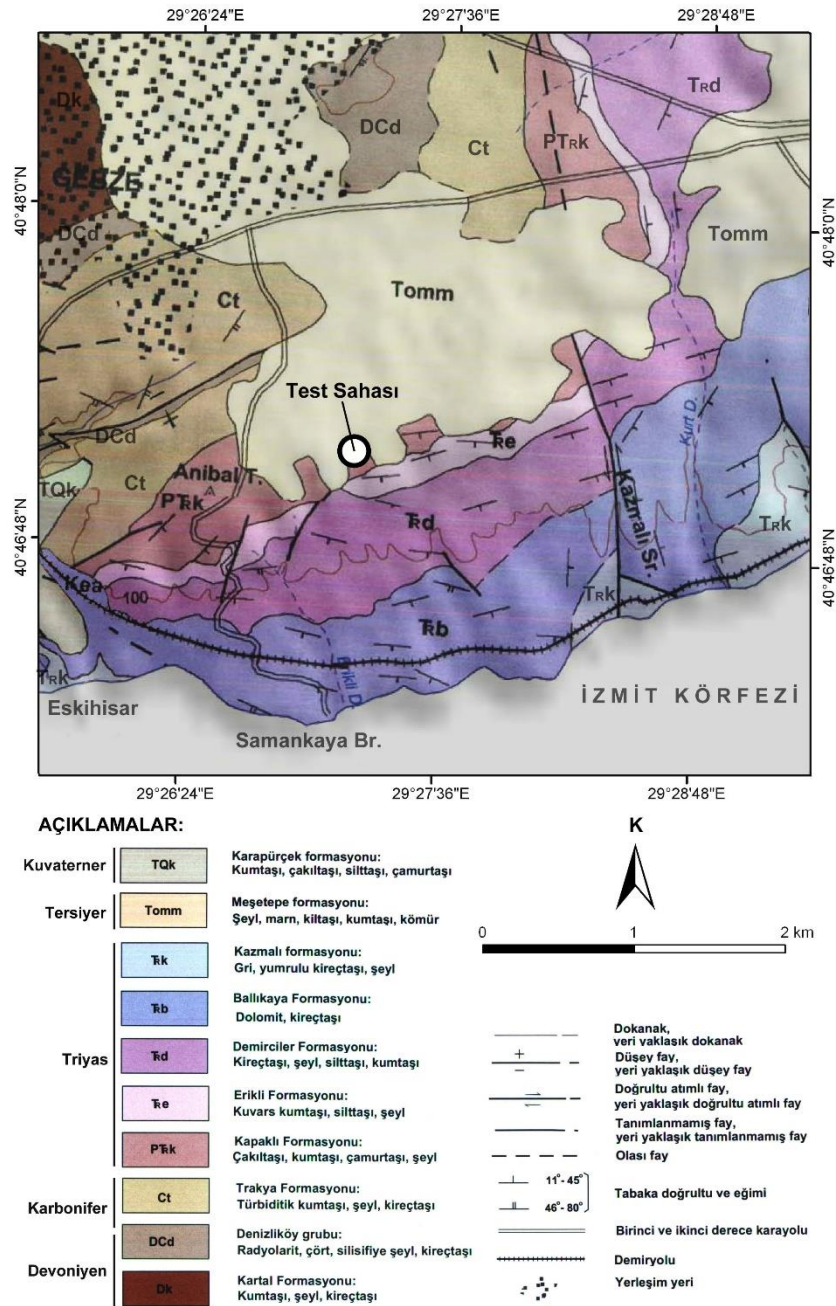
Şekil 3.15: Gebze’de yer alan 4 istasyona ait 8 adet radon cihazında ölçülen toprak radon verilerini kaydeden ve online erişime imkan veren sistem.

Birbirine yakın oluşturulan dört gözlem istasyonunda iki farklı seviyede kaydedilen radon verilerinin günlük olarak izlenebilmesi amacıyla bir veri kayıt ve online erişim sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.15 bu sistemin parçaları detaylı olarak görülmektedir. 220V. şebeke elektriği ile beslenen akü şarj cihazı sürekli olarak 115A.'lik aküyü beslemektedir. 8 seri porta sahip linux işletim sistemli endüstriyel tip veri kayıtcı (UC-4720 - MOXA) düşük akım kesme devresi (low voltage disconnect-LVD) üzerinden aküye bağlanmıştır. Bu devre sayesinde elektrik kesilmesi durumlarında aküden yüksek akım çeken veri kayıtcının kapanarak akünün boşalması engellenmekte ve radon cihazlarının çalışmaya devam etmesi sağlanmaktadır. Veri kayıtcı 8 adet radon cihazından gelen verileri günlük dosyalar şeklinde kendi hafızasında kaydetmekte ve GSM modem vasıtası ile online erişilebilir kılmaktadır. Başka bir bilgisayar her gün GSM modem üzerinden bu sisteme bağlanarak verileri otomatik olarak çekip grafiklemiştir. Toprak nem ve sıcaklık verileri ise aralıklı yapılan saha ziyaretlerinde offline olarak çekilmiştir.



Şekil 3.16: Gebze istasyonlarının yer aldığı sahanın genel görünümü. 4 farklı zemini temsil eden çukurlar, veri kayıt ve online erişim ekipmanını içeren metal pano ve otomatik meteoroloji gözlem cihazı.

Şekil 3.16'da genel görüntüsü sunulan test sahasının bulunduğu bölgeye ait jeoloji haritası Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Gedik ve diğ. (2005) çalışmasına göre, bölgenin kuzey batısında Devonyen ve Karbonifer yaşlı kumtaşı ve kireçtaşları hakim yayılım gösterirken, güneye doğru yaklaştıkça Triyas ve Tersiyer yaşlı kumtaşı ve kireçtaşları yüzeylenmektedir. Tabakalanma genel olarak 45°'den az ve güneye eğimlidir. TÜBİTAK Gebze Kampüsü içinde bulunan istasyonlar Triyas yaşlı Kapaklı formasyonu üstünde yer almaktadır.



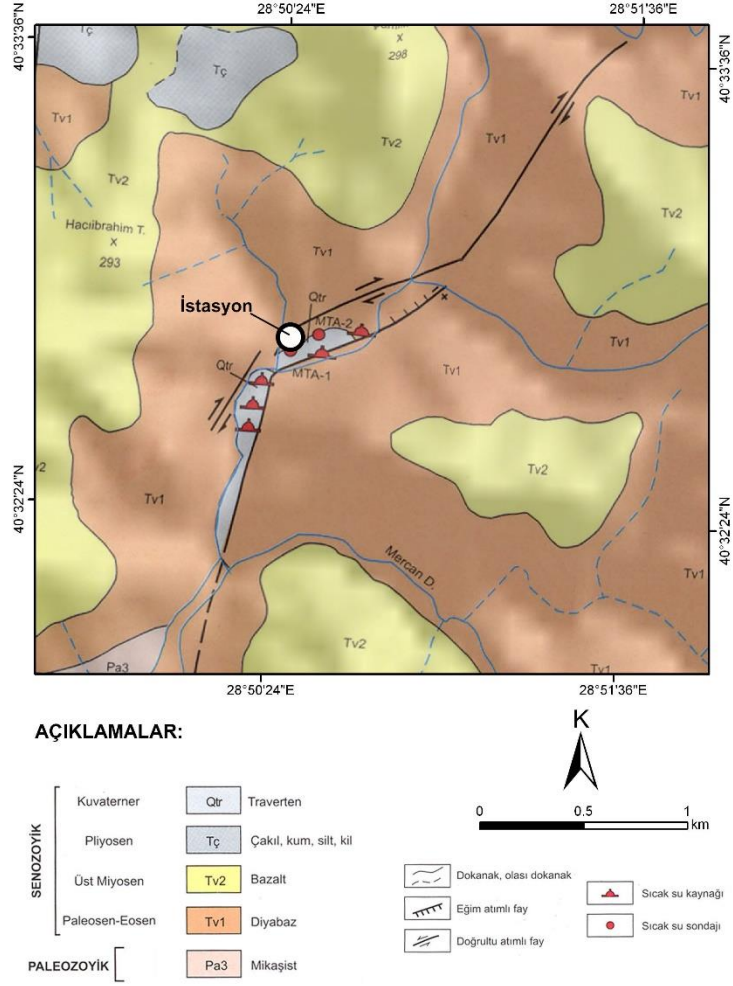
Şekil 3.17: Gebze istasyonlarının yer aldığı bölgenin jeoloji haritası (Gedik ve diğ. 2005'den değiştirilerek).

Gebze lokasyonu aktif faylara nispeten uzak olması açısından da tercih edilmiştir. Bu sayede gözlem süresi boyunca meydana gelebilecek olan sismik aktivitelerin radon gazı üzerinde olası etkilerinin minimize edilmesi ve elde edilecek zaman serisinin mümkün olduğunca deprem anomalileri içermeyerek diğer parametrelerin etkilerinin daha belirgin bir şekilde izlenebilmesi amaçlanmıştır.

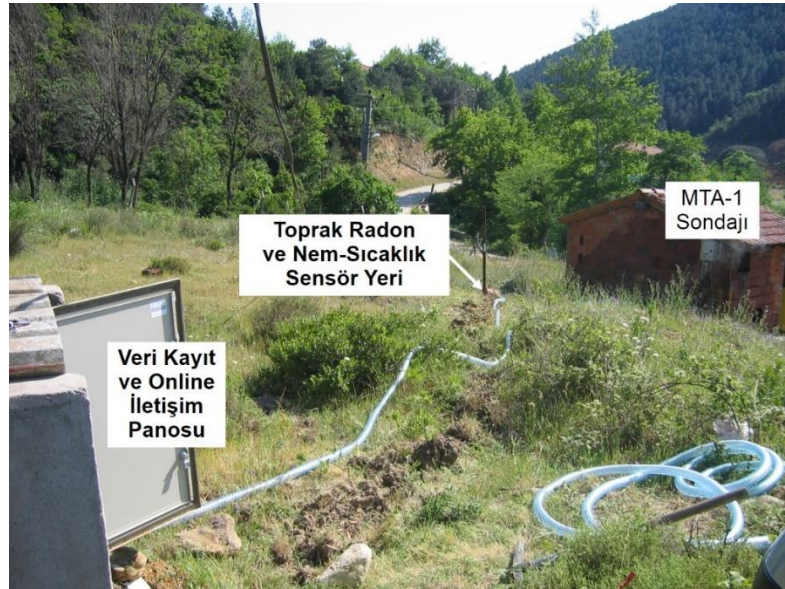
3.3.2. Armutlu İstasyonu (Jeotermal alan etkisi)

Bu lokasyon, özellikle jeotermal aktivite varlığının toprak radon gazı üzerindeki etkisinin izlenebilmesi için seçilmiştir. Armutlu Yarımadası'nın batı kesiminde yer alan bu alanda pek çok yüzey kırığı ve doğal sıcak su çıkışları mevcuttur. Sondaj vasıtası ile yüzeye gelen ve termal banyo amaçlı kullanılan suyun sıcaklığı $\sim 73^{\circ}\text{C}$ 'dir. Suyun elektriksel iletkenlik değeri 3.00 mS/cm civarında olup özellikle klorür ve sülfat gibi anyonlar ile sodyum ve kalsiyum gibi katyonlar açısından zengindir. Vadileri de şekillendiren başlıca sağ yanal faylanmalar boyunca yüzeye ulaşan karbonatça zengin termal sular burada çökelerek travertenler meydana getirmiştir. Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar üzerinde Paleosen-Eosen yaşlı diyabaz, onun üstünde Üst Miyosen yaşlı bazalt ve bu bazalt üzerinde faylanmalar boyunca yüzeylenmiş travertenler yer almaktadır (Şekil 3.18).

Bölgede yer alan doğal su çıkışları haricinde, kaplıca ve otellerin sıcak su ihtiyacını karşılamak için çeşitli sıcak su sondajları da yer almaktadır. Kurulan radon gözlem istasyonu MTA-1 sondajının yaklaşık 3 metre kuzeydoğusuna kurulmuştur. Şekil 3.19'da genel görünümü yer alan istasyonda 80 cm derinlikte toprak radon gazı, 80 cm ve 50 cm derinlikte de toprak nem ve toprak sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Çukuru kapatmak için açım aşamasında ortaya çıkan toprak kullanılmıştır.



Şekil 3.18: Armutlu istasyonunun bulunduğu alanın jeoloji haritası (Tekin ve diğ., 1998'den değiştirilerek).



Şekil 3.19: Armutlu'da kurulan toprak radon gazı ve toprak sıcaklık-nem gözlem istasyonunun genel görünümü.



Şekil 3.20: Armutlu'da kurulan meteoroloji gözlem sistemi.

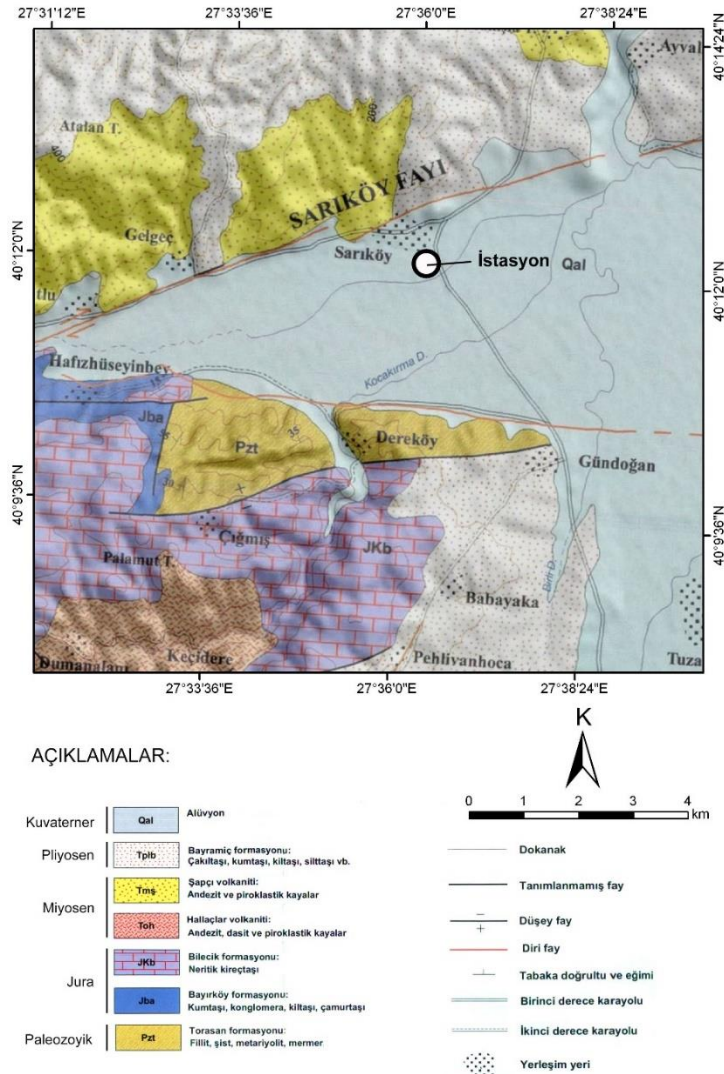
Radon sensörlerinin kurulduğu alan meteoroloji gözlem sisteminin kurulması için güvenlik açısından uygun olmaması nedeniyle yaklaşık 300 metre kuzeyinde kalan su arıtma tesis alanı içerisine kurulmuştur (Şekil 3.20). Lokasyona yapılan aylık ziyaretlerde meteoroloji ve toprak nem-sıcaklık verileri çekilmiştir. Toprak radon gazı verileri tıpkı Gebze'de olduğu gibi bir veri kayıtcı ve GSM modem vasıtası ile online olarak günlük bazda takip edilmiştir.

3.3.3. Sarıköy İstasyonu (Yeraltı su seviyesi ilişkisi)

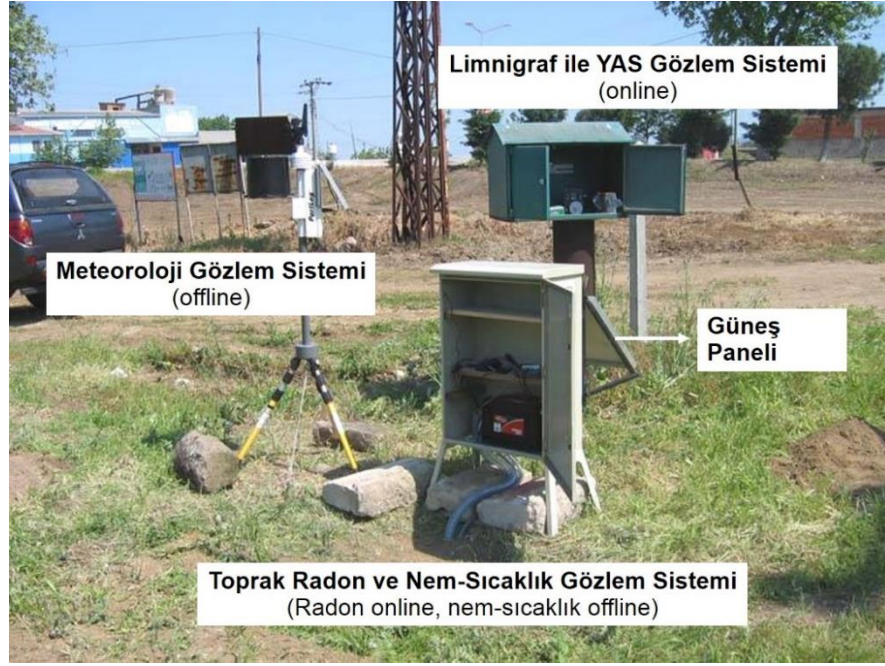
Yeraltı su seviyesindeki değişimlerin toprak radon gazının zamansal değişimi üzerindeki etkisini araştırabilmek için Gönen'in yaklaşık 12 km kuzeyinde kalan Sarıköy'e bir istasyon kurulmuştur. Burada DSİ'ye 7474-A kodlu su kuyusu bulunmakta olup DSİ'ye yapılan başvuru neticesinde kuyuda sürekli YAS takibi için bir adet limnigraf kurulabilmesi hususunda gerekli izin alınmıştır. İstasyonun kurulduğu alan Sarıköy yerleşim yerinin yaklaşık 800 metre güneyinde yer almaktadır.

Şekil 3.21'de bölgenin jeoloji haritası görülmektedir. Buna göre istasyon sahası kuzeyde ve güneyde yanal atımlı faylar ile sınırlı alüvyon bir havza üstündedir. Alüvyon altında Pliyosen yaşlı çakıltaşı-kumtaşından oluşan Bayramiç formasyonu yer almakta olup, Jura yaşlı kireçtaşı ve kumtaşlarından önce yer yer Miyosen yaşlı andezitler yüzeylenmiştir. Paleozoyik yaşlı Torasan formasyonu ise Dereköy civarlarında mostra vermektedir.

Şekil 3.22’de görülen bu istasyonda 80 cm derinliğinde bir adet radon sensörü, 80 cm ve 50 cm derinliğinde de toprak nem-sıcaklık sensörleri gömülmüştür. Kazma kürek ile açılan çukur yine aynı yerden çıkan toprak ile doldurularak kapatılmıştır. Radon verilerinin online izlenmesi için ayrı bir veri kayıtçı ve gsm modem yerine daha az enerji tüketen ve bu sayede sadece 40W’lık güneş paneli ile çalışabilen bir GPRS modem kullanılmıştır. Bu modem barındırdığı yazılım sayesinde toprak altında yer alan cihazdan verileri online bir şekilde merkez bilgisayara aktarabilmektedir. Su kuyusu üstüne kurululan şamandıralı tip limnigrafa takılı olan modem ile bu veriler de online izlenmiştir. Toprak sıcaklık, toprak nem ve meteoroloji gözlem verileri ise aylık istasyon ziyaretlerinde offline olarak çekilmiştir.



Şekil 3.21: Sarıköy-Gönen istasyonunun bulunduğu alanın jeoloji haritası (Akçay ve diğ., 2008’den değiştirilerek).



Şekil 3.22: Sarıköy'de kurulan toprak radon gazı ve toprak sıcaklık-nem gözlem istasyonunun genel görünümü. Bu istasyonda diğerlerinden farklı olarak DSİ'ye ait bir kuyuda kesintisiz yeraltı su seviye ölçümleri de yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. SAHA ÖLÇÜM VERİLERİ

Tez çalışması kapsamında Gebze’de yer alan dört ayrı test sahası, Armutlu (Yalova) ile Sarıköy (Gönen) ölçüm istasyonlarında Nisan 2009 ile Kasım 2010 tarihleri arasında yaklaşık 1.5 yıllık bir süre boyunca çok parametrelili gözlemler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında ölçülen parametreler ve bu parametrelere ait ölçümlerin başlangıç-bitiş tarihleri, kayıt aralığı ve birim bilgileri ile parametre başına toplam ölçüm sayıları Tablo 4.1’de ayrıntılı olarak listelenmiştir. 586 günlük gözlem süresi boyunca doğal olarak bazı teknik sorunlar ve verilerde kesintiler yaşanmıştır. Verilerdeki kesintiler “4.2.1 Ham Veri Kontrolü” başlığı altında detaylı olarak ele alınmıştır.

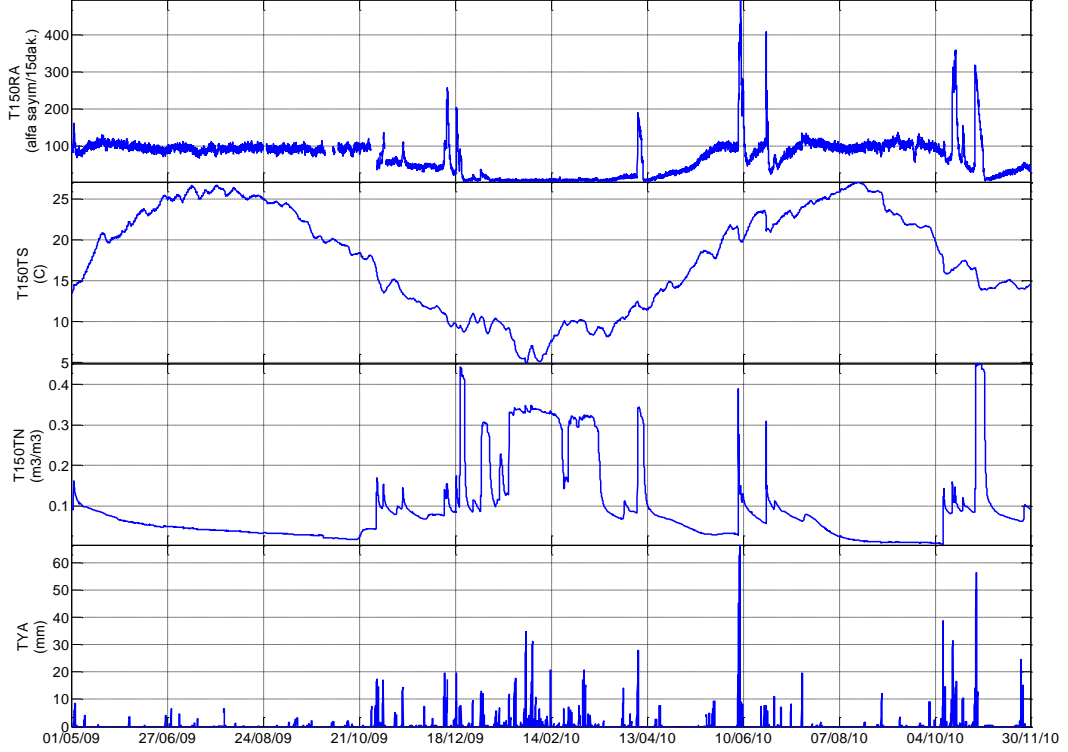
Tez çalışması kapsamında yapılan uzun süreli gözlemlerde, Gebze, Armutlu ve Sarıköy’de konuşlandırılan toplam 6 istasyonda, 9 farklı parametre (toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem, hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yeraltı su seviyesi) olmak üzere genel toplamda 1.120.715 adet zamana bağlı veri toplanmıştır.

Tablo 4.1: Sahada ölçülen parametreler ve bu parametrelere ait ölçümlerin başlangıç-bitiş tarihleri, kayıt sıklığı (1 ölçüm/zaman), birim ve parametre başına toplam ölçüm sayısı bilgileri.

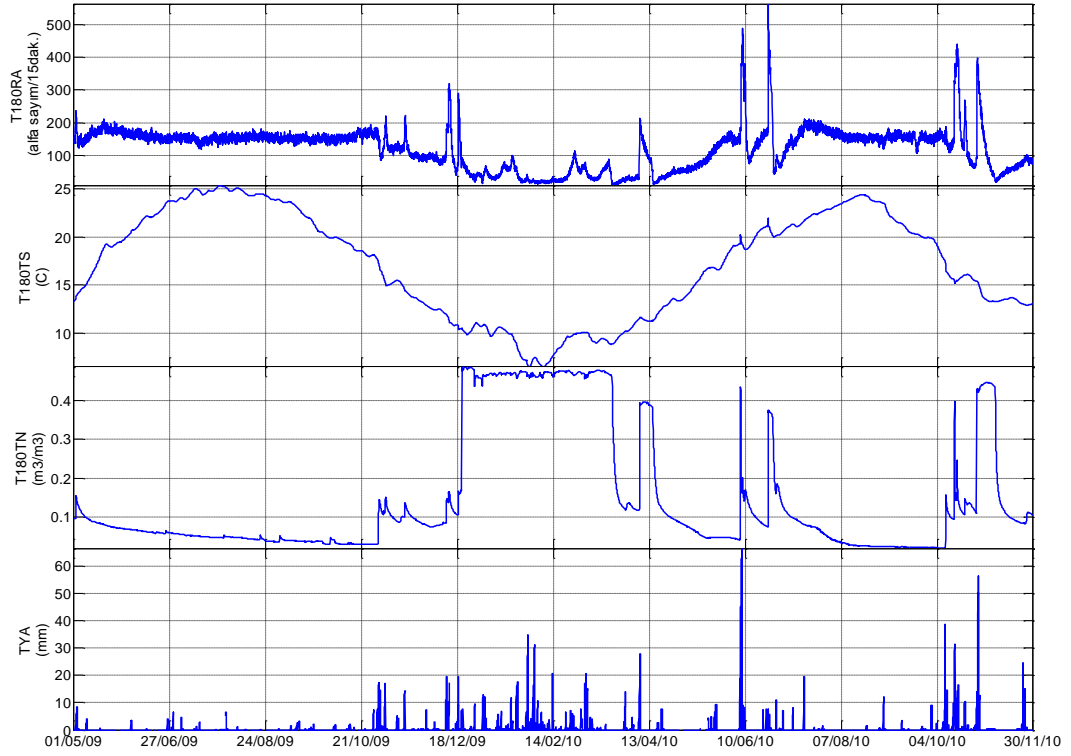
		Ölçüm Başlangıç	Ölçüm Bitiş	Kayıt Sıklığı	Birim	Ölçüm Sayısı		
Gebze (Test Sahası)	Toprak Radon	T-1 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	54.730	
		T-1 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.256	
		T-2 50 cm	22.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.448	
		T-2 80 cm	22.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.448	
		T-3 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.256	
		T-3 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.256	
		T-4 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.256	
		T-4 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	15 dak.	α sayım/15 dak.	56.256	
	Toprak Nem	T-1 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.049	
		T-1 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.049	
		T-2 50 cm	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.097	
		T-2 80 cm	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.097	
		T-3 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	12.831	
		T-3 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.054	
		T-4 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.053	
		T-4 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	14.053	
	Toprak Sıcaklık	T-1 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.049	
		T-1 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.049	
		T-2 50 cm	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.097	
		T-2 80 cm	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.097	
		T-3 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.054	
		T-3 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.054	
		T-4 50 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.054	
		T-4 80 cm	24.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	14.054	
	Atmosferik	Hava Sıcaklığı	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	13.749	
		Hava Basıncı	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	hPa	13.749	
		Yağış	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	mm	13.749	
		Rüzgar Yönü	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	derece	13.641	
		Rüzgar Hızı	22.04.2009	30.11.2010	1 saat	km/s	13.641	
	Armutlu (Yalova)	Radon	80 cm	29.05.2009	23.11.2010	15 dak.	sayım/15 dak.	52.224
		Toprak Nem	50 cm	23.09.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	10.402
			80 cm	23.09.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	10.402
Toprak Sıcaklık		50 cm	23.09.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	10.402	
		80 cm	23.09.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	10.402	
Atmosferik		Hava Sıcaklığı	29.05.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	13.140	
		Hava Basıncı	29.05.2009	30.11.2010	1 saat	hPa	10.082	
		Yağış	29.05.2009	30.11.2010	1 saat	mm	13.140	
		Rüzgar Yönü	29.05.2009	30.11.2010	1 saat	derece	13.140	
		Rüzgar Hızı	29.05.2009	30.11.2010	1 saat	km/s	13.140	
Gönen (Sarıköy)	Radon	80 cm	12.05.2009	30.11.2010	15 dak.	sayım/15 dak.	54.298	
	Toprak Nem	50 cm	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	12.998	
		80 cm	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	m^3/m^3	12.998	
	Toprak Sıcaklık	50 cm	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	12.998	
		80 cm	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	12.998	
	Atmosferik	Hava Sıcaklığı	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	$^{\circ}C$	13.617	
		Hava Basıncı	12.05.2009	11.05.2010	1 saat	hPa	7.791	
		Yağış	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	mm	13.617	
		Rüzgar Yönü	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	derece	13.617	
		Rüzgar Hızı	12.05.2009	30.11.2010	1 saat	km/s	13.617	
	YAS		12.05.2009	30.11.2010	15 dak.	metre	54.466	
Genel Toplam						1.120.715		

4.1.1. Gebze Gözlem İstasyonları

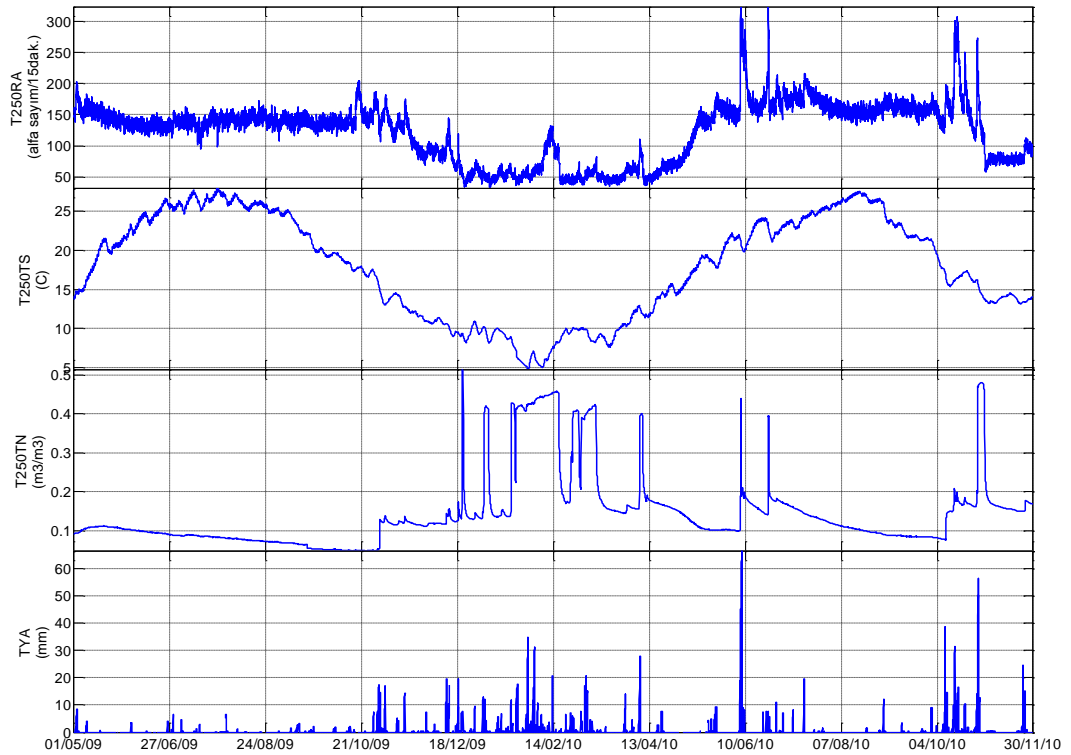
Gebze’de oluşturulan test sahası içinde yer alan ve dört farklı toprak tipini temsil eden T1, T2, T3 ve T4 istasyonlarında ölçülen toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem ile aynı lokasyonda ölçülen hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hız ve rüzgar yön verilerine ait saatlik ortalama grafikleri Şekil 4.1- Şekil 4.9 arasında sunulmuştur.



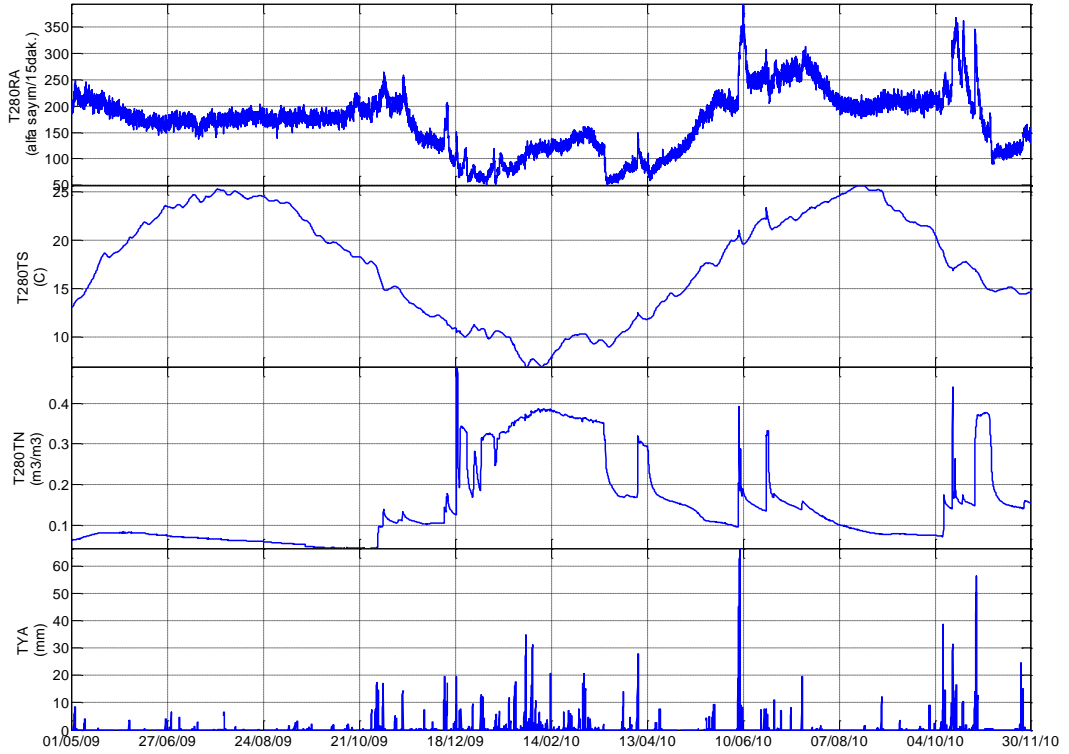
Şekil 4.1: Gebze Test Sahasında yer alan T1 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T150RA), toprak sıcaklık (T150TS), toprak nem (T150TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



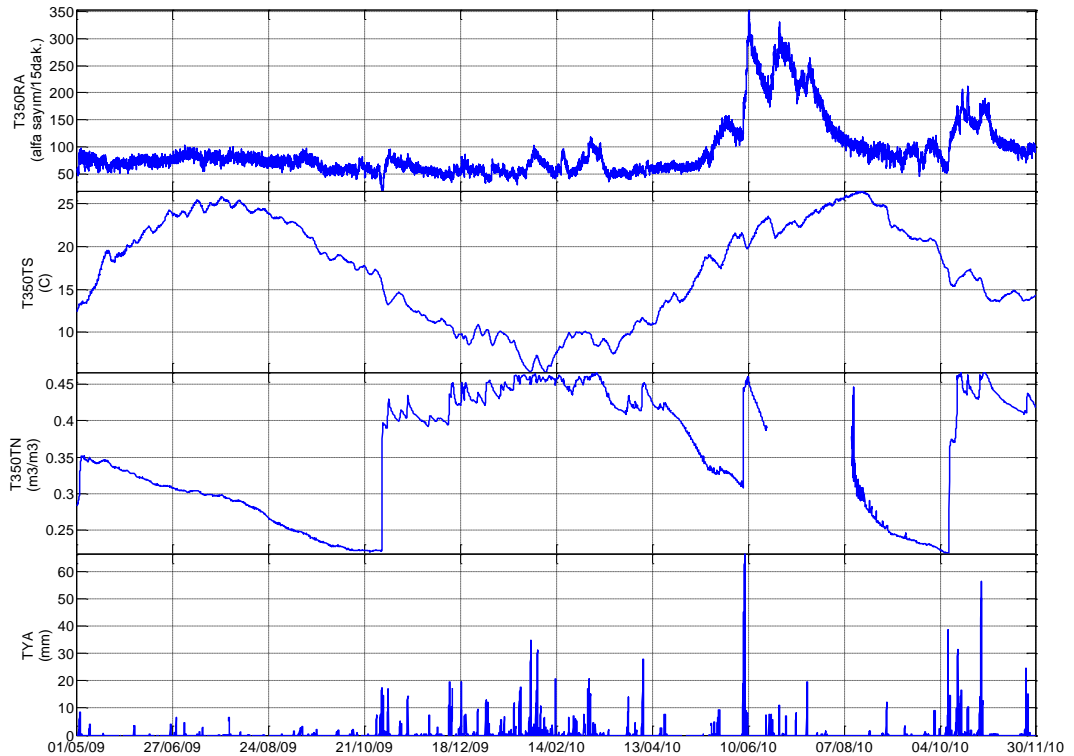
Şekil 4.2: Gebze Test Sahasında yer alan T1 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T180RA), toprak sıcaklık (T180TS), toprak nem (T180TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



Şekil 4.3: Gebze Test Sahasında yer alan T2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T250RA), toprak sıcaklık (T250TS), toprak nem (T250TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



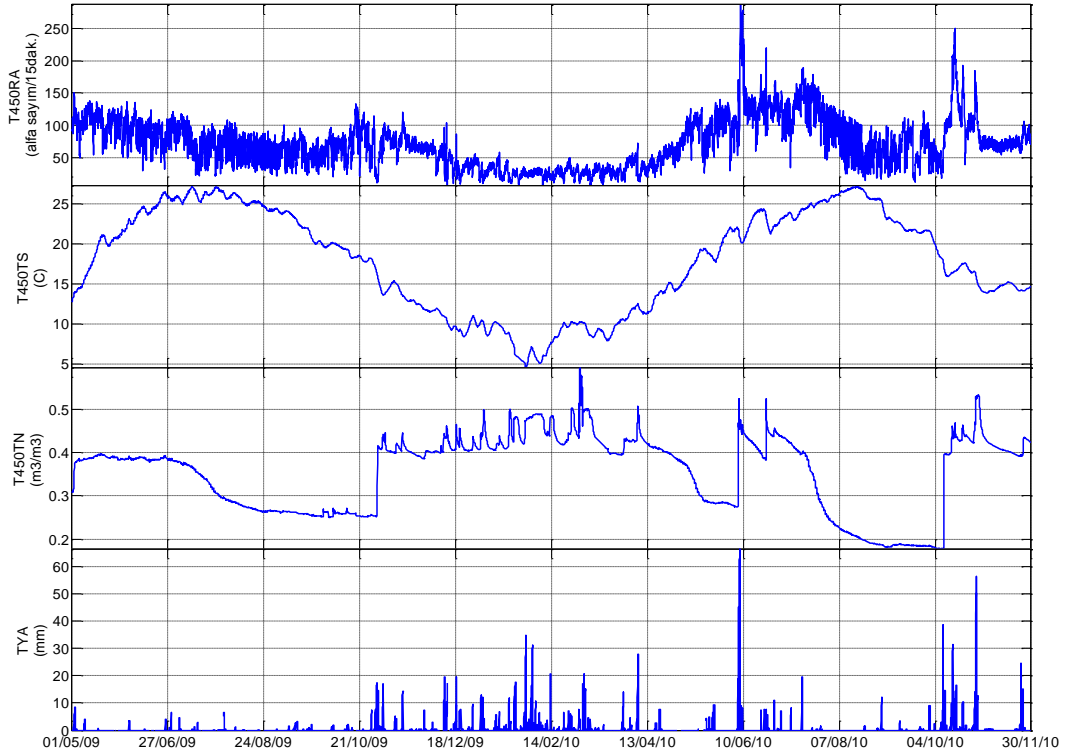
Şekil 4.4: Gebze Test Sahasında yer alan T2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T280RA), toprak sıcaklık (T280TS), toprak nem (T280TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



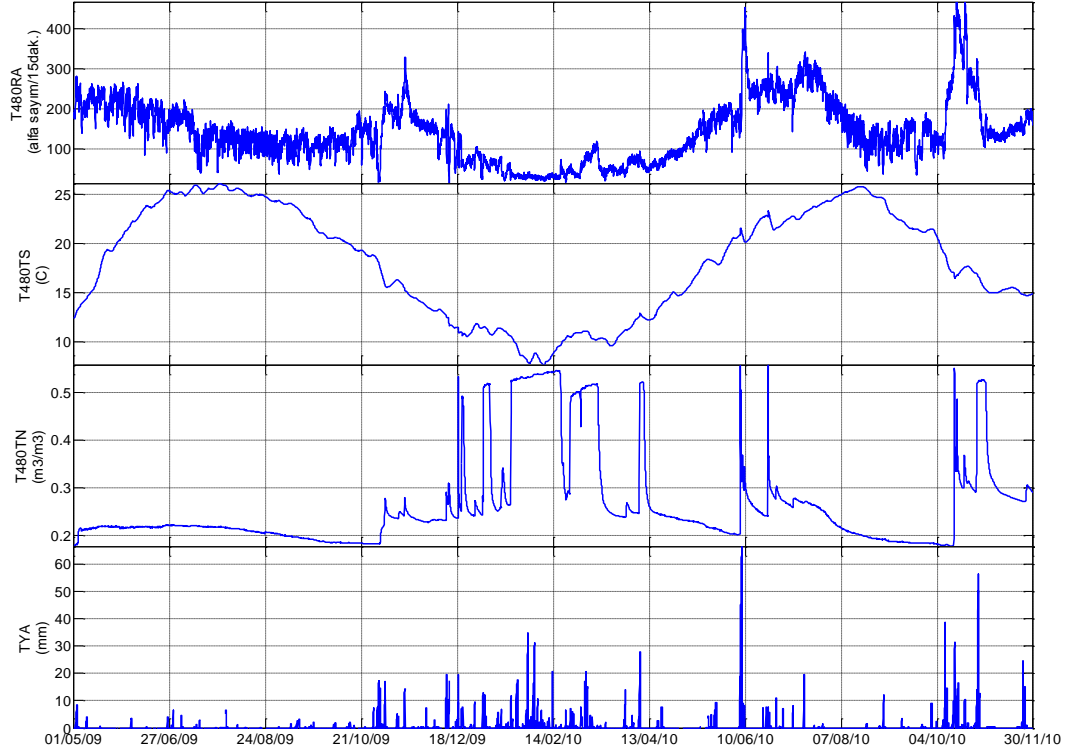
Şekil 4.5: Gebze Test Sahasında yer alan T3 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T350RA), toprak sıcaklık (T350TS), toprak nem (T350TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



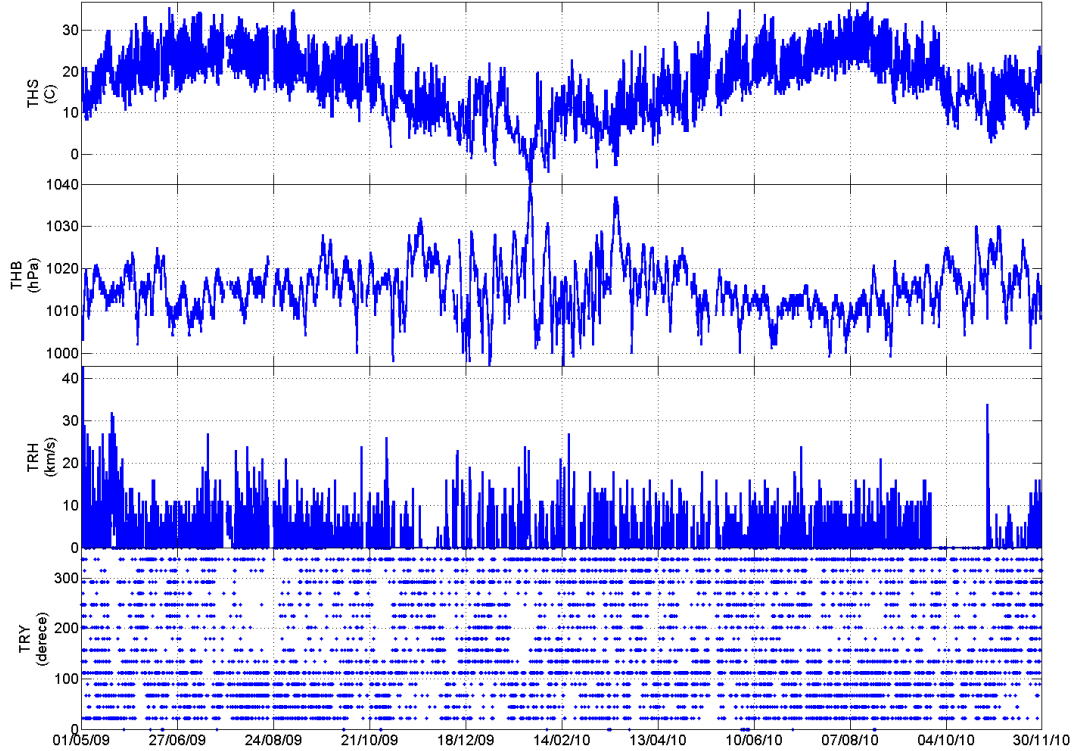
Şekil 4.6: Gebze Test Sahasında yer alan T3 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T380RA), toprak sıcaklık (T380TS), toprak nem (T380TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



Şekil 4.7: Gebze Test Sahasında yer alan T4 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T450RA), toprak sıcaklık (T450TS), toprak nem (T450TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



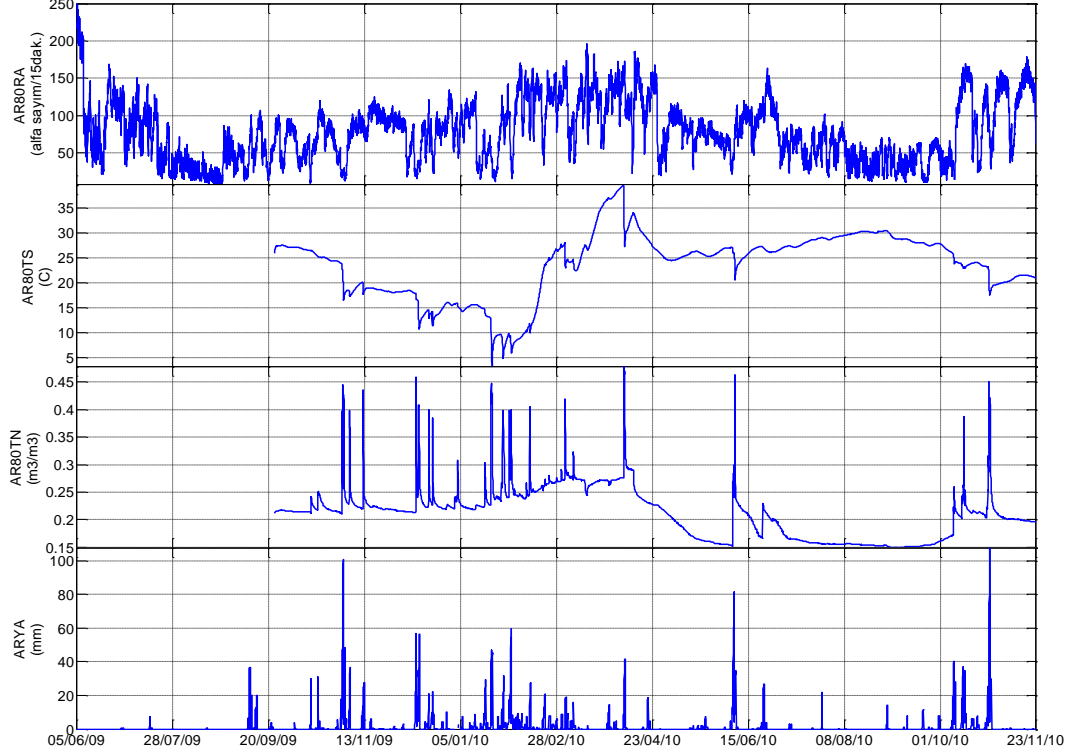
Şekil 4.8: Gebze Test Sahasında yer alan T4 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (T480RA), toprak sıcaklık (T480TS), toprak nem (T480TN) ve yağış (TYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



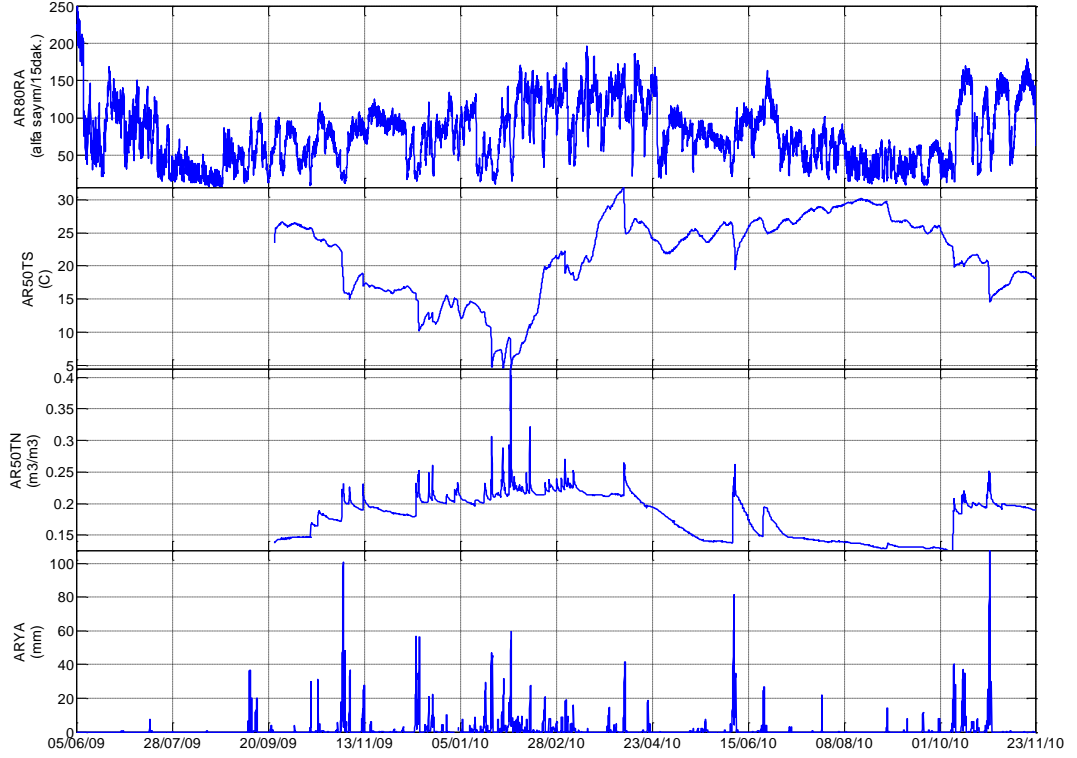
Şekil 4.9: Gebze Test Sahasında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (THS), hava basınç (THB), rüzgar hızı (TRH) ve rüzgar yön (TRY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).

4.1.2. Armutlu İstasyonu (Yalova)

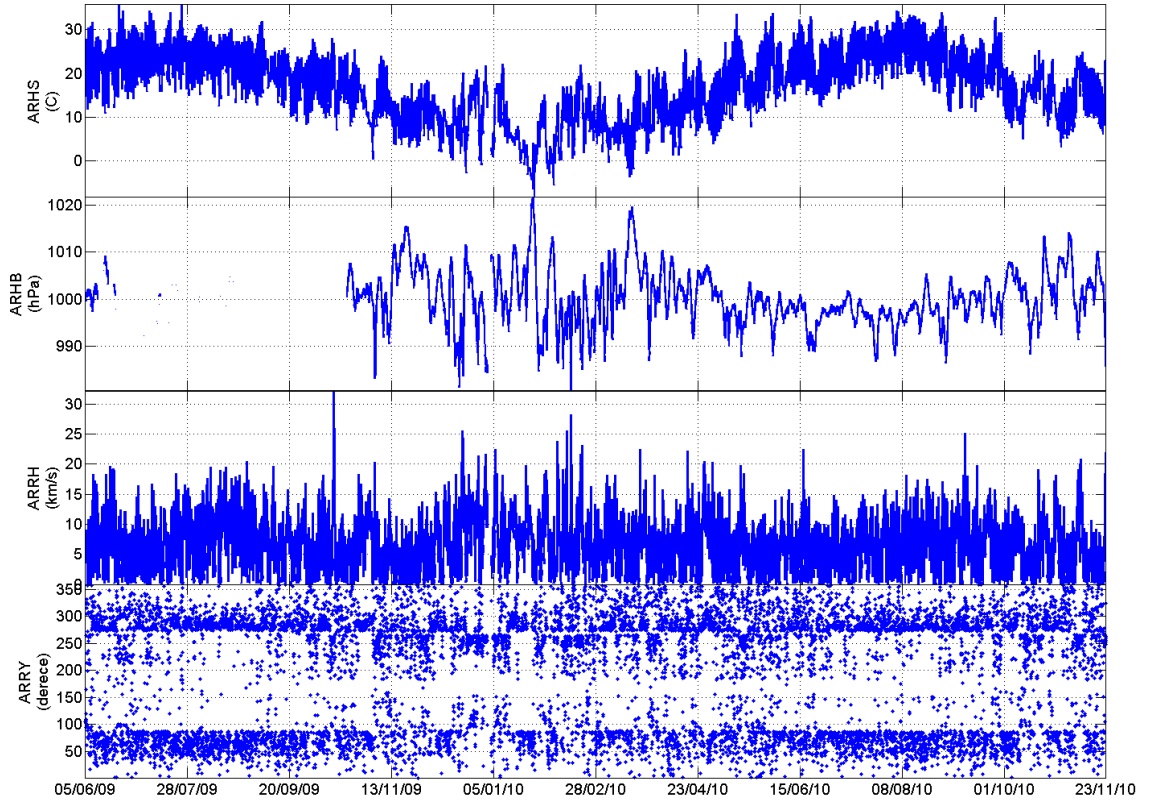
Armutlu istasyonunda ölçülen toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem ile aynı lokasyonda ölçülen hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hız ve rüzgar yön verilerine ait saatlik ortalama grafikleri Şekil 4.10 - Şekil 4.12 arasında sunulmuştur.



Şekil 4.10: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (AR80RA), toprak sıcaklık (AR80TS), toprak nem (AR80TN) ve yağış (ARYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



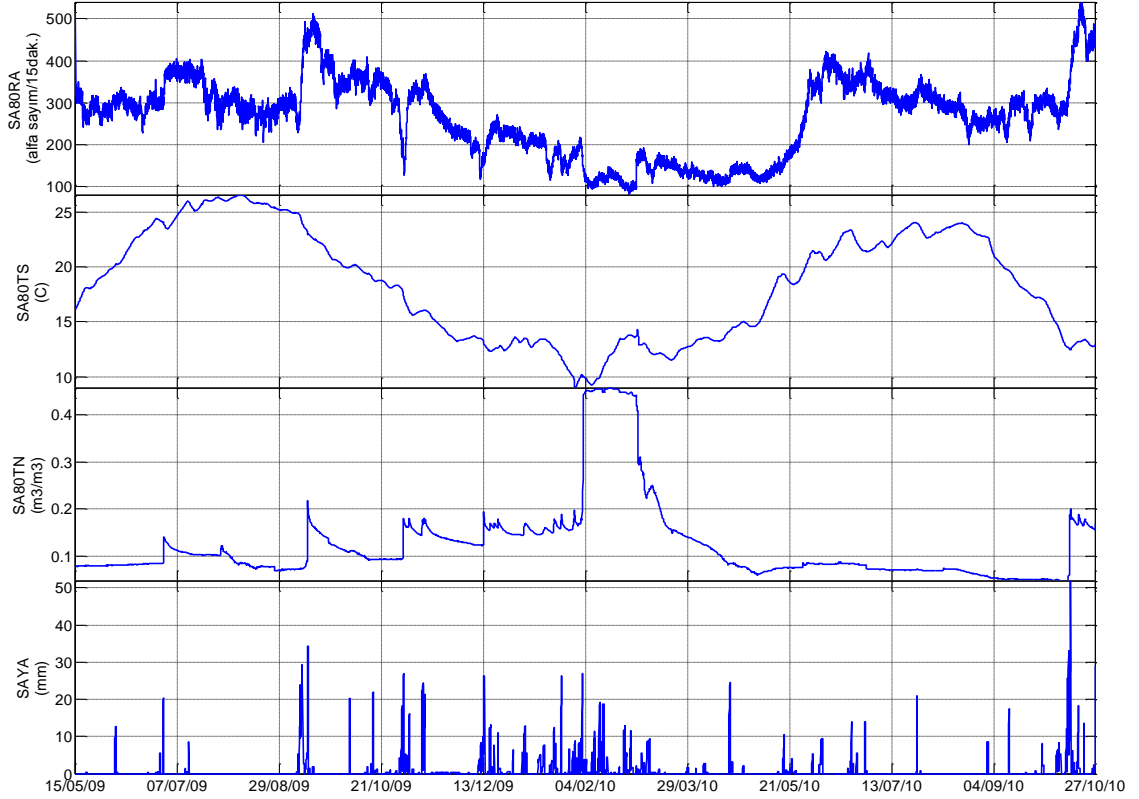
Şekil 4.11: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (AR80RA), 50 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklık (AR50TS) ile toprak nem (AR50TN) ve yağış (ARYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



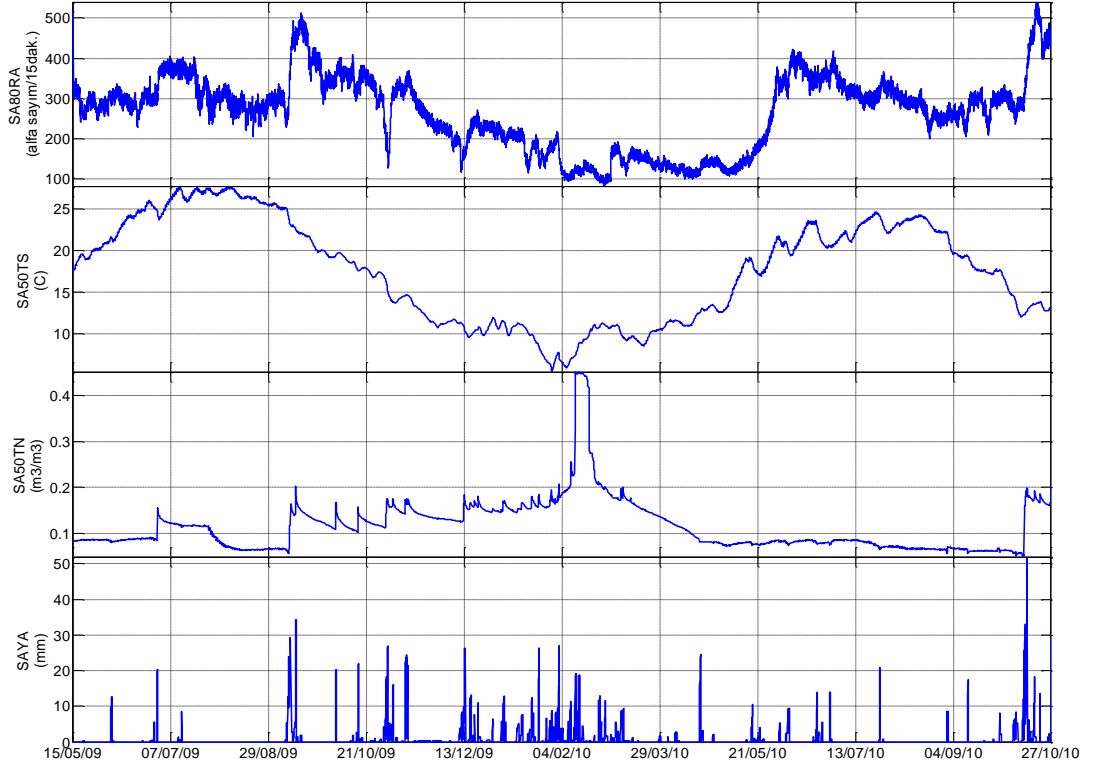
Şekil 4.12: Armutlu istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (ARHS), hava basınç (ARHB), rüzgar hızı (ARRH) ve rüzgar yön (ARRY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).

4.1.3. Sarıköy İstasyonu (Gönen)

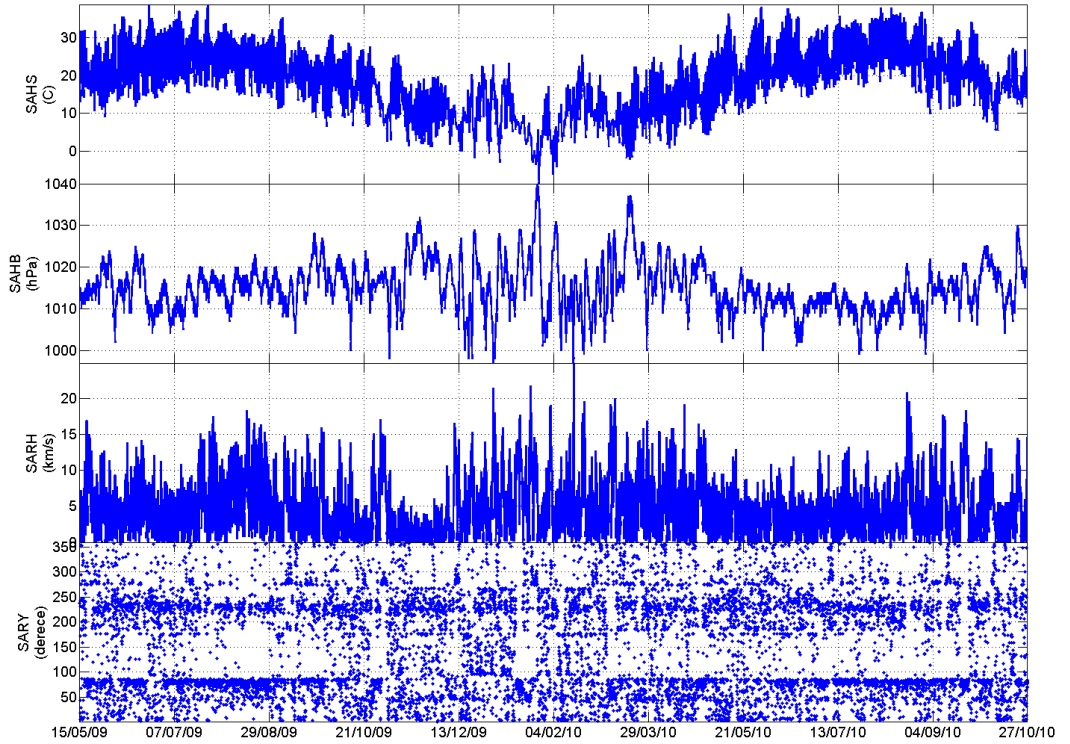
Armutlu istasyonunda ölçülen toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem ile aynı lokasyonda ölçülen hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hız ve rüzgar yön verilerine ait saatlik ortalama grafikleri Şekil 4.13 - Şekil 4.16 arasında sunulmuştur.



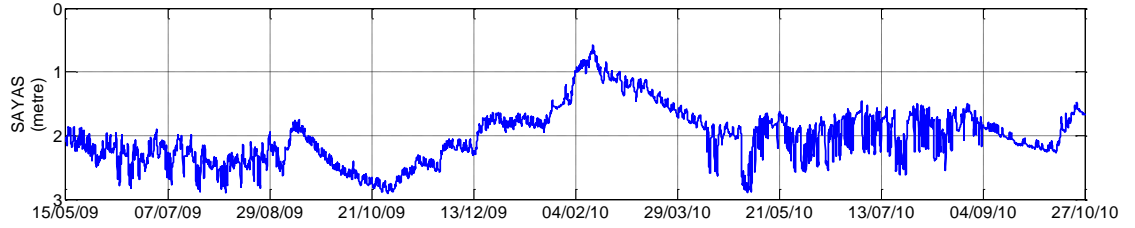
Şekil 4.13: Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (SA80RA), toprak sıcaklık (SA80TS), toprak nem (SA80TN) ve yağış (SAYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



Şekil 4.14: Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinlikte ölçülen toprak radon gazı (SA80RA), 50 cm derinlikte ölçülen toprak sıcaklık (SA80TS) ile toprak nem (SA80TN) ve yağış (SAYA) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).

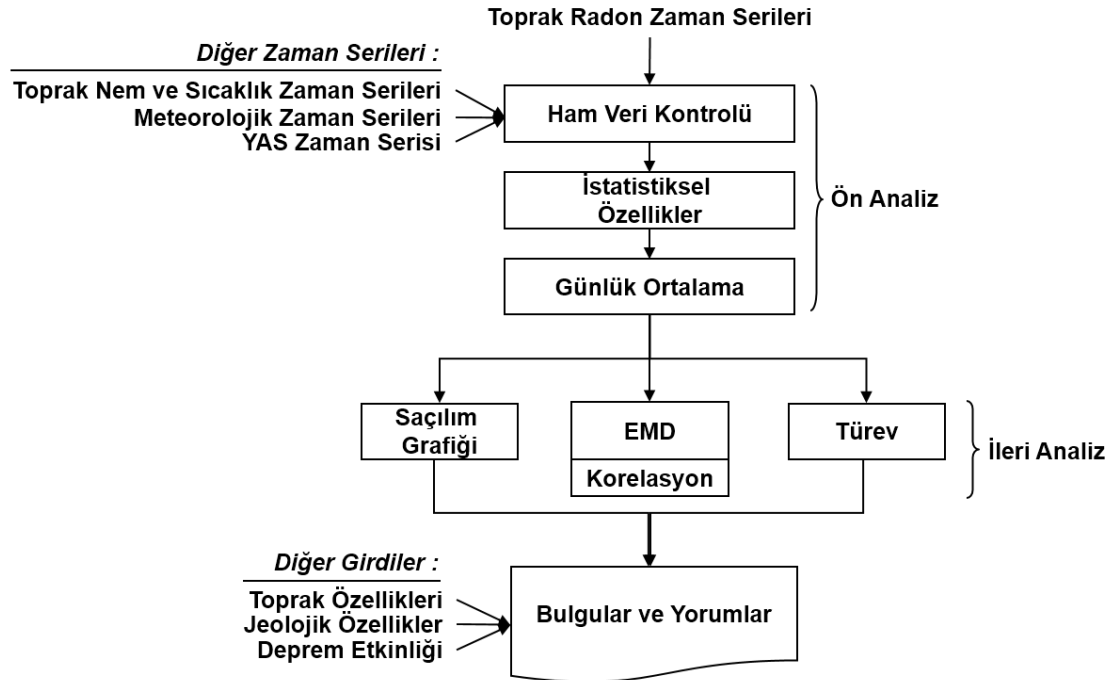


Şekil 4.15: Sarıköy istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen hava sıcaklık (SAHS), hava basınç (SAHB), rüzgar hızı (SARH) ve rüzgar yön (SARY) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).



Şekil 4.16: Sarıköy istasyonunda 05.06.2009-23.11.2010 tarihleri arasında ölçülen yeraltı su seviyesi (SAYAS) verilerine ait zaman serileri (saatlik ortalama).

Bu kayıtlarda bile radon gazı ile diğer parametreler arasında uzun dönemler boyunca negatif ve pozitif yönlü ilişkilerin bulunduğu, bunların ani ve kısa süreli değişimlerden etkilendiği görülmektedir (Şekil 4.1 - Şekil 4.16). Bu ilişkilerin ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkartılması için veriler Şekil 4.17’de gösterilen adımlar izlenerek detaylı olarak analiz edilmiştir.



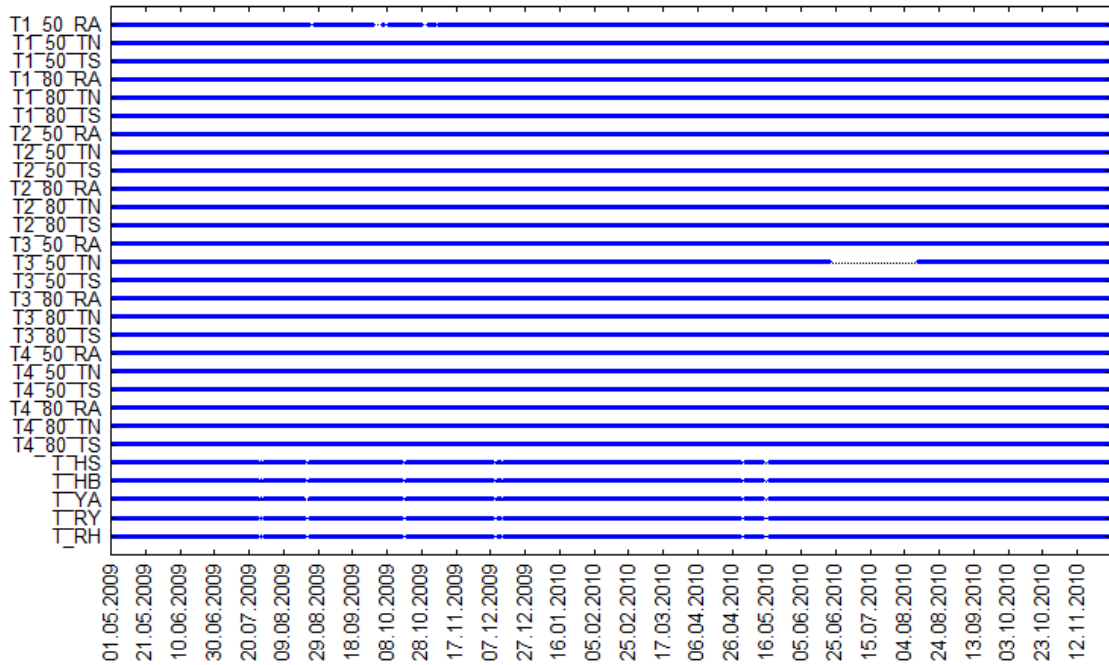
Şekil 4.17: Veri analiz aşamalarının şematik gösterimi.

4.2. VERİLERİN ÖN ANALİZİ

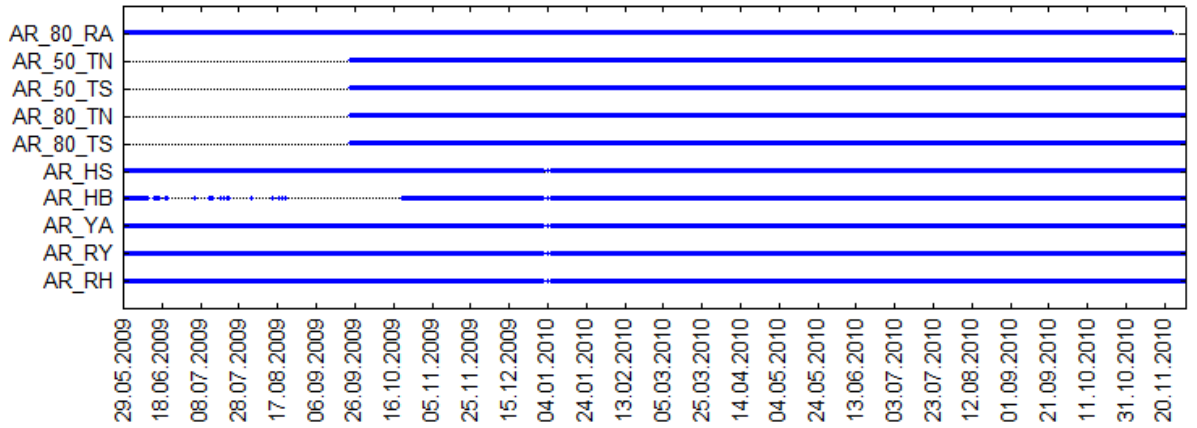
4.2.1. Ham Veri Kontrolü

Uzun süreli veri toplamanın doğası gereği, Gebze, Armutlu ve Sarıköy İstasyonları'nda kaydedilen çok parametrelili verilerde teknik ve lojistik nedenlerden dolayı bazı kesintiler yaşanmıştır. Her bir lokasyona göre, hangi parametrede hangi tarih aralığında veri toplandığı ve kesinti yaşandığı Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Toplanan verilerdeki kesinti oranları, analiz tarih aralıkları dikkate alındığında Gebze için % 1.0, Armutlu için % 0.9, Sarıköy için % 3.5 (sadece hava basınç verisi kaynaklı) şeklinde gerçekleşmiştir.

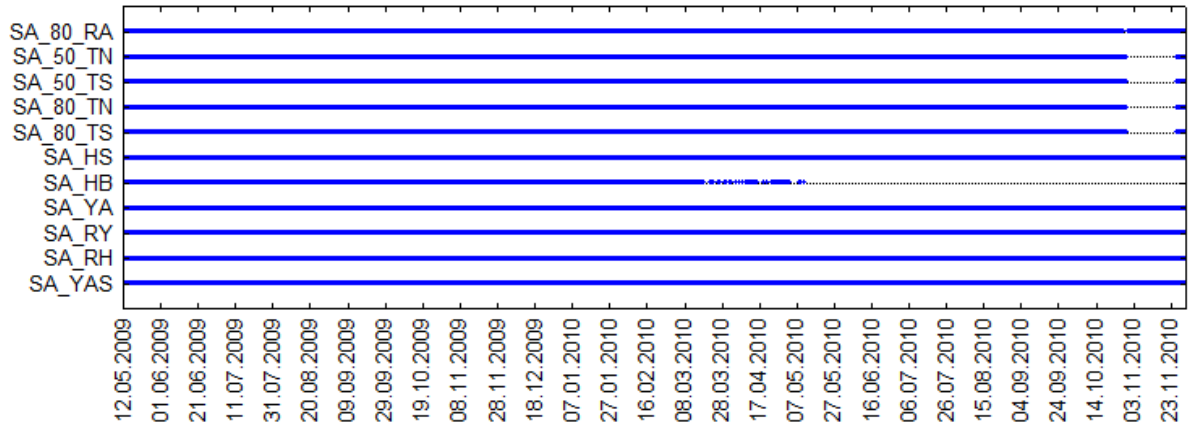
Veri sürekliliği gerektiren analiz işlemlerinde, eksik verilerden kaynaklanabilecek olumsuzluklardan etkilenmemek için çeşitli veri tamamlama işlemleri uygulanmıştır. Verilerde süreklilik gerektiren analiz işlemlerinin sadece günlük ortalama verileri üzerinde gerçekleştirilmiş olmasından dolayı, veri tamamlama işlemleri sadece günlük ortalama değerleri üzerinde uygulanmıştır.



Şekil 4.18: Gebze test sahasında parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. T=Test Sahası, 1,2,3,4= istasyon numaraları, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak Sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı.



Şekil 4.19: Armutlu istasyonunda parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. AR= Armutlu, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı.



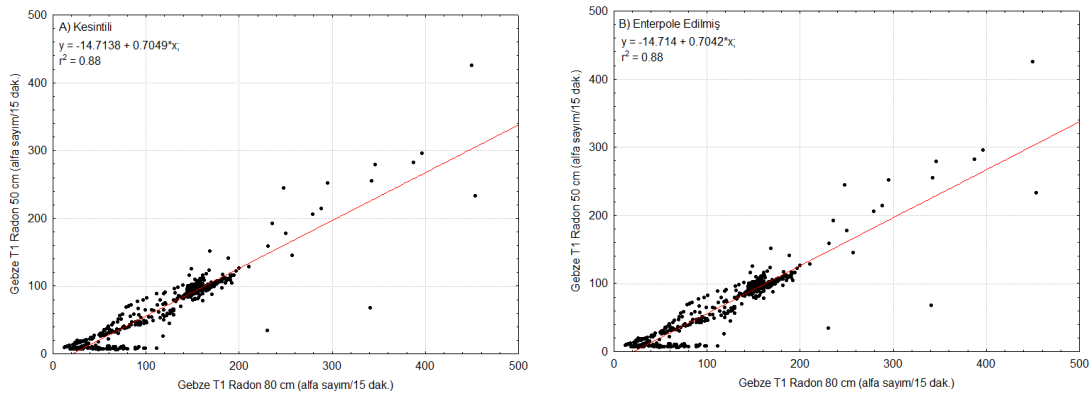
Şekil 4.20: Gönen Sarıköy istasyonunda parametre bazında veri kaydedilen (mavi noktalar) ve kesinti yaşanan (kesikli siyah çizgiler) zaman aralıklarını gösteren grafik. SA= Sarıköy, 80-50= ölçüm derinliği (cm), RA= Radon Gazı, TN= Toprak Nemi, TS= Toprak sıcaklığı, HS= Hava sıcaklığı, HB= Hava Basıncı, YA=Yağış miktarı, RY= Rüzgar Yönü, RH= Rüzgar Hızı, YAS= Yeraltı Suyu Seviyesi.

Aşağıda ölçülen parametre bazında hem veri kesintileri ve olası nedenleri irdelenmiş hem de eksik verilerin tamamlanma işlemleri tanıtılmıştır.

4.2.1.1. Radon Gazı

Gebze Test sahasında toprak radon gazı ile ilgili tek veri kaybı kum dolu T1 istasyonunda, 50 cm derinliğinde, 2009 yılı Ağustos ayında iki gün, Eylül ayında ise 8 gün boyunca yaşanmıştır. İlk başlarda meteoroloji cihazındaki (Rainwise - MKIII) iletişim sorunlarına çözüm olması için panoya yerleştirilen radyo modem'in radyo dalgalarından dolayı kesintiler meydana geldiği düşünülmüş, çeşitli müdahaleler ile kesintiler engellenmeye çalışılmıştır. Ancak sorunun aralıklarla devam etmesi üzerine

2009 Kasım ayının başlarında yapılan detaylı incelemede sorunun radon sensöründen gelen kablonun radyo modem kablosuna temas etmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Pano içindeki kabloların yeniden düzenlenmesi ile bu sorun tümüyle engellenmiştir. 50 cm derinlikteki radon sensöründen elde edilen veriler doğrudan veri analiz işlemlerinde kullanılmak yerine, esas amaç olan 80 cm derinlikteki verilerin analizi sonucu elde edilecek olan sonuçların derinlik ile olan ilişkilerini irdelemek amacı ile kullanılacaktır. Bu amaçla, eksik olan veriler, aynı çukurda 80 cm derinliğinde bulunan radon sensöründen elde edilen verilerdeki değişimler dikkate alınarak enterpole edilmiştir. Gebze T1 istasyonunda 50 cm derinliğinde kaydedilen kesintili veri seti (A) ile enterpolasyon sonucunda elde edilen kesintisiz veri setinin (B) 80 cm derinliğinde kaydedilen radon verisi arasında çizdirilen saçılım grafiklerine (Şekil 4.21) bakıldığında enterpolasyon işleminin önemli bir farklılık oluşturmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.21: Gebze test sahasında yer alan T1 istasyonunda 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş radon gazı değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Solda kesintili 50 cm veri seti (A), sağda ise enterpole edilmiş 50 cm veri seti (B) kullanılarak üretilen grafikler yer almaktadır. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.

Armutlu istasyon sahasında, 23.11.2010 tarihinde Armutlu Belediye'sinin gerçekleştirmeye başladığı sondaj çalışması sırasında radon sensörüne ait veri aktarım kablosunun kopması nedeniyle bu tarihten itibaren radon verisi kaydedilememiştir. Diğer parametreler 30.11.2010 tarihine kadar sorunsuz kaydedilmiş olmasına rağmen, Armutlu'ya ait verilerin analiz işlemlerinde gözlem bitiş süresi 23.11.2010 tarihi olarak kabul edilmiştir.

Gönen Sarıköy’de, havzada yer alan ve çevresine göre hafif çukurda kalan gözlem sahası 2010 yılı Ekim ayında yoğun yağışa bağlı olarak su altında kalmıştır (Şekil 4.22). Sellenme nedeniyle 28.10.2010 tarihinde yere yakın bulunan çelik pano içine giren su, veri iletişim görevini gören GSM modeminde, sistemi besleyen aküde ve toprak nem verilerini kaydeden veri kayıtçıda arızalara neden olmuştur. Suların çekilmesi ardından 30.10.2010 tarihinde yapılan acil müdahale ile akü ve modem değiştirilerek radon gözlemleri yeniden başlatılmıştır. Ancak toprak nem verilerindeki kayıp nedeniyle Gönen istasyonuna ait veri analiz işlemlerinde gözlem bitiş süresi olarak 27.10.2010 tarihi kabul edilmiştir.



Şekil 4.22: 2010 yılı Ekim ayındaki yoğun yağışlar nedeniyle su altında kalan Sarıköy istasyonunun görüntüsü.

4.2.1.2. Toprak Nem

Gebze Test Sahası’nda toprak nem verilerine ait kesinti sadece T3 no’lu çukurun 50cm derinliğinde, 21.06.2010-11.08.2010 tarihleri arasında meydana gelmiştir. Söz konusu kesinti, toprak nem sensörüne ait kablunun veri kayıtçıya bağlı olan ucunun bilinmeyen bir nedenden dolayı yerinden çıkmasından kaynaklanmıştır. 50 cm’deki toprak nem parametresi esas olarak karşılaştırma amaçlı toplandığı ve kesintisiz veri gerektiren bir analiz işlemine girmediği için bu veri eksikliği ile ilgili olarak bir tamamlama işlemi yapılmamıştır.

Armutlu lokasyonunda YDBE’nin önceden devam eden çalışmalarına ait, elektrik çekilmiş ve içinde veri kayıtçı ile GSM modem bulunan mevcut pano ile bu çalışma kapsamında gözlem yapılan nokta arasında ~15 metre mesafe bulunması nedeni ile,

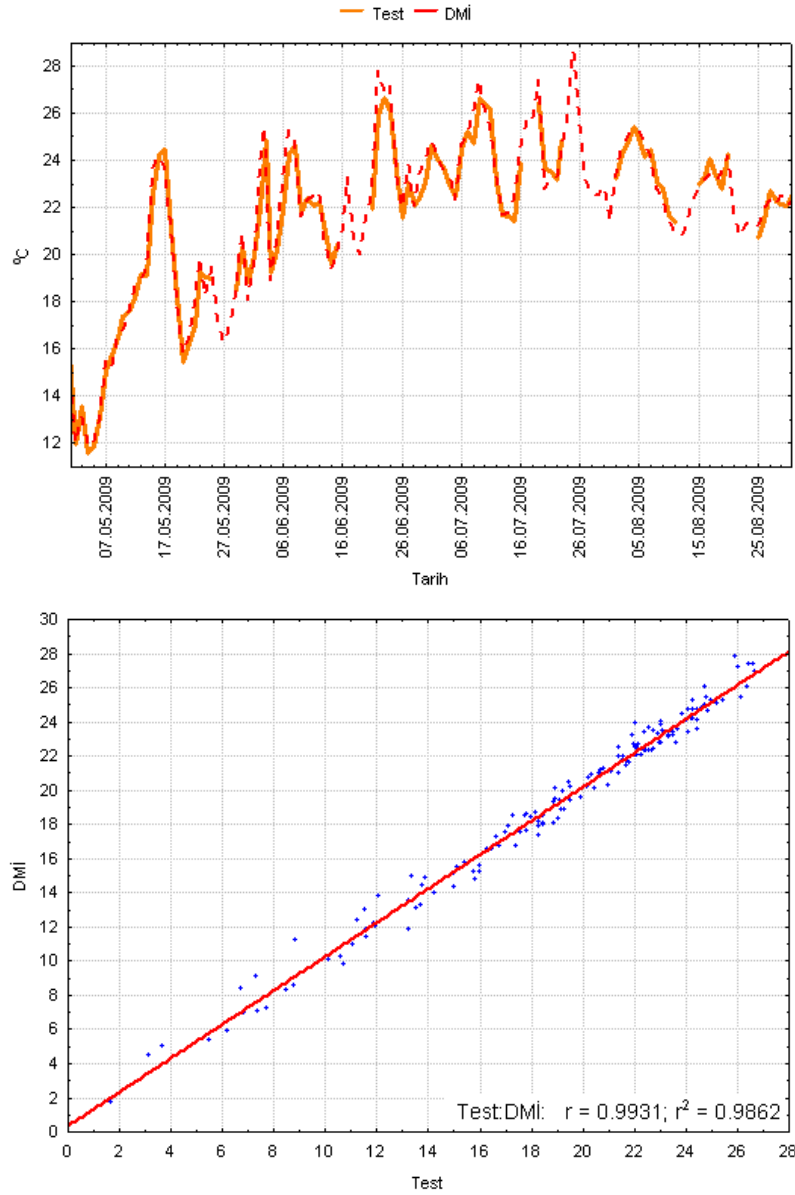
Gebze'deki test sahası ve Gönen Sarıköy'de kullanılan Decagon firmasına ait EC-5 sensörü yerine, Steven's Water firmasına ait olan ve benzer çalışma prensibine sahip Hydra Probe II (RS-485) sensörü kullanılmıştır. Bu sensörler EC-5 sensörlerine nazaran çok daha uzun bir kablo boyuna sahip olup, lokasyonda mevcut olan MOXA UC-7420 veri kayıtcısına doğrudan bağlanabilmekte ve veriler online olarak izlenebilmektedir. Ancak, 01.06.2009 tarihindeki kurulum çalışmaları sırasında kullanılan bu sensör, toprağın yüksek elektriksel iletkenliğinden etkilenmiş ve sağlıklı veriler elde edilememiştir. Bu nedenle diğer istasyonlarda kullanılan Decagon marka EC-5 modeli toprak nem sensörü sonradan tedarik edilerek, 23.09.2009 tarihinde istasyona yerleştirilmiştir. Armutlu istasyonunda 01.06.2009 ile 23.09.2009 tarihleri arasındaki veri eksikliği çok uzun bir dönemi kapsadığından dolayı herhangi bir veri tamamlama işlemi yapılması mümkün olmamıştır. Bu nedenle Armutlu lokasyonu ile ilgili veri analiz işlemlerinde veri başlangıç tarihi olarak 23.09.2009 baz alınmıştır.

Gönen Sarıköy istasyonunda 2010 yılı Ekim sonunda aşırı yağışlara bağlı olarak yaşanan sellenme nedeniyle toprak nem verilerini kaydeden devre 30.10.2010 tarihinde arızalanmıştır. Arızanın giderilmesi için veri kaydedici Gebze'ye getirilmiştir. Onarılan kaydedici ancak 25.11.2010 tarihinde yeniden istasyonda çalıştırılabilmektedir. Yaşanan toprak nem veri kesintisi tamamlanamadığından dolayı, radon verisinde kesinti yaşanmaya başlanan 27.10.2010 tarihi, analiz işlemlerinde gözlem bitiş süresi olarak kabul edilmiştir.

4.2.1.3. Hava Sıcaklığı

Gebze test sahasındaki meteorolojik gözlem cihazı ile kaydedilen verilerde ağırlıklı olarak 2009 yılında olmak üzere, farklı dönemlerde kesintiler yaşanmıştır. Bu kesintilerin başlıca nedeni, cihazda ölçülen değerlerin radyo dalgaları vasıtası ile bir veri kaydediciye iletilmesi ve bu veri iletiminin zaman zaman kesintilere uğramış olmasıdır. Çevrede olası başka güçlü radyo dalgalarının neden olduğu tahmin edilen sorunu aşmak için, üretici firma ile görüşülmüş ancak bu konuda destek alınmamıştır. Bunun üzerine cihaz üzerinde değişiklik yapılarak, sensörlerin bulunduğu ana gövde ile veri kaydedici ünite arasındaki veri iletimini sağlayan radyo alıcı-verici devreler iptal edilerek, veri iletim yöntemi kablolu hale getirilmiştir. Daha önce enstitü binası içinde bir bilgisayara bağlı olan veri kayıt ünitesi test sahasındaki çelik pano içine taşınmıştır. Bu şekilde,

kolayca kesintiye uğrayan zayıf radyo dalgalı veri iletiminden kaynaklanan kesintiler giderilmiştir. Verilerin online alınabilmesi için, alıcı ünite ile enstitü binasındaki bilgisayar arasında bir bağlantı sağlamak amacıyla güçlü ve profesyonel bir radyo modem kullanılmıştır. Bu müdahale neticesinde veri kayıpları büyük oranda engellenmiştir.



Şekil 4.23: 01.05.2009-31.12.2009 tarihleri arasında Gebze Test sahasında kaydedilen (turuncu çizgi) ve DMİ'den temin edilen (kırmızı kesikli çizgi) Gebze'ye ait günlük ortalama sıcaklık verilerinin zaman serisi (üst grafik) ve saçılma diyagramı (alt grafik).

Gebze'de yer alan test sahasındaki eksik hava sıcaklık verilerinin tamamlanması için Devlet Meteoroloji Enstitüsü'ne (DMİ) ait Gebze istasyonunun günlük ortalama

sıcaklık değerleri kullanılmıştır. DMI'den temin edilen veriler ile çalışma kapsamında kaydedilen verilerin uyumluluğunu test etmek amacıyla farklı veri setlerinin aynı tarih aralığında mevcut olduğu dönem seçilerek karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.23). Veriler arasındaki yüksek korelasyon katsayısı ($r = 0.99$) iki veri setinin uyumlu olduğunu göstermektedir. Test sahasındaki eksik hava sıcaklık verileri DMI verisi ile tamamlanmıştır.

Armutlu istasyonuna ait hava sıcaklık verilerinde, 2-5 Ocak 2010 tarihleri arasında bilinmeyen bir nedenden kaynaklanan kesintiye bağlı olarak kısa süreli bir veri eksikliği mevcut olup, bu eksikliğin giderilmesi için yine Gebze'deki yüksek korelasyon gösteren bir ilişki söz konusu olduğu için DMI'ye ait Çınarcık istasyonunda kaydedilmiş günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır.

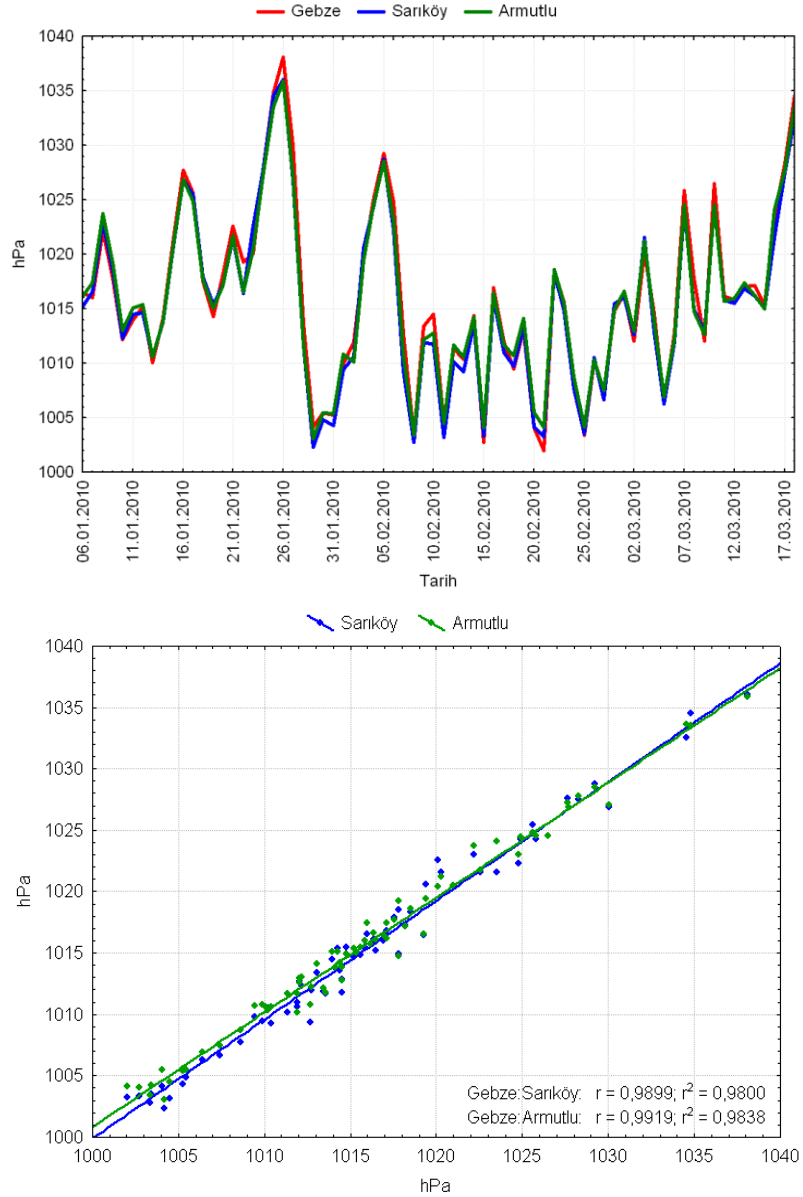
Sarıköy istasyonuna ait sıcaklık verilerinde ise herhangi bir kayıp yaşanmamıştır.

4.2.1.4. Hava Basıncı

Gebze test sahasına ait hava basınç verilerinde hava sıcaklık verilerindeki kesintilerin aynısı yaşanmıştır. Armutlu ve Gönen Sarıköy istasyonlarında ise, hava basınç sensörünü içeren devrelerin bilinmeyen nedenlerden dolayı farklı zamanlarda arızalanması sebebiyle, giderek artan veri kayıpları yaşanmıştır. Hava basınç devrelerindeki arızalar nedeniyle Amerika'da yer alan üretici Rainwise firması ile defalarca görüşülmüş, daha ölçüm başlangıcından itibaren sorun yaşanan ve 2009 yılı Haziran ve Ekim ayları arasında çalışmayan Armutlu'daki devre 20.10.2009 tarihinde yenisi ile değiştirilmiştir. Ancak 16.03.2010 tarihinde sorun yaşanmaya başlanan Gönen Sarıköy'deki cihaza ait devre için yeni bir devre sağlanamamıştır.

Şekil 4.24'de üstteki grafikte Gebze Test sahası, Gönen Sarıköy ve Armutlu istasyonlarında, 06.01.2010-18.03.2010 tarihleri arasında kaydedilen barometrik basınç değerlerinin günlük ortalama şeklindeki zaman serileri yer almaktadır. Veri setlerinin çok uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4.24'nin alt grafiğinde ise, Sarıköy ve Armutlu verileri, Gebze Test sahası verilerine bağlı olarak saçılma diyagramı halinde çizdirilmiştir. Bu diyagramda her üç veri seti arasında çok net, doğrusal bir ilişki olduğu ($r = 0.99$) görülmektedir. Farklı lokasyonlarda kaydedilmiş olmalarına rağmen, hava

basınç verileri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Hava basınç verilerinin bu uyumundan yola çıkılarak, Gebze Test sahasındaki eksik veriler Armutlu ve Gönen verileri ile tamamlanarak, oluşturulan eksiksiz zaman serisi, her üç gözlem sahası için de kullanılmıştır.

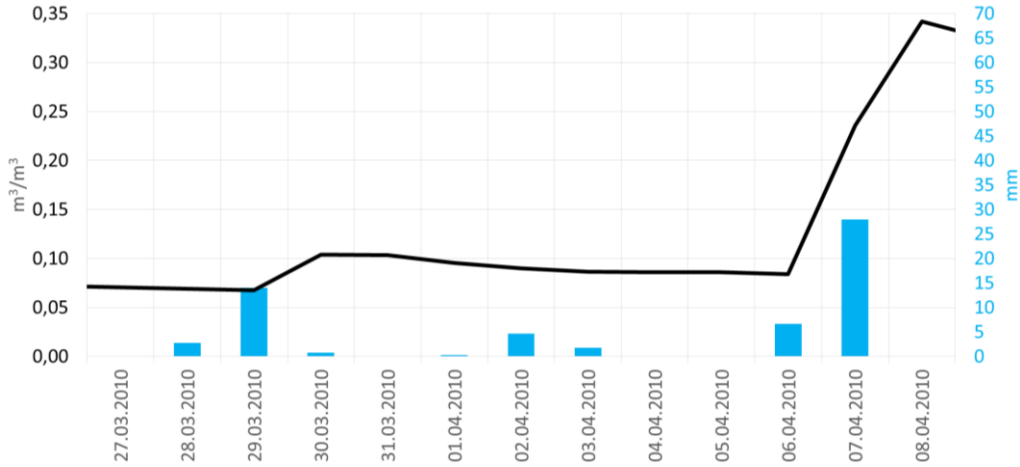


Şekil 4.24: Gebze Test sahası, Gönen Sarıköy ve Armutlu istasyonlarında, 06.01.2010-18.03.2010 tarihleri arasında kaydedilen barometrik basınç değerlerinin (günlük ortalama) zaman serisi (üst grafik) ve Gebze değerlerine göre Sarıköy ve Armutlu değerlerinin saçılma diyagramı (alt grafik).

4.2.1.5. Yağış

Test sahasında ölçülen yağış verisindeki eksikliklerin tamamlanması için DMİ'den veri talebinde bulunulmuş, fakat Gebze istasyonunda yağış verisi kaydedilmemiş

olmasından dolayı en yakın mesafede bulunan Kartal istasyonundaki veriler temin edilebilmiştir. Ancak Gebze test sahası ve Kartal (DMI) yağış verileri arasında anlamlı bir korelasyon bulunamadığından dolayı, yağış verilerindeki eksiklikler DMI verisi ile giderilememiştir. Aynı durum Armutlu için DMI'den temin edilen Çınarcık'a ait yağış verileri için de geçerlidir. Bu nedenle, Gebze test sahası ve Armutlu istasyonlarına ait günlük toplam yağış verilerindeki eksikliklerin giderilmesi için aynı lokasyonda ölçülen toprak nem verilerinden yararlanılmıştır. İki veri seti arasındaki uyuma örnek olarak Şekil 4.25'de Gebze Test Sahasında kaydedilen yağış verisi ile T1 istasyonunda 50 cm'de kaydedilen toprak nem verisi birlikte çizdirilmiştir. Şekilde, toprak nem verisinde belirgin değişimlerin olduğu günlerde yağışın da meydana geldiği görülmektedir. Gebze test sahası ve Armutlu istasyonuna ait eksik yağış verileri, toprak neminin arttığı günlerde yağış meydana geldiği kabul edilerek, nem artış miktarı ile orantılanarak enterpole edilmiştir.



Şekil 4.25: Gebze Test Sahasında kaydedilen yağış verisi (mavi sütun) ile T1 istasyonunda 50 cm'de kaydedilen toprak nem verisi (siyah çizgi) arasındaki değişim uyumunu gösteren grafik.

Gönen Sarıköy istasyonunda yağış verilerinde bir kayıp yaşanmamıştır.

4.2.1.6. Rüzgar

Rüzgar hız ve yön verileri lokal olarak çok değişiklik gösterebildiği için DMI'den temin edilen ve bu çalışma kapsamında ölçülen veriler arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Bu nedenle Gebze Test Sahası ve Armutlu istasyonlarına ait eksik rüzgar hız ve yön verileri DMI verileri kullanılarak tamamlanamamıştır. Veri analiz aşamasında bu zaman serilerinin değerlendirilebilmesi için eksiksiz olmaları gerektiği

için söz konusu eksiklikler rüzgar hızının uzun dönem davranışın yaklaşık periyodik davranmasından (Şekil 4.54) yararlanarak enterpole edilerek tamamlanmıştır.

Gönen Sarıköy istasyonunda rüzgar hız ve yön verilerinde kayıp yaşanmamıştır.

4.2.2. İstatistiksel Özellikler

Toprak radon gazı verileri doğrusal bir trend içermemekte olup genel olarak yıl bazında belirgin mevsimsel salınımlar ve günlük-haftalık değişimler içermektedir. Gözlem süresinin ~1.5 yıl ile sınırlı olmasından dolayı bu mevsimsel döngünün sürekli olduğu hakkında yorum yapmak çok doğru değilse de, TÜBİTAK MAM YDBE tarafından uzun yıllardır sürdürülen gözlem çalışmalarından elde edilen çok sayıdaki zaman serileri, bu bulguyu desteklemektedir.

Verideki uzun ve kısa dalga boylu değişimleri sınıflandırabilmek amacıyla, en yaygın kullanılan büyüklükler aritmetik ortalama ve standart sapmadır.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.1)$$

Aritmetik ortalama (μ) zaman serisi içindeki tüm verilerin toplanması ve bu toplamın veri sayısına (N) bölünmesi ile elde edilir (4.1). Bu değer genel olarak parametre bazında ve tüm gözlem süresi içinde sahaya özgü temel değer hakkında fikir vermektedir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.2)$$

Standart sapma (σ) değeri ise verilerin ortalamadan sapmalarının kareler ortalamasının karekökü olarak tanımlanır (4.2). Standart sapma aynı zamanda varyansın karekökü olarak da bilinir. Ortalama değer ne kadar sahaya özgün olduğunu ve ölçümlerin bu değer dışına çıktığında bir anomali şeklinde yorumlanabileceği hakkında fikir vermektedir.

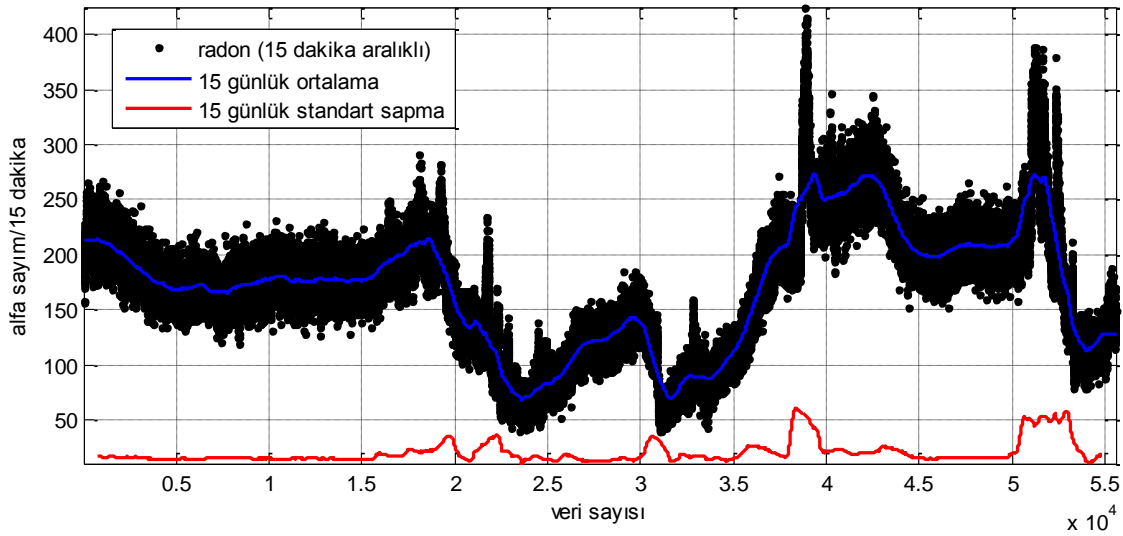
Sahada ölçülen tüm verilere ait en düşük (min), en yüksek (maks), aritmetik ortalama ve standart sapma gibi temel istatistik değerleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Sahada ölçülen parametreler ve bu parametrelere ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Parametre		Birim	Min.	Maks.	Aritmetik Ortalama μ	Standart Sapma σ		
Gebze (Test Sahası)	Toprak Radon	T-1 50 cm	α sayım/15 dak.	3	494	71	49	
		T-1 80 cm	α sayım/15 dak.	9	563	122	64	
		T-2 50 cm	α sayım/15 dak.	32	324	123	47	
		T-2 80 cm	α sayım/15 dak.	50	395	172	57	
		T-3 50 cm	α sayım/15 dak.	18	354	92	52	
		T-3 80 cm	α sayım/15 dak.	57	488	171	78	
		T-4 50 cm	α sayım/15 dak.	6	287	71	37	
		T-4 80 cm	α sayım/15 dak.	14	466	142	76	
	Toprak Nem	T-1 50 cm	m^3/m^3	0.00	0.45	0.09	0.10	
		T-1 80 cm	m^3/m^3	0.02	0.48	0.15	0.16	
		T-2 50 cm	m^3/m^3	0.05	0.51	0.14	0.10	
		T-2 80 cm	m^3/m^3	0.04	0.49	0.15	0.10	
		T-3 50 cm	m^3/m^3	0.22	0.47	0.35	0.08	
		T-3 80 cm	m^3/m^3	0.21	0.46	0.33	0.08	
		T-4 50 cm	m^3/m^3	0.18	0.60	0.35	0.09	
		T-4 80 cm	m^3/m^3	0.18	0.56	0.26	0.10	
	Toprak Sıcaklık	T-1 50 cm	$^{\circ}C$	4.8	27.1	17.9	6.2	
		T-1 80 cm	$^{\circ}C$	6.5	25.4	17.2	5.4	
		T-2 50 cm	$^{\circ}C$	4.8	28.0	18.0	6.4	
		T-2 80 cm	$^{\circ}C$	6.9	25.7	17.7	5.5	
		T-3 50 cm	$^{\circ}C$	5.3	26.5	17.3	5.9	
		T-3 80 cm	$^{\circ}C$	7.1	25.3	17.4	5.2	
		T-4 50 cm	$^{\circ}C$	4.6	27.2	18.0	6.2	
		T-4 80 cm	$^{\circ}C$	7.7	26.1	18.3	5.4	
	Atmosferik	Hava Sıcaklığı	$^{\circ}C$	-7.2	36.7	16.5	7.7	
		Hava Basıncı	hPa	997	1040	1015	6.1	
		Yağış	mm	0.0	22.2	0.1	0.6	
		Rüzgar Yönü	derece	0	360	170	109	
		Rüzgar Hızı	km/s	0.0	43.0	1.5	3.6	
	Armutlu (Yalova)	Radon	80 cm	α sayım/15 dak.	7	251	78	40
		Toprak Nem	50 cm	m^3/m^3	0.13	0.41	0.18	0.03
			80 cm	m^3/m^3	0.15	0.48	0.21	0.05
Toprak Sıcaklık		50 cm	$^{\circ}C$	4.4	31.9	21.6	6.1	
		80 cm	$^{\circ}C$	3.3	39.5	23.7	6.4	
Atmosferik		Hava Sıcaklığı	$^{\circ}C$	-8.4	35.9	16.5	7.9	
		Hava Basıncı	hPa	980	1022	1000	6	
		Yağış	mm	0.0	21.3	0.1	0.8	
		Rüzgar Yönü	derece	0	360	195	106	
		Rüzgar Hızı	km/s	0.0	32.2	6.1	4.5	
Gönen (Sarıköy)	Radon	80 cm	α sayım/15 dak.	80	540	265	92	
	Toprak Nem	50 cm	m^3/m^3	0.05	0.45	0.12	0.06	
		80 cm	m^3/m^3	0.05	0.46	0.12	0.09	
	Toprak Sıcaklık	50 cm	$^{\circ}C$	5.4	27.6	17.6	6.04	
		80 cm	$^{\circ}C$	9.0	26.6	18.4	4.90	
	Atmosferik	Hava Sıcaklığı	$^{\circ}C$	-8.5	38.7	15.7	8.5	
		Hava Basıncı	hPa	996	1038	1016	6	
		Yağış	mm	0.0	21.6	0.1	0.6	
		Rüzgar Yönü	derece	0	360	152	95	
		Rüzgar Hızı	km/s	0.0	24.9	4.8	4.0	
	YAS	metre	0.58	2.91	2.01	0.44		

4.1 ve 4.2 nolu bağıntılarda gösterilen aritmetik ortalama ve standart sapma tüm gözlem süresine ait ortalama bir değer vermekte ve ancak verinin istatistiksel özelliklerinin

zaman içinde değişmediği durumlarda anlamlı bilgiler üretebilmektedir. Zaman serilerinin istatistiksel özellikleri (ortalama ve standart sapma gibi) zaman içinde değişiyorsa bu tür zaman serilerine durağan olmayan zaman serileri adı verilmektedir (Kayım, 1985). Zaman serisinin durağan (stationary) olup olmadığını belirlemek için belirli zaman pencereleri içinde kayan aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri incelenebilir. Şekil 4.26'da Gebze T-2 (80cm) istasyonuna ait 15 dakika aralıklı toprak radon gazı zaman serisi (siyah noktalar) ve 15'e günlük zaman pencereleri halinde kayan ortalama (mavi çizgi) ile kayan standart sapma değerleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere hem aritmetik ortalama hem de standart sapma değerleri zaman bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

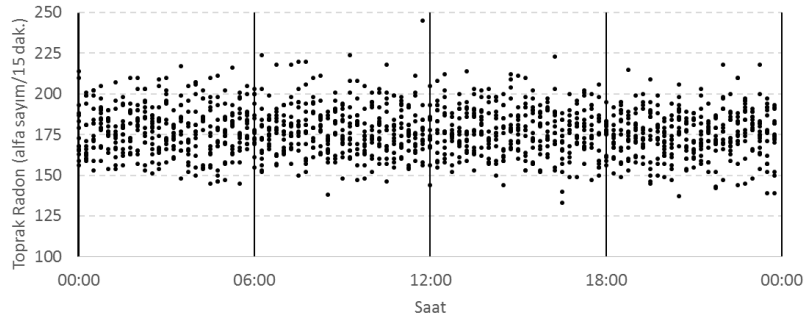


Şekil 4.26: Gebze T-2 (80cm) istasyonuna ait 15 dakika aralıklı toprak radon gazı zaman serisi (siyah noktalar) ve 15'e günlük zaman pencereleri halinde kayan ortalama (mavi çizgi) ile kayan standart sapma değerleri.

Ölçülmüş olan toprak radon gazı verileri durağan olmayan bir yapıda oldukları için zaman serilerini bir süzgeçlemeden geçirmeden diğer değişkenler ile olası korelasyonlarını doğru bir Şekilde tespit etmek mümkün değildir. Bunun için veriler öncelikle günlük ortalama değerleri hesaplanarak sadeleştirilmiş, ardından da frekans ortamında ayrıştırılarak korelasyon analizlerini zayıflatacak gürültülerden (o an için incelenecek frekans ile ilgisi olmayan değişimler, örneğin mevsimsel incelemede günlük salınımlar) Empirical Mode Decomposition (EMD) ile ayrıştırma yoluna gidilmiştir.

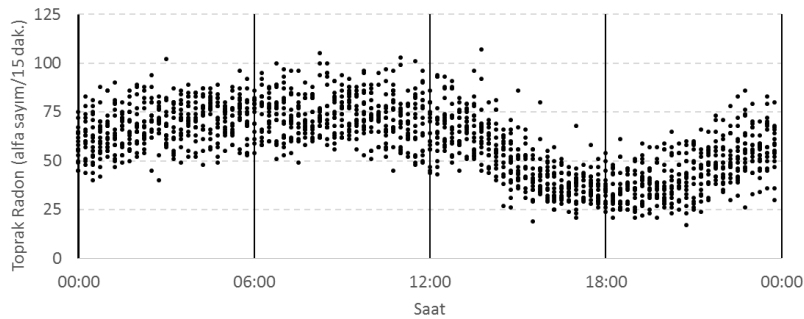
4.2.3. Günlük Ortalama

Toprak radon gazı ile ilgili yapılan volkan patlaması, deprem tahmin gibi zaman serisi bazlı çalışmalarda radon gazının bir günden uzun süreli değişimleri incelenmektedir. Bu açıdan, toprak içindeki radon gazı konsantrasyonun atmosferik sıcaklık ve basınç değişimine bağlı olan gün içindeki değişimi (diurnal) geçicilik sunmakta ve uzun dönem zaman serisi bağlamında pek önem taşımamaktadır. TÜRDEP projesi ve bu tez çalışması kapsamında elde edilen uzun süreli zaman serilerinde, gün içi değişimlerin çoğunlukla bir zarf içinde, gelişigüzel olarak salındığı görülmüştür (Şekil 4.27).



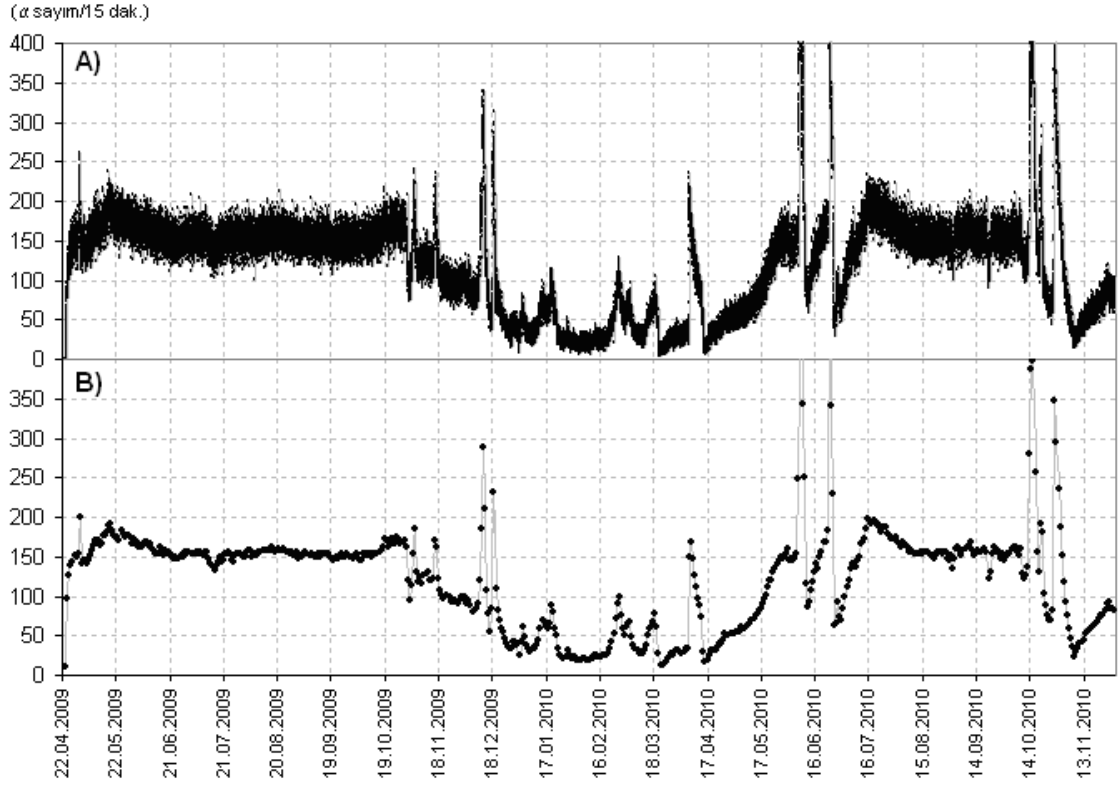
Şekil 4.27: Gebze T-2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, 01.06.2009-15.06.2009 tarihleri arasında ölçülen 15 dakika aralıklı radon gazı verilerinin gün içi değişim grafiği.

Kil baskın zemin özelliğinde olan Gebze T-4 istasyonunda bu duruma uymayan ve kurak dönemlerde kendini belli eden gece-gündüz salınımları olduğu da tespit edilmiş olmakla birlikte (Şekil 4.28), bu farklılık genel radon konsantrasyon değişimi üzerinde etkili olmamaktadır.



Şekil 4.28: Gebze T-4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, 15.08.2009-01.09.2009 tarihleri arasında ölçülen 15 dakika aralıklı radon gazı verilerinin gün içi değişim grafiği.

Örnek olarak Şekil 4.29'de Gebze test sahasında kaydedilmiş olan bir radon gazı zaman serisinin hem 15 dakika aralıklı hemde günlük ortalaması alınmış grafikleri yer almaktadır. Grafiklerden görülebileceği gibi günlük ortalama alınması verilerin genel değişim karakterini etkilememiştir.



Şekil 4.29: Gebze test sahasında kaydedilmiş olan bir toprak radon gazı zaman serisinin 15 dakika aralıklı (A) ve günlük ortalaması alınmış (B) grafikleri.

Bu açıdan, veri yoğunluğunu azaltmak ve böylece veri analizi aşamasında gürültü olarak adlandırılabilen değişimlerin analiz aşamasını ve elde edilecek sonuçları daha karmaşık hale getirmemesi için verilerin günlük ortalamaları hesaplanmış ve ileri analiz aşamasında aksi belirtilmedikçe sadece günlük ortalama verileri kullanılmıştır.

Toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem, hava sıcaklığı, hava basıncı verilerinde günlük aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Günlük ortalama değerlerinin tespit edilmesi işlemlerinde, aritmetik ortalama hesabından farklı olarak, yağış verisinde günlük toplam yağış miktarı, rüzgar yön verilerinde ise günlük histogramlarda pik yapan yönler hesaplanarak kullanılmıştır. Rüzgar yön verileri bu işlem öncesinde ölçüldükleri derece cinsindeki nümerik değerlerden coğrafi yönlere dönüştürülmüştür. Bunun için kullanılan sınıflandırma: 337°-22°: Kuzey, 23°-67°: Kuzey Doğu, 68°-112°: Doğu, 113°-157°: Güney Doğu, 158°-202°: Güney, 203°-247°: Güney Batı, 248°-292°: Batı, 293°-337°: Kuzey Batı.

Radon ölçüm cihazlarının toprak içine gömüldüğü ilk günlerinde (3-7 gün) ölçüm ortamının dengeye gelmesi aşamasında elde edilen veriler yanıltıcı olmaması için kullanılmamış, diğer bir deyişle analizlerde kullanılacak verilerin başlangıç tarihleri bir miktar ötelenmiştir. Buna göre verilerin başlangıç tarihleri Gebze Test Sahası için 01.05.2009, Armutlu istasyonu için 23.09.2009 (toprak nem verisindeki eksiklik nedeniyle) ve Sarıköy istasyonu için 15.05.2009 olarak baz alınmıştır.

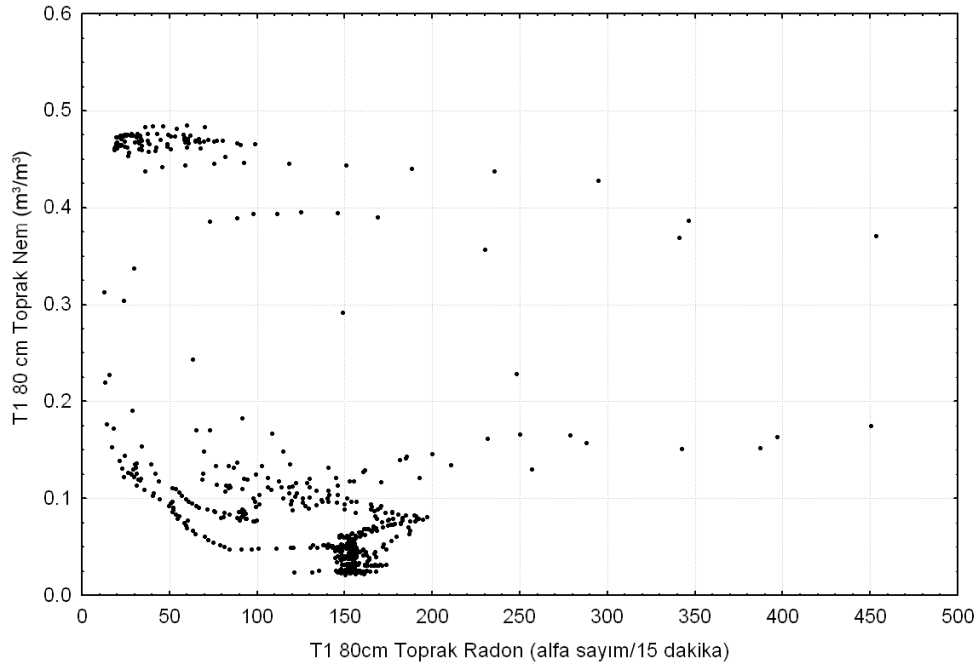
4.3. VERİLERİN İLERİ ANALİZİ

4.3.1. Saçılım Grafikleri

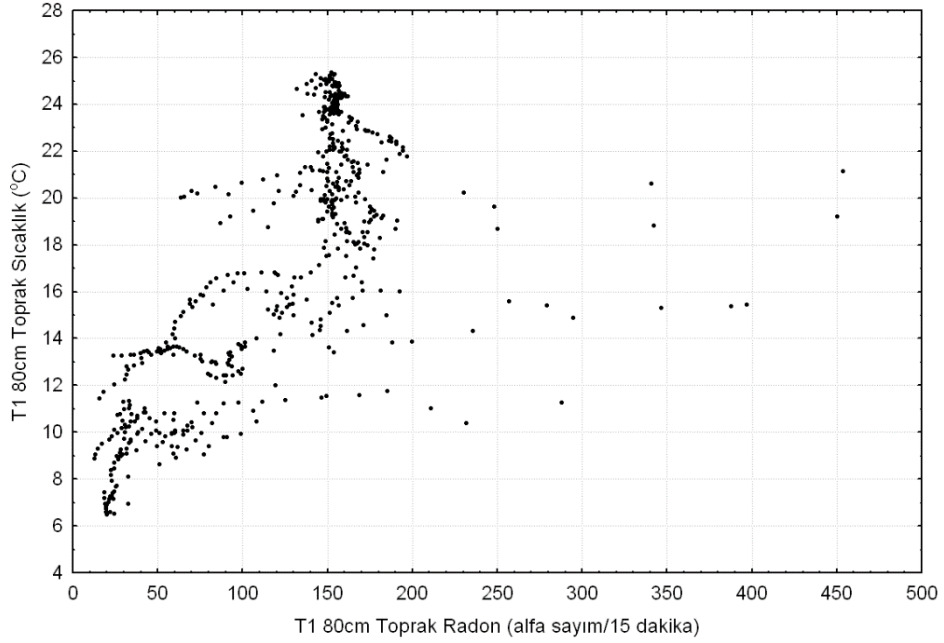
Saçılım grafikleri (scatter plot), iki veri setini incelemenin ilk aşaması ve en temel gösterim şeklidir. Bu grafikler x ve y eksenlerine atanan değişkenler arasında olası ilişkiler hakkında fikir vermektedir.

4.3.1.1. Gebze İstasyonları

Gebze Test Sahasında yer alan T1, T2, T3 ve T4 istasyonlarında 80 cm derinliğinde ölçülmüş radon gazı ile diğer parametreler arasında çizdirilen tüm saçılım grafikleri EK-A'da yer almaktadır (Şekil A.1 – Şekil A.28). Aşağıda bunlara örnek olarak T1 istasyonuna ait radon-toprak nem (Şekil 4.30) ve radon-toprak sıcaklık (Şekil 4.31) grafikleri gösterilmiştir.



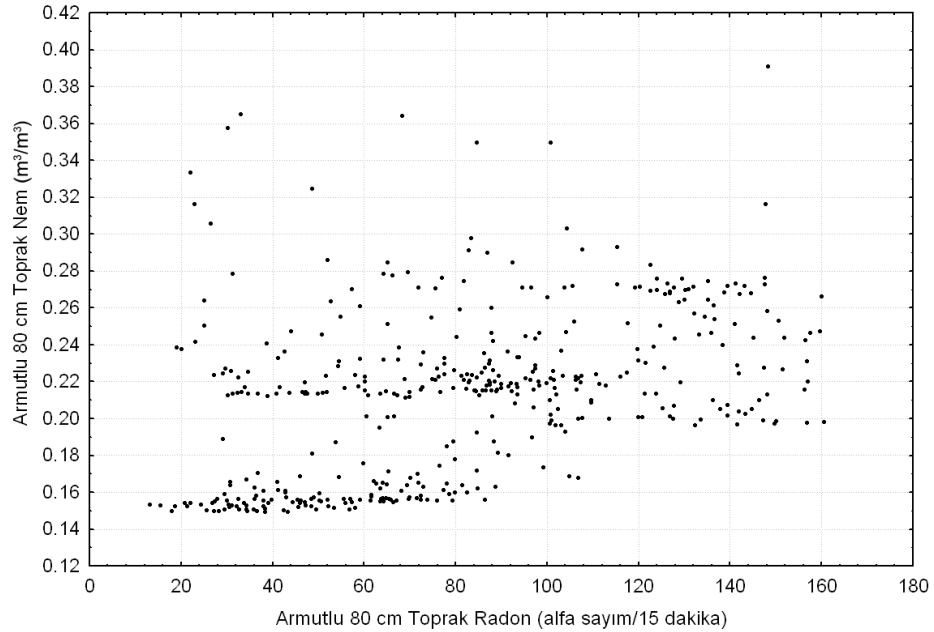
Şekil 4.30: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



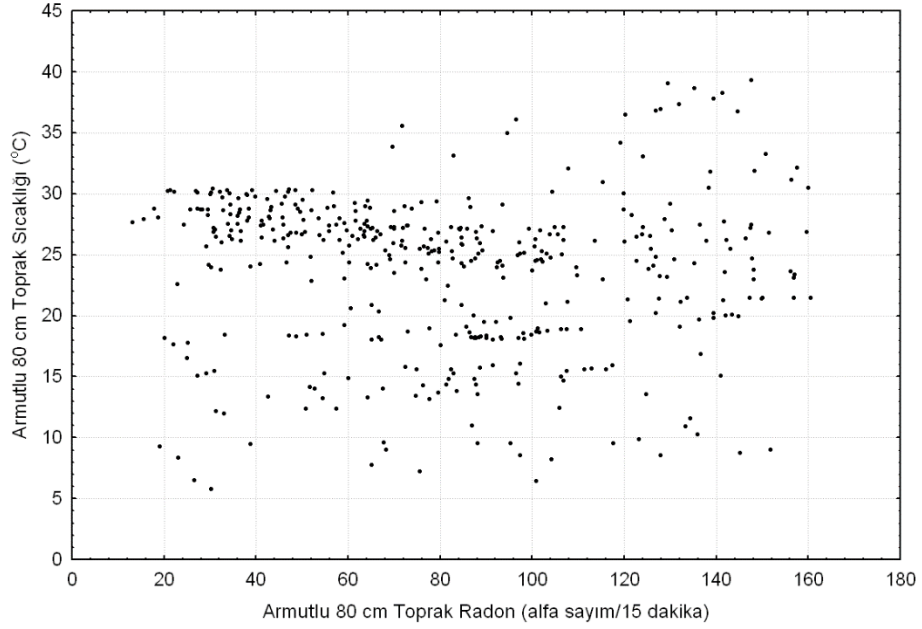
Şekil 4.31: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.

4.3.1.2. Armutlu İstasyonu

Armutlu istasyonunda 80 cm derinliğinde ölçülmüş radon gazı ile diğer parametreler arasında çizdirilen tüm saçılım grafikleri EK-A'da yer almaktadır (Şekil A.29 – Şekil A.35). Aşağıda, toprak nem (Şekil 4.32) ve toprak sıcaklık (Şekil 4.33) grafikleri örnek olarak gösterilmiştir.



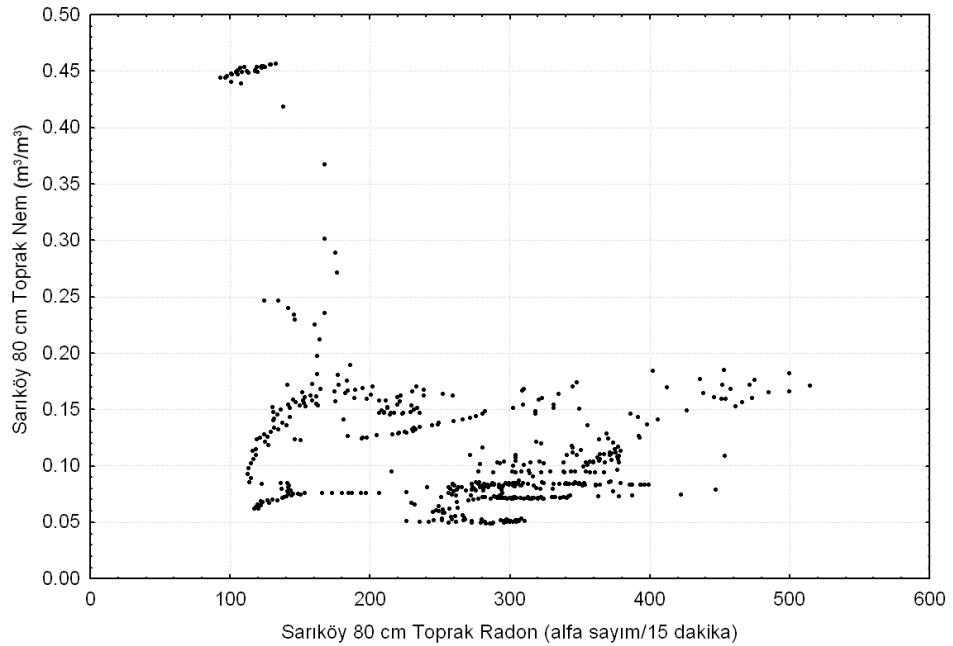
Şekil 4.32: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



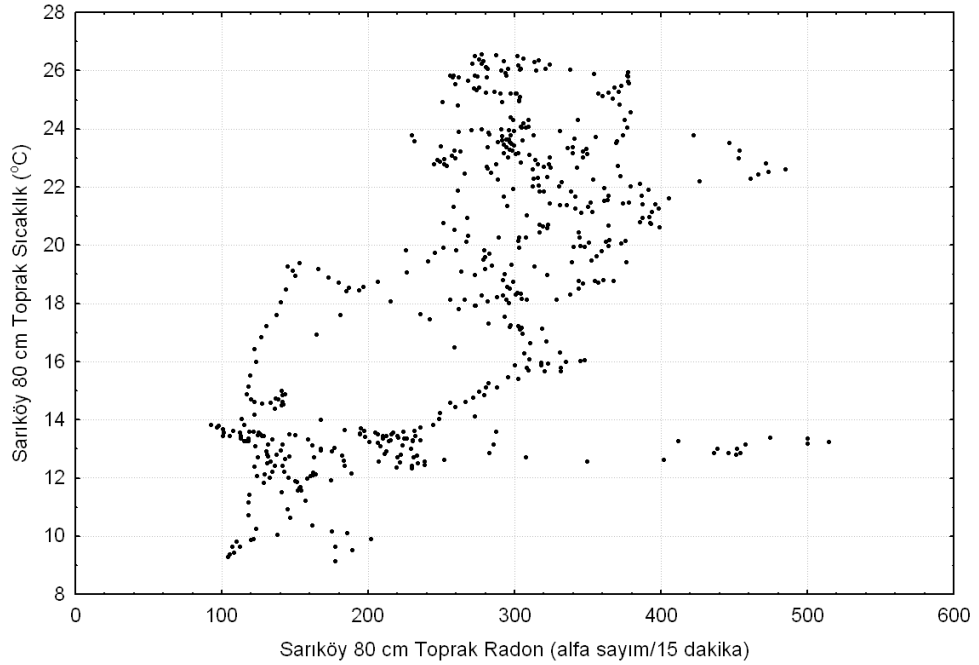
Şekil 4.33: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.

4.3.1.3. Sarıköy İstasyonu

Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde ölçülmüş radon gazı ile diğer parametreler arasında çizdirilen tüm saçılım grafikleri EK-A'da yer almaktadır (Şekil A.36 – Şekil A.43). Aşağıda, toprak nem (Şekil 4.34) ve toprak sıcaklık (Şekil 4.35) grafikleri örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.34: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



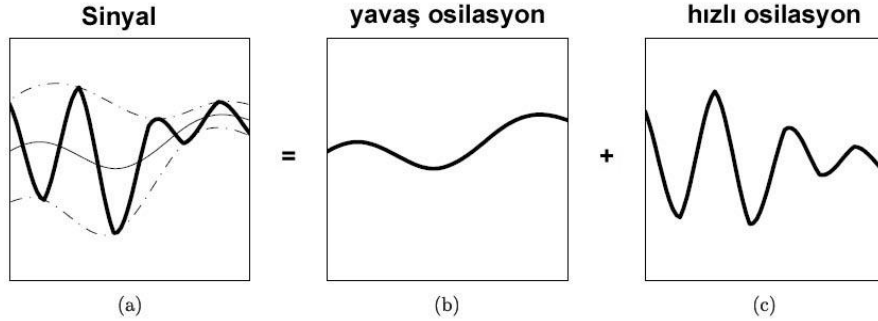
Şekil 4.35: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.

Farklı istasyonlardaki tüm veri setlerine ait saçılım grafikleri incelendiğinde özellikle toprak radon gazı ile toprak nem ve toprak sıcaklık veri setleri arasında çok net olmasa da bazı ilişkiler olduğu göze çarpmaktadır. Ancak, uzun gözlem süresi boyunca meydana gelmiş ve üst üste binmiş olan anlık ve/veya uzun süreli değişimler nedeniyle bu ilişki, basit korelasyon çizgi veya eğrileri ile ifade edilememektedir. Veri setleri arasındaki olası ilişkileri ortaya çıkartabilmek için bir sonraki başlık altında ele alınan, daha ileri düzeyde veri analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmiştir.

4.3.2. Görgül Kip Ayrıştırma (EMD) ve Korelasyon

Tez çalışması kapsamında elde edilen ölçüm değerlerine ait zaman serileri içinde mevcut, farklı frekanslara sahip bileşenlerin ortaya çıkartılması ve bu bileşenler üzerinde korelasyon analizlerinin yapılabilmesi için Görgül Kip Ayrıştırma (Empirical Mode Decomposition – EMD) yöntemi kullanılmıştır. EMD, Huang ve diğ. (1998) tarafından önerilen, Flandrin ve ekibi tarafından da geliştirilen, durağan ve doğrusal olmayan süreçlerin öz bileşenlerine ayrıştırılması için kullanılan bir sinyal işleme yöntemidir (Huang et al., 1998, Rilling et al. 2003, Flandrin et al. 2004, Isabekov et al. 2009, Baykut et al. 2009). Bu yöntem ile toprak radon gazı gibi yerbilimleri alanında

kullanılan zaman serilerinin de başarıyla analiz edilebilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir (Baykut et al. 2009, Baykut et al. 2010). Sinyallerin aslında yavaş (düşük frekanslı) ve hızlı (yüksek frekanslı) salınımların üst üste binmesinden meydana gelmesi EMD'nin uygulama temelini oluşturmaktadır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36: EMD analizinin ana fikrinin şematik gösterimi. Soldaki şekilde yer alan kalın çizgili orjinal sinyal (a), aslında düşük frekanslı bir salınım (b) ile yüksek frekanslı bir salınının (c) üst üste binmesinden meydana gelmektedir (Flandrin and Gonçelves, 2004).

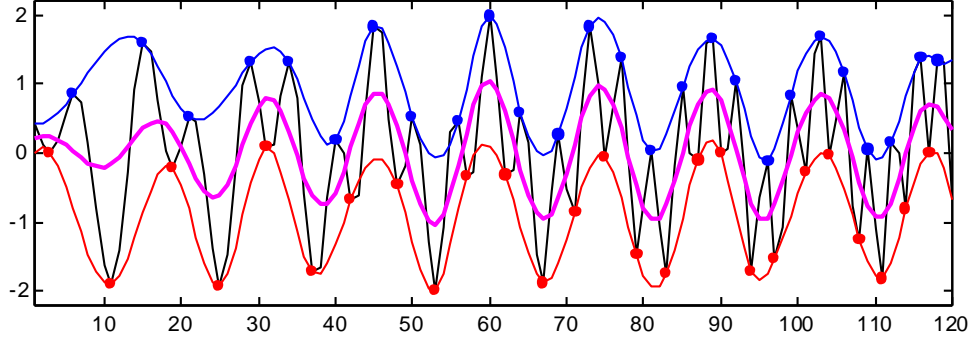
EMD tamamen veri yönlendirmeli (data driven) bir metod olup, analiz edilen sinyali doğasına uygun bir şekilde genlik-frekans modüllü bileşen setlerine ayrıştırmakta ve bu şekilde sinyal içerisindeki yerel salınımları başarılı bir şekilde tespit edebilmektedir. EMD ile sinyalin üst ve alt zarfları tespit edilerek, bu iki zarf arasında kalan ortalama sinyal ana sinyalden çıkartılır. Bu işlem, ana sinyal tek bileşenli olana kadar (sıfır geçişlerin pik sayısında eşit olması) yinelemeli olarak tekrar edilir. Elde edilen bu sıfır ortalamalı, genlik-frekans modüllü bileşenlere Yapısal Mod Fonksiyonu (Intrinsic Mode Function - IMF) adı verilmiştir (Huang et al. 1998). IMF'ler genellikle ana sinyalin karakteristikleri için fiziksel bir anlama sahiptirler (Huang and Shen, 2005). Önceden belirlenmiş sabit bir fonksiyon (pre-determined function) içermemesi ile bu yöntem diğer sinyal analiz yöntemlerinden ayrılmaktadır. EMD'de sinyal ayrıştırma işlemi şu şekilde ifade edilir:

$$x(t) = r(t) + \sum_{k=1}^K d_k(t) \quad (4.3)$$

Formülde $x(t)$: analiz edilen sinyal, K : ölçek sayısı, $dk(t)$ k'ncı ölçekteki (yinelemedeki) IMF, $r(t)$ eleme işlemi sonucunda geriye kalan artık (residue) sinyaldir. Bir EMD analizinde sırası ile aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır.

1. $x(t)$ sinyalindeki tüm yerel uç (en büyük ve en küçük) noktalar bulunarak işaretlenir.

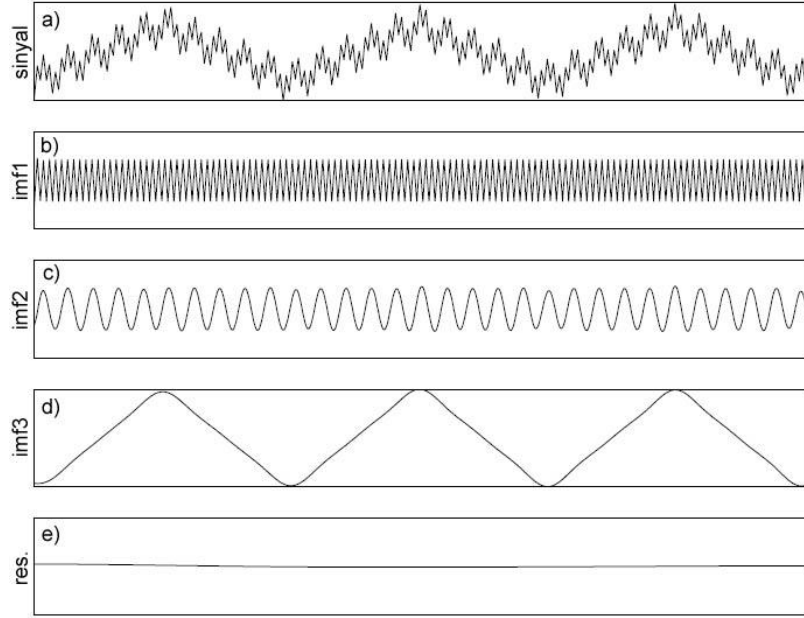
2. Bulunan üst ve alt uç noktalar ara değerler ile birleştirilerek bir üst zarf ($e_{max}(t)$) ve bir de alt zarf ($e_{min}(t)$) elde edilir.
3. Alt ve üst zarfların ortalaması alınarak ortalama sinyal $m(t)$ elde edilir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37: Bir sinyal (siyah çizgi) üzerinde yerel en büyük (mavi noktalar) ve yerel en küçük (turuncu noktalar) noktaların bulunarak işaretlenmesi, noktaların birleştirilerek üst zarf ($e_{max}(t)$, mavi çizgi) ve alt zarf ($e_{min}(t)$, turuncu çizgi) elde edilmesi ve bu zarfların ortalaması alınarak ortalama sinyalin ($m(t)$, pembe çizgi) elde edilmesi işlemi (Rilling, 2007).

4. Ortalama sinyal asıl sinyalden çıkartılarak detay sinyali ($d(t)$) elde edilir.
5. Elde edilen $d(t)$ sinyali IMF özelliklerini sağlayıncaya kadar ilk dört adım $d(t)$ sinyali üzerine uygulanmaya devam eder. Buna eleme (sifting) işlemi denir.
6. $d(t)$ sinyali IMF özelliklerini sağladığında yineleme durdurulur ve böylece ilk IMF elde edilmiş olur. Bir sonraki IMF'nin elde edilmesi için tüm adımlar $x(t)-d(t)$ sinyali üzerine tekrar uygulanır.

Yukarıda geçen işlemlerde sinyaldeki en sık salınım zamanda yerel olarak belirlenmekte, belirlenen salınım sinyalden çıkartılmakta, geriye kalan artık sinyal üzerinde işleme devam edilmektedir. İşlemler sonucunda elde edilen sinyalin gücü belirli bir eşiğin altında olunca yinelemeler durur. Bu durumda $K=\log_2 N$ (N sinyal nokta sayısı) olmak üzere K adet IMF sinyali elde edilir (Flandrin and Gonçelvers, 2004). Bir sinyalin EMD analizi sonucunda elde edilen IMF'ler incelendiğinde her birinin sinyalin değişik frekans bandlarına denk geldiği görülmektedir (Şekil 4.38).

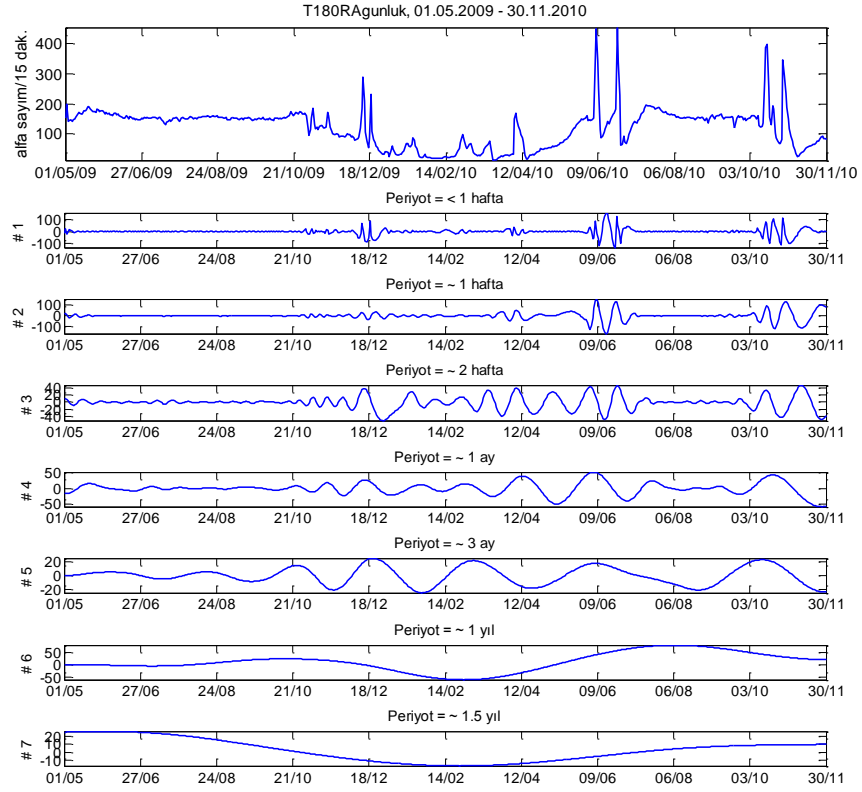


Şekil 4.38: Üç bileşenli bir sinyalin örnek EMD analizi. Analiz edilen ve lineer olmayan salınımlara (osilasyonlara) sahip sinyal (a), aslında ayrıştırılan 3 IMF sinyalin (b, c ve d) toplamından meydana gelmektedir. En altta yer alan grafikte (e) ise, ana sinyalden 1, 2 ve 3. IMF'in çıkartılmasından arta kalan (residue) sinyal görülmektedir (Rilling et al., 2003).

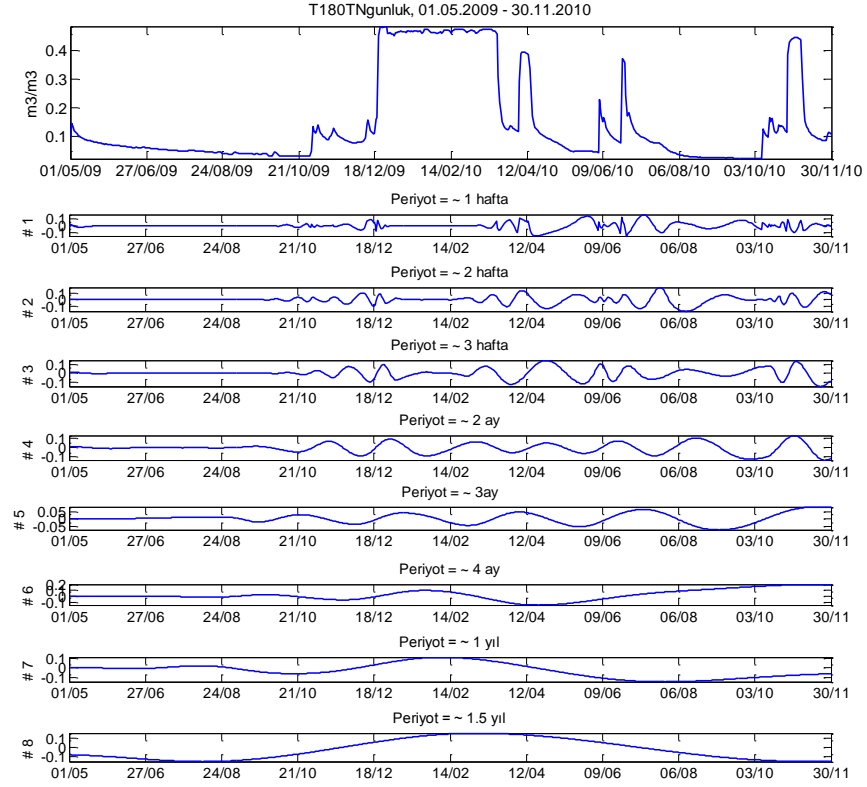
EMD yöntemi ile toprak radon gazı ve diğer parametrelere ait zaman serileri bileşenlerine ayrıştırılmış ve farklı veri setlerinin farklı bileşenleri arasında olası benzerlikler araştırılmıştır. EMD analizi için MATLAB adlı yazılım paketi ve hazır MATLAB kodları (Rilling, 2007, Baykut et al. 2009, Baykut et al. 2010) kullanılmıştır.

4.3.2.1. Gebze İstasyonları

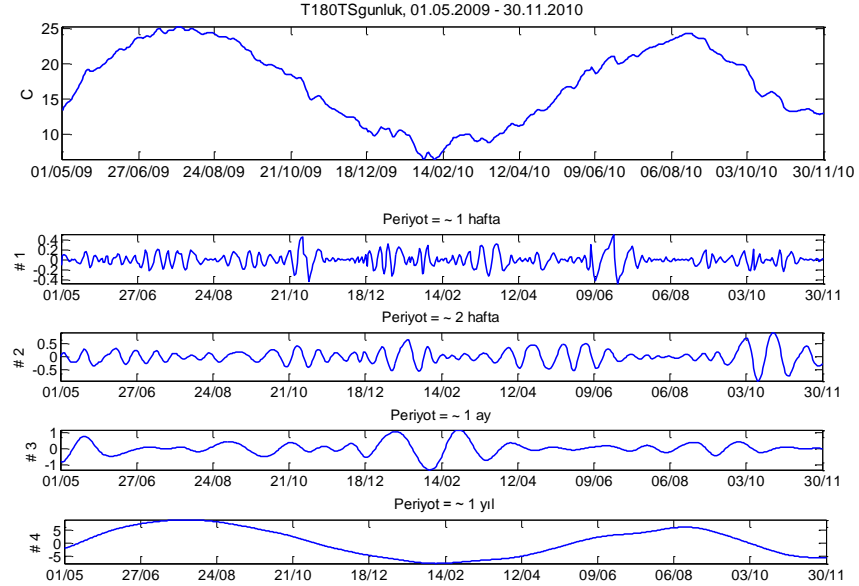
Gebze’de yer alan 4 adet istasyonda ölçülmüş parametrelere ait zaman serilerinin EMD analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde grafiksel olarak gösterilmiştir.



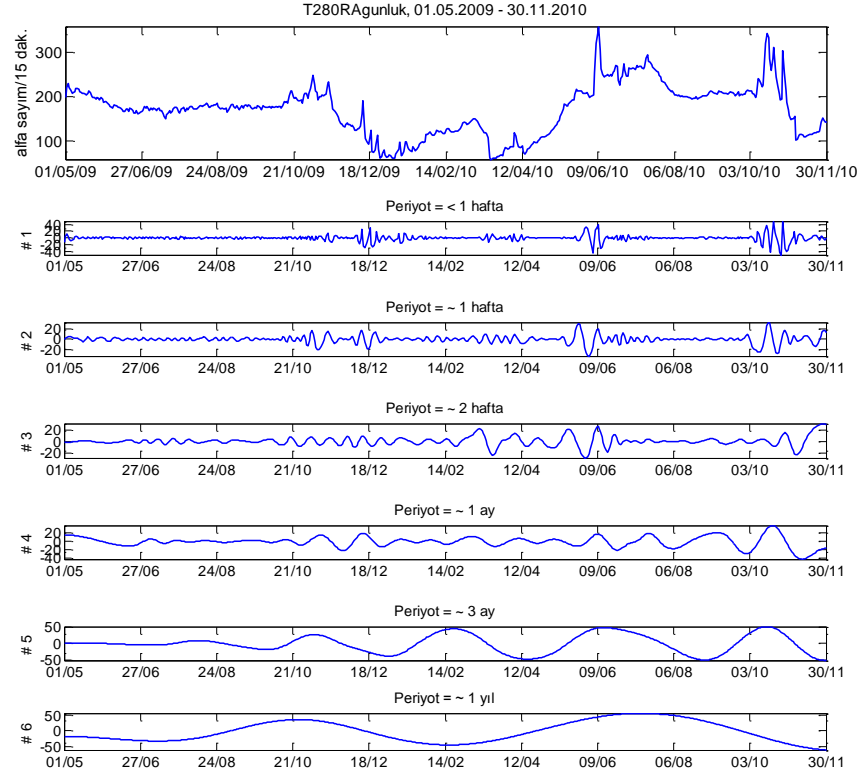
Şekil 4.39: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



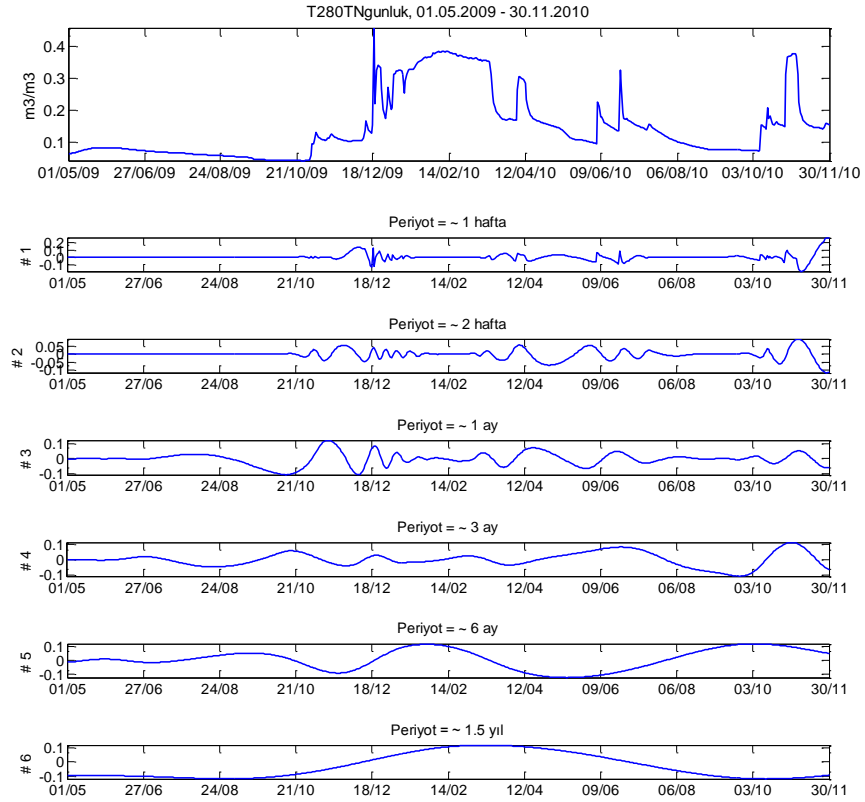
Şekil 4.40: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



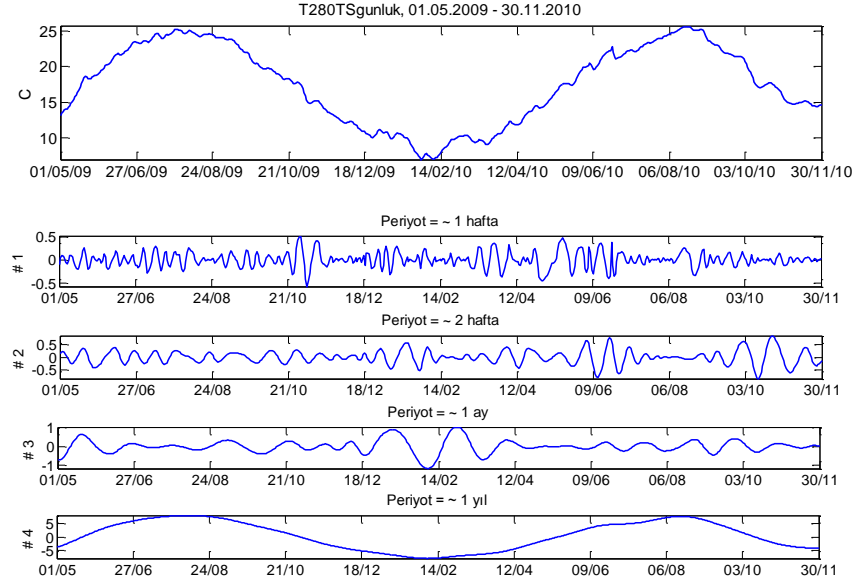
Şekil 4.41: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



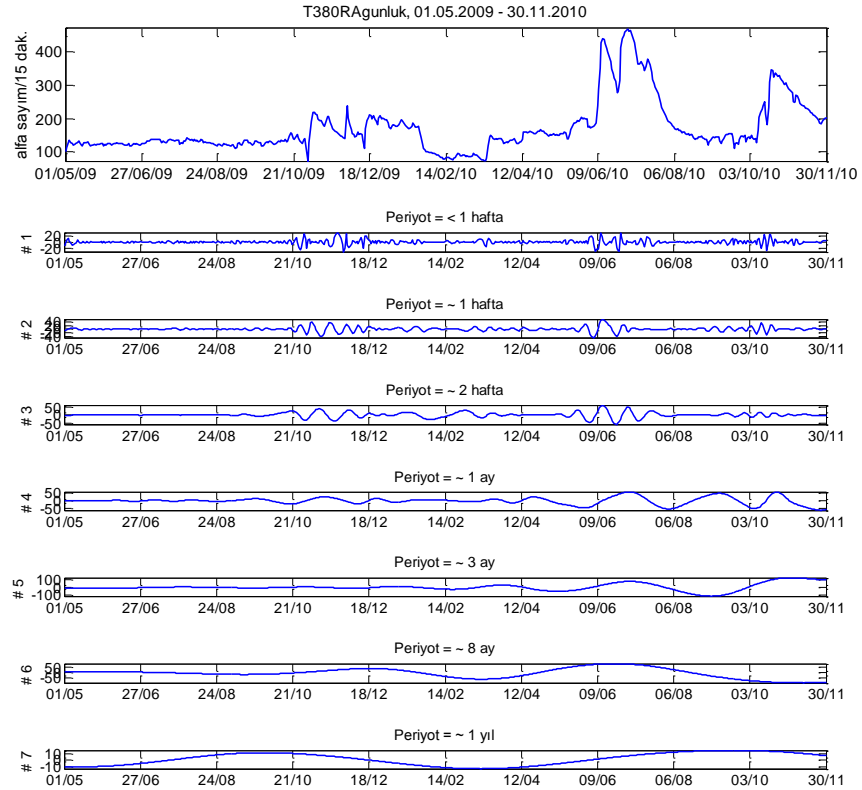
Şekil 4.42: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



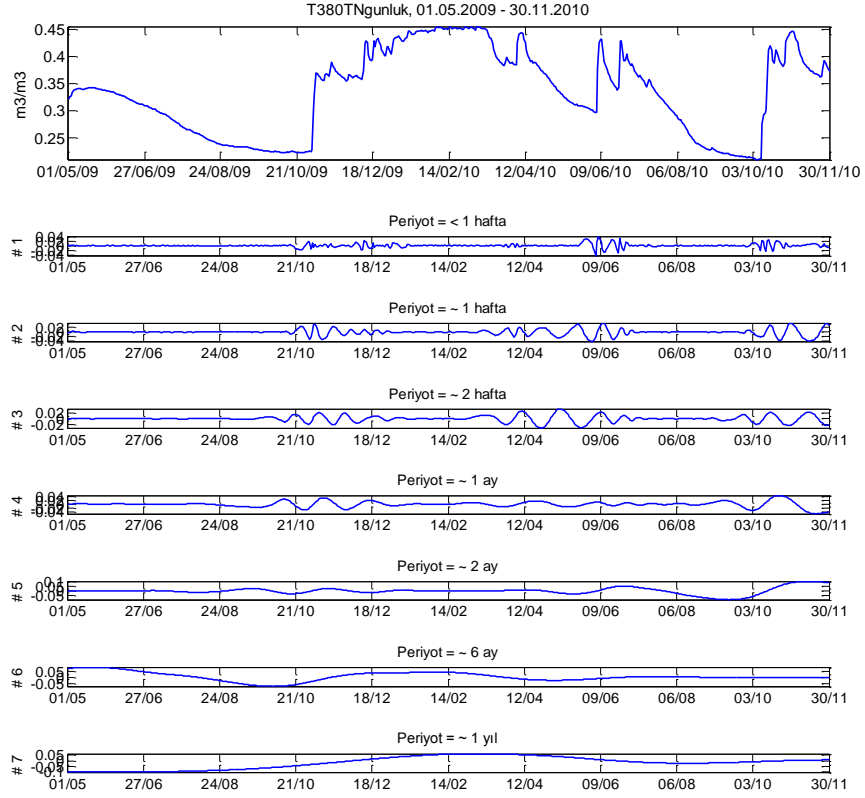
Şekil 4.43: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



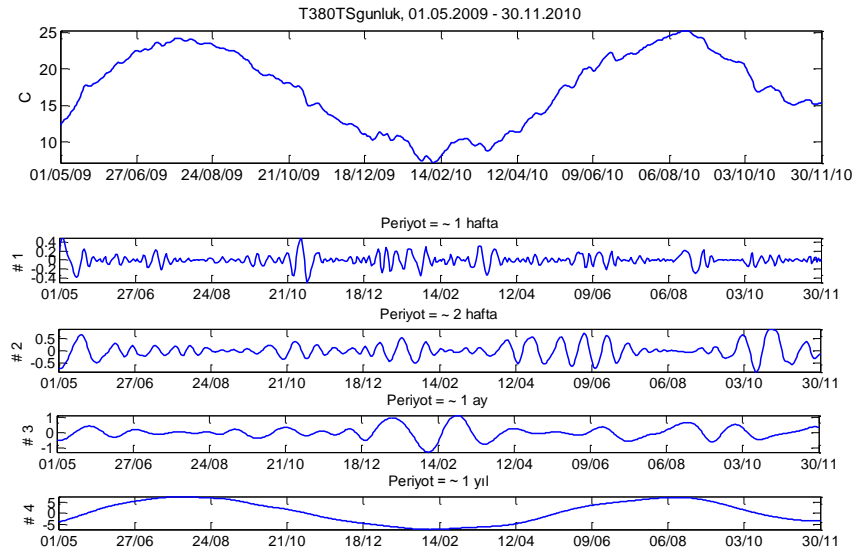
Şekil 4.44: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



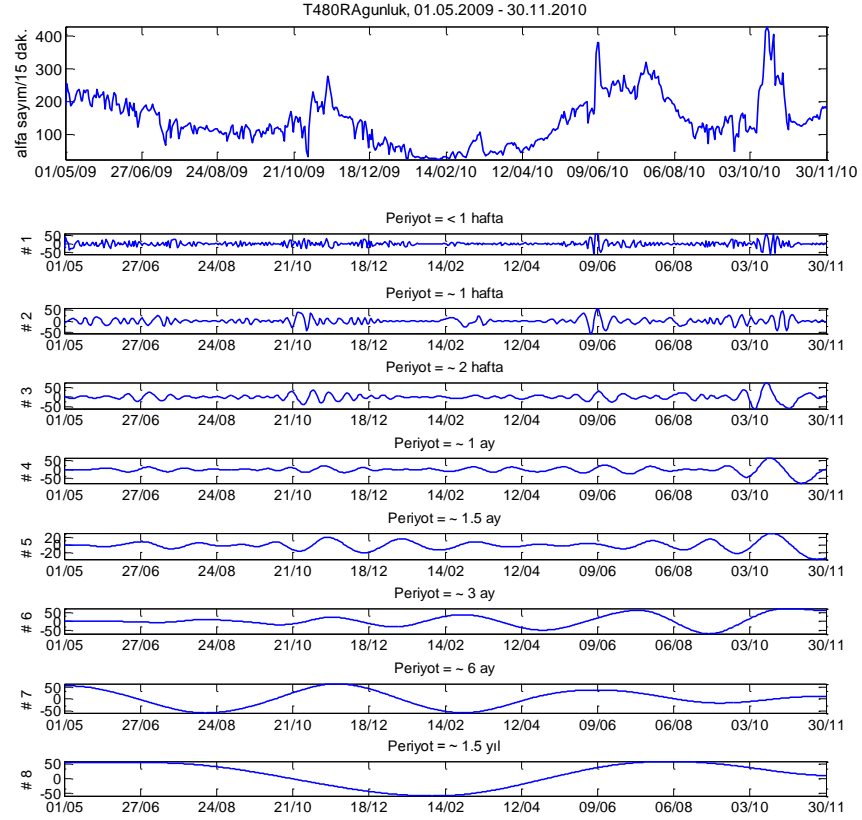
Şekil 4.45: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



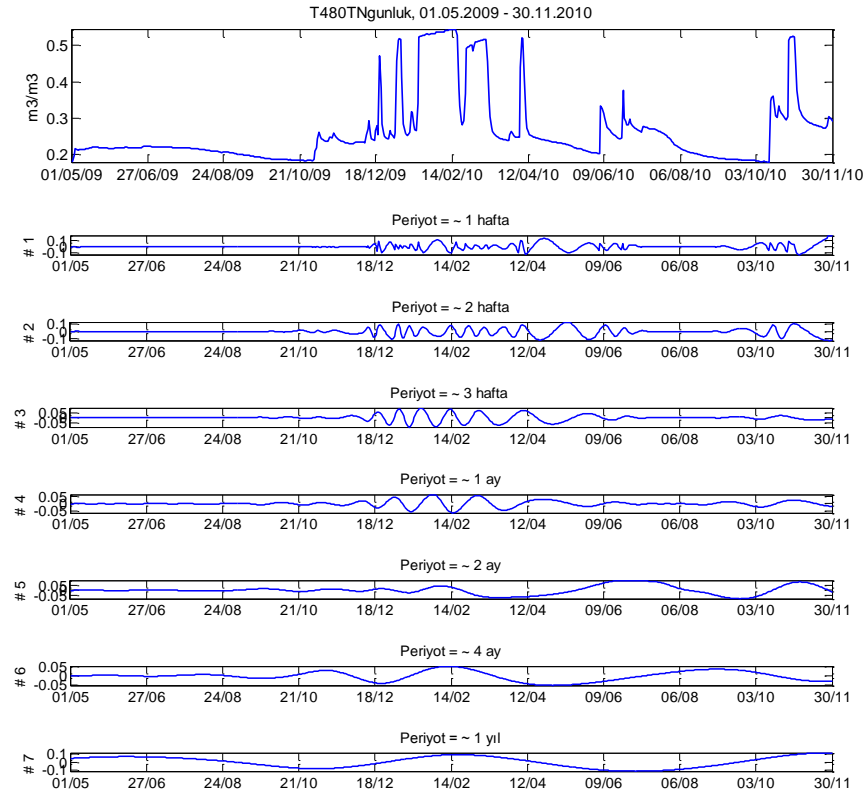
Şekil 4.46: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



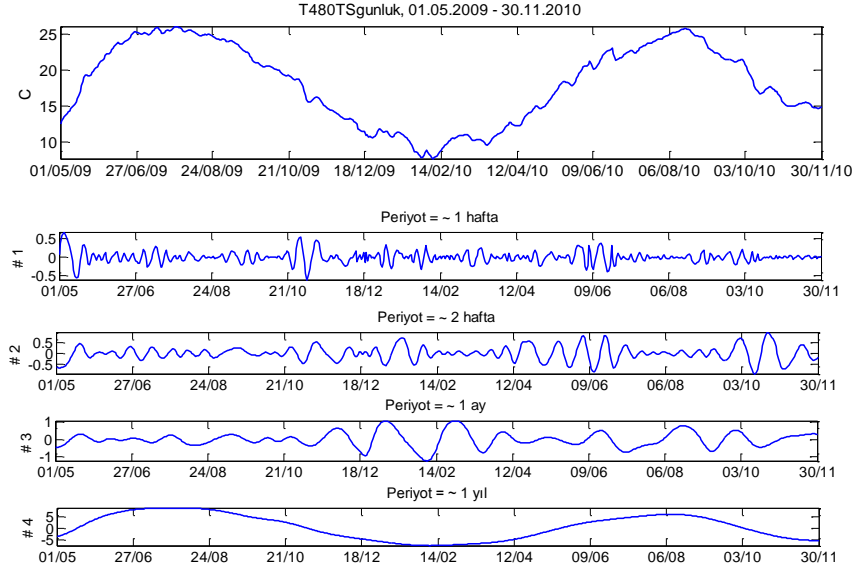
Şekil 4.47: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



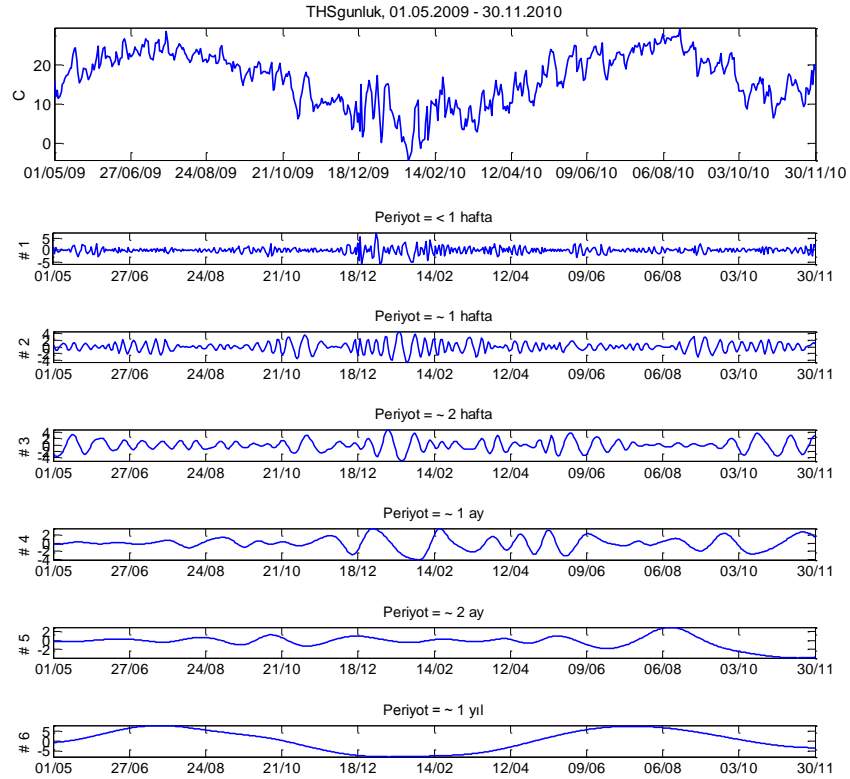
Şekil 4.48: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



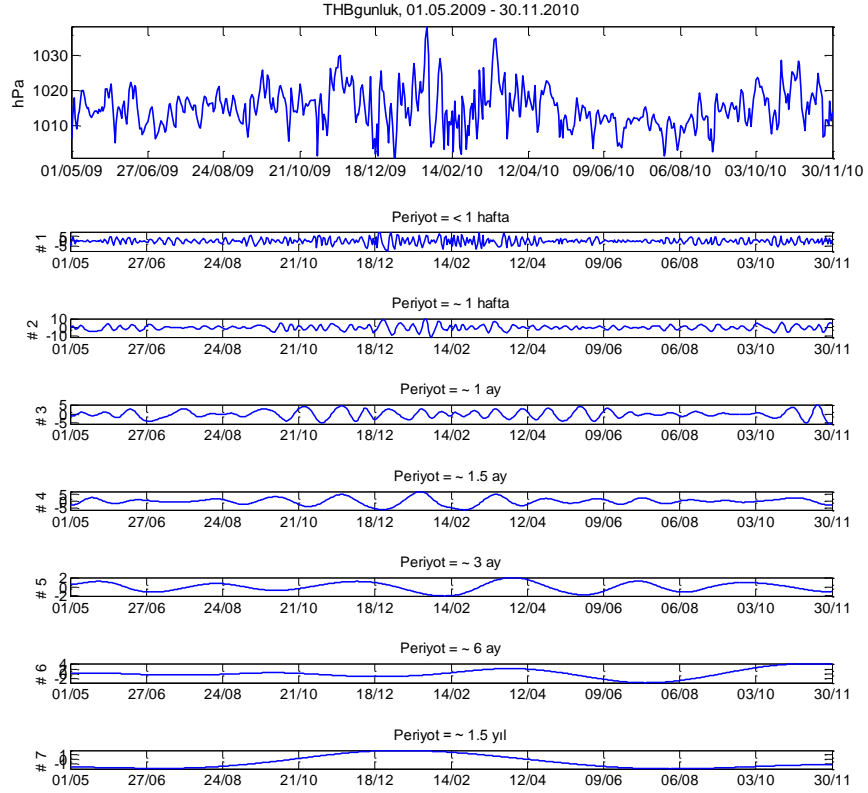
Şekil 4.49: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



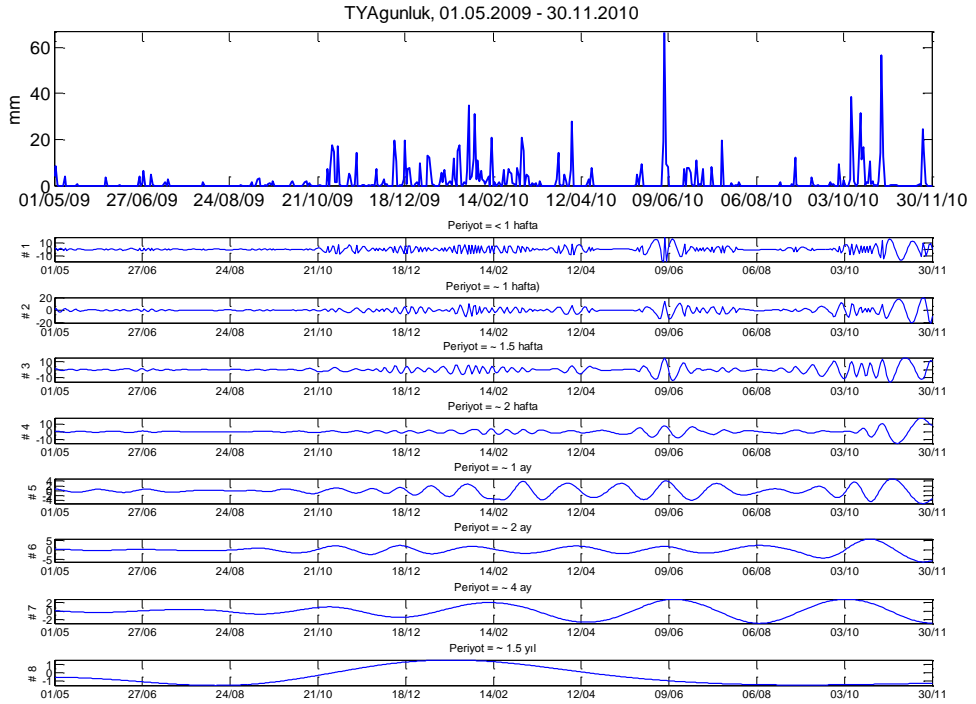
Şekil 4.50: Gebze "T4 80 cm" istasyonuna ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



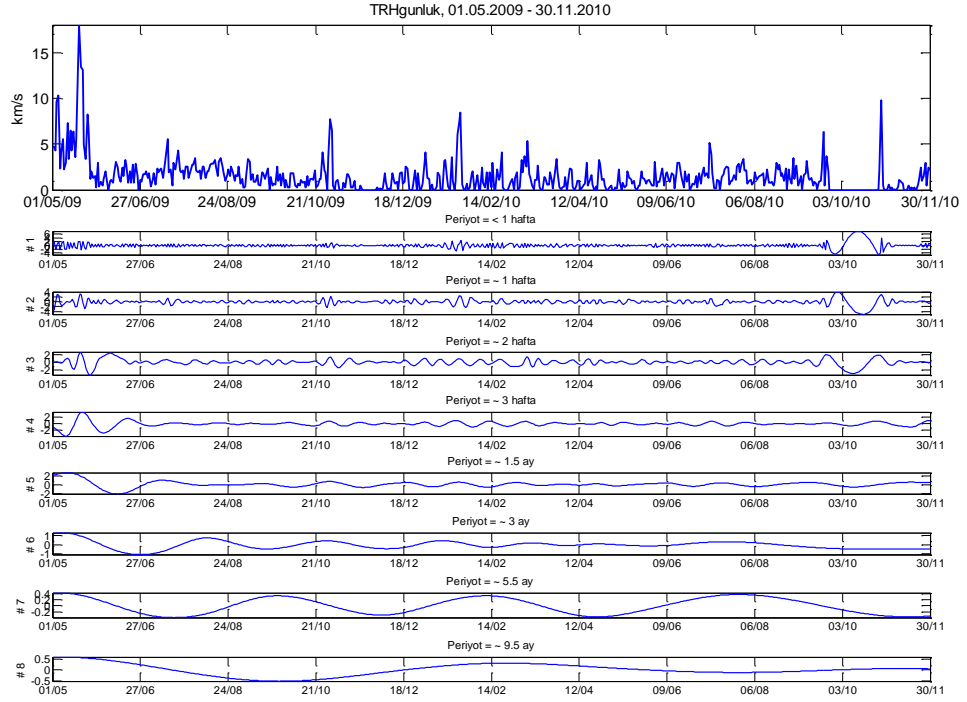
Şekil 4.51: Gebze istasyonlarına ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



Şekil 4.52: Gebze istasyonlarına ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

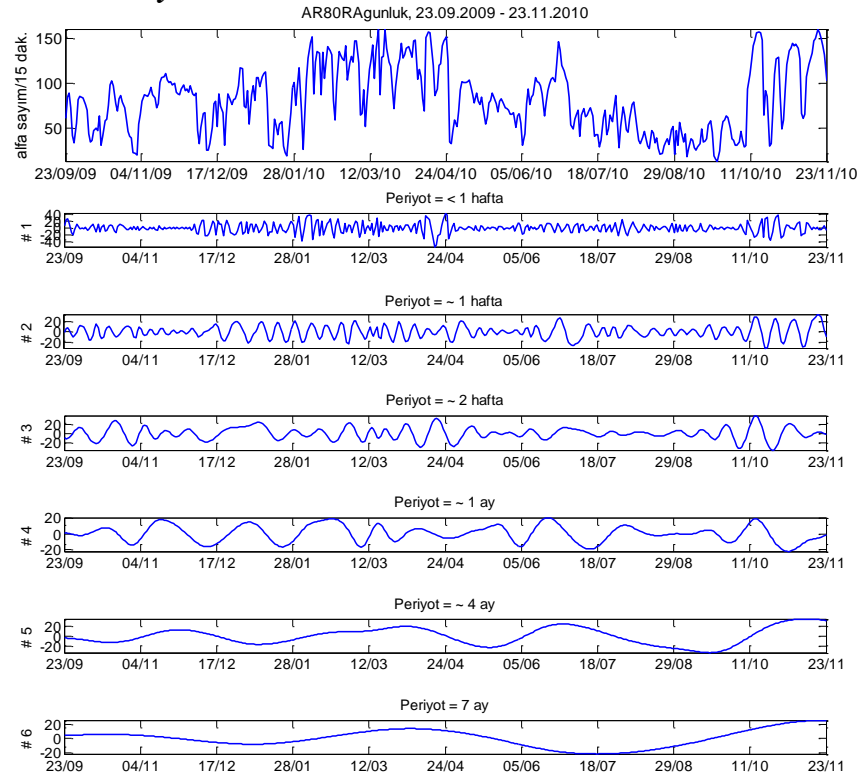


Şekil 4.53: Gebze istasyonlarına ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

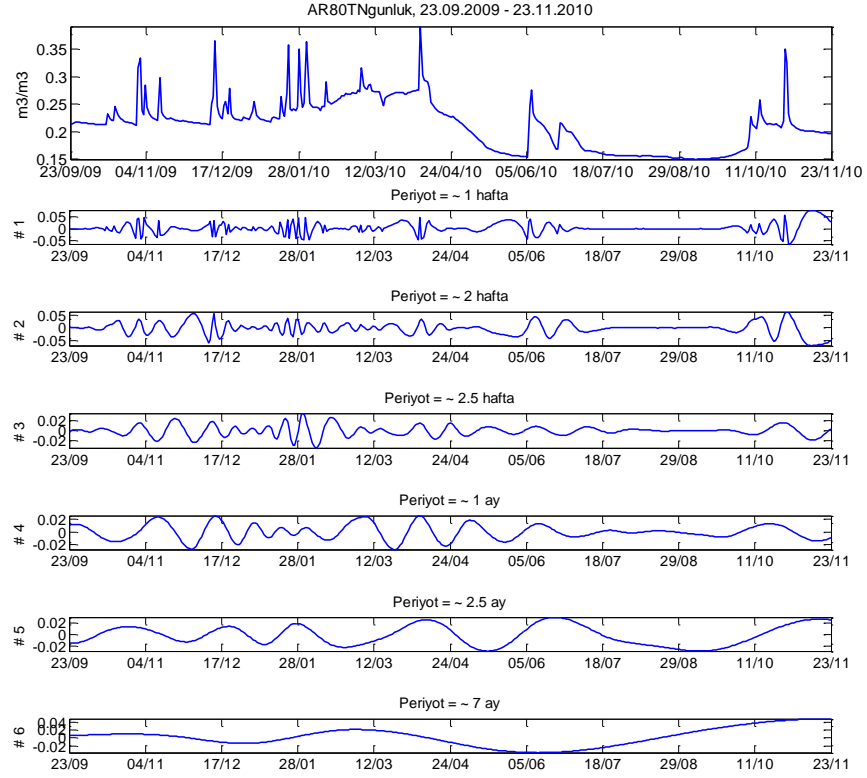


Şekil 4.54: Gebze istasyonlarına ait rüzgar hızı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

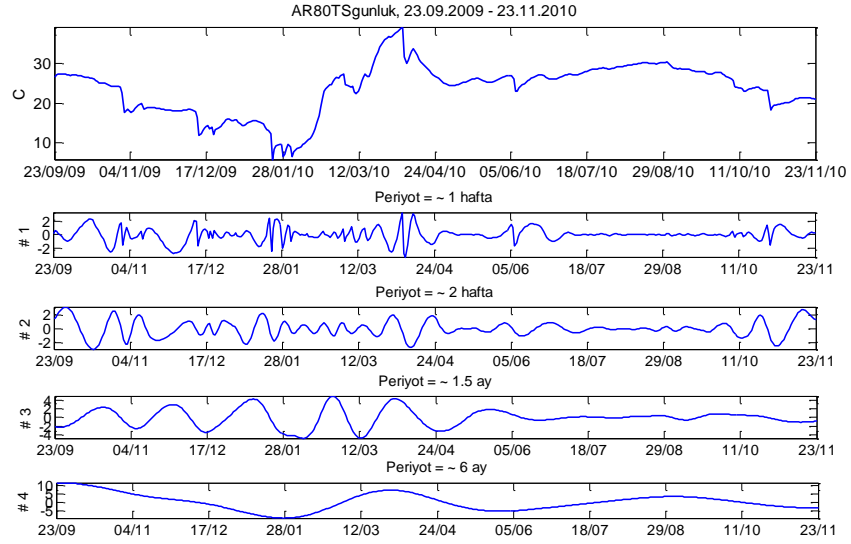
4.3.2.2. Armutlu İstasyonu



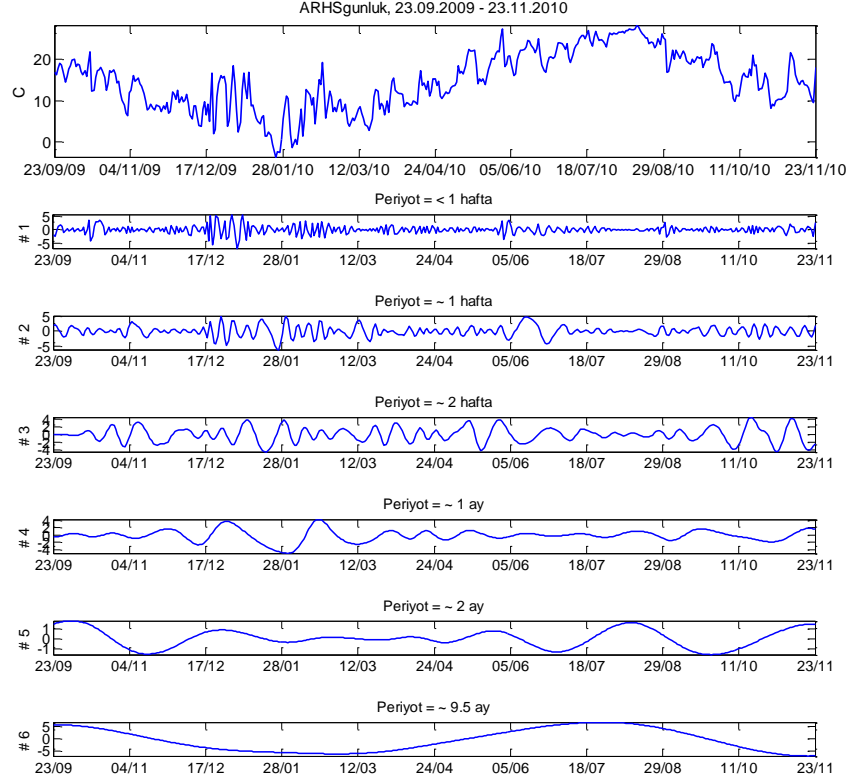
Şekil 4.55: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



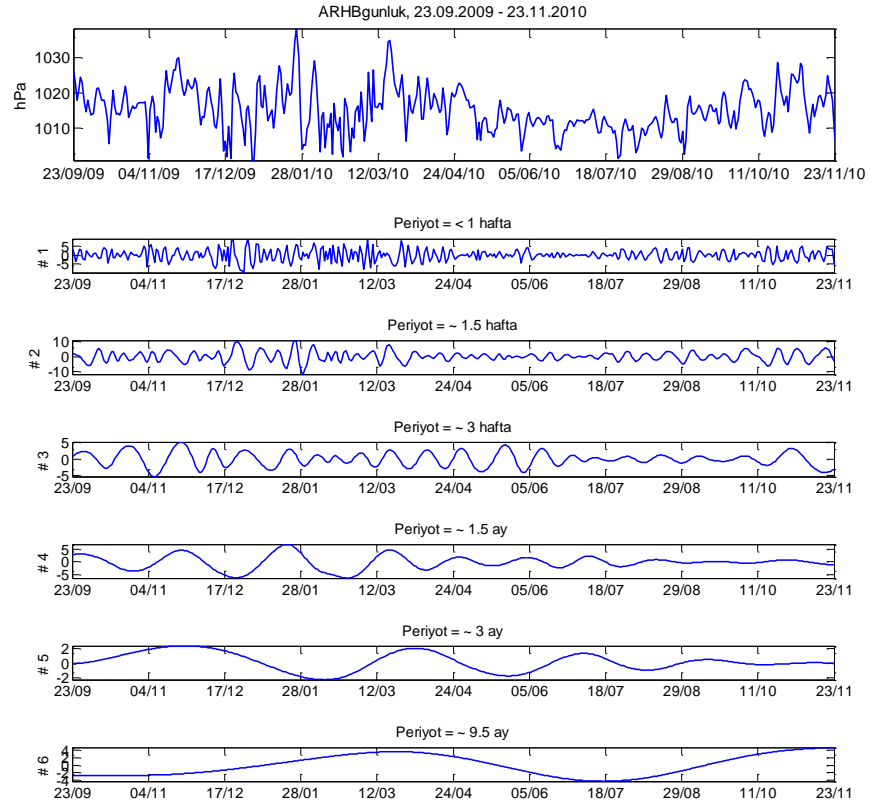
Şekil 4.56: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



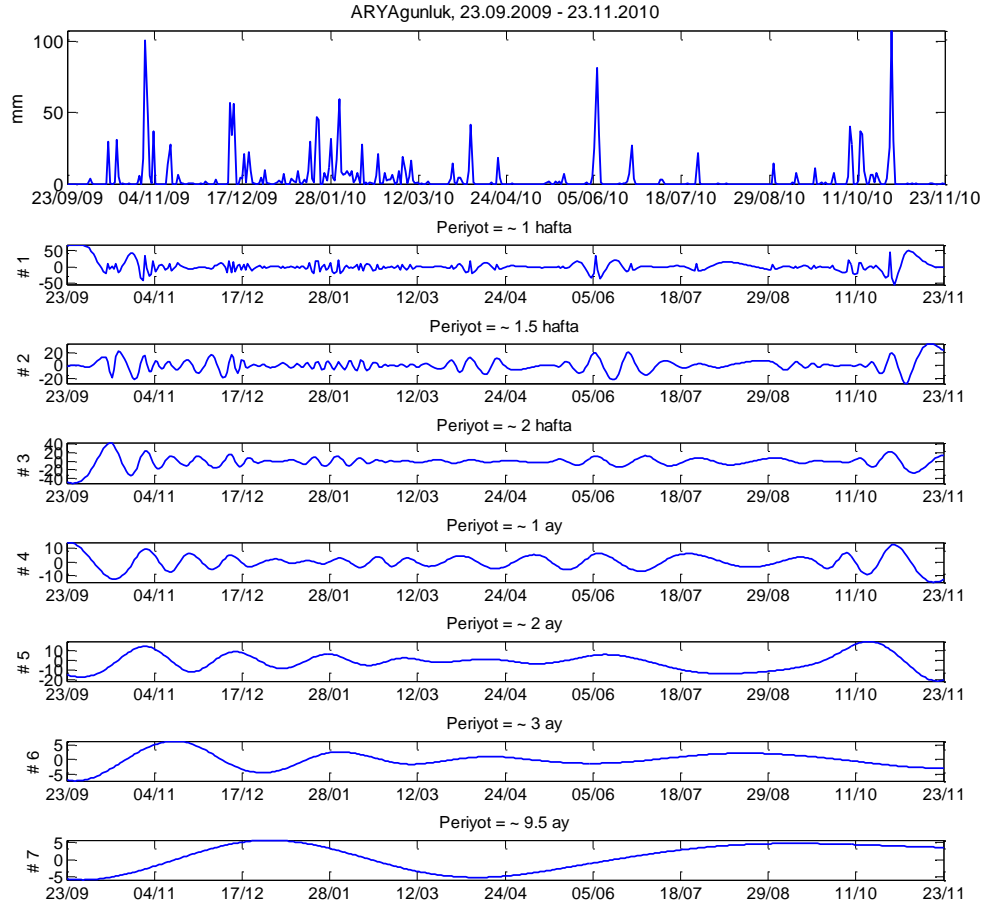
Şekil 4.57: Armutlu istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



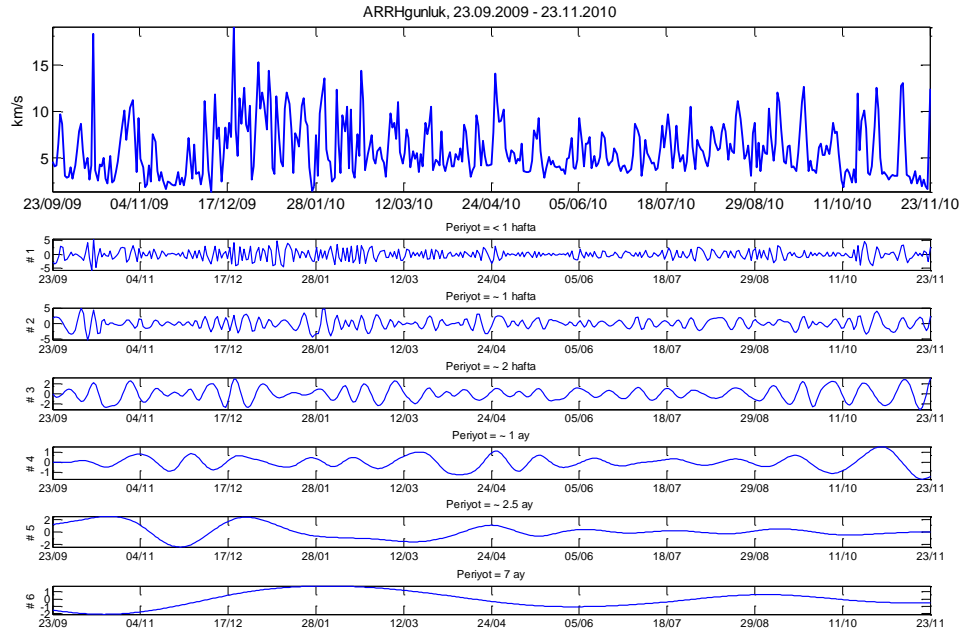
Şekil 4.58: Armutlu istasyonuna ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



Şekil 4.59: Armutlu istasyonuna ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

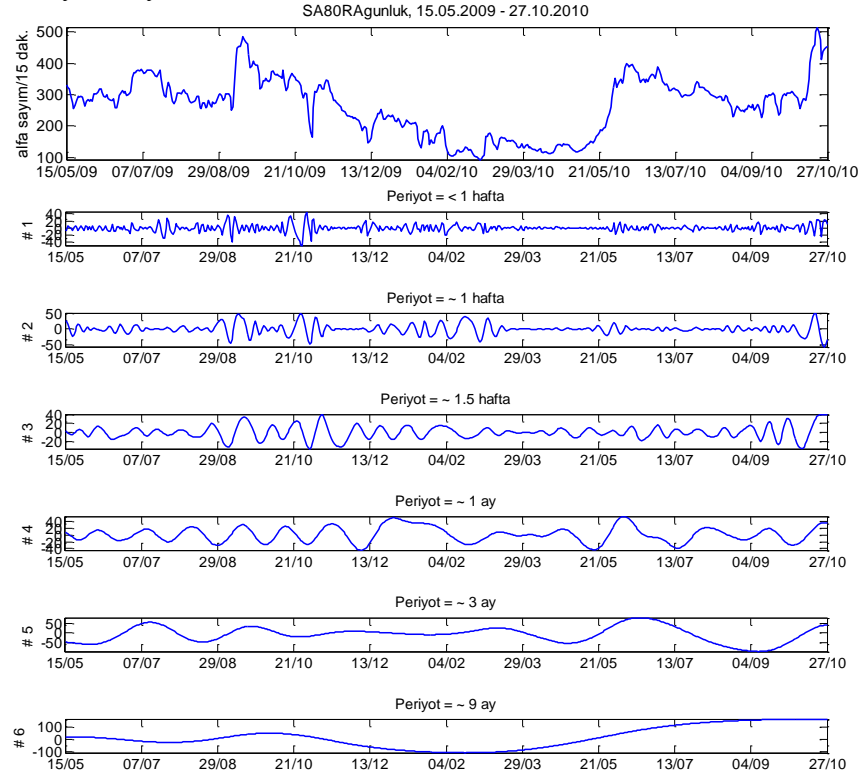


Şekil 4.60: Armutlu istasyonuna ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

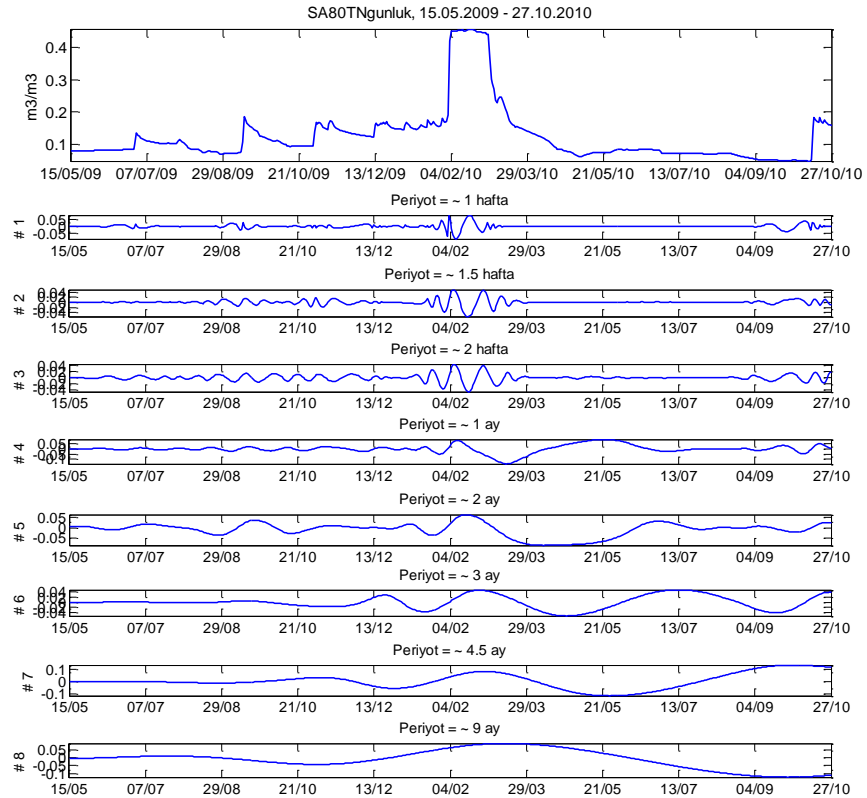


Şekil 4.61: Armutlu istasyonuna ait rüzgar hızı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

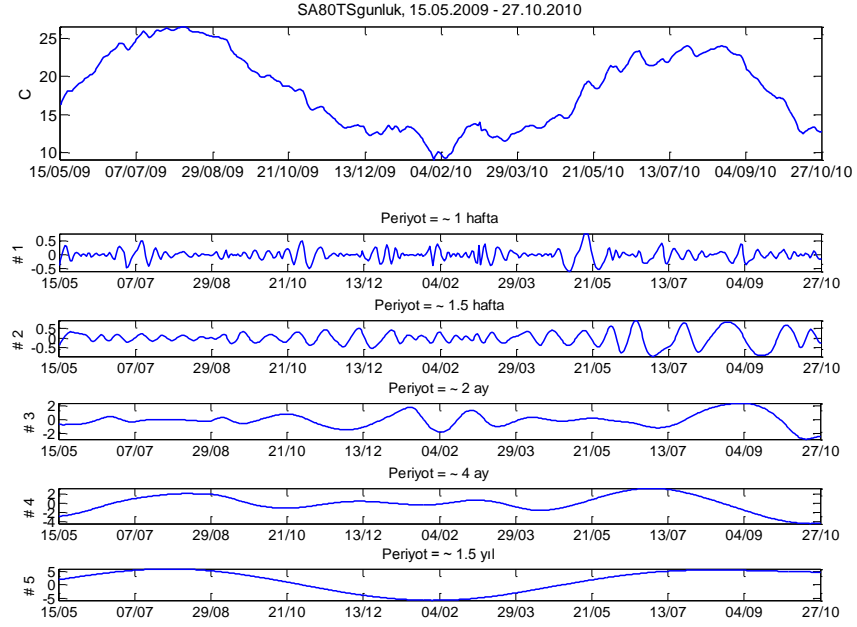
4.3.2.3. Sarıköy İstasyonu



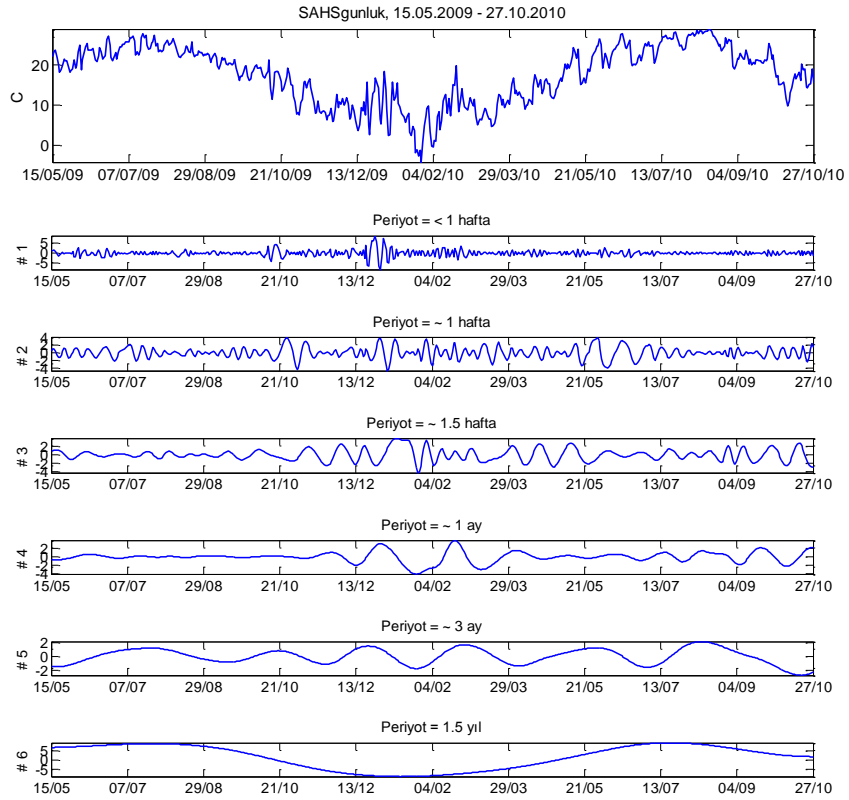
Şekil 4.62: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait radon gazı zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



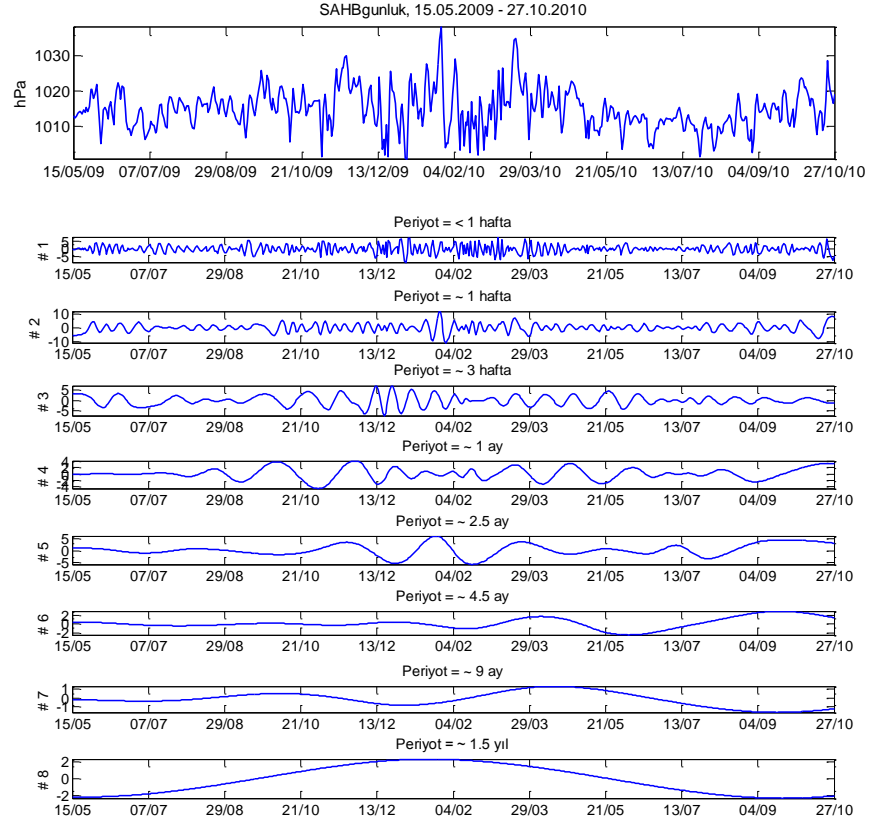
Şekil 4.63: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak nem zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



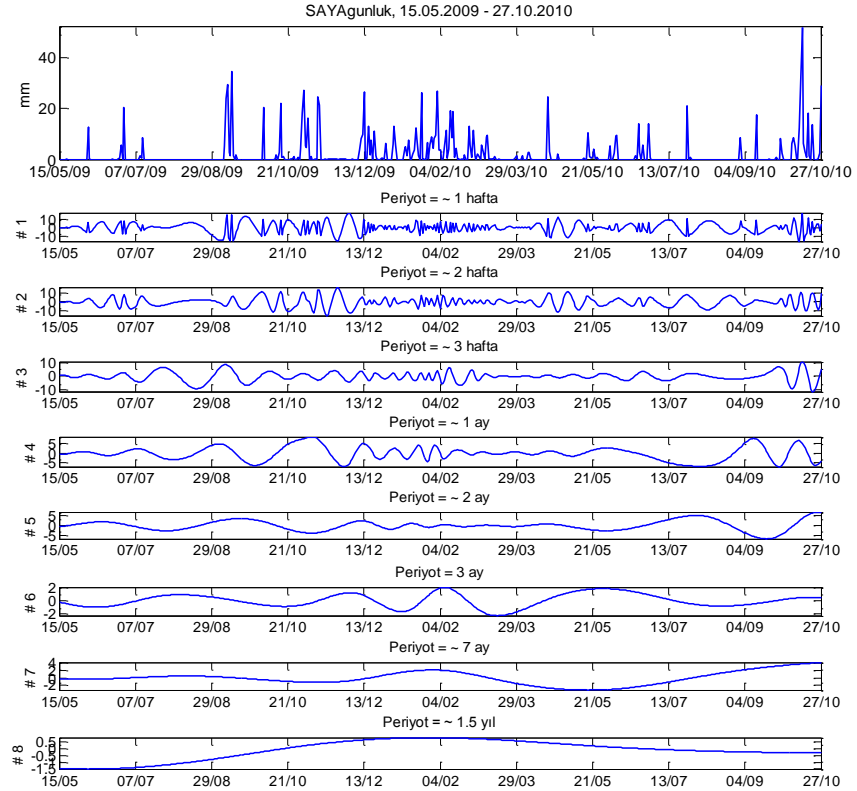
Şekil 4.64: Sarıköy istasyonu 80 cm derinliğine ait toprak sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



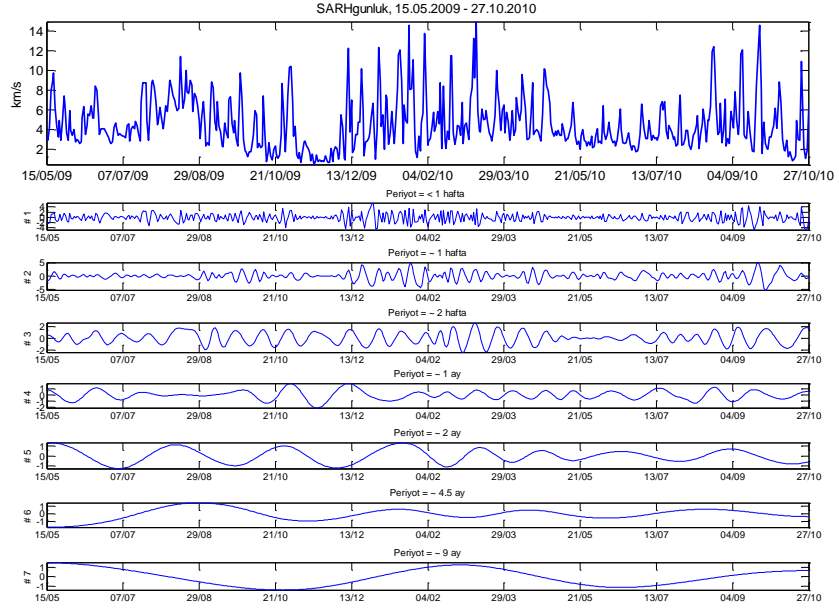
Şekil 4.65: Sarıköy istasyonuna ait hava sıcaklık zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



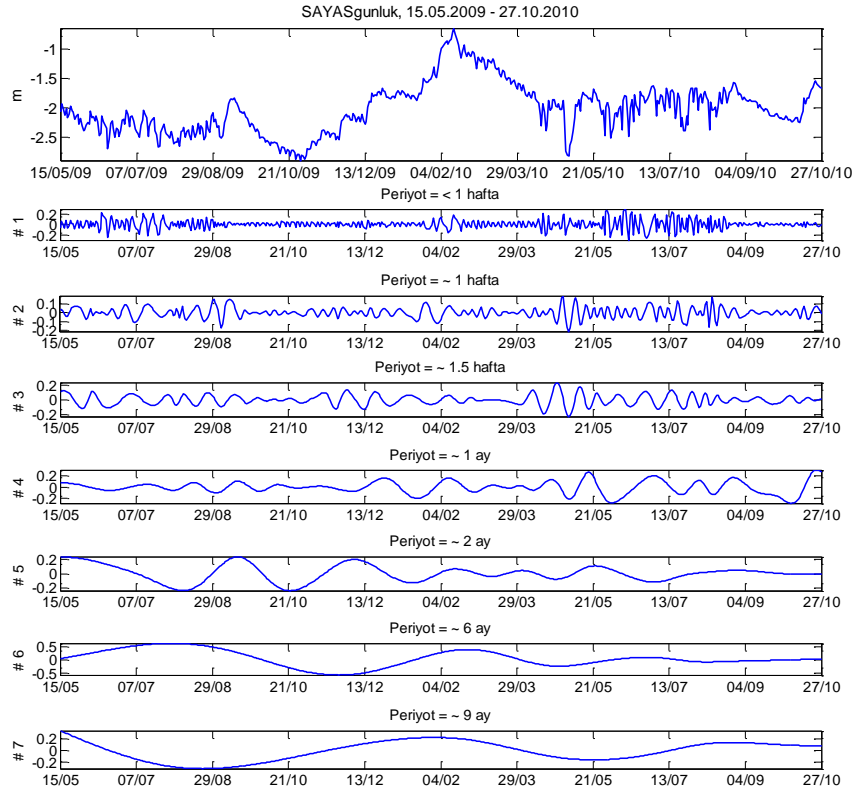
Şekil 4.66: Sarıköy istasyonuna ait hava basınç zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



Şekil 4.67: Sarıköy istasyonuna ait yağış zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).



Şekil 4.68: Sarıköy istasyonuna ait rüzgar hız zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

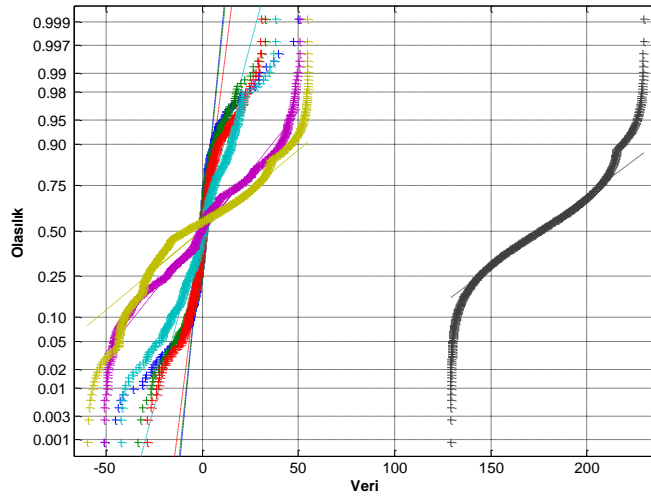


Şekil 4.69: Sarıköy istasyonuna ait YAS zaman serisi (en üstte) ve IMF bileşenleri (# ile numaralandırılmış).

4.3.2.4. EMD Analizi Neticesinde Elde Edilen IMF Bileşenleri Arasındaki Korelasyon Hesaplamaları

EMD analizi sonucunda zaman serilerinden elde edilen, farklı frekansları temsil eden IMF bileşenleri arasındaki olası ilişkileri ortaya çıkarmak üzere bileşenler arasında korelasyon analizi uygulanmıştır. Korelasyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Korelasyon analizi denildiğinde genelde “Pearson Çarpım Moment Korelasyon Katsayısı” (Pearson product-moment correlation coefficient) anlaşılmakta ve kullanılmaktadır. Ne var ki, Pearson korelasyonu değişkenlerin normal (Gauss) dağılıma sahip olmalarını şart koşar. Bu açıdan, korelasyon analizi yapmadan önce, veri setlerinin normal dağılım şartını sağlayıp sağlamadıkları mutlaka kontrol edilmelidir.

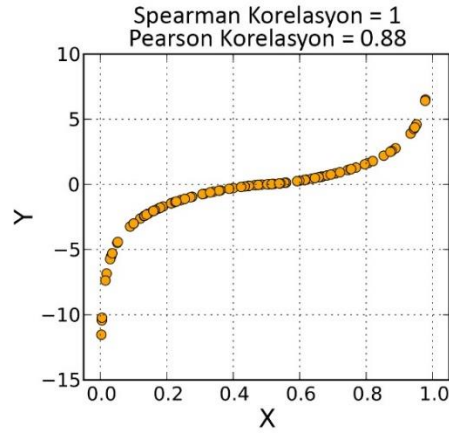
Normal dağılım şartını kontrol etmek için kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesi Normal Olasılık Grafiği’dir (Normal Probability Plot). Bu grafiklerde, veri seti içindeki her bir değer, normal dağılım olasılığı karşılığında çizdirilir. Veri içindeki yüzde 25’inci ve yüzde 75’inci kesimler düz bir çizgi ile birleştirilir ve kesikli çizgiler ile verinin sonuna kadar uzatılır. Tüm veri noktalarının bu düz çizgi üzerinde yer almaları verinin normal dağılıma sahip olduğunu, düz çizgiden eğri yaparak ayrılmaları ise verinin normal dağılıma sahip olmadığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.70: Gebze T-2 (80cm) istasyonuna ait toprak radon verilerinin IMF bileşenlerine ait normal olasılık grafiği. Her bileşen farklı renkte (+) simgeleri ile çizdirilmiştir.

Pearson korelasyonu kullanabilmek için değişkenlerin her ikisinin de normal dağılıma sahip olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında korelasyon analizine tabi tutulacak

verilerden biri olan, Gebze T-2 istasyonunda 80 cm derinliğinde kaydedilen toprak radon gazı verilerine ait IMF bileşenlerinin normal olasılık grafiği çizdirildiğinde (Şekil 4.70) normal dağılıma sahip olmadıkları açıkça görülmektedir. Bu durum Pearson korelasyonunun normal dağılım şartını karşılamamaktadır. Bu nedenle, değişkenlerin dağılımı hakkında hiçbir varsayım yapmayan “Spearman Sıralamalı Korelasyon Katsayısı” (Spearman’s Rank Correlation Coefficient) kullanılmıştır. Bu korelasyon hesaplama yöntemi Pearson gibi sadece doğrusal değil, doğrusal olmayan ilişkiler hakkında da doğru bir şekilde bilgi verebilmektedir (Şekil 4.71).



Şekil 4.71: Linner ilişki göstermeyen iki bağımlı değişken arasında hesaplanan Spearman ve Pearson korelasyon katsayıları.

İki değişken (X, Y) arasında Spearman Korelasyonu hesaplanabilmesi için önce bu değişkenlere ait veriler sıralama düzenine sokulur (ranking). Bunun için, veri seti içindeki en küçük değer “1”, en büyük değer ise gözlem sayısı olan “n” ile numaralandırılır. Veri setinde tekrar eden değerlerin olması halinde, bu değerlere normalde yer almaları gereken sıra numarası ile bir sonraki sıra numarasının ortalama değeri verilir. Tablo 4.3’de sıralama tekniği bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Spearman korelasyon katsayısı (r_s), iki farklı formül ile hesaplanabilmektedir. Özellikle bu çalışmada kullanılan veri setlerinde olduğu gibi, sıra düzenine sokulmuş veriler arasında tekrar eden değerlerin olması halinde, sıralanmış değerler arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı hesaplanarak bulunur (Myers and Well, 2003). Başka bir ifade ile, sıralama düzenine sokulmuş iki değişken arasındaki kovaryanslarının, aynı değişkenler arasındaki standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle hesaplanır (4.4).

Tablo 4.3: Veri sıralama (ranking) düzeni örneği.

Veri 1 (X)	Veri 2 (Y)	Sıra 1 (x)	Sıra 2 (y)
30	0.27	9	4
15	0.25	3	2
40	0.45	10	10
16	0.35	4	7
22	0.30	6.5	5
20	0.42	5	9
25	0.40	8	8
9	0.22	1	1
11	0.26	2	3
22	0.32	6.5	6

$$r_s = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.4)$$

Hesaplanan korelasyon değeri iki değişken arasındaki uyumun yönü ve gücü hakkında bilgi verir ve -1 ile +1 arasında bir değer alır. Artı değerler pozitif, eksi değerler ise negatif ilişkiyi temsil eder. Katsayı değeri ± 1 uçlarına doğru yaklaştıkça ilişki güçlenir, uzaklaştıkça zayıflar. Bununla birlikte, iki değişken arasında elde edilecek +1'lik bir korelasyon değeri, bir değişkendeki bir birimlik artışın diğer değişkende de bir birimlik artış anlamına gelmeyeceği unutulmamalıdır. Aynı şekilde iki değişken arasında korelasyon tespit edilmiş olması neden-sonuç açısından bir anlam ifade taşımamaktadır. Örneğin, bir sahil şehrinde yıl boyunca gerçekleşen aylık dondurma satışları ile denizde boğulma sayıları analiz edildiğinde pozitif korelasyon elde edilecektir. Ancak pozitif korelasyon elde edilmesi, fazla dondurma yemenin boğulmalara sebep olacağı veya boğulan insan sayısı artmasının dondurma satışlarını da arttıracacağı anlamına gelmez. Her iki parametre de mevsim değişimine bağlı olarak aynı şekilde etkilenmektedir. Bu tür durumlara sahte korelasyon adı verilmektedir⁸.

Farklı veri setleri üzerinde EMD analizi ile elde edilen IMF bileşenleri arasında korelasyon analizi kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.4 ve Tablo 4.9 arasında yer almaktadır.

⁸ <http://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon>

Tablo 4.4: Test Sahası T-1 80 cm (kum) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.

		T1 80 Radon						
		IMF-1	IMF-2	IMF-3	IMF-4	IMF-5	IMF-6	IMF-7
		(<1 hafta)	(~ 1 hafta)	(~ 2 hafta)	(~ 1 ay)	(~ 3 ay)	(~ 1 yıl)	(~ 1.5 yıl)
T1 80 Toprak Nemi	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
	IMF-2 (~ 2 hafta)	-0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	-0.1	0.0
	IMF-3 (~ 3 hafta)	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 2 ay)	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0
	IMF-5 (~ 3 ay)	0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
	IMF-6 (~ 4 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.4	0.2
	IMF-7 (~ 1 yıl)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.9	-0.3
	IMF-8 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.9
T1 80 Toprak Sıcaklığı	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 2 hafta)	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	-0.1
	IMF-4 (~ 1 yıl)	0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.5	0.7
Hava Sıcaklığı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.1	-0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.1	0.0	-0.2	-0.3	-0.1	0.1	0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
	IMF-6 (~ 1 yıl)	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.6
Hava Basıncı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1 ay)	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1.5 ay)	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	0.1
	IMF-5 (~ 3 ay)	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1
	IMF-6 (~ 6 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.3	0.1
	IMF-7 (~ 1.5 yıl)	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	-0.6	-0.7
Yağış	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 2 hafta)	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-5 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-6 (~ 2 ay)	-0.1	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0
	IMF-7 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0
	IMF-8 (~ 1.5 yıl)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	-0.7
Rüzgar Hızı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1
	IMF-4 (~ 3 hafta)	0.0	0.1	-0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1
	IMF-5 (~ 1.5 ay)	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1
	IMF-6 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2
	IMF-7 (~ 5.5 ay)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	-0.1
	IMF-8 (~ 9.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.6	-0.1

Tablo 4.6: Test Sahası T-3 80 cm (silt) istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. +0.3'den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 'i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.

		T3 80 Radon						
		IMF-1	IMF-2	IMF-3	IMF-4	IMF-5	IMF-6	IMF-7
		(<1 hafta)	(~ 1 hafta)	(~ 2 hafta)	(~ 1 ay)	(~ 3 ay)	(~ 8 ay)	(~ 1 yıl)
T3 80 Toprak Nemi	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.2	0.3	-0.1	0.1	-0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	-0.1
	IMF-6 (~ 6 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.2	-0.5
	IMF-7 (~ 1 yıl)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	-0.3
T3 80 Toprak Sıcaklığı	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 2 hafta)	0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.2	-0.4	-0.1	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.6
Hava Sıcaklığı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.0	0.1	0.0
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.0	0.1	-0.3	-0.5	0.3	-0.2
	IMF-6 (~ 1 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5
Hava Basıncı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1 ay)	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
	IMF-5 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0
	IMF-6 (~ 6 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.8	-0.1
	IMF-7 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.4
Yağış	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 2 hafta)	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.0
	IMF-5 (~ 1 ay)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
	IMF-6 (~ 2 ay)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
	IMF-7 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
	IMF-8 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2	-0.7
Rüzgar Hızı	IMF-1 (<1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
	IMF-4 (~ 3 hafta)	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-5 (~ 1.5 ay)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	-0.1	0.0
	IMF-6 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	-0.2
	IMF-7 (~ 5.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.0
	IMF-8 (~ 9.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.7

Tablo 4.8: Armutlu istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3’den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 ’i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.

		AR 80 Radon					
		IMF-1	IMF-2	IMF-3	IMF-4	IMF-5	IMF-6
		(< 1 hafta)	(~ 1 hafta)	(~ 2 hafta)	(~ 1 ay)	(~ 4 ay)	(~ 7 ay)
AR 80 Toprak Nemi	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.1
	IMF-2 (~ 2 hafta)	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	-0.1
	IMF-3 (~ 2.5 hafta)	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
	IMF-5 (~ 2.5 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.7	0.2
	IMF-6 (~ 7 ay)	0.0	0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.7
AR 80 Toprak Sıcaklığı	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 2 hafta)	0.0	0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1.5 ay)	0.0	0.0	0.1	0.2	-0.2	0.0
	IMF-4 (~ 6 ay)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.3
Hava Sıcaklığı	IMF-1 (< 1 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.2	0.3	-0.1	-0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0
	IMF-6 (~ 9.5 ay)	0.0	-0.1	0.0	0.1	-0.3	-0.6
Hava Basıncı	IMF-1 (< 1 hafta)	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1.5 hafta)	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 3 hafta)	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1.5 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
	IMF-5 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.3	0.1
	IMF-6 (~ 9.5 ay)	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.2	0.8
Yağış	IMF-1 (~ 1 hafta)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1.5 hafta)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	-0.2	-0.2	0.0	-0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.1	0.2
	IMF-6 (~ 3 ay)	0.0	-0.1	-0.1	0.1	-0.2	-0.3
	IMF-7 (~ 9.5 ay)	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.3	-0.4
Rüzgar Hızı	IMF-1 (< 1 hafta)	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.1	-0.3	-0.5	-0.1	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1
	IMF-5 (~ 2.5 ay)	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.4	-0.2
	IMF-6 (~ 7 ay)	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.1

Tablo 4.9: Sarıköy istasyonuna ait verilerin IMF bileşenleri arasındaki korelasyon katsayıları. 0.3’den büyük pozitif korelasyonlar mavi renkli, negatif korelasyonlar kırmızı renkli, ± 0.50 ’i geçenler ise kalın fontla yazılmıştır.

		SA 80 Radon					
		IMF-1	IMF-2	IMF-3	IMF-4	IMF-5	IMF-6
		(< 1 hafta)	(~ 1 hafta)	(~ 1.5 hafta)	(~ 1 ay)	(~ 3 ay)	(~ 9 ay)
SA80 Toprak Nemi	IMF-1 (~ 1 hafta)	0.0	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1.5 hafta)	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.1
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	0.1	0.3	-0.1	0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.1
	IMF-6 (~ 3 ay)	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.5	0.1
	IMF-7 (~ 4.5 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.2
	IMF-8 (~ 9 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	-0.9
SA80 Toprak Sıcaklığı	IMF-1 (~ 1 hafta)	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1.5 hafta)	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0
	IMF-3 (~ 2 ay)	-0.1	0.1	-0.1	0.1	-0.5	0.1
	IMF-4 (~ 4 ay)	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.5	-0.1
	IMF-5 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.7
Hava Sıcaklığı	IMF-1 (< 1 hafta)	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.1
	IMF-5 (~ 3 ay)	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1
	IMF-6 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.6
Hava Basıncı	IMF-1 (< 1 hafta)	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 3 hafta)	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.2	0.1
	IMF-5 (~ 2.5 ay)	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.2	0.2
	IMF-6 (~ 4.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.5	0.3
	IMF-7 (~ 9 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2	-0.4
	IMF-8 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	-0.8
Yağış	IMF-1 (~ 1 hafta)	-0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
	IMF-2 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
	IMF-3 (~ 3 hafta)	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.1
	IMF-6 (~ 3 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.0
	IMF-7 (~ 7 ay)	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.2	0.1
	IMF-8 (~ 1.5 yıl)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	-0.6
Rüzgar Hızı	IMF-1 (< 1 hafta)	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 2 hafta)	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.1	0.1	-0.3	0.1	0.0
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.0	0.1	0.3	-0.4	-0.1
	IMF-6 (~ 4.5 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.0
	IMF-7 (~ 9 ay)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.4
YAS	IMF-1 (< 1 hafta)	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-2 (~ 1 hafta)	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	IMF-4 (~ 1 ay)	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0
	IMF-5 (~ 2 ay)	0.0	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	0.0
	IMF-6 (~ 6 ay)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2	-0.1
	IMF-7 (~ 9 ay)	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.3	-0.2

Tablo 4.4 incelendiğinde Gebze test sahasında yer alan T-1 kodlu ve kum ile dolu çukurda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun, toprak nemi, yağış, hava basıncı ve rüzgar hızı ile negatif, toprak ve hava sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Yağışın yıllık negatif korelasyonu yanında aylık periyotlarda pozitif korelasyon göstermesi de dikkat çekmektedir. Toprak neminin yıllık periyotta -0.9'luk oldukça güçlü negatif korelasyon katsayısı ile en baskın parametre olarak ortaya çıkması toprak nemi haricindeki diğer parametrelerin ikincil veya sahte korelasyon gösteren değişkenler olduğu ihtimalini düşündürmektedir.

Tablo 4.5 incelendiğinde Gebze test sahasında yer alan T-2 kodlu ve karışık toprak ile dolu çukurda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun, toprak nemi, hava basıncı ve rüzgar hızı ile negatif, toprak ve hava sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Bir önceki tablodan farklı olarak toprak nemindeki çok güçlü korelasyon burada zayıf kalmıştır. Ayrıca yağışın yıllık periyottaki negatif ilişkisi de burada görülmemekte, sadece aylık periyotlardaki pozitif korelasyon daha güçlü bir şekilde izlenmektedir. Toprak nemi ile de yine 3 aylık periyotlarda pozitif ilişki görülmektedir.

Tablo 4.6 incelendiğinde Gebze test sahasında yer alan T-3 kodlu ve silt baskın toprak ile dolu çukurda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun, toprak nemi, hava basıncı, yağış ve rüzgar hızı ile negatif, toprak ve hava sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Yağışın aylık periyotlardaki pozitif korelasyonu burada görülmemiştir. Hava sıcaklığı burada aylık periyotlarda negatif yönde etkiye sahip olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.7 incelendiğinde Gebze test sahasında yer alan T-4 kodlu ve kil baskın toprak ile dolu çukurda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun toprak nemi, hava basıncı ve yağış ile negatif, toprak ve hava sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Hava basıncının yıllık periyottaki korelasyon değerinin +1 olması dikkat çekmektedir. Rüzgar hızı ise herhangi anlamlı bir korelasyon değeri sunmamıştır.

Tablo 4.8 incelendiğinde Armutlu istasyonunda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun daha önceki istasyonlardan tam tersi bir şekilde toprak nemi ve hava basıncı ile pozitif, hava sıcaklığı ile negatif korelasyon göstermiştir. Toprak nemi aylık periyotlarda da pozitif etki, rüzgar hızı ise haftalık değişimlerde negatif etkiye sahip görülmektedir. Armutlu verisi nispeten kısa süreli olduğu için burada 7 aydan uzun IMF bileşenleri elde edilmemiştir. Bu nedenle 7 aylık IMF'ler yıllık periyodu temsil ettiği kabul edilmiştir.

Tablo 4.9 incelendiğinde Sarıköy istasyonunda kaydedilmiş toprak radon gazının yaklaşık 1 yıla denk gelen periyodunun toprak nemi, hava basıncı ve yağış ile negatif, toprak ve hava sıcaklığı ile ise pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Aylık periyotlarda toprak nemi pozitif, toprak sıcaklığı hem pozitif hem negatif, hava basıncı ise negatif uyum göstermiştir. Rüzgar hızı ve bu istasyonda özel olarak izlenmiş olan yeraltı su seviyesi ise herhangi anlamlı bir korelasyon sunmamıştır.

Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında kaydedilen verilerin EMD analizi neticesinde elde edilen IMF bileşenleri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarının birleştirilmiş ve basitleştirilmiş şekli Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde, Armutlu hariç tüm istasyonlarda yıllık periyotlarda toprak neminin ve hava basıncının negatif, toprak sıcaklık ve hava sıcaklık değerlerinin ise pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Kum ağırlıklı Gebze T-1 ve Sarıköy istasyonlarında toprak neminin çok güçlü negatif, kil ağırlıklı Gebze T-4 istasyonunda ise hava basınç değişiminin çok güçlü negatif ve hava sıcaklık değerlerinin çok güçlü pozitif korelasyon sunması dikkat çekmektedir. Armutlu istasyonu ise diğer istasyonlardan farklı olarak yıllık dönemlerde tam ters bir şekilde toprak nemi ve hava basıncı ile pozitif, hava sıcaklığı ile de negatif ilişkili görülmektedir. Toprak sıcaklığının ise korelasyon sunmaması dikkat çekmektedir. Yağış ve rüzgar hızı genelde negatif korelasyon göstermekle birlikte diğer parametreler kadar güçlü ve genel role sahip görünmemektedir. Uzun dönemli değişimler haricinde aylık bazda da bazı ilişkiler görülmüştür. Özellikle -toprak nemi Gebze T-1 hariç genel olarak pozitif etkiye sahip olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer parametreler ise düzenli bir ilişki sunmamıştır. Sarıköy'e özgü izlenmiş olan yeraltı su seviyesinde anlamlı korelasyon izlenmemiştir.

Yıllık bazda toprak nemi topraktaki radon konsantrasyonunu kontrol eden en etkili parametre olarak dikkat çekmektedir. Toprak nemi ile radon konsantrasyonu arasında negatif bir ilişki olup, nem arttıkça radon konsantrasyonu azalmaktadır. Armutlu istasyonunda bunun aksi olan ilişki büyük bir olasılıkla bu kontrolün ancak belirli bir sıcaklık değerine kadar etkili olduğunu, kritik bir sıcaklık değerinden sonra temel kontrolün sıcaklık olduğunu göstermektedir. Toprak nemi ve yağış ile radon konsantrasyonu arasında yıllık bazda negatif olan ilişki aylık bazda tersine dönmektedir. Bunun olası nedeninin, nispeten kısa süreli ve zemini tam doyumlayan toprak nemi artışının radon atomlarının danelerden kurtulma oranı üzerinde gösterdiği pozitif etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.10: Tüm istasyonlarda kaydedilen verilerin IMF bileşenleri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarının birleştirilmiş ve basitleştirilmiş hali. 0.5-0.6 arası korelasyonlar tek, 0.7-0.8 arası korelasyonlar çift, 0.9-1 arası korelasyonlar ise üçlü +/- işaretler şeklinde gösterilmiştir.

		Gebze T-1 Radon (kum)	Gebze T-2 Radon (kumlu killi tın)	Gebze T-3 Radon (siltli)	Gebze T-4 Radon (killi)	Armutlu Radon	Sarıköy Radon
Toprak Nem	Haftalık	-	-	-	-	-	-
	Aylık	-	(+)	(+)	(+)	(++)	(+)
	Yıllık	(---)	(-)	(-)	(-)	(++)	(---)
Toprak Sıcaklık	Haftalık	-	-	-	-	-	-
	Aylık	-	-	-	-	-	(+)(--)
	Yıllık	(++)	(+)	(+)	(++)	-	(++)
Hava Sıcaklık	Haftalık	-	-	-	-	-	-
	Aylık	-	-	(-)	(-)	-	-
	Yıllık	(+)	(+)	(+)	(+++)	(-)	(+)
Hava Basıncı	Haftalık	-	-	-	-	-	-
	Aylık	-	-	-	(+)	-	(-)
	Yıllık	(--)	(-)	(--)	(---)	(++)	(--)
Yağış	Haftalık	-	-	-	-	-	-
	Aylık	(+)	(++)	-	-	-	-
	Yıllık	(--)	-	(--)	(--)	-	(-)
Rüzgar Hızı	Haftalık	-	-	-	-	(-)	-
	Aylık	-	-	-	-	-	-
	Yıllık	(-)	(--)	(--)	-	-	-
YAS	Haftalık						-
	Aylık	x	x	x	x	x	-
	Yıllık						-

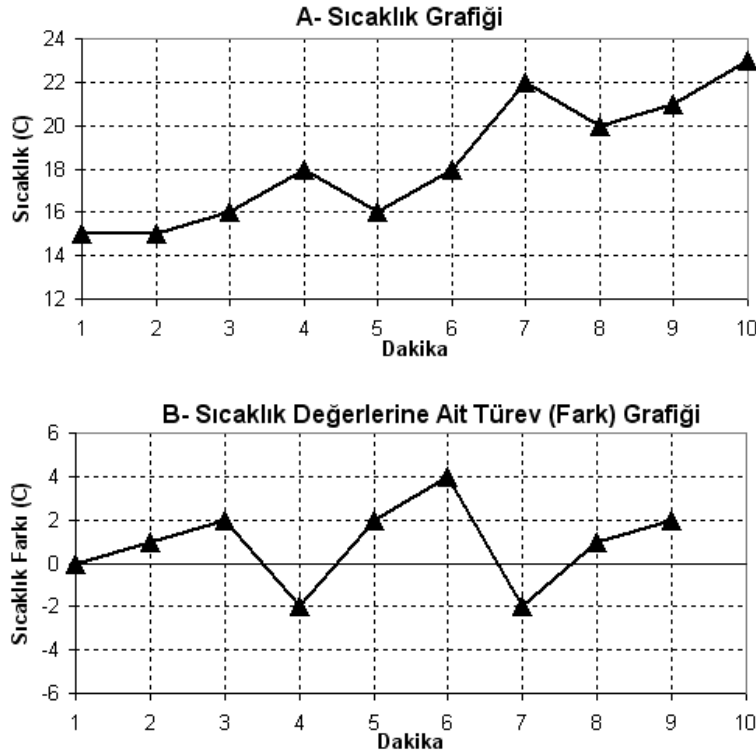
4.3.3. Türev (Fark Alma)

Verideki günlük bazdaki değişim oranlarını görmek için birinci dereceden türev operatörü kullanılmıştır. Türev ya da fark alma, iki değişkenli bir fonksiyondaki farklılaşmayı hesaplamaya yarayan bir veri analiz yöntemi olup, özellikle finans sektöründe çok sık kullanılmaktadır. İki değişkenli bir fonksiyonda ($y=f(x)$), y değerinin x 'e göre çizdirildiği bir grafikte türev bize her bir veri noktası için grafiğin eğimini ifade eder. Bu eğim değeri, iki değişkenin kendi içlerindeki farkın birbirlerine olan oranı şeklinde hesaplanmaktadır ($m=eğim$, Δ =iki değer arasındaki fark) (4.5).

$$m=\Delta y/\Delta x \quad (4.5)$$

Bir değişkenin (örnek: zaman) eşit aralıklı olduğu bir veri setinin her bir veri noktasındaki eğimi, (başka bir ifadeyle farklılaşmasını) hesaplamak için sadece diğer

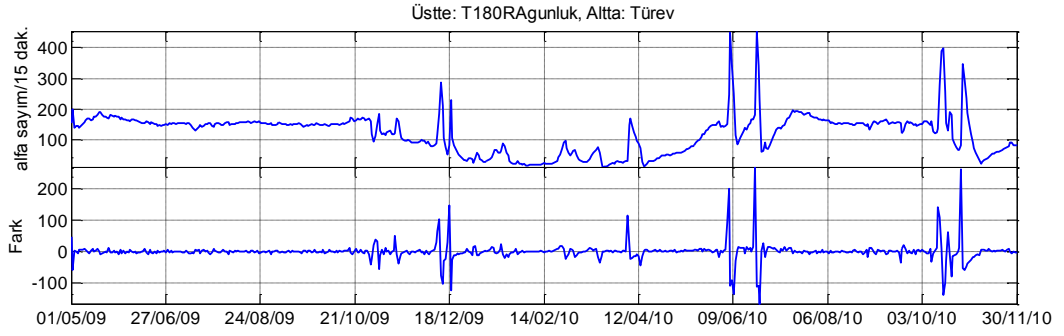
değişkenin (örnek: sıcaklık) farkını hesaplamak yeterlidir. Şekil 4.72’de gösterilen ve bir dakikalık zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerlerinden oluşan örnek bir veri setine ait türev grafiğini elde etmek (yani hava sıcaklığındaki farklılaşmayı hesaplamak) için her bir sıcaklık değeri bir önceki sıcaklık değerinden çıkartılır ($[y(2)-y(1), y(3)-y(2), \dots, y(n)-y(n-1)]$) ve elde edilen bu fark değerleri yine birim zaman aralığında grafiklenir. Bu şekilde elde edilen yeni grafiğe birinci dereceden “türev” ya da “fark” grafiği adı verilir. Türev işlemi neticesinde elde edilen değerler, verinin kendi içindeki olası trendlerden kurtularak, 0 etrafında salınan değerler haline gelir. İki değer arasındaki değişimin artışa geçtiği noktalarda türev pozitif, değişimin olmadığı noktalarda sıfır ve değişimin azaldığı noktalarda ise negatif değerler alır.



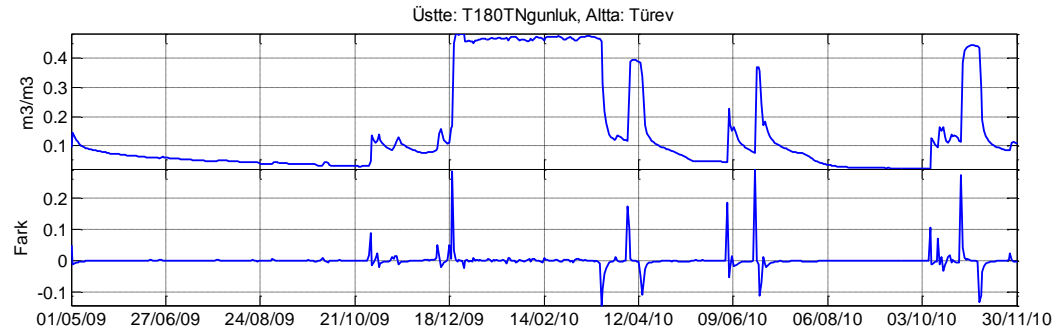
Şekil 4.72: Bir dakikalık zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerlerinden oluşan örnek bir veri setine ait normal (A) ve türev grafikleri (B).

Toprak radon gazında meydana gelen bir veya birkaç günlük ani değişimler ile ilişkili olabilecek parametrelerin irdeleneceği bölümde kullanmak üzere, ölçülen zaman serilerinden oluşturulan türev grafikleri istasyon bazında gruplanarak aşağıda sunulmuştur.

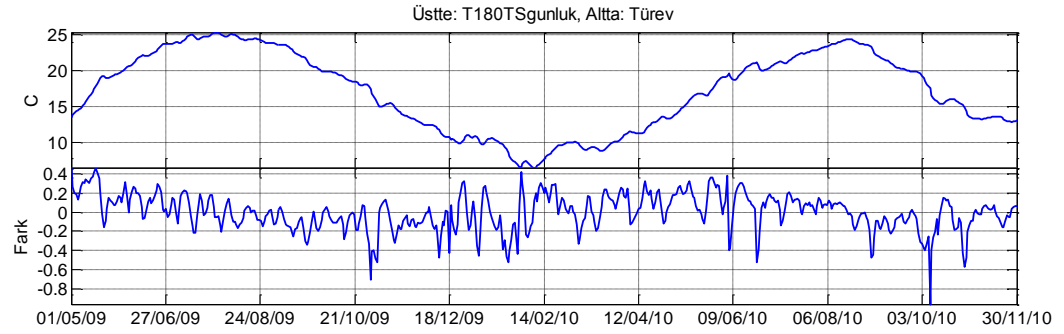
4.3.3.1. Gebze İstasyonları



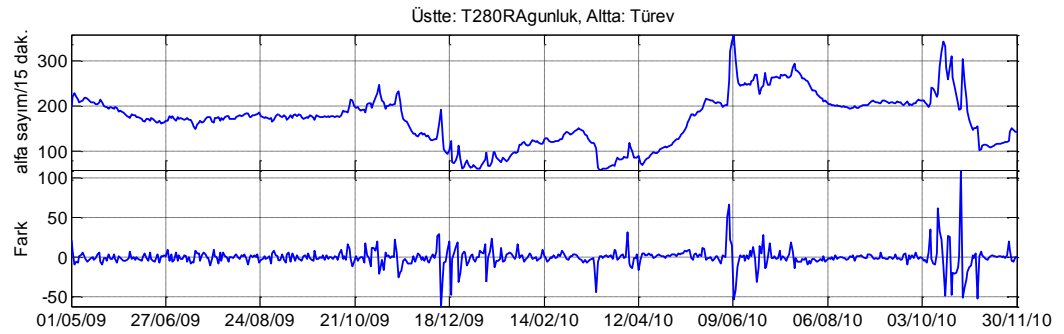
Şekil 4.73: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



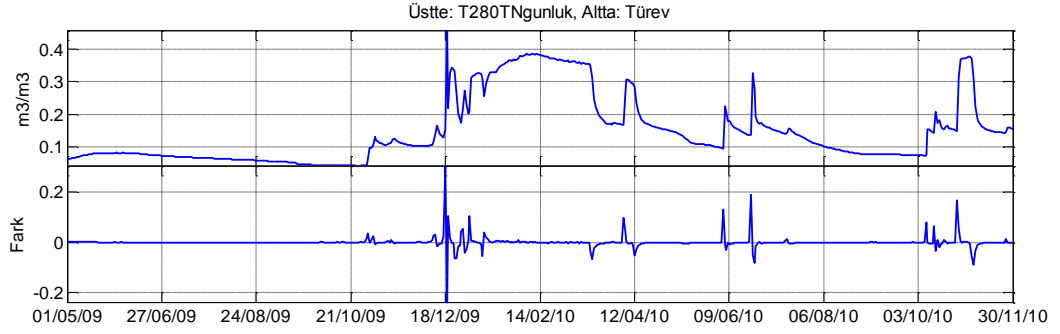
Şekil 4.74: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



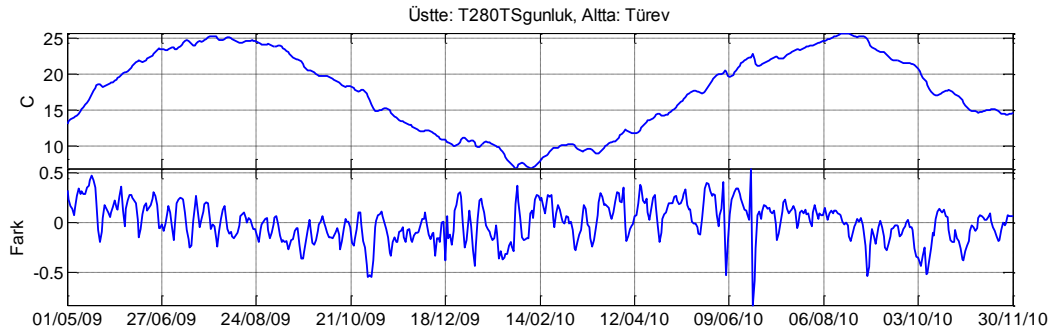
Şekil 4.75: Gebze “T1 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



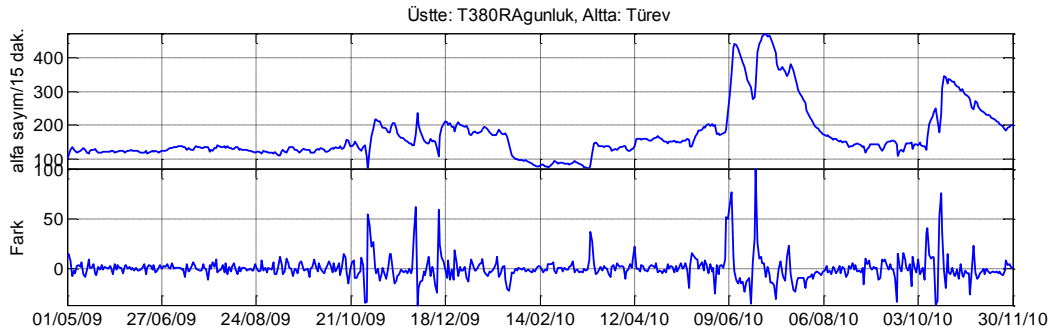
Şekil 4.76: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



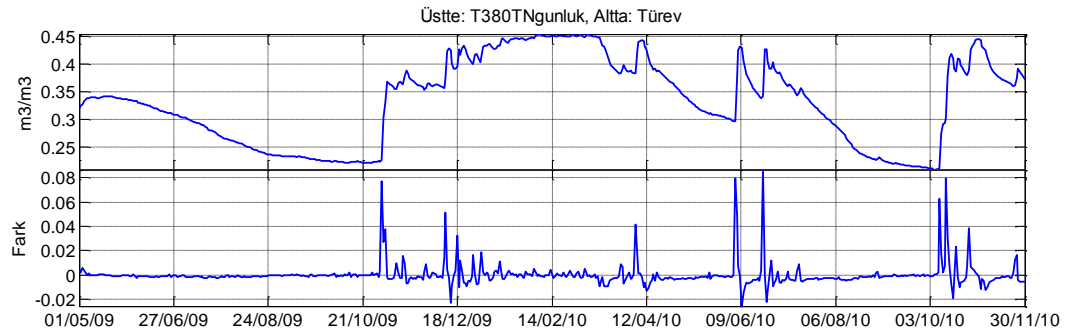
Şekil 4.77: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



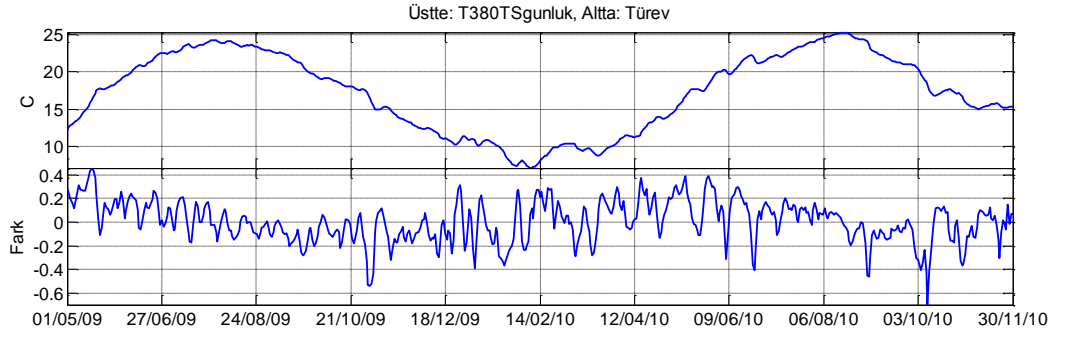
Şekil 4.78: Gebze “T2 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



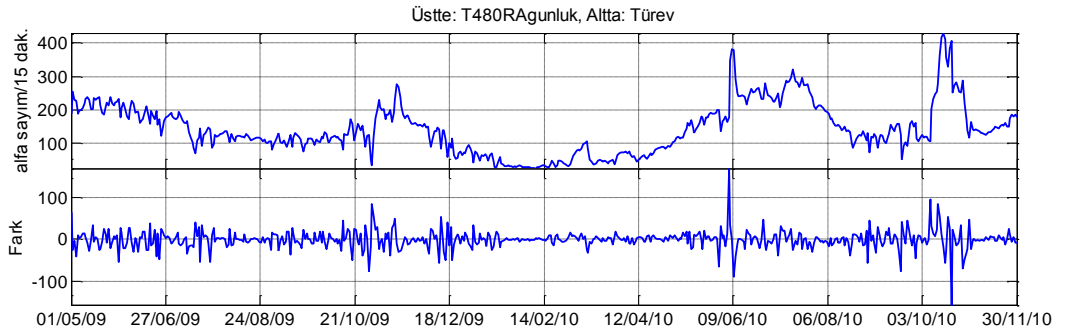
Şekil 4.79: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



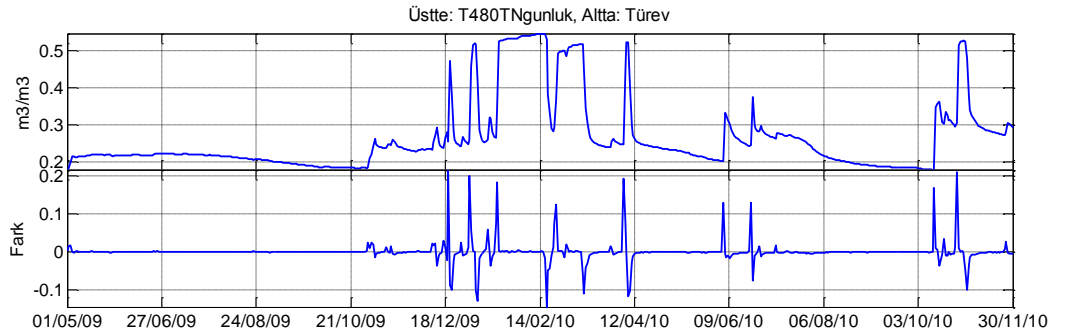
Şekil 4.80: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



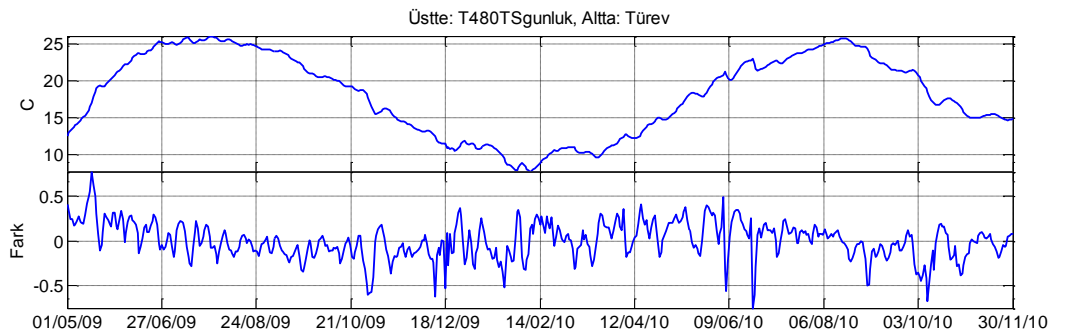
Şekil 4.81: Gebze “T3 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklığı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



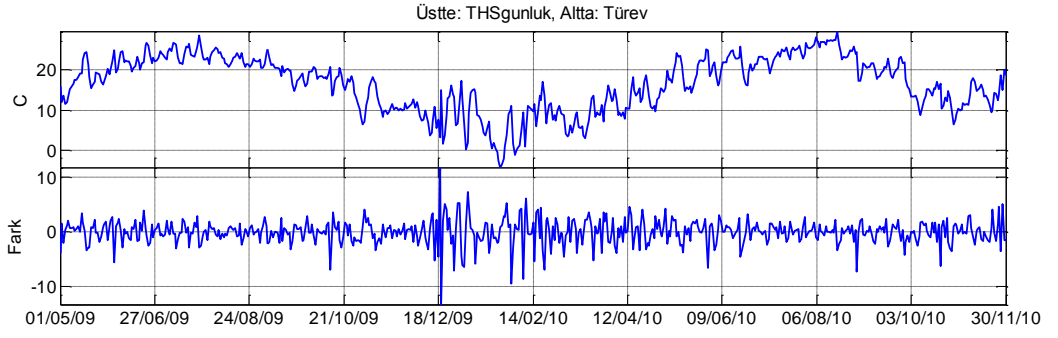
Şekil 4.82: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



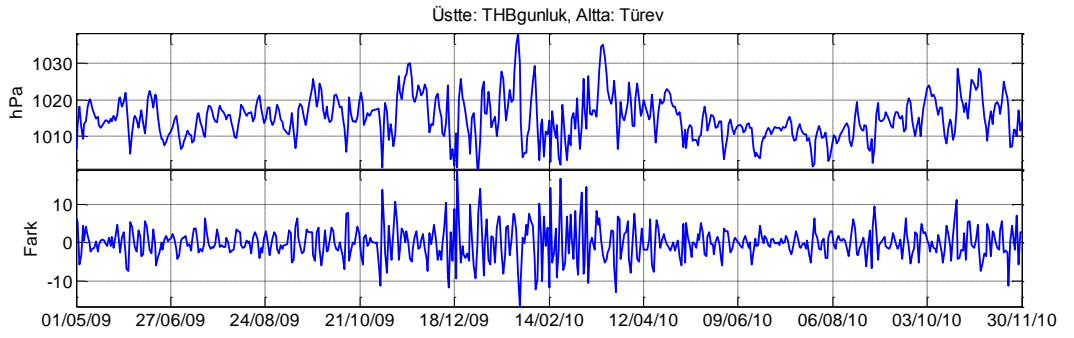
Şekil 4.83: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



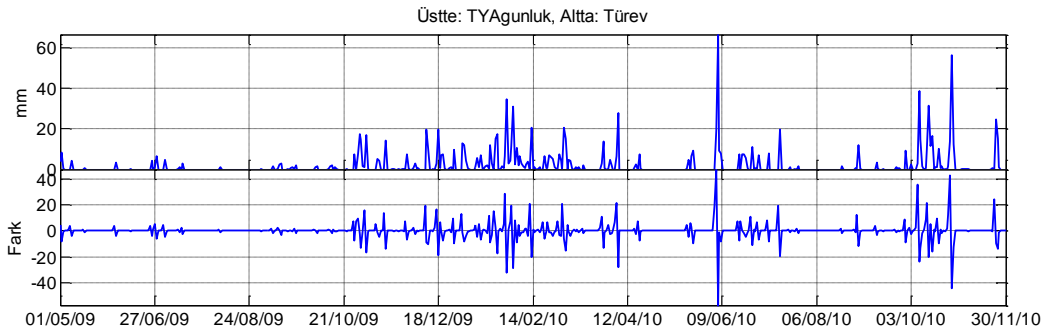
Şekil 4.84: Gebze “T4 80 cm” istasyonuna ait toprak sıcaklığı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



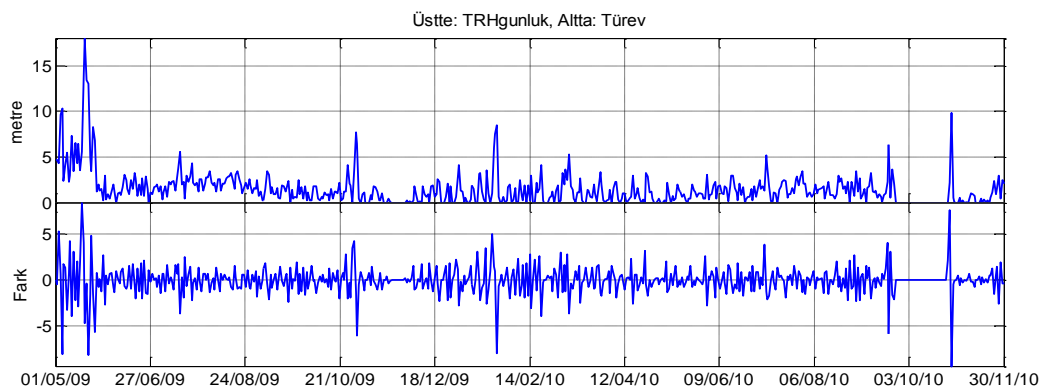
Şekil 4.85: Gebze istasyonlarına ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



Şekil 4.86: Gebze istasyonlarına ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

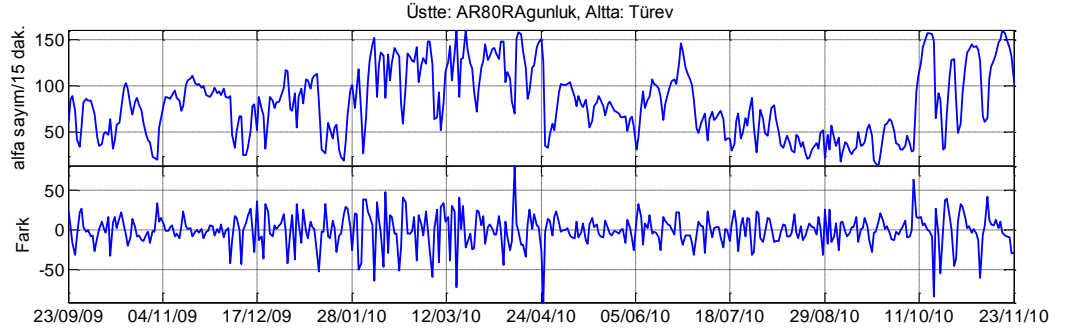


Şekil 4.87: Gebze istasyonlarına ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

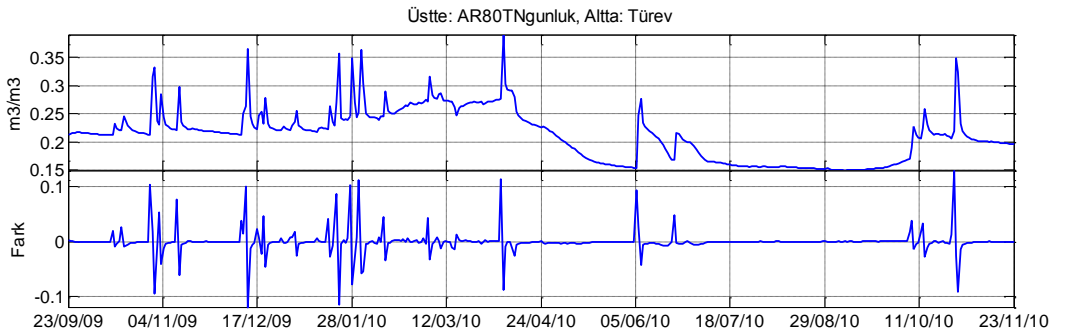


Şekil 4.88: Gebze istasyonlarına ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

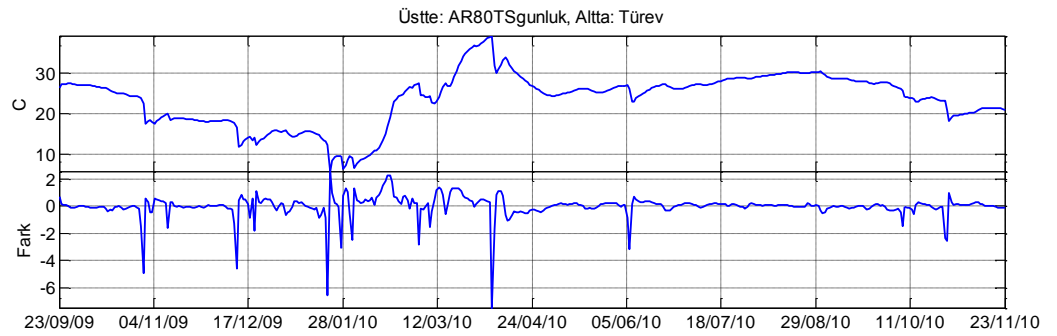
4.3.3.2. Armutlu İstasyonu



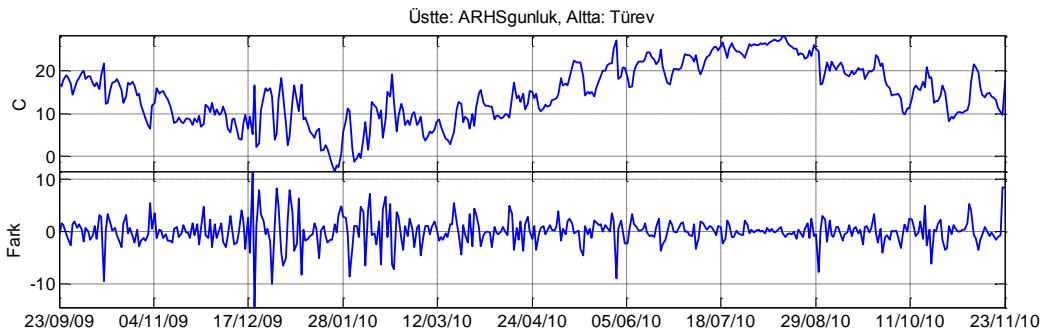
Şekil 4.89: Armutlu istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



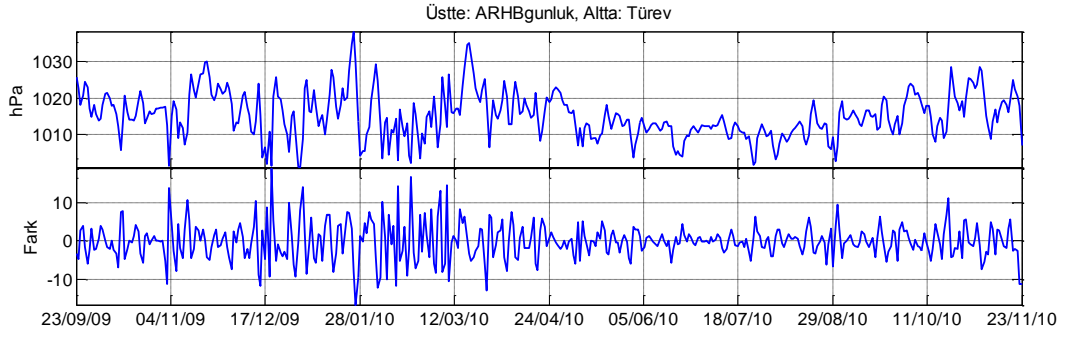
Şekil 4.90: Armutlu istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



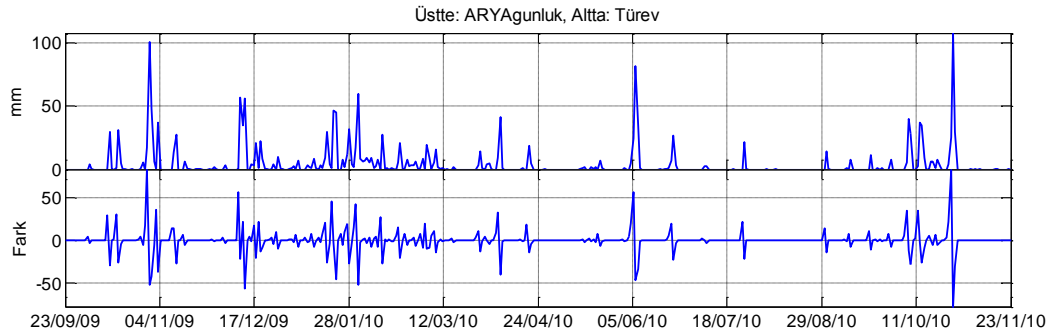
Şekil 4.91: Armutlu istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



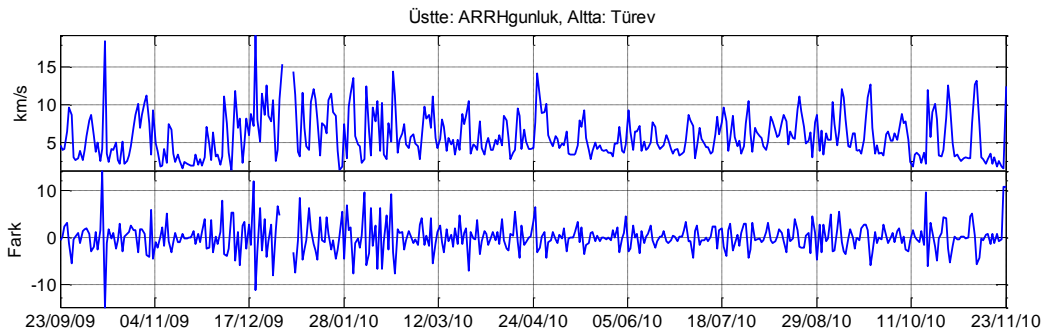
Şekil 4.92: Armutlu istasyonuna ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



Şekil 4.93: Armutlu istasyonuna ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

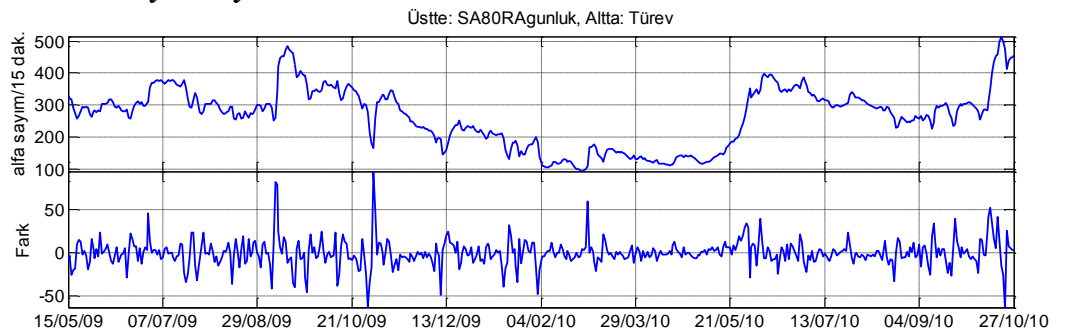


Şekil 4.94: Armutlu istasyonuna ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

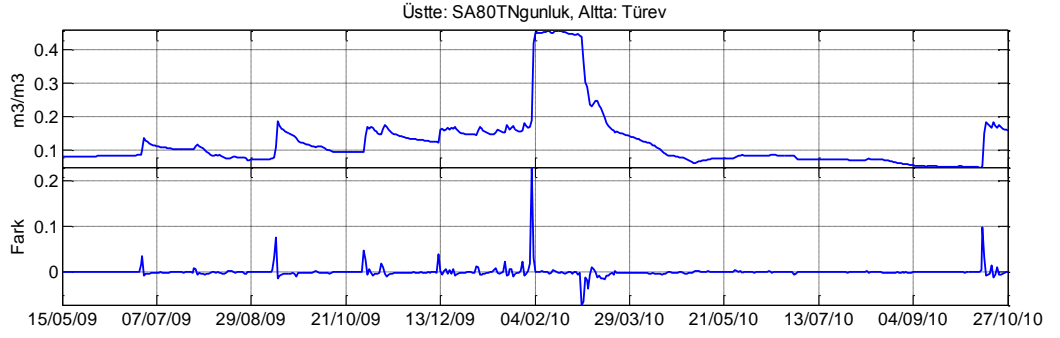


Şekil 4.95: Armutlu istasyonuna ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

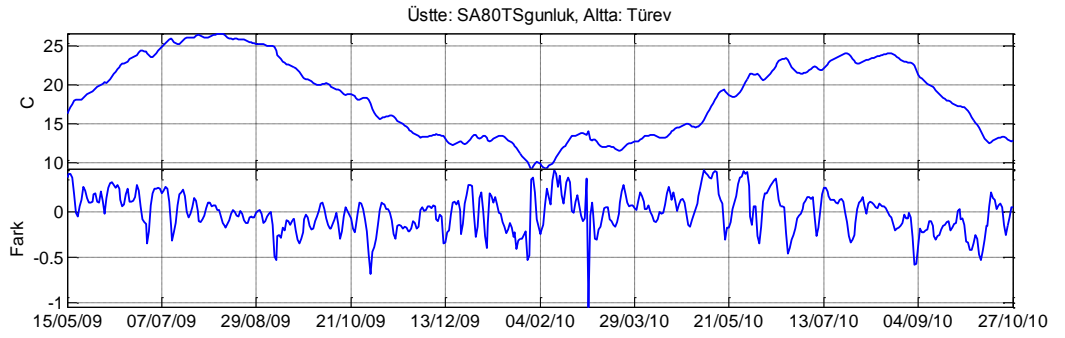
4.3.3.3. Sarıköy İstasyonu



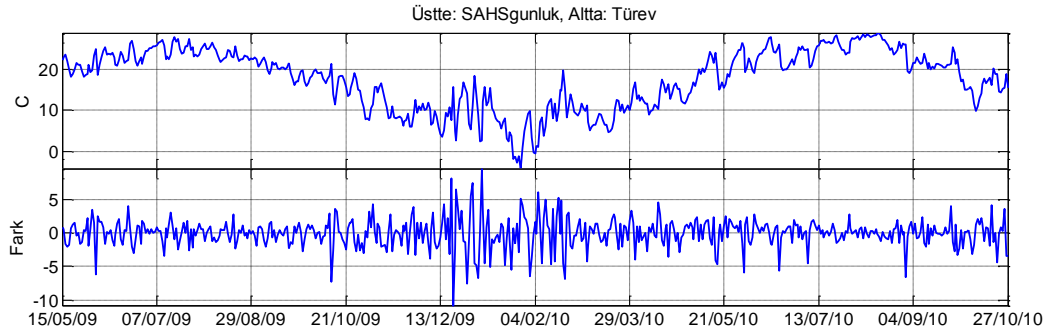
Şekil 4.96: Sarıköy istasyonuna ait radon gazı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



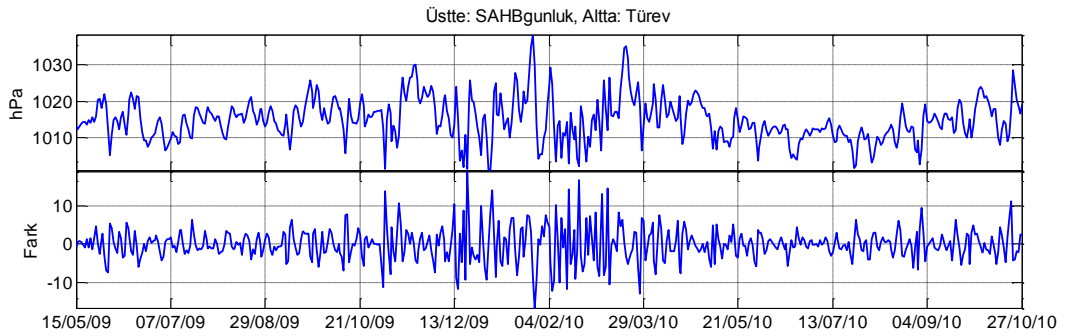
Şekil 4.97: Sarıköy istasyonuna ait toprak nem (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



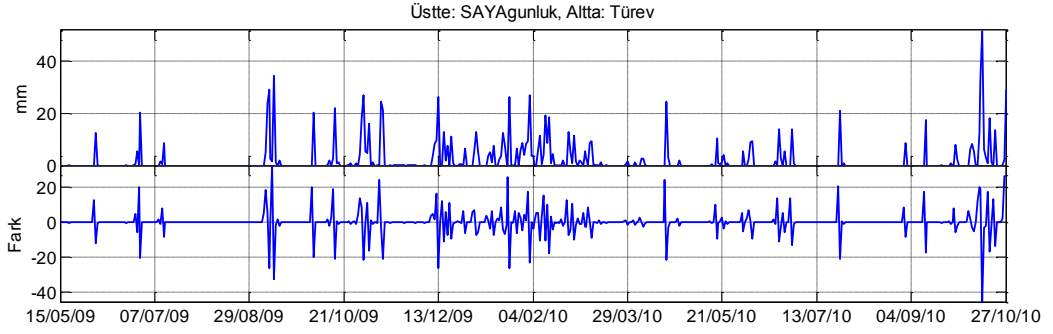
Şekil 4.98: Sarıköy istasyonuna ait toprak sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



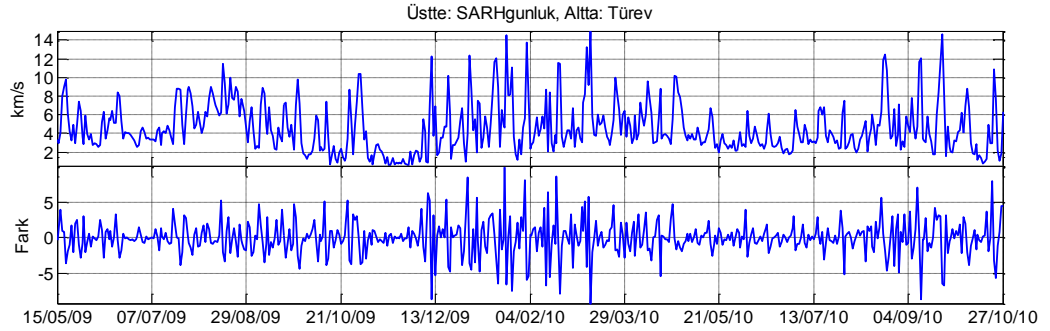
Şekil 4.99: Sarıköy istasyonuna ait hava sıcaklık (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



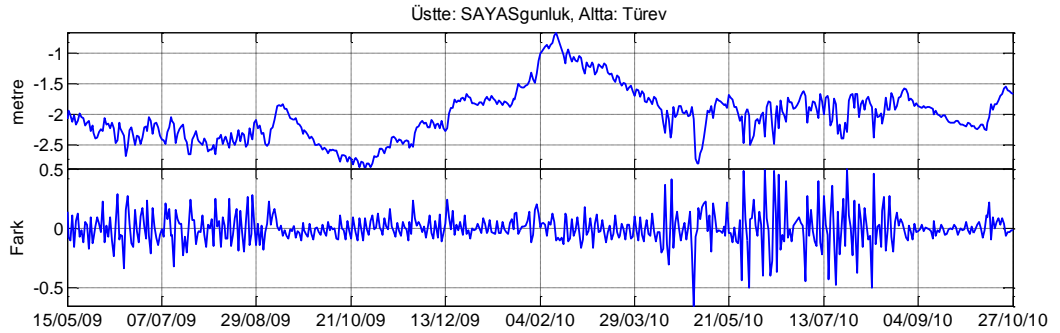
Şekil 4.100: Sarıköy istasyonuna ait hava basınç (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



Şekil 4.101: Sarıköy istasyonuna ait yağış (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



Şekil 4.102: Sarıköy istasyonuna ait rüzgar hızı (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.



Şekil 4.103: Sarıköy istasyonuna ait yeraltı suyu (üstte) ve aynı verinin türev (altta) grafikleri.

Kısa süreli (anlık) değişimler bazında, toprak radon gazı konsantrasyonu üzerinde etkili olan parametreleri ortaya koymaya yönelik olarak oluşturulan türev grafikleri incelendiğinde, toprak neminin çok belirgin bir şekilde pozitif rol oynadığı açıkça görülmektedir.

4.4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI

Toprak radon gazının zemin içindeki zamansal değişimi üzerinde etkili olabilecek, jeolojik, pedolojik ve atmosferik koşulların etkilerini ortaya koymaya yönelik gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında elde edilen ve bir önceki bölümde farklı analiz aşamalarından geçirilen veriler bu bölümde karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve elde edilen bulgular ile bunların yorumları belirtilmiştir.

4.4.1. Pedolojik Koşullar

Radon gazı ölçümü yapılan lokasyonlar arasında mevcut pedolojik farklılıkların ölçümler üzerindeki olası etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla, zeminlerin dane boyu dağılımı, kıvam limitleri, özgül ağırlık, organik madde miktarı ve mineralojik bileşimine dayalı karakterizasyonu yapılmıştır. Bu tanımlayıcı zemin özellikler dışında, Gebze test sahasındaki istasyonlarda 50 cm ve 80 cm olmak üzere 2 farklı derinlikte sürekli ölçümler alınarak, ölçüm derinliğinin olası etkileri de ortaya konulmaya çalışılmıştır. Toprak içindeki gazın hareketi üzerinde etkileri olan toprak nem ve toprak sıcaklık değerleri de sürekli bir şekilde ölçülerek detaylı olarak ele alınmıştır.

4.4.1.1. Zemin Özellikleri

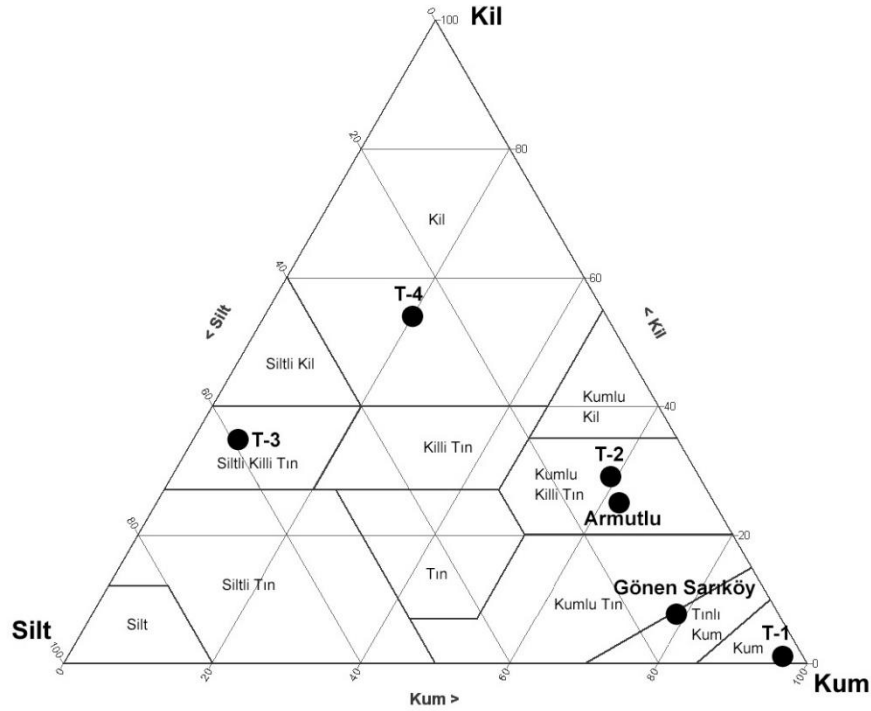
Gebze test sahasındaki dört istasyonun oluşturulmasında kullanılan topraklar ile Armutlu ve Gönen Sarıköy istasyonlarında mevcut yerel topraklardan alınan örnekler üzerinde dane boyu, kıvam limitleri, organik madde miktarı (Tablo 4.11) ve mineralojik bileşim (Tablo 4.12) analizleri yapılarak, söz konusu lokasyonlardaki topraklar karakterize edilmiştir. İstasyonların zemin tipini karakterize etmeye yönelik elde edilen ve bir zaman serisi şeklinde değişim göstermeyen bu veriler radon gazı ile birlikte zaman bağılı olarak değişen parametrelerin yorumlanması aşamasında kullanılmıştır.

Soil Survey Staff, 1993'e göre oluşturulan USDA (Unites States Department of Agriculture) üçgen sınıflandırma grafiği Şekil 4.104'de yer almaktadır. Burada kullanılan ve Tablo 4.11'da da görülen kum, silt ve kil yüzdeleri, elek ve hidrometre deneylerinden elde edilen dane boyu dağılım yüzdelerinin, 4 no'lu elek üstünde kalan miktar düşülerek ve kendi içlerinde yeniden orantılanarak hesaplanan değerlerdir. USDA üçgen sınıflandırmasına göre Gebze T-1 istasyonu kum, Gebze T-2 ve Armutlu istasyonları kumlu killi tın, T-3 istasyonu siltli killi tın, T-4 istasyonu kil, Gönen

Sarıköy istasyonu ise tınlı kum sınıfında yer almaktadır. Tın veya Lem (İngilizce'de Loam) tarımda kolayca işlenebilir toprağa verilen addır.

Tablo 4.11: Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Sarıköy ve Armutlu istasyonlarına ait zemin örnekleri üzerinde yapılan dane boyu, kıvam limitleri, özgül ağırlık ve organik madde miktarı analiz sonuçları.

Örnek	Dane Boyu Dağılımı			Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Organik Madde Miktarı (%)
	Kum İçeriği (%)	Silt İçeriği (%)	Kil İçeriği (%)	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)			
Gebze T-1	96.8	2.1	1.0	NP	NP	NP	SP	2.75	6.3
Gebze T-2	59.3	11.1	29.6	31	12	19	SC	2.77	5.9
Gebze T-3	6.1	58.9	35.0	22	14	8	CL	2.75	13.0
Gebze T-4	20.2	25.8	54.0	39	12	27	CL	2.75	12.3
Armutlu	62.7	11.9	25.4	31	13	18	SC	2.72	3.9
Sarıköy	78.8	13.0	8.2	20	16	4	SM	2.77	3.4



Şekil 4.104: Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Armutlu ve Gönen Sarıköy istasyonlarının dane boyu dağılımlarına göre USDA üçgen sınıflandırma grafiği (Soil Survey Staff, 1993).

Kıvam limitlerinin hesaplanmasında elek ve hidrometre analizleri ile elde edilen değerler kullanılmıştır. Kıvam limit deney sonuçlarının birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına (ASTM D 2487) göre; Gebze T-1 istasyonu SP (kötü derecelenmiş kum), Gebze T-2 ve Armutlu istasyonları SC (killi kum), Gebze T-3 ve T-4 istasyonları CL (kumlu, siltli kil), Gönen Sarıköy istasyonu SM (siltli kum) olarak sınıflandırılmaktadır.

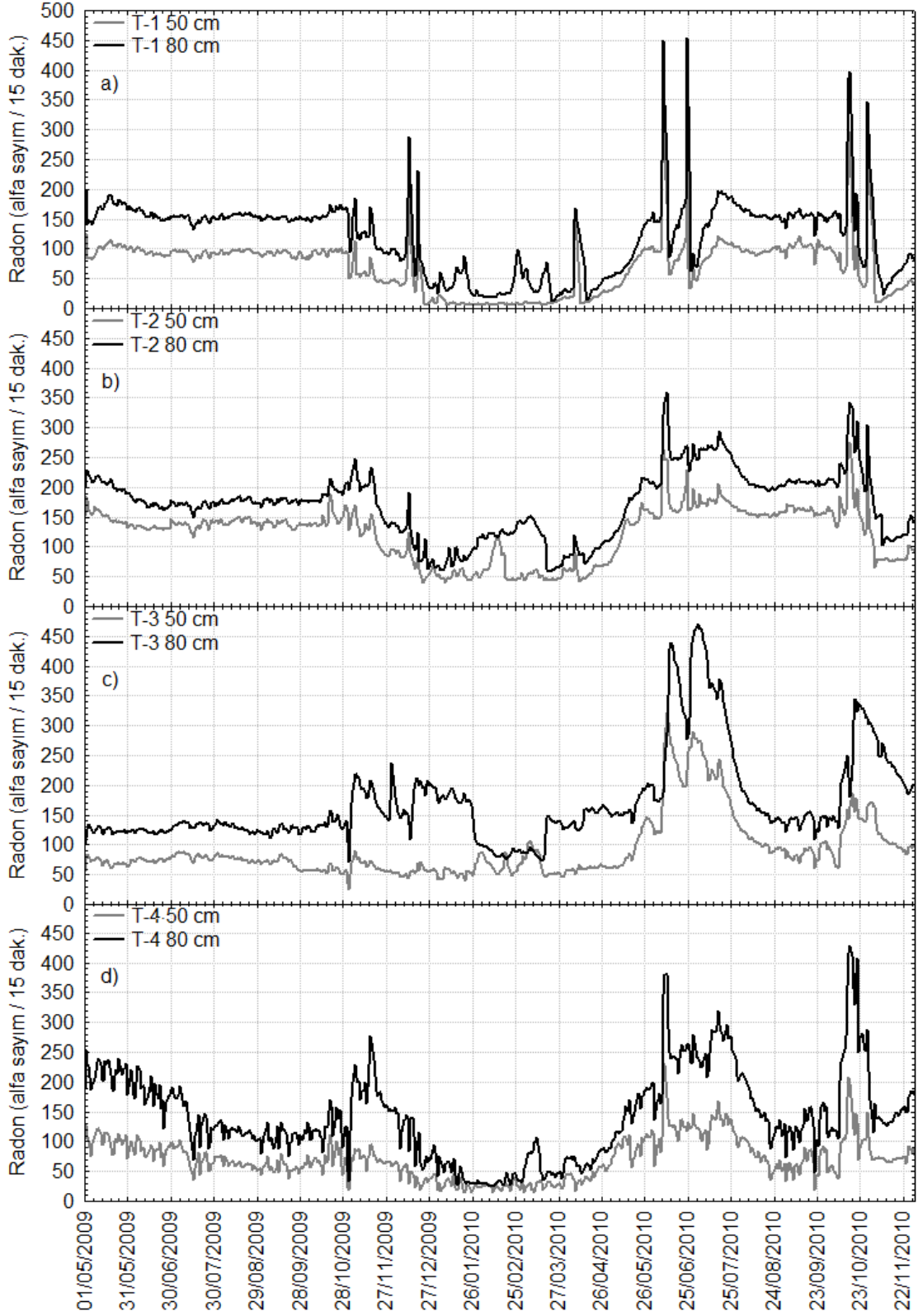
Tablo 4.12: XRD analiz sonuçları (bolluk sırasına göre).

Örnek	Mineralojik Bileşim
Gebze T-1	1. Kuvars - SiO ₂ 2. Feldspat 3. Kalsit - CaCO ₃ 4. İllit - (K ₁ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ 5. Magnesium Alüminyum Silikat - Mg ₂ Si ₅ Al ₄ O ₁₈ 6. Montmorillonit – Ca _{0,2} (Al ₁ Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ · 4H ₂ O 7. Hematit - Fe ₂ O ₃
Gebze T-2	1. Kuvars - SiO ₂ 2. Feldspat 3. İllit - (K ₁ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ 4. Kalsit - CaCO ₃ 5. Magnezyum Ferrit – MgFe ₂ O ₄ 6. Rutil – TiO ₂
Gebze T-3	1. Kalsit - CaCO ₃ 2. Kuvars - SiO ₂ 3. Silisyum Dioksit - SiO ₂ 4. Grossular - Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ 5. Demir Oksit – Fe ₂ O ₃ 6. İllit – K _{0,7} Al ₂ (Si ₁ Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Gebze T-4	1. Kuvars - SiO ₂ 2. Feldspat 3. Kalsit - CaCO ₃ 4. İllit - (K ₁ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ 5. Magnezyum Ferrit – MgFe ₂ O ₄ 6. Rutil – TiO ₂
Armutlu	1. Feldspat 2. Kuvars - SiO ₂ 3. Kalsit - CaCO ₃ 4. Magnezyum Ferrit – MgFe ₂ O ₄ 5. İllit - (K ₁ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂
Sarıköy	1. Kuvars - SiO ₂ 2. Feldspat 3. İllit - (K ₁ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂ 4. Magnezyum Alüminyum Silikat - Mg ₂ Si ₅ Al ₄ O ₁₈ 5. Montmorillonit – Ca _{0,2} (Al ₁ Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ · 4H ₂ O 6. Hematit - Fe ₂ O ₃

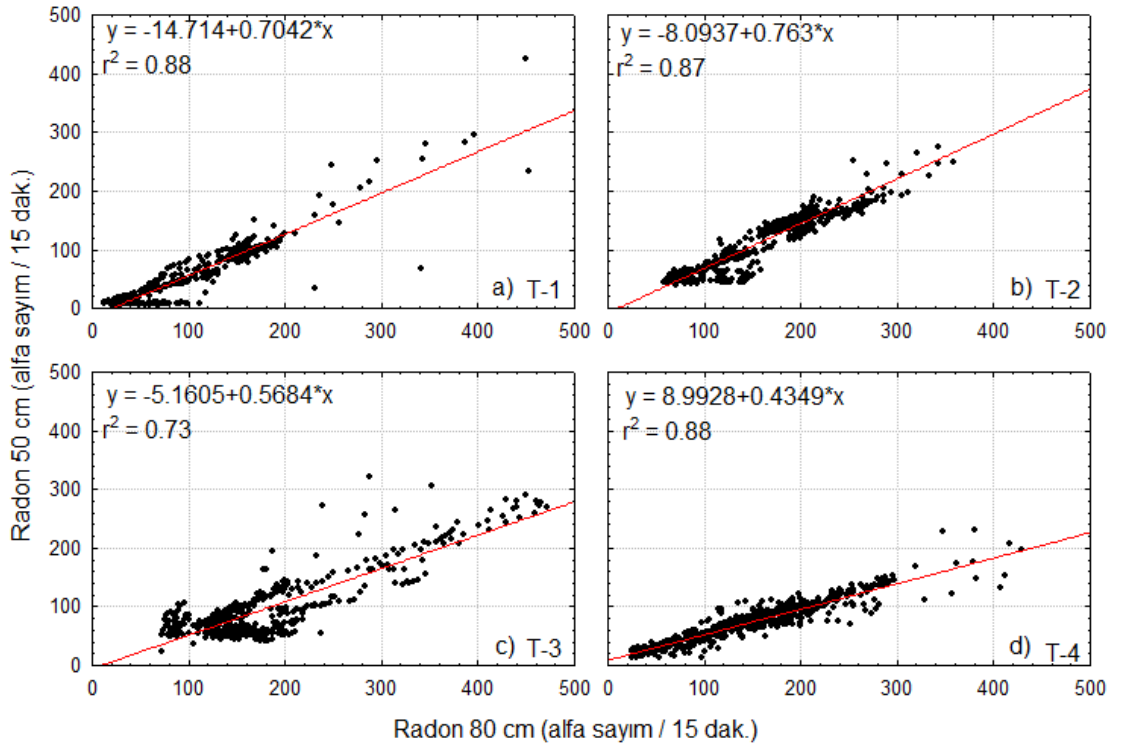
XRD analizi ile elde edilen mineralojik bileşim dağılımına bakıldığında (Tablo 4.12, EK-B) Gebze T-3 hariç tüm istasyonlarda birinci ve ikinci sırada kuvars-feldspat ağırlıklı bir dağılım söz konusu iken, T-3 istasyonu birinci sırada kalsit içermesi açısından dikkat çekicidir. T-3 istasyonu dane boyu dağılımı açısından da kum oranı en düşük, organik madde miktarı açısından da en zengin zemin özelliğindedir.

4.4.1.2. Ölçüm Derinliği

Toprak radon gazı ölçümlerinin zemin içinde farklı seviyelerde yapılmasının nedeni, derinlerde yer alan radon kaynaklarına olan mesafenin ve yüzeye yaklaştıkça atmosfere göç edebilen gaz miktarının değişmesine bağlı olarak farklı değerlerin ölçülmüş olması ve daha önceki çalışmalarda da (Thomas ve diğ., 1992; Matolin ve diğ., 2000) bunun ortaya konulmuş olmasıdır. Yüzeye yaklaştıkça dış meteorolojik etkilerden etkilenme olasılığının artması, çok derinlere inildikçe ise hem ölçüm cihazının yerleştirme hem de olası arızalarda yerinden çıkartılma işlemlerinin oldukça zorlaşması açısından toprak radon gazı ölçümlerinde tavsiye edilen (İnan ve diğ. 2008) 80 cm temel ölçüm derinliği olarak kabul edilmiştir. Derinlik faktörünün olası etkilerini görebilmek amacıyla Gebze test sahasında yer alan 4 istasyonun her birinde hem 80 cm hem de 50 cm derinlikte toprak radon gazı, toprak sıcaklığı ve toprak nemi sürekli olarak ölçülmüştür. 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında yapılan ölçümler neticesinde elde edilen verilere ait grafikler radon gazı için Şekil 4.105, toprak sıcaklığı için Şekil 4.108 ve toprak nemi için Şekil 4.110'da gösterilmiştir.



Şekil 4.105: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen radon gazı değerlerinin ortak eksenli grafikleri.



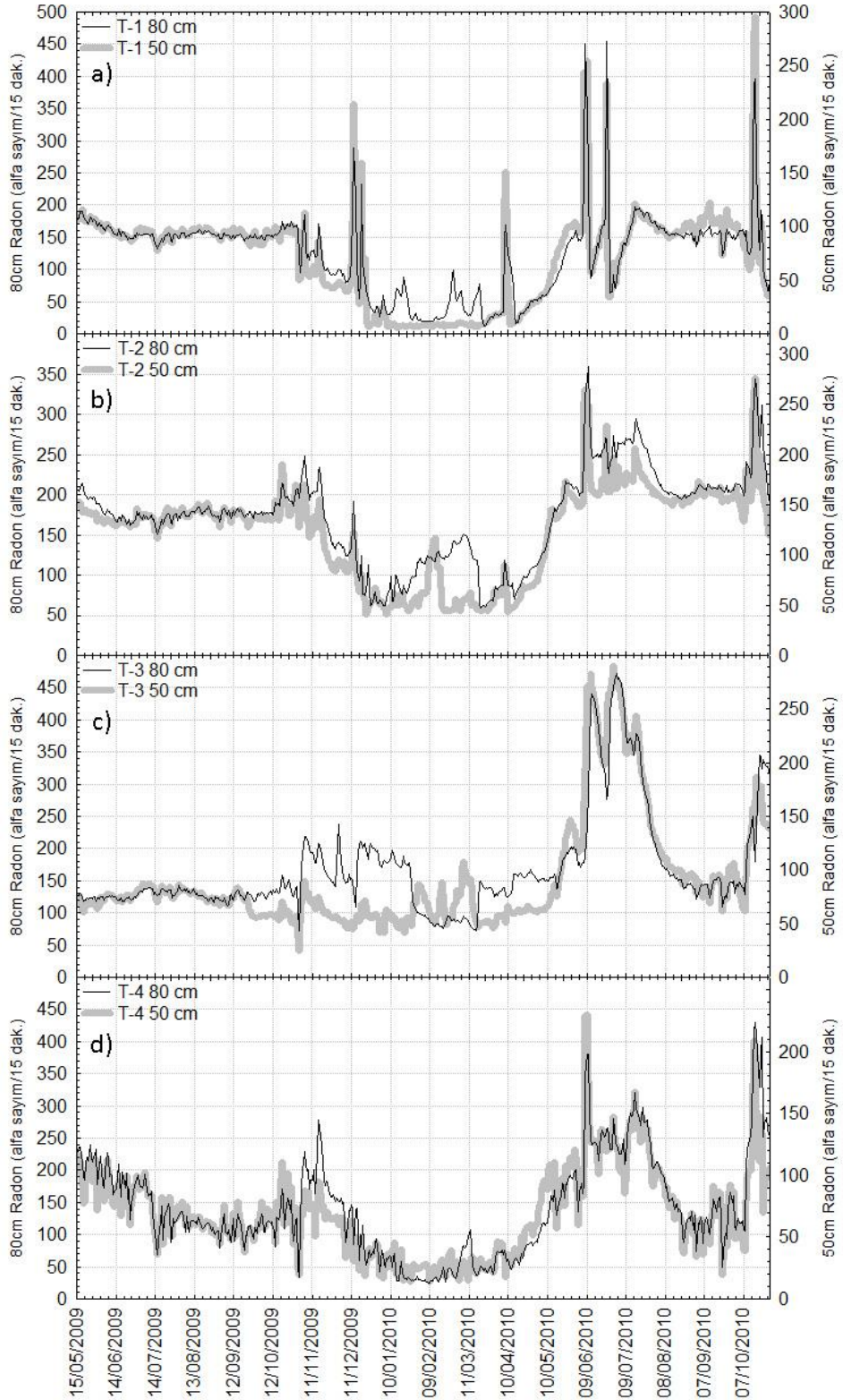
Şekil 4.106: Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş radon gazı değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.

Gebze test sahasında yer alan ve dört farklı zemin tipini temsil eden istasyonlarda 50 cm ve 80 cm derinlik seviyelerinde ölçülen toprak radon gazı grafiklerinin yer aldığı Şekil 4.105 incelendiğinde, radon konsantrasyonunun genel olarak 80 cm derinlikte 50 cm'ye nazaran daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Kabaca, Aralık-Nisan ayları arasında radon gazı değerleri her iki derinlik seviyesinde de ciddi oranda azalmakta olup iki seviye arasında ölçülen değerler birbirine çok yaklaşmaktadır. Dane boyu dağılımı açısından silt baskın ve mineralojik bileşim açısından da diğer istasyonlardan farklı olarak kalsiyum karbonat açısından zengin olan T-3 istasyonu bu genel durumdan biraz farklı davranmış olup, iki seviye arasındaki fark Ekim-Ocak aylarında daha da artmış, sadece Ocak-Şubat aylarında iki ölçüm derinliği arasındaki fark azalmıştır. İki farklı seviyede ölçülen radon gazı değerlerini saçılım grafiklerine bakıldığında (Şekil 4.106) farklı derinliklerde ölçülen değerlerin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu ($r^2 \sim 0.9 - \sim 0.7$) görülmektedir. T-3 istasyonunda bu ilişki nispeten biraz daha zayıf kalmıştır ($r^2 = 0.7$). T-1, T-2, T-3 ve T-4 istasyonlarında, dane boyu dağılımına göre kumdan kile doğru giderken, korelasyon eğrisinin apsisi kestiği noktanın gittikçe orjine yaklaşması

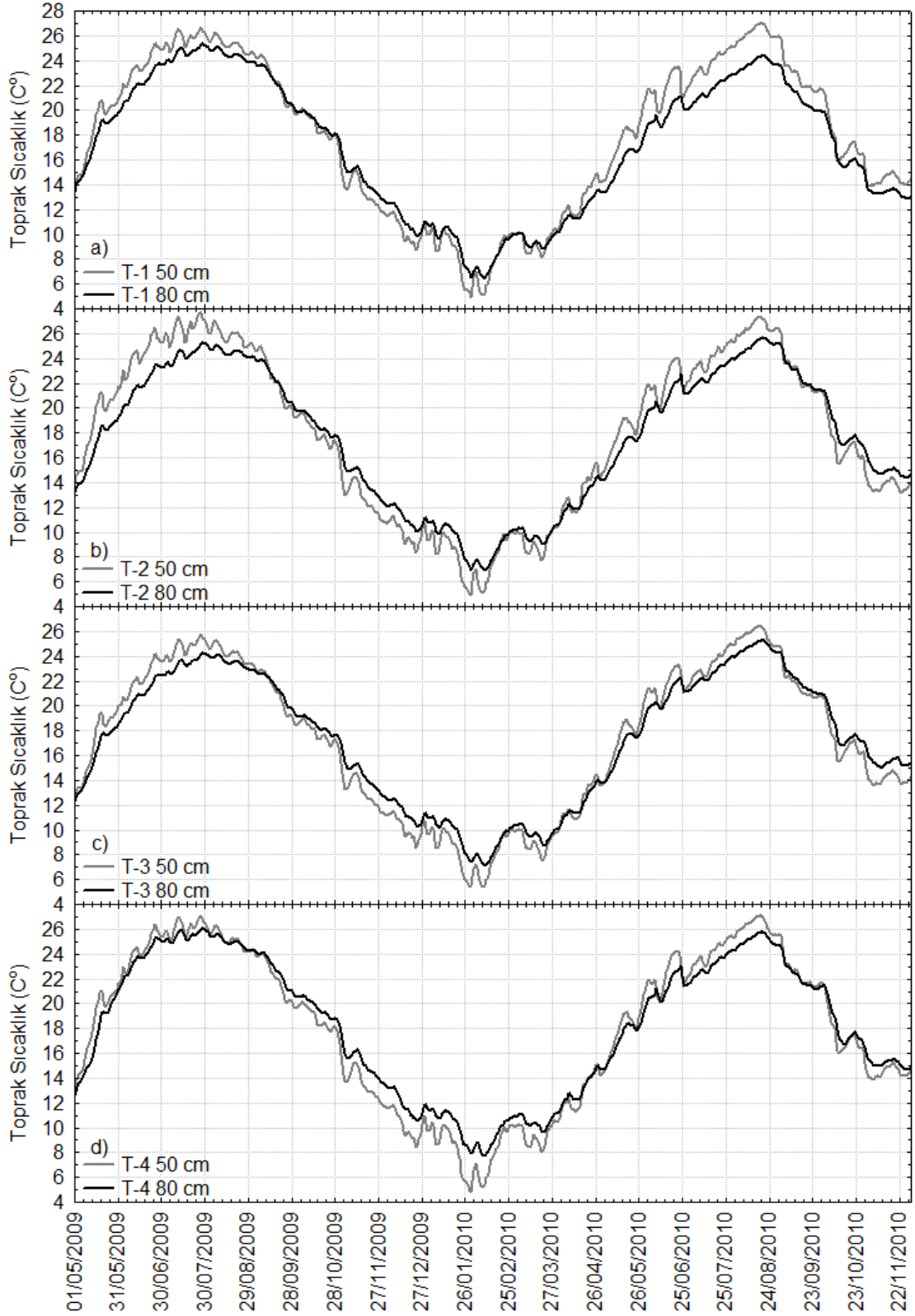
dikkat çekmektedir. Bu durum, zeminde hakim dane boyunun küçülmesinin, farklı derinlikler arasındaki radon gazı farkını arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Difüzyon katsayısı düşük olan silt-kil gibi ortamlarda derinlerden gelen radon gazı yüzeye doğru kolayca ulaşamadığından, derin ile sığ ölçümler arasında gaz miktarı farkı yüksek olmaktadır. Daha gözenekli ortamlarda ise difüzyon katsayısı yüksek olduğu için derinden gelen radon gazı yüzeye doğru daha kolay hareket edebilmekte ve böylece derin ile sığ arasındaki fark azalmaktadır.

50 cm ile 80 cm ölçüm derinlikleri arasında radon gazının sinyal/gürültü oran farkını net görebilmek için, her bir istasyonda 50 cm ve 80 cm radon ölçüm değerleri için ayrı eksenlerin kullanıldığı ve değerlerin nispeten yüksek olduğu yaz aylarındaki ölçümlerin üst üste çakıştırıldığı yeni grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.107). Grafikler incelendiğinde, genel olarak 50 cm'deki anlık değişimlerin 80 cm'ye nazaran biraz daha belirgin olduğu, mevsimler bazındaki uzun süreli salınımların ise hemen hemen aynı oranda gerçekleştiği görülmektedir. Ocak 2010 - Mart 2010 tarihleri arasında kum dolu T-1 istasyonunda 50 cm'de radon değerleri sıfıra'a oldukça yaklaşmakta ve aynı dönemde 80 cm'de görülen değişimleri göstermemektedir. Bunun nedeni, kum'un yağışlı dönemde diğer zeminlere nazaran çok daha fazla suya doyması ve bu nedenle derinlerden gelen radon gazının yukarıya hareketini bir ölçüde engellemesi olmalıdır.

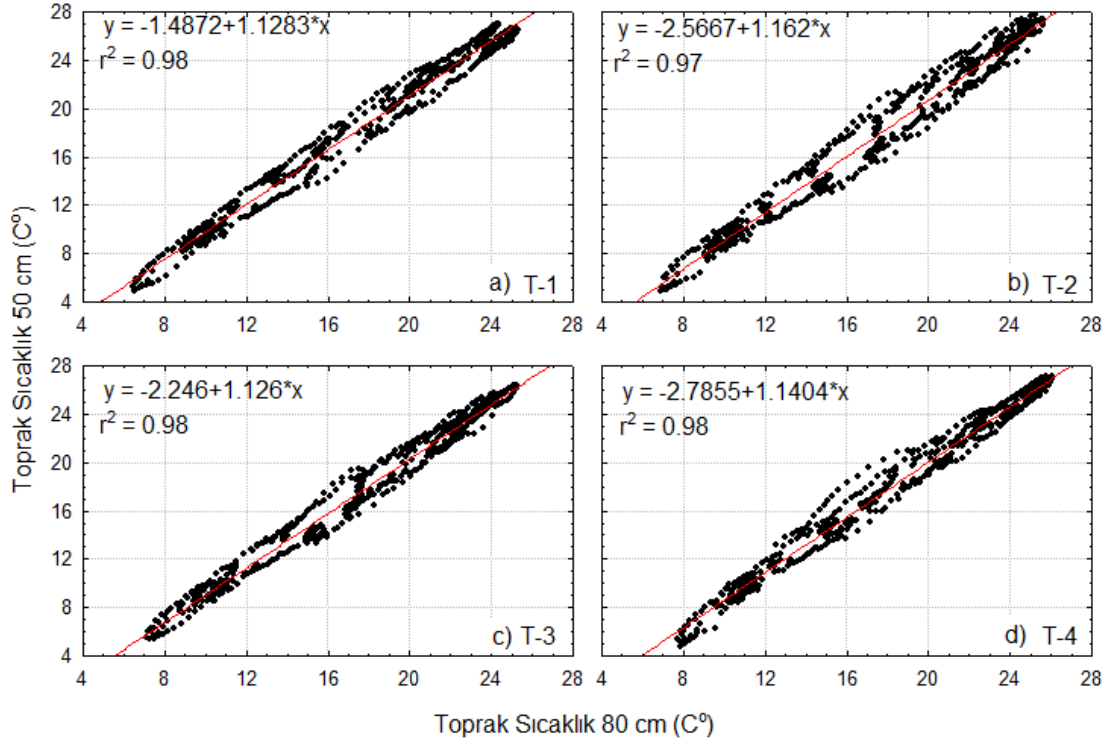
Gebze istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm ve 80 cm derinliklerinde ölçülen toprak sıcaklık değerlerinin yer aldığı Şekil 4.108 incelendiğinde, her dört toprak tipinde de seviye farklarına göre birbirine oldukça benzer değişimler ölçüldüğü görülmektedir. Şekil 4.109'deki saçılım grafikleri de zaten bu tespiti doğrulamaktadır ($r^2 \approx 1.0$). Yaz aylarında 50 cm derinliğindeki toprak, 80 cm'ye nazaran daha sıcakken; kış aylarında ise 50 cm 80 cm'ye nazaran daha soğuktur. Toprak sıcaklığının hava sıcaklığının kontrolünde olduğu yerlerde bu zaten beklenen olağan bir durumdur. 50 cm derinliğindeki toprak sıcaklığı, dış hava sıcaklığı ve toprak içine sızan yağış kontrolünde değişim gösterirken, 80 cm derinliğinde bu değişim yine mevcut olmakla birlikte nispeten daha zayıf izlenmektedir. Kış aylarındaki uyumsuz anomali trendlerinin nedeni de bu olmalıdır.



Şekil 4.107: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri kalın çizgi) ve 80 cm (siyah ince çizgi) derinliklerinde ölçülen radon gazı değerlerinin ayrı eksenli grafikleri.



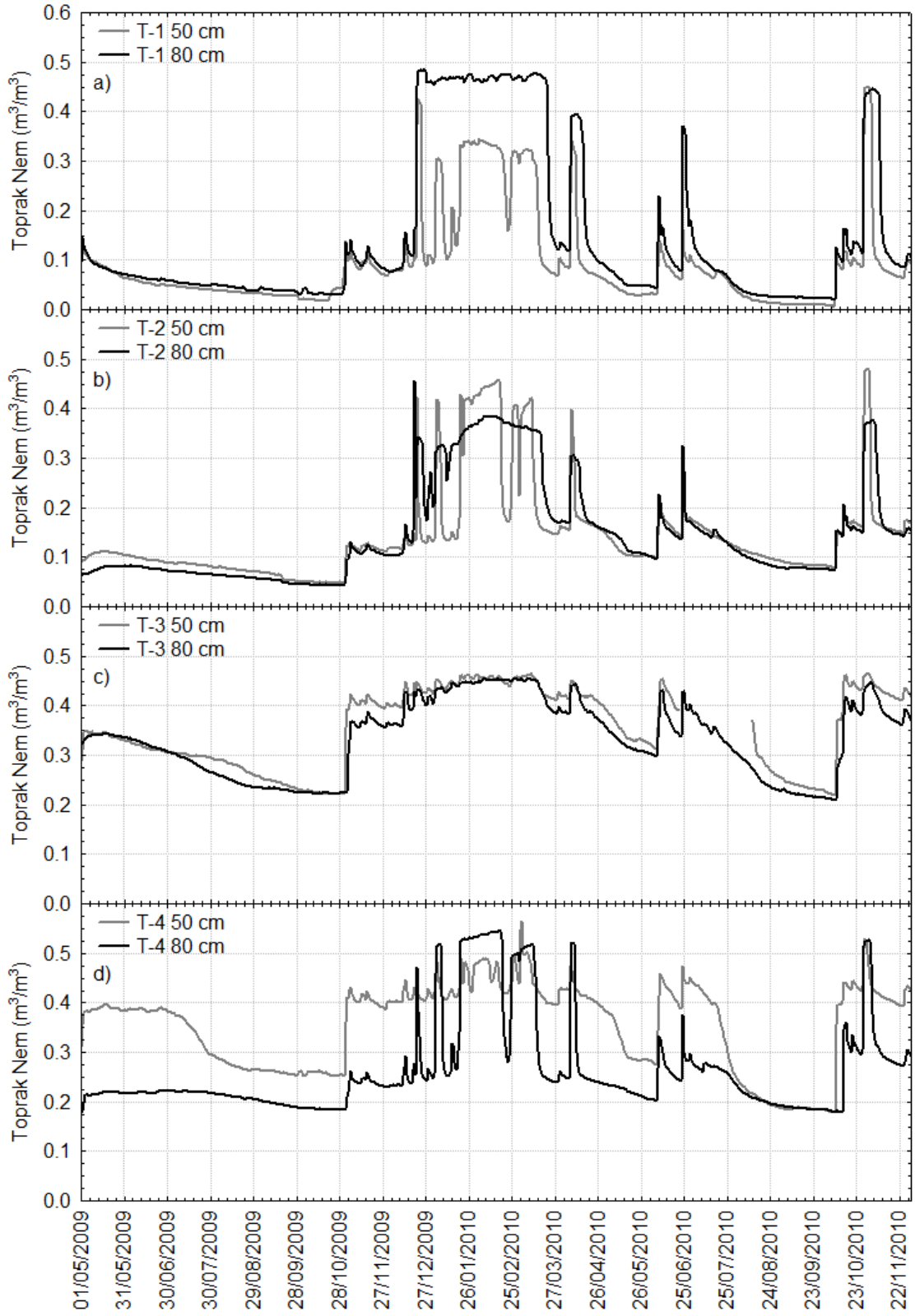
Şekil 4.108: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen toprak sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi.



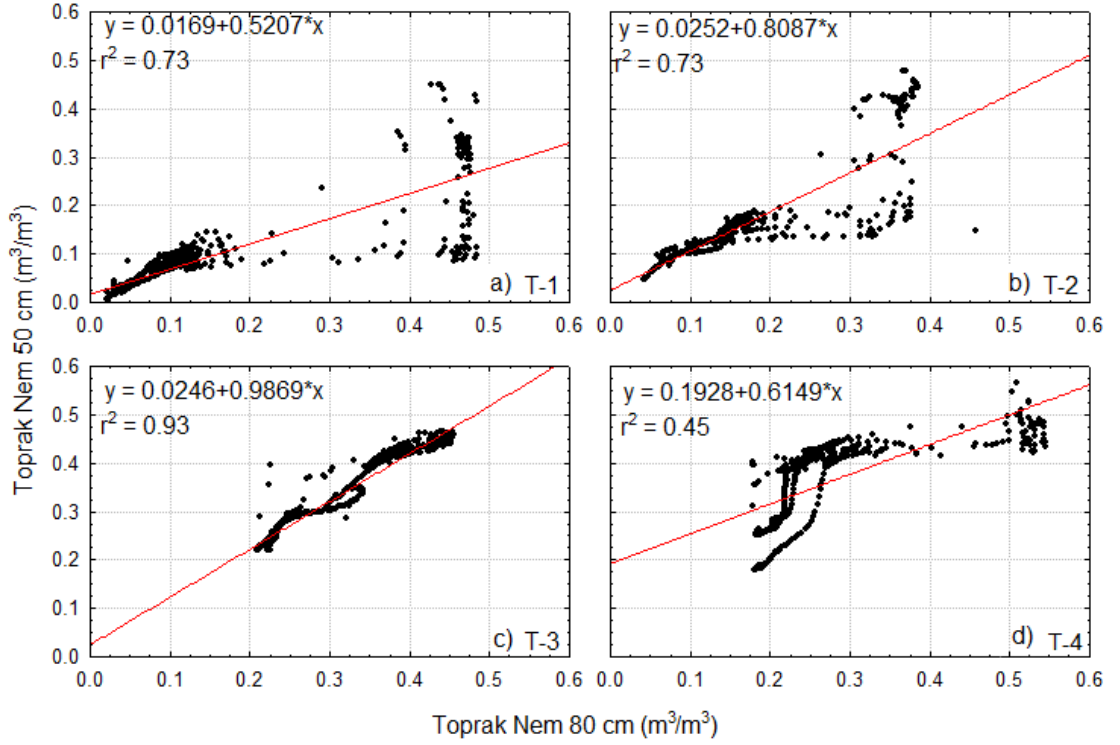
Şekil 4.109: Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş toprak sıcaklık değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.

Farklı derinliklerde ölçülen toprak nem verilerinin yer aldığı Şekil 4.110'e bakıldığında grafikler arasında belirgin farklılıklar göze çarpmaktadır. Her toprak tipinde de iki farklı seviyedeki nem verileri arasında farklı davranışlar söz konusudur. Bu aşamada, toprak nem sensörleri ile ölçümler yapılırken, bu sensörlerin toprağa yerleştirme aşamasında yaşanması olası sorunlardan olan, algılama yüzeyi ile zemin arasında boşluk kalması veya kaba danelere denk gelinmesi gibi olasılıklardan dolayı farklı sonuçların elde edilmesinin mümkün olabileceği dikkate alınmalıdır. Özellikle kil baskın T-4 istasyonunda 50 cm'de 80 cm'ye nazaran 2 kata yakın fazla nem ölçülmüş olmasının olası bir sensör yerleşim sorunundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak bakılırsa, gerek 50 cm gerekse 80 cm derinlikte de toprak nem değerlerinin, ilkbahar ve yaz aylarında artan sıcaklık ile birlikte gittikçe azaldıkları, Ekim ayında başlayan yağış dönemi ile birlikte ani olarak arttıkları, kış aylarında yüksek (suya doymuş) seviyelerde oldukları, ani yağışlara bağlı olarak hemen hemen eş zamanlı ani değişimler sergiledikleri anlaşılmaktadır. T-1 ve T-2 istasyonlarında birbirine benzer olarak, kış

aylarında 80 cm'deki toprak nem verilerinin belirli bir seviyeye ulaştığında nispeten değişmeden kaldığı, 50 cm'de ise daha çok değiştiği görülmektedir. T-3 istasyonunda ise iki farklı seviye arasında gerek yaz, gerekse kış aylarında oldukça benzer davranışlar meydana gelmiştir. Diğer istasyonlarda kış aylarında görülebilen ani değişimler burada izlenmemiştir. T-4 istasyonu genel olarak T-1 ve T-2 ile benzer hareket etmiş olmakla birlikte, kış aylarındaki ani değişimler burada 50 cm yerine 80 cm'de belirgin bir şekilde kaydedilmiştir. Toprak nem verilerine ait saçılım grafiklerinin yer aldığı Şekil 4.111'te de seviyeler arasında belirgin farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.110: Gebze T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında 50 cm (gri çizgi) ve 80 cm (siyah çizgi) derinliklerinde ölçülen toprak nem değerlerinin zamana bağlı değişimi.

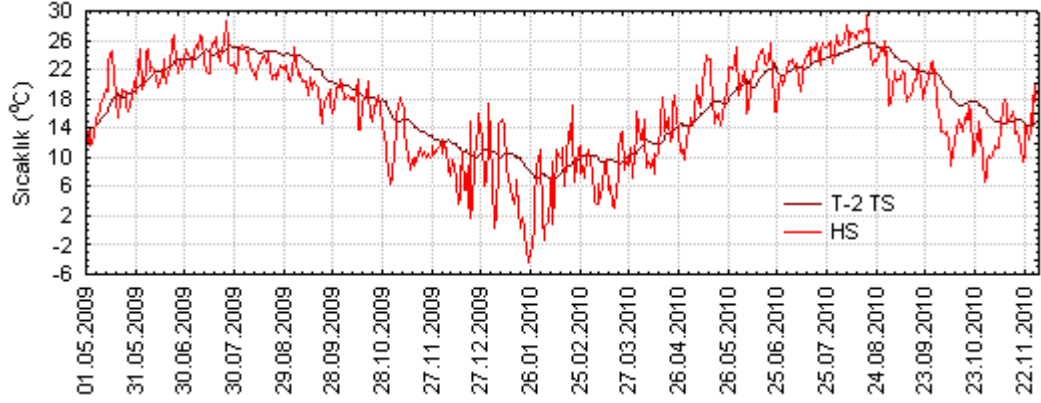


Şekil 4.111: Gebze test sahasında yer alan T-1 (a), T-2 (b), T-3 (c) ve T-4 (d) istasyonlarında 80 cm (x eksen) ve 50 cm (y eksen) derinliklerinde kaydedilmiş toprak nem değerlerinin (siyah noktalar) saçılım grafikleri. Veriler için en uygun doğrusal eğilim çizgisi kırmızı ile gösterilmiş olup, bu çizgiye ait formüller ile korelasyon katsayıları ayrıca belirtilmiştir.

4.4.1.3. Toprak Sıcaklığı

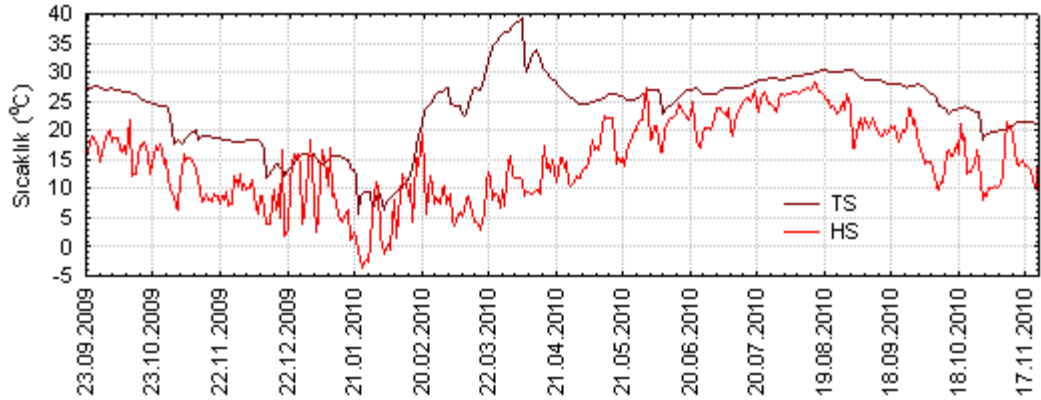
Gebze'yi temsil eden T-2 istasyonuna ait toprak sıcaklığının hava sıcaklığı ile birlikte zaman bağlı olarak çizdirildiği Şekil 4.112'de, toprak içindeki sıcaklık değişiminin hava sıcaklığındaki genel trend ile oldukça uyumlu hareket ettiği görülmektedir. Hava sıcaklığındaki ani değişimlerin zemin içine aynı hızla etki edemediği, daha yumuşak ve geniş zaman aralığına yayılan değişimlere neden olduğu da açıktır. Hava sıcaklığının çok düştüğü kış aylarında toprak sıcaklığı da azalmakla birlikte, gözlem süresi boyunca 6 derecenin altına inmemiştir.

Armutlu istasyonuna ait toprak ve hava sıcaklık verilerinin yer aldığı Şekil 4.113'ye bakıldığında, Gebze istasyonu ile pek uyuşmayan bir davranış görülmektedir. Toprak sıcaklığı genel anlamda hava sıcaklığı trendi ile uyumlu seyretmiş olmakla birlikte, ölçüm süresi boyunca havadan daha sıcak olması dikkat çekmektedir. Özellikle Mart-Mayıs 2010 tarih aralığında bu fark iyice belirginleşmekte ve genel gidişten oldukça farklı ve beklenmedik bir toprak sıcaklık artışı görülmektedir.

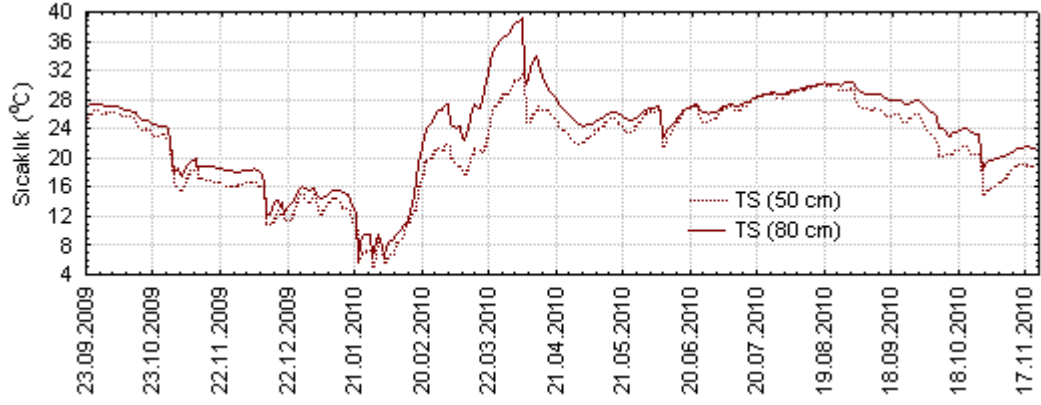


Şekil 4.112: Gebze T-2 istasyonunda 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi.

50 cm ve 80 cm derinliklerinde kaydedilmiş olan toprak sıcaklık değerlerinin yer aldığı Şekil 4.114'e bakıldığında söz konusu tarih aralığında 80 cm derinliğindeki toprak sıcaklığının 50 cm'deki toprak sıcaklığına nazaran oldukça fazla olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkılarak, Mart-Mayıs 2010 tarih aralığındaki anormal sıcaklık artışının yüzeysel değil, derin kökenli olduğu çok net bir şekilde söylenebilmektedir. Diğer sahalara nazaran buradaki farklı gözlemler, Armutlu istasyonunun aktif jeotermal bir sahada yer almasından ve derin kökenli sıcak su varlığından kaynaklanmaktadır. Mart-Nisan 2010 dönemindeki aşırı sıcaklık artışının bölgedeki sıcak su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak ve/veya daha sıcak bir suyun o dönemde sisteme eklenmesiyle geliştiği düşünülmektedir.

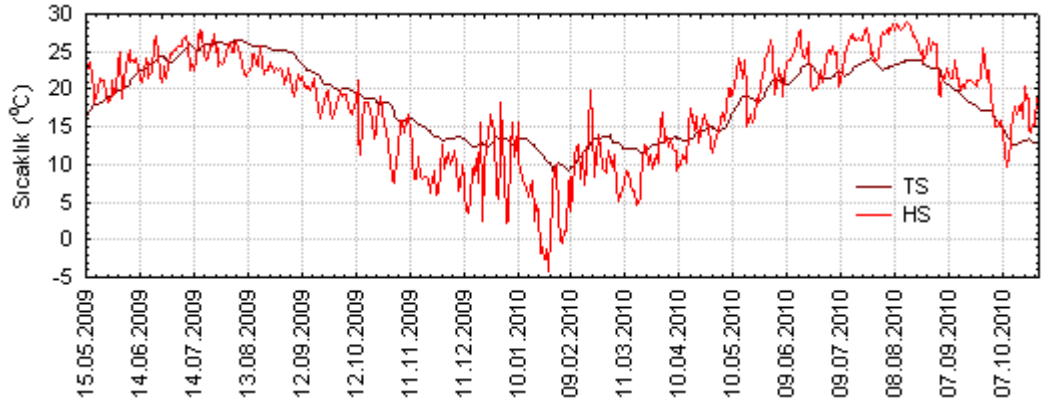


Şekil 4.113: Armutlu istasyonunda 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi.



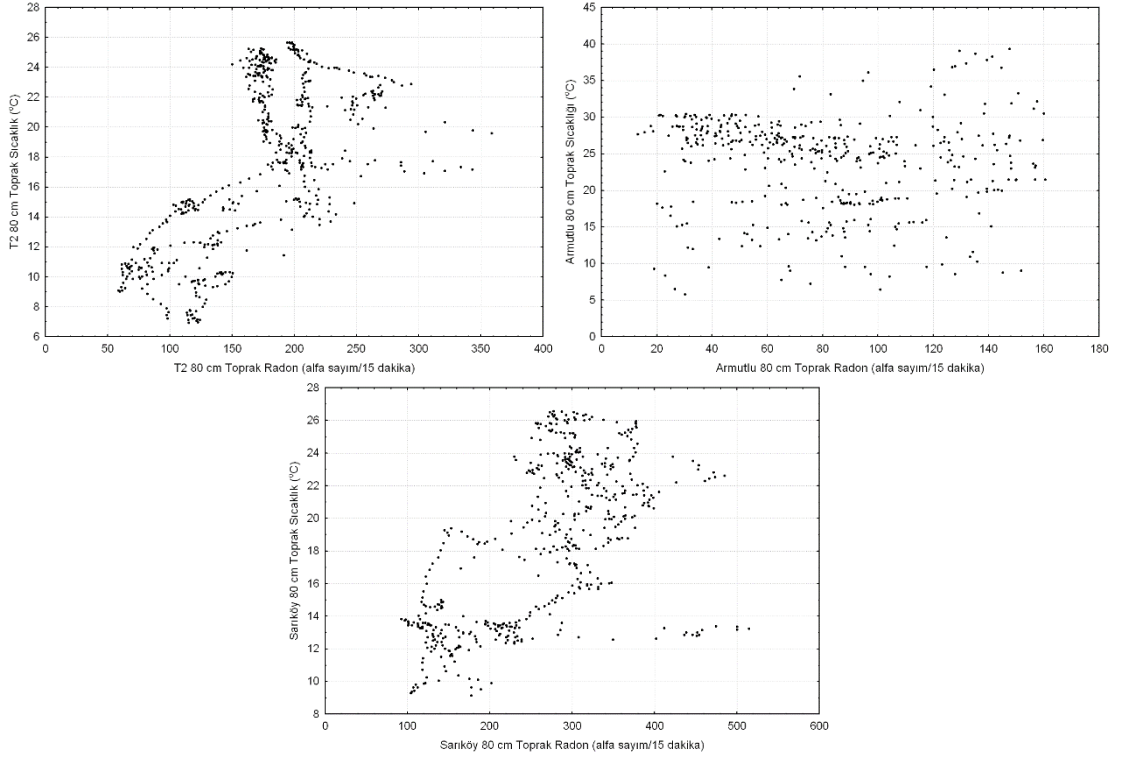
Şekil 4.114: Armutlu istasyonu'nda 50 cm ve 80 cm derinliklerinde ölçülmüş toprak sıcaklığı zaman serisi.

Şekil 4.115'de yer alan Sarıköy istasyonuna ait toprak ve hava sıcaklık grafiği ise Gebze istasyonundaki gözlemler ile uyumlu bir davranış sergilemiştir.



Şekil 4.115: Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında, 80 cm derinliğinde ölçülmüş toprak sıcaklık (TS) ve hava sıcaklık (HS) değerlerine ait zaman serisi.

Toprak ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin bu genel değerlendirmesinin ardından, toprak sıcaklığının radon gazı üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla, Gebze (T2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.116). Çok net olmamakla birlikte, Gebze ve Sarıköy istasyonlarında pozitif yönde ilişkiye işaret eden dağılımlar görülmektedir. Armutlu istasyonunda ise dağılımın iyice saçılmış olması nedeniyle bir yorum yapmak mümkün olmamıştır.



Şekil 4.116: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafikleri.

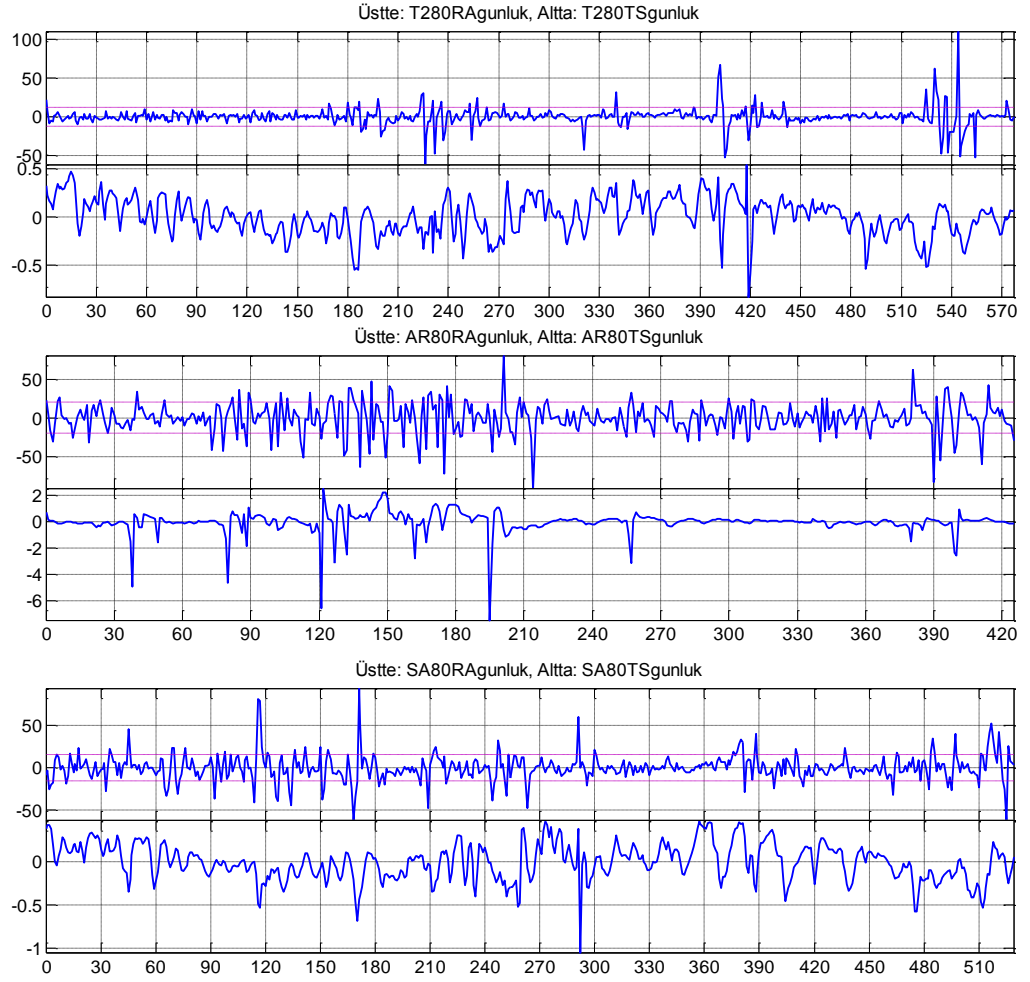
Toprak sıcaklığı ve radon gazı verilerinin EMD yöntemi ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen IMF bileşenleri arasında, ± 0.5 ve üzerinde korelasyon katsayısına sahip bileşenler incelendiğinde (Tablo 4.13), Gebze ve Sarıköy istasyonlarında 1 ila 1.5 yıl arasında hesaplanan periyotlara sahip uzun dönemsel değişimlerde, toprak radon gazı ile toprak sıcaklığı arasında pozitif korelasyon görülmektedir. Bu bulgu, hava sıcaklığının tartışıldığı bölümdeki sonuçlar ile uyumludur. Mevsimsel bazda artan sıcaklığın radon gazının difüzyonunu hızlandırarak konsantrasyon artışına neden olduğu düşünülmektedir. Sarıköy istasyonundaki 2-4 aylık periyotlara sahip bileşenler arasında tespit edilen ± 0.5 'lik negatif ve pozitif korelasyonlara ise bir açıklama getirilememiştir.

Tablo 4.13: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait toprak sıcaklığı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Toprak Sıcaklığı	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-4 (~1 yıl)	IMF-6 (~1 yıl)	+0.5
Armutlu	-	-	-
	IMF-3 (~2 ay)	IMF-5 (~3 ay)	-0.5
Sarıköy	IMF-4 (~4 ay)	IMF-5 (~3 ay)	+0.5
	IMF-5 (~1.5 yıl)	IMF-6 (~9 ay)	+0.7

Armutlu istasyonunda ise EMD analizi ile elde edilen IMF bileşenleri arasında anlamlı bir korelasyon değeri elde edilememiştir. Bunun başlıca nedeni, toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin tartışılması sırasında dikkat çeken, Mart-Nisan 2010 tarih aralığındaki anormal ve derin kökenli toprak sıcaklık artışının oluşturduğu uyumsuzluktur.

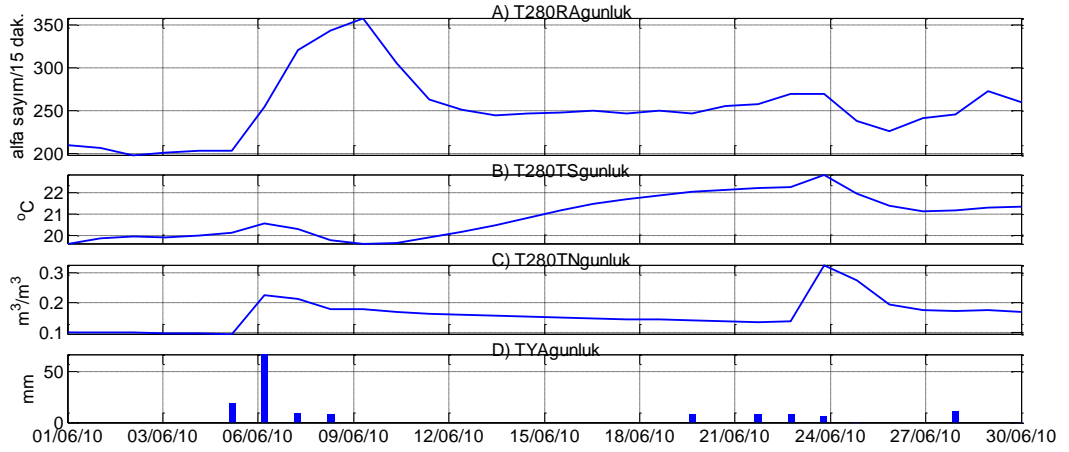
Verilerdeki anlık değişimleri incelemek amacıyla oluşturulan türev grafikleri (Şekil 4.117) incelendiğinde, Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında toprak sıcaklığı ile radon gazı arasında yer yer eş zamanlı değişimler dikkat çekmektedir. Söz konusu eş zamanlı değişimlerin baskın olarak görüldüğü dönemlere örnek olarak, Gebze için 390-420'inci günler, Armutlu için 115-146'ıncı günler ve Sarıköy için 150-180'inci günler verilebilir. Bu eş zamanlı değişimleri daha detaylı incelemek amacıyla, her üç istasyon için benzerliğin baskın olduğu tarih aralıkları için, radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem ve yağış verilerinin bir arada yer aldığı grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.118, Şekil 4.119, Şekil 4.120). Bu grafikler detaylı olarak incelendiğinde, radon gazı ile ilişkili gibi görünen toprak sıcaklığındaki anlık değişimlerin tümüyle yağmur ve ona bağlı toprak nemine bağlı olduğu görülmektedir. Gebze (T-2) istasyonunda 12.06.2010-21.06.2010 tarih aralığında 2°C artan toprak sıcaklığına rağmen toprak radon gazı değişim göstermemiştir. Buradan esas rol oynayan parametrenin toprak sıcaklığı yerine, yağış ile birlikte değişen toprak nemi olduğu ortaya çıkmaktadır.



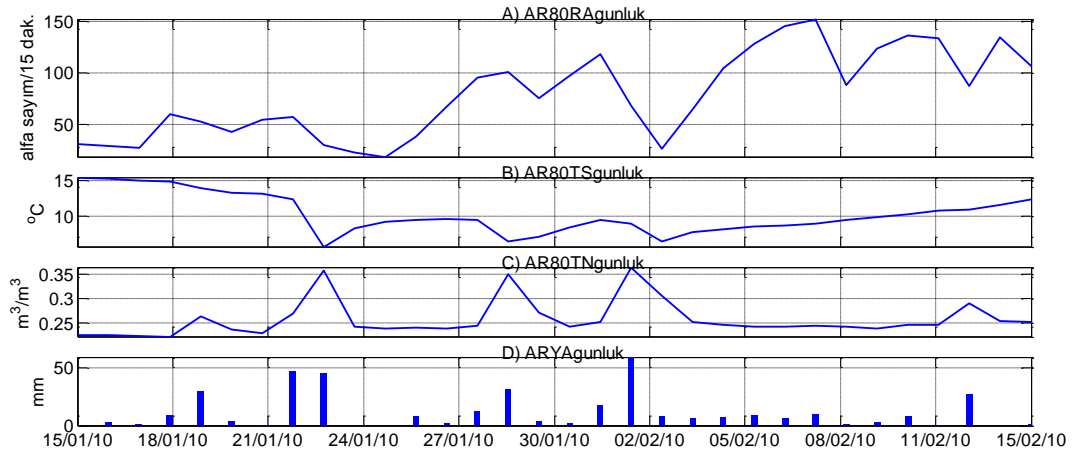
Şekil 4.117: Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile toprak sıcaklık (TS) değerlerinin türev (fark) grafikleri.

Yağış ile birlikte toprağı sızan yağmur suyu, toprak nemini arttırmakta, aynı zamanda toprak sıcaklığını da etkilemektedir. Toprak nemi ile radon gazı arasındaki ilişki bir sonraki başlık altında detaylı olarak ele alınmıştır. Şekil 4.118’de yağış ile eş zamanlı görülen sıcaklık artışı yaz aylarında yağın yağmur ile birlikte atmosfer ve toprak yüzeyindeki sıcaklığın, Şekil 4.119’de ise tam ters şekilde kış aylarında atmosfer ve toprak yüzeyindeki soğukluğun yağış ile birlikte zemin içinde aşağıya transfer olmasına bağlıdır.

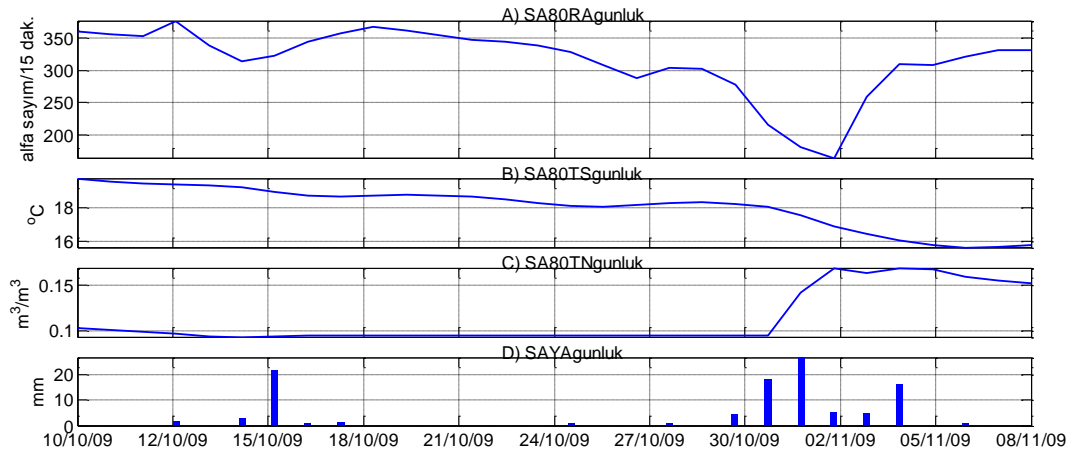
Toprak sıcaklığı ile toprak radon gazı arasında zaman zaman görülen benzer davranışların esas nedeninin toprak sıcaklığının kendisinin olmayışı ve radon gazında meydana gelen anlık değişimlerin toprak sıcaklık verilerinde tümüyle bir karşılığı bulunamadığından dolayı iki parametre arasında anlık değişimler açısından anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.118: Gebze T-2 istasyonunda 01.06.2010-30.06.2010 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri.



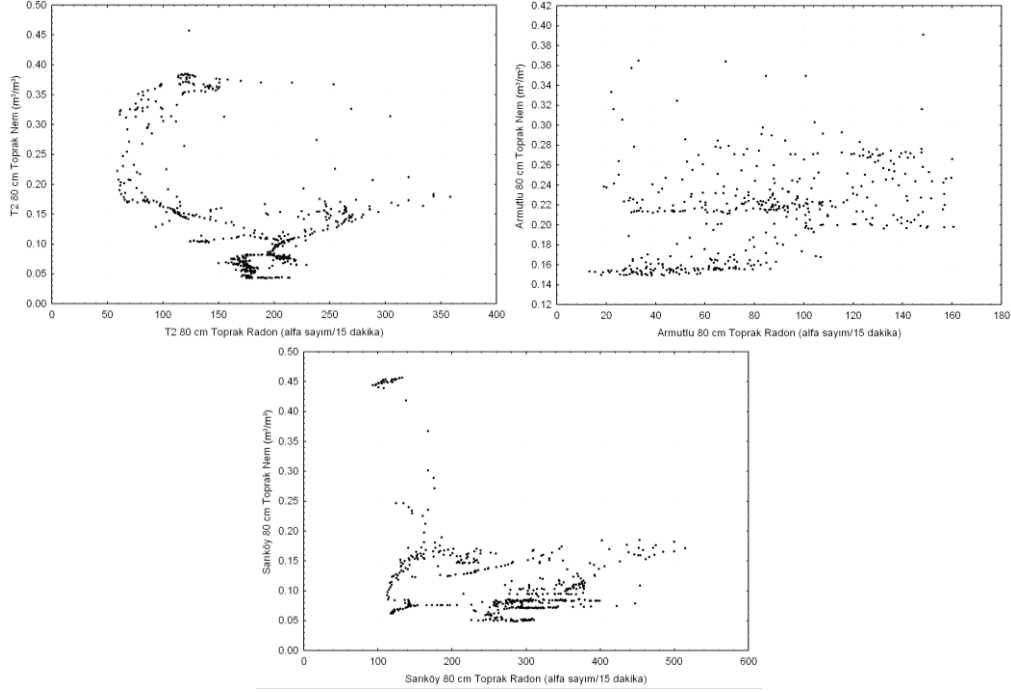
Şekil 4.119: Armutlu istasyonunda 15.01.2010-15.02.2010 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri.



Şekil 4.120: Sarıköy istasyonunda 10.10.2009-08.11.2009 tarih aralığında kaydedilmiş toprak radon gazı (A), toprak sıcaklık (B), toprak nem (C) ve yağış (D) verilerine ait zaman serileri.

4.4.1.4. Toprak Nemi

Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak nem verileri arasındaki saçılım grafiklerine baktığımızda (Şekil 4.121), çok net olmamakla birlikte, Gebze istasyonunda hem pozitif hemde negatif yönde ilişkiye yorumlanabilecek dağılımlar göze çarparken, Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında böyle bir yorum yapabilmek güçtür.

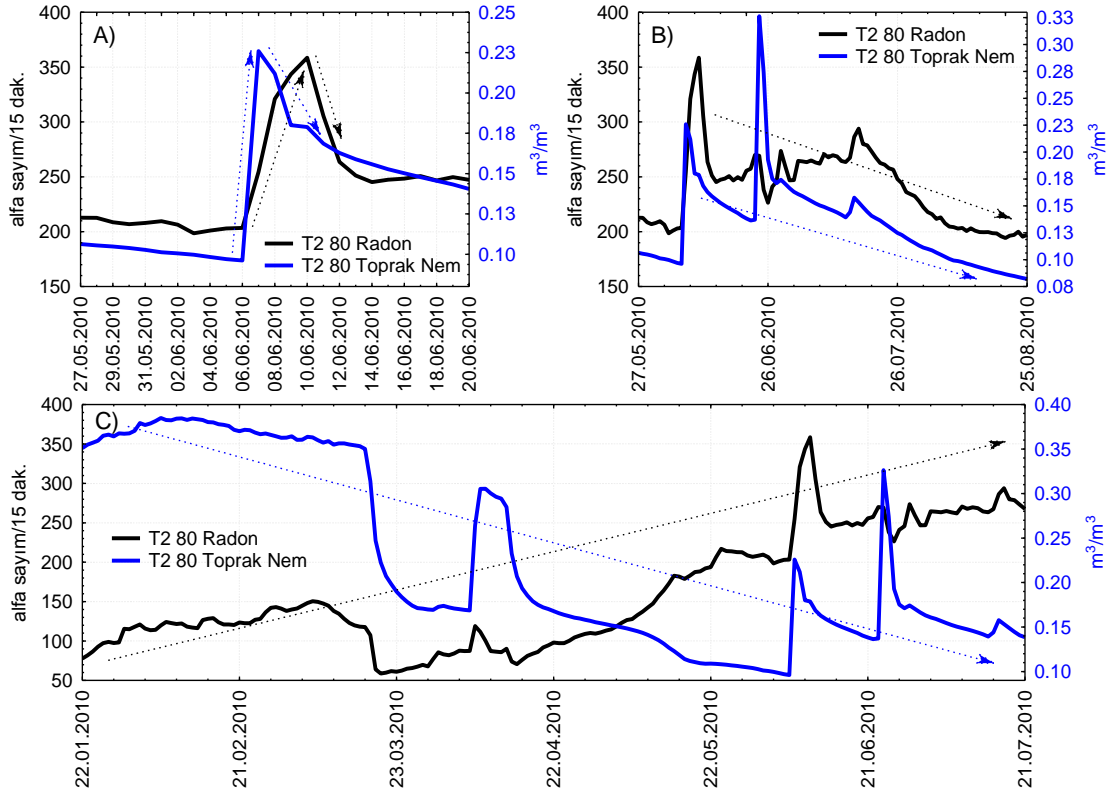


Şekil 4.121: Gebze (T-2) Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile toprak nem verileri arasındaki saçılım grafikleri.

Saçılım grafikleri ardından, veri analiz prosedürünün (Şekil 4.17) bir sonraki adımı olan EMD analizi sonucunda elde edilmiş IMF bileşenleri arasında hesaplanan ± 0.5 ve üzeri korelasyon katsayılarına bakıldığında (Tablo 4.14), Gebze T-2 istasyonunda toprak nemine ait 1. IMF ile radon'a ait 3. IMF arasında ve toprak nemine ait 4. IMF ile radon'a ait 5. IMF arasında $+0.5$ 'lik pozitif korelasyon ve toprak nemine ait 5. IMF ile radon'a ait 6. IMF arasında -0.5 'lik negatif korelasyon değerleri görülmektedir. Bu sonuçlar, toprak nemindeki haftalık ve birkaç aylık süredeki artışlar ile radon değerleri arasında pozitif, daha uzun süreli dönemde ise negatif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu farklı dönemlere ait ilişkiler Şekil 4.122'de günlük ortalama verileri üzerinde şematik bir şekilde gösterilmiştir. IMF bileşenlerinin kısa periyotlarında elde edilen pozitif korelasyon değerleri, türev analizindeki sonuçlar ile tam uyumludur.

Tablo 4.14: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait toprak nem ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Toprak Nem	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-4 (~ 3 ay)	IMF-5 (~ 3 ay)	+0.5
	IMF-5 (~6 ay)	IMF-6 (~1 yıl)	-0.5
Armutlu	IMF-5 (~2.5 ay)	IMF-5 (~4 ay)	+0.7
	IMF-6 (~7 ay)	IMF-6 (~7 ay)	+0.7
Sarıköy	IMF-6 (~3 ay)	IMF-5 (~3 ay)	+0.5
	IMF-8 (~9 ay)	IMF-6 (~9 ay)	-0.9

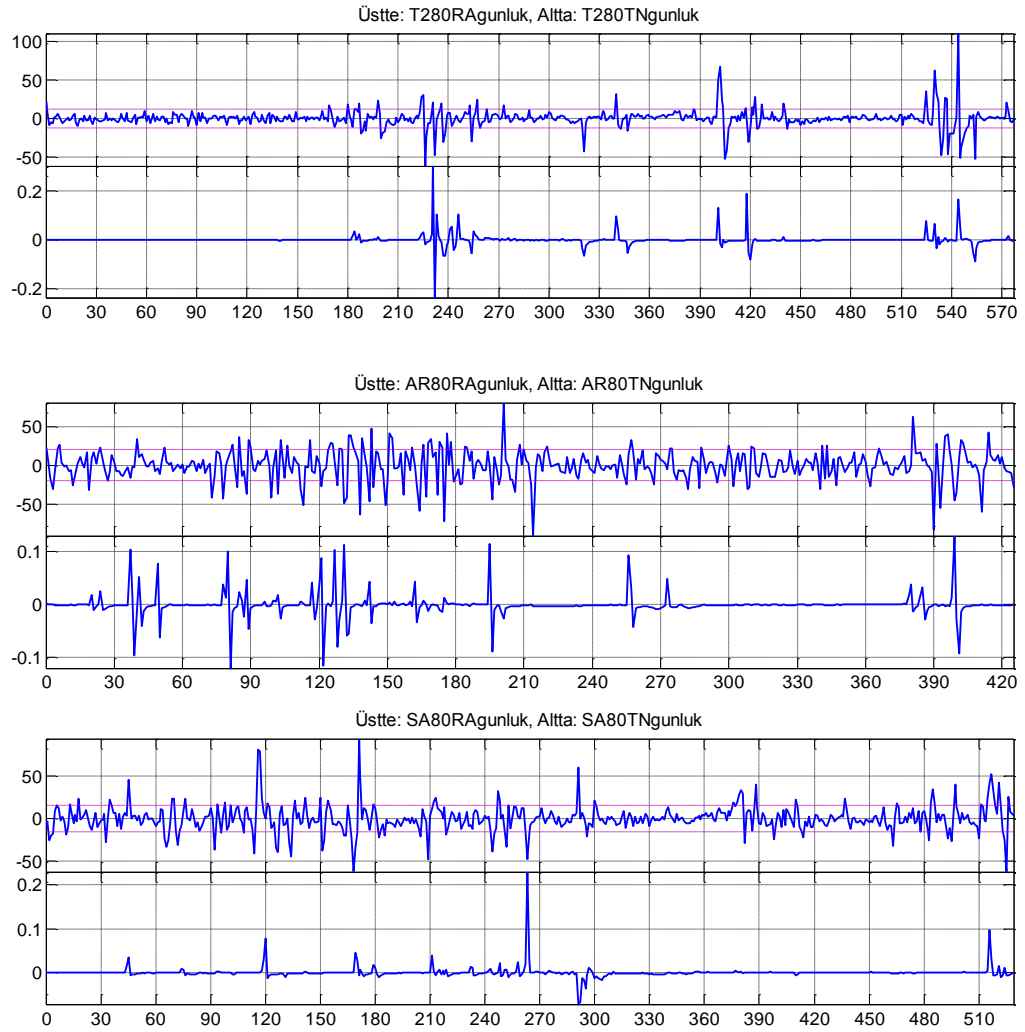


Şekil 4.122: Gebze (T2) istasyonunda kaydedilen toprak radon gazı (siyah kalın çizgi) ve toprak nem (mavi kalın çizgi) verileri arasında tespit edilen yaklaşık 1 haftalık pozitif (A), 3 aylık pozitif (B) ve 6 aylık dönemden uzun negatif korelasyonların verideki karşılığını gösteren grafikler.

Armutlu istasyonunda toprak nem ile radon gazı arasında hem 3-4 aylık, hem de 7 aylık dönemlerde +0.7'lik pozitif ilişki bulunmuştur. Uzun dönemdeki pozitif ilişki toprak neminde olduğu gibi yine Gebze ve Sarıköy istasyonundaki bulgular ile tersine bir sonuçtur.

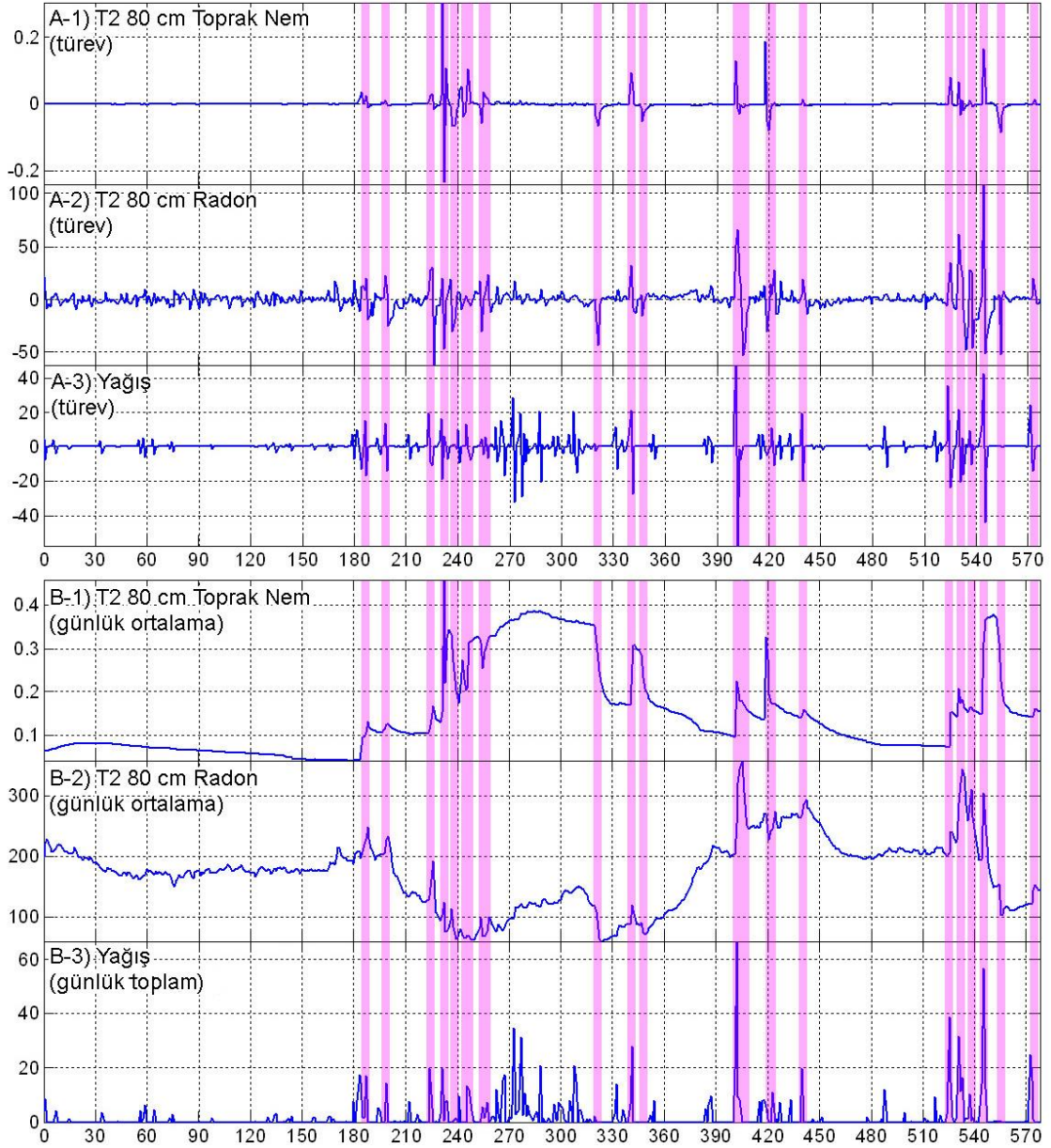
Sarıköy istasyonundaki korelasyon değerleri, Gebze ile oldukça uyumlu bir şekilde, kısa dönemde pozitif, uzun dönemde ise negatif şeklindedir.

Verilerdeki anlık değişimleri incelemek amacıyla oluşturulan türev grafikleri (Şekil 4.123) incelendiğinde, toprak nemindeki anlık değişimlerin radon gazındaki anlık değişimler ile çok belirgin bir şekilde örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 4.123: Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile toprak nem (TN) değerlerinin türev (fark) grafikleri.

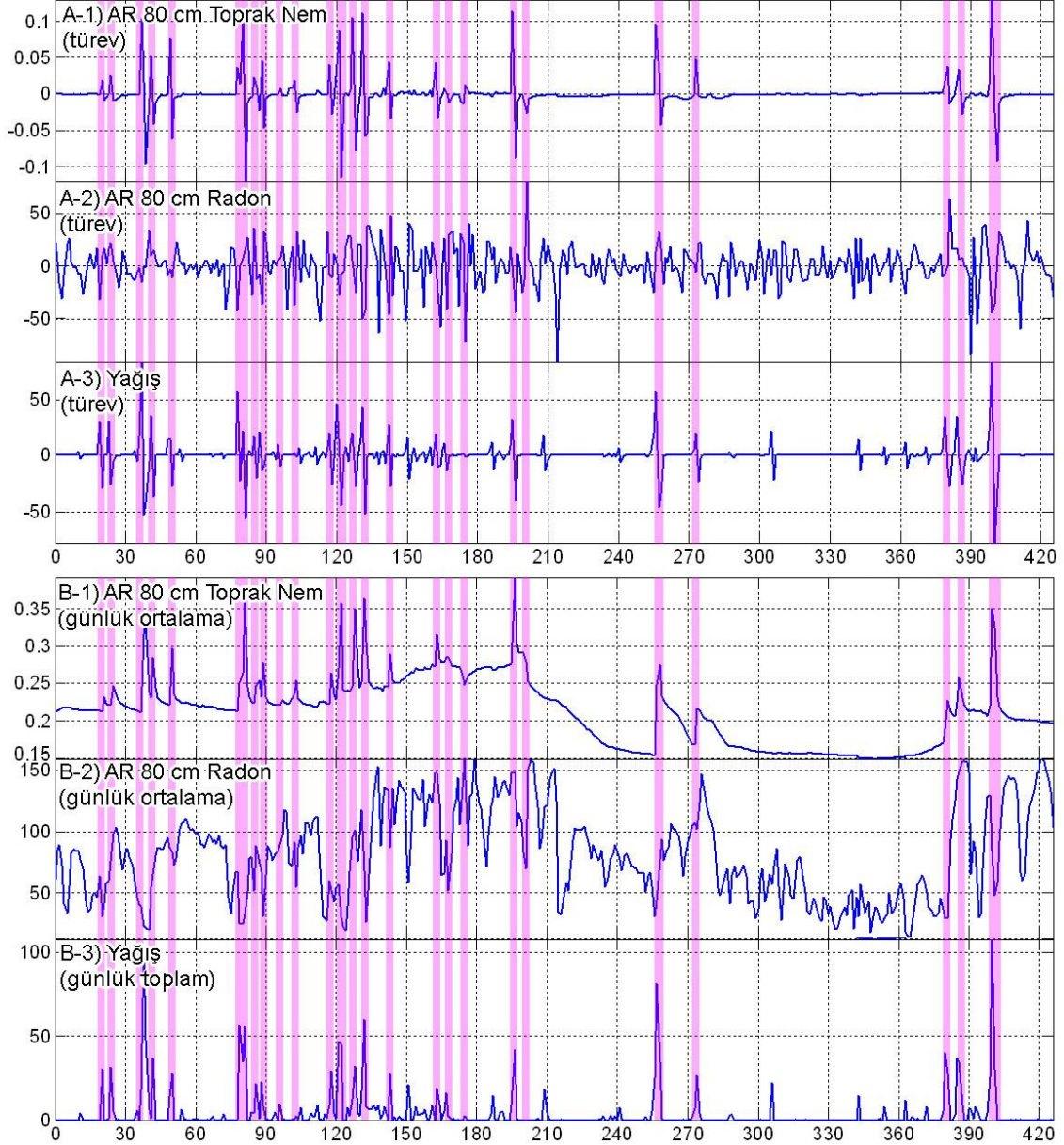
Anlık toprak nem değişiminin etkisini daha net ortaya koyabilmek amacıyla, Gebze T-2, Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında kaydedilen toprak nem, radon ve yağış verileri, hem türev hem de günlük ortalama değerleri şeklinde toplu olarak çizdirilmiştir (Şekil 4.124, Şekil 4.125 ve Şekil 4.126). Söz konusu şekillerde, toprak nem değerlerine ait türev değerlerinde izlenen tüm anlık değişimler diğer grafikleri de kapsayan şeffaf pembe şeritler şeklinde işaretlenmiştir.



Şekil 4.124: Gebze (T-2) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri.

Gebze T-2 istasyonuna ait Şekil 4.124 incelendiğinde, toprak nem verilerindeki tüm anlık değişimlerin toprak radon gazı değerlerinde de değişimlere neden olduğu, radon

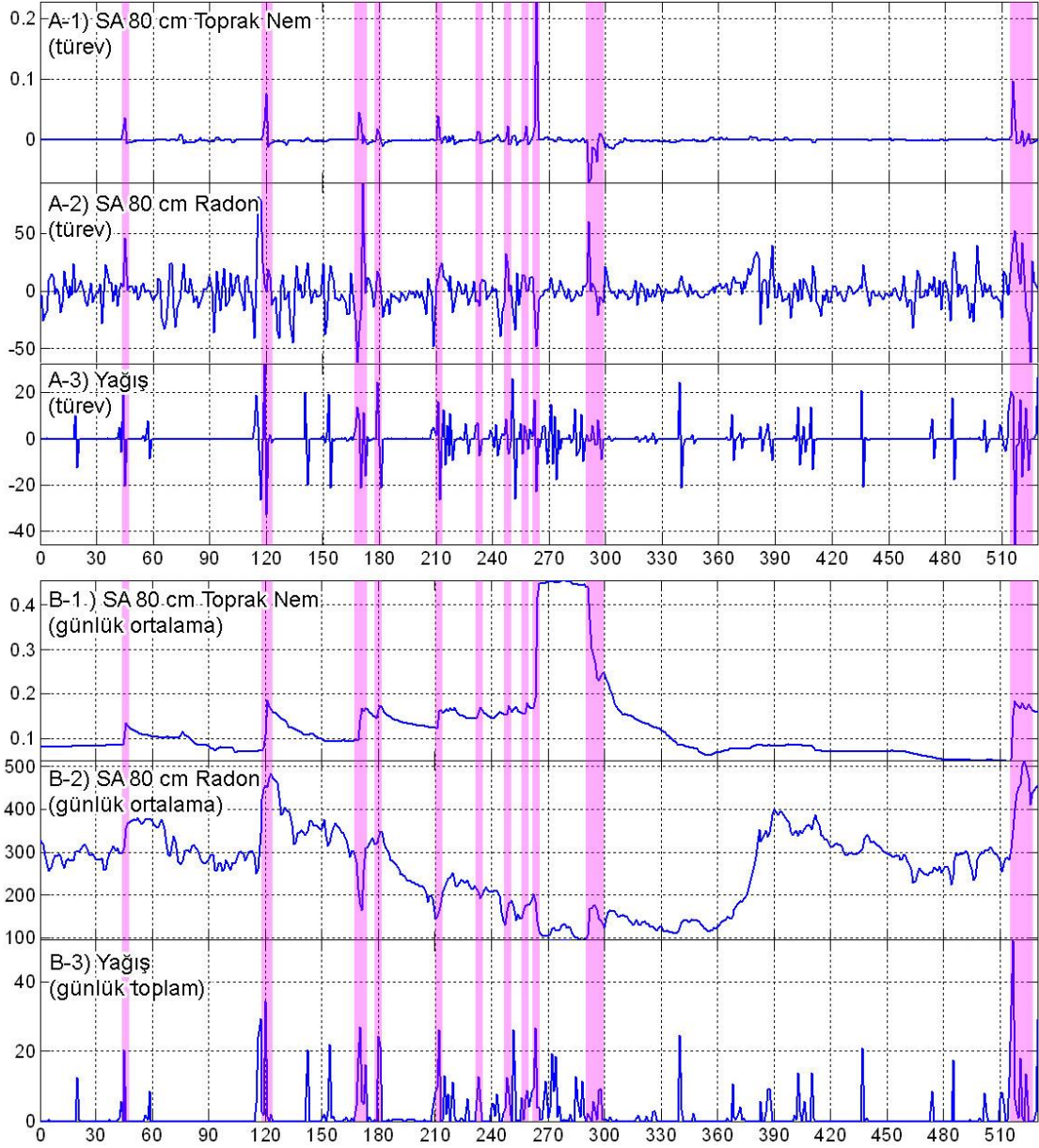
gazındaki tüm belirgin anlık değişimlerin de toprak nem değerlerinde karşılık bulduğu açıkça görülmektedir. Yağış verisi toprak nem değişimi üzerinde başlıca etken olmakla birlikte, ani kuvvetli yağışlar dışında kurak yaz aylarında ve suya doygun kış aylarında gerek toprak nemi gerekse toprak radon gazı üzerinde anlık etki göstermemektedir.



Şekil 4.125: Armutlu (AR) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri.

Armutlu istasyonuna ait Şekil 4.125’de toprak nem verilerindeki tüm ani değişimlerin toprak radon gazı değerlerinde de değişimlere neden olduğu görülmektedir. Gebze T-2 istasyonundan farklı olarak burada radon gazındaki tüm anlık değişimler toprak nem değerlerinde karşılık bulamamıştır. Yağış verisi de birkaç istisna dışında toprak nemi ve toprak radon değerleri üzerinde çoğunlukla etkili olmuştur. Tespit edilen bu farklılığın

Armutlu istasyonunun bulunduğu alanın jeotermal özelliğe sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu farklılık “4.4.2.2 Jeotermal Koşullar” başlığı altında ayrıca ele alınmıştır.



Şekil 4.126: Sarıköy (SA) istasyonunda 80 cm derinlikte kaydedilen toprak nem (1), radon (2) ve meteorolojik yağış (3) verilerine ait türev (A) ve günlük ortalama (B) grafikleri.

Sarıköy (Gönen) istasyonuna ait Şekil 4.126 incelendiğinde, yine Gebze T-2 istasyonu ile uyumlu olarak, toprak nem verilerindeki tüm anlık değişimlerin toprak radon gazı değişiminde de değişimlere neden olduğu; radon gazındaki tüm anlık değişimlerin büyük çoğunluğunun toprak nem değerlerindeki değişimlerde karşılık bulunduğu görülmektedir. Yağış verisi toprak nem değişimi üzerinde başlıca etken olmakla

birlikte, yağış verisindeki anlık değişimlerin her koşulda toprak nem ve radon değerlerini etkilemediği de görülmektedir.

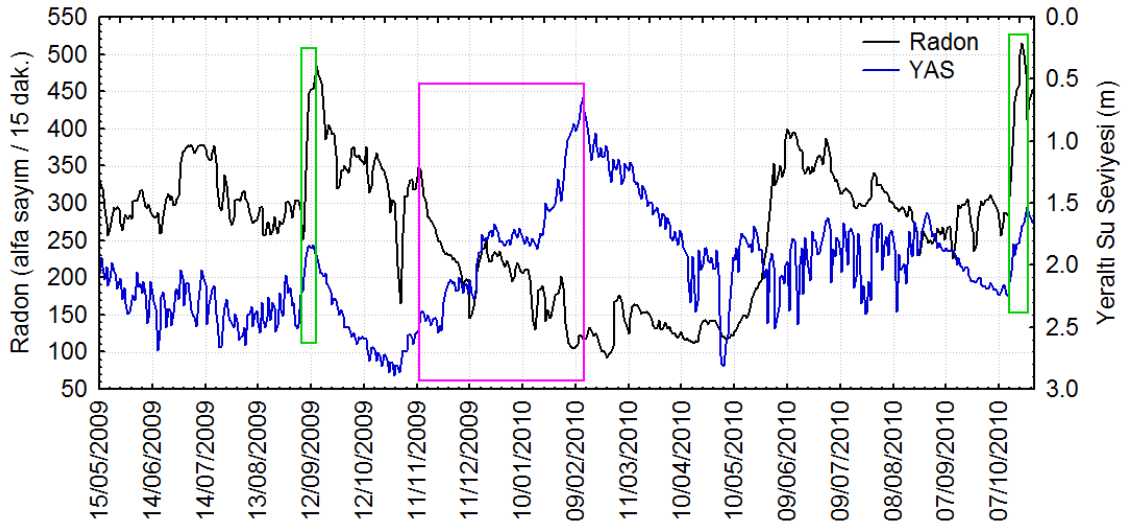
4.4.2. Jeolojik Koşullar

Bu başlık altında yeraltı su seviyesi, jeotermal ve jeodinamik koşulların radon gazının zamansal değişimi üzerinde ne gibi etkilere sahip oldukları irdelenmiştir.

4.4.2.1. Yeraltı Su Seviyesi

Yeraltı su seviyesindeki (YAS) değişimlerin toprak radon gazı hareketi üzerindeki olası etkilerini araştırmak için Gönen Sarıköy’de bir gözlem istasyonu oluşturulmuştur. Bu lokasyonun seçilmesinin nedeni burada YAS gözlemi için elverişli bir su kuyusunun bulunması ve DSİ’nin burada uzun süreli gözlem yapılmasına izin vermiş olmasıdır.

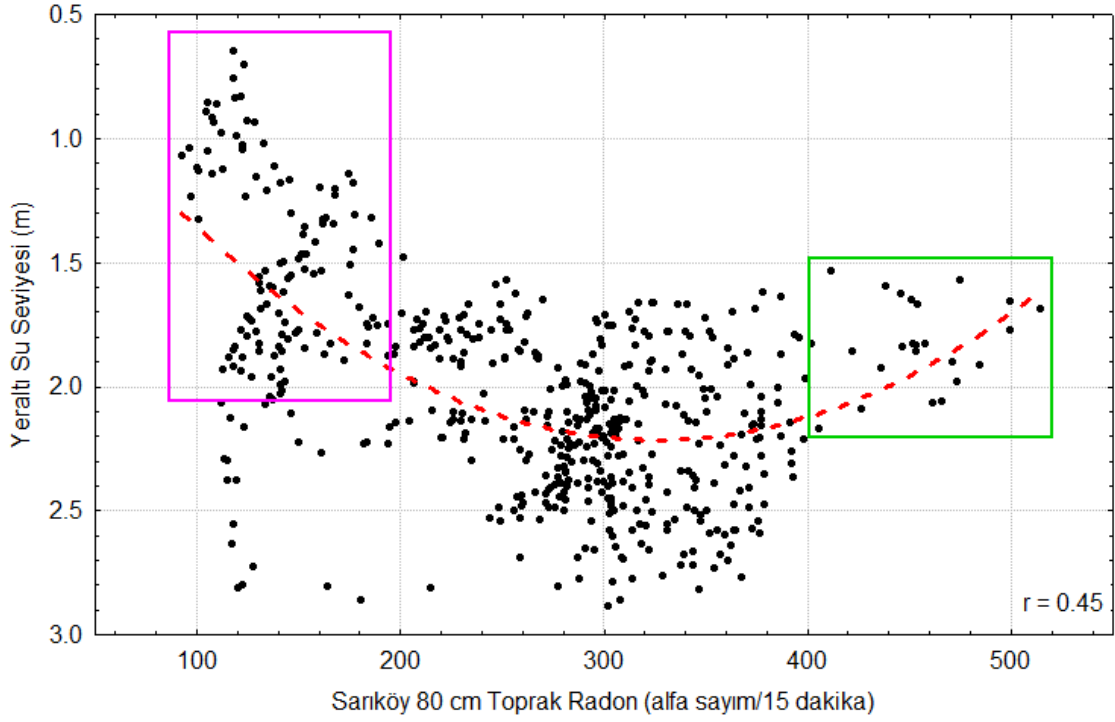
Sarıköy istasyonunda 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında kaydedilmiş olan toprak radon gazı ve yeraltı su seviyesi verileri Şekil 4.127’de bir arada görülmektedir. Grafiğe bakıldığında özellikle Eylül 2009 ve Ekim 2010 tarihlerinde su seviyesinin aniden artması ile birlikte radon gazında artış (yeşil dörtgenler), 2009 Kasım – 2010 Şubat arası dönemde artan su seviyesi paralelinde radon gazında bir düşüş meydana geldiği görülmektedir (pembe dörtgen).



Şekil 4.127: Sarıköy istasyonunda ölçülmüş olan toprak radon (siyah çizgi) ve yeraltı su seviyesi (YAS, mavi çizgi) değerlerine ait grafik. Pembe dörtgen negatif, yeşil dörtgen ise pozitif korelasyonun belirgin olduğu kısımları göstermektedir.

Aynı verilere ait saçılım grafiği incelendiğinde (Şekil 4.128) bu iki parametre arasında çok belirgin tek yönlü bir ilişki olmadığı görülmektedir. Şekil 4.127’de dikkat çekilen

pozitif ve negatif ilişki saçılım grafiğinde de görülmektedir ve aynı renkli dörtgenler ile işaretlenmiştir.



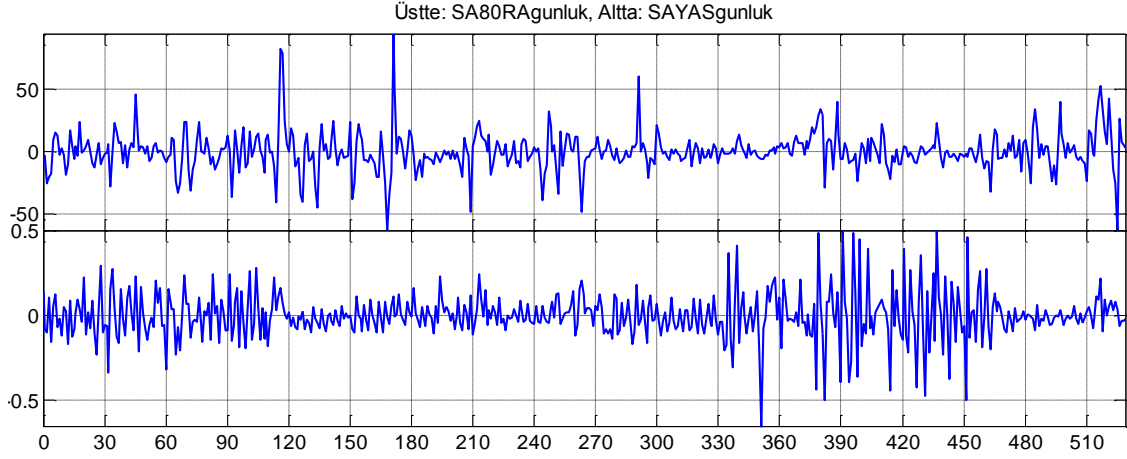
Şekil 4.128: Sarıköy istasyonunda kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ile yeraltı su seviyesi (y eksen, kuyu ağzından) verilerine ait saçılım grafiği. Kırmızı kesikli çizgi birinci dereceden polinom eğrisi ($r=0.45$), pembe dörtgen negatif, yeşil dörtgen ise pozitif korelasyonun belirgin olduğu kısımları göstermektedir.

EMD analizi sonucunda elde edilen ve radon gazı ile YAS seviye değişimlerindeki farklı dönersellikleri temsil eden IMF bileşenlerine ait korelasyon değerleri arasında 0.5 ve üzerinde bir korelasyon değeri bulunmamaktadır (Tablo 4.15). Tablodaki korelasyon değerleri düşük olmasına ve ilişki bulunan bileşenlerin zaman farklılıklarına rağmen, saçılım grafiğinde görülen pozitif ve negatif ilişkileri destekler niteliktedir.

Tablo 4.15: Sarıköy istasyonuna ait YAS ile toprak radon gazı arasında 0.3 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri

	YAS	Radon	Korelasyon (r_s)
Sarıköy	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	IMF-3 (~ 1.5 hafta)	+0.3
	IMF-7 (~9 ay)	IMF-5 (~3 ay)	-0.3

Dönemsellik arz eden değişimler haricinde, verilerdeki anlık değişimleri incelemek için kullanılan türev grafiklerinde (Şekil 4.129) iki değişken arasında belirgin bir ilişkiye işaret edecek sistematik bulgular saptanmamıştır.

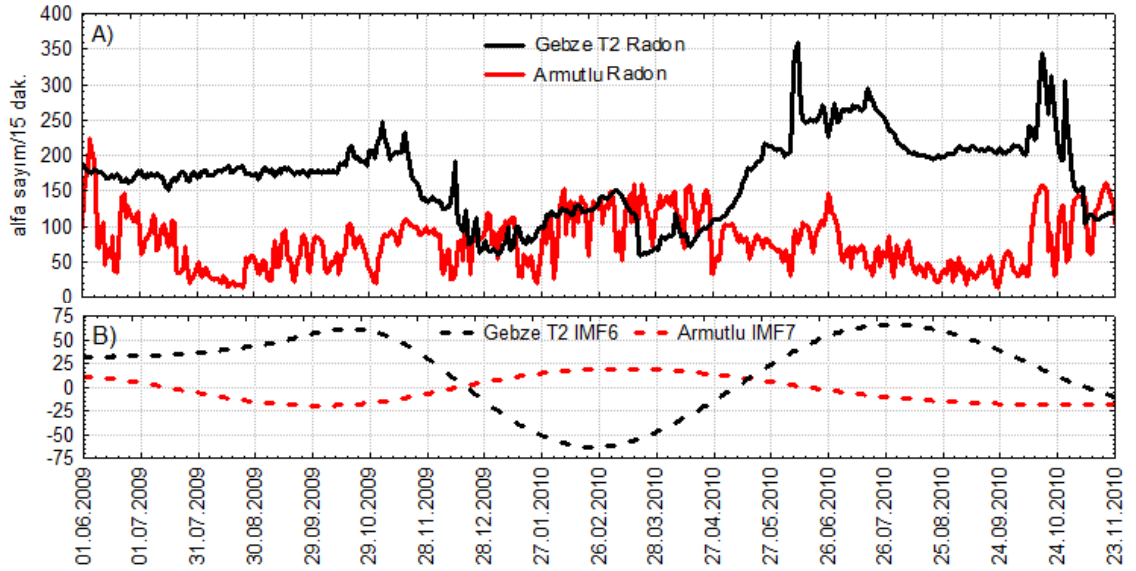


Şekil 4.129: Sarıköy (SA) istasyonuna ait radon gazı (üstte) ile YAS (altta) değerlerine ait türev (fark) grafikleri.

Yapılan uzun süreli ölçümler neticesinde elde edilen verilerin farklı analizleri ışığında, YAS'daki değişimlerin toprak radon gazının zamansal konsantrasyon değişimi üzerinde çok belirgin bir şekilde etkili olmadığı, ancak özellikle mevsim geçişlerinde bir-iki haftalık dönemsel bazı ani seviye artışlarında radon gazının da arttığı, kış dönemindeki uzun süreli seviye artışı ile birlikte radon gazı değerlerinin düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. YAS, yağış ve toprak nemi ile de birebir ilişkili olduğu için bu sonuçlar diğer parametrelerin etkileri ışığında ele alınmalıdır. Eldeki imkanlar dahilinde YAS'a yönelik sadece tek bir noktada gerçekleştirilebilen bu çalışma yanında, çok sayıda YAS izleme noktası ile gerçekleştirilebilecek geniş kapsamlı çalışmalarda farklı sonuçların elde edilme olasılığı da gözardı edilmemelidir.

4.4.2.2. Jeotermal Koşullar

Toprak radon gazı ölçümü yapılan bir lokasyonun jeotermal bir sahada olması durumunda bunun ne gibi etkilerinin olabileceğini incelemek amacıyla Yalova Armutlu'da bol mineralli sıcak su (~70°C) açısından zengin bir sahada oluşturulan gözlem istasyonu ile jeotermal bir özelliği olmayan Gebze Test sahasındaki veriler karşılaştırılmıştır. Gebze test sahasından Armutlu'daki toprak bileşimine en yakın özellikte olan T2 istasyonuna ait veriler kullanılmıştır.



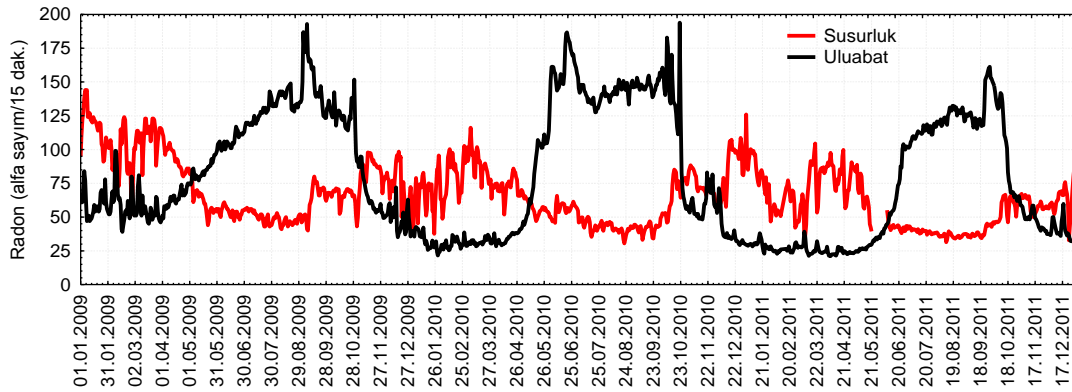
Şekil 4.130: Armutlu (kırmızı çizgi) ve Gebze T2 (siyah çizgi) istasyonlarında ölçülen toprak radon değerlerine ait grafik (A). Uzun dönemsel değişimlerin daha belirgin görülebilmesi için EMD analizi neticesinde elde edilen ve yaklaşık 1 yıllık dönemselikleri temsil eden ilgili IMF bileşenleri kesikli çizgiler şeklinde çizdirilmiştir (B).

Armutlu ve Gebze T2 istasyonlarında kaydedilen toprak radon değerlerinin zamansal değişimini gösteren Şekil 4.130'da mevsimler bazındaki uzun dönemsel değişimlerde belirgin bir fark olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle, uzun dönemsel değişimleri daha kolay görebilmek için, EMD analizleri neticesinde elde edilen ve yaklaşık 1 yıllık dönemselikleri temsil eden IMF bileşen eğrilerinde yaz ve kış dönemlerinde tam ters trendlerin söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Armutlu istasyonuna ait radon verileri, başlangıç tarihi 01.06.2009 şeklinde seçilerek yeniden EMD analizine tabi tutulmuş ve Gebze T2 istasyonu ile eş zamanlı IMF bileşeni hesaplanmıştır. Jeotermal özelliği olmayan Gebze'de yaz aylarında yüksek, kış aylarında ise düşük seyreden radon gazı, jeotermal bir saha olan Armutlu'da ise tam tersine, yaz aylarında düşük, kış aylarında daha yüksektir. Bölgenin sahip olduğu yüksek ısı akısı, jeotermal akışkan ve yoğun çatlak sistem varlığı gibi özelliklerin, mevsimsel değişimlerden kaynaklanan atmosferik sıcaklık değişimlerinin zemin içindeki etkisini bozabilecek, hatta tersine çevirebilecek önemde olduğu anlaşılmaktadır.

Toprak sıcaklık parametresinin ele alındığı 4.4.1.3. başlığı altında ortaya konulduğu gibi, Armutlu istasyonundaki toprak sıcaklığı diğer bölgelerde olduğu gibi hava sıcaklığından çok derin kökenli ısı kaynakları tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 4.113, Şekil 4.114). Özellikle Mart-Nisan 2010 tarihleri arasında her iki seviyede

ölçülen ancak 80 cm'de 50 cm'ye nazaran çok daha belirgin olan anormal toprak sıcaklık artışının bölgedeki sıcak su seviyesinin yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu toprak sıcaklık farklılığını saçılım grafiklerinde (Şekil 4.116), EMD analizi neticesinde elde edilen IMF bileşenleri arasındaki korelasyon hesaplamalarında (Tablo 4.13) görmek mümkündür. Toprak nem parametresinin tartışıldığı 4.4.1.4 başlığı altında, toprak sıcaklık parametresinde olduğu gibi, Armutlu istasyonu ile diğer istasyonlar arasında yine belirgin bir fark ortaya konulmuştur. Gebze T2 ve Sarıköy istasyonlarında 6 aydan uzun dönemler için toprak nemi ile radon gazı arasında negatif, Armutlu istasyonunda ise pozitif korelasyon elde edilmiştir.

TÜRDEP Projesi kapsamında işletilmiş ve jeotermal bir saha özelliğinde olan Göbel (Çamur Kaplıcası, Ilıcaboğazı Köyü, Susurluk, 40.09375K, 28.13335D) ile jeotermal özelliği bulunmayan Uluabat (Hasanköy-Manyas, 40.17383K, 28.79345D) istasyonlarına ait toprak radon gazı grafiklerinin yer aldığı Şekil 4.131'e bakıldığında, jeotermal özelliği olan bir lokasyonda izlenen, uzun dönemsel ters salınım bulgusunun sadece Armutlu ile sınırlı olmadığı, başka jeotermal alanlarda da geçerli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.131: TÜRDEP projesi kapsamında işletilmiş, jeotermal özelliği olan Susurluk (kırmızı çizgi) ve jeotermal olmayan Uluabat (siyah çizgi) istasyonlarına ait 3 yıllık toprak radon gazı grafikleri (günlük ortalama).

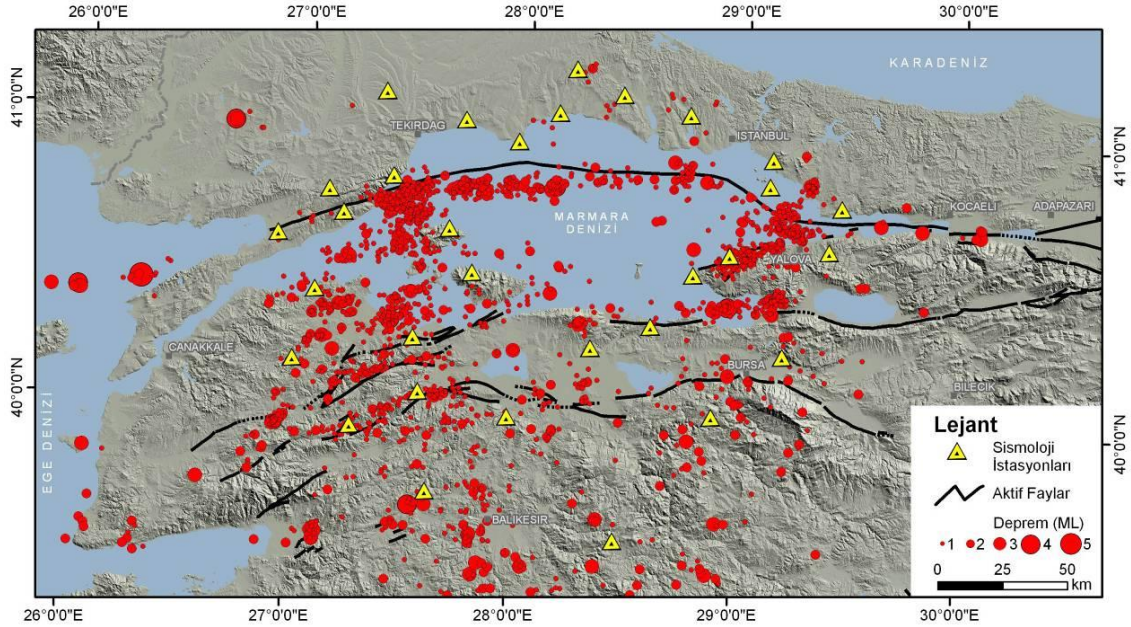
4.4.2.3. Depremsellik

Aktif fayların sunmuş oldukları süreksizlik zonları ve sismik aktivitelerin radon gazının zamansal değişimi üzerindeki olası etkileri açısından, aktif faylara nispeten uzak olan Gebze istasyonu (T-2), KAF'ın iki kolu ile çevrili ve yoğun bir çatlak sistemi üzerinde bulunan Armutlu istasyonu ve yine KAF'ın Bandırma-Gönen arasındaki uzantısına

yakın mesafede bulunan Gönen (Sarıköy) istasyonu sismik aktivite ışığında değerlendirilmiştir.

Bu amaçla, TÜBİTAK MAM YDBE'nin 2005-2010 yılları arasında yürütmüş olduğu TÜRDEP projesi kapsamında elde edilmiş deprem kataloğundan faydalanılmıştır. Mikrosismolojik gözlem amaçlı kurulan gözlem ağının dışında yer alabildikleri için, 4 ve 4'den büyük deprem büyüklükleri Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi (European-Mediterranean Seismological Centre, EMSC)'den alınmıştır.

TÜRDEP projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulmuş olan mikro-deprem gözlem ağı ve bu ağı ile 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilmiş depremlere ait lokasyon haritası Şekil 4.132'de yer almaktadır. Şekilde görüldüğü ve beklenildiği üzere, deprem aktivitesi Marmara Bölgesi genelinde ağırlıklı olarak aktif faylar boyunca yoğunlaşmıştır.



Şekil 4.132: TÜRDEP projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulmuş olan mikrosismoloji gözlem ağı (sarı üçgenler) ve 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen depremlere ait lokasyon dağılımı (kırmızı daireler) haritası (Aktif Faylar: Şaroğlu ve diğ., 1992).

Meydana gelen bir depremin radon gazı ölçümü yapılan bir lokasyonda radon konsantrasyonunun zamansal değişimi üzerinde etkili olabilmesi, depremin büyüklüğüne olduğu kadar mesafesine de bağlıdır. Bir lokasyona 100 km mesafede meydana gelen 4 büyüklüğündeki bir deprem etkili olmayabilirken, 10 km mesafedeki 3 büyüklüğündeki bir depremin toprak gazı konsantrasyon değişimine neden olması

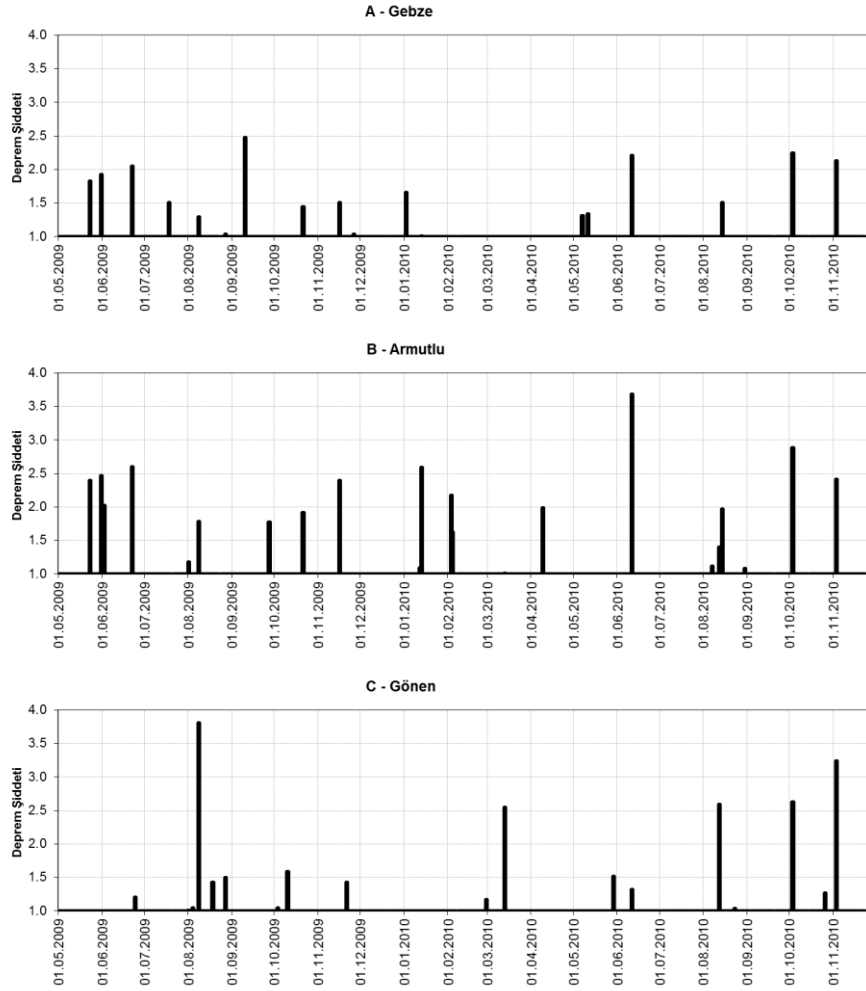
beklenebilir. Bu nedenle, depremselliğin olası etkilerini irdelerken, depremleri büyüklük yanında, ölçüm yapılan noktaya olan mesafelerine göre de ağırlıklandırabilmek amacıyla Sponheuer (1960) çalışmasında kullanılmış ve aşağıda yer alan deprem şiddet formülünden yararlanılmıştır.

$$I_0 - I = n \log \frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{h} + C \quad (4.6)$$

Burada, I deprem episantrına x mesafesindeki şiddet, C absorpsiyon sabiti, h depremin odak derinliğidir. Formülde yer alan n sabitini Kövesligethy (1907) “3”, Gutenberg ve Richter (1942) ise “6” olarak kullanmıştır. Bu tez çalışmasında Ergin (1969) tarafından Marmara Denizi çevresi için uygun olduğu belirtilen “3” sabiti tercih edilmiştir. Absorpsiyon sabiti ancak 100 km den daha uzak mesafedeki depremler için kullanılmaya başlanması ve çok düşük bir etkiye sahip olması nedeniyle (Ergin 1969, Prof. Dr. Oğuz Selvi kişisel görüşme) bu çalışmada “0” olarak kabul edilmiştir. I_0 episantrdaki şiddet olup, bu parametre İpek ve diğ. (1965) çalışmasından alınan aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

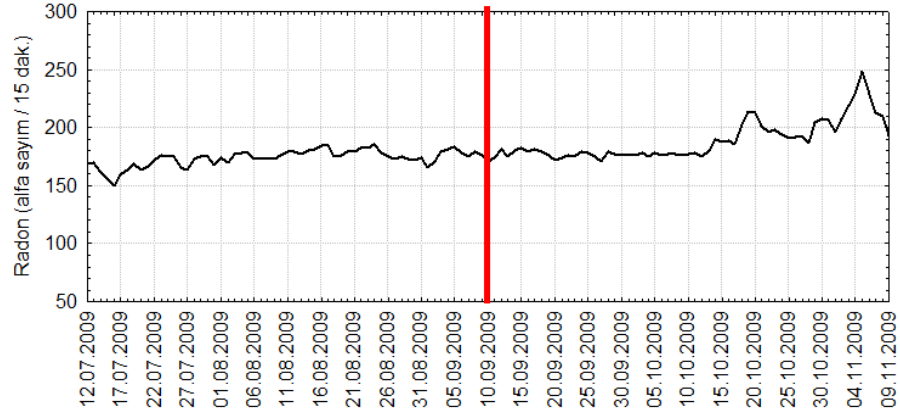
$$M = 0.592 I_0 + 1.63 \quad (4.7)$$

Burada yer alan M deprem büyüklüğünü ifade eder. Toprak radon gazı ölçümleri yapılmış olan Gebze, Armutlu ve Gönen lokasyonlarına göre meydana gelen depremler için ayrı ayrı lokal şiddet değerlerinin hesaplanması sonucunda Şekil 4.133’de görülen, zamana bağlı deprem-şiddet grafikleri elde edilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere Marmara Bölgesi’nde ölçüm süresi boyunca meydana gelen depremlerin hiçbiri lokal olarak 4’den büyük bir şiddet meydana getirmemiştir. Özellikle Gebze lokasyonunun diğer istasyonlara nazaran oldukça düşük şiddette deprem aktivitesine maruz kaldığı görülmektedir. Sarıköy ve Armutlu lokasyonları ise lokal şiddet açısından Gebze’ye kıyasla daha fazla etkilenmişlerdir.

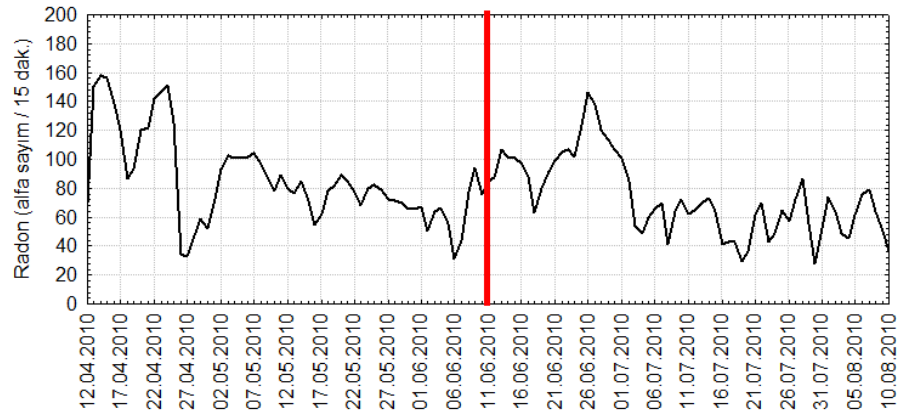


Şekil 4.133: Deprem kataloğu üzerinde deprem şiddet formülünün uygulanması ile üç ölçüm lokasyonuna göre elde edilen zamana bağlı deprem şiddet grafikleri (A- Gebze, B- Armutlu, C- Gönen).

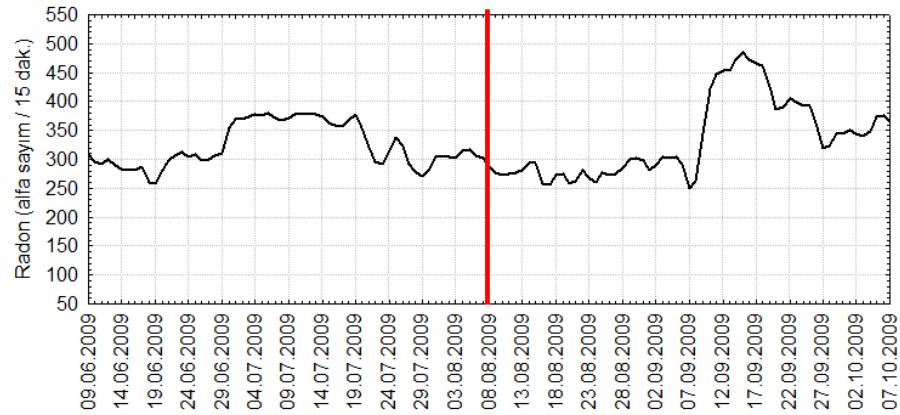
Elde edilen lokal şiddet grafikleri ile, sismik aktivitenin radon zaman serileri üzerindeki olası etkilerini irdelemek için, etkilenmesi en muhtemel dönem olan en büyük lokal şiddet zaman aralıklarına odaklanılmıştır. Söz konusu şiddet değerlerine denk gelen tarihler için, her bir istasyon bazında 4 aylık radon grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.134, Şekil 4.135, Şekil 4.136). Şekillerde yer alan grafikler incelendiğinde, grafiklerde kırmızı çizgi ile belirtilmiş olan tarihlerde meydana gelmiş ve ölçüm lokasyonunu etkilemesi en muhtemel sismik aktivite için, radon zaman serilerinde bu aktivite ile ilişkili olabileceğini düşündürecek belirgin bir değişim görülmemiştir.



Şekil 4.134: Gebze (T-2) istasyonu için, 12.07.2009-09.11.2009 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 10.09.2009 tarihinde 2.5'lik lokal şiddet meydana getiren depremi göstermektedir.



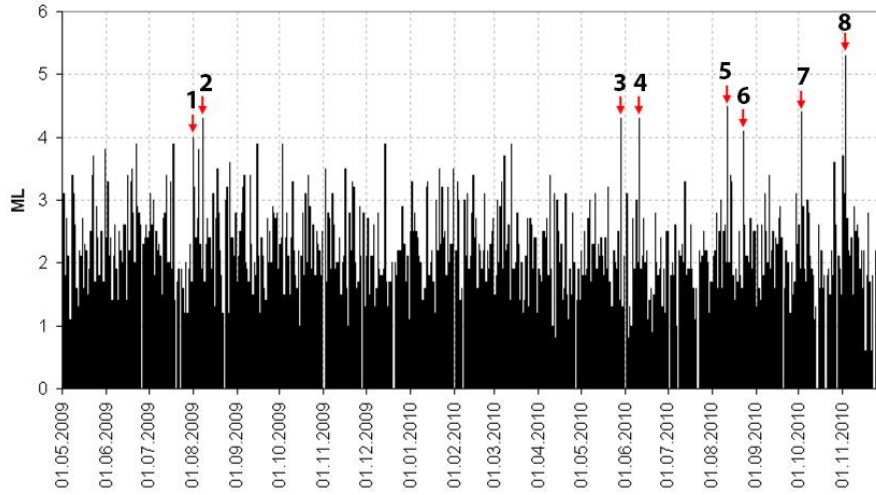
Şekil 4.135: Armutlu istasyonu için, 12.04.2010-10.08.2010 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 11.06.2009 tarihinde 3.7'lik lokal şiddet meydana getiren deprem zamanını göstermektedir.



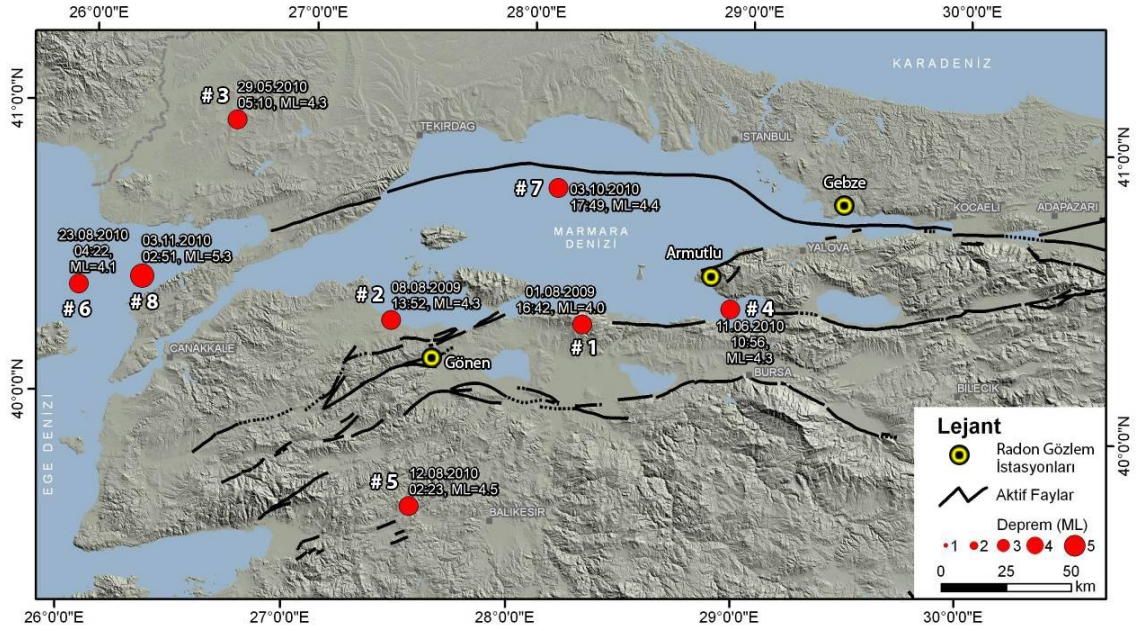
Şekil 4.136: Gönen istasyonu için, 09.06.2009-07.10.2009 tarih aralığında ölçülen radon değerleri (siyah çizgi). Kırmızı çizgi 08.08.2009 tarihinde 3.8'lik lokal şiddet meydana getiren deprem zamanını göstermektedir.

Büyüklik ve mesafe dikkate alınarak yapılan bir önceki değerlendirme dışında, bölgede meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük tüm depremler, mesafelerinden bağımsız olarak ayrıca ele alınarak, olası etkileri açısından değerlendirilmiştir.

Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş depremlerin zamana bağlı dağılımları Şekil 4.137'da yer almakta olup, 4 ve 4'den büyük depremler kırmızı ok ile işaretlenmiş ve oluş sırasına göre numaralandırılmıştır. 7 adet 4'den ve 1 adet 5'den büyük olan bu depremlerin lokasyon bazında dağılımı ise Şekil 4.138'de gösterilmiştir. Gebze, Armutlu ve Gönen radon istasyon lokasyonları bu şekil üzerinde sarı noktalar ile yer almakta olup, söz konusu zaman aralığında Gebze'ye yakın mesafede 4'den büyük bir depremin meydana gelmediği görülmektedir. Armutlu ve Gönen lokasyonları etrafında ise farklı mesafede ve büyüklükte depremler mevcuttur. Tablo 4.16'de ise bu depremlere ait oluş zamanı, büyüklük, koordinat, derinlik ve radon ölçüm istasyonlarına olan mesafeleri derlenmiştir.



Şekil 4.137: Marmara Bölgesi'nde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen depremlerin zamana bağlı büyüklük grafiği. Bu dönemde 4 ve üzeri büyüklüğe sahip 8 deprem meydana gelmiş olup grafikte kırmızı ok ile işaretlenmiştir.



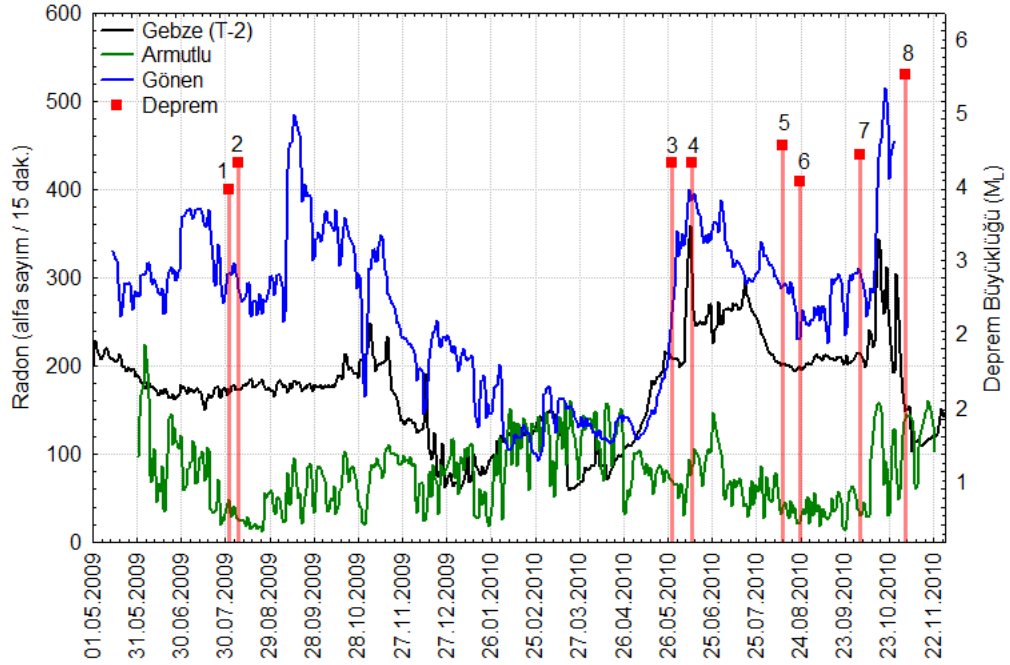
Şekil 4.138: Marmara Bölgesi'nde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında kaydedilen 7 adet 4'ü ve 1 adet 5'inci büyüklüğe sahip depreme (kırmızı daireler) ait lokasyon dağılım haritası. 3 adet radon gözlem istasyonları içi siyahı sarı daireler ile gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Marmara Bölgesi genelinde 01.05.2009 – 30.11.2010 tarihleri arasında meydana gelen 4 ve daha büyük depremlere ait bilgiler.

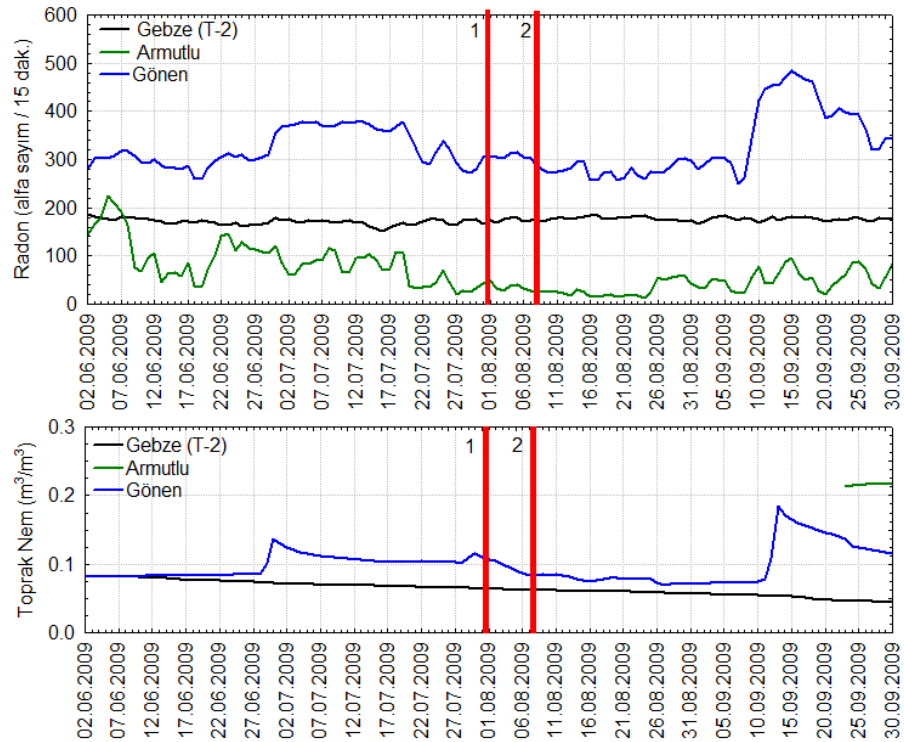
No	Tarih	M _L	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Gebze Mesafe (km)	Armutlu Mesafe (km)	Gönen Mesafe (km)
1	01.08.2009	4.0	40.350	28.282	6	110	52	60
2	08.08.2009	4.3	40.327	27.419	15	179	123	21
3	29.05.2010	4.3	40.982	26.661	12	236	190	118
4	11.06.2010	4.3	40.426	28.948	10	58	16	117
5	12.08.2010	4.5	39.689	27.549	10	203	146	57
6	23.08.2010	4.1	40.376	26.000	12	295	241	138
7	03.10.2010	4.4	40.817	28.140	17	111	66	82
8	03.11.2010	5.3	40.420	26.283	12	271	217	115

Bölgede meydana gelmiş 4 ve üzerinde büyüklüğe sahip depremler ile Gebze, Armutlu ve Gönen istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı değerleri zaman bağı olarak tek bir grafik üzerinde Şekil 4.139'de görülmektedir.

Söz konusu 4 ve daha büyük depremleri toprak radon gazı verileri ile birlikte daha yakından görebilmek için yaklaşık 3-4 aylık pencereler şeklinde grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.140, Şekil 4.141, Şekil 4.142, Şekil 4.143).



Şekil 4.139: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı verileri ile aynı dönemde Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremler (kırmızı kare).

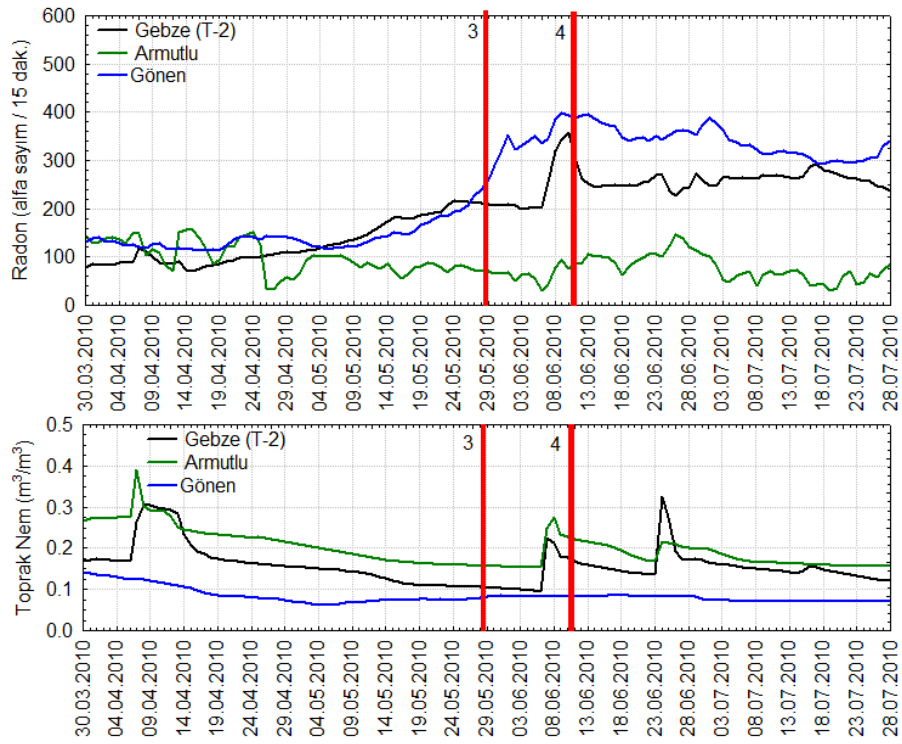


Şekil 4.140: Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 1 ve 2 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 02.06.2009-30.09.2009 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri.

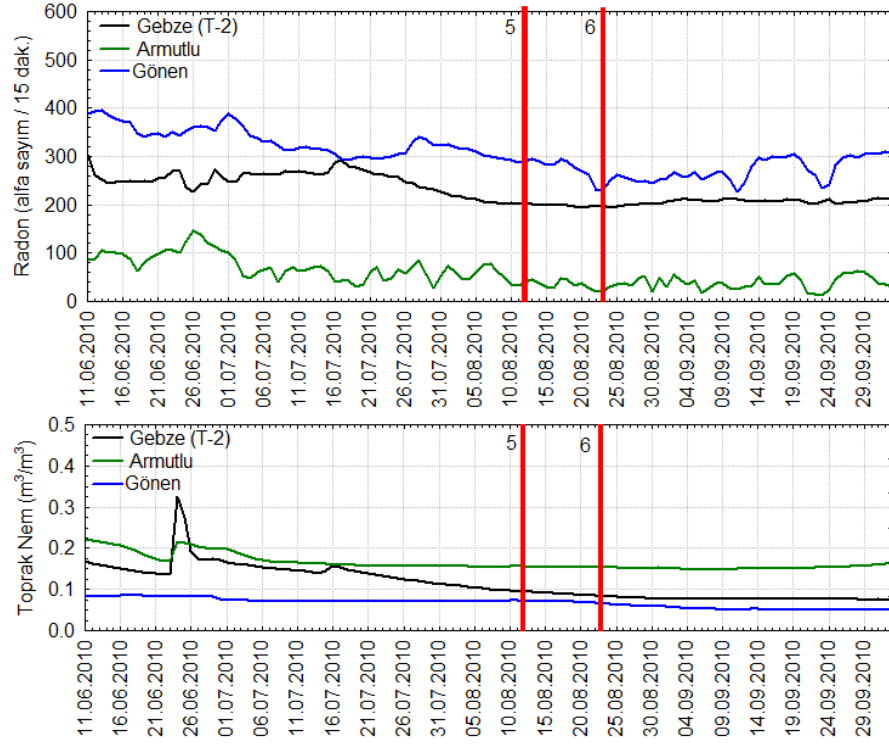
Şekil 4.140'de yer alan 1 numaralı kırmızı çizgi 01.08.2009 tarihinde Karacabey (Bursa) yakınlarında meydana gelmiş olan 4.0, 2 numaralı kırmızı çizgi ise tam bir hafta sonra 08.08.2009 tarihinde Biga (Çanakkale) yakınlarında meydana gelmiş olan 4.3 büyüklüğündeki depremlerin oluş zamanını göstermektedir. 1 numaralı deprem Gebze'ye 110 km, Armutlu'ya 52 km ve Gönen'e 60 km mesafede, 2 numaralı deprem ise Gebze'ye 179 km, Armutlu'ya 123 km ve Gönen'e 21 km mesafede meydana gelmiştir. Üstteki grafikte yer alan siyah çizgili Gebze radon verisinin zamansal değişimine bakıldığında 1 ve 2 numaralı depremler öncesinde herhangi belirgin bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu durum faylara yakınlık açısından pasif bir yerde yer alan Gebze istasyonu için beklendiği gibidir. Yeşil çizgi ile gösterilen Armutlu radon verisinde Haziran 2009 sonundan Temmuz 2009 sonuna kadar yaklaşık 1 aylık hafif bir artış ve azalış görülmekte olup, benzer ve daha belirgin bir değişim, mavi çizgi ile gösterilmekte olan Gönen radon verisinde de izlenmektedir. İleriki bölümlerde etkisi detaylı olarak tartışılan toprak nem verilerine (alttaki grafik) bakıldığında, Gönen radon verisinde Temmuz ve Eylül aylarında görülen belirgin değişimlerin aynı dönemlerde toprak nem verisindeki ani değişimler ile eş zamanlı olduğu görülmektedir. Armutlu toprak nem ölçümleri Eylül 2009 sonlarından itibaren başladığı için bu dönem için veri bulunmamaktadır.

Şekil 4.141'de yer alan 3 numaralı kırmızı çizgi 29.05.2010 tarihinde Keşan (Tekirdağ) yakınlarında meydana gelmiş olan 4.3, 4 numaralı kırmızı çizgi ise 11.06.2010 tarihinde Gemlik Körfezi'nde meydana gelmiş olan 4.3 büyüklüğündeki depremlerin oluş zamanını göstermektedir. 3 numaralı deprem Gebze'ye 236 km, Armutlu'ya 190 km ve Gönen'e 118 km mesafede, 4 numaralı deprem ise Gebze'ye 58 km, Armutlu'ya 16 km ve Gönen'e 117 km mesafede meydana gelmiştir. Üstteki grafikte yer alan radon verilerine bakıldığında Armutlu hariç, diğer iki istasyonda da depremler öncesinde bir aydan uzun artışlar dikkat çekmektedir. Bu uzun süreli değişimler dışında, Gebze'ye 58 km mesafede gerçekleşen 4 numaralı deprem öncesinde Gebze radon verisinde 5 günlük ani ve belirgin bir artış kaydedilmiştir. Armutlu'ya çok daha yakın olan bu depremin Armutlu radon verisi üzerinde belirgin bir etkisi olmamıştır. Söz konusu değişimleri farklı açılardan kontrol etmek için şeklin altındaki toprak nem verilerine bakıldığında ise, Haziran 2010 başında Gebze istasyonunda izlenen ani radon artışının doğrudan toprak nemi paralelinde geliştiği tespit edilmiştir. Aynı dönemde Armutlu toprak nem

verisinde meydana gelen ani artışa karşın Armutlu radon verisinde Gebze'deki değişim kadar belirgin bir artış izlenmemiş olması Jeotermal saha farklılığından veya Armutlu'daki ani nem artışından önceki genel nem seviyesinin, radon gazında ciddi değişim gösterecek kritik bir düşük düzeyde olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gebze ve Gönen radon verilerinde, Nisan-Haziran 2010 arasındaki uzun süreli artışlar, bir deprem anomalisinden ziyade, kış aylarından yaz aylarına doğru geçişlerde, toprak neminin azalmasına bağlı olarak meydana gelen mevsimsel artışlar olarak yorumlanmıştır.

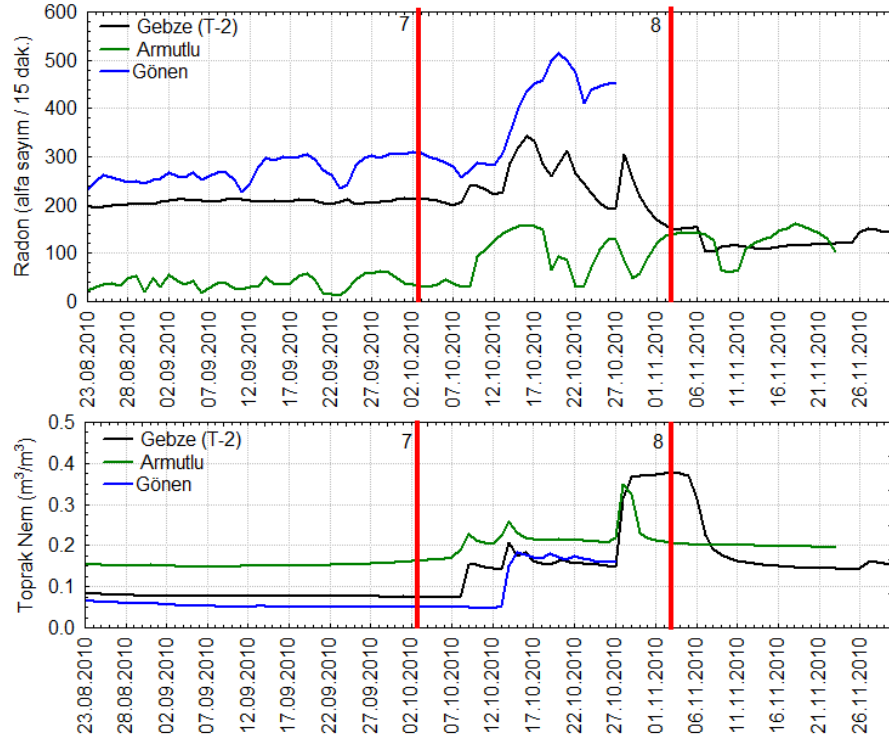


Şekil 4.141: Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4' den büyük depremlerden 3 ve 4 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 30.03.2010-28.07.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri.



Şekil 4.142: Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 5 ve 6 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 13.06.2010-11.10.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri.

Şekil 4.142'de yer alan 5 numaralı kırmızı çizgi 12.08.2010 tarihinde Balya (Balıkesir) yakınlarında meydana gelmiş olan 4.5, 6 numaralı kırmızı çizgi ise 23.08.2010 tarihinde Saroz Körfezi açıklarında meydana gelmiş olan 4.1 büyüklüğündeki depremlerin oluş zamanını göstermektedir. 5 numaralı deprem Gebze'ye 203 km, Armutlu'ya 146 km ve Gönen'e 57 km mesafede, 6 numaralı deprem ise Gebze'ye 295 km, Armutlu'ya 241 km ve Gönen'e 138 km mesafede meydana gelmiştir. Üstteki grafikte yer alan radon verilerine bakıldığında her iki deprem öncesinde de belirgin bir değişim izlenmemiştir.



Şekil 4.143: Marmara Bölgesi genelinde meydana gelmiş olan 4 ve 4'den büyük depremlerden 7 ve 8 no'lu depremler (kırmızı çizgiler) ile 23.08.2010-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze (siyah çizgi), Armutlu (yeşil çizgi) ve Gönen Sarıköy (mavi çizgi) istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı (üstte) ve toprak nem (altta) verileri.

Şekil 4.143'da yer alan 7 numaralı kırmızı çizgi 03.10.2010 tarihinde Marmara Ereğlisi açıklarında denizde meydana gelmiş olan 4.4, 8 numaralı kırmızı çizgi ise 03.11.2010 tarihinde Saroz Körfezi açıklarında meydana gelmiş olan 5.3 büyüklüğündeki depremlerin oluş zamanını göstermektedir. 7 numaralı deprem Gebze'ye 111 km, Armutlu'ya 66 km ve Gönen'e 82 km mesafede, 8 numaralı deprem ise Gebze'ye 271 km, Armutlu'ya 217 km ve Gönen'e 115 km mesafede meydana gelmiştir. Marmara Denizi'nde meydana gelen 7 no'lu deprem öncesinde toprak radon verilerinde belirgin bir değişim izlenmemiştir. Ancak Saroz Körfezi'nde meydana gelmiş olan 8 nolu deprem öncesinde her üç istasyonda da belirgin bir artış ve ardından azalış anomalisi dikkat çekmektedir. Gönen istasyonunda meydana gelen su baskını nedeniyle bu istasyona ait veriler 27.10.2010 tarihinde kesilmektedir. Bu deprem gözlem süresince bölgede meydana gelen en büyük deprem olmasına rağmen, aynı dönemde toprak nem değerlerinde ciddi ani artışların izlenmesi nedeniyle radon gazındaki değişimlerin nem artışına bağlı olduğu ve sismik aktivite ile ilişkili olmadığı görüşü ağırlık kazanmıştır.

Gözlem süresince sismik aktivite ile toprak radon gazının zamansal değişimi arasında her zaman ve her yerde geçerli olmasa da bazı dönemlerde öncü değişimler izlenmiştir. Bu değişimler, deprem öncesinde günler-haftalar mertebesinde artışlar ve ardından düşüşler şeklinde görülmektedir. İlgili deprem ya artışın tepe noktasında, ya da yeniden düşüşün ardından meydana gelmektedir. Ne var ki, farklı dönemlerde farklı depremler ile ilintili olduğu şeklinde görülen radon anomalileri, aynı dönemlere denk gelen diğer veri setleri ışığında incelendiğinde, detayları ilgili bölümde ele alınacak olan toprak neminin söz konusu anomaliler ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Toprak neminin deprem zamanına denk gelen dönemlerde radon gazındaki değişimler ile ilintili görülmesinden yola çıkarak, veri toplama dönemi boyunca 3 farklı lokasyonda toplanan toprak radon gazı verileri üzerinde “sismik aktivite kaynaklı” anomalilerin meydana gelmediği sonucuna varılmıştır. Bu aşamada, gözlem süresince gözlem istasyonlarına yakın bölgede 5’den büyük bir depremin meydana gelmemiş olmasının ve değerlendirme aşamasının bu tez çalışması amacına göre sadece anomali varlığı-yokluğuna yönelik yapıldığı unutulmamalıdır. Her gözlem istasyonunda her deprem öncesinde anomali görme beklentisi kabuktaki heterojen yapı ve süreksizlikler gözetildiğinde hiç de gerçekçi olmayacaktır. Kabuk sınırları, yer kabuğundaki bölgesel değişimler (anizotropi) ile deprem odak çözümlerine bağlı sıkışma ve açılma stress rejim farklılıkları gibi nedensellikler irdelenmeden yapılan bu değerlendirme, sismik aktivitenin radon gazı üzerinde etkili olmadığı düşüncesini doğursa da, yapılan çok sayıda çalışma bunun böyle olmadığını göstermektedir. İnan vd. (2010b) düşey atımlı faylanmaya bağlı depremler öncesinde açılma rejiminde kalan alanlarda radon anomalilerinin oluşmadığını, İnan vd. (2012a) ise radon gözlemi yapılan bir istasyonda anomali görülebilmesinin şartı olarak depremin aynı kabuk parçasığında meydana gelmesi gerektiğini önermişlerdir. Bütün bunlara ek olarak, deprem fay düzlem çözümleri, deprem anında sıkışma ve açılma zonlarını göstermekle beraber, deprem öncesine uyarlandığında, kabuğun açılma bölgesinde kalan radon gözlem istasyonunda anomali beklenmemesi gerektiği de ifade edilmiştir (İnan vd, 2012a).

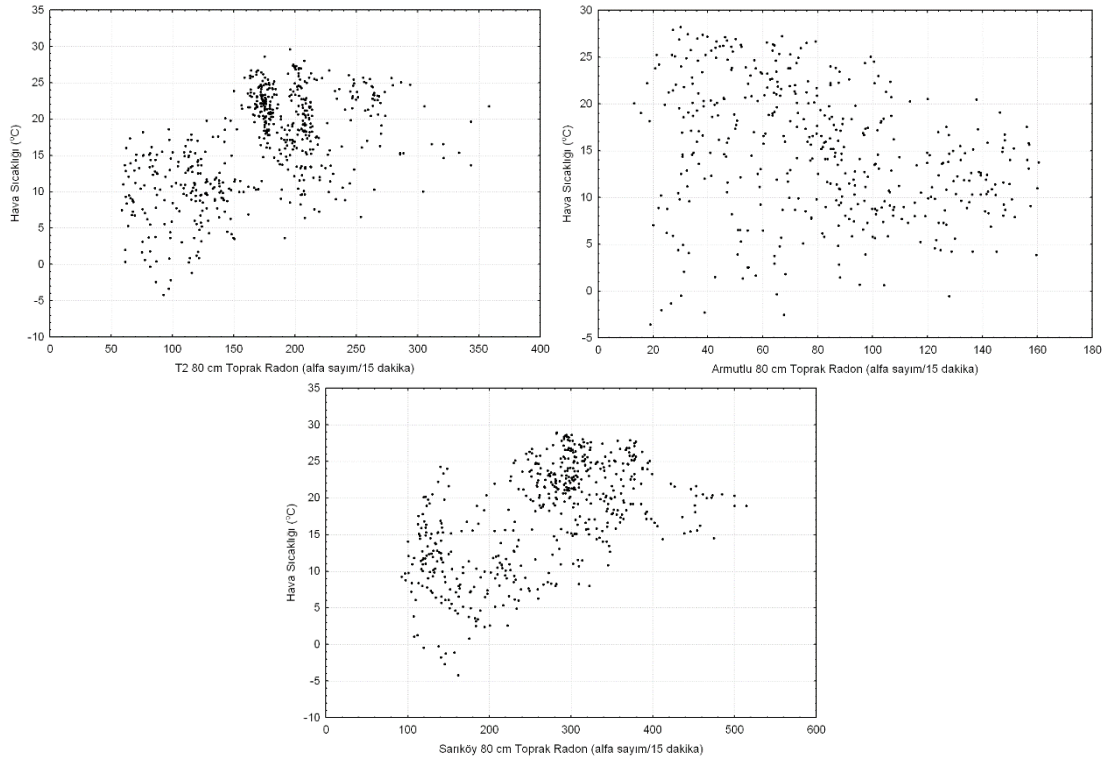
4.4.3. Atmosferik Koşullar

Toprak radon gazı ile hava sıcaklığı, yağış, hava basıncı ve rüzgar koşulları arasındaki olası ilişkileri irdelerken, Gebze istasyonlarından tane boyu sınıflandırmasına göre diğer bölgelerde yer alan istasyonlara en yakın bileşimde olan T-2 ile Armutlu ve Sarıköy

istasyonlarında toplanan veriler kullanılmıştır. Toprak sıcaklığı ile toprak nem parametreleri meteorolojik koşullar etkisinde olmasına rağmen, zemin içinde ölçüldükleri ve zemine ait özellikler oldukları için “4.4.1. Pedolojik Koşullar” bölümde ele alınmışlardır.

4.4.3.1. Hava Sıcaklığı

Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafiklerine baktığımızda (Şekil 4.144), çok net olmamakla birlikte, Gebze ve Sarıköy istasyonlarında pozitif yönde, Armutlu’da ise biraz saçılmış olmakla beraber daha çok negatif yönde ilişkiye yorumlanabilecek dağılımlar görülmektedir.



Şekil 4.144: Gebze (T-2) Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava sıcaklık verileri arasındaki saçılım grafikleri.

Saçılım grafikleri ardından, veri analiz prosedürünün (Şekil 4.17) bir sonraki adımı olan EMD analizi ile elde edilmiş IMF bileşenleri arasında hesaplanan ± 0.5 ve üzerinde olan korelasyon katsayılarına baktığımızda (Tablo 4.17), Gebze T-2 istasyonunda hava sıcaklığına ait 6. IMF ile radon'a ait 6. IMF arasında 0.5'lik pozitif korelasyon değerleri görülmektedir.

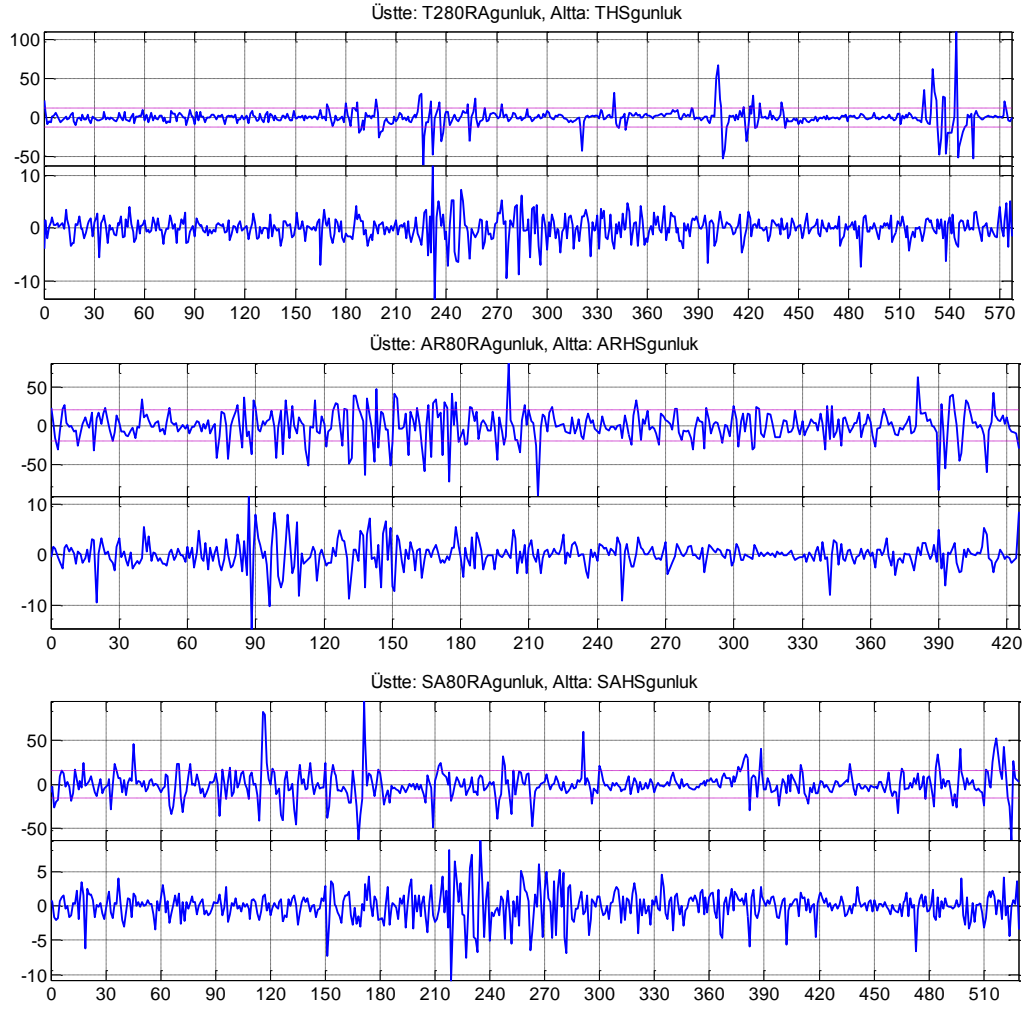
Tablo 4.17: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait hava sıcaklığı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Hava Sıcaklığı	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-6 (~1 yıl)	IMF-6 (~1 yıl)	+0.5
Armutlu	IMF-6 (~9.5 ay)	IMF-6 (~7 ay)	-0.6
Sarıköy	IMF-6 (~1.5 yıl)	IMF-6 (~9 ay)	+0.6

Armutlu istasyonuna ait değerlere baktığımızda, hava sıcaklığına ait 6. IMF ile radon gazına ait 6. IMF arasında hesaplanan -0.6'lık negatif korelasyon değeri dikkat çekmektedir. Yaklaşık 7-9 aylık uzun dönemsel ters ilişki, Gebze istasyonlarında bulunan uzun dönemli pozitif ilişki ile uyumsuz bir sonuç teşkil etmektedir. Bu sonuç, jeotermal özelliği olan bu alanın farklılığından kaynaklanmaktadır. Jeotermal saha farklılığı konusu "4.4.2.2. Jeotermal Koşullar" başlığı altında tartışılmıştır.

Sarıköy istasyonu ile ilgili alanda, hava sıcaklığına ait 6. IMF ile radon gazına ait 6. IMF arasında +0.6'lık pozitif korelasyon görülmektedir. Bulunan uzun dönemsel pozitif ilişki Gebze istasyonundaki bulgu ile uyumludur.

Verilerdeki anlık değişimleri incelemek amacıyla oluşturulan türev grafiklerine baktığımızda ise (Şekil 4.145), çok belirgin ilişkiler görmek mümkün değildir. Birkaç istisna dışında, radon gazında meydana gelen anlık değişimlerin hava sıcaklık değişimlerinde bir karşılığı bulunamamıştır. Aynı şekilde hava sıcaklığındaki ani değişimlerin radon gazında da belirgin karşılığı olmadığından dolayı, iki değişken arasında anlık değişimler açısından anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.

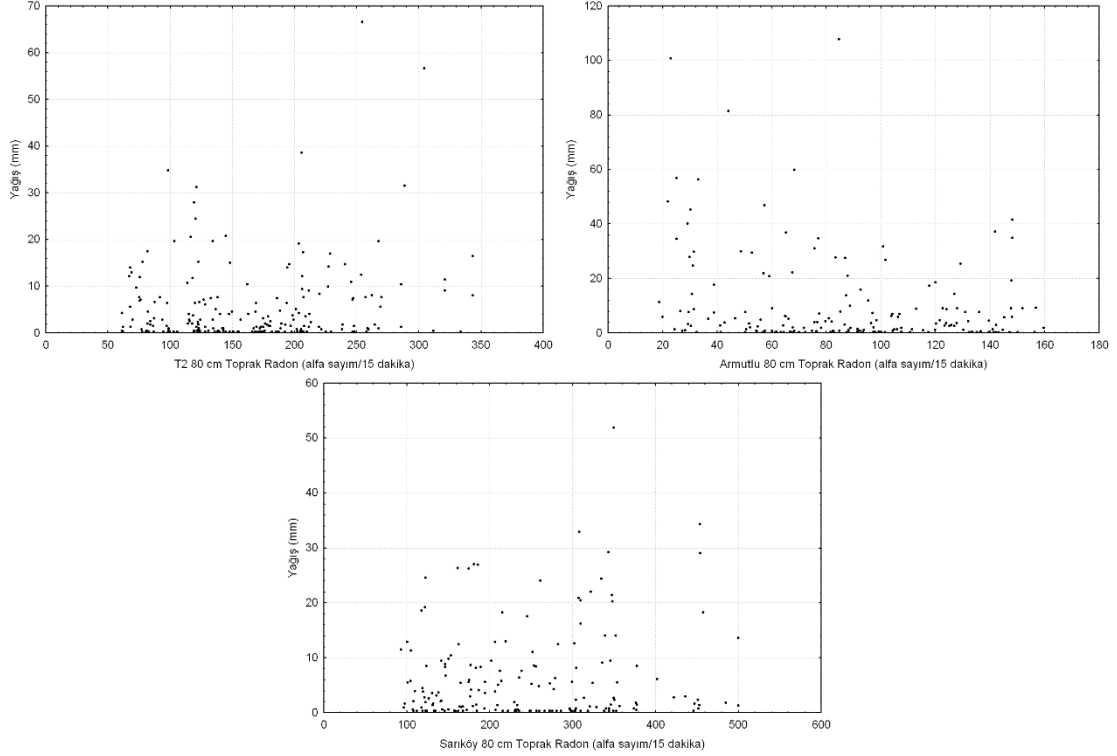


Şekil 4.145: Gebze (T-1, T-2, T-3, T-4), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile hava sıcaklık (HS) değerlerinin türev (fark) grafikleri.

Birbirinden oldukça uzak üç farklı sahada yer alan istasyonlardan elde edilen veriler farklı analiz yöntemleri ile incelendiğinde, hava sıcaklığının uzun dönemsel olarak nitelendirilebilecek bir zaman aralığı içinde toprak radon gazı konsantrasyonlarını doğru orantılı olarak kontrol ettiği söylenebilir. Bu sonuç toprak sıcaklığı ile elde edilen bulgu ile uyumludur. Mevsimsel bazda artan hava sıcaklığı toprak sıcaklığını da arttırarak radon gazının difüzyonunu hızlandırıp konsantrasyon artışına neden olduğu düşünülmektedir. Bu sonuç ile uyuşmayan Armutlu istasyonunda görülen negatif ilişki ise hava sıcaklığının radon gazı üzerindeki etkisinin her koşulda geçerli olmadığını, hatta tersine dönebileceği durumların olabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla hava sıcaklığı ve toprak radon gazı arasındaki doğrusal ilişki diğer faktörler (nem veya jeotermal eki) tarafından değiştirilebilen bir ilişkidir.

4.4.3.2. Yağış

Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile lokasyon bazlı kaydedilen yağış verileri arasındaki saçılım grafiklerine (Şekil 4.146) bakıldığında, radon gazı ile yağış verileri arasında olası bir ilişkiye işaret eden dağılımlardan bahsetmek pek mümkün değildir.



Şekil 4.146: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile yağış verileri arasındaki saçılım grafikleri.

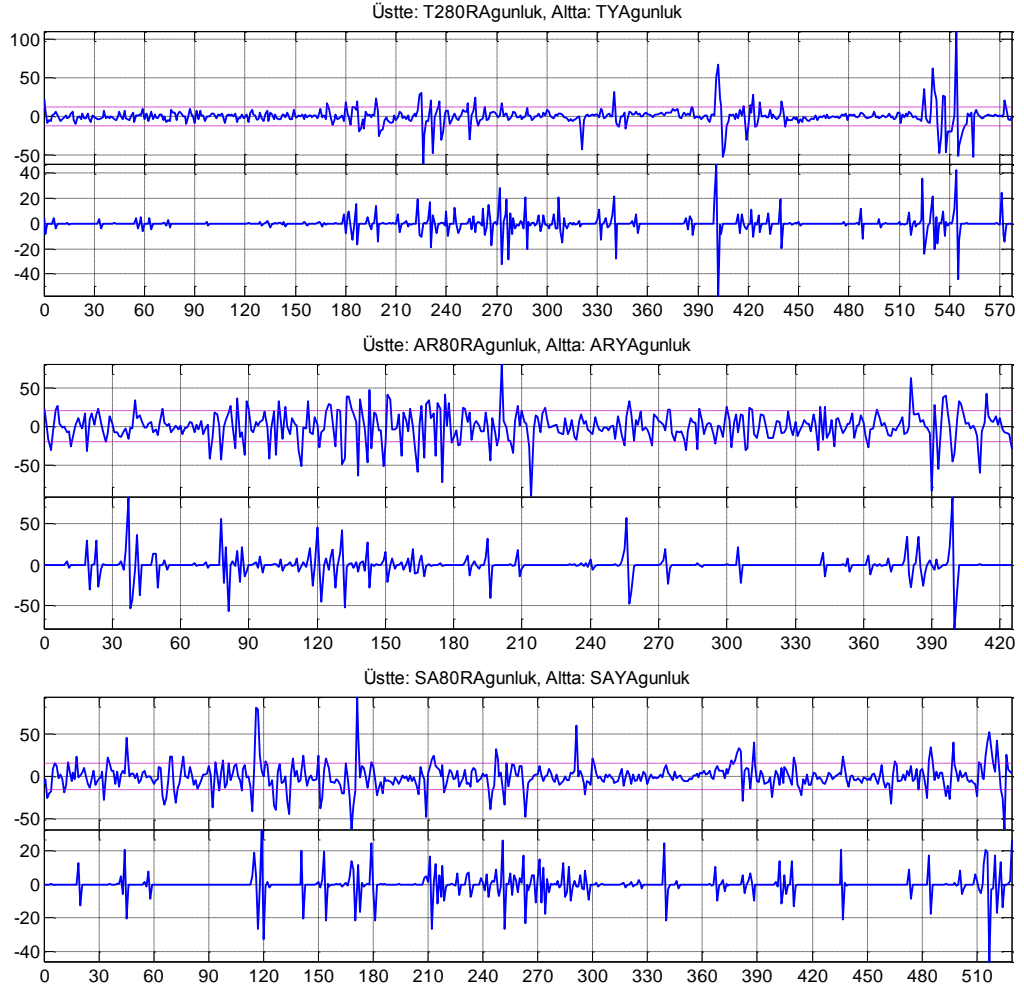
Yağış verileri üzerinde EMD analizinin uygulanması ile elde edilen IMF bileşenleri arasında hesaplanan ± 0.5 ve üzeri korelasyon katsayıları Tablo 4.18’de gösterilmiştir. Yağış ile radon gazı arasında, Gebze T-2 istasyonu için yaklaşık 3 aylık periyotlara sahip IMF-7 ile IMF-5 arasında $+0.8$ ’lik pozitif korelasyon bulunmuştur. Bu durum, toprak nem parametresi ile aynı periyotlar arasında bulunan 0.5 ’lik korelasyon ile uyumludur. Ancak toprak nem için bulunan 1-2 haftalık pozitif ve 6 ay-1 yıllık negatif korelasyon yağış verisinde tespit edilmemiştir. Bu durum, toprak içindeki nem değerlerini büyük oranda etkileyen yağış verilerinin radon gazının değişimi üzerinde nem kadar baskın olmadığını göstermektedir. Armutlu istasyonu için yağış ile radon verileri arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir. Oysa toprak nem parametresi için 3-4 aylık ve 7 aylık periyotlar için $+0.7$ ’lik ilişki bulunmuştur. Sarıköy istasyonu için, toprak nem parametresinde 9 aylık periyotlar için elde edilen -0.9 ’luk

korelasyona benzer şekilde, yağış ile radon gazının uzun periyotlu mevsimsel değişimleri arasında -0.6'lık ters ilişki bulunmuştur. Toprak nem parametresinin Gebze ile aynı şekilde bulunan 3 aylık +0.5'lik korelasyon değeri ise Sarıköy'de tespit edilememiştir.

Tablo 4.18: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait yağış miktarı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Yağış	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-7 (~3 ay)	IMF-5 (~ 3 ay)	+0.8
Armutlu	-	-	-
Sarıköy	IMF-8 (~1.5 yıl)	IMF-6 (~9 ay)	-0.6

Yağış ile radon verilerindeki kısa süreli değişimlerin olası ilişkilerini araştırmakta kullanılan türev grafikleri Şekil 4.147'de yer almaktadır. Grafiklere bakıldığında, en belirgin olarak Gebze T-2 istasyonunda görülmek üzere, yağış verisindeki değişimlerin radon gazındaki değişimler ile büyük oranda ilişkili olduğu görülmektedir. Toprak nem parametresinin tartışıldığı bölüm 4.4.1.4'de yağış verileri de detaylı bir şekilde ele alındığı için yağış verisine ait türev grafikleri burada tekrar değerlendirilmemiştir.



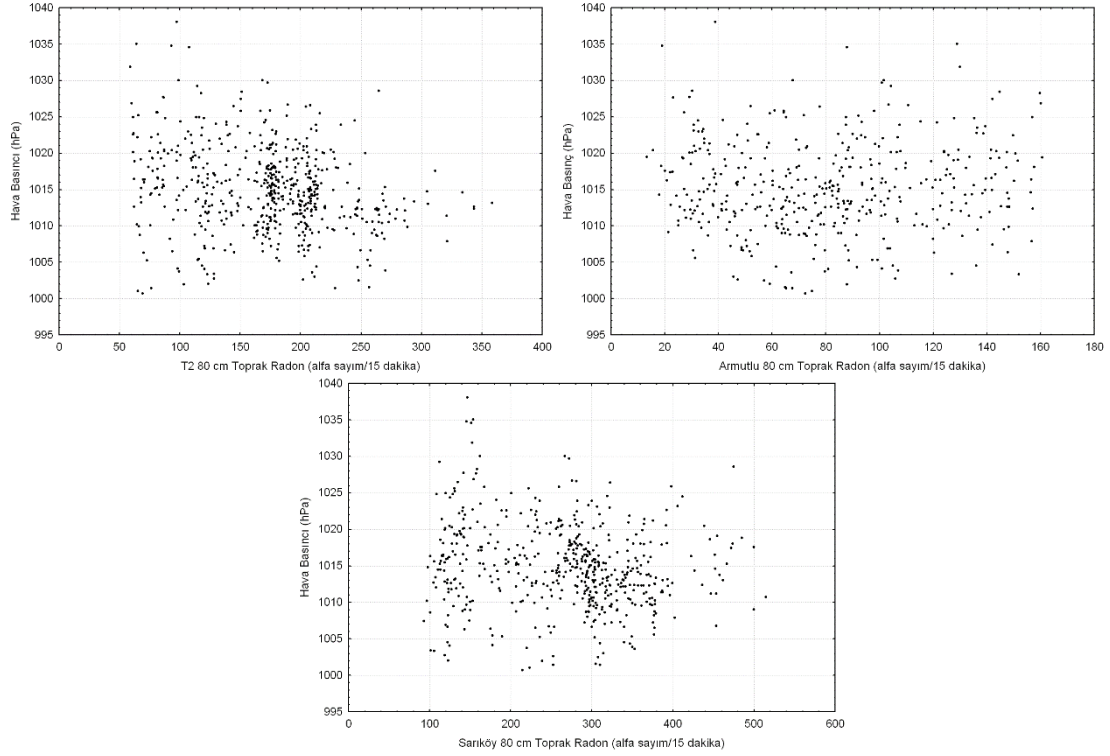
Şekil 4.147: Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile yağış (YA) değerlerinin türev (fark) grafikleri.

4.4.3.3. Hava Basıncı

Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava basınç verileri arasındaki saçılım grafiklerine baktığımızda (Şekil 4.148) Gebze ve Sarıköy istasyonlarında belli belirsiz negatif ilişkiye işaret eden bir dağılımdan bahsetmek mümkün iken, Armutlu'da bir ilişkiye yorumlanabilecek bir dağılım görmek mümkün olmamıştır.

EMD analizi ile elde edilmiş IMF bileşenleri arasında hesaplanan ve sadece ± 0.5 üzerinde olan korelasyon katsayılarını içeren Tablo 4.19'e baktığımızda, Gebze T-2 istasyonunda hava basıncına ait 6. IMF ile radon'a ait 6. IMF arasında -0.6'lık negatif korelasyon, Armutlu'da hava basıncına ait 6. IMF ile radon'a ait 6. IMF arasında

+0.8'lik pozitif korelasyon, Sarıköy'de ise hava basıncına ait 6. IMF ile radon'a ait 5. IMF arasında -0.5, hava basıncına ait 8. IMF ile radon'a ait 6. IMF arasında -0.8'lik negatif korelasyon değerlerinin mevcut olduğu görülmektedir.

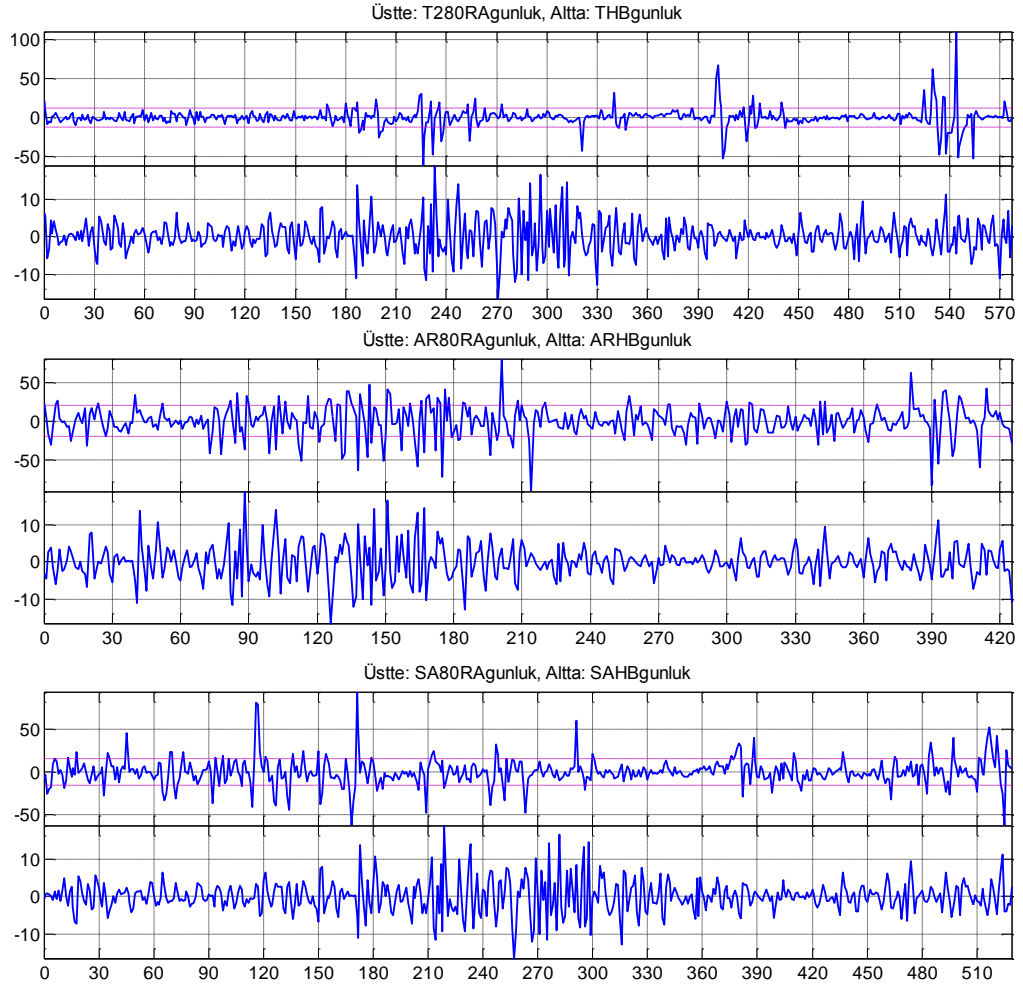


Şekil 4.148: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile hava basınç verileri arasındaki saçılım grafikleri.

Tablo 4.19: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait hava basıncı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Hava Basıncı	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-6 (~6 ay)	IMF-6 (~1 yıl)	-0.6
Armutlu	IMF-6 (~9.5 ay)	IMF-6 (~7 ay)	+0.8
Sarıköy	IMF-6 (~4.5 ay)	IMF-5 (~3 ay)	-0.5
	IMF-8 (~1.5 yıl)	IMF-6 (~9 ay)	-0.8

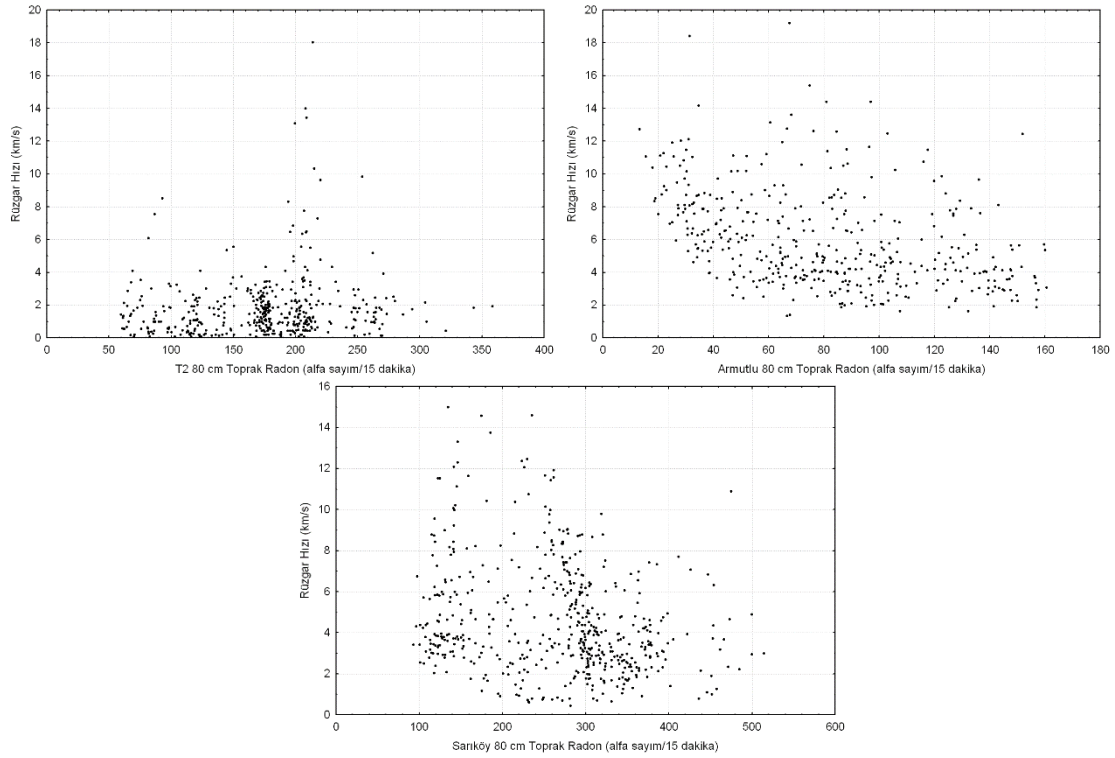
Verilerdeki anlık değişimleri incelemek amacıyla oluşturulan türev (fark) grafiklerine baktığımızda ise (Şekil 4.149), çok belirgin ilişkiler görmek mümkün değildir. Birkaç istisna dışında, radon gazında meydana gelen anlık değişimlerin hava basınç değişimlerinde net bir karşılığı bulunamamıştır. Aynı şekilde hava basıncındaki ani değişimlerin radon gazında da belirgin karşılığı olmadığından dolayı, iki değişken arasında anlık değişimler açısından anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.149: Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile hava basınç (HB) değerlerinin türev (fark) grafikleri.

4.4.3.4. Rüzgar

Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile lokasyon bazlı kaydedilen rüzgar hız verileri arasındaki saçılım grafiklerine (Şekil 4.150) bakıldığında, Gebze istasyonu için radon gazı ile rüzgar verileri arasında olası bir ilişkiye işaret eden bir dağılımdan bahsetmek çok zordur. Ancak Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait grafiklerde zayıf da olsa negatif yönde bir ilişkiye işaret eden dağılım söz konusudur.

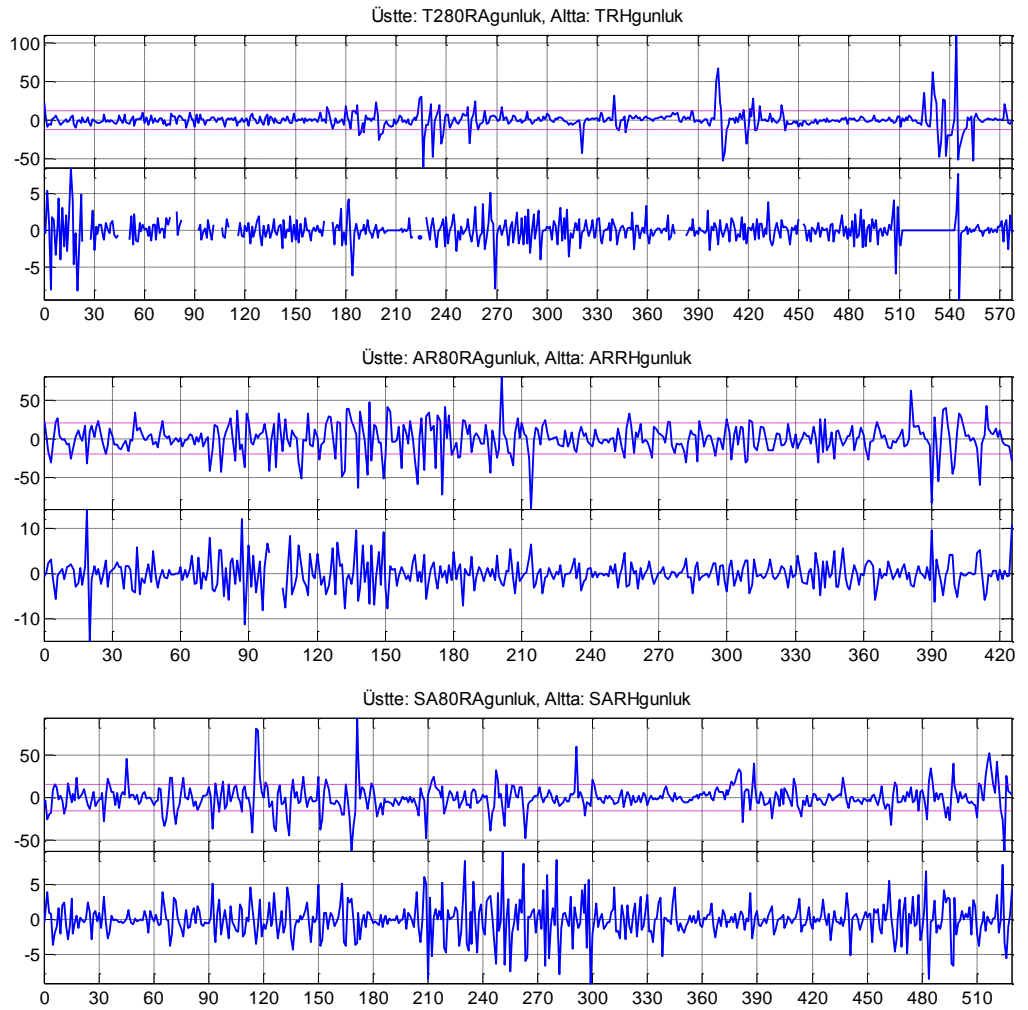


Şekil 4.150: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile rüzgar hız verileri arasındaki saçılım grafikleri.

Rüzgar hız veri setleri üzerinde veri analiz prosedürünün (Şekil 4.17) bir sonraki adımı olan EMD analizi neticesine elde edilen IMF bileşenleri arasında ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları Tablo 4.20’de sunulmuştur.

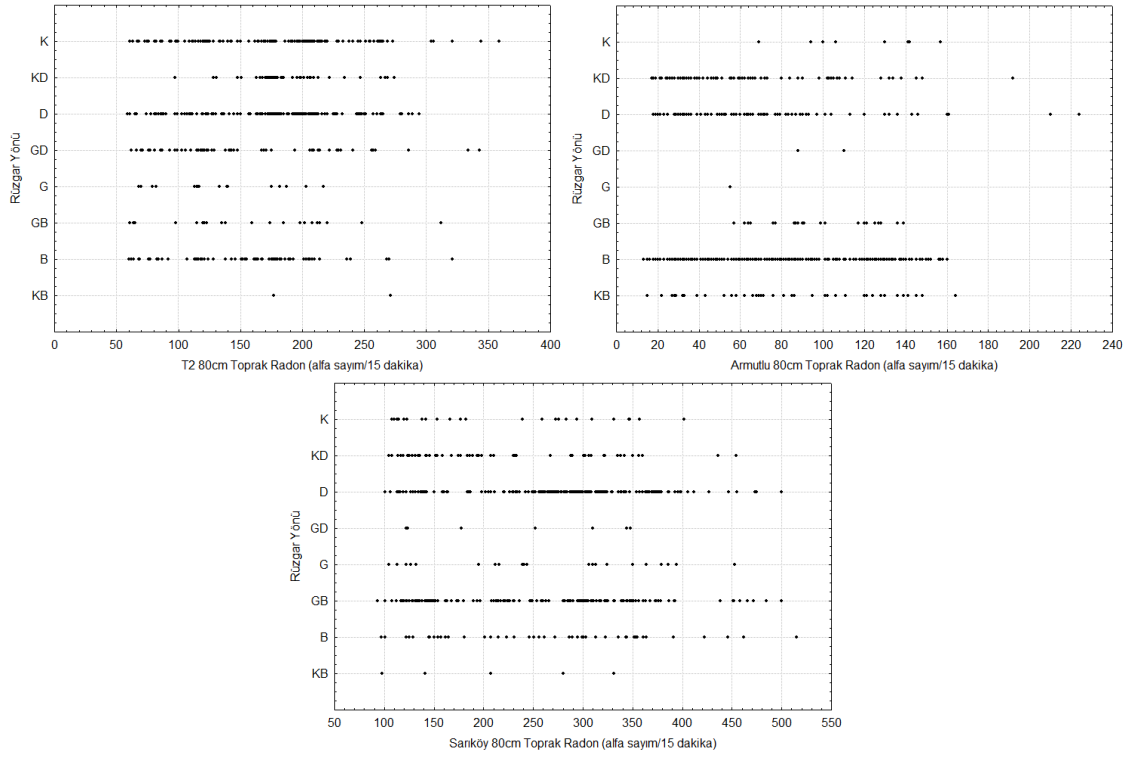
Tablo 4.20: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarına ait rüzgar hızı ile toprak radon gazı arasında, ± 0.5 ve üzerinde hesaplanan korelasyon katsayıları (mavi pozitif, kırmızı negatif) ve ilgili IMF bileşen bilgileri.

	Rüzgar Hızı	Radon	Korelasyon (r_s)
Gebze (T-2)	IMF-8 (~9.5 ay)	IMF-6 (~1 yıl)	-0.7
Armutlu	IMF-3 (~2 hafta)	IMF-3 (~2 hafta)	-0.5
Sarıköy	-	-	-



Şekil 4.151: Gebze (T-2), Armutlu (AR) ve Sarıköy (SA) istasyonlarına ait radon gazı (RA) ile rüzgar hızı (RH) derlerinin türev (fark) grafikleri.

Rüzgar hızı ile radon gazı arasındaki olası ilişkilerin incelenmesinin ardından, özellikle bu çalışma kapsamında kurulan ve hemen hemen düz bir alanda bulunan açık sahalarda çok da etkili olması beklenemeyecek olan rüzgar yön verileri de ele alınmıştır. Rüzgar yön verileri bir büyüklük değişimini temsil etmedikleri için bu veri üzerinde EMD veya türev analizleri gerçekleştirilmemiştir. Bunlar yerine sadece saçılım grafikleri oluşturularak, herhangi bir hakim rüzgar yönünün toprak içindeki radon gazı üzerinde etkili olup olmadığına bakılmıştır. Şekil 4.152’de yer alan bu grafiklerde, herhangi bir rüzgar yön-radon gaz ilişkisinden bahsetmek pek mümkün değildir. Açık ve düz alanda bulunan sahalarda beklenilebileceği gibi, rüzgar yönünün radon gazı üzerinde bir etkisi söz konusu değildir.



Şekil 4.152: Gebze (T-2), Armutlu ve Sarıköy istasyonlarında ölçülmüş olan toprak radon gazı ile rüzgar yön verileri arasındaki saçılım grafikleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Radon gazı konsantrasyonunun toprak içindeki zamansal değişimi üzerinde Jeolojik, Pedolojik ve Atmosferik (JPA) koşulların etkisini incelemek ve olası ilişkilerini ortaya koymak üzere yapılan bu tez çalışması kapsamında; Gebze’de dört adet, Armutlu’da (Yalova) bir adet, Sarıköy’de (Gönen) de bir adet olmak üzere çok parametrelili toprak içi gözlem istasyonları oluşturulmuştur. Gebze’deki istasyonlar farklı toprak özellikleri, Armutlu istasyonu jeotermal koşulları, Sarıköy istasyonu ise YAS değişimlerinin etkisini incelemek üzere seçilmiştir. Nisan 2009 ile Kasım 2010 tarihleri arasında yaklaşık 1.5 yıllık bir süre boyunca çok parametrelili ve kesintisiz veri toplanmıştır. Toplam 6 gözlem istasyonunda, 9 farklı parametre (toprak radon gazı, toprak sıcaklık, toprak nem, hava sıcaklık, hava basınç, yağış, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yeraltı su seviyesi) olmak üzere genel toplamda 1.120.715 adet zamana bağlı veri toplanmıştır. Gözlem istasyonlarının zemin özelliklerinin tanımlanabilmesi için çeşitli analizler gerçekleştirilerek topraklar karakterize edilmiştir. JPA koşulları dışında toprak içi radon hareketine depremselliğin olası etkilerini incelemek ve varsa ayıklamak amacı ile gözlem süresince bölgenin deprem aktivitesi de incelenmiş ve olası anomaliler araştırılmıştır. İstasyonlarda yapılan uzun süreli kesintisiz ölçümler neticesinde elde edilen zaman serileri arasındaki olası ilişkileri ortaya çıkartabilmek için istatistiksel özellikleri incelenmiş ve verilerin yapılarına uygun veri analiz metotları kullanılarak radon gazının değişimi üzerinde etkili olmuş olabilecek parametrelerin olası korelasyonları hesaplanmıştır. Elde edilen korelasyon değerleri yukarıda değinilen koşullar dikkate alınarak yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Radon Zaman Serisi Genel Davranışı:

- Toprak radon gazı zaman serileri hem uzun periyotlu (mevsimsel) hem de kısa periyotlu (günlük-haftalık) değişimler göstermektedir. Bu değişimlerin başta toprak nemi olmak üzere JPA koşullarındaki değişimler ile ilişkili olduğu saptanmıştır.

- Toprak radon gazı üzerinde meteorolojik parametrelerin etkisi basit bir ilişki şeklinde değil, farklı koşullar altında farklı etkiler şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Örneğin yağış öncesinde toprağın nem seviyesinin çok düşük veya çok yüksek olması, radon hareketinin etkilenme derecesine değiştirecektir.
- Toprak neminin topraktaki radon konsantrasyonlarını etkileyen en önemli parametre olduğu saptanmıştır. Toprak neminin değişimi, zeminin mevcut nem seviyesine bağlı olarak farklı şekilde etki edebilmektedir. Çok kuru bir dönemde meydana gelen ani toprak nem artışı ile birlikte radon verisinde de ani artışlar meydana gelmektedir. Diğer yandan, zaten toprağın neme doymuş olduğu kış aylarında toprak neminde meydana gelen ani artışlar radon gazı üzerinde kuru dönemdeki kadar etkili olamamaktadır. Bu da zeminin kuru veya doymuş oluşunun kritik olduğunu gösteriyor.
- Toprak radon gazı zaman serileri durağan olmayan (non-stationary) bir yapıya sahip olup, veriler analiz edilmeden önce uygun süzgeçlemelerden geçirilmelidir. Buna dikkat edilmeden yapılacak korelasyon analizleri yanlış sonuçlara götürebilir.
- Toprak radon gazının uzun süreli değişiminin irdelendiği çalışmalarda gün içi değişimlerin önemli olmadığı saptandığından, veri yoğunluğunu azaltmak amacıyla günlük ortalama değerler kullanılabilir.
- Toprak derinliği arttıkça ölçülen radon gazı değerleri de artmaktadır. 80 cm'de 50 cm'ye nazaran yaklaşık ~1.5 kat radon gazı konsantrasyonu kaydedilmiştir. Bu nedenle özellikle düşük radon gazı konsantrasyonlarına sahip yerlerde sinyal-gürültü oranını artırmak için mümkün olduğunca 80cm-100cm arasında gözlem yapılması önerilir. Daha derinlerde gözlem yapılması cihazın yerleştirme ve yerinden sökme işlemini oldukça zorlaştırmaktadır.
- Genel olarak 80 cm toprak derinliğindeki anlık değişimlerin 50 cm'ye nazaran biraz daha belirgin olduğu ancak mevsimler bazındaki uzun süreli salınımların ise hemen hemen aynı oranda gerçekleştiği görülmektedir.

Atmosferik Parametrelerin Etkisi

- Radon gazı konsantrasyonu, toprağın suya doymuş olduğu bol yağışlı dönemlerde kuru yaz aylarına nazaran daha düşüktür. Bunun nedeni suya

doygun ortamlarda difüzyon katsayısının düşmesine bağlı olarak gaz hareketinin sınırlanmasıdır.

- Yağış verisi toprak nem değişimi üzerinde başlıca etken olmakla birlikte, ani kuvvetli yağışlar dışında kurak yaz aylarında ve suya doygun kış aylarında gerek toprak nemi gerekse toprak radon gazı üzerinde anlık etki göstermemektedir.
- İlkbahar ve sonbahar gibi geçiş mevsimlerinde yağışlara bağlı toprak nem seviyesindeki ani değişimlere bağlı olarak radon gazında ciddi artış ve azalışlar görülebilmektedir. Kuru dönemden yağışlı döneme girerken ani artışlar ile birlikte genel seviyede düşme, yağışlı dönemden kuru döneme geçerken ise yine ani artışlar ile birlikte genel seviyede de artış izlenmektedir.
- Radon gazının düşük frekanslı (uzun periyotlu) değişimleri ile hava sıcaklığı ve kısmen de hava basıncı arasında korelasyonlar elde edilmiştir.

Pedolojik Özelliklerin Etkileri:

- Çok kumlu zeminlerde toprak nemi, çok killi zeminlerde ise hava basıncı ve hava sıcaklığı radon gazının uzun dönemsel hareketi üzerinde baskın rol oynamaktadır.
- Özellikle kum oranı çok yüksek ve bu nedenle nispeten açık zeminlerde yıllık periyotta toprak nemi çok belirgin negatif korelasyon göstermektedir. Gazın hareketi açısından nispeten kapalı sistem olarak değerlendirilebilecek kil baskın zeminde ise yine yıllık periyotta hava sıcaklığı pozitif, hava basıncı ise negatif yönde oldukça güçlü korelasyona sahiptir. Bunun nedeni killi zeminlerde özellikle kurak yaz aylarında sıkça görülen derin çatlakların gaz hareketi üzerinde bu parametrelerin etkilerini arttırması olarak yorumlanmıştır.
- Ani ve haftalık dönemlerde toprak nemi, mevsimsel dönemde ise değişen hava sıcaklığına bağlı olarak değişen toprak sıcaklığı radon konsantrasyonları üzerindeki etkili parametredir. Normal sahalarda yazları toprak en sıcak konumdayken, jeotermal sahada kışın yükselen jeotermal akışkan seviyesine bağlı olarak artan toprak sıcaklığı nedeniyle bu aylarda daha yüksek radon konsantrasyonları izlenmektedir.
- Radon gazı, kil oranı yüksek toprak ortamında özellikle Temmuz-Ağustos gibi sıcak aylarda gün içinde harmonik değişimler göstermektedir. Toprağın nispeten kuru olduğu bu dönemde toprakta meydana gelen kuruma çatlakları nedeniyle

zeminin hava basıncı ve sıcaklığı gibi atmosferik etkilere daha açık hale geldiği düşünülmektedir.

- Radon gazının düşük frekanslı (uzun periyotlu) değişimleri ile toprak nemi ve toprak sıcaklığı arasında korelasyonlar elde edilmiştir
- Radon gazı miktarında gözlenen yüksek frekanslı (kısa periyotlu) ani değişimlerinin büyük çoğunluğu toprak nem içeriğinin ani artması ile meydana gelmiştir.

Jeolojik Özelliklerin Etkileri:

- Toprak radon gazı ölçümü yapılan sahanın jeotermal özellikte olması, yazın yüksek-kışın düşük olması beklenen normal mevsimsel radon gazı davranışını tersine çevirerek, yazın düşük-kışın yüksek olmasına neden olmaktadır. Termal sahanın bu farklılığının, diğer bölgelerde atmosferik sıcaklığın kontrolünde olan toprak sıcaklığının, bu bölgelerde derin kökenli jeotermal akışkan kontrolünde olmasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Derinlerden gelen radon gazının gözlem noktasına taşınması da jeotermal akışkan ile birlikte artabilmektedir.
- Öncelikle gözlem süresince bölgede önemli büyüklükte deprem olmaması nedeni ile toprak içi radon zaman serilerinde depreme bağlı önemli sayılabilecek anomali olmadığı sonucuna varılmış ve zaman serilerinin sadece JPA etkileri nedeni ile değiştiği kabul edilmiştir. Bununla birlikte gözlem süresince gözlem istasyonlarına yakın bölgede 5'den büyük bir depremin meydana gelmemiş olmasının ve değerlendirme aşamasının bu tez çalışması amacına göre sadece anomali varlığı-yokluğuna yönelik yapıldığı unutulmamalıdır.
- Yeraltı su seviyesinin etkisini incelemeye yönelik yapılan gözlemler neticesinde kuyu içindeki su seviyesindeki anlık değişimlerin kuyudaki suyu besleyen akiferdeki basıncın değişimi ile ilgili olduğu ve yüzeye yakın topraktaki radon gazı üzerinde etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Öneriler:

- Toprak radon gazı ile ilgili çalışmalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak için uzun süreli, yerinde, kesintisiz ve çok parametrelili gözlemlerin yapılması önemlidir.

- Toprak radon gazının zamansal değişimini izleyen çalışmalarda özellikle toprak neminin ve sıcaklığının mutlaka izlenmesi ve birlikte değerlendirilmesi verilerin daha sağlıklı yorumlanması açısından nerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO T 267-86, 2000, Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington, DC.
- Abbad, S., Robe, M.C., Bernat, M., Labed, V., 1995, Influence of meteorological and geological parameter variables on the concentration of radon in soil gases: application to seismic forecasting in the Provence-Alpes-Cote d'Azur region, *Gas Geochemistry*, edited by Claude Dubois, *Science Reviews-Northwood*, ISBN 0-905927-79-6, 35-48.
- Akçay, A.E., Dönmez, M., Ilgar, A., Duru, M., Pehlivan, Ş., 2008, *1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*, No:103, Bandırma H19 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Asher-Bolinder, S., Owen, D.E., Schumann, R.R., 1990, Pedologic and climatic controls on Rn-222 concentrations in soil gas, Denver, Colorado, *Geophysical Research Letters*, 17(6), 825-828.
- Asher-Bolinder, S., Owen, D.E., Schumann, R.R., 1992, *A preliminary evaluation of environmental factors influencing day-to-day and seasonal soil-gas radon concentrations*, in Gundersen, L.C.S. and Wanty, R.B. (eds.), *Field Studies of Radon in Rocks, Soils, and Water*, 368, ISBN-10:0873719557.
- ASTM D 2487, 2007, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 3648, 1995, Standard Practices for the Measurement of Radioactivity, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 422-63, 2007, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.08, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 854-00, 2000, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4318-05, 2005, Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.

- Banwall, G.M., Parizek R.R., 1988, Helium4 and Radon 222 concentrations in groundwater and soil gas as indicators of zones of fracture concentration in unexposed rock, *Journal of Geophysical Research*, 93, 355-366.
- Baykara, O., Doğru, M., İnceöz, M., Aksoy, E., 2005, Measurements of radon emanation from soil samples in triple junction of North and East Anatolian active fault systems in Turkey, *Radiation Measurements*, 39, 209-212.
- Baykut, S., Akgül, T., Ergintav, S., 2009, EMD-based analysis and denoising of GPS data, *Signal Processing and Communications Applications Conference*, SIU 2009, IEEE 17th, 644-647.
- Baykut, S., Akgül, T., İnan, S., Seyis, C., 2010, Observation and Removal of Daily Quasi-Periodic Components in Soil Radon Data, *Radiation Measurements*, 45 (7), 872-879.
- Blonquist, J. M., Jones, S. B., Robinson, D. A., 2005, Standardizing Characterization of Electromagnetic Water Content Sensors: Part 2. Evaluation of Seven Sensing Systems, *Vadose Zone Journal*, 4, 1059-1069.
- Bender, H., 1934, Über der Gehalt der Bodenluft an Radium emanation, *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 41, 401-415.
- Boulding, R.J., 1996, *EPA environmental assessment sourcebook*, Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Brenner, D.J., 2000, Rutherford, the Curies, and Radon, *Medical Physics*, Volume 27, Issue 3, 618.
- Britannica, 2014, *Radon*, Encyclopædia Britannica, <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/489337/radon-Rn>, [Ziyaret Tarihi: 22.04.2014].
- Budde, E., 1958, Radon measurements as a geophysical method, *Geophysical Prospecting*, 6, 25-34.
- Chirkov, A.M., 1976, Radon as possible criterion for predicting eruptions as observed at Karymsky volcano, *Bulletin of Volcanology*, 38, 126-131.
- Chyi, L.L., Chou, T.Y., Yang, F.T., Chen, C.H., 2001, Continuous radon measurements in faults and earthquake precursor pattern recognition, *Western Pacific Earth Science*, 1 (2), 227-246.
- Ciotoli, G., Etioppe, G., Guerra, M., Lombardi, S., 1999, The detection of concealed faults in the Ofanto Basin using the correlation between soil-gas fracture surveys, *Tectonophysics*, 301, 321-332.
- Clamp, G.E., Pritchard, J., 1998, Investigations of fault position and sources of radon by measurements of U- 238 decay series radionuclide activity in soil samples, *Environmental Geochemistry and Health*, 20, 39-44.

- Clements, W. E., Wilkening, M. H., 1974, Atmospheric pressure effects on Rn-222 transport across the earth-air interface, *Journal of Geophysical Research*, 79 (33), 5025.
- Clever, H.L., 1985, Solubility Data Series, Vol.2, *Krypton-, Xenon-, Radon Gas Solubilities*, Pergamon Press, Oxford, 227-237.
- Connor, C., Hill, B., Lafemina, P., Navarro, M., Conway, M., 1996, Soil 222Rn pulse during the initial phase of the June–August 1995 eruption of Cerro Negro, Nicaragua, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73, 119-127.
- Cotton, F.A., Wilkinson, G., 1999, *Advanced inorganic chemistry*, 5th ed., Wiley-Interscience, New York.
- Dehandschutter, B., 2001, *Study Of The Recent Structural Evolution Of Continental Basins In Altai-Sayan (Central Asia)*, Thesis (PhD), Free University of Brussels (VUB), Belgium, 211.
- De La Cruz, S., Isabelle, M., Mena, M., Monnin, M., Romero, M., Segovia, N., Seidel, J.L., Pialoux, P., Armentia, M.A., 1986, Radon emanation related to geothermal faults, *Nuclear Tracks*, 12, 1 (6), 875-878.
- Del Pezzo, E., Gasparini, P., Mantovani, M.S.M., Martini, M., Capaldi, G., Gomes, Y.T., Pece, R., 1981, A case of correlation between Rn anomalies and seismic activity on a volcano (Vulcano Island, southern Tyrrhenian Sea), *Geophysical Research Letters*, 8 (9), 962-965.
- Duenas, C., Fernandes, M.C., 1987, Dependence of 222Rn flux on concentrations of soil gas and air gas and an analysis of the effects produced by several atmospheric variables, *Annales Geophysicae*, 5B, 6, 533-540.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Carretero J., Liger E., & Perez M., 1997, Release of Rn-222 from some soils, *Annales Geophysicae*, 15, 124-133.
- Ergin, K., 1969, Observed Intensity-Epicentral Distance Relations in Earthquakes, *Bulletin of Seismological Society of America*, 59 (3), 1127-1238.
- Etiopo, G., Martinelli, G., 2002, Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 129, 185-204.
- Falkenbach, A., Kovacs, J., Franke A., Jörgens, K., Ammer, K., 2005, Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases-review and meta-analysis of controlled clinical trials, *Rheumatology International*, 25, 205-210.
- Feenstra, S., Cherry, J.A., 1996, *Diagnosis and assessment of DNAPL sites*, In: J.F. Pankow and J.A. Cherry (ed.), *Dense chlorinated solvents and other DNAPL sites*, Waterloo Press, Portland, 395-473.

- Fleischer, R.L., Mogro-Campero, A., 1979, Radon enhancements in the earth: evidence for intermittent upflows, *Geophysical Research Letters*, 6, 361.
- Fleischer, L., Mogro-Campero, A., 1985, Association of subsurface radon changes in Alaska and the Northeastern United States with earthquakes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 1061-1071.
- Fleischer, R.L., Hart, H.R., Mogro-Campero, A., 1980, Radon emanation over an ore body: search for long-distance migration of gases within the earth: techniques and principles, *Journal of Geophysical Research*, 83, 3539-3549.
- Fleischer, R.L., 1981, Dislocation model for radon response to distant earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 8, 477-480.
- Flerov, G.N., Chirkov, A.M., Tretyakova, S.P., Dzholos, L.V., Merkina, K.I., 1986, The use of radon as an indicator of volcanic processes, *Earth Physics*, 22, 213-216.
- Friedmann, H., Arıç, I.L, King, C.Y., Çakmak, L.T., Sav., H., Altay, C., 1988, Radon measurements for earthquake prediction along the North Anatolian Fault Zone: A progress report, *Tectonophysics*, 152 (3-4), 209-214.
- Fujiyoshi, R., Sakamoto, K., Imanishi, T., Sumiyoshi, T., Sawamura, S., Vaupotic, J., Kobal, I., 2006, Meteorological parameters contributing to variability in ²²²Rn activity concentrations in soil gas at a site in Sapporo, Japan, *Science of the Total Environment*, 370, 224–234.
- Gasparini, P., Mantovani, M.S.M., Ribeiro, F.B., 1984, Temperature dependence of radon diffusion from some rocks and minerals, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 26 (101–102), 135–141.
- Gasparini, P., Veltri, C., 1987, *Radon: un precursore dei terremoti ?*, In: Boschi, E., Dragoni, M. (Eds.), *Aree sismogenetiche erischio sismico in Italia*, Ettore Majorana Centre for Scientific Culture, Istituto Nazionale di Geofisica, Lausanne, 585–609.
- Gedik, İ., Duru, M., Pehlivan, Ş., Timur, E., 2005, *1/50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*, No:15, Bursa G22b Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Gingrich, J.E., 1975, Results from a new Uranium Exploration Method, *Transactions of Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers*, 258, 61-64.
- Ergin, K., 1969, Observed Intensity-Epicentral Distance Relations in Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59 (3), 1227-1238.
- Flandrin, P. And Goncalves, P., 2004, Empirical mode decomposition as data-driven wavelet-like expansions, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2 (4), 477-496.

- Flandrin, P., Rilling, G. And Goncalves, P., 2004, Empirical Mode Decomposition as a Filter Bank, *IEEE Signal Processing Letters*, 11 (2), 112-114.
- George, A.C., 1990, An Overview of Instrumentation for Measuring Environmental Radon and Radon Progeny, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 37 (2), 892-901.
- Gogolak, C.V., Beck, H.L., 1980, *Diurnal variations of radon daughter concentrations in the lower atmosphere*, In: Gesell T.F., Lowder W.M. (eds.), Natural radiation environment III, Report No: CONF-780422, 259-280.
- Göksel, S.A., Köksal, E.M., Yaşar, S., Alkan, H., 1987, Radon Ölçümleriyle Depremlerin Önceden Saptanması, *Jeofizik 1*, 176-182.
- Gutenberg, B. And Richter, C. F., 1942, Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32, 163-191.
- Hauksson, E., 1981, Episodic rifting and volcanism at Krafla in north Iceland: radon (²²²Rn) emission from fumaroles near Leirhnjúkur, *Journal of Geophysical Research*, 86 (B12), 11806-11814.
- Heiligmann, M., Stix, J., Williams, G., Sherwood, B., Garzon, G., 1997, Distal degassing of radon and carbon dioxide on Galeras volcano, Colombia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 77, 267-283.
- Hoehn, E., Von Gunten, H.R., 1989, Radon in Groundwater: A Tool to Assess Infiltration From Surface Waters to Aquifers, *Water Resources Research*, 25 (8), 1795-1803.
- Höhener, P., Surbeck, H., 2004, Radon-222 as a Tracer for Nonaqueous Phase Liquid in the Vadose Zone: Experiments and Analytical Model, *Soil Science Society of America, Vadose Zone Journal*, 3, 1276-1285.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.L., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. And Liu, H.H., 1998, The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis, *Proceedings of the Royal Society London*, 454, 903-995.
- Huang, N.E., Shen, S.S.P, 2005, *Hilbert-Huang Transform And its Applications*, World Scientific Publishing Co Ltd, Singapore, ISBN: 981-256-376-8.
- Hubbard, L.M., Hagberg, N., 1996, Time variation of the soil gas radon concentration under and near a Swedish house, *Environment International*, 22 (1), 477-482.
- Hutter, A.R., Knutson, E.O., 1998, An international intercomparison of soil gas radon and radon exhalation measurements, *Health Physics*, 74 (1), 108-114.
- Hutter, A.R., 1996, Spatial and temporal variations of soil gas ²²⁰Rn and ²²²Rn at two sites in New Jersey, *Environment International*, 22 (1), 455-469.

- ICRP, 1987, Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters, *Report 50*, 17 (1).
- IEC 61577-1, 2006, Radiation Protection Instrumentation – Radon and Radon Decay Product Measuring Instruments–Part 1: General principles, *International Electrotechnical Commission*, Ed.2.
- İnan, S., Akgül, T., Seyis, C., Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S., Baş, M., 2008, Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity, *Journal of Geophysical Research*, 113, B03401, 1-15.
- İnan, S., Ergintav, S., Cuff, K., Saatçılar, R., Belgen, A., Akar, S., 2001, Marmara Bölgesinde Toprak Radon Gazı Ölçümleri: Aktif Zonların Tespit Çalışmalarına Katkısı, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG-5)*, 15-16 Kasım 2001, Ankara Üniversitesi.
- İnan, S., Ertekin, K., Seyis, C., Şimşek, Ş., Kulak, F., Dikbaş, A., Tan, O., Ergintav, S., Çakmak, R., Yörük, A., Çergel, M., Yakan, H., Karakuş, H., Saatçılar, R., Akçiğ, Z., İravul, Y., Tüzel, B., 2010, Multi-disciplinary earthquake researches in Western Turkey: Hints to select sites to study geochemical transients associated to seismicity, *Acta Geophysica*, 58 (5), 767-813.
- İnan, S., Kop, A., Çetin, H., Kulak, F., Pabuçcu, Z., Seyis, C., Ergintav, S., Tan., O., Saatçılar, R., Bodur, M.N., 2012b, Seasonal variations in soil radon emanation: Long term continuous monitoring in light of seismicity, *Natural Hazards*, 62, 575-591.
- İnan, S., Pabuçcu, Z., Kulak, F., Ergintav, S., Tatar, O., Altunel, E., Akyüz, S., Tan, O., Seyis, C., Çakmak, R., Saatçılar, R., Eyidoğan, H., 2012a, Microplate Boundaries as Obstacles to Pre-earthquake Strain Transfer in Western Turkey: Inferences from Continuous Geochemical Monitoring, *Journal of Asian Earth Sciences*, 48, 56-71.
- İnan, S., Seyis, C., 2010, Soil radon observations as possible earthquake precursors in Turkey, *Acta Geophysica*, 58 (5), 828-837
- İnan, S., Seyis, C., Ergintav, S., Saatçılar, R., Baş, M., Cuff, K., Görür, N., Canan, S., Belgen, A., Kafarov, R., Çakmak, R., Karakaş, D., Çetin, S., Akar, S., Kurt, L., Yakan, H., 2003, Spring Water And Soil Radon Gas Monitoring: A Search For Possible Precursors Of Earthquake Activity In The Marmara Region (NW Turkey), Poster Session, *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice, France.
- İpek, M., Uz, Z., Güçlü, U., 1965, Sismolojik Donelere Göre Türkiye Deprem Bölgeleri, *Deprem Yönetmeliği Toplantısına Takdim Edilen Rapor*, 22 Şubat 1965, Ankara (Yayımlanmamış).

- Isabekov, A., Baykut, S., Akgül, T., 2009, Underwater ambient noise analysis using Empirical Mode Decomposition method, *Signal Processing and Communications Applications Conference*, SIU 2009, IEEE 17th, 640-643.
- Iskandar, D., Yamazawa, H., Iida, T., 2004, Quantification of the dependency of radon emanation power on soil temperature, *Applied Radiation and Isotopes*, 60, 971-973.
- Israël, H., Björnsson, S., 1966, Radon (Rn-222) and Thoron (Rn-220) in soil air over faults, *Zeitschrift für Geophysik*, 33, 44-64.
- Israelsson, S., 1980, *Meteorological influences on atmospheric radioactivity and its effects on the electrical environment*, In: Gesell T.F., Lowder W.M. (eds.), *Natural radiation environment III*, Report No: CONF-780422, 210-225.
- Ioannidesa, K., Papachristodouloua, C., Stamoulisa, K., Karamanisa, D., Pavlidesb, S., Chatzipetrosb, A., Karakala, E., 2003, Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones, *Applied Radiation and Isotopes*, 59, 205-213.
- Kato, H., Katoh, K., Barka A., Kuscu, I., 1990, Alpha Track Measurements for Faults in Northern Turkey, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 41 (3), 99-114.
- Kayım, H., 1985, *İstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleri*, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayın No 11.
- Kemski, J., 1993, Radonmessungen in der Bodenluft zur Lokalisierung von Störungen im Neuwieder Becken (Mittelrhein), *Bonner geowissenschaftliche Schriften*, 8, 144.
- Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., 1996, Das geogene Radon-Potential, *Umweltradioaktivitat*, Ernst&Sohn, Berlin, 179-222.
- Kemskii, J., Klingel, R., Schneiders, H., Siehl, A., Wiegand, J., 1992, Geological structure and geochemistry controlling Radon in soil gas, *Radiation Protection Dosimetry*, 45 (1/4), 235-239.
- Khan, H.A., 1989, Solid State Nuclear Track Detection (SSNTD): A Useful Scientific Tool For Basic And Applied Research, *Journal of Islamic Academy of Sciences* 2 (4), 303-312.
- King, C. Y., 1978, Radon Emanation on San Andreas Fault, *Nature*, 271, 516-519.
- King, C.Y., 1980, Episodic radon changes in subsurface soil gas along active faults and possible relation to earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 85 (B6), 3065-3078.
- King, C.Y., 1986, Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview, *Journal of Geophysical Research*, 91 (B12), 269-281.

- Klusman, R.W., Webster, J.D., 1981, Meteorological noise in crustal gas emission and relevance to geochemical exploration, *Journal of Geochemical Exploration*, 15, 63-76.
- Knoll, G.F., 2000, *Radiation Detection and Measurement*, 3rd edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 816.
- Kop, A., Ezer, M., Bodur, M.N., Darbaş, G., İnan, S., Ergintav, S., Seyis, C., Yalçın, C., 2013, Geochemical Monitoring Along the Türkoğlu (Kahramanmaraş)-Gölbaşı (Adıyaman) Segments of the East Anatolian Fault System, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 5521-5536.
- Köksal, E.M., Çelebi, N., 2005, *Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri*, Türkiye AtomEnerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 35.
- Kövesligethy Von, R., 1907, Seismischer Stärkegrad und Intensität der Beben, *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, Band VIII, Leipzig.
- Kraemer, T.F., Genereux, D.P., 1998, *Applications of Uranium- and Thorium-Series Radionuclides in Catchment Hydrology Studies*, In: Kendall, C. and McDonnell, J.J. (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*, Elsevier, Amsterdam, 679-722.
- Kraner H.W., Schroeder G.L., Evans R.D., 1964, *Measurements of the effects of atmospheric variables on radon-222 flux and soil gas concentrations*, In: Adams, J.A.S. and Lowder, W.M. (eds.), *Natural Radiation Environment* University of Chicago Press, Chicago, III, 191-215.
- Kritz, M.A., Roulley, J.C., Danielsen, E.F., 1990, The China Cipher - fast advective transport of radon rich air from the Asian boundary layer to the upper troposphere near California, *Tellus Series B*, 42, 46-61.
- Kuşçu, İ., Barka, A., Kato, H., Katoh, K., 1992, Kuzey Anadolu Fay Zonundaki Bazı Faylarda Radon Gazı (Alfa İzi) Ölçümleri, *Jeoloji Mühendisliği*, 40, 33-40.
- Laughlin, J.Mc., 2012, An historical overview of radon and its progeny: applications and health effects, *Radiation Protection Dosimetry*, 152 (1-3), 2-8.
- Lindmark, A., Rosen, B., 1985, Radon In Soil Gas - Exhalation Tests And In Situ Measurements, *The Science of the Total Environment*, 45, 397-404.
- Liu, S.C., McAfee, J.R., Cicerone, R.J., 1984, Radon-222 and tropospheric vertical transport, *Journal of Geophysical Research*, 89, 7291-7297.
- Lombardi, S., Quattrocchi, F., Fytikas, M., Marty, M., Duddridge, G., 1998, *Geochemical seismic zonation: a multidisciplinary approach using fluid-geochemistry*, ENV4-CT96-0291 (GSZ).

- Malakhov, S.G., Bakolin, V.N., Dmitrieva, G.V., 1966, Diurnal variations of radon and thoron decay product concentrations in the surface layer of the atmosphere and their washout by precipitation, *Tellus*18, 643-654.
- Marshall, J.L, Marshall, V.R., 2003, Ernest Rutherford, The “True Discoverer” of Radon, *Bulletin for the History of Chemistry*, 28, 76-83.
- Matolín, M., Jáně, Z., Neznal, M., Neznal, M., 2000, *Geometry of Soil Gas Sampling, Soil Permeability and Radon Activity Concentration*, In: Barnet, I. and Neznal, M. (eds), *Radon Investigations in Czech Republic*, 8, Geological Survey Praha, 27-29.
- Merolla, P., Mose, D., Mushrush, G., 2003, Changes in Water Table and Soil Radon Emanation, *Environmental Forensics*, 5, 135-141.
- Miglerini, M., 2004, *Detectors of Radiation*, http://www.reak.bme.hu/Wigner_Course/2004/WignerManuals/Bratislava/Detectors.htm, [Ziyaret Tarihi: 25.11.2010].
- Mogro-Campero, A., Fleischer, R.L., Likes, R. S., 1980, Changes in subsurface radon concentration associated with earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 85 (B6), 3053-3057.
- Monnin, M.M., Seidel, J.L., 1992, Radon in soil-air and in groundwater related to major geophysical events: A survey, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A314, 316-330.
- Monnin, M., Seidel, J.L., 1998, An automatic radon probe for earth science studies, *Journal of Applied Geophysics*, 39, 209-220.
- Moussa, M.M., El Arabi, A.G.M., 2003, Soil radon survey for tracing active fault: a case study along Qena-Safaga road, Eastern Desert, Egypt, *Radiation Measurements*, 37, 211-216.
- Myers, J.L., Well, A.D., 2003, *Research Design and Statistical Analysis*, 2nd ed., Lawrence Erlbaum, ISBN 0-8058-4037-0, 508.
- Nazaroff, W.W., 1992, Radon transport from soil to air, *Reviews of Geophysics*, 30 (2), 137-160.
- NCRP, 1988, Measurement of radon and radon daughters in air, *National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No. 97*, Bethesda, MD.
- NCRP, 2009, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, *National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No. 160*, Bethesda, MD.
- Nesmeyanov, A. N., 1974, *Radiochemistry*, Mir Publisher, Moscow, 644.

- Nezmal, M., Matolin, M., Just, G., Turek, K., 2004, Short-term temporal variations of soil gas radon concentration and comparison of measurement techniques, *Radiation Protection Dosimetry*, 108, 55-63.
- Nikezic, D., Yu, K.N., 2004, Formation and growth of tracks in nuclear track materials, *Materials Science and Engineering*, 46, 51-123.
- Otton, J.K., Gundersen, L.C.S., Schumann, R.R., 1993, *The Geology of Radon*, U.S. Geological Survey, ISBN 0-16-037974-1.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M., Savvides, E., Charalambous, S., 1989, Radon monitoring at the Stivos Fault following the ML= 6.5 earthquake which occurred at Thessaloniki, Greece on 20 June 1978, *Nuclear Geophysics*, 3, 49-56.
- Papastefanou, C., 2002, An overview of instrumentation for measuring radon in soil gas and groundwaters, *Journal of Environmental Radioactivity*, 63, 271-283.
- Pedersen, T., Wangen, M., Johansen, H., 1997, *Flow along fractures in sedimentary basins*, In: Jamtveit & Yardley (eds), *Fluid flow and transport in rocks: Mechanisms and effect*, Chapman & Hall, 213-233.
- Ramola, R. C., Singh, M., Sandhu, A. S., Singh, S., Virk, H. S., 1990, The use of radon as an earthquake precursor, *Nuclear Geophysics*, 4, 275-287.
- Reimer, G.M., 1990, Reconnaissance techniques for determining soil-gas radon concentrations: an example from Prince Georges Country, Maryland, *Geophysical Research Letters*, 17 (6), 809-812.
- Rilling, G., Flandrin, P., Goncalves, P., 2003, On empirical mode decomposition and its algorithms, *IEEEURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, NSIP-03, Grado.
- Rilling, G., 2007, *Empirical Mode Decomposition*, <http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>, [Ziyaret Tarihi: 29.12.2009].
- Rose, A.W., Hutter, A.R., Washington, J.W., 1990, Sampling variability of radon in soil gases, *Journal of Geochemical Exploration*, 38, 173-191.
- Ruckerbauer, F., Winkler, R., 2001, Radon concentration in soil gas: a comparison of methods, *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 273-280.
- Rutherford, E., Owens, R.B., 1899, Thorium and uranium radiation, *Transactions of the Royal Society of Canada*, 2, 9-12.
- Sabroux, J.C., Michielsen, N., Voisin, V., Ferry, C., Richon, P., Pineau, J. F., 2004, Niton: A New Geophysical Tool Based On Atmospheric Radon For Water Exploration In The Martian Soil, European Geosciences Union, *Geophysical Research Abstracts*, 6, Abstract 07770.

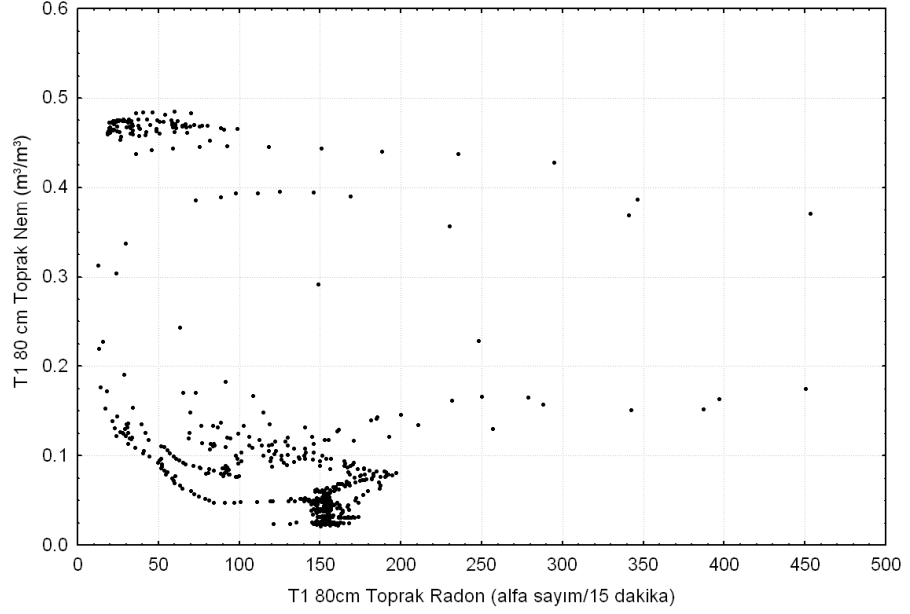
- Saç, M.M., Camgöz, B., 2005, İzmir’de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, *DEÜ Müh. Fak., Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 47-54.
- Schery, S.D., Geaddert, D.H., Wilkening, M.H., 1982, Transport of Radon from fractured rocks, *Journal of Geophysical Research*, 87 (B4), 2969-2976.
- Scholz, C.H., Sykes, L.R., Agrawal, Y.P., 1973. Earthquake prediction: a physical basis, *Science*, 181, 803-810.
- Schroeder, G. L., Kraner, H. W., Evans, R. D., 1965, Diffusion of radon in several naturally occurring soil types, *Journal of Geophysical Research*, 70 (2), 471-474.
- Schubert, M., 2001, Erfassung von Untergrundkontaminationen durch Non-Aqueous Phase-Liquids (NAPLs) mit Hilfe der Bestimmung der Radonkonzentration der Bodenluft, *UWSF – Z Umweltchem Ökotox*, 13 (5), 313-316.
- Schubert, M., Freyer, K., Treutler, H.C., Weiss, H., 2002, Using radon-222 in soil gas as an indicator of subsurface contamination by non-aqueous phase-liquids (NAPLs), *Geofísica Internacional*, 41 (4), 433-437.
- Schumann, R.R., Owen, D.E., Asher-Bolinder S., 1989, Weather factors affecting soil-gas radon concentrations at a single site in the semiarid western U.S., *Proceedings of the 1988 EPA symposium on radon and radon reduction technology*, vol. 2., EPA/600/9-89/006B, U.S. Environmental Protection Agency, 3.1-3.13
- Segovia, N., De La Cruz Reyna, S., Mena, M., Ramos, E., Monnin, M., Seidel, J.L., 1989, Radon in soil anomaly observed at Los Azufres Geothermal field, Michoacan: a possible precursor of the 1985 Mexico earthquake (M=8.1), *Natural Hazards*, 1, 319-329.
- Seidel, J.L., Monnin, M., Boneville, A., Delorme, H., Le’Nat, J.F., Segovia, N., 1988, Radon-in-soil measurements related to the activity of the Piton de la Four-naise volcano, La Re’union island France, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 15 (1/4), 567-570.
- Seyis, C., İnan, S., Streil, T., 2010, Ground and indoor radon measurements in a geothermal area, *Acta Geophysica*, 58 (5), 939-946.
- Soil Survey Staff, 1993, Soil Survey Manual, *United States Department of Agriculture Handbook No. 18*, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 437-1036.
- Somogyi, G., Paripas, B., Varga, Z., 1984. Measurements of radon, radon daughters and thoron concentrations by multi-detectors devices, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 8 (1/4), 423-427.
- Sponheuer, W., 1960, Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik, *Freiberger Forschungshefte*, C88, 117.

- Steinitz, G., Vulkan, B., Lang, B., Gilat, A., Zafrir, H., 1992, Radon emanation along border faults of the Rift in the Dead Sea, *Israel Journal of Earth Sciences*, 41 (1), 9-20.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992, *Türkiye Diri Fay Haritası*, 1:2.000.000 ölçekli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Talwani, P., Moore, W.S., Chiang, J., 1980. Radon anomalies and microearthquakes at Lake Jocassee, South Carolina, *Journal of Geophysical Research*, 85, 3079-3088.
- Tanner, A.B, 1980, *Radon migration in the ground: A supplementary review*, In: Gesell T.F., Lowder W.M. (eds.), Natural radiation environment III, Report No: CONF-780422, 5-56
- Tanner, A.B., 1991, Error in measuring radon in soil gas by means of passive detectors, *Nuclear Geophysics*, 5, 25-30.
- Tansi, C., Tallaricob, A., Iovinea, G., Galloa, M.F., Falcone, G., 2005, Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectonic-gravitational settings: the south-eastern Crati graben (Northern Calabria, Italy), *Tectonophysics*, 396, 181-193.
- Tekin, Z., Manav E., Durdu M., Tuncay, İ., 1998, Yalova-Armutlu'da yapılan MTA-2 sıcak su kuyusunun kuyu bitirme raporu, *MTA Raporları*, No:10196, 8.
- Thomas, D.M, Cuff K.E, Cox, M.E, 1986, The association between ground gas radon variations and geologic activity in Hawaii, *Journal of Geophysical Research*, 91, 12186-12198.
- Thomas, D.M, Cotter, J.M, Holford, D, 1992, Experimental design for soil gas radon monitoring, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 161, 313-323.
- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan., A.P., 1980, Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, *Water Resources Research*, 16, 574-582.
- Treutler, H.C., Freyer, K., Devantier, R., 1998, *Radonmessung in der Bodenluft - Ein Methodenvergleich*, In: Winter, M., Henrichs, K., Dörfel, H. (Eds.), Radioaktivität in Mensch und Umwelt, Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Fachverband für Strahlenschutz e.V. (FS), German Report FS-98-98-T, TÜV-Verlag, Köln, 385-390.
- Ulomov, V.I., Mavashev, B.Z., 1971, Forerunners of the Tashkent earthquake, *Izvestiya Akademii Nauk Uzbekistana SSR*, 188-200.
- UNSCEAR, 1982, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Report to the General Assembly*, with annexes, 773.

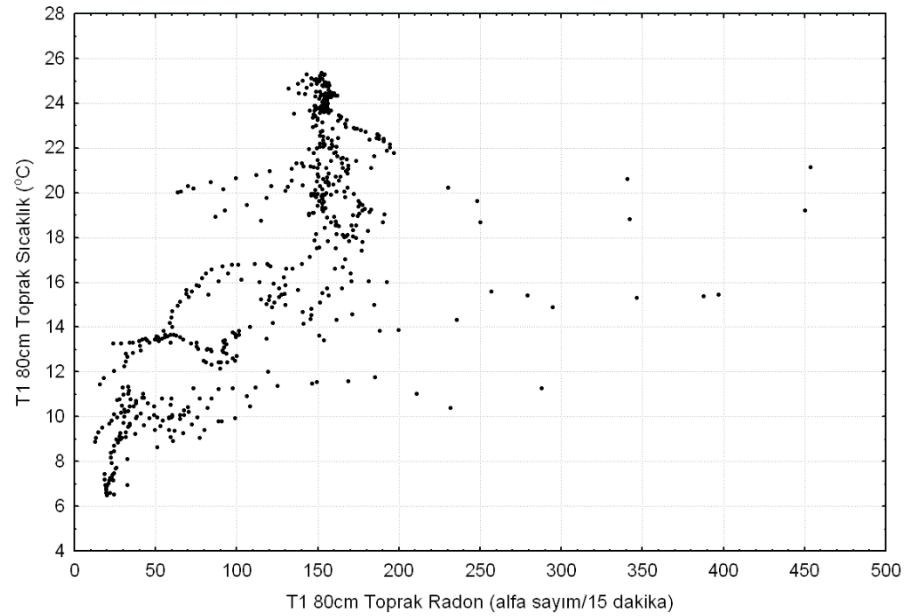
- Van der Pal, M., 2003, Radon Transport in Autoclaved Aerated Concrete, *PhD thesis*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, University Press.
- Varley, N.R., Flowers, A.G., 1992, Radon and its correlation with some geological features of the south-west of England, *Radiation Protection Dosimetry*, 45 (1/4), 245-248.
- Vindas, J.R.G., Fernandez, E., Duarte, E., Malavassi, E., 2002, Radon Concentration Anomalies as possible precursors to pyroclastic flow events of Arenal Volcano, *Geofisica International*, 41 (4), 475-481.
- Wang, G., Liu, C., Wang, J., Liu, W., Zhang, P., 2006, The use of soil mercury and radon gas surveys to assist the detection of concealed faults in Fuzhou City, China, *Environmental Geology*, 51, 83-90.
- Washington, J.W., Rose, A.W., 1990, Regional and temporal relations of radon in soil gas to soil temperature and moisture, *Geophysical Research Letters*, 17, 829-832.
- Wattananikorn, K., Kanaree, M., Wiboolsake, S., 1998, Soil Gas Radon As An Earthquake Precursor: Some Considerations On Data Improvement, *Radiation Measurements*, 29 (6), 593-598.
- Wilkening, M.H., Clements, W.E., Stanley, D., 1975, *Radon-222 flux measurements in widely seperated regions*, In: Adams J. A. S. et al. (eds.), *The Natural Radiation Environment II*, USERDA CONF-720805, 717-730.
- Winkler, R., Ruckerbauer, F., Bunzl, K., 2001, Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations, *Science of The Total Environment*, 272, 273-282.
- Woith, H., W. Enge, S. Gençoğlu, G. Matthes, A. Pekdeğer, J. Zschau, 1989, *On the feasibility of monitoring radon in soil gas and groundwater as a precursor to earthquakes*, In: Turkish-German earthquake research project, edited by Zschau, J. and Ergünay, O., Eigenverlag, Kiel, 112-129.
- Woith, H., Pekdeğer, A., 1995, *Soil radon and non-tectonic effects: A contribution to the joint German-Turkish project on earthquake research*, In: Dubois, C. (ed.), *Gas Geochemistry*, Science Reviews-Northwood, ISBN 0-905927-79-6, 135-146.

EKLER

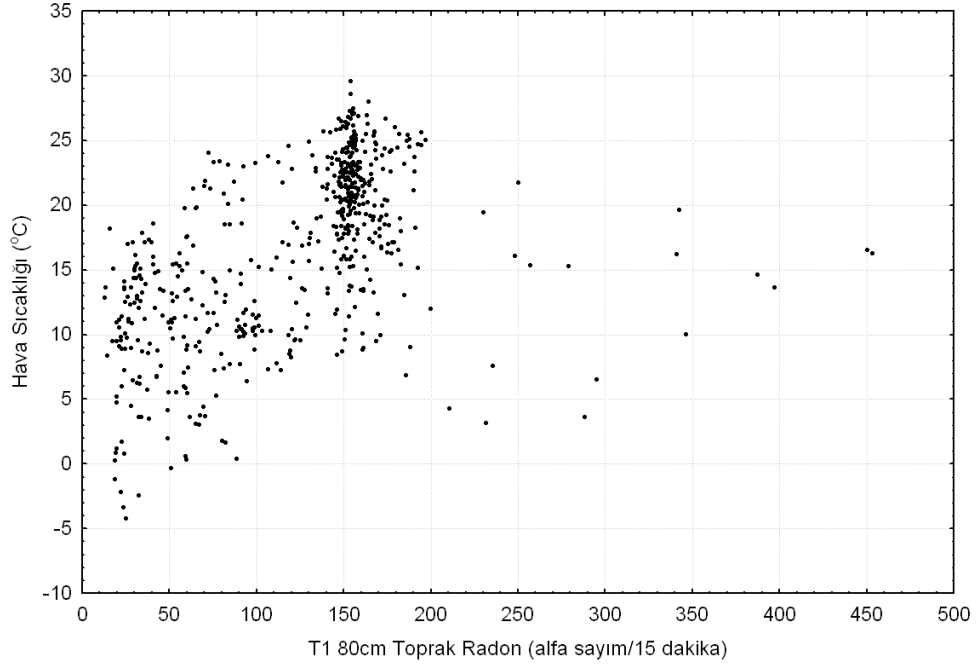
EK A. Saçılım Grafikleri



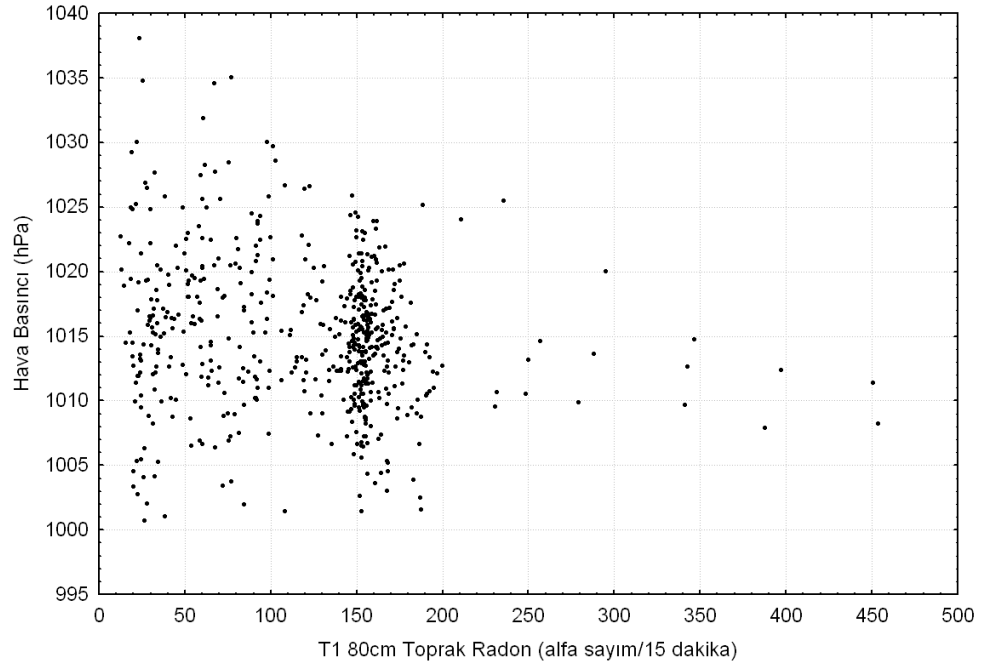
Şekil A.1: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



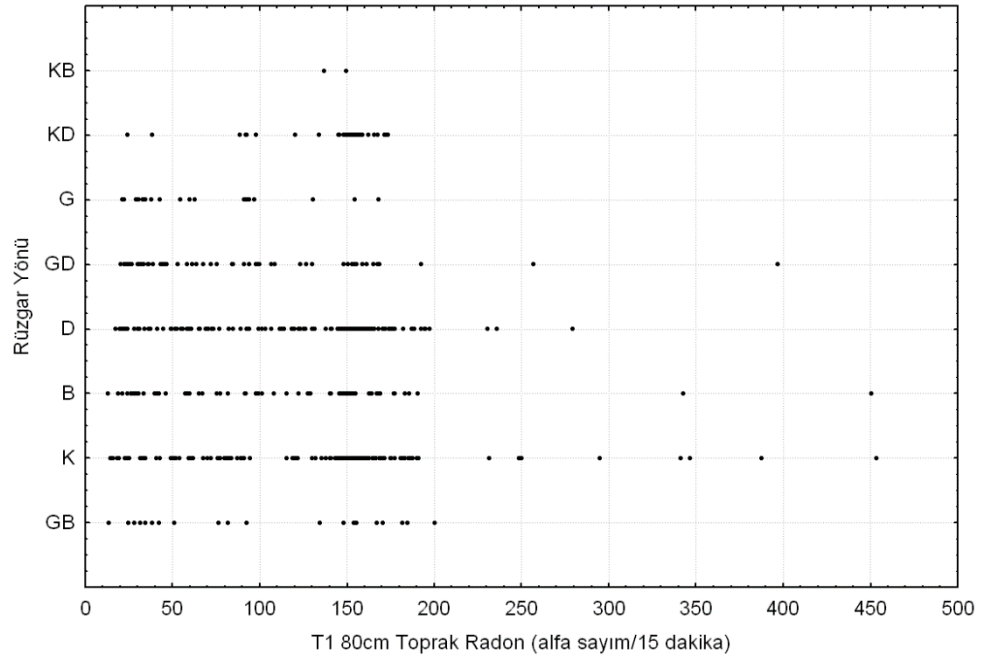
Şekil A.2: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



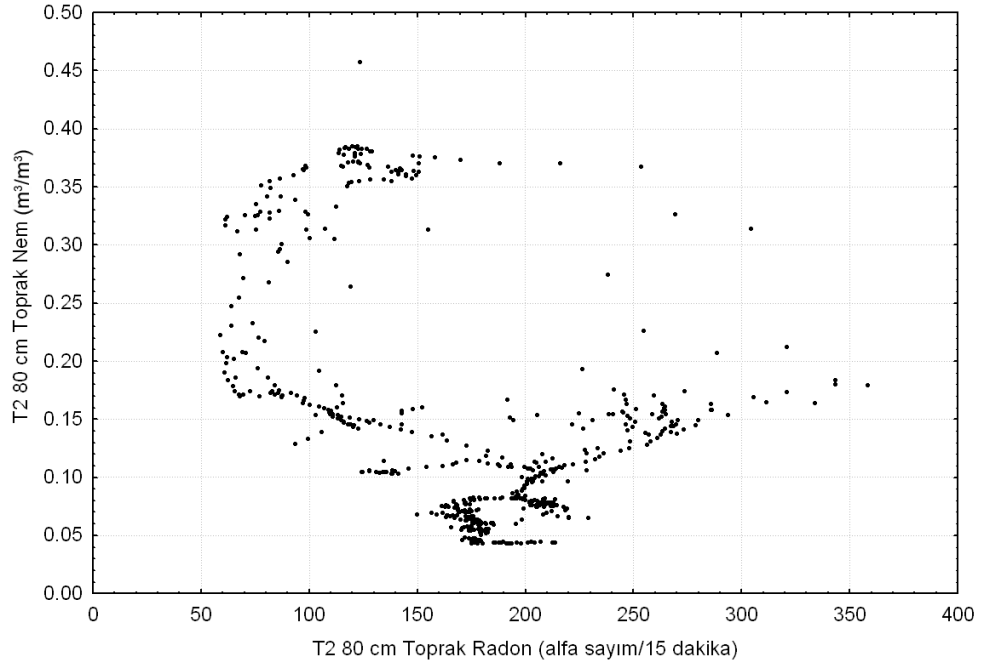
Şekil A.3: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



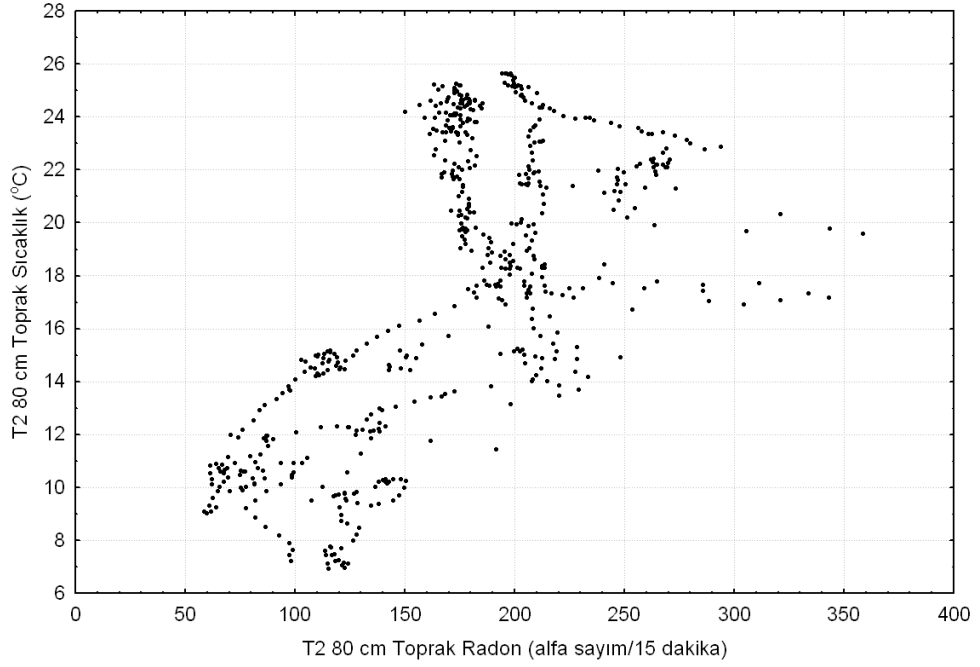
Şekil A.4: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basınç (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



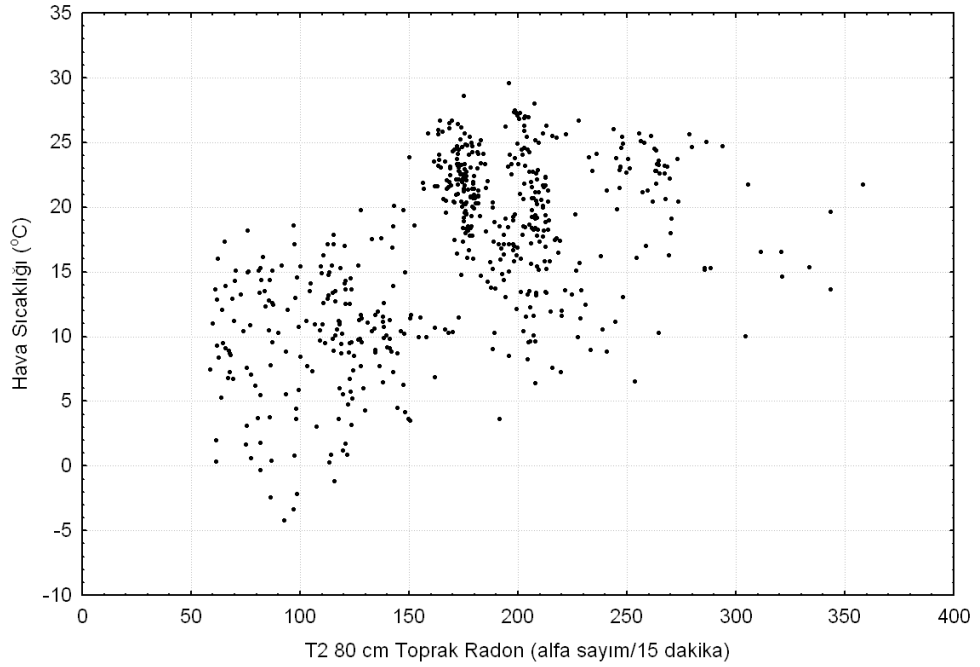
Şekil A.7: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T1 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yönü (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



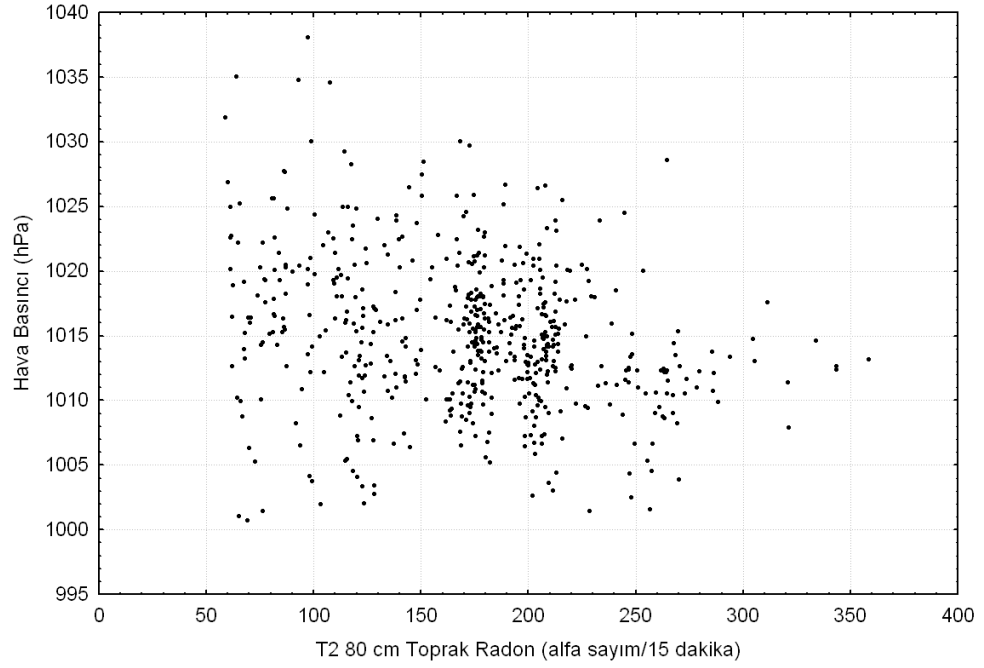
Şekil A.8: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



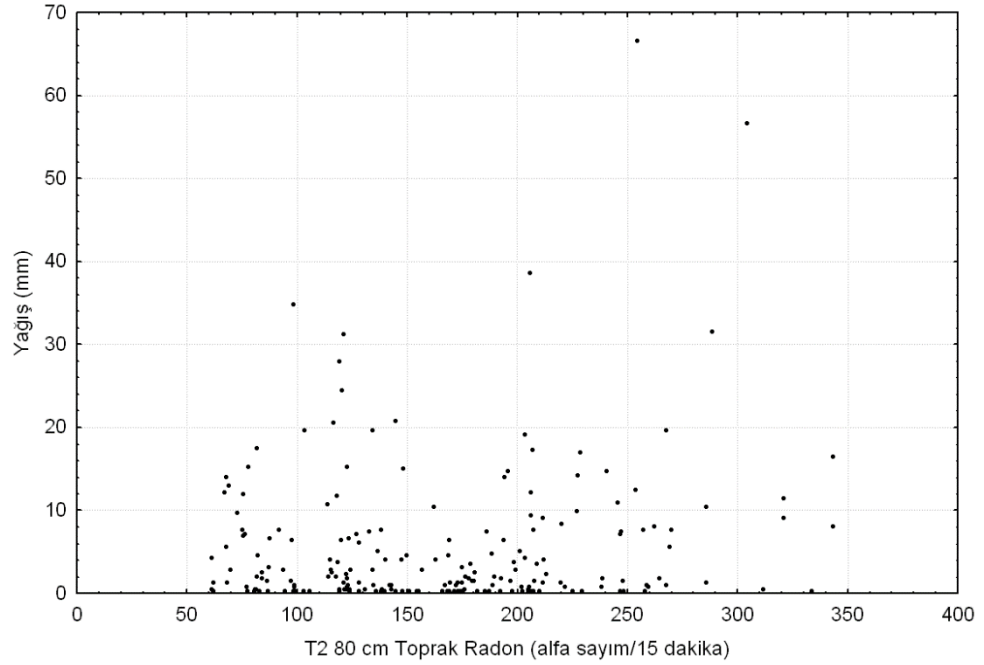
Şekil A.9: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



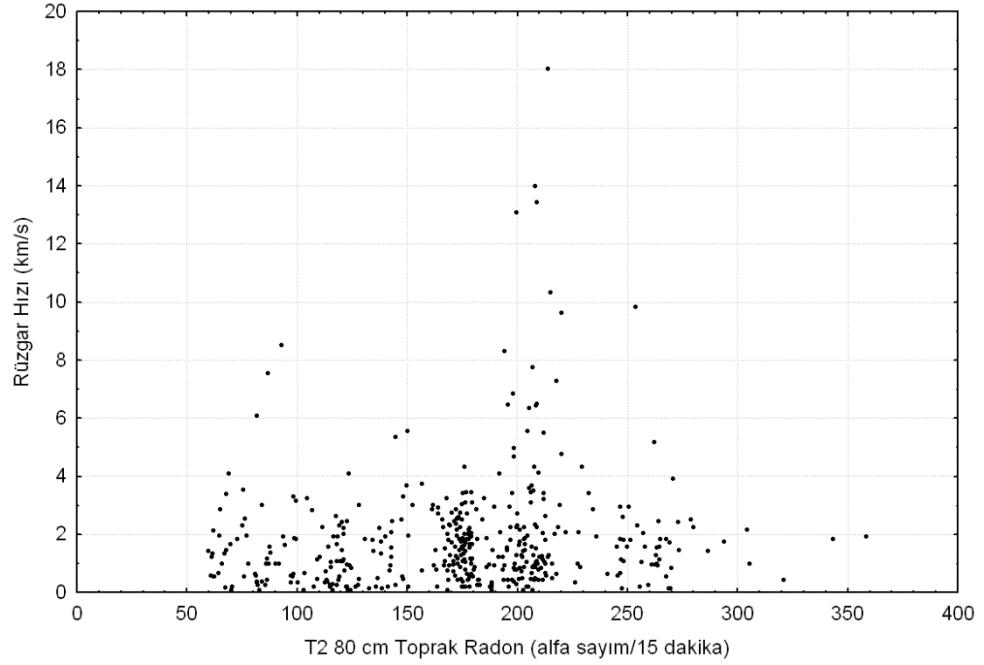
Şekil A.10: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklığı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



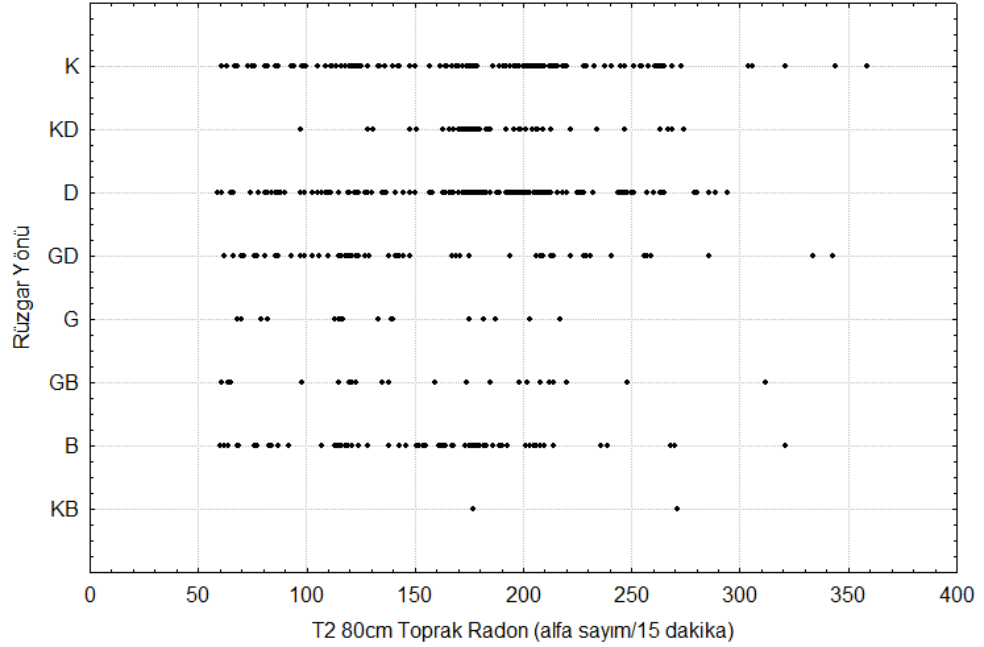
Şekil A.11: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basınç (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



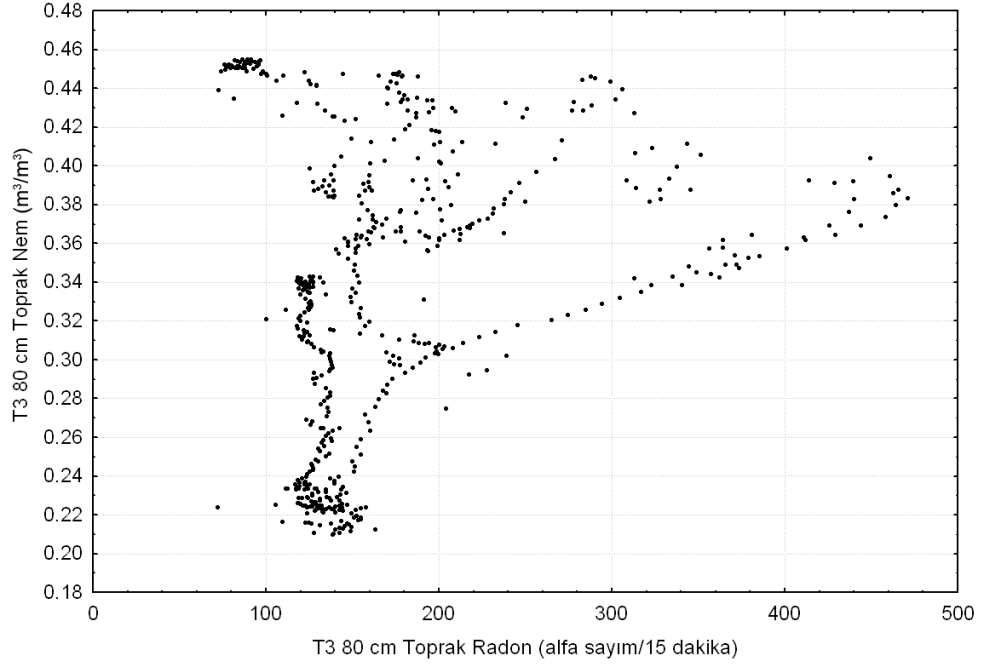
Şekil A.12: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yağış (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



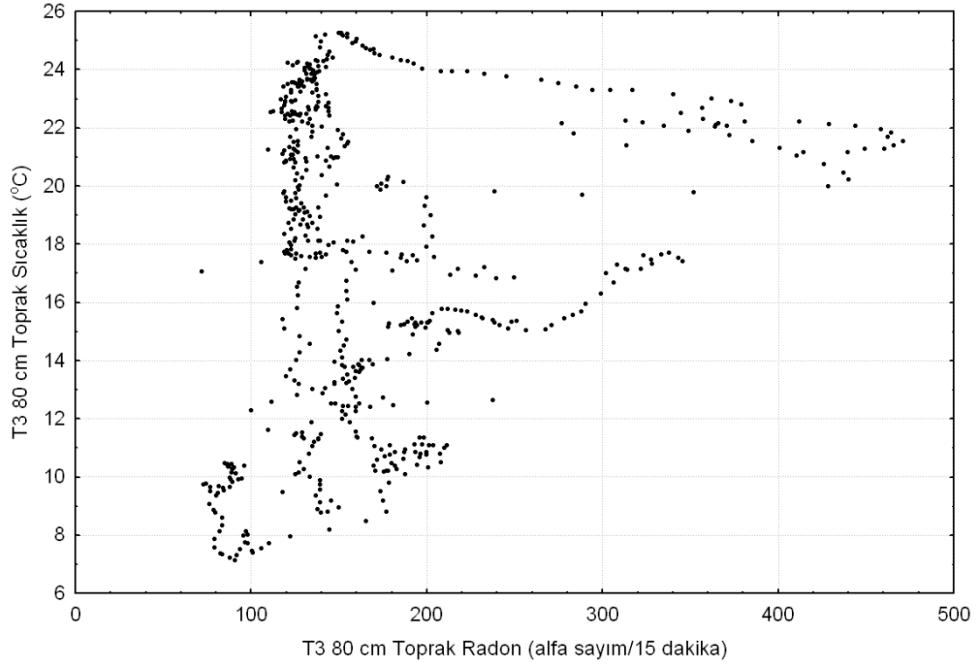
Şekil A.13: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar hız (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



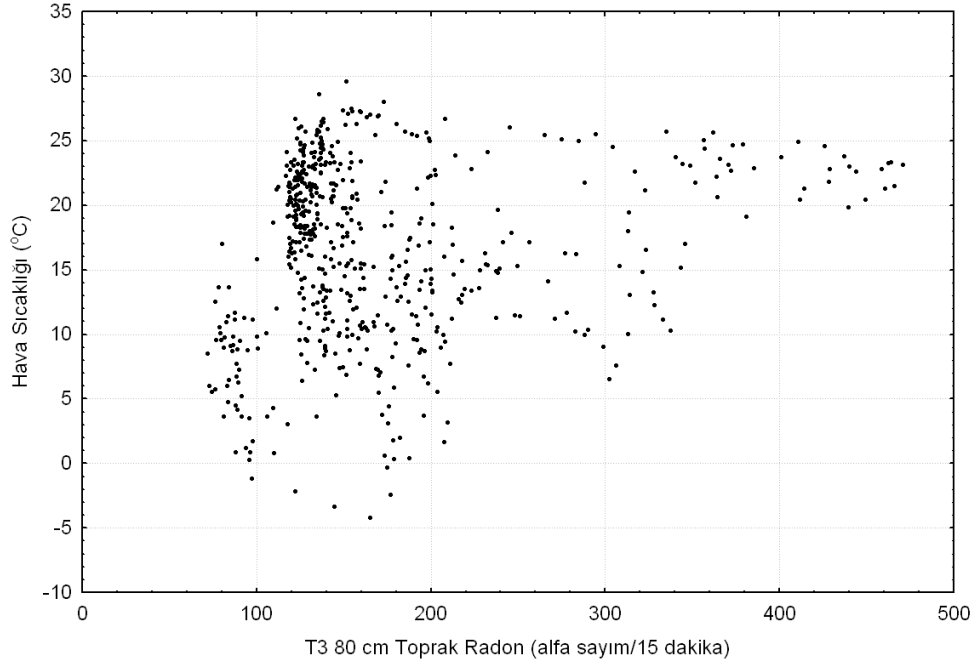
Şekil A.14: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T2 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yön (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



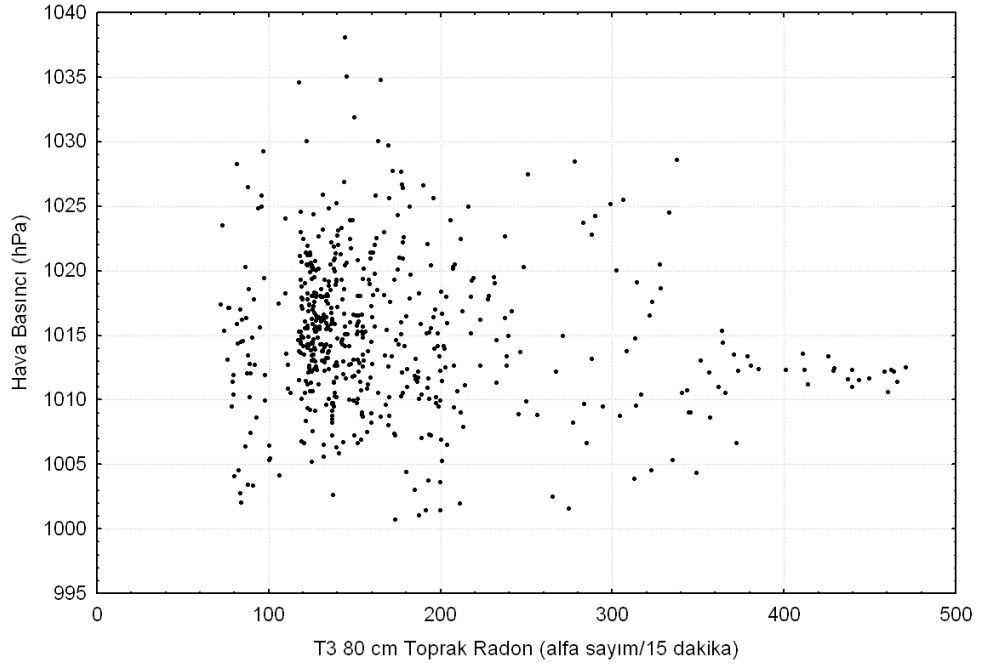
Şekil A.15: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



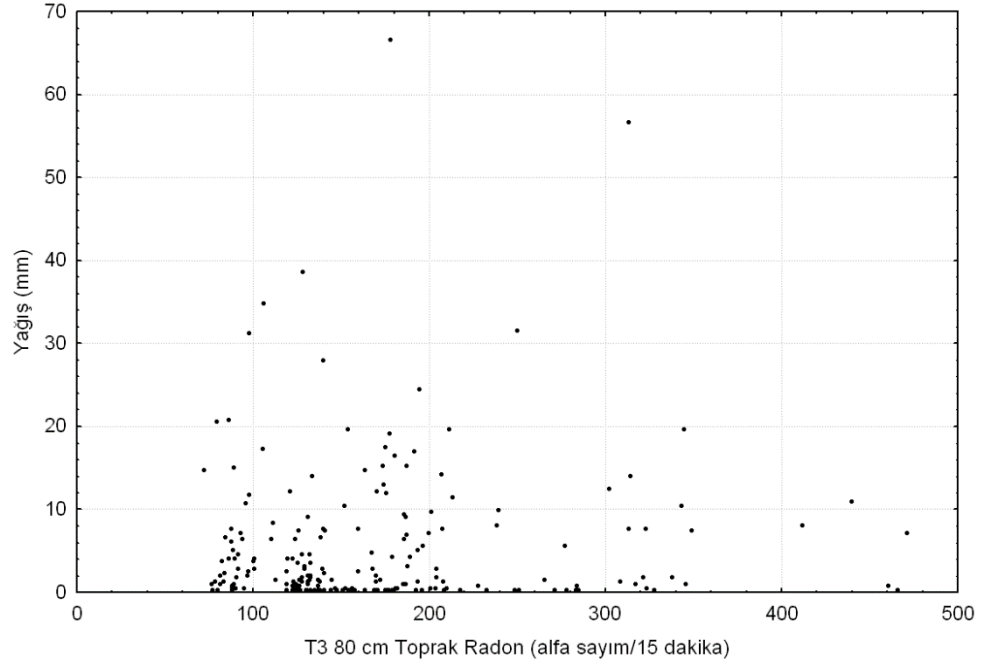
Şekil A.16: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



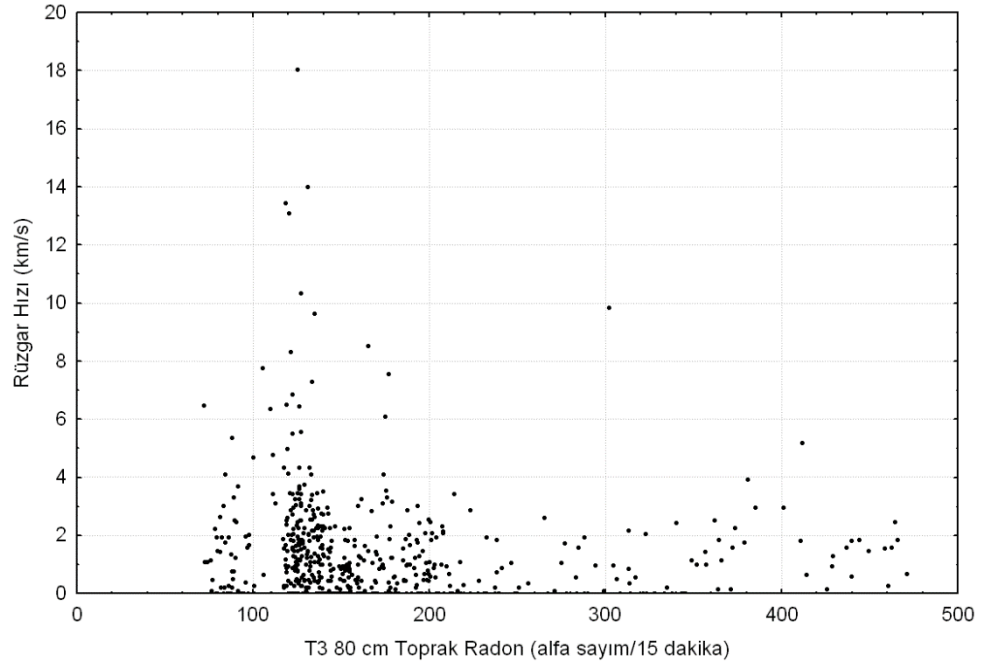
Şekil A.17: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklığı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



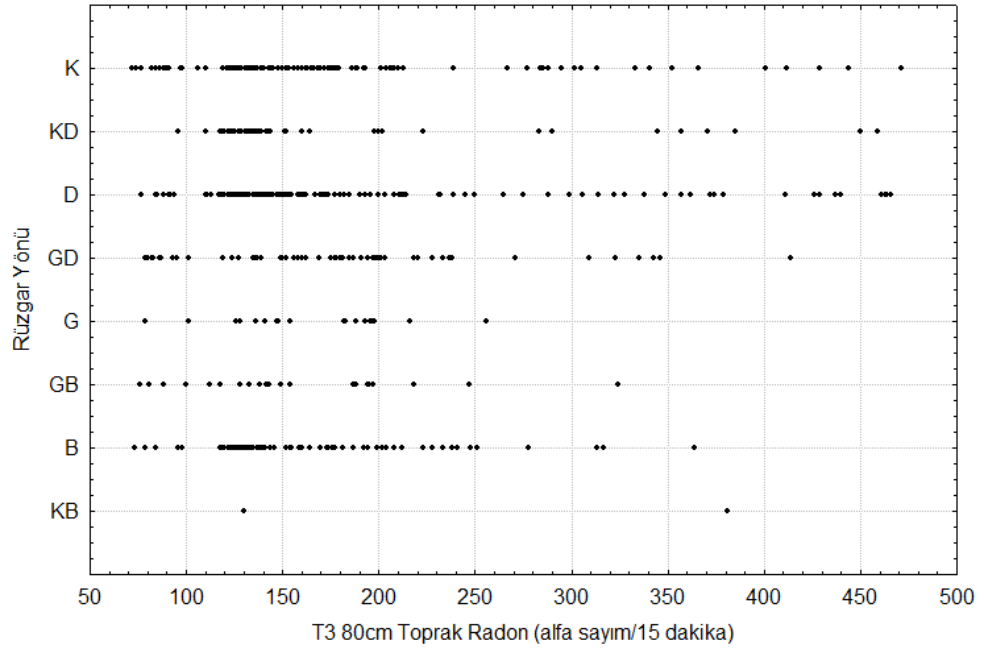
Şekil A.18: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basınç (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



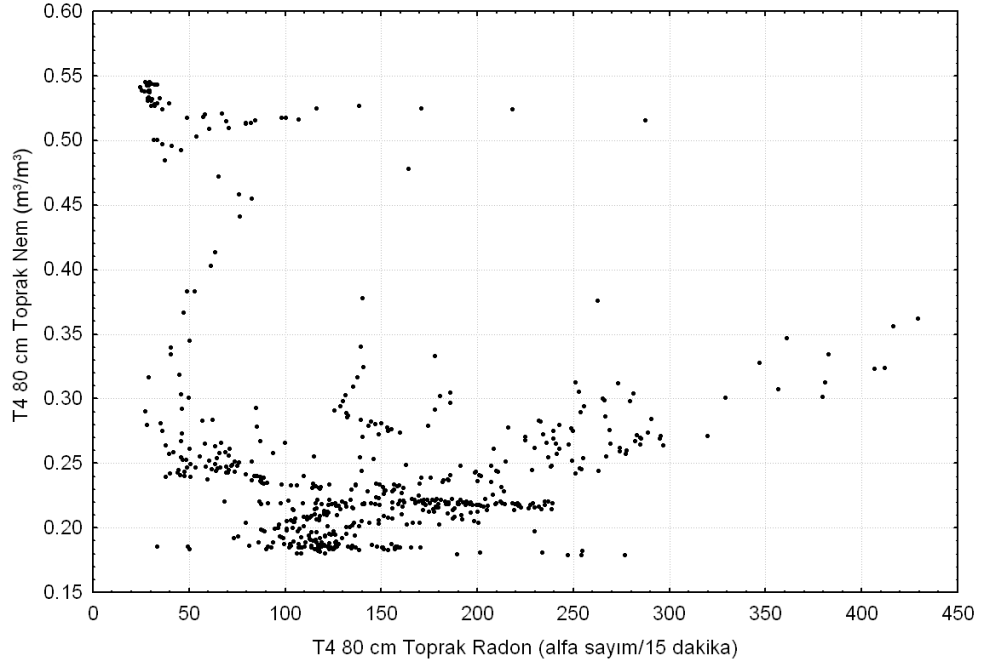
Şekil A.19: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yağış (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



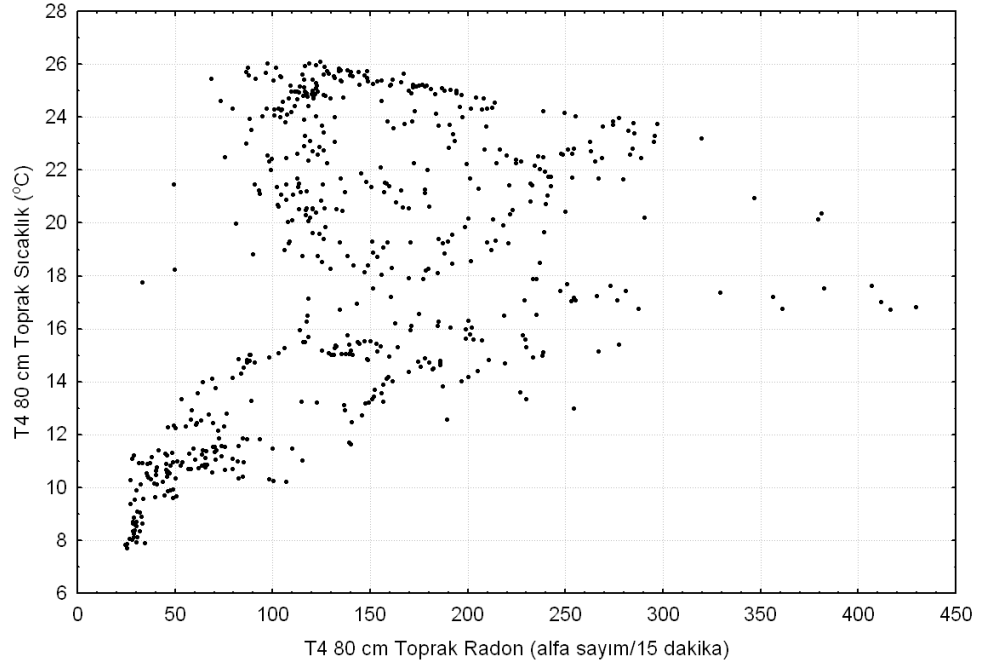
Şekil A.20: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar hızı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



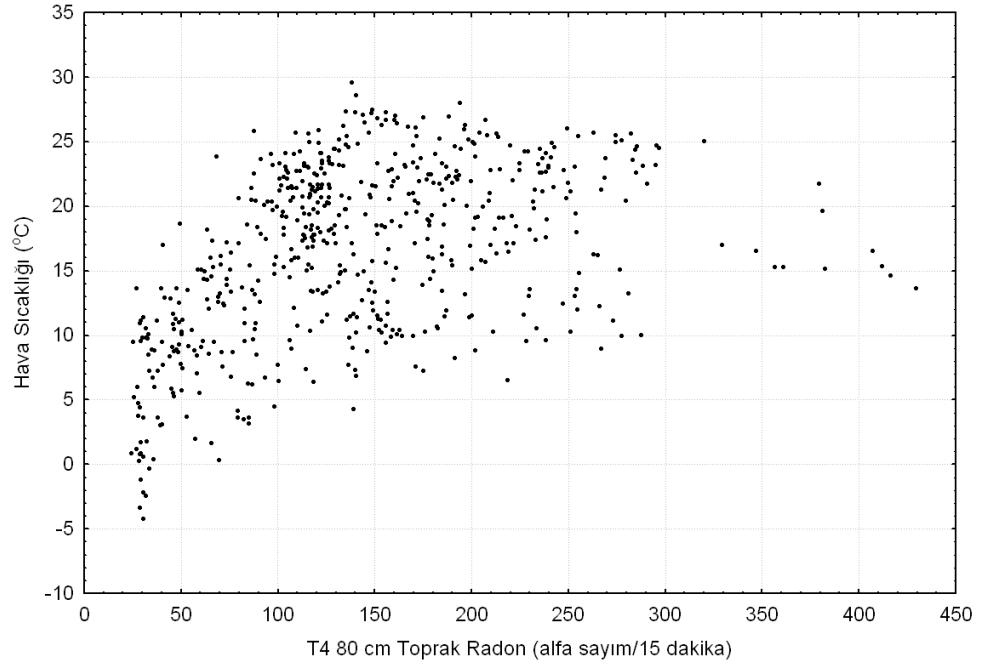
Şekil A.21: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T3 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yön (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



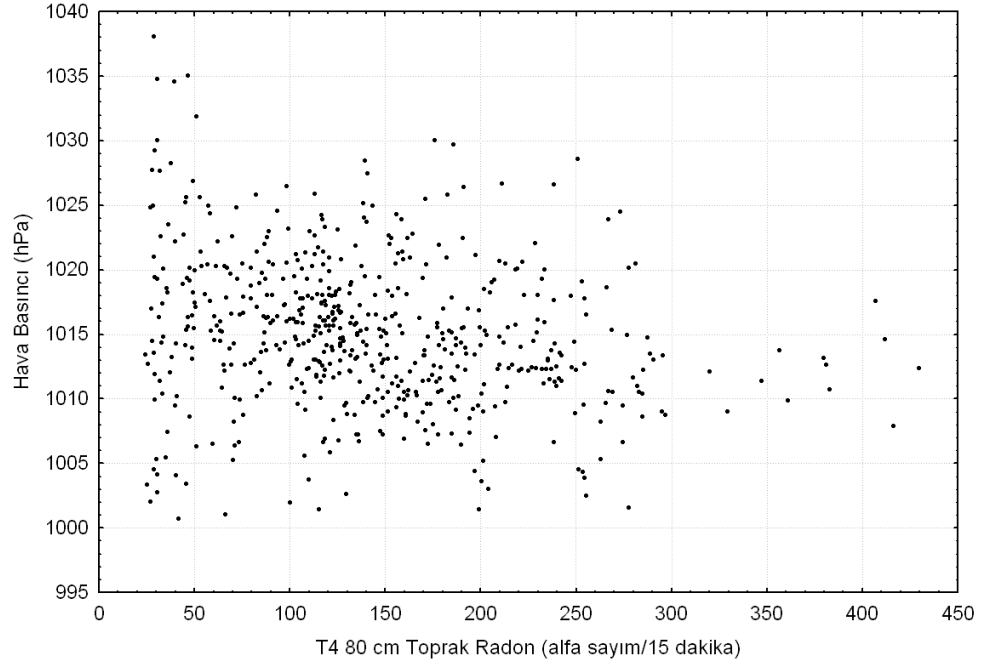
Şekil A.22: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



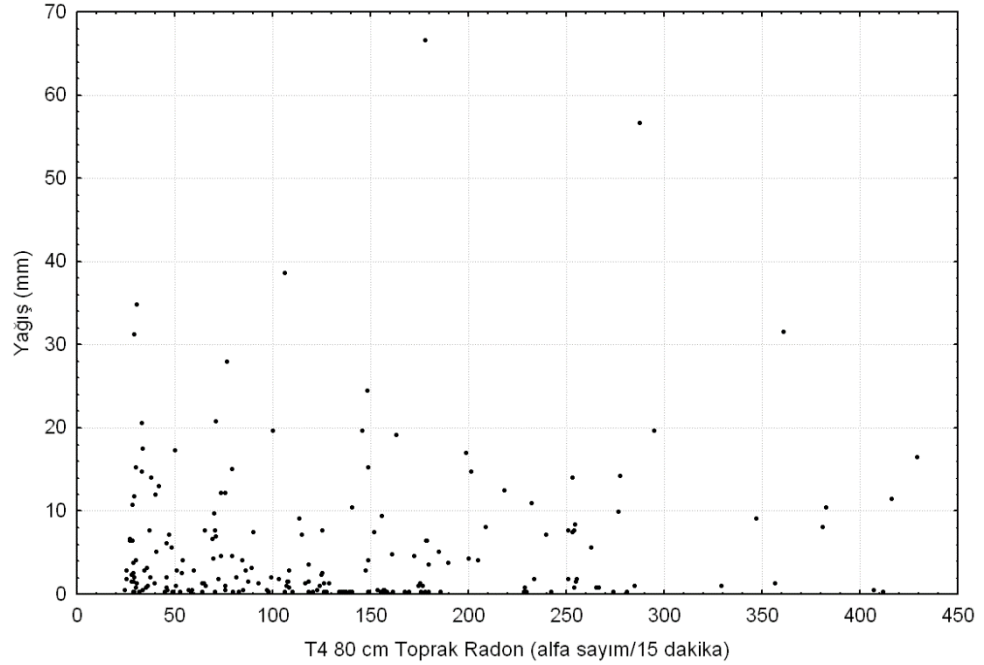
Şekil A.23: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



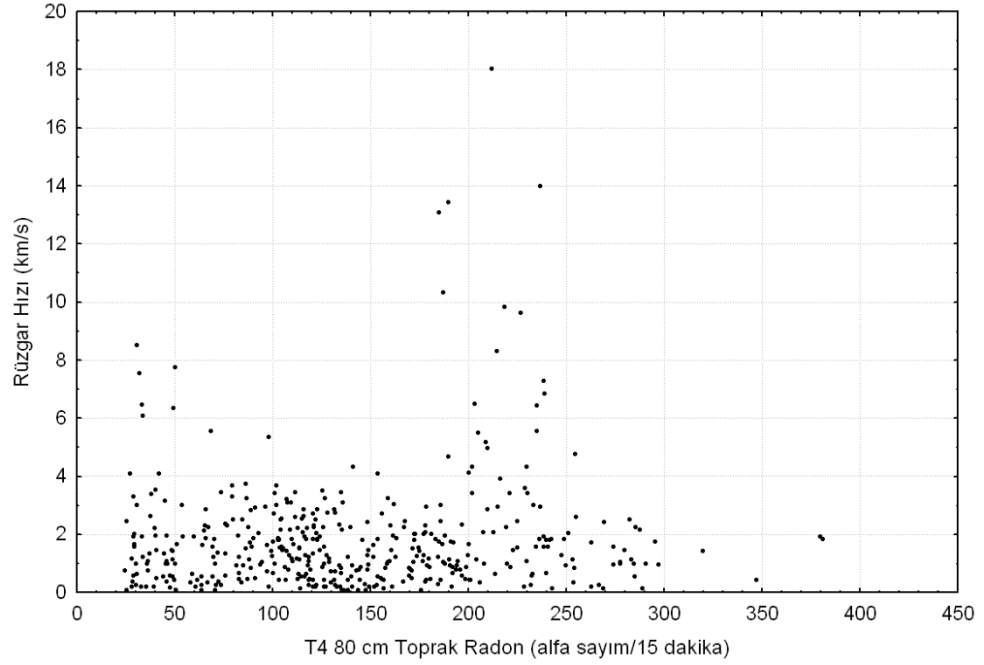
Şekil A.24: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



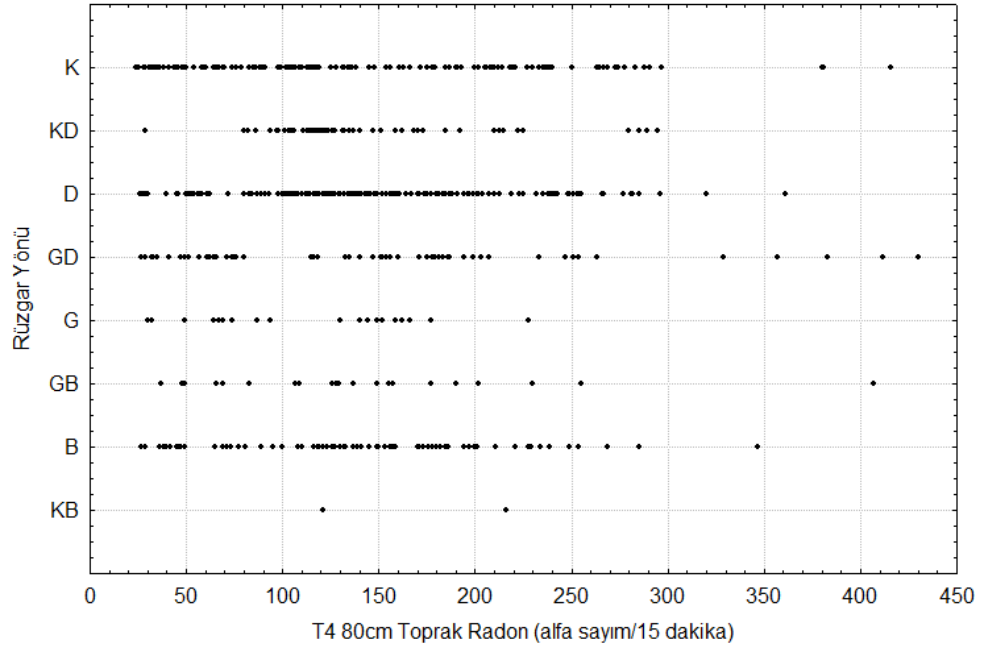
Şekil A.25: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basıncı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



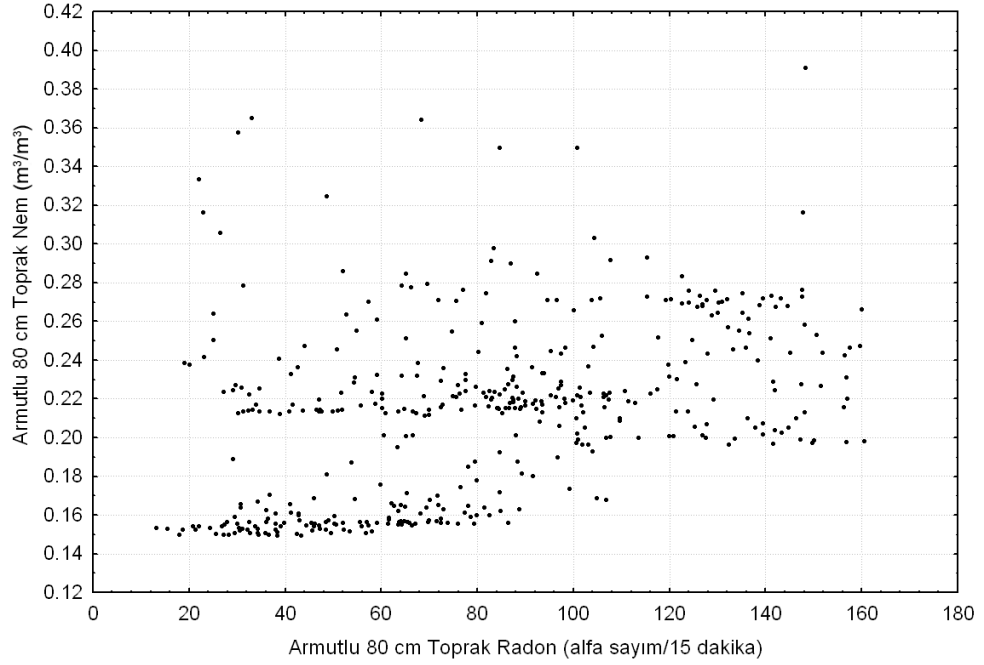
Şekil A.26: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yağış (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



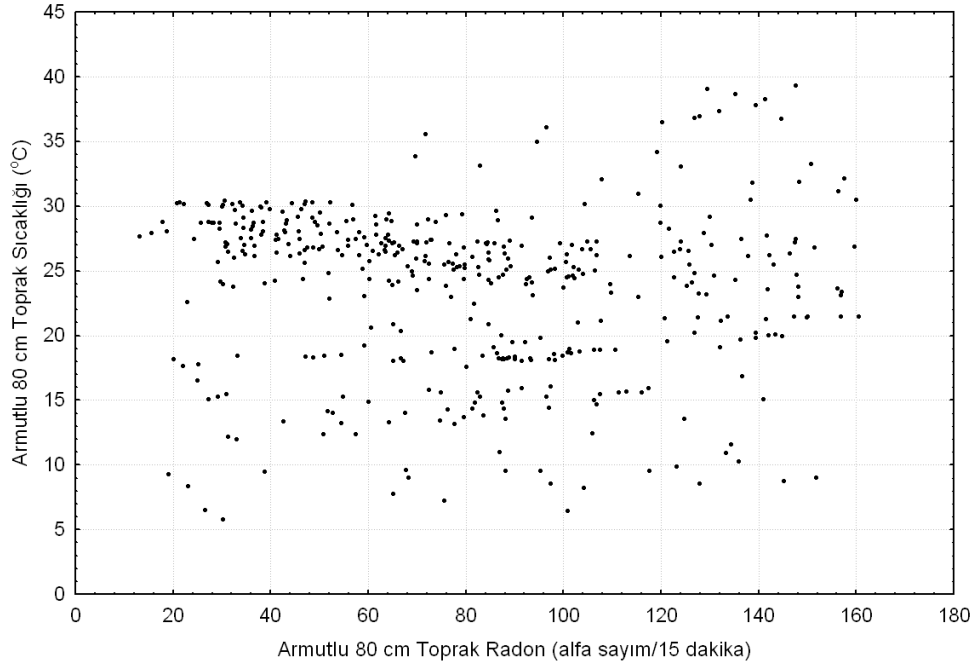
Şekil A.27: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar hızı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



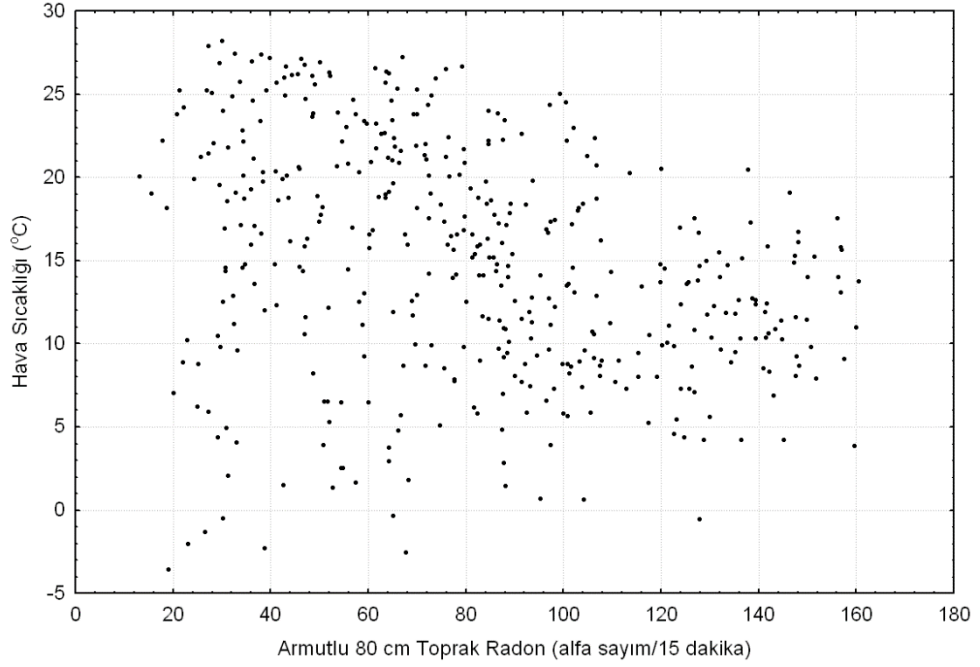
Şekil A.28: 01.05.2009-30.11.2010 tarihleri arasında Gebze T4 istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yönü (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



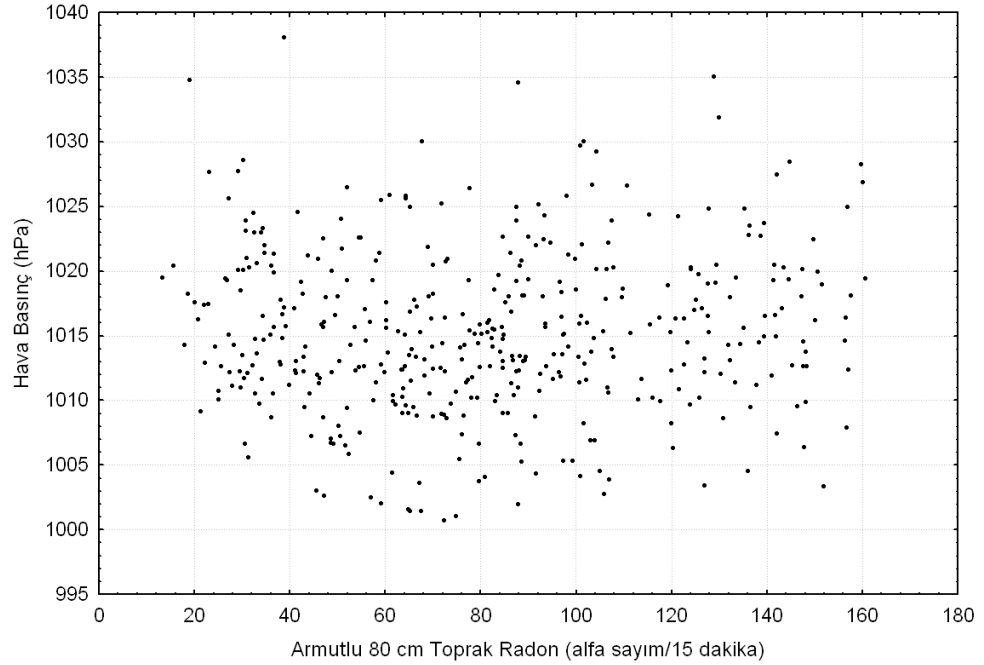
Şekil A.29: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



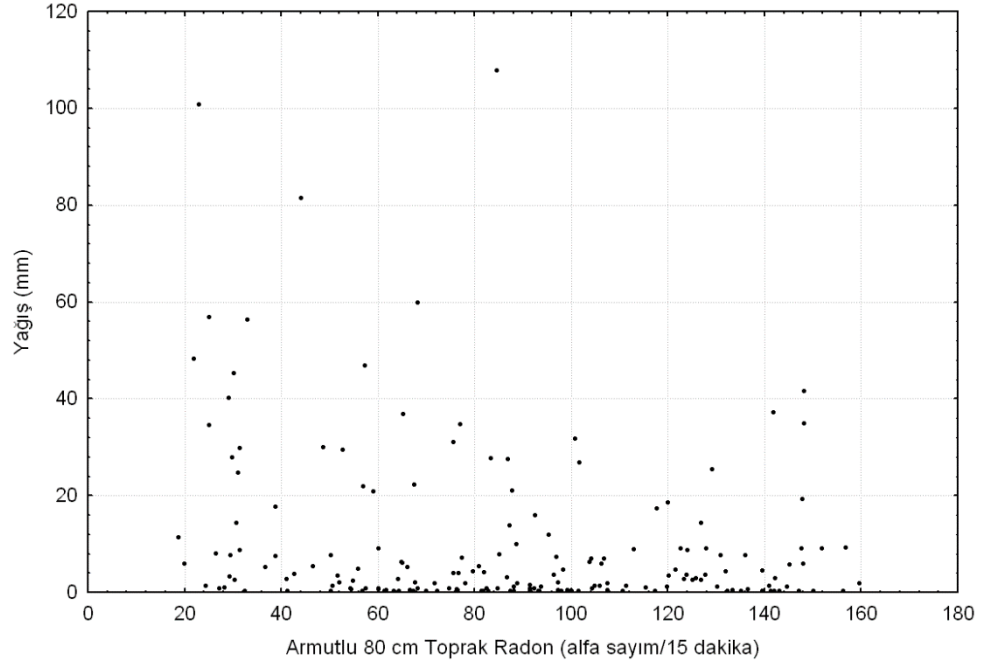
Şekil A.30: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonunununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



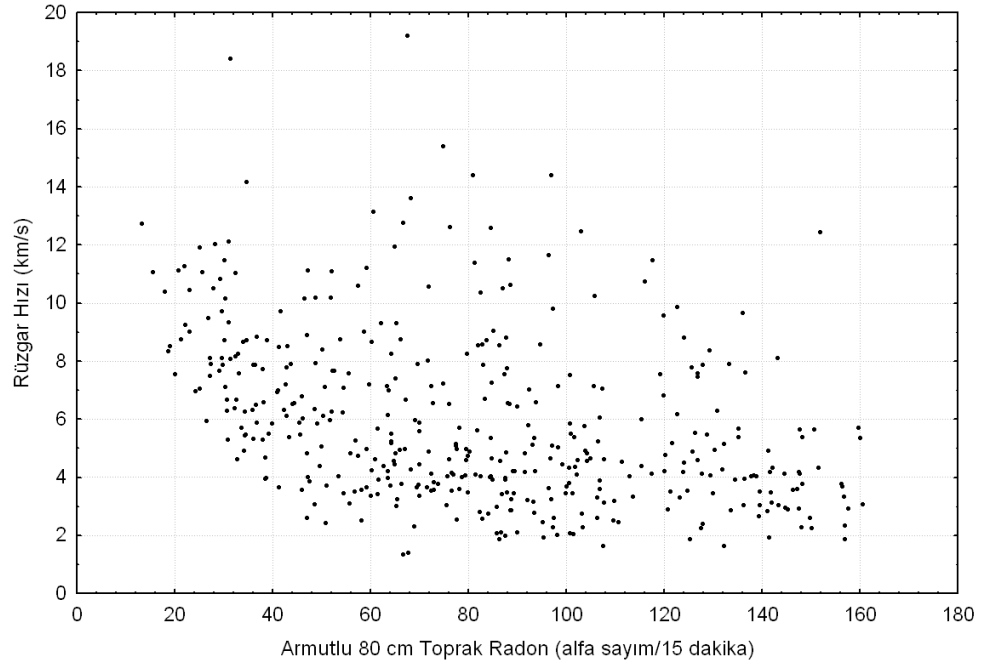
Şekil A.31: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklığı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



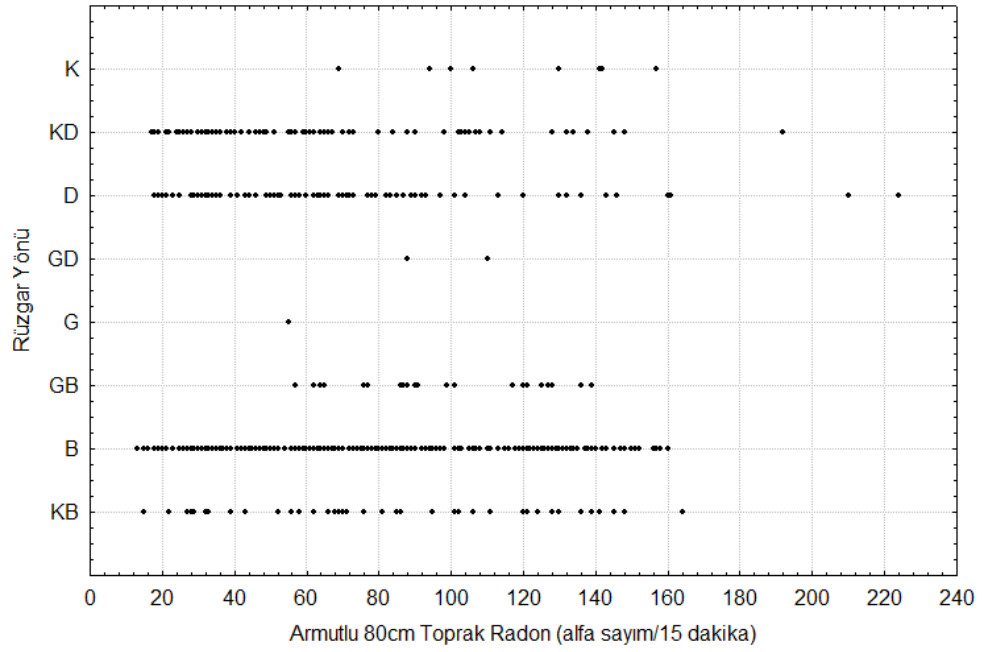
Şekil A.32: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basınç (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



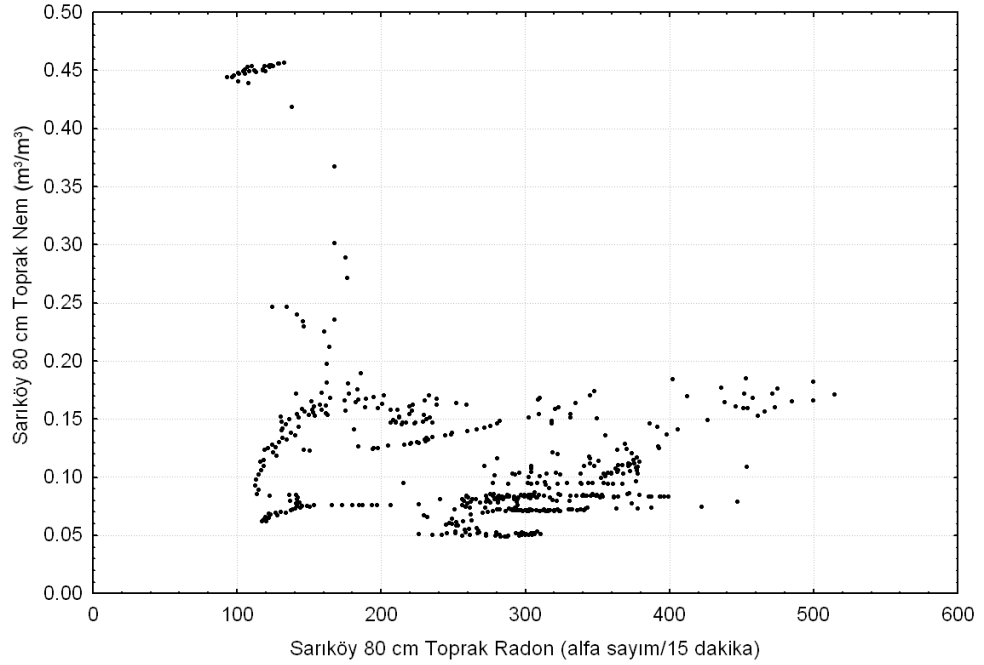
Şekil A.33: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yağış (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



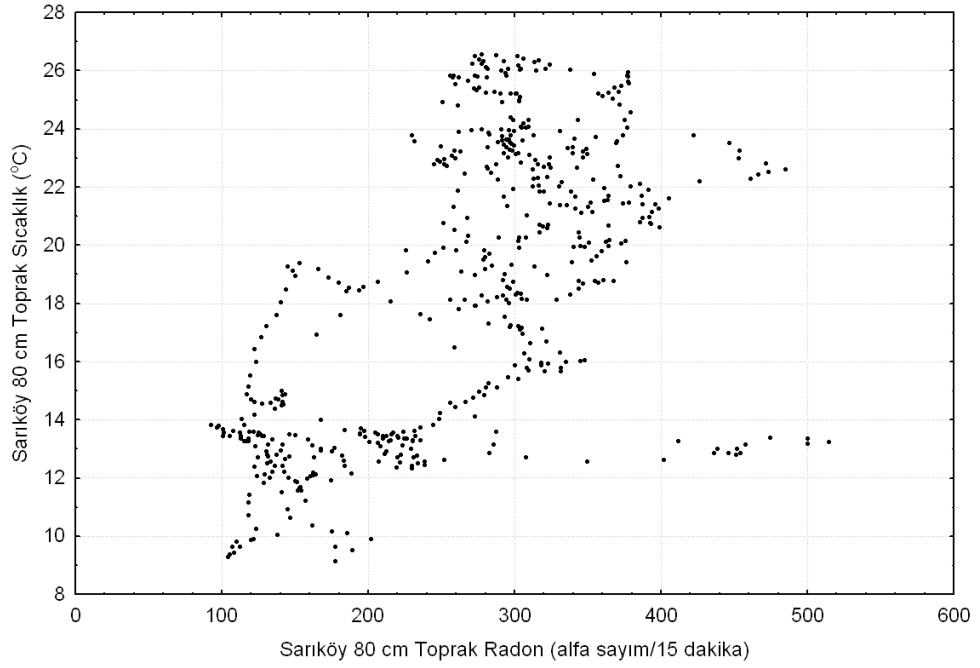
Şekil A.34: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar hızı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



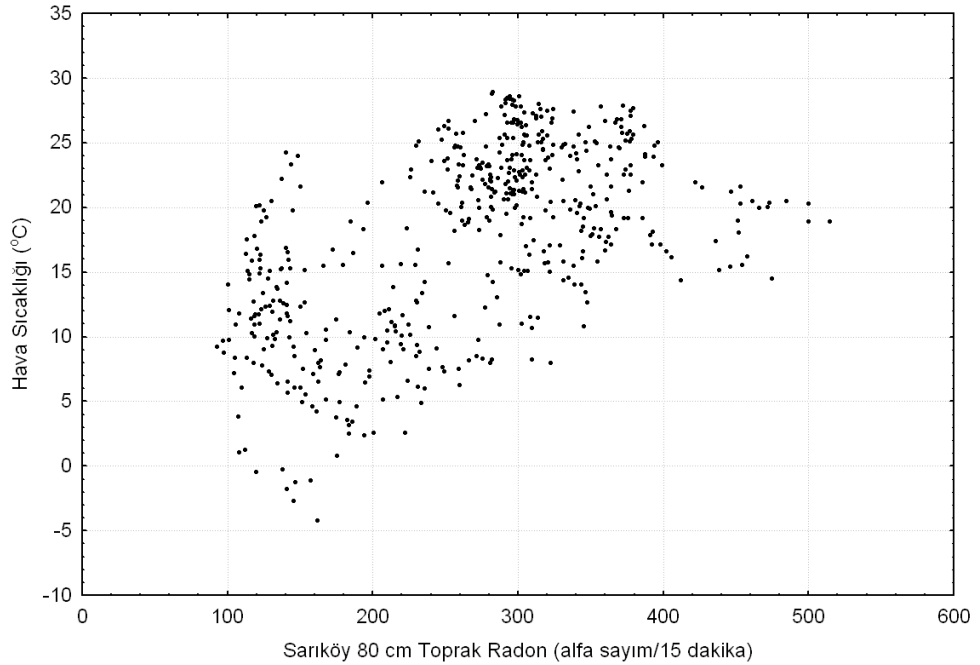
Şekil A.35: 23.09.2009-23.11.2010 tarihleri arasında Armutlu istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yön (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



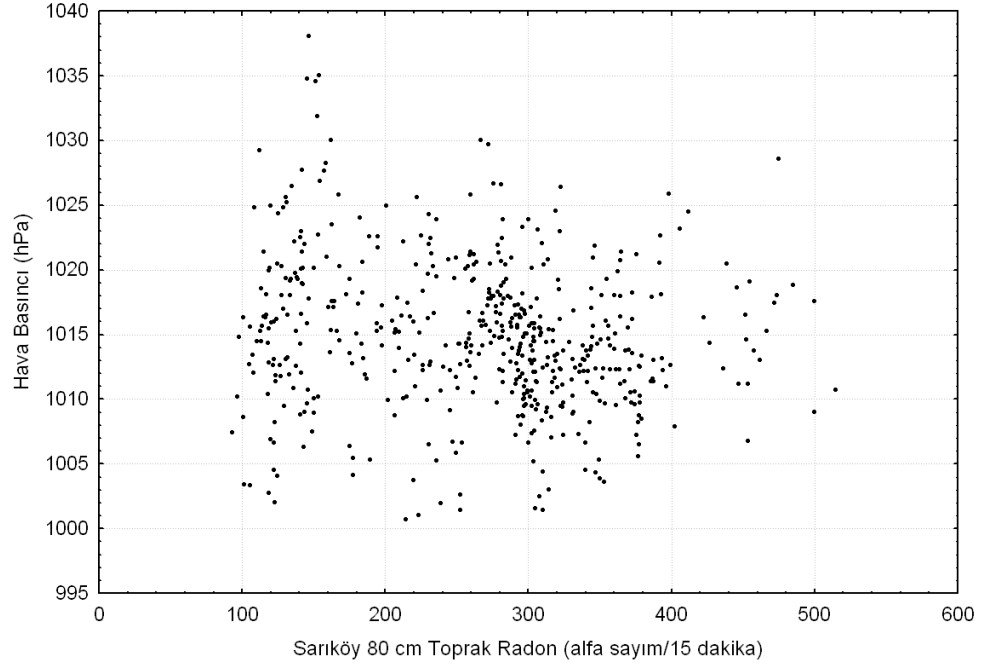
Şekil A.36: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonununda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak nem (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



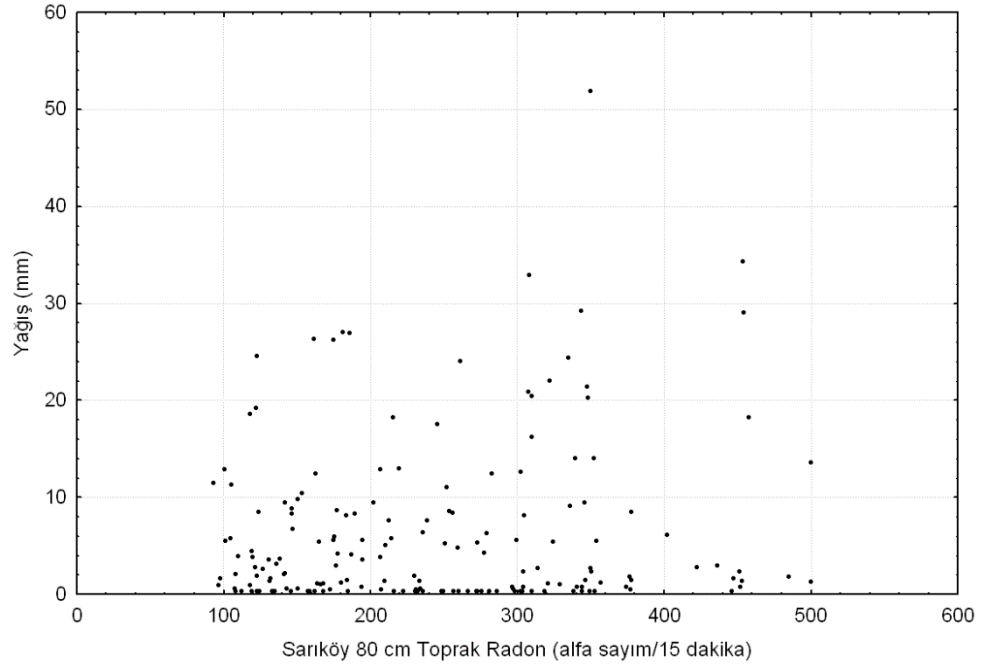
Şekil A.37: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve toprak sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



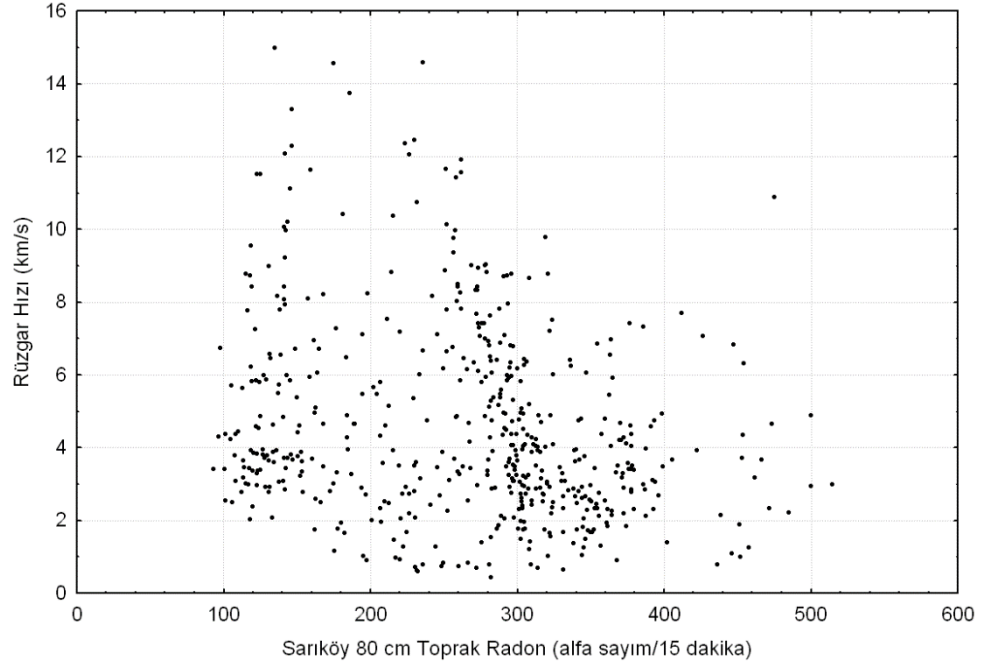
Şekil A.38: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava sıcaklık (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



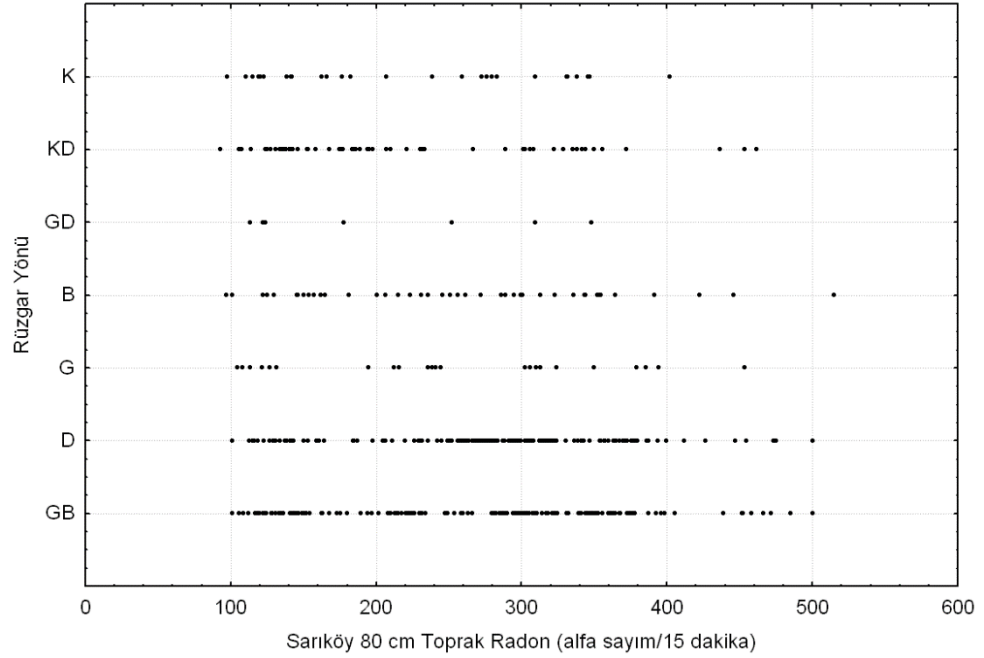
Şekil A.39: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve hava basınç (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



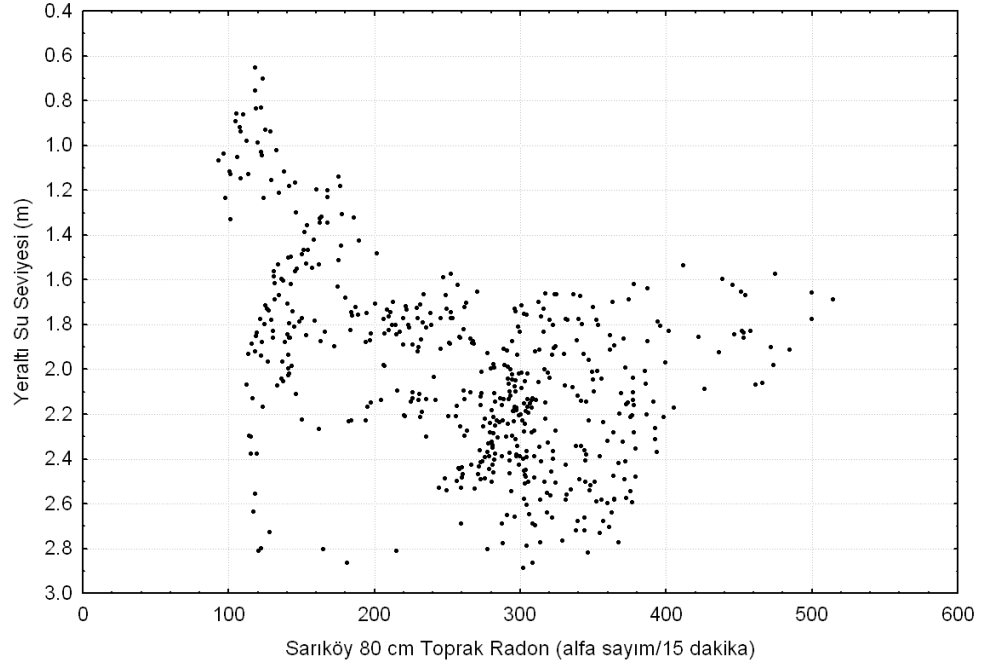
Şekil A.40: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yağış (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



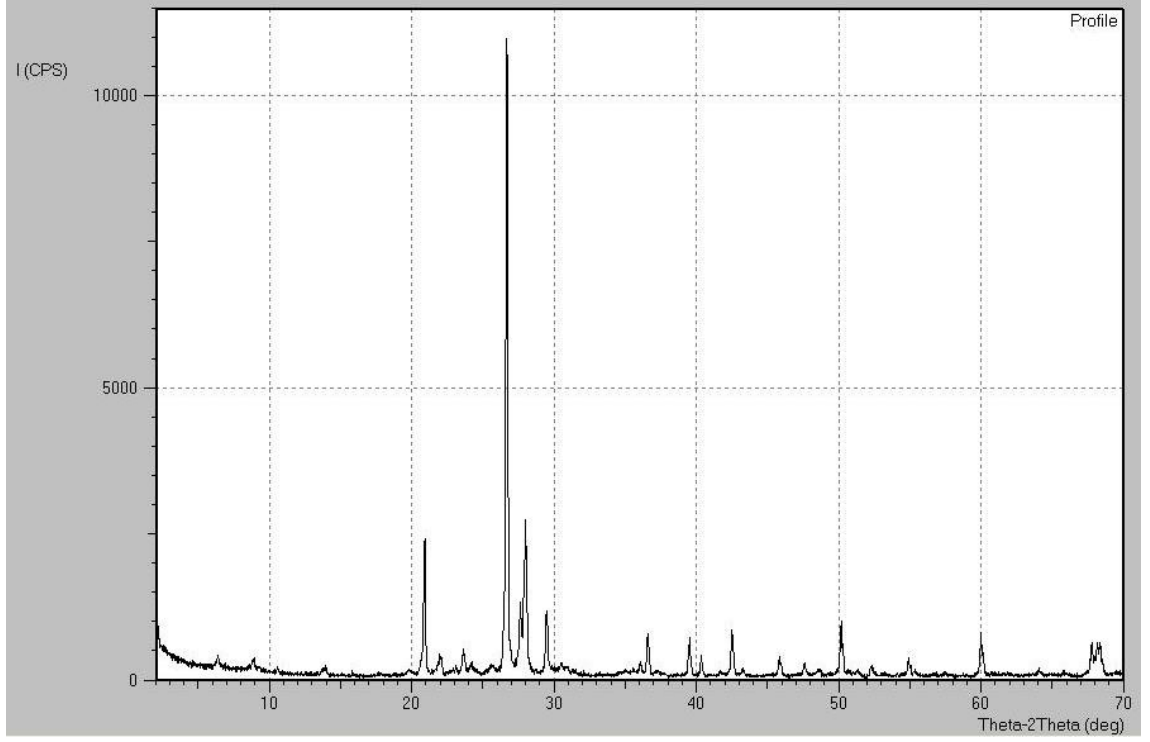
Şekil A.41: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar hızı (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



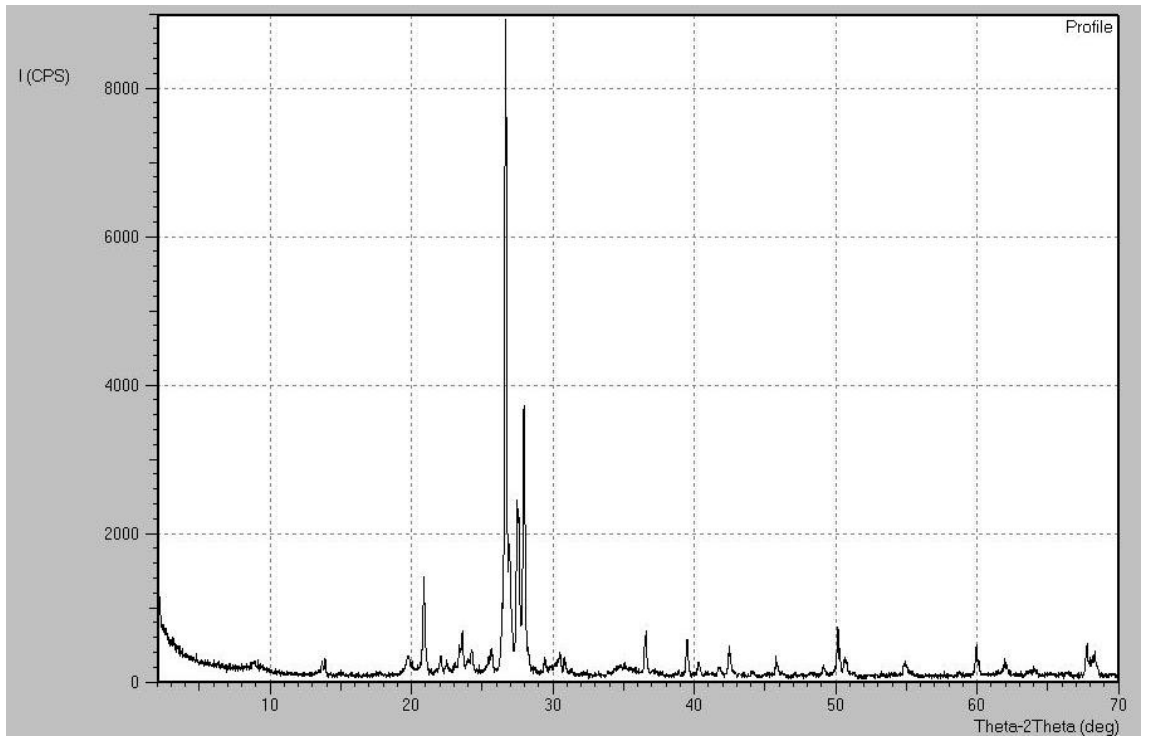
Şekil A.42: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve rüzgar yönü (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.



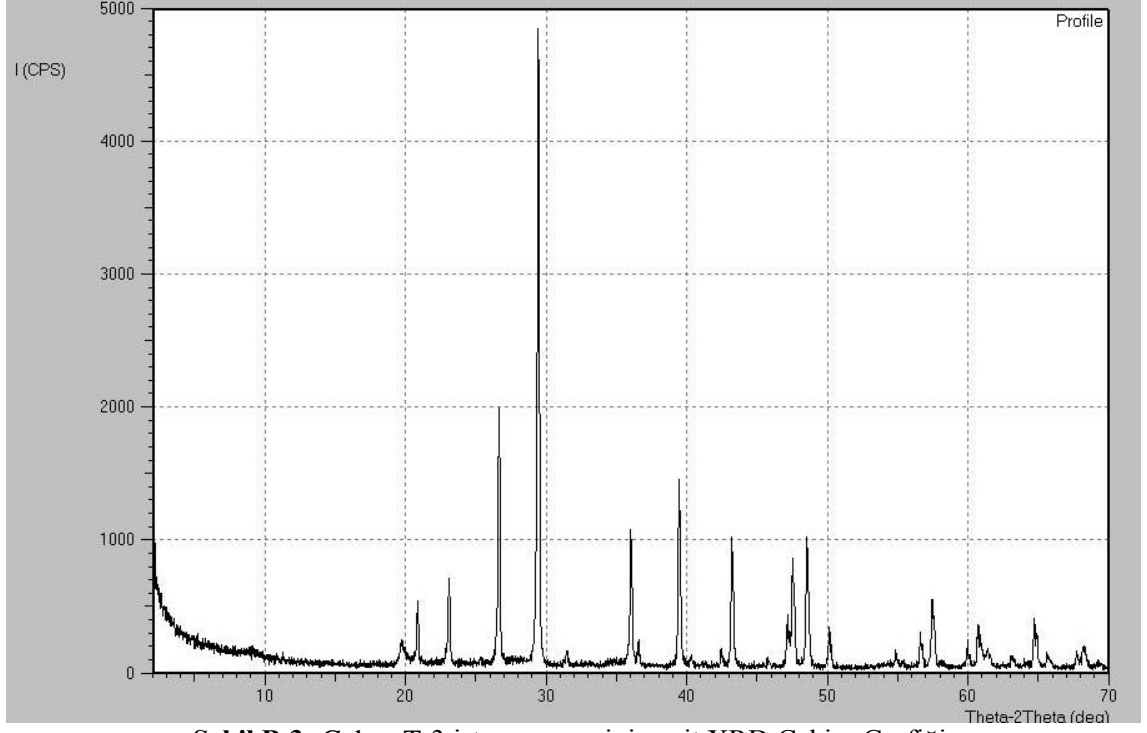
Şekil A.43: 15.05.2009-27.10.2010 tarihleri arasında Sarıköy istasyonunda 80 cm derinliğinde, kaydedilmiş olan toprak radon gazı (x eksen) ve yeraltı su seviye (y eksen) verilerinin saçılım grafikleri.

EK B. XRD Çekim Grafikleri

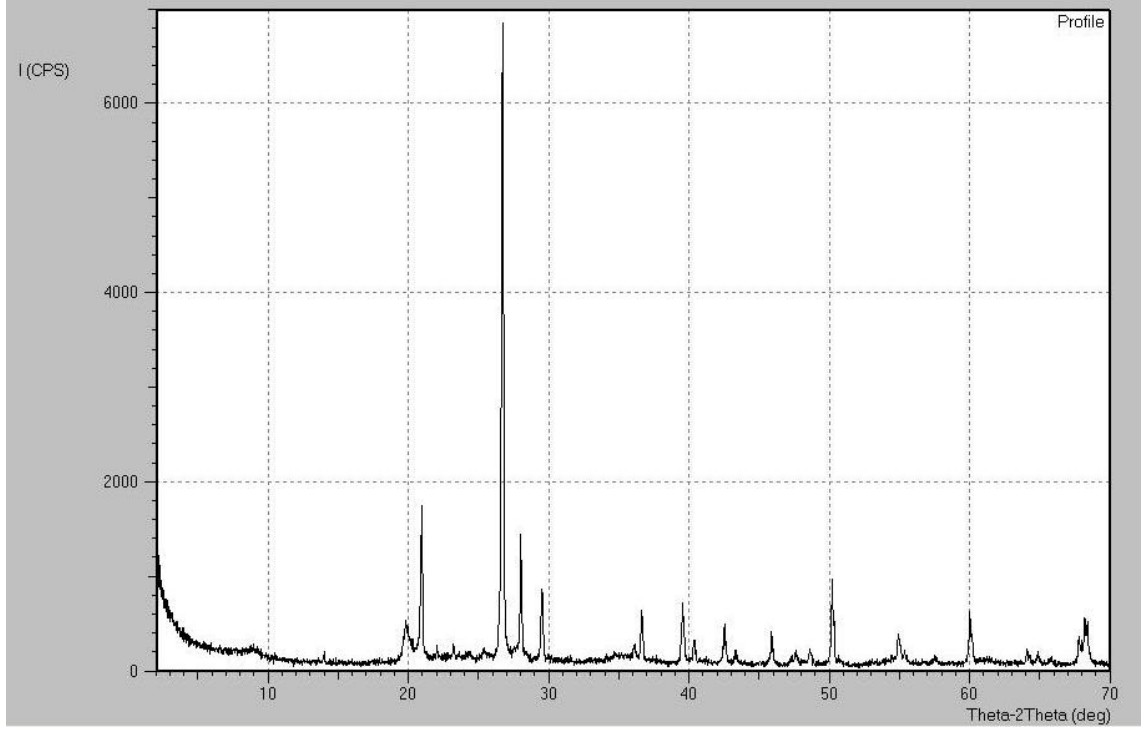
Şekil B.1: Gebze T-1 istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.



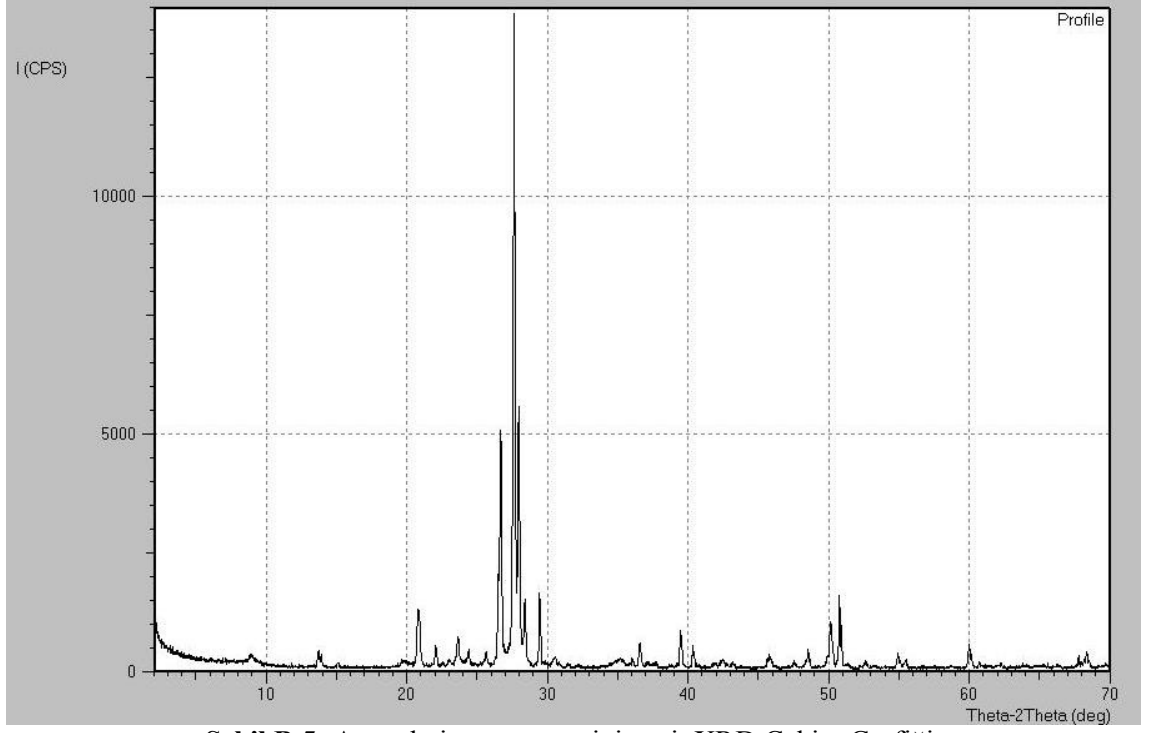
Şekil B.2: Gebze T-2 istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.



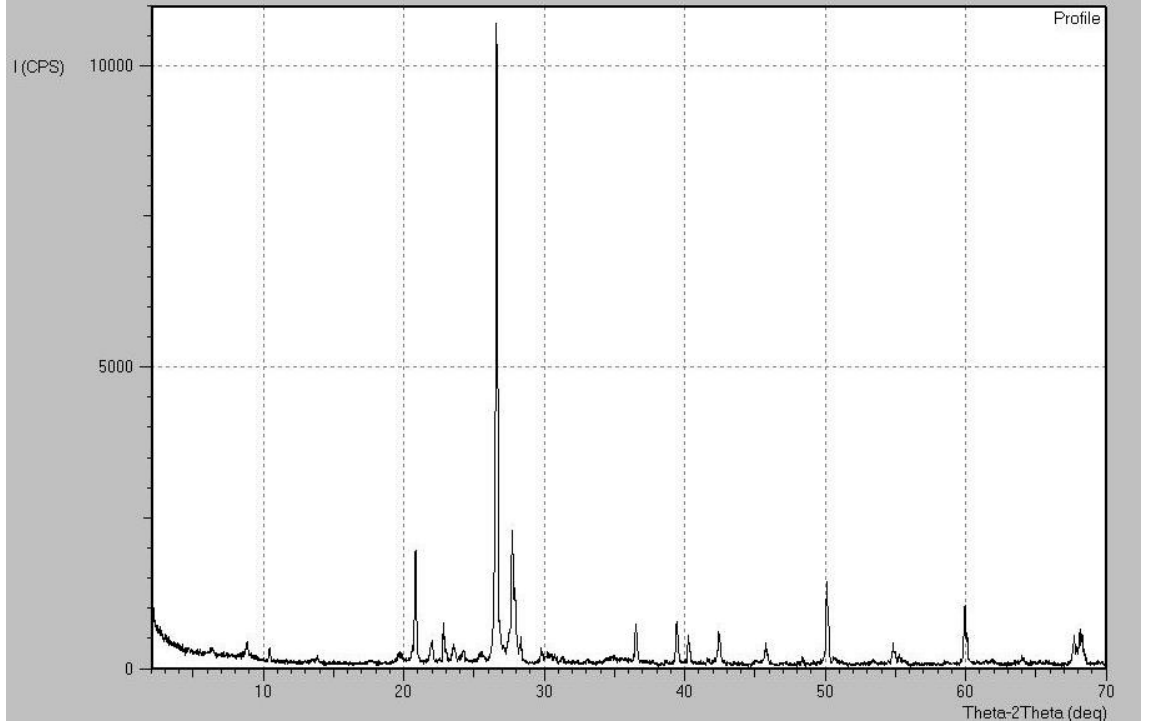
Şekil B.3: Gebze T-3 istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.



Şekil B.4: Gebze T-4 istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.



Şekil B.5: Armutlu istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.



Şekil B.6: Sarköy istasyon zeminine ait XRD Çekim Grafiği.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Cemil SEYİS
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	1974, Almanya
Telefon	0212 320 45 50
E-mail	cemil.seyis@gmail.com
Web adres	www.cemilseyis.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Doktora	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı / Jeoloji Mühendisliği Programı	2015
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı / Jeoloji Mühendisliği Programı	2002
Lisans	İ.Ü. Mühendislik Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği Bölümü	1996
Lise	İstanbul Etiler Lisesi	1993

Makaleler / Bildiriler

SCI'e giren dergilerde yayınlanan makaleler:

Kop, A., Ezer, M., Bodur, M.N., Darbaş, G., İnan, S., Ergintav, S., **Sevis, C.**, Yalçın, C., 2013, Geochemical Monitoring Along the Türkoğlu (Kahramanmaraş)-Gölbaşı (Adıyaman) Segments of the East Anatolian Fault System, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 5521-5536.

İnan, S., Kop, A., Çetin, H., Kulak, F., Pabuçcu, Z., **Sevis, C.**, Ergintav, S., Tan, O., Saatçılar, R., Bodur, M.N., 2012, Seasonal variations in soil radon emanation: Long term continuous monitoring in light of seismicity, *Natural Hazards*, 62, 575-591.

İnan, S., Pabuçcu, Z., Kulak, F., Ergintav, S., Tatar, O., Altunel, E., Akyüz, S., Tan, O., **Sevis, C.**, Çakmak, R., Saatçılar, R., Eyidoğan, H., 2012, Microplate Boundaries as Obstacles to Pre-earthquake Strain Transfer in Western Turkey: Inferences from Continuous Geochemical Monitoring, *Journal of Asian Earth Sciences*, 48, 56-71.

Sevis, C., İnan, S., Streil, T., 2010, Ground and indoor radon measurements in a geothermal area, *Acta Geophysica*, 58 (5), 939-946.

İnan, S., **Sevis, C.**, 2010, Soil radon observations as possible earthquake precursors in Turkey, *Acta Geophysica*, 58 (5), 828-837.

İnan, S., Ertekin, K., **Sevis, C.**, Şimşek, Ş., Kulak, F., Dikbaş, A., Tan, O., Ergintav, S., Çakmak, R., Yörük, A., Çergel, M., Yakan, H., Karakuş, H., Saatçılar, R., Akçiğ, Z., İravul, Y., Tüzel, B., 2010, Multi-Disciplinary Earthquake Researches in Western Turkey: Hints to Sites to Study Geochemical Transients Associated to Seismicity, *Acta Geophysica*, 58 (5), 767-813.

Baykut, S., Akgül, T., İnan, S., **Sevis, C.**, 2010, Observation and Removal of Daily Quasi-Periodic Components in Soil Radon Data, *Radiation Measurements*, 45 (7), 872-879.

Zeyrek, M., Ertekin, K., Kaçmaz, S., **Sevis, C.**, İnan, S., 2010, An Ion Chromatography Method for the Determination of Major Anions In Geothermal Water Samples, *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34 (1), 67-77.

İnan, S., Akgül, T., **Sevis, C.**, Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S., Baş, M., 2008, Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity, *Journal of Geophysical Research*, 113, B03401, 1-15.

Diğer dergilerde yayınlanan makaleler:

Gürpınar, O., **Sevis, C.**, Tuğrul, A., Zarif, İ. H., 1997, İstanbul'daki tarihi eserlerde kullanılan Bakırköy kireçtaşına atmosferik parametrelerin etkisi, *Geosound*, 30 (II), 923-930.

Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar:

Italiano, F., Woith, H., **Sevis, C.**, Pizzino, L., Sciarra, A., Favali, P., 2015, Gas geochemistry and tectonics around the Sea of Marmara, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-5748-1, 12-17 April 2015, Vienna-Austria.

Italiano, F., Woith, H., **Sevis, C.**, 2014, Geothermal fluid inventory around the Sea of Marmara, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-13830, EGU General Assembly, 27 April – 02 May 2014, Vienna-Austria.

İnan, S., Kulak, F., Pabuçcu, Z., **Sevis, C.**, Tan, O., Saatçılar, R., Ergintav, S., Koşma, M., 2010, A Evaluation of Continuous Soil Radon and Water Level Measurements with Respect to Seismicity, *International Geo-Hazards Research Society (IGRS) – 2nd Symposium*, Villa Celestina, 27-30 September 2010, Rosignano Italy.

- Sevis, C.,** İnan, S., Yalçın, M.N., 2010, Possible Meteorological Effects on Radon Gas in Different Soil Conditions, *6th Dresden Symposium, Hazards-Detection and Management*, September 20-24 2010, Dresden Germany.
- Sevis, C.,** İnan, S., Streil, T., 2009, Ground Radon variations and its influence on indoor concentrations, *International Geo-Hazards Research Symposium*, March, 9-11, 2009, İstanbul.
- İnan, S., Ergintav, S., Tüzel, B., İravul, Y., Saatçılar, R., **Sevis, C.,** Çakmak, R., Tan, O., Şimşek, Ş., Ertekin, K., Dikbaş, A., Yörük, A., Yakan, H., Kulak, F., 2009, Multi-Disciplinary Earthquakes Researches in Turkey: Geochemical precursors of earthquakes occurring in different tectonic regimes, *International Geo-Hazards Research Symposium*, March, 9-11, 2009, İstanbul.
- İnan, S., **Sevis, C.,** Ertekin, K., Kulak, F., Dikbaş, A., Yakan, H., Akar, S., 2008, Marmara ve Ege bölgelerinde deprem öncesi kabuk deformasyonlarına işaret eden bazı jeokimyasal bulgular, *18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, MTA Kültür Merkezi, 14-17 Ekim, 2008, Ankara.
- İnan, S., Akgül, T., Saatçılar, R., Ergintav, S., **Sevis, C.,** 2006, Toprak Radon Gazı Hareketinin İstatistiksel Modelleme Yardımı ile Değerlendirilmesi ve Sismik Aktivite ile İlişkilendirilmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Onuncu Toplantısı (ATAG-10)*, 02-04 Kasım 2006, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- İnan, S., **Sevis, C.,** Baş, M., Duran, K., Karaoğlu, H., Karabulut, H., Gümüş, S., Yakan, H., Akar, S., Çakmak, R., Kurt, L., Kafarov, R., 2005, Continuous Monitoring Of Spring Waters And Radon Gas Activity As Possible Precursors Of Seismic Activity In The Marmara Region (Nw Turkey), *4. Dresden Symposium - Survey of Geo-Hazards Challenge for Instrumentation - Data Validation and Quality Assurance*, September 26-30, 2005, Dresden, Germany.
- İnan, S., Özalaybey, S., Yörük, A., Tapırdamaz, C., Ergin, M., Ergintav, S., Saatçılar, R., **Sevis, C.,** Baş, M., Duran, K., Karaoğlu, H., Karabulut, H., Gümüş, S., 2005, Marmara Bölgesinde Deprem Kestirimine Yönelik Çok Disiplinli Araştırmalar: Mikrosismolojik Gözlemlerin Olası Katkısı, *Eskişehir Fay Zonu Ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*, 28-30 Nisan 2005, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- İnan, S., **Sevis, C.,** Akar, S., Çakmak, R., Kafarov, R., Ergintav, S., Saatçılar, R., Kurt, L., Yakan, H., Adalı, G., Çelemen, M., Tan, E., Çetin, S., Canan, S., Belgen, A., Baş, M., Duran, K., Karaoğlu, H., Karabulut, H., Gümüş, S., 2004, Sismik Aktivite Öncesi Kabuktaki Radon Gazı Hareketi: İlişkiyi Kontrol Eden Parametreler ve Ölçüm Tekniği Geliştirme Çalışmaları, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Sekizinci Toplantısı (ATAG-8)*, 22-24 Eylül 2004, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- İnan, S., **Sevis, C.,** Görür, N., Ergintav, S., Saatçılar, R., Baş, M., Cuff, K., Karakas, D., Yakan, H., Akar, S., Belgen, A., Çakmak, R., Kurt, L., Canan, S., Kafarov, R., Çetin, S., 2003, Radon Gas Activity: A Possible Earthquake Precursor in the Marmara Region (NW Turkey), *1st International Workshop on Earthquake Prediction*, Athens-Greece, 5-7 November 2003, p.39.
- İnan, S., **Sevis, C.,** Ergintav, E., Saatçılar, R., Baş, M., Cuff, K., Görür, N., Belgen, A., Canan, S., Kafarov, R., Karakaş, D., Akar, S., Kurt, L., Yakan, H., Çakmak, R., Çetin, S., 2003, Spring Water and Soil Radon Gas Monitoring: A Search for Possible Precursors of Earthquake Activity in the Marmara Region (NW Turkey), *EGS-AGU-*

EUG Joint Assembly, 6-11 April 2003, Nice - France.

İnan, S., **Sevis, C.**, Ergintav, S., Bas, M., Saatçılar, R., Cuff, K., Görür, N., Canan, S., Belgen, A., Karakaş, D., Akar, S., Kurt, L., Kafarov, R., Çakmak, R., Çetin, S., Yakan, H., Karaoğlu, H., Bilgin, İ., Duran, K., 2002, Marmara Bölgesinde Sismik Aktivite Habercisi Olabilecek Bulguların Araştırılması, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı (ATAG-6)*, MTA Genel Müd. Ankara, 21-22 Kasım 2002, Bildiri Özleri Kitabı, 24-28.

Sevis, C., Yalçın, M.N., İnan, S., 2002, Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) Dayalı Jeolojik Veri Tabanı Yönetimine Zonguldak Bölgesinden Bir Örnek, *Türkiye 13. Kömür Kongresi*, 29-31 Mayıs 2002, Zonguldak, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 335-346.

İnan, S., Ergintav, S., Baş, M., Saatçılar, R., Cuff, K., Görür, N., **Sevis, C.**, Canan, S., Belgen, A., Karakaş, D., Akar, S., Kurt, L., 2002, Spring Water and Soil Radon Gas Monitoring: A Search for Possible Precursors of Earthquake Activity in the Marmara Region, *1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering*, 16-18 May 2002, İstanbul, Turkey.