DEPREM HABERCİSİ OLARAK RADON VE DEPREM ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR METOT: REGRESİF UZAY-ZAMAN NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM

Seçil NİKSARLIOĞLU

Doktora Tezi

Nükleer Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih KÜLAHCI

Temmuz-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM HABERCİSİ OLARAK RADON VE DEPREMLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR METOT: REGRESİF UZAY-ZAMAN NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM

DOKTORA TEZİ

Seçil NİKSARLIOĞLU
(101114201)

Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Prof. Dr. Fatih KÜLAHCI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.07.2017

TEMMUZ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM HABERCİSİ OLARAK RADON VE DEPREMLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR METOT: REGRESİF UZAY-ZAMAN NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM

DOKTORA TEZİ

Seçil NİKSARLIOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.07.2017
Tezin Savunulduğu Tarih: 27.07.2017

Tez Danışman:	**Prof. Dr. Fatih KÜLAHCI (Fırat Üniversitesi)**
Diğer Jüri Üyeleri:	**Prof. Dr. İ. Atilla REYHANCAN (İstanbul Teknik Üniversitesi)**
	Prof. Dr. A. Necmettin YAZICI (Gaziantep Üniversite)
	Prof. Dr. Niyazi BULUT (Fırat Üniversitesi)
	Prof. Dr. Sefa KAZANÇ (Fırat Üniversitesi)

TEMMUZ-2017

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Dünyanın sismik olarak en aktif faylarından biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde yer alan araştırma istasyonlarından aldığımız ^{222}Rn ölçümlerinin depremlerle olan ilişkisini analiz etmek için Regresif Uzay Zaman Noktsal Toplam Yarıvariogram (RUZNTYV) metodu önerildi. Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde yer alan istasyonlarda yapılan ^{222}Rn gazı ölçümleri kullanılarak; ^{222}Rn'nin çevresel değişkenler ve depremler ile birlikte değişimleri için Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram adını verdiğimiz bir metot önerilmiş ve sonuçlar literatürde mevcut olan Yapay Sinir Ağları ve Zaman Serisi Analizi yöntemleri ile de incelenmiştir.

Öncelikle bu çalışmanın en başından itibaren her aşamasında ilgi ve önerileri ile yol gösteren, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih KÜLAHCI'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında verdiğim kararlarda bana güvenen, beni destekleyen ve daima yanımda olan haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme ve babama, dualarını hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen babaanneme ve diğer yarım, ablam Duygu ALKAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarım Dr. Miraç KAMIŞLIOĞLU ve Arş. Gör. Dr. Mücahit YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde veri desteklerini esirgemeyen **Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na (AFAD)** teşekkürlerimi sunarım.

Seçil NİKSARLIOĞLU

ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **II**

İÇİNDEKİLER ..... **III**

ÖZET ..... **VI**

SUMMARY ..... **VII**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VIII**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **XV**

KISALTMALAR LİSTESİ ..... **XXI**

SEMBOLLER LİSTESİ ..... **XXII**

1. GİRİŞ **1**

2. ^{222}Rn VE ÖZELLİKLERİ 4

2.1. Topraklarda ^{222}Rn 7

2.2. Yüzey Sularında ^{222}Rn 9

2.3. Yeraltı Sularında ^{222}Rn 10

2.3.1. Volkanik ve Başkalaşmış Kayadan Oluşan Yeraltı Su Tabakalarında ^{222}Rn .. 10

2.3.2. Tortul Zeminden Oluşan Yeraltı Su Tabakalarında ^{222}Rn 11

3. ^{222}Rn TAŞINIM MEKANİZMALARININ FİZİĞİ **13**

3.1. Topraklarda Taşınım Mekanizması 13

3.2. Yeraltı Suyu ile Taşınım 16

3.3. Atmosferde ^{222}Rn Taşınımı 16

4. DEPREM-^{222}Rn İLİŞKİSİ **18**

5. MATERYAL VE METOT **20**

5.1. Yarıvariogram 20

5.2. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram 23

5.3. Regresyon Analizi 25

5.4. Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram 27

5.5. Yapay Sinir Ağları 29

5.5.1. Yapay Sinir Ağının Elemanları 31

5.5.1.1. Girdiler 31

Sayfa No

5.5.1.2. Ağırlıklar 31
5.5.1.3. Birleştirme (Toplama) Fonksiyonu 32
5.5.1.4. Aktivasyon Fonksiyonu 32
5.5.1.5. Çıktılar 32
5.5.2. Yapay Sinir Ağının Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması 32
5.5.2.1. Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması 33
5.5.2.2. Momentumlu Geri Yayılım Öğrenme Algoritması 36
5.5.2.3. Vogl Öğrenme Algoritması 37
6. ÇALIŞMA BÖLGESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ 38
6.1. Doğu Anadolu Fayı 38
6.2. Sivrice İstasyonu Genel Yapısı 40
6.3. Palu İstasyonu Genel Yapısı 41
6.4. Kösebayır İstasyonu Genel Yapısı 41
6.5. Soğukpınar İstasyonu Genel Yapısı 42
6.6. Gezin ve Helindir İstasyonu Genel Yapısı 42
6.7. Ergani İstasyonu Genel Yapısı 43
7. BULGULAR 44
7.1. Regresif Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram Yöntemi ile Analiz 45
7.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Analiz 61
7.3. ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi ile İncelenmesi 64
7.3.1. Ergani İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi 67
7.3.2. Gezin İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi 73
7.3.3. Helindir İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi . 78
7.3.4. Kösebayır İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi 85
7.3.5. Palu İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi 92
7.3.6. Sivrice İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi ... 98
7.3.7. Soğukpınar İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi 105
7.4. ^{222}Rn Aktivitesinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi 111
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 114
KAYNAKLAR 118
EKLER 128

Sayfa No

EK 1 ..... **129**
EK 2 ..... **132**
EK 3 ..... **145**
EK 4 ..... **157**
EK 5 ..... **169**
EK 6 ..... **179**
EK 7 ..... **194**
EK 8 ..... **208**
EK 9 ..... **226**
EK 10 ..... **237**
EK 11 ..... **245**
EK 12 ..... **254**
ÖZGEÇMİŞ **257**

ÖZET

Doktora Tezi

DEPREM HABERCİSİ OLARAK RADON VE DEPREM ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR METOT: REGRESİF UZAY-ZAMAN NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM

Seçil NİKSARLIOĞLU

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Bölümü Anabilim Dalı
2017; 284

Radon (^{222}Rn), uranyum taşıyan kaya katmanlarında sürekli olarak üretilen ^{226}Ra'nın alfa parçacığı yayınlaması sonucunda oluşan radyoaktif asal bir gazdır. Kendi bozunum ve asal gaz karakteristiğinden dolayı, özellikle jeolojik çevrede zamanla değişen süreçlerin belirlenmesinde önemli bir tanımlayıcıdır. Bu nedenle, topraktaki ^{222}Rn akısının zamansal ve konumsal değişiminin analizi sismik aktiviteler ile ilgili jeodinamik değerlendirmeler yapmak ve ilgili bölgenin ^{222}Rn karakteristiğini belirlemek için oldukça önemlidir. Jeolojik olayların oluşumu, kaya ve toprak katmanlarının dağılımı ne homojen ne de izotropik bir dağılım gösterir. Tüm bunlar ^{222}Rn'nin homojen olmayan bir dağılım göstermesine neden olur. Bu tür davranış sergileyen değişkenlerin modellenmesinde uzaysal analiz yöntemleri oldukça kullanışlıdır. Bununla birlikte ^{222}Rn derişimi çevresel değişkenlere bağlı olarak da değişim göstermektedir. Bu nedenle tüm bu etkileri kapsayan uzaysal bir model, bölgenin karakteristiğini belirlemede daha fayda sağlayacaktır. Bu amaçla, çalışmada tüm bu etkenleri içeren yeni bir model (Regresif Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram) önerilerek Doğu Anadolu Fayı üzerinde yer alan istasyonlara uygulandı ve bölgenin karakteristiği çıkarılmaya çalışıldı. Bunun yanısıra, Yapay Sinir Ağlarının farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak modelleme yapıldı ve elde edilen sonuçlar ile önerilen yöntemin güvenilirliği test edildi. Zaman Serisi analizi ile de meydana gelen ^{222}Rn anomalilerinin kaynağı belirlenmeye çalışıldı.

Anahtar Kelimeler: Radon, Deprem, Yarıvariogram, Jeoistatistik, Konumsal Kestirim, Regresif Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram

***Bu çalışma, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından desteklenmiştir.**

SUMMARY

Doktora Tezi

A NEW METHOD FOR DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN RADON AND EARTHQUAKES AS EARTHQUAKE PRECURSOR: REGRESSIVE SPATIO TEMPORAL POINT CUMULATIVE SEMIVARIOGRAM

Seçil NİKSARLIOĞLU

Firat University
Institute of Science and Technology
Departman of Physics
2017, Page: 284

Radon (^{222}Rn) is a naturally occurring radioactive noble gas continuously generated in the uranium bearing rocks by alpha emitted from ^{226}Ra. Because of itself noble gas character and radioactive decay, it is a unique component especially for determining temporally varying process in geological environments. For this reason, analysis of spatial and temporal changing of radon gas flux in the soil is very important for doing geo-dynamical assessment and determining radon characteristic of interested region. Occurring of geological phenomenon, distribution of rock and soil layers are neither isotropic nor homogeneous. All of these lead to showing nonhomogeneous distribution of ^{222}Rn. Spatial analysis methods are very useful for modeling of variables exhibiting these type behaviors. In addition to this, ^{222}Rn concentration changes depend on enviromental variable. For this reason, a spatial model that contains all these effects will be more useful in determining the character of the region. For this purpose, a new model (Regressive Spatio Temporal Point Cumulative Semivariogram) containing all these factors in the study was proposed and applied to the stations located on the East Anatolian Fault Zone and the characteristic of the region was tried to be extracted. In addition, modeling was performed using different learning algorithms of Artificial Neural Networks and reliability of the proposed method was tested. It has been tried to determine the source of the ^{222}Rn anomalies with Time Series analysis.

Key Words: Radon, Earthquake, Semivariogram, Geostatistic, Spatial Prediction, Regresive Spatiotemporal Point Cumulative Semivariogram

***This study supported by Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD).**

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 5.1. Klasik variogram grafiği ve değişkenleri 22
Şekil 5.2. Bir yapay hücre modeli 30
Şekil 6.1. Çalışma bölgesi 39
Şekil 7.1. Variogram modelleri 50
Şekil 7.2. Çalışmada kullanılan YSA modeli 61
Şekil 7.3. Deprem verileri için eğitim ve gerçek çıkışların grafiği 63
Şekil 7.4. Test ve gerçek değerlerin karşılaştırılması 64
Şekil 7.5. Ergani istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 67
Şekil 7.6. Gezin istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 74
Şekil 7.7. Helindir istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 79
Şekil 7.8. Kösebayır istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 85
Şekil 7.9. Palu istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği..... 92
Şekil 7.10. Sivrice istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 98
Şekil 7.11. Soğukpınar istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği 105
Ek 2 Şekil 1. 1. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 2. 2. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 3. 3. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 4. 4. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 5. 5. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 6. 6. deprem konumu için RUZNTYV 133
Ek 2 Şekil 7. 7. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 8. 8. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 9. 9. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 10. 10. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 11. 11. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 12. 12. deprem konumu için RUZNTYV 134
Ek 2 Şekil 13. 13. deprem konumu için RUZNTYV 135
Ek 2 Şekil 14. 14. deprem konumu için RUZNTYV 135

Sayfa No

Ek 2 Şekil 15. 15. deprem konumu için RUZNTYV 135
Ek 2 Şekil 16. 16. deprem konumu için RUZNTYV 135
Ek 2 Şekil 17. 17. deprem konumu için RUZNTYV 135
Ek 2 Şekil 18. 18. deprem konumu için RUZNTYV 135
Ek 2 Şekil 19. 19. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 20. 20. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 21. 21. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 22. 22. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 23. 23. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 24. 24. deprem konumu için RUZNTYV 136
Ek 2 Şekil 25. 25. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 26. 26. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 27. 27. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 28. 28. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 29. 29. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 30. 30. deprem konumu için RUZNTYV 137
Ek 2 Şekil 31. 31. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 32. 32. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 33. 33. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 34. 34. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 35. 35. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 36. 36. deprem konumu için RUZNTYV 138
Ek 2 Şekil 37. 37. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 38. 38. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 39. 39. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 40. 40. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 41. 41. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 42. 42. deprem konumu için RUZNTYV 139
Ek 2 Şekil 43. 43. deprem konumu için RUZNTYV 140
Ek 2 Şekil 44. 44. deprem konumu için RUZNTYV 140

Sayfa No

Ek 2 Şekil 45. 45. deprem konumu için RUZNTYV 140
Ek 2 Şekil 46. 46. deprem konumu için RUZNTYV 140
Ek 2 Şekil 47. 47. deprem konumu için RUZNTYV 140
Ek 2 Şekil 48. 48. deprem konumu için RUZNTYV 140
Ek 2 Şekil 49. 49. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 50. 50. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 51. 51. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 52. 52. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 53. 53. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 54. 54. deprem konumu için RUZNTYV 141
Ek 2 Şekil 55. 55. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 56. 56. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 57. 57. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 58. 58. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 59. 59. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 60. 60. deprem konumu için RUZNTYV 142
Ek 2 Şekil 61. 61. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 62. 62. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 63. 63. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 64. 64. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 65. 65. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 66. 66. deprem konumu için RUZNTYV 143
Ek 2 Şekil 67. 67. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 2 Şekil 68. 68. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 2 Şekil 69. 69. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 2 Şekil 70. 70. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 2 Şekil 71. 71. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 2 Şekil 72. 72. deprem konumu için RUZNTYV 144
Ek 3 Şekil 1. Ergani istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 146
Ek 3 Şekil 2. Ergani istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 147

Sayfa No

Ek 3 Şekil 3. Ergani istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 148

Ek 3 Şekil 4. Ergani istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 149

Ek 3 Şekil 5. Ergani istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 150

Ek 3 Şekil 6. Ergani istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 151

Ek 3 Şekil 7. Ergani istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 152

Ek 3 Şekil 8. Ergani istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 153

Ek 3 Şekil 9. Ergani istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 154

Ek 3 Şekil 10. Ergani istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 155

Ek 3 Şekil 11. Ergani istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 156

Ek 4 Şekil 1. Gezin istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 158

Ek 4 Şekil 2. Gezin istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği. 159

Ek 4 Şekil 3. Gezin istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 160

Ek 4 Şekil 4. Gezin istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 161

Ek 4 Şekil 5. Gezin istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 162

Ek 4 Şekil 6. Gezin istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği. 163

Ek 4 Şekil 7. Gezin istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 164

Ek 4 Şekil 8. Gezin istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 165

Ek 4 Şekil 9. Gezin istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 166

Ek 4 Şekil 10. Gezin istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 167

Ek 4 Şekil 11. Gezin istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 168

Ek 5 Şekil 1. Helindir istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 170

Ek 5 Şekil 2. Helindir istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 171

Ek 5 Şekil 3. Helindir istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 172

Ek 5 Şekil 4. Helindir istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 173

Ek 5 Şekil 5. Helindir istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 174

Ek 5 Şekil 6. Helindir istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 175

Ek 5 Şekil 7. Helindir istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 176

Ek 5 Şekil 8. Helindir istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 177

Sayfa No

Ek 5 Şekil 9. Helindir istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 178

Ek 6 Şekil 1. Kösebayır istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği .. 180

Ek 6 Şekil 2. Kösebayır istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 181

Ek 6 Şekil 3. Kösebayır istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği . 182

Ek 6 Şekil 4. Kösebayır istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 183

Ek 6 Şekil 5. Kösebayır istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği .. 184

Ek 6 Şekil 6. Kösebayır istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 185

Ek 6 Şekil 7. Kösebayır istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği . 186

Ek 6 Şekil 8. Kösebayır istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 187

Ek 6 Şekil 9. Kösebayır istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği .. 188

Ek 6 Şekil 10. Kösebayır istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 189

Ek 6 Şekil 11. Kösebayır istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 190

Ek 6 Şekil 12. Kösebayır istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 191

Ek 6 Şekil 13. Kösebayır istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 192

Ek 6 Şekil 14. Kösebayır istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 193

Ek 7 Şekil 1. Palu istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği ... 195

Ek 7 Şekil 2. Palu istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 196

Ek 7 Şekil 3. Palu istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği.. 197

Ek 7 Şekil 4. Palu istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 198

Ek 7 Şekil 5. Palu istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği ... 199

Ek 7 Şekil 6. Palu istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 200

Ek 7 Şekil 7. Palu istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği.. 201

Ek 7 Şekil 8. Palu istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 202

Ek 7 Şekil 9. Palu istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği ... 203

Ek 7 Şekil 10. Palu istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği..... 204

Ek 7 Şekil 11. Palu istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 205

Sayfa No

Ek 7 Şekil 12. Palu istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 206
Ek 7 Şekil 13. Palu istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği. 207
Ek 8 Şekil 1. Sivrice istasyonu 2006 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 209
Ek 8 Şekil 2. Sivrice istasyonu 2006 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 210
Ek 8 Şekil 3. Sivrice istasyonu 2006 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 211
Ek 8 Şekil 4. Sivrice istasyonu 2006 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 212
Ek 8 Şekil 5. Sivrice istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 213
Ek 8 Şekil 6. Sivrice istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 214
Ek 8 Şekil 7. Sivrice istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 215
Ek 8 Şekil 8. Sivrice istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 216
Ek 8 Şekil 9. Sivrice istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 217
Ek 8 Şekil 10. Sivrice istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 218
Ek 8 Şekil 11. Sivrice istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 219
Ek 8 Şekil 12. Sivrice istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 220
Ek 8 Şekil 13. Sivrice istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 221
Ek 8 Şekil 14. Sivrice istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 222
Ek 8 Şekil 15. Sivrice istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 223
Ek 8 Şekil 16. Sivrice istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 224
Ek 8 Şekil 17. Sivrice istasyonu 2009 yılı Aralık ayı ^{222}Rn ve deprem grafiği 225
Ek 9 Şekil 1. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 227
Ek 9 Şekil 2. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 228
Ek 9 Şekil 3. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 229
Ek 9 Şekil 4. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 230
Ek 9 Şekil 5. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 231
Ek 9 Şekil 6. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 232

Sayfa No

Ek 9 Şekil 7. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 233

Ek 9 Şekil 8. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 234

Ek 9 Şekil 9. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 235

Ek 9 Şekil 10. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem grafiği 236

Ek 10 Şekil 1. Ergani istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 238

Ek 10 Şekil 2. Gezin istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 239

Ek 10 Şekil 3. Helindir istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 240

Ek 10 Şekil 4. Kösebayır istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 241

Ek 10 Şekil 5. Palu istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 242

Ek 10 Şekil 6. Sivrice istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 243

Ek 10 Şekil 7. Soğukpınar istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi 244

Ek 12 Şekil 1. ^{222}Rn aktivitesinin 2008 yılı ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimi değişimine ait modeller ve izo haritalar 255

Ek 12 Şekil 2. ^{222}Rn aktivitesinin 2008 yılı kış, ilkbahar ve yaz mevsimi değişimine ait modeller ve izo haritalar 256

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 6.1. Çalışma istasyonlarına ait bilgiler 39

Tablo 7.1. Ergani istasyonuna ait normallik testi sonuçları 46

Tablo 7.2. Ergani istasyonuna ait korelasyon tablosu 47

Tablo 7.3. Ergani istasyonu için model özeti 47

Tablo 7.4. ANOVA Tablosu 48

Tablo 7.5. Katsayılar Tablosu 48

Tablo 7.6. RUZNTYV modelleri 51

Tablo 7.7. RUZNTYV yöntemine ait model denklemleri ve tahminleme işlemi 56

Tablo 7.8. RUZNTYV yöntemine ait tahmin sonuçları 60

Tablo 7.9. YSA yöntemine ait tahmin sonuçları 63

Tablo 7.10. İstasyonların 30 km çevresinde meydana gelen depremlere ait tanımlayıcı istatistikler 66

Tablo 7.11. Ergani istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 69

Tablo 7.12. Ergani istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 71

Tablo 7.13. Ergani istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 72

Tablo 7.14. Gezin istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 75

Tablo 7.15. Gezin istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 76

Tablo 7.16. Gezin istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 77

Tablo 7.17. Gezin istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 78

Sayfa No

Tablo 7.18. Helindir istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 80

Tablo 7.19. Helindir istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 81

Tablo 7.20. Helindir istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 83

Tablo 7.21. Helindir istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 85

Tablo 7.22. Kösebayır istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 86

Tablo 7.23. Kösebayır istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 88

Tablo 7.24. Kösebayır istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 89

Tablo 7.25. Kösebayır istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 91

Tablo 7.26. Palu istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 93

Tablo 7.27. Palu istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 94

Tablo 7.28. Palu istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 96

Tablo 7.29. Palu istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 97

Tablo 7.30. Sivrice istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 99

Tablo 7.31. Sivrice istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 101

Tablo 7.32. Sivrice istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 103

Sayfa No

Tablo 7.33. Sivrice istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 104

Tablo 7.34. Soğukpınar istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkelerin aylık ortalaması 106

Tablo 7.35. Soğukpınar istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi 108

Tablo 7.36. Soğukpınar istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler 109

Tablo 7.37. Soğukpınar istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler 110

Ek 1 Tablo 1. Gezin istasyonuna ait normallik testi sonuçları 130

Ek 1 Tablo 2. Helindir istasyonuna ait normallik testi sonuçları 130

Ek 1 Tablo 3. Kösebayır istasyonuna ait normallik testi sonuçları 130

Ek 1 Tablo 4. Palu istasyonuna ait normallik testi sonuçları 131

Ek 1 Tablo 5. Sivrice istasyonuna ait normallik testi sonuçları 131

Ek 1 Tablo 6. Soğukpınar istasyonuna ait normallik testi sonuçları 131

Ek 11 Tablo 1. Sismik faaliyetlerin olmadığı dönemlerdeki ^{222}Rn'e ait tanımlayıcı istatitikler 246

Ek 11 Tablo 2. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları..... 246

Ek 11 Tablo 3. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 246

Ek 11 Tablo 4. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için model özeti 246

Ek 11 Tablo 5. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu 247

Sayfa No

Ek 11 Tablo 6. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu 247

Ek 11 Tablo 7. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 247

Ek 11 Tablo 8. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 247

Ek 11 Tablo 9. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için model özeti 248

Ek 11 Tablo 10. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için ANOVA tablosu 248

Ek 11 Tablo 11. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için katsayılar tablosu 248

Ek 11 Tablo 12. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 248

Ek 11 Tablo 13. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 248

Ek 11 Tablo 14. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için model özeti 249

Ek 11 Tablo 15. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu 249

Ek 11 Tablo 16. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu 249

Ek 11 Tablo 17. Kösebayır istasyonu 11.09.2008-03.03.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 249

Ek 11 Tablo 18. Kösebayır istasyonu 11.09.2008-03.03.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 249

Ek 11 Tablo 19. Kösebayır istasyonu 11.09.2008-03.03.2010 tarih aralığı için model özeti 250

Sayfa No

Ek 11 Tablo 20. Kösebayır istasyonu 11.09.2008-03.03.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu 250

Ek 11 Tablo 21. Kösebayır istasyonu 11.09.2008-03.03.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu 250

Ek 11 Tablo 22. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 250

Ek 11 Tablo 23. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 250

Ek 11 Tablo 24. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için model özeti 251

Ek 11 Tablo 25. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu 251

Ek 11 Tablo 26. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu 251

Ek 11 Tablo 27. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 251

Ek 11 Tablo 28. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 251

Ek 11 Tablo 29. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için model özeti 252

Ek 11 Tablo 30. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için ANOVA tablosu 252

Ek 11 Tablo 31. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için katsayılar tablosu 252

Ek 11 Tablo 32. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-03.03.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları 252

Ek 11 Tablo 33. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi 252

Ek 11 Tablo 34. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-03.03.2010 tarih aralığı için model özeti 253

Ek 11 Tablo 35. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu 253

Ek 11 Tablo 36. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-03.03.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu 253

KISALTMALAR LİSTESİ

^{222}Rn	**:** Radon gazı
^{226}Ra	**:** Radyum
YV	**:** Yarıvariogram
BD	**:** Bölgesel Değişken
TYV	**:** Toplam Yarıvariogram
NTYV	**:** Noktasal Toplam Yarıvariogram
UZNTYV	**:** Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram
RUZNTYV	**:** Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram
YSA	**:** Yapay Sinir Ağları
LM	**:** Levenberg-Marguardt Algoritması
MÖA	**:** Momentumlu Geri Yayılım Algoritması
VÖA	**:** Vogl Öğrenme Algoritması
ts_10	**:** Toprağın 10 cm Derinlikteki Sıcaklığı
ts_20	**:** Toprağın 20 cm Derinlikteki Sıcaklığı
ts_50	**:** Toprağın 50 cm Derinlikteki Sıcaklığı
bb	**:** Buhar Basıncı
ıts	**:** Islak Termometre Sıcaklığı
kts	**:** Kuru Termometre Sıcaklığı
T	**:** Ortalama Sıcaklık
Sig.	**:** Significant

SEMBOLLER LİSTESİ

C_p	**:** Değişkenin tahmini değeri
C_i	**:** Değişkenin ölçülen değeri
W	**:** Ağırlık katsayısı
M	**:** Deprem büyüklüğü
$\mathbf{T_s}$	**:** Deprem oluş süresi
γ(h)	**:** Variogram
σ	**:** Standart sapma

1. GİRİŞ

Depremler, çok sayıda insan kaybına neden olan birkaç doğal afetten biridir. Bu nedenle son yıllarda, depremin önceden sezilmesi ile ilgili araştırmalar büyük bir hız kazanmıştır. Önerilen birçok deprem işareti arasında, toprak gazında ve yeraltı sularında Radon (^{222}Rn) değişimleri, deprem tahmininde kullanılabilecek en önemli jeokimyasal izleyici olarak sınıflandırılmaktadır (Yaprak vd., 2003).

Tektonik aktivitede meydana gelen bir değişim çeşitli değişkenlerle (sismik aktivite, yeraltı su hareketlerinde değişim, su sıcaklığındaki değişimler vb.) kendini gösterebilmektedir. Bu değişkenlerden birinin de ^{222}Rn gazı derişimindeki değişim olduğu gerçekleştirilen birçok çalışma ile kanıtlanmıştır.

Günümüzde, olası depremlerin yerinin, zamanının ve şiddetlerinin önceden tahmin edilebilmesine yönelik birçok değişken üzerinde dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sismik hareketin işaretçileri; yerin kabarması, ^{222}Rn gazı çıkışında değişim, yeraltı sularında artış, yerde küçük titreşimler, sıra dışı hayvan davranışları, sıcaklık artışı, kaynak sularının kuruması ya da yenilerinin oluşumudur. Yapılan çalışmalarda, üzerinde durulan değişkenlerden biri de, toprak gazı ^{222}Rn anomalileri ile sismik aktiviteler arasında ilişkilerin araştırılmasıdır (Saç vd., 2008).

Yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir (URL-1).

Depremin önceden tahmin edilmesi; zamanının, yerinin ve büyüklüğünün kestirilmesi demektir. Bu üç birim, manto ve yer kabuğunun bir parçasının diğer parçasına göre yer değiştirmesinin, ortam içerisindeki gerilim yüklenme hızının ve ortamdaki kayaçların kırılma dirençlerinin bir değişkenidir (Ercan, 2001).

Bir bölgedeki enerji birikimini ya da boşalımını denetleyen öğe ve işleyiş bilinse bile, başlangıç ve sınır koşullarının ve ortamda yer alan kayaçların özelliklerinin çok iyi bilinmemesi sonucunda, herhangi bir sarsıntının önceden tahmini güçleştirmektedir. Yeryüzünde depremler gelişi güzel değil, iyi bilinen temel etkin kuşaklar boyunca oluşur (Ercan, 2001). Bu nedenle, bu kuşaklar üzerinde deprem oluşumu ile farklılık gösteren değişkenlerin sürekli olarak ölçülmesi deprem tahmini çalışmaları için oldukça büyük önem arz etmektedir.

Deprem tahmini için birçok deneysel ve gözleme dayalı çalışmalar yapılmakta, aynı zamanda matematiksel modellemelerde gerçekleştirilmektedir. Deprem oluşumu gibi, uzaysal ve zamansal dağılımları deterministik anlamda çözüm bekleyen problemlere, en iyi yaklaşım istatistiksel yöntemlerdir. Kesin olarak bildiğimiz bilimsel bir gerçek şudur ki: Depremler faylar üzerinde olur. Bu nedenle deprem değişkenleri, üzerinde oluştukları fayların fiziksel özellikleri tarafından belirlenir ve sınırlanır. İstatistiksel değişkenler yardımı ile gözlemsel deprem verileri arasında kurulacak herhangi bir ilişki, fizik yasaları ile açıklanamayan birçok olgu için genelleme yapılmasını sağlar (Ceylan, 2008).

Günümüzde depremin nerede, ne zaman ve ne büyüklükte olacağını önceden kesin olarak bilmenin ve bu yıkıcı doğa olayını önlemenin imkânsız olduğu kabul edilmektedir. Fakat mevcut jeofizik, jeoloji ve deprem mühendisliği alanlarında yapılan istatistiksel çalışmalar bize olası depremin değişkenlerini ve yaratacağı yer hareketinin şiddetini önümüzdeki yıllara göre ancak olasılıklara dayandırarak tahmin edebileceğimizi göstermektedir (Ünal, 2010).

Deprem tahminleri için çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. Bu yaklaşımların bir kısmı, yeryüzü hareketlerinin gözlemlenmesi ve bu verilerin istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesine dayanırken, bir kısmı da deprem oluşumu öncesinde, esnasında veya sonrasında farklılık gösteren, anormal davranışlar sergileyen değişkenlerin tespit edilmesi ve bu değişkenlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır (Turcotte,1991). Bu değişkenlerden en yaygın kullanılanı, yeryüzü hareketlerine oldukça hassas davranışlar sergileyen ^{222}Rn gazıdır. ^{222}Rn ve deprem ilişkisine dayalı olarak geliştirilen birçok model bulunmaktadır. Örneğin; Utkin vd. (2006) depremlere bağlı olarak ^{222}Rn çıkışının nasıl değiştiğini gösteren jeodinamik bir model yapmıştır. Benzer olarak, Zmazek vd. (2003) tahmin yöntemlerinde regresyon hesaplamalarını kullanmıştır. İlaveten, meydana gelen depremlerin riskini ve karakteristiklerini analiz eden matematiksel modellere dayanan araştırma çalışmaları da vardır (Şen, 1998; Şen ve Al-Suba'i, 2001; Külahcı vd., 2009).

Külahcı vd., Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde meydana gelen deprem verilerini, ^{222}Rn ve ^{222}Rn değişimini etkileyen diğer değişkenleri kullanarak, yapay sinir ağları yöntemiyle deprem büyüklüğü tahmini yapmıştır (Külahcı vd., 2009a). Planinić vd. (2004) ve Miklavčić vd. (2008) gözlem mesafesine 200 km uzaklıkta meydana gelen 3 ve 3'ten büyük depremleri kaydetmiş, aynı zaman dilimi içerisinde ^{222}Rn değişimini etkileyen çevresel değişkenleri ölçerek oluşturdukları çoklu regresyon denklemi ile deprem ve ^{222}Rn arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Vizzini ve Brai (2012) Etna Dağı çevresinde ölçtükleri ^{222}Rn, çevresel değişkenler ve deprem büyüklüklerini kullanarak çoklu regresyon denklemi elde etmiş ve sismik faaliyetler nedeniyle meydana gelen topraktaki ^{222}Rn dalgalanmalarını ayırt edebilmek için Dobrovolsky yarıçapı ifadesini kullanmışlardır. Külahcı ve Şen (2014) deprem oluşumu ile ilişkili olarak bir fay hattı boyunca yayınlanan ^{222}Rn ölçümlerindeki istatistiksel belirsizlikleri gideren ve konumsal davranışı açıklayan iki yeni yöntem (Mutlak Noktasal Toplam Yarıvariogram (APCSV) ve Pertürbasyon Metod (PM)) ile ^{222}Rn ve deprem arasındaki ilişkiyi incelemiştir (Külahcı ve Şen, 2014). Bunun yanı sıra, Külahcı ve Çiçek tarafından Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin bir kolu üzerinde 8 ay boyunca toprak ve suda gözlemlenen ^{222}Rn gazı derişim değişimleri zaman serileri analizi ile incelenerek bu bölgede meydana gelen depremler ile ilişkisi araştırılmıştır (Külahcı ve Çiçek, 2014).

Bu çalışmanın amacı; Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde yer alan Sivrice, Gezin, Soğukpınar, Helindir, Kösebayır, Palu ve Ergani istasyonlarında ölçülen ^{222}Rn derişimindeki değişimin, çevresel değişkenler ve deprem etkisi ile birlikte değişimini incelemek, bu değişkenler arasında bir ilişkinin bulunup bulunmadığını araştırmak ve bu değişkenleri kullanarak ilgili konumlarda ki muhtemel deprem büyüklüğünü kestirmektir. Bu kapsamda öncelikle elimizdeki tüm verilerin istatistiksel analizleri yapılmış ve dağılımı incelenmiştir. Normal dağılıma uyan ve aralarında ilişki bulunan değişkenlerin kullanımıyla regresyon denklemi elde edilmiş ve bu yöntem Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram yöntemi ile birleştirilerek yeni bir metot önerilmiştir. Bu metot neticesinde elde edilen tahmin sonuçları, Yapay Sinir Ağlarının farklı algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve yöntemin güvenilirliği test edilmiştir. Bunların yanısıra, Zaman Serisi analizi yapılmış ve ^{222}Rn derişiminde meydana anomalilerin sebebi tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ^{222}Rn derişiminin mevsimsel değişimi, klasik aktivite formülünün yarıvariogram yöntemi ile birleştirilmesiyle ele alınmış ve bu değişimi gösteren izo-haritalar çizilmiştir.

2. RADON (^{222}Rn) VE ÖZELLİKLERİ

Radon (^{222}Rn), renksiz, kokusuz, tatsız, periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan doğal ^{238}U serisinde, ^{226}Ra'nın bozunumu sonucu oluşan, dünya yüzeyindeki bütün karasal kayalarda az miktarda bulunan, 3,82 günlük yarı ömre sahip radyoaktif bir gazdır. Havadan 7,5 kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır. ^{222}Rn soğuk suda çözünür ve çözünürlüğü artan sıcaklık ile azalır. Coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Madensel tanecikler içerisinde oluşan çoğu ^{222}Rn atomu yine bu tanecikler içinde gömülü kalır. Sadece %10 ilâ %50 oranındaki kısmı gözeneklere çıkabilir. Eğer bu gözeneklerde su mevcut ise, ^{222}Rn atomlarının burada kalması kolaylaşır, fakat kuru ise ^{222}Rn atomları boşluğu geçerek hareket edemeyeceği bir diğer taneciğe gömülebilir (Cothern ve Smith, 1987). ^{222}Rn derişim seviyeleri, jeolojik ve jeofiziksel şartlardan güçlü bir şekilde etkilenir. İlâveten asal bir gaz olması nedeniyle, kimyasal süreçlerden ziyade yağış ve barometrik basınç gibi atmosferik olaylardan etkilenir (Ghosh vd., 2007). ^{222}Rn'nin asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle derişimi yerkabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle evler için ^{222}Rn derişiminde izin verilen limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. İngiltere'de bu değer 200 Bq·m^{-3}, Avrupa ülkelerinde 400 Bq·m^{-3}, Kanada'da ise 800 Bq·m^{-3} olarak kabul edilmiştir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS), evlerde ^{222}Rn için tavsiye edilen düzeyi; 200-600 Bq·m^{-3}olarak belirlemiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde bu derişim değeri evler için 400 Bq·m^{-3}'tür.

Radyoaktif maden yataklarında bol miktarda bulunan ^{222}Rn, yer kürede en az rastlanan elementlerden biridir. Genellikle radyum ve ^{222}Rn birliktedir, fakat ^{222}Rn'nin kısa ömürlü olması radyum ile beraber göçünü sınırlar. Kayalarda ^{222}Rn miktarının çokluğu, uranyum ve toryumun varlığını kanıtlamaktadır. Özellikle granitlerde, şeyli karbonatlarda bol bulunur (Jaki ve Hess, 1958). Uranyum ve ara ürün çekirdeklerinden sadece ^{222}Rn radyoaktif asal bir gaz iken diğerleri katıdır. ^{222}Rn'nin dönüşüm ürünleride gaz değil katı parçacıklardır. ^{222}Rn 5.49 MeV'lik bir α parçacığı yayınlayarak ^{218}Po dönüşür (Tanır vd., 2013).

Nehirler genellikle ^{222}Rn yönünden, denizlere oranla daha zengindir. Karalar üzerindeki atmosferlerde ^{222}Rn, deniz ve okyanus üzerindeki atmosfer içindeki ^{222}Rn'ye

oranla 10-15 kat daha fazladır. ^{222}Rn atmosferin üst seviyelerine çıkıldıkça azalmaktadır ve çabuk bozunuma uğradığından ve atmosfere geçtiğinden dolayı yüzey sularında az miktarda bulunur. Yeraltı suları kayalarla doğrudan ve uzun süre temasta olduklarından ^{222}Rn bakımından daha zengindir (Jaki ve Hess, 1958; Şahinci, 1986). ^{222}Rn radyoaktif asal bir gaz olduğundan dolayı normal şartlar altında kimyasal reaksiyon göstermez. Herhangi bir noktada ^{222}Rn derişimi ölçümü;

- Kaynak materyalde ^{222}Rn kaynağının derişimi ve dağılımı,
- Biyosfer içine getiren taşınım süreçlerinin etkisi,
- Kendi yarı ömrü olmak üzere başlıca 3 faktörün fonksiyonudur (Cothern ve Smith, 1987).

^{222}Rn, ^{238}U bozunum serisinin kısa ömürlü üyesi ve ^{226}Ra'nın ürünü olduğundan, derişimi kaynak materyaldeki ^{238}U ve ^{226}Ra'nın seviyelerinin bir fonksiyonudur. Bununla birlikte, su veya topraktaki ^{222}Rn ve radyum veya uranyum arasında sıkı bir ilişki yoktur. Aslında, iyi korelasyonlar yalnızca iki aşırı durum için mevcuttur. Eğer kaynak materyalin (kaya veya sedimentler) radyum içeriği çok düşük veya çok yüksek ise, yakınındaki su ve/veya toprak gazının ^{222}Rn derişimi geniş bir aralıkta dağılabilir. Diğer faktörler ^{222}Rn derişiminin kontrolünde daha sonra baskındır. ^{222}Rn'nin yüksek (veya düşük) olacağı yeri tahmin edebilmek için katı tabakadan havaya veya gözenek boşluklarındaki suya taşınım süreçleri ve sonra maruz kalma noktasının anlaşılmasına ihtiyaç duyulur. Kapsamlı araştırmalar bu süreçleri anlamak için dünya genelinde yürütülmektedir (Cothern ve Smith, 1987).

^{222}Rn aktivitesi üstel olarak azalır. Böylece 5 yarı ömür veya yaklaşık 20 günde, aktivitesi orijinal seviyesinin yaklaşık %1'i olur. 25-30 günden daha fazla bir periyotta meydana gelen taşınım süreçleri ^{222}Rn derişimini gözle görülür derecede etkilemez. Böylece, ^{222}Rn kaynağından genellikle 50-100 m'den daha uzak mesafelerde yeraltı sularında birikmez. ^{222}Rn'nin kısa ömründen dolayı normal şartlarda difüzyon ile toprakta taşınımı birkaç metreyle sınırlıdır (Cothern ve Smith, 1987). ^{222}Rn'nin taşınım süreçlerinin ve kaynaklarının çalışılması makroskobik, mezoskopik ve mikroskopik olmak üzere 3 farklı yaklaşımla ele alınabilir.

Bölgesel niceleme veya tanımlama yapabilen makroskobik ölçekli süreçler veya değişkenler vardır. Buna en iyi örnek uranyum içeren farklı kaya türlerinin karakterizasyonlarıdır. Mafik volkanik kayalar (bazalt benzeri) genellikle 0,9 ppm ortalama ile düşük uranyum içeriğine sahiptir. Aksine, daha asidik volkanik kayalar 4,7

ppm ortalamaya sahip olan granitlerde bulunan daha yüksek değerler ile daha fazla uranyum içeriğine sahiptir. 20-40 ppm uranyum ile granitik kayaların sayısı da az değildir (Cothern ve Smith, 1987). Birçok bazalt çok düşük uranyum içeriğine sahiptir, ama azda olsa yüksek değerli örnekleri de mevcuttur. Farklı kaya türlerinde uranyum dağılımında önemli kesişmeler (örtüşmeler) olacaktır.

Makroskopik faktörler, kaya türü veya jeolojik çevreye özgü olan faktörlerdir. Uranyum içeriği ve kayalarda dağılımı etkileyen bu faktörler iyi derecede anlaşılmıştır. 30 yılı aşkın süredir yönetilen uranyum araştırma çalışmaları, uranyum göçü ve zenginleştirmesi için detaylı jeokimyasal modeller sağlar. Uranyum ve toryumun en temel özelliklerinden biri; volkanik ve metamorfik kayaların oluşum süreçlerinde, ergimiş veya kısmen erimiş soğuk kayalar gibi daha çok buharlaşma fazında olan yapılarda zenginleşme eğiliminde olmalarıdır. Böylece, granit gibi düşük bir erime noktasına sahip olan kaya türlerinde, diorit (yeşil taş) ve bazalt gibi yüksek erime noktasına sahip kaya türlerinden daha yüksek miktarda uranyum bulunmaktadır. Uranyum zenginleştirilebilir veya sıvıdaki derişimi aynı bu eğilim ile azaltılabilir ve ısıtma süresince buharlaşma fazı metamorfizm ile meydana gelir. Kayalar ısıtıldığında ve kısmen eritildiğinde, uranyum mobilize olabilir ve buhar veya sıvı fazda başkalaşmış ve yoğunlaşmış kayalardan boşalır. Bu süreç ile uranyum, toryum ve diğer buharlaşabilen elementler pegmatit oyuk gibi yapılarda zenginleşebilir. Başkalaşmış kaya bölgelerinin, uranyumun mobilizasyonuna bağlı olarak bazı alanlarda oldukça zengin ve diğer alanlarda daha az olmak üzere çok çeşitli uranyum dağılımına sahip olması beklenmektedir (Cothern ve Smith, 1987).

Uranyum taşınımı ve zenginleşmesinin ikinci mekanizması yeraltı suyu akışı ile mobilize ve oksidize olabilen uranyumun makroskobik ölçeğidir. +4 oksidasyon durumu biçimindeki bileşiklerde, uranyum normal sıcaklıklarda çok çözünmez. Bununla birlikte +6 oksidasyon durumunda uranyum hızlıca çözünebilir. Böylece, oksidasyon şartları altında, uranyum kayalar ve topraktan sızabilir ve yeraltı suyu ile çözeltiler ile taşınabilir. Hidrotermal sıvılar kendi kaynak kayalarından uranyumu filtre edebilir ve yakın birikintilerde zenginleşebilir (Cothern ve Smith, 1987).

^{222}Rn çalışmasında, bu ikinci taşınım ve zenginleştirme süreçleri önemlidir. Çünkü kaya veya sedimentin uranyum içeriği genellikle hava şartlarına bağlı olarak büyük oranda değişim gösterebilir. Uranyum dağılımının bu mekanizmaları kayalar ve sedimentlerin olası sızıntısını ve ^{222}Rn içeriğini etkileyen mezoskopik ölçek süreçleri için çok önemlidir. Bölgesel olarak, uranyum ve radyum sığ faylar ve çatlaklar boyunca büyük miktarda

zenginleşebilir (Gates vd., 1990). Ana kaya üzerinde yatan buzul birikintiler gibi, kalın toprak örtü tabakaları ^{222}Rn salınımını azaltabilir. Kayalarda ki çatlaklar, çözeltideki ^{222}Rn miktarını arttıran yeraltı suyu ile temas halinde olan yüzey alanlarını arttırabilir. Çatlaklar ve faylar yüzeye ^{222}Rn'nin daha büyük miktarda dağılımı için kanal olarak görev yapar. Bu süreçler bir bölge içinde ^{222}Rn'nin yerel dağılımını etkiler (Cothern ve Smith, 1987).

Bir mikroskobik ölçekte, topraktan por boşlukları içine (su veya hava) ^{222}Rn salınımını arttıran süreçler vardır. Örneğin, bir mineral taneciği içinde uranyum veya radyum çiftinin konumu topraktan ^{222}Rn'nin kaçabilme olasılığını büyük oranda etkiler. Granitlerdeki uranyumun %30-70'nin monazit veya zirkon gibi çok dayanıklı (dirençli) minerallerde bağlandığı tahmin edilmektedir. Kayalardaki uranyumun dağılımı ^{222}Rn yayılımını büyük oranda etkileyecektir. Başkalaşmış kayaç süreçleri bu ölçekte tekrar önemli bir rol oynayabilir. Orta veya yüksek derecede başkalaşmış katmanlarda çatlağa ait oksitler olarak dağılan uranyum, kayacın ^{222}Rn yayılımını azaltan daha kararlı mineraller içinde yeniden kristalleşebilir. Bazı durumlarda, monazitin oluşumu yüksek ^{222}Rn için potansiyel bir azalma meydana getirebilir (Cothern ve Smith, 1987).

2.1. Topraklarda ^{222}Rn

^{222}Rn kaynağı olarak toprak çalışmaları, başlıca iki ana kısma odaklanmıştır:

a) Toprak gazında ^{222}Rn derişimini etkileyen faktörler.

b) Topraklardan ^{222}Rn taşınımını arttıran faktörler.

Toprak gazında ^{222}Rn derişimini etkileyen faktörler; radyum içeriği ve dağılımı, geçirgenlik (hem taneler arası hem de tane içi), nem, yoğunluk ve bazı durumlarda ana kaya faktörleridir. Toprak gazının ^{222}Rn içeriği, toprağın radyum derişiminin doğrudan bir fonksiyonu olmamasına rağmen, radyum derişimi topraklar ve ana kayadaki potansiyel ^{222}Rn kaynağının önemli bir göstergesidir. Yaklaşık 50 Bq·kg^{-1} ortalama derişimler ile yüksek uranyum derişimli kaya tipleri; granitler, başkalaşmış volkanik kayalar ve killi şistlerdir. Uranyum mineralizasyonu ile kaya türleri için uranyum taşıyan kum taşlarının derişimleri 500 kBq·kg^{-1} ve fosfatlar için derişim 1500 Bq·kg^{-1}'dir (Cothern ve Smith, 1987).

Mineralleşmemiş topraklarda radyum derişimi tipik olarak 10-100 Bq·kg^{-1}'dir. Amerikan Jeoloji Araştırma biriminde bir grup tarafından yapılan araştırmada, normal

radyum derişimine sahip olan alanlarda bile toprak gözenekliliğinin yüksek miktarda toprak ^{222}Rn gazı seviyelerine sebep olduğu görülmüştür (Megumi ve Mamuro, 1972) .

Toprakların yüksek su geçirgenliği, komşu (yakın) yapılarda ^{222}Rn seviyelerini arttıran bir etkiye sahiptir. Yüksek geçirgenliğe sahip topraklarda, özellikle kum ve çakıllı kumda, difüzyon ile ^{222}Rn göçü birkaç metre derinliğe kadar mükemmeldir. Böylece toprak gazındaki ^{222}Rn çok daha geniş alanlarda birikebilir. ^{222}Rn taşıyıcı toprak gazının konvektif akışı, su geçirgenliği ile orantılıdır ve geçirgen topraklar, çok küçük basınç farklılıkları altında yapı içinde toprak gazında ^{222}Rn'nin hızlı taşınımına izin verir. Aksine, ince kum (ya da sulu kum) ve kil gibi nispeten su geçirmez topraklar, toprak gazının önemli miktarlarının taşınımına izin veren yeterli gözenekliliğe sahip değildir. Killer genellikle toprak gazı seviyelerini daha çok azaltma eğiliminde olan yüksek su içeriğine sahiptir (Schery vd.,1993).

Su geçirgenliği, kayalarda da ^{222}Rn taşınımını arttırmada önemlidir. Dağ oluşumu ile ilişkili başkalaşmış ve şekil değiştirmiş belli türlerden sonuçlanan kırık ve çatlamış kayalar, yüksek ^{222}Rn sevileri yayılımı için yüksek bir potansiyele sahiptir. Çatlaklar, kırılmamış kayaya göre daha büyük derinliklerden ^{222}Rn taşınımına izin verir ve uranyum çatlaklar boyunca yerleşmiş olabilir. Çatlak ana kayalar, çok yüksek ^{222}Rn seviyelerine önemli bir katkı sağlayabilir (Cothern ve Smith, 1987).

Toprak nemi ve su tabakası derinliği, yavaş difüzyon ile toprak-gaz derişimi üzerinde zamansal etkilere (geçici etkilere) sahip olabilir. Taneler arası nemin etkileri doğrudan alfa geri tepmesini arttırdığından dolayı kılcal saçaklar ile ıslanan topraklarda yayılma katsayısı daha yüksek olup, taneli topraklar için %15-55 aralığında değişmektedir. Kurumuş topraklarda yayılma katsayısı yalnızca yüzde birkaç değere sahiptir (Cothern ve Smith, 1987).

Hava içine ve yapılar içine toprak gazından ^{222}Rn taşınımını etkileyen faktörler; toprağın su geçirgenliği ve gözenekliliği, barometrik basınç, toprak boyunca hava basıncının akışı, nem, rüzgâr, ana kaya üzerindeki toprağın kalınlığı ve daha az derecede de sıcaklıktır.

Topraklar içerisinde ^{222}Rn taşınımının en önemli mekanizmalarından birisi basınç değişimidir. Bu çalışmaların büyük bir kısmı California Üniversitesi, Lawrence Berkeley Laboratuarı'ndaki araştırmacılar tarafından yürütülmüştür (Cothern ve Smith, 1987). Rüzgâr, sıcaklık etkilerine benzer bir ölçekte basınç farklılıkları oluşturur. Rüzgârlar, toprak ve üzerini örttüğü yapı arasında ki hava değişimini arttırır. Bunların dışında ^{222}Rn

akışını etkileyen bir diğer faktör olan yağışın etkisi tam olarak anlaşılamamıştır ama bazı çalışmalarda fazla yağış süresince ^{222}Rn'nin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum toprağın nem içeriğini arttırmaktadır. Barometrik basınçtaki değişimler, genellikle yağış süresince meydana gelir. Bu nedenle bu iki etki arasında hangisinin ^{222}Rn salınımını etkilediğini belirlemek zordur. Artan basınç, zemin içindeki düşük ^{222}Rn havasına kuvvet uygular ve azalan basınç zeminden ^{222}Rn zengini havayı çeker. Diğer taraftan, sıcaklık artışının laboratuarlardaki deneylerde, topraktan ^{222}Rn yayılımını arttırdığı görülmüştür. Muhtemelen bu durum toprak materyalleri içinde ^{222}Rn soğurum miktarının azalmasından dolayıdır. ^{222}Rn risk sınıflaması için yapılan çalışmalarda yüksek, normal ve düşük riskli bölgeler belirlenmiştir. Buna göre, bu bölgelere ait yapılar aşağıdaki gibidir (Cothern ve Smith, 1987).

- Yüksek risk alanları (toprak gazında ki ^{222}Rn derişimi > $5 \cdot 10^4$ Bq·m^{-3})
  Uranyum zengini granitler,
  Pegmatitler,
  Alüminli şistler,
  Yüksek geçirgenlik özelliğine sahip topraklardır.
- Normal risk alanları (toprak gazında ki ^{222}Rn derişimi = 10^4-$5 \cdot 10^4$ Bq·m^{-3})
  Düşük veya normal uranyum içeriği ile kayalar ve topraklar,
  Ortalama su geçirgenliğine sahip topraklardır.
- Düşük risk alanları (toprak gazında ki ^{222}Rn derişimi<10^4 Bq·m^{-3})
  Çok düşük uranyum içeriği ile kayalar ve topraklar,
  Kireçtaşı,
  Kumtaşı,
  Temel magmatik ve volkanik kayalar,
  Çok düşük su geçirgenliğine sahip topraklardır (kil ve ince kum).

2.2. Yüzey Sularında ^{222}Rn

Özellikle içme suyu kaynakları olarak kullanılan yüzey sularında ^{222}Rn derişimleri genellikle çok düşüktür. Yeraltı sularında ^{222}Rn'nin üç kaynağı vardır (Cothern ve Smith, 1987). Bunlar;

1. Çözeltideki ^{226}Ra miktarı,
2. ^{222}Rn yüklü yeraltı suyunun boşalması,

3. Dip sedimentlerinden yayılımdır.

Kısa yarı ömründen dolayı ^{222}Rn, okyanus sularında ^{226}Ra ile dengededir. Bununla birlikte ^{222}Rn, difüzyon ile atmosferde su yüzeyinden hızlıca kaybolur. ^{222}Rn kaybının büyüklüğü, hava ve su arasındaki gaz değişim oranlarına ve su sütununun dikey karışım oranına bağlıdır. Gaz değişim oranı moleküler difüzyon tarafından kontrol edilir. Tabakanın kalınlığı rüzgârlar, dalgalar ve akıntılar tarafından sebep olunan türbülanslı karışım oranının bir fonksiyonudur. ^{222}Rn'nin göller, nehirler, haliçler ve okyanuslarda hava, su gazı değişimi çalışmalarında mükemmel bir izleyici olduğu ispatlanmıştır. Dip sedimentlerinin dışına ^{222}Rn difüzyonu olduğundan dolayı, ^{222}Rn deniz zemini yakınında ^{226}Ra'ya kıyasla daha fazladır. Aslında, ^{226}Ra profilleri derinlik ile artış gösterir. Çünkü ^{226}Ra dip sedimentlerin dışına yayılır, ama bir asal gaz olan ^{222}Rn akısı, ^{226}Ra'nın büyüklüğünden birkaç kat daha fazladır. ^{226}Ra üst su tabakasında derinlik ile artmasına rağmen, dip profil değişimleri 1622 yıl yarı ömründen dolayı çok daha yavaş değişir (Cothern ve Smith, 1987).

2.3. Yeraltı sularında ^{222}Rn

Yeraltı sularındaki ^{222}Rn ölçümü deprem tahminlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Igarashi et al., 1995; Liu et al., 1985; Noguchi and Wakita, 1977; Teng, 1980; Wakita et al., 1980; Tsunomoni and Kuo, 2010). Yapılan birçok detaylı çalışma, yeraltı suyundaki ^{222}Rn derişiminin, yeraltı su tabakalarının kaya tipi ve bileşimiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir (Hammond vd., 1981). Farklı yeraltı su tabakaları için ^{222}Rn içerikleri incelenmiş, bunlara ait ayrıntılı bilgiler aşağıda verilmiştir (Cothern ve Smith, 1987).

2.3.1. Volkanik ve Başkalaşmış Kayadan Oluşan Yeraltı Su Tabakalarında ^{222}Rn

Volkanik ve başkalaşmış kayalardan oluşan yeraltı su tabakaları genellikle sınırlı miktarda su üretir. Üretim miktarı nadir olarak 0,3-3,0 $L \cdot s^{-1}$'den daha büyüktür. Volkanik kayalar, granitler gibi asidik kayalar ve bazaltlar gibi bazik kayalar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Başkalaşmış kayalar, basınç ve ısınma süresince biçimlenmiş olan mineral türleri tarafından tanımlanan başkalaşımın farklı derecelerine göre sınıflandırılır. Bununla birlikte,

yeraltı sularında ^{222}Rn seviyelerini etkilemede önemli faktörler olan başkalaşmış kayaların başka karakteristikleri de vardır. Başkalaşmış granitler gibi kayadaki uranyumun miktarını etkileyen başkalaşmadan önce, orijinal materyalin bileşimi başkalaşmış kalkerden farklı olacaktır. Başkalaşmanın daha yüksek dereceleri, uranyum ile zenginleştirilebilen mineralleştirici sıvıların oluşumu ile ilişkilidir (Cothern ve Smith, 1987).

Volkanik ve başkalaşmış kayaların kristal akiferinde yeraltı suyundaki ^{222}Rn genellikle diğer bütün yeraltı su tabakası türlerinden daha yüksektir. Yeraltı suyunda ortalama ^{222}Rn içeriğinin yer aldığı her çalışma da, granitler daima en yüksek değere sahiptir. Granitlerle etkileşime giren sularda, ortalama seviye genellikle 10^5 $Bq \cdot m^{-3}$ veya daha fazladır. Bireysel ev kuyularındaki derişimler sıklıkla $3{,}7 \cdot 10^6$ $Bq \cdot m^{-3}$ kadar yüksek olabilir (Cothern ve Smith, 1987).

Başkalaşmış kaya akiferlerinde yeraltı suyunda ^{222}Rn seviyeleri geniş dağılım aralığına sahiptir. Maine'de 2000'den fazla kuyuda yapılan detaylı çalışmada, kaya akiferlerinde başkalaşma derecesi ve ^{222}Rn arasında ilişki olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, yüksek derecede başkalaşmış bölgeler, uranyum mineralizasyonu ile ilişkili pegmatitlerin gelişiminin sonucu olarak daha yüksek bireysel ^{222}Rn seviyelerine sahiptir. Kayanın orijinal bileşeni başkalaşma derecesinden daha önemlidir (Cothern ve Smith, 1987).

Başkalaşmış kaya akiferlerinde ^{222}Rn seviyeleri akiferin dağılımı, yeraltı suyu şekli ve uranyum içeriğinin bir fonksiyonudur. Uranyum içeriği özellikle kısmi erimenin meydana geldiği tabakalarda geniş çapta değişebilir. Ayrıca, kaya içindeki uranyumun dağılımı çok önemlidir. Kristal kayalarda yeraltı suyu akışı çatlaklar boyuncadır. Uranyum mineralizasyonu, sıklıkla aynı çatlaklar boyunca meydana gelir (Cothern ve Smith, 1987).

Uranyum mineralizasyonu olmayan başkalaşmış kaya akiferlerinde, ^{222}Rn seviyeleri başkalaşma derecesinin değil bölgesel kaya tipinin uranyum içeriğinin bir fonksiyonu olacaktır. Bununla birlikte, genelde kristal kaya akiferleri benzer bileşenlerden oluşan kristal olmayan kaya akiferlerinden daha yüksek ^{222}Rn seviyesine sahiptir (Cothern ve Smith, 1987).

2.3.2. Tortul Zeminden Oluşan Yeraltı Su Tabakalarında ^{222}Rn

Tortul su katmanlarının iki ana kategorisi vardır. Bunlar;

1. Kum ve kumtaşları
2. Karbonat (kireç taşı ve beyaz mermer (dolomit)) kayaçlardır.

Mineral bileşeni; saf kuartz kumundan, sıkışmış granite kadar değişen geniş bir çeşitlilik gösterir. Çoğunlukla saf kuartzdan oluşan su katmanları, sedimentlerden oluşur. Bu tür sedimentler çok düşük uranyum miktarına ve yeraltı suyunda düşük ^{222}Rn miktarına sahiptir. Yeraltı suyunda, yüksek ^{222}Rn potansiyeline sahip olan birkaç tortul çeşidi vardır. Bunlardan biri, granitlerin fiziksel aşınmasından oluşan feldispat olarak bilinen, minerallerin büyük bir kısmını içeren sedimentler olan arkozlardır. Bunlar ilk kategoriye giren sedimentlerdir. Bu sedimentlerdeki derişim değerlerinin, Amerika'nın farklı bölgelerinde yapılan araştırmalar neticesinde $17 \cdot 10^3$-$9 \cdot 10^4$ $Bq \cdot m^{-3}$ değerleri arasında değiştiği bulunmuştur (Cothern ve Smith, 1987).

Karbonat akiferlerde, yeraltı suyundaki ^{222}Rn derişimi düşük olacaktır. Dikkate değer bir istisna fosfat yatakları ile ilişkili zenginleşmiş uranyuma sahip fosfat madeni bölgeleridir. Derişimler genelikle 10^4 $Bq \cdot m^{-3}$'den daha azdır.

3. ^{222}Rn TAŞINIM MEKANİZMALARININ FİZİĞİ

^{222}Rn göçünün tahmininde ve anlaşılmasında önemli olan üç tür taşınım vardır:

a) Topraktan por boşluklarına ya gaz ya da sıvı halinde taşınım.
b) ^{222}Rn'nin gaz veya sıvı olarak taşınımı (moleküler difüzyon).
c) Gaz veya sıvı ile ^{222}Rn taşınımı (konveksiyon veya yeraltı suyu akışı).

Topraktan ^{222}Rn taşınımı sızıntı (yayılma) olarak bilinen bir süreçtir ve yayılma gücü, toprakta ki radyumun bozunması ile oluşan ^{222}Rn atomları sayısının, topraktan kaçan ^{222}Rn atomları sayısına oranı olarak tanımlanır. Bu nicelik; yayılma katsayısı, kaçış oranı ve yüzde yayılma olarak bilinir. Bir maddenin yayılma katsayısı yüksek ^{222}Rn derişimlerinin tahmininde çok önemli bir faktördür (Cothern ve Smith, 1987).

3.1. Topraklarda Taşınım Mekanizması

^{222}Rn radyoaktif bozunum serisinin bir kısmı olduğundan dolayı, ^{222}Rn'nin alfa geri tepmesi olarak isimlendirilen topraklardan boşluklar içine transfer olan eşsiz bir taşınım süreci vardır. Alfa yayılımı ile radyoçekirdeğin bozunum süresince, bir silahtan kurşun atışına benzer olarak aşırı enerjinin iletilmesi gibi alfa parçacığı çekirdekten fırlatılır. Yeni üretilen ürün çekirdek kimyasal bağ enerjisinin 10^4-10^5 katı enerji ile ters yönde tekrar saçılır (geri teper). Geri tepen atom mineral taneciği içinde hareket edebilir; geri tepen ^{222}Rn atomu 20-70 nm tipik bir menzile sahiptir. Alfa geri tepmesi kimyasal bağları kırabilmesinden dolayı önemlidir. Fiziksel olarak geri tepen atom toprakta farklı pozisyonlara hareket eder ve kristal yapıya zarar verir. Ürün iyon ana çekirdekten farklı kimyasal özelliklere sahiptir (Cothern ve Smith, 1987).

Boşluklarda ^{222}Rn atomlarının geri tepmesi, yayılım katsayısının doğrudan geri tepme kesri (direct-recoil fraction) olarak isimlendirilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli kısım su, atomların hareketini havadan daha fazla yavaşlattığından dolayı boşluklardaki sıvının varlığı doğrudan geri tepme oranını arttırır. Geri tepme menzili R, topraktan ne kadar ^{222}Rn'nin kaçtığını belirlemede önemli bir faktördür. Geri tepme menzilinden daha büyük olan tanecikler için görülmektedir ki, birkaç geri saçılmış atom doğrudan geri saçılma ile kaçabilmektedir. Böylece geri saçılma oranı tanecik boyutuyla ilişkilidir.

^{222}Rn taşınımının diğer bir süreci, ^{222}Rn atomunun ortamın gözeneğini dolduran akışkana göre hareket ettiği difüzyon olayıdır. ^{222}Rn standart difüzyon yasasına uyar. Böylece akı, derişim gradyenti ile orantılıdır. Kristal katılarda, ^{222}Rn için difüzyon katsayısı oldukça düşüktür ve ^{222}Rn kristal boyutuna bakılmadan herhangi bir mesafeye taşınmadan önce bozunacaktır. Boşluktaki suyun varlığı ^{222}Rn göçünü azaltır. Çünkü suda ^{222}Rn için difüzyon katsayısı havadakinden yaklaşık 3 kat daha küçüktür (Cothern ve Smith, 1987).

Toprakta ^{222}Rn'nin moleküler difüzyon ile taşınımı kısa yarı ömründen dolayı sınırlıdır. Difüzyon menzili ile göç; çakılda yaklaşık 5 m, doymuş çamur veya kilde yaklaşık 2 cm'dir. ^{222}Rn'nin büyük miktarlarının salınımına katkıda bireysel taneciklerin gözenekliliğin önemi büyüktür ve birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Yayılma katsayıları birkaç milimetre boyutunda kuru tanecikler için ölçülmüş ve toz örnekler için benzer olduğu bulunmuştur. Böylece ^{222}Rn'nin önemli kısmının yalnızca dış yüzeyden değil aynı zamanda tanecikler içinden alfa geri tepmesi ile de meydana geldiği görülmüştür. Çünkü tanecikler büyük yüzey alanları ile birçok boşluğa sahiptir. ^{222}Rn, iç boşlukların içinde ki bu boşlukların duvarının dışına geri tepilir ve daha sonra taneler arası boşlukların dışına yayılırlar. Bu iç boşluklar yaklaşık 10-20 nm genişliğinde olduğu tahmin edilen açıklıklar olduğundan "nanopor (nano boşluklar)" olarak adlandırılır. Bu sonuçları doğrulayan en inandırıcı değişkenlerden biri, kuru örnekler için hem ^{220}Rn hem de ^{222}Rn sızıntısının ana izotoplarından üretim oranları ile orantılı olmasıdır. Bu durum her iki izotopun nano boşluklar içinde geri saçılma ile üretildiğini gösterir, ama yaş örneklerde; yalnızca ^{222}Rn yayılımı algılanır. Eğer difüzyon bir katıda taşınımı yöneten bir faktör ise, ^{220}Rn'nin ^{222}Rn'ye yayılım oranı yaklaşık 1:80 dir ki bu onların yarı ömürlerinin oranıdır. Bunun yerine, geri saçılma baskın mekanizmadır (Cothern ve Smith, 1987).

^{222}Rn, taneler arası boşluklar içindeki nano boşlukların dışına yayılır. Islak örneklerde, suda ^{222}Rn için yayılma oranı daha yavaş olduğundan dolayı nano boşluklara kaçmadan önce bozunur. ^{220}Rn, 55 sn yarı ömre sahip olmasına rağmen, kuru örneklerde her iki izotopun da difüzyonu eşittir (Cothern ve Smith, 1987).

Yüksek uranyum ve toryum içerikleri ile tek kristallin çeşitli boyutları üzerinde yürütülen deneyler neticesinde, apatit, monazit ve uranitin (uranyum cevheri) tek kristalleri için ^{222}Rn'nin yayılım katsayısının %0,5-20 arasında değiştiği görülmüştür. Bu kristallerin radyum içeriği homojendir ve bu yüzden yüzey üzerinde hâlâ radyumca daha zengin olan herhangi bir yüzey tabakasının olma ihtimali vardır. Yüzey alanı geri saçılmasından

yayılım katsayısı %1'den daha küçük olabilir, böylece bu kristallerin yüzeyle bağlantılı olan yaygın nano boşluk ağlarını içerdiği sonucuna varılmıştır (Cothern ve Smith, 1987).

Düşük yayılım katsayılarına sahip olan tek kristaller zirkon taşlarıdır. Zirkon taşları mineral yapılarında su içerir. Bu durum doğrudan geri saçılma oranını arttırmanın aksine kuru deneyler süresince diğer mineraller ile ilgili nano boşlukların dışına ^{222}Rn'nin yayılımını yavaşlatır (Cothern ve Smith, 1987; Durrani ve Ilić, 1997).

Bir gaz olarak ^{222}Rn, gaz halde olmayan izotopların aksine nano boşlukların dışına göç edebilir ve yüzey üzerinde anında absorplanabilir. ^{220}Rn kısa yarı ömründen dolayı nano boşlukların dışına yayılamaz. Böylece ^{222}Rn'nin büyük miktarı tane içi boşluklara girebilir, özellikle taneler arası boşluk hacmi nispeten düşük olduğu zaman (örneğin; kristal kaya su katmaları gibi) yüksek ^{222}Rn derişimlerine neden olur (Nazaroff, 1972; Cothern ve Smith, 1987).

Toprağın radyum içeriği homojen olmadığı zaman ^{222}Rn yayılım katsayıları beklenenden daha yüksek olabilir. ^{238}U, ^{230}Th, ^{226}Ra ve ^{210}Pb'nun derişimleri 10 μm altındaki tanecik boyutunun azalması ile artar. Yüzey soğurumu bu zenginleşme de önemli bir rol oynar ve toprak parçacığının gramı başına yüzey alanı, parçacık boyutundaki azalma ile artar. Hesaplanan ^{222}Rn yayılım oranları 0,04'den 0,29 $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$'e kadar azalan tanecik boyutu ile artar. Böylece benzer radyum içeriğine sahip iki toprak, toprağın tanecik-boyut dağılımı ve radyumun jeokimyasal dağılımına bağlı olarak boşluklarda önemli miktarda farklı ^{222}Rn derişimleri içerebilir (Gesel, 1983; Cothern ve Smith, 1987).

Daha öncede bahsedildiği gibi nem, topraktan ^{222}Rn yayılım oranını hem pozitif hem de negatif olarak etkileyebilir. Tanecikler arasındaki boşluklardaki nem, suda daha kısa geri saçılma mesafesinden dolayı, hava ile dolu boşluklara nispeten doğrudan saçılma miktarını arttırabilir. Yaklaşık 0,1 μm kalınlığındaki bir film, boşlukta geri saçılmış atomu durdurmak için yeterlidir. Eğer toprakta bir nem içeriği gradyenti varsa, su molekülleri üzerinde ^{222}Rn'nin aktif taşınımı meydana gelebilir. Bununla birlikte, eğer tanecikler içindeki iç boşluklar su ile doluysa, tanecikler içinden ^{222}Rn yayılım oranı azalır. Suda ^{222}Rn yayılımı havadakinin yaklaşık 10^{-3} katıdır (Nazaroff, 1972). Boşlukların tane içlerinde ki suda, ^{222}Rn yayılımını ayrıca azaltır. Rama ve Moore (1984) yaptıkları çalışmada topraktan ^{222}Rn taşınımında nano boşlukların rolünü ve varlık kuramını desteklemek için kuru örneklere karşı yaş örneklerde ^{222}Rn yayılımındaki azalmayı gözlemlemiştir. Belli bir seviye üzerindeki toprak nemi, alfa geri saçılma miktarı artışı ile ^{222}Rn çıkış oranını %50-250 arasında arttırabilir. Bazı nem içeriği baskın yayılımı azaltır.

Aynı eğilimler killi şist, toprak ve betonda da gözlemlenmiştir (Cothern ve Smith, 1987; Durrani ve Ilić, 1997).

3.2. Yeraltı Suyu ile Taşınım

^{222}Rn'nin kimyasal hareketsizliğinden dolayı, yeraltı suyu sistemlerinde taşınımı yeraltı suyunun akışı ve yalnızca moleküler difüzyon ile kontrol edilir. Suda 10^{-5} $cm^2 \cdot s^{-1}$ difüzyon katsayısı ile difüzyon, yaklaşık 10^{-2} m ölçeklerde önemli bir taşınım mekanizmasıdır. Daha önceki bölümde tartışıldığı gibi, difüzyon ^{222}Rn'nin tanecikteki mikro kristal çatlaklardan su taşıyan katmanın (akifer) boşlukları içine taşınımında önemli bir süreçtir. Yeraltı suyu akışı ^{222}Rn'nin su taşıyan katmanlarda taşınımı için baskın bir mekanizmadır. Yeraltı suyunda ^{222}Rn'nin taşınım uzunluğunda önemli faktör kendi yarı ömrüdür. 30 günde, yeraltı suyunda ^{222}Rn içeriği kendi orijinal aktivitesinin %1'den daha az olacaktır. ^{222}Rn organik sıvı fazlarda (gaz ve su fazı ile kıyaslandığı zaman) daha fazla çözünür, bu yüzden ^{222}Rn taşınımı, organik kirleticiler tarafından etkilenir (Cothern ve Smith, 1987).

3.3. Atmosferde ^{222}Rn Taşınımı

Atmosferde ^{222}Rn derişimi seyreltme faktörü ve kaynak uzunluğu tarafından yönetilir. Bu iki durum da meteorolojik şartlardan oldukça etkilenir. Atmosferik ^{222}Rn'nin en büyük kaynağı toprak yüzeyinden olan salınımlar iken, ikincil katkılar okyanuslar, jeotermal akışlar, volkanik gazlar, maden ve mağara havalandırmalarından salınımlar ve kömürün yanması ile meydana gelen salınımlardır. Atmosferde ^{222}Rn'nin başlıca taşınım mekanizması bozunum iken, ürün çekirdeklerinin taşınım mekanizması parçacıklar tarafından soğurulma ve yağışla yeryüzüne inme gibi diğer süreçlerdir (Cothern ve Smith, 1987; Hayashi vd., 2015).

Atmosferik ^{222}Rn taşınımı ve kaynakları üzerine birçok çalışma vardır. Öncelikle, hava kütlelerinin doğal bir izleyicisi olarak ^{222}Rn kullanımı ile ilgilenilmiştir. Kapsamlı bir gözden geçirme ile atmosferik ^{222}Rn taban seviyesini özetleyen çalışma Gesell (1983) tarafından yürütülmüştür. Atmosferdeki ^{222}Rn seviyelerinin yükseklik, mevsim, gün içindeki zaman ve konum ile değiştiği bulunmuştur (Cothern ve Smith, 1987; King ve Minissale, 1994).

^{222}Rn'nin başlıca kaynağı toprak-hava ara yüzeyi olduğundan, ^{222}Rn derişimlerinde belirgin bir dikey gradyent vardır. ^{222}Rn seviyelerinde sezonsal değişimler hem sürekli hem de aralıklı ölçümler ile dünya genelinde izlenmiştir. Sonuçlar, konuma bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sonuçlar ve farklı ülkelerde yapılan ölçümler neticesinde ^{222}Rn'nin maksimum değerlerinin minimum fırtına geçişinin olduğu sonbahar ve kış başlangıcında meydana geldiği şeklinde bir yaklaşım yapılmıştır. Aksi şartlardan dolayı ilkbaharda minimum ^{222}Rn seviyesi meydana gelmiştir. Bu çalışmalar yüksek dağlık bölgelerin küçük mevsimsel değişimlere sahip olduğunu ve mevsimsel değişimlerin maksimum ve minimum değerler arasında 2-4 katsayısı oranında değiştiğini gösterdi (Cothern ve Smith, 1987; Muramatsu vd., 2002).

^{222}Rn, atmosferik kararlılığın bir fonksiyonu olarak gün içinde önemli derecede değişlikler gösterir. Sabah erken, atmosferik sıcaklık değişimi dikey türbülanslı karışımı sınırlayan aşırı kararlı bir atmosfere neden olur ve nispeten zemin yakınında daha yüksek ^{222}Rn derişimlerine neden olur. Çok geçmeden güneş doğduğu zaman solar radyasyon, zemini ısıtır ve var olan derişim da azalmaya neden olur. Yüzeyin soğuduğu zaman olan öğleden sonraya kadar düşük kalan konsantrasyonlar, atmosferik kararlılıkta artışa ve ^{222}Rn derişiminde uyumlu artışlara neden olur (Philip, 1959). Günlük değişimler 2-5 katsayıları arasında değişmekte olup, ^{222}Rn seviyesi sabah erken saatlerde yüksek ve gün ortasında düşüktür. Gesell (1983) yaptığı çalışmalar neticesinde küçük ölçekli karasal bölgelerde ve buzla kaplı yerleşim yerlerinde düşük değerli ^{222}Rn derişimi ölçümlerinin meydana geldiğini göstermiştir (Cothern ve Smith, 1987).

4. DEPREM-^{222}Rn İLİŞKİSİ

Yerkabuğundaki hareketler hakkında tahmini bilgiler sağlayan birçok jeokimyasal değişken olmakla birlikte, bunlar arasında ^{222}Rn gazı en kullanışlı ve en çok çalışılanıdır. Bunun nedeni; ^{222}Rn'nin asal bir gaz olmasından kaynaklanmaktadır. Depremlerin olası tahmin unsuru olarak ^{222}Rn hareketini inceleyen çalışmalar ilk olarak Rusya, Çin Halk Cumhuriyeti ve Birleşik Devletlerde yapılmıştır (Durrani ve Ilić, 1997). Topraktan yayılan ^{222}Rn ve yeraltı suyundaki ölçümler, depremler gibi yerkabuğu hareketlerinin iyi bir göstergesi olabilmektedir. Çünkü ^{222}Rn asal bir gaz olması nedeniyle kimyasal reaksiyon yapmadığından, sadece böylesi hareketler ile derişimi değişmektedir. Normalde yerkabuğundan atmosfere yayınlanan ^{222}Rn miktarı genellikle azdır, ancak fay hatlarında, jeotermal kaynaklarda, uranyum depozitlerinde, volkanik hareketler sırasında ve depremlerin oluşumu esnasında, öncesinde, sonrasında ölçülen ^{222}Rn miktarlarında anomaliler gözlenmektedir (King, 1978; Khan ve Qureshi, 1994; Ghosh vd., 2009).

Olası deprem işaretlerinin ölçümleri, yüzeyin 1 m altındaki topraktan başlayıp birkaç bin metrelik derin kuyulardaki yeraltı suyu ^{222}Rn derişiminin takip edilmesine dayanabilir. Ölçümler yüksek sismik aktivitedeki alanlarda veya bir fay hattı yakınında, aylık periyotta olabildiği gibi sık sık yıllık periyotlarla da yapılmaktadır. ^{222}Rn seviyelerindeki ilgili değişimler uzun dönemde olabildiği gibi hemen deprem öncesinde de olabilmektedir. Uzun dönem değişimleri kademeli olarak değişirken, kısa dönem değişimleri daha keskin ve ani değişimler şeklinde olmaktadır. Uzun dönem veya ^{222}Rn seviyelerinin birkaç yıllık artışı 1966 Taşkent depremi öncesinde görülmüştür (Durrani ve Ilić, 1997). Bazı kısa dönem anomaliler Japonya ve Çin'de görülmüştür (Yaprak vd., 2003). Bunun yanısıra ^{222}Rn derişimindeki bir anomali birkaç gün içinde veya olay anında görülebilir (Teng, 1980).

^{222}Rn kuru gözenekli toprakta 1 m ve yeraltı suyunda birkaç cm ortalama bir difüzyon uzunluğuna sahiptir ve böylece kısa yarı ömründen dolayı taşınımı sınırlıdır. Bir deprem, ya ^{222}Rn'nin salınım oranını değiştirir ve böylece sığ derinliklerdeki konveksiyon gradyenti değişir ya da boşluk hacmi üzerindeki ekstra basınç, sızıntıyı değiştirebilir. Bu nedenle, mevcut yarı ömrüne göre ulaşabileceği mesafeden daha uzak mesafelerde ^{222}Rn derişiminde değişimler görülebilmektedir.

^{222}Rn seviyesindeki öncü değişimler ile deprem aktivitesi arasındaki ilişki ve mekanizma tam olarak anlaşılamamıştır. Çünkü ^{222}Rn miktarı sismik hareketler sırasında normal seviyenin üstüne çıkabilmekte veya bu değerin altına düşebilmektedir. Bu anomali süresi net bir değişim göstermemektedir. Yani süre çok kısa olabileceği gibi (dakika veya saat mertebesinde), çok uzunda olabilmektedir (yıl mertebesi). Bununla birlikte meydana gelen ^{222}Rn anomalileri ile depremler arasındaki öncü zamanı belirlemek için Sultankhodhaev (1984) ve King (1993) tarafından deprem büyüklüğü (M), merkez üssüne uzaklık (R) ve öncü zaman (T_s) ifadelerini içeren deneysel bir ilişki geliştirilmiştir (Miklavčić vd., 2008). Bu ilişkiye ait matematiksel eşitlik Denklem 4.1'de verildiği gibidir.

$$\log(RT_s) = 0{,}63 + b \tag{4.1}$$

Denklem 4.1'de yer alan b katsayısı deprem öncüsü gazlar için kullanılan bir sabittir ve bir çok çalışmada değeri 0,15 olarak alınmıştır (Planinić vd., 2004; Miklavčić vd., 2008). Bu ifadelerden önce çalışma bölgesinin yarıçapı (R_e) ise Dobrovolsky vd. (1979) tarafından geliştirilen ve Denklem 4.2'de verilen eşitlik ile tespit edilmelidir.

$$R_e = ae^M \tag{4.2}$$

Denklem 4.2'deki a değişkeni çalışma alanının kabuk yapısına bağlı bir sabit olup değeri 1'e eşit veya 1'den büyüktür.

Deprem aktiviteleri ile ^{222}Rn seviyesi ilişkisini incelemede bazı zorluklar oluşmaktadır. Örneğin; yağmur, yeraltı suyu ve zemindeki ^{222}Rn seviyesini değiştirebilir. Basınç ve sıcaklık ^{222}Rn'nin sızıntı seviyelerini etkiler ve böylece mevsimsel bir değişim ortaya çıkabilir. Yerel jeolojik yapı da ^{222}Rn yayılımını etkileyen faktörlerden biridir. Tüm bu olumsuzluklara rağmen ^{222}Rn seviyesindeki anomaliler, bir deprem merkezinden yüzlerce kilometre uzakta bile saptanabilmektedir ve yapılan çalışmalar ^{222}Rn anomalilerinin her zaman değil ama sık sık depremlerle birlikte olduğunu göstermektedir (King, 1980; Durrani ve Ilić, 1997; Ghosh vd., 2009).

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Yarıvariogram (YV)

Yarıvariogram (YV), jeoistatistiğin önemli temel ölçülerinden biridir. Klasik istatiksel yöntemler bireysel örneklerin birbirinden bağımsız olduğunu kabul ederken, jeoistatistik farklı konumlarda ölçümü alınan örneklerin birbiriyle konumsal olarak ilişkili olduğunu kabul eder (Trauth M. H., 2006). Bölgesel değişkenlerin teorisi olarak isimlendirilen jeoistatistik; uzay zamanda bir veya daha fazla değişkenin otokorelasyonunu tanımlamak, gözlem yapılmamış konumlarda tahmin yapmak, tahminin hassaslığı hakkında bilgi vermek ve konumsal değişkenlik ile belirsizliği yeniden üretmek için kullanılır. Bölgesel değişken (BD), bir yerden başka bir yere değişen konumsal bir dağılıma sahiptir. Jeoistatisteki birinci aşama incelenilen doğal olayın konumsal yapısını ve bağlılığını belirlemektir. Konumsal otokorelasyonun yönü, menzili ve şekli jeoistatistikte temel bir araç olan YV ile tanımlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989; Clark, 2001; Davis, 2002). Jeoistatistikteki temel varsayım; bir konum-zaman sürecinin deterministik ve stokastik olmak üzere iki bileşenden oluşmasıdır. Stokastik bileşen tamamen rastgele ve otokorelasyonlu kısımdan oluşur. Bir otokorelasyonlu bileşen birbirine yakın mesafelerdeki gözlemlerin uzak mesafelerdekinden daha benzer olduğunu ifade eder. Bu davranış gözlemler arasındaki yarı kare farkların ayrım mesafelerine karşı çizilen grafik olan YV ile tanımlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989;Trauth M. H., 2006; Şen, 2009).

Bir alan içinde, herhangi bir olaydaki konumsal değişkenlik iki konum arasındaki rölatif değişimin kıyaslanması ile ölçülebilir. Birbirlerinden d mesafesi ile ayrılan farklı iki konumda incelenen değişkene ait ölçüm değerleri C_i ve C_{i+d} olsun. Bu durumda rölatif değişkenlik basit bir biçimde (C_i-C_{i+d}) şeklinde yazılabilir. Burada sonuç negatif veya pozitif işaret alabilir. Eğer bölgesel değişkenliğin ölçüsü bu değerlerin toplamı olarak ifade edilirse, bu durum gerçek durumu yansıtmayacaktır. Bunun nedeni, toplamda pozitif ve negatif değerler birbirini yok edeceğinden toplamın oldukça küçük bir değer almasındandır. Bu nedenle bölgesel değişkenin objektif bir şekilde ölçümünü belirlemek için bu farkların karesinin alınması gerekir (Şen, 2009). Bu durumda rölatif değişim;

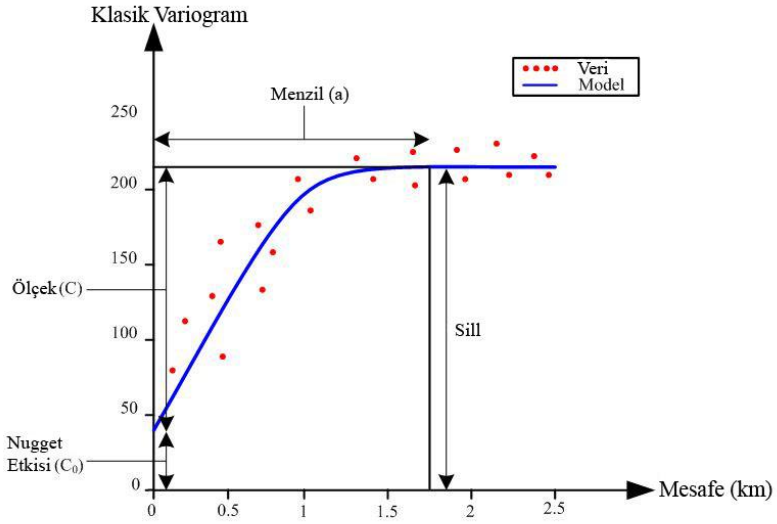
$$V(d) = (C_i - C_{i+d})^2 \tag{5.1}$$

olarak tanımlanır. Denklem 5.1'de verilen *V(d)*, incelenen değişkenin bölgesel değişiminin yapısal fonksiyonu olarak tanımlanır (Şen ve Al-Suba'i, 2001). Konumsal değişkenliğin derecesini ölçmek için varyans ve korelasyon teknikleri literatürde sıklıkla kullanılmasına rağmen, bu metotlar ya verinin normal olmayan dağılımlarından ya da örnekleme konumlarının düzensizliğinden dolayı konumsal bağlılığı düzgün bir şekilde açıklayamazlar. Georges Matheron (1963) tarafından bu eksikleri gidermek için önerilen yarıvariogram (YV) yöntemi, incelenen bir değişkenin bölgesel bağlılığını görselleştirme, yorumlama ve modellemede kullanılan temel jeoistatistiksel bir araçtır ve birçok araştırmacı tarafından (David, 1977; Clark, 1979; Cooley, 1979; Myers vd., 1982; Aboufirassi ve Marino, 1984; Hoeksema ve Kitanidis, 1984; Carr vd., 1985; Journel, 1985) jeoloji, madencilik, hidroloji, deprem tahmini gibi farklı alanlarda uzaysal çeşitliliği karakterize edebilmede kullanılmıştır (Şen, 2009).

YV'ın hesaplama süreci, zaman serisi analizine benzer bir özellik taşımakta ve bölgesel değişkenin durağan olduğunu kabul etmektedir. YV bir bölge içinde düzenli veya düzensiz dağılmış veri setinin sürekliliğini ve konumsal bağlılığını açıklar (Journel, 1985). Deneysel YV'ın matematiksel ifadesi Denklem 5.2'de verildiği gibidir.

$$\gamma(d) = \frac{1}{2N_d}\sum_{i=1}^{N_d}(C_i - C_{i+d})^2 \tag{5.2}$$

Burada, $\gamma(d)$ *d* mesafesindeki YV değeri; N_d eşit aralıklı gözlemlerin toplam sayısı; C_i *i*. yerleşimdeki bölgesel değişkenin değeri, C_{i+d} *i*. konumdan *d* mesafe sonraki bölgesel değişkenin değerini ifade etmektedir. Bu hesaplamalardan sonra deneysel YV'lar en uygun teorik fonksiyonlar ile birleştirilerek YV modeli oluşturulur (Isaaks ve Srivastava, 1989; Clark ve Harper, 2002; Davis, 2002). Temel bir YV modeli ve değişkenleri Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu şekil aynı zamanda Küresel Model olarak da ifade edilmektedir.



Şekil 5.1. Bir klasik variogram grafiği ve değişkenleri

Bu şekilde, nugget etkisi (C_0) incelenen değişkenin bölgesel süreksizliğini ifade eder ve sıfır mesafesindeki YV değeri olarak tanımlanır. C_0'ın büyük olması geniş alanlardaki noktalar arasında ilişkinin az olduğu, küçük mesafelerde ise ilişkinin daha da arttığını ifade eder. Sill; YV değerinin sabitlendiği noktadır ve değeri çoğunlukla incelenen değişkenin varyans değerine eşittir. Sill değerine ulaşılan uzaklık değeri menzil (range) olarak adlandırılır ve bu uzaklık içinde kalan noktaların birbiri üzerinde etkisi varken, bu uzaklığın dışındaki noktaların birbiri üzerine etkisi yoktur (Isaaks and Srivastava, 1989).

YV yöntemi düzensiz dağılmış veri noktalarına da uygulanabilmesine rağmen özellikle düzenli veri noktaları için daha etkilidir. Variogram hesaplaması genel olarak Kuzey-Güney, Doğu-Batı, Kuzeybatı-Güneydoğu ve Kuzeydoğu-Güneybatı olmak üzere dört yönde hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle incelenen değişkenlerin yarıkare farklarının mesafeye karşı grafiği çizilerek bir variogram bulutu oluşturulur. Oluşturulan bu grafikte bölgesel değişkenin dağılımı belirli yönlerde devamlılık gösterip belirli yönlerde göstermiyorsa, yani homojen bir dağılım sergilemiyorsa bu değişkenin yöne bağlı yani anizotropik bir davranış sergilediği, aksi durumda ise izotropik (yönden bağımsız) bir davranış sergilediği söylenir. Bu durumların tespit edilmesi YV'ın doğru bir şekilde hesaplanabilmesi ve uygun modelin (Küresel, Gauss, Üstel, Power, Lineer vs.) belirlenebilmesi için oldukça önemlidir (Yeşilkanat vd., 2015). Eğer incelenen değişken anizotropik bir davranış sergiliyorsa, bu davranışın hangi yön ve hangi açı değerinde

olduğu tespit edildikten sonra konumlar arasındaki mesafe eşit olacak şekilde gruplama yapılarak YV hesaplamasına geçilir (Trauth M. H., 2006). İşte buradaki gruplandırma işlemi, uygulama esnasında veri kaybına neden olabilmekte ve kişiden kişiye değişen bir durum olması nedeniyle de dezavantajlar oluşturabilmektedir.

5.2. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram (UZNTYV)

Fiziksel değişkenler genellikle uzaysal heterojenlik gösterirler (Garcia, 2006). Uzay-zaman modelleri; fizik, çevre ve yer bilimlerinde bir değişkenin bilinmeyen bir bölgedeki tahminini ve sonuç çıkarımını yapmak için temel araçlardır (Xu ve Wikle, 2007). Konum ve zaman üzerinde gelişen olayın istatistiksel modellemesi, bölgesel değişkenin çevresel değişimini izlemek ve zamanla değişiminin belirlenmesini sağlamak için önemlidir (Ma, 2003). Jeoistatistiksel analizde ilk basamak uzaysal bağımlılığı belirlemek ve buna bağlı olarak bölgesel değişkenin etkinliğinin değerlendirilmesini sağlamaktır (Arroyo ve Mateu, 2004). Jeoistatistik, uzaysal (konumsal) örnekleri analiz eden teknikler ve araçlar olarak tanımlanabilir ve ölçüm yapılmamış konumlarda sürekli bir değişkenin zaman içindeki ve konumdaki değişimini tahmin eder. Uzay-zaman tahmini, yeterli kesinlik seviyesi ile ölçülmüş konum-zaman çiftlerinden yararlanarak bilinmeyen değerin tahminini yapar. Prensipte zorluk, geçerli ve gerçek uzay-zaman modelleri bulmak ve onların değişkenlerini tahmin etmektir (Jost vd., 2005).

Değişkenin uzaysal dağılımı, uzaysal durağanlık varsayımı, uzaysal korelasyon veya bağlılığı; kümeleme, rastgelelik, değişmezlik ve uzaysal eğilim gibi dağılımları karakterize edebilen ve belirleyebilen YV teknikleri ile belirlenebilir. Son zamanlarda birkaç uzay-zaman modeli geliştirilmiştir (Cressie ve Huang, 1999; De Cesare vd., 2001; De Iaco vd., 2001; Myers vd, 2002). De Cesare vd. (2002), uzay zaman değişkenlerinin nasıl fit edileceğini ve uzay-zaman variogramını modellemeyi gösterdi. Bu, variogram tahmininin genel bir kullanımıyla yapılabilir. Jeoistatistiksel uzay-zaman metodunun geliştirilmesi ve ilerlemesi, araştırmalar için temel olmasına rağmen (Calder vd., 2002), son zamanlarda literatürde çevresel verilere uygulanan birkaç uygulama vardır. Örneğin, De Iaco ve diğerleri (2001, 2002) hava kirliliği çalışmasında uzay-zaman jeoistatistiğini kullandı. Myers (2002) rastgele bir uzay zaman fonksiyonunun nasıl integre edildiğini bir kirlilik analizi kullanımında gösterdi. Bununla beraber, Külahcı ve Şen (2009a) tarafından geliştirilen, literatürdeki ismiyle "Spatio-Temporal Point Cumulative Semivariogram"

metodu yani Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram (UZNTYV), "radyo çekirdeklerin taşınımı" için geliştirilen bir uzay-zaman modelidir.

UZNTYV modeli, daha önce geliştirilen zaman çeşitliliğinin göz önünde bulundurulmadığı YV, Toplam Yarı Variogram (TYV) ve Noktasal Toplam Yarıvariogram (NTYV) yaklaşımlarına benzerdir. Bu yöntem diğer tüm YV modellerinden farklı olarak zaman değişimini de hesaplamaya katar. Böylece bu yöntem sayesinde istenilen herhangi bir zaman diliminde herhangi bir istasyona bütün istasyonlardan gelen katkının değişimi incelenmiş olur (Külahcı ve Şen, 2009a).

UZNTYV modeli, yarıvariogram yönteminden farklı olarak düzensiz dağılmış noktaları düzenli hâle getirmeyi amaçlamaz. Bu nedenle veriler arasında bir gruplama yapmakta söz konusu değildir. Çalışma bölgesi içindeki tüm verileri kullanarak modelleme yapar. Böylelikle veri kaybı yaşanmaz ve öznellik söz konusu değildir. Bu yöntem bölgesel değişkenin durağan olmadığı durumlarda da kullanılmaktadır (Külahcı ve Şen, 2009a).

Herhangi bir ortamda bir parçacık taşınımının belirlenmesi, parçacığın bölgedeki konsatrasyonunun ve zamanla değişiminin belirlenmesi için önemlidir. Parçacığın taşınım karakteristiğini ve bölgesel hareketliliğini bilmek için *t* zaman sonra parçacığın davranışını bilmek gerekir. Bu yöntem çevrede doğrusal veya doğrusal olmayan bir davranış sergileyen parçacığın zaman içinde farklı konumlarda oluşturacağı etkileri, hesaplama neticesinde elde edilen UZNTYV grafiği ile açıklar (Külahcı ve Şen, 2009a). Bu yöntemin genel ifadesi Denklem 5.3'te verilmiştir.

$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n-1}((C \cdot V \cdot t)_j - (C \cdot V \cdot t)_{j+d})^2 \qquad (5.3)$$

Burada, $\gamma(d_i)$, d_i konumundaki Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram değerini, *n*, istasyon sayısını, $(C \cdot V \cdot t)_j$, *j* konumundaki ilgili radyoçekirdeğin derişim değeri ve taşınım hızı ile zaman değişkenini, $(C \cdot V \cdot t)_{j+d}$, *j* konumundan *d* mesafe sonraki ilgili istasyondaki radyoçekirdeğin derişim, taşınım hızı ve zaman değişkeni değerlerini ifade etmektedir. Buna göre bu model yardımıyla bir parçacığın saat, gün veya daha kısa zaman dilimlerine göre değişimini simüle etmek ve modellemek mümkün olmaktadır (Külahcı ve Şen, 2009a).

Bir UZNTYV grafiğinin elde edilme aşaması aşağıdaki gibidir:

- İlgili konum ve diğer konumlar arasındaki mesafe hesaplanır. Eğer *n* tane konum varsa, fark mesâfelerinin sayısı *n-1* olacaktır, d_j (j=1, 2, …, n-1) .
- Her bir ilgili konum için yarı kare farklar hesaplanır. Böylece *j* konumu ve *j+d* konumundaki yarı kare farkları $0{,}5((C \cdot V \cdot t)_j - (C \cdot V \cdot t)_{j+d})^2$ olacaktır. Bu işlem tüm konumlar için yapılır.
- Ölçülen mesafeler küçükten büyüğe doğru sıralanarak bu mesafelere karşılık gelen yarı kare farkların ardışık toplamı alınır. Yatay eksen mesafe, düşey eksen yarı kare farkların ardışık toplamı olacak şekilde UZNTYV saçılma grafiği çizilir.
- Bu saçılma diyagramına en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir eğrinin uydurulması sonucunda teorik UZNTYV modeli elde edilir.
- *n* tane ölçüm istasyonu için geçmiş adımların hepsi uygulanarak işlem tamamlanır. Yani *n* tane konum varsa *n* tanede UZNTYV grafiği elde edilecektir. Böylece incelenen bölgesel değişkenin zamana bağlı olarak mesâfe ile değişimini gösteren grafik elde edilmiş olur.

Radyoaktif çekirdeğin hem konuma hem de zamana bağlı olarak değişimini gösteren UZNTYV metodunun ilk uygulaması Külahcı ve Şen (2009a) tarafından Keban Baraj Gölü içerisindeki ^{210}Pb radyoaktif izotopu için yapılmıştır. Bu modele bağlı olarak etki yarıçapı haritaları çizimiyle ^{210}Pb izotopunun Keban Baraj Gölü'ndeki uzaysal dağılımının saatlik değişimleri incelenmiştir.

5.3. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bağımlı değişken veya değişkenler ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen bir metottur. Bu değişkenler arasında kurulan matematiksel fonksiyon "regresyon denklemi" adını alır. Kurulan matematik fonksiyonun tipine göre regresyon modeli, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modeli şeklinde ikiye ayrılır (Orhunbilge, 2002; Özdamar, 2010). Regresyon denklemleri aracılığıyla açıklayıcı değişkenler olan bağımsız değişkenlerin aldığı değerlere göre bağımlı değişkenin erişeceği değer tahmin edilir. Kurulacak regresyon denkleminde hangi bağımsız değişkenlerin yer alacağı, yani bağımlı değişkeni en çok etkileyen bağımsız değişkenin ne olduğu, Korelasyon Analizi ile belirlenir. Korelasyon; incelenen değişkenler arasındaki

ilişkinin derecesi hakkında bilgi veren bir katsayıdır. Korelasyon değeri büyük olan bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerinde daha fazla etkisi vardır (Orhunbilge, 2002).

Regresyon analizi, incelenen bağımsız değişken sayısına göre de gruplara ayrılmaktadır. Bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişki inceleniyorsa bu yönteme basit regresyon, bir bağımlı değişken ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki inceleniyorsa bu yönteme de çoklu regresyon yöntemi adı verilmektedir. Bunların dışında en az iki bağımlı değişken ve en az bir bağımsız değişken arasındaki bağıntıyı inceleyen regresyon modelleri de mevcuttur. Bu tür regresyon modelleri de çok değişkenli regresyon yöntemi olarak adlandırılmaktadır (Orhunbilge, 2002). Bahsedilen tüm bu yöntemlerin denklem halinde yazılımı Denklem 5.4-5.7'de verilmiştir.

Basit Doğrusal Model $$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e_{ij} \quad (5.4)$$

Çoklu Doğrusal Model $$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_p X_p + e_{ij} \quad (5.5)$$

Çok Değişkenli Doğrusal Model $$Y_1, Y_2 = f(X_1, X_2, \ldots, X_p) \quad (5.6)$$

Doğrusal Olmayan Basit Regresyon Modeli $$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \ldots + e_{ij} \quad (5.7)$$

Bu denklemlerde *Y*'ler bağımlı değişkenleri, *X*'ler bağımsız değişkenleri, β'lar regresyon katsayılarını ve e_{ij} hata terimini ifade etmektedir.

Regresyon analizine fonksiyonun tipini belirleyebilmek için serpilme diyagramı çizilerek başlanır. Serpilme diyagramı, yatay eksen bağımsız değişken olan *X* değerlerini ve düşey eksen bağımlı değişken *Y* değerini gösterecek şekilde çizilen grafiktir. Elde edilen grafikte gözlem değerlerinin dağılımı bize fonksiyonun türü hakkında bilgi verir. Ayrıca, regresyon analizi çözümü istenilen her probleme uygulanabilecek bir yöntem değildir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için uygulamada kullanılacak verilerin bazı şartları sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

- Çalışmada kullanılacak olan tüm verilerin normal dağılım göstermesi gerekir.
- Tahmin hataları (e_{ij}) tesadüfidir ve normal dağılım gösterirler.
- Hatalar birbirinden bağımsız olmalıdır. Yani hatalar arasında otokorelasyon bulunmamalıdır.

- Her bağımsız değişkenin değerine ait olan bağımlı değişken değerlerinin alt setleri varyansları birbirine eşit olmalıdır (sabit varyans).

Bunun dışında çoklu regresyon yönteminin uygulanabilmesi için bu maddelere ilave olarak başka bir şart daha eklenmektedir. Bu şart, bağımsız değişkenler arasında herhangi bir ilişkinin olmamasıdır. Yani açıklayıcı değişkenler (bağımsız değişkenler) seçilirken, bu değişkenlerin bağımlı değişken ile ilişkisinin yüksek, yani korelasyon katsayılarının 1 veya 1'e yakın olması ancak birbirleri ile aralarındaki ilişkinin düşük yani korelasyon katsayısının 0 veyâ 0'a yakın olması gerekmektedir (Orhunbilge, 2002; Kalaycı, 2005).

5.4. Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram (RUZNTYV)

Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram (RUZNTYV), hem Regresyon hem de Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram yöntemlerinde ki eksiklikleri gidermek, deprem, ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek ve literatüre yeni bir ağırlık metodu önermek için geliştirildi. Bilindiği üzere regresyon yöntemi incelenen bireysel örneklerin birbirinden bağımsız olduğunu kabul etmekte, jeoistatistiksel bir yöntem olan UZNTYV yöntemi ise, farklı konumlarda alınan örneklerin birbiriyle konumsal ilişkili olduğunu kabul etmektedir. Yani regresyon yöntemi incelenen değişkenlerin sadece birbirleri üzerindeki etkisini incelemekteyken, konumsal etkisini göz önüne almamaktadır. UZNTYV yöntemi ise, sadece konumsal ilişkiyi incelemekte, incelenen değişkeni etkileyen tüm değişkenlerin bu mesafenin içinde saklı olduğunu, dolaylı yoldan bunları da açıkladığını kabul etmektedir. Oysaki toprak yapısı, jeolojik özellikler, yağış gibi çevresel değişkenler çok kısa mesafelerde dahi büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu nedenle bu değişkenlerin etkilediği değişkenlerin davranışı incelenirken hem konumsal etkinin hem de bu değişkenlerin birbiri üzerine olan etkisinin dolaylı olarak değil bire bir gözönüne alınması gerekir. RUZNTYV yöntemi bahsedilen tüm bu etkileri gözönüne alır. Bu yöntem UZNTYV yönteminin tüm avantajlarına sahiptir. Yöntemin genel ifadesi Denklem 5.8'de verilmiştir.

$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n-1}((E_m \cdot V \cdot t)_j - (E_m \cdot V \cdot t)_{j+d})^2 \qquad (5.8)$$

Burada, $\gamma(d_i)$, d_i konumundaki Regresif Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram değerini, *n*, istasyon sayısını, $(E_m \cdot V \cdot t)_j$ ifadesinde, E_m, *j.* konumundaki deprem büyüklüğünün ^{222}Rn ve çevresel değişkenler ile ilişkisini ifade eden regresyon denklemini, $V \cdot t$ ise *j.* konumdaki depremin derinliğini ifade etmektedir. $(E_m \cdot V \cdot t)_{j+d}$ ifadesi ise, aynı değişkenlerin *j.* konumundan *d* mesafe sonra ölçülen değerlerini ifade etmektedir.

Bu yönteme ait modelin oluşturulması UZNTYV yönteminde izlenilen adımların aynısıdır. Buradaki tek fark incelenilen değişkenler arasında regresyon denkleminin kurulmasıdır. Dolayısıyla RUZNTYV yöntemi, UZTYV yönteminin sahip olduğu tüm avantajlara sahiptir. Bu yönteme ait ilgili modelin oluşturulması için izlenecek adımlar aşağıdaki gibidir;

- Öncelikle ilgili konum ve diğer konumlarda araştırmada kullanılacak tüm değişkenlerin dağılımları incelenir. Normal dağılım gösteren değişkenler arasında bağımlı ve bağımsız değişkenler tespit edildikten sonra ilgili regresyon denklemi kurulur.
- İlgili konum ve diğer konumlar arasındaki mesafe hesaplanır. Eğer *n* tane konum varsa, fark mesafelerinin sayısı *n-1* olacaktır, d_j (j=1, 2, …, n-1) .
- Ölçülen mesafeler küçükten büyüğe doğru sıralanarak bu mesafelere karşılık gelen $0{,}5((E_m \cdot V \cdot t)_j - (E_m \cdot V \cdot t)_{j+d})^2$ ifadesi hesaplanır ve kümülatif toplamı alınır. Yatay eksene mesafe, düşey eksene ise bulunan bu sonuçlar yerleştirilerek RUZNTYV saçılma grafiği elde edilir.
- Bu saçılma diyagramına en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir eğrinin uydurulması sonucunda teorik RUZNTYV modeli elde edilir. Bu işlemler tüm istasyonlar için tekrarlanır. Yani *n* tane konum varsa *n* tane RUZNTYV grafiği elde edilir.

Önerilen bu model yardımı ile farklı değişkenlerin birbiri üzerine olan etkisi konumsal değişimle birlikte incelenebilmekte ve ilgili bölgedeki karakteristiği çıkarılabilmektedir. Bunun yanısıra incelenen değişkenin farklı ortamlardaki yayılım hızı biliniyorsa zamansal değişimi simüle edilebilmektedir.

Elde edilen her RUZNTYV grafiği, hem incelenen değişkenin bölgesel davranışı hakkında bilgi sağlar hem de çalışma alanı içinde istenilen herhangi bir noktada ki değerini hesaplamaya olanak sağlar. Bunu yaparken ağırlık fonksiyonu değerlerini kullanmaktadır. Ağırlık değerlerini kullanmasındaki amaç; düzensiz dağılmış ölçüm konumlarının birbirlerine ve tahmin konumuna olan etkisinin objektif bir şekilde belirlenmesidir. Bölgesel değişkenin ölçüm konumlarını elde eden bütün noktalar eşit öneme sahip değildir

ve bu ağırlık faktörleri ile açıkça görülür. Bir *P* noktasındaki değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılacak ağırlık fonksiyonuna ait eşitlik Denklem 5.9'da verilmiştir.

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} W(r_{i,p}) C_i}{\sum_{i=1}^{n} W(r_{i,p})} \tag{5.9}$$

Burada, $W(r_{i,p})$; *p* konumu üzerine *i.* istasyonun ağırlık etkisini, C_i; *i* konumunda ölçülen değişken değerini ifade etmektedir. Ağırlık değerleri, ölçüm konumları ve tahmin konumu arasındaki hem mesafe hem de ölçüm değerlerine bağlı olarak değişecek ve bu iki etkinin bir fonksiyonu olacaktır. Burada elde edilecek ağırlık değerleri RUZTYV tekniğine dayanan ağırlık değerleri olacaktır. Buna göre eşitlik 5.9'un RUZTYV denklemi ile düzenlenmesinden sonra bir *P* noktasındaki değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılacak eşitlik Denklem 5.10'daki gibi olacaktır.

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} (a_i + b_i X_i^k + c_i X_i^{k+1}) C_i}{\sum_{i=1}^{n} (a_i + b_i X_i^k + c_i X_i^{k+1})} \tag{5.10}$$

Burada X_i; tahmin konumu ile *i.* konum arasındaki mesafeyi, $(a_i + b_i X_i^{\,k} + c_i X_i^{\,k+1})$; *i.* konum için elde edilen RUZNTYV grafiğine ait denklemi, C_i; *i.* konumdaki ilgili değişkenin ölçüm değerini göstermektedir. C_p; ise ilgili konumdaki tahmin değerini göstermektedir.

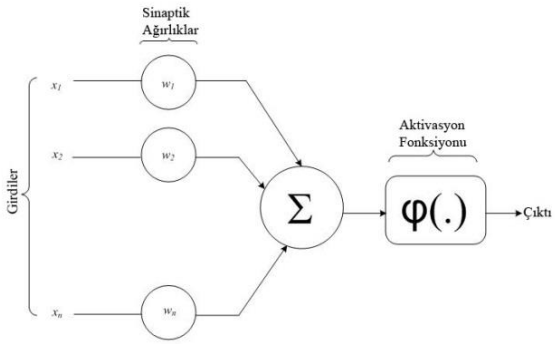
5.5. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen paralel yöntem tekniğidir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek mümkün olmadığından, yapay sinir ağları programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalıdır. Bu yapısı nedeniyle karışık

problem çözümlerinde artan bir şekilde kullanılmaktadır (Zurada, 1992; Fauset,1994). Bu teknik, insan beyninin düşünme, hatırlama, değerlendirme, karar verme, karşılaştırma ve daha önceki tecrübelerden yola çıkarak sonuca ulaşma gibi temel fonksiyonlarının bilgisayar ortamında gerçekleştirilmeye çalışılmasıyla ortaya çıkmıştır. Yani biyolojik sinir sisteminin çalışma mekanizmasını taklit eden ve sonuçlar üreten bir yöntemdir. Yapay sinir ağları, tamamlanmamış verileri saptamak için de iyi bir yöntemdir (Külahcı vd., 2006).

İnsanlar nasıl geçmiş tecrübelerini kullanarak bir olay hakkında yorum yapabiliyor ya da bilgi sahibi olabiliyorsa, YSA'lar da öğrenme işlemini örnekler yardımı ile gerçekleştirmektedir. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturarak daha sonra, benzer konularda benzer kararları verirler. Nasıl ki bir sinir hücresinde nöronlar arasındaki bağlantılar aracılığıyla bilgi aktarımı ve öğrenme işlevi gerçekleşiyorsa, YSA'da da katmanlar arasında yer alan ağırlıklar aracılığıyla aynı işlev yerine getirilmektedir (Elmas, 2003).

Bir YSA genel olarak bir girdi katmanı, bir veya daha fazla saklı katman (ara katman) ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır (Yuhong ve Wenxin, 2009). Her bir katman birbirine ağırlıklar ile bağlıdır. YSA'nın bilgisi bu ağırlıklarda gizlidir. Yapay sinir ağlarının davranışı hem ağırlıklara hem de girdi-çıktı fonksiyonlarına bağlıdır (Tasadduq vd., 2002). En basit haliyle bir yapay hücre modeli Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Bir yapay hücre modeli

Burada *x*; hücrenin giriş vektörünü, *w*; hücrenin ağırlıklar matrisini, φ(.); hücrenin aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Toplama fonksiyonu, sinir hücresinin girdilerinin doğrusal kombinasyonunu gerçekleştirir ve bu iki vektörün sayısal toplamı net girdiyi verir (Fernandez vd., 2006). Bilgiler ağa girdi katmanından iletilir. Ara katmanlarda işlenerek

oradan çıktı katmanına gönderilirler. Bilgi işlemeden kasıt ağa gelen bilgilerin ağın ağırlık değerleri kullanılarak çıktıya dönüştürülmesidir. Ağın girdiler için doğru çıktıları üretebilmesi için ağırlıkların doğru değerlerinin olması gerekmektedir. Doğru ağırlıkların bulunması işlemine ağın eğitilmesi denmektedir (Faussett, 1994). Yapay sinir ağlarını eğitmede en yaygın kullanılan yöntem Lavenberg-Marguart (LM) metodudur. Bu çalışmada bu yönteme ilaveten Momentumlu Geri Yayılım Öğrenme Algoritması ve Vogl Öğrenme Algoritmaları da kullanılarak YSA modelleri oluşturuldu ve daha önceden modele koyulmamış test verileri ile test edildi. Bu test verileri hem önerilen YSA modellerinin doğru çalışıp çalışmadığını hem de literatüre önerdiğimiz RUZNTYV metodunu test etmek için kullanıldı. Bu nedenle öğrenme algoritmalarından bahsederken yalnızca bu yöntem detaylı olarak anlatılacak diğer yöntemlerin adlarına değinilecektir.

5.5.1. Yapay Sinir Ağının Elemanları

5.5.1.1. Girdiler

Giriş katmanındaki hücreler için, kullanıcı tarafından örnekler ile oluşturulmuş veri kümesidir. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgiler olabilir. Veri girişleri ağırlıklar ile çarpılarak toplama fonksiyonuna uygulanır (Kröse ve Smagt, 1996).

5.5.1.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar, yapay hücreye iletilen girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Yapay sinir ağlarında bilgi, bağlantıların sahip olduğu ağırlık değerlerinde saklanır. Ağırlık değerleri bütün ağa yayılmış olduğundan, ağ belleği dağıtık hafızalıdır. Olay tüm ağ tarafından karakterize edilir, bu yüzden tek bir ağırlık değeri bir anlam ifade etmez (Zurada, 1992; Haykin, 1999; Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağlarının birçoğunda, eğitim aşaması ağırlık değerlerinin bulunması için kullanılır. Ağırlıklar sistemin çıkışları ile giriş eğitim değerlerine dayalı doğru çıkış değerlerine yakınsayana kadar sürekli değişir. Sadece eğitim aşamasında değişirler. Eğitim süreci tamamlandıktan sonra, genellikle hepsinin değerleri farklı olacak şekilde ağırlıklar

sabit kalmaktır. Çoğu zaman ağırlıkların başlangıç değerleri rasgele seçilmektedir (Vas, 1999). Oluşturulan bir sinir ağı modelinde hedef, problemi çözebilmek için en iyi ağırlık değerlerini bulmaktır (Fauset,1994; Şen, 2004; Fernandez vd., 2006).

5.5.1.3. Birleştirme (Toplama) Fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Bu amaç ile değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En fazla tercih edilen ağırlıklı toplam fonksiyonudur. Bu fonksiyonda her giriş kendi ağırlığı ile çarpılır ve bu değerler toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur. Bunun dışında çarpım fonksiyonu, minimum ya da maksimum değeri veren fonksiyon türleri de kullanılmaktadır (Fauset,1994; Haykin, 1999).

5.5.1.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Her bir katmanda bulunan nöronların, kendilerine gelen girdilere hangi dönüşümü uygulayacağına karar verdiği fonksiyonlardır. Saklı katmanlar için doğrusal olmayan, çıkış katmanı için ise, genellikle doğrusal fonksiyonlar tercih edilmektedir. Bu kombinasyon, model veri seti sınırları dışında test edilse dahi başarılı bir performans sergilemektedir (Maier ve Dandy, 2000).

5.5.1.5. Çıktılar

Çıktılar, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değerdir. Üretilen çıktı, başka bir hücreye ya da dış dünyaya gönderilebilir. Geri besleme olması durumunda, hücre kendi üzerinde geri besleme yaparak, kendi çıktı değerini, giriş olarak kullanabilir. Bununla birlikte, geri besleme başka bir hücreye de yapılabilir (Fauset,1994; Fernandez vd., 2006).

5.5.2. Yapay Sinir Ağının Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

YSA'nın eğitimi için birçok değişik optimizasyon yöntemi bulunmakla birlikte optimum sonucu garanti eden genel bir algoritma bulunmamaktadır. Yapay sinir ağlarında bilinen ve

yaygın olarak kullanılan belli başlı öğrenme algoritmaları aşağıda yer almaktadır (Haykin, 1999; Öztemel, 2003; Fernandez vd., 2006):

- Geri Yayılım Öğrenme Algoritması,
- Hebb Öğrenme Kuralı,
- Hopfield Öğrenme Kuralı,
- Kohonen Öğrenme Kuralı,
- Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması
- Momentumlu Geri Yayılım Öğrenme Algoritması
- Vogl Öğrenme Algoritması

Bu çalışmada kullanılan öğrenme algoritmalarına ait detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

5.5.2.1. Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması

Levenberg-Marquardt (LM) Öğrenme Algoritması son yıllarda kullanılan en popüler ve diğer algoritmalara alternatif olarak geliştirilmiş algoritmalardandır. LM algoritması, Newton metodunun hızıyla, eğim düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir. Bu yöntem minimize problemlerine en uygun çözümü bulmak için klasik Newton algoritmasının değiştirilmiş şeklidir. LM ağı öğrenme süresini azalttığından ve ayrıca araştırma oranını artırdığından daha yaygın biçimde kullanılmaktadır (Yuhong and Wenxin, 2009).

Newton yöntemlerinde en uygun yön vektörleri, amaç ölçütünün değişkenlere göre ikinci türevinden yararlanılarak bulunur. Eğer başlangıç değişkenleri (θ_0), minumuma yakın ise amaç ölçütü yaklaşık olarak aşağıdaki gibi quadratik formda yazılabilir.

$$E(\theta+\alpha d) = E(\theta) + g^T(\theta-\theta_0) + \frac{1}{2}(\theta-\theta_0)^T H(\theta-\theta_0) \qquad (5.11)$$

Denklem 5.11, *E(θ)*'nın (θ_0) civarında Taylor serisi açılımıdır ve değişkenler farkı gittikçe küçüleceği için yüksek dereceli terimler ihmal edilmiştir. Burada H-Hessian matrisi olarak söylenir ve performans fonksiyonunun ağırlıklara göre ikinci dereceden türevlerinden oluşan bir matristir.

$$H = \frac{\partial^2 E}{\partial \theta^2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 E}{\partial^2 \theta_1} & \frac{\partial^2 E}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial^2 E}{\partial \theta_1 \partial \theta_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial^2 E}{\partial \theta_n \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 E}{\partial \theta_n \partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial^2 E}{\partial^2 \theta_n} \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

Denklem 5.12, (θ)'nın quadratik bir fonksiyonu olduğundan bu fonksiyonun değişkenlere göre türevi alınır sıfıra eşitlenirse optimum değişkenler Denklem 5.13'deki gibi bulunur.

$$0 = g + H(\theta - \theta_0) \Rightarrow \theta = \theta_0 - H^{-1} g \tag{5.13}$$

Hessian matrisi hesaplandıktan sonra, tersi bulunarak ağırlıklar yenilenebilir. Burada $H^{-1}g$, Newton yönü olarak söylenir. Kısaca genel gradyan yöntemi ifadesinde G= H^{-1}'e karşılık gelmiş olur.

Eğer H pozitif tanımlı ve $E(\theta)$ quadratik ise bir adımda optimum değişkenler bulunur ve minumuma varılır. Aksi halde iteratif olarak optimum değişkenler elde edilir. H-matrisi pozitif tanımlı olsa bile standart Newton yöntemindeki α=1 olarak alınan öğrenme oranı, çok yüksek olabilir. Bu nedenle, çeşitli öğrenme oranı adaptasyon kuralları geliştirilebilir ve aşağıda basit olarak her eğitim iterasyonunda öğrenme oranının değiştirildiği bir adaptasyon algoritması verilmiştir.

$$\alpha_{k+1} = \frac{1}{2}\alpha_k \ , \ \alpha_0 = 1 \tag{5.14}$$

Eğer H pozitif tanımlı değil ise, Newton yönü bir local minumuma noktasına doğru gidilebilir. Hessian matrisine pozitif tanımlı bir matris ekleyerek pozitif tanımlı hale getirilebilir. Buna göre, λ-pozitif bir sabit olmak üzere λI matrisi eklenirse Levenberg-Marquardt (LM) algoritması Denklem 5.15'deki gibi elde edilir.

$$\theta = \theta_0 - \alpha(H + \lambda I)^{-1} g \tag{5.15}$$

Hessian matrisi çok karmaşık ve ileri beslemeli YSA için hesaplanması zor bir matristir. Newton yöntemlerinin içinde, ikinci dereceden türevlerin hesaplanmadan işlem yapılan bir sınıf vardır. Bu sınıftaki yöntemler, Quasi-Newton yöntemleri olarak adlandırılırlar. Quasi–Newton yöntemleri, algoritmanın her iterasyonunda, Hessian matrisinin yaklaşık bir şeklini kullanır. LM de, Quasi–Newton yöntemleri gibi, Hessian matrisinin yaklaşık değerini kullanır. LM için Hessian matrisinin yaklaşık değeri Denklem 5.16 yardımıyla bulunur.

$$H \cong J^T J + \mu I \tag{5.16}$$

Burada, μ Marquardt değişkeni, I birim matris, J jakobiyen matrisini göstermektedir. μ Marquardt değişkeni skaler bir sayıdır. Eğer μ sıfırsa, bu yöntem yaklaşık Hessian matrisini kullanan Newton algoritması; eğer μ büyük bir sayı ise, küçük adımlı gradyan azalması yöntemi haline gelir. Her iterasyonda MSE azaldığı için, Newton yöntemlerinde en küçük hataya daha hızlı ulaşılır. Denklem 5.17'de yer alan J Jakobiyen matrisi, ağ hatalarının ağırlıklara göre birinci dereceden türevlerinden oluşur ve normal geri yayılımdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{\partial e(k)}{\partial \theta_j(k)} = \frac{\partial e(k)}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial v_2(k)} \cdot \frac{\partial v_2(k)}{\partial \theta_j(k)} \tag{5.17}$$

Jakobien matrisi, hesaplamada Hessian matrisinden daha kolay olduğu için tercih edilir. Ağın gradyanı aşağıda verilen şekilde hesaplanır.

$$g = J^T \cdot e \tag{5.18}$$

Burada, e ağ hatalarının vektörüdür. Bu metot ile performans fonksiyonu algoritmanın her iterasyonunda azalan bir eğim gösterecektir ve J matrisi Hessian matrisi yerine kullanılır. Buradan algoritma da ağırlıklar Denklem 5. 19'a göre değiştirilir,

$$\theta(k+1) = \theta(k) - (J^T J + \mu I)^{-1} \cdot J^T e \tag{5.19}$$

Haykin (1994), her başarılı adımda yani performans fonksiyonunun azaltılmasında μ değeri azalırken, hataların karelerinin toplamının arttığı adımlarda μ değerinin artırıldığını belirtmiştir. Bu yöntemde μ değişkeni hesaplama süresince otomatik olarak güncellenmekte ve böylece yavaş yakınsama probleminden etkilenmediği için hızlı bir yaklaşım elde edilmektedir. Yaklaşım oranının hızlanması ile eğitim kısa sürmektedir. Ancak fazla işlem yapmakta ve sonucunda çok fazla hafıza kullanmayı gerektirmektedir. Bolat ve Kalenderli (2003), genel olarak LM'nın yavaş yakınsama probleminden etkilenmediğini ifade etmişlerdir. Burada hedef, performans fonksiyonunu en küçük yapacak ağırlık değerini bulmaktadır.

5.5.2.2. Momentumlu Geri Yayılım Öğrenme Algoritması

Öğrenme oranı küçük seçilirse, bağlantı ağırlıklarında ve hata değerindeki değişim az miktarda olacağından gerçek çözüme ulaşılmak için adım sayısını arttırmak gerekecektir dolayısıyla çözüme ulaşmak uzun zaman alacaktır (öğrenme yavaşlayacaktır), öğrenme oranının büyük seçilmesi durumunda ise, bağlantı ağırlıklarındaki ani ve hızlı değişimler çözüme kolaylıkla yaklaşabilme imkânı verebilmesine karşın çözüm etrafındaki ani sıçramalar ile çözüme ulaşılmasını engelleyecektir (Şen, 2004). Bu sakıncaların etkisi, geri yayılım algoritmasında ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını belirleyen denklemlere momentum (β) terimi eklenerek azaltılabilir. Momentum katsayısı ağırlıklarda mümkün titreşimleri kontrol etmek için kullanılır, hata sinyallerini ardışık olarak belirtmeye sebep olur (Hosein, 2001).

$$\Delta\theta_j(s) = \alpha\delta_2(s)o_j(s) + \beta\Delta\theta_j(s-1) \tag{5.20}$$

$$\Delta w_{ji}(s) = \alpha\delta_1(s)x_i(s) + \beta\Delta w_{ji}(s-1) \tag{5.21}$$

Momentum katsayısı $0< \beta <1$ arasında seçilir. Amaç ölçütünün ağırlığa göre eğimi, ardışık iki iterasyonda aynı işaretli ise, ağırlıklara uygulanacak düzeltme artar, aksi halde azalır. Denklem (5.20) ve (5.21)'de görüldüğü gibi, momentum katsayısı ile YSA'nın öğrenme oranında belirli bir hızlanma elde edilebilir (Zurada, 1992; Fauset,1994).

5.5.2.3. Vogl Öğrenme Algoritması

Toplu öğrenme algoritması ile uygulanabilen Vogl kuralı, ağırlıkları yenileme iterasyonunda amaç ölçütünün değişimine göre öğrenme oranının ve momentum katsayısının uyarlanmasını içerir. Ağırlıkları yenileme iterasyonu ‘s’ ile gösterilirse Vogl kuralı aşağıdaki gibi tanımlanır.

1) $J(s+1) < J(s)$	ise	$\alpha(s+1) = 1{,}05\alpha(s)$,	$\beta(s+1) = \beta(s)$
2) $1{,}05\,J(s) > J(s+1) \geq J(s)$	ise	$\alpha(s+1) = \alpha(s)$,	$\beta(s+1) = 0$
3) $J(s+1) > 1{,}05\,J(s)$	ise	$\alpha(s+1) = 0{,}7\alpha(s)$,	$\beta(s+1) = 0$

Ayrıca 3.durumda bütün değerler önceki değerlerine geri alınmalıdır. Yani;

$$w(s+1) = w(s), \quad J(s+1) = J(s), \quad \partial Jw(s+1) = \partial Jw(s) \tag{5.22}$$

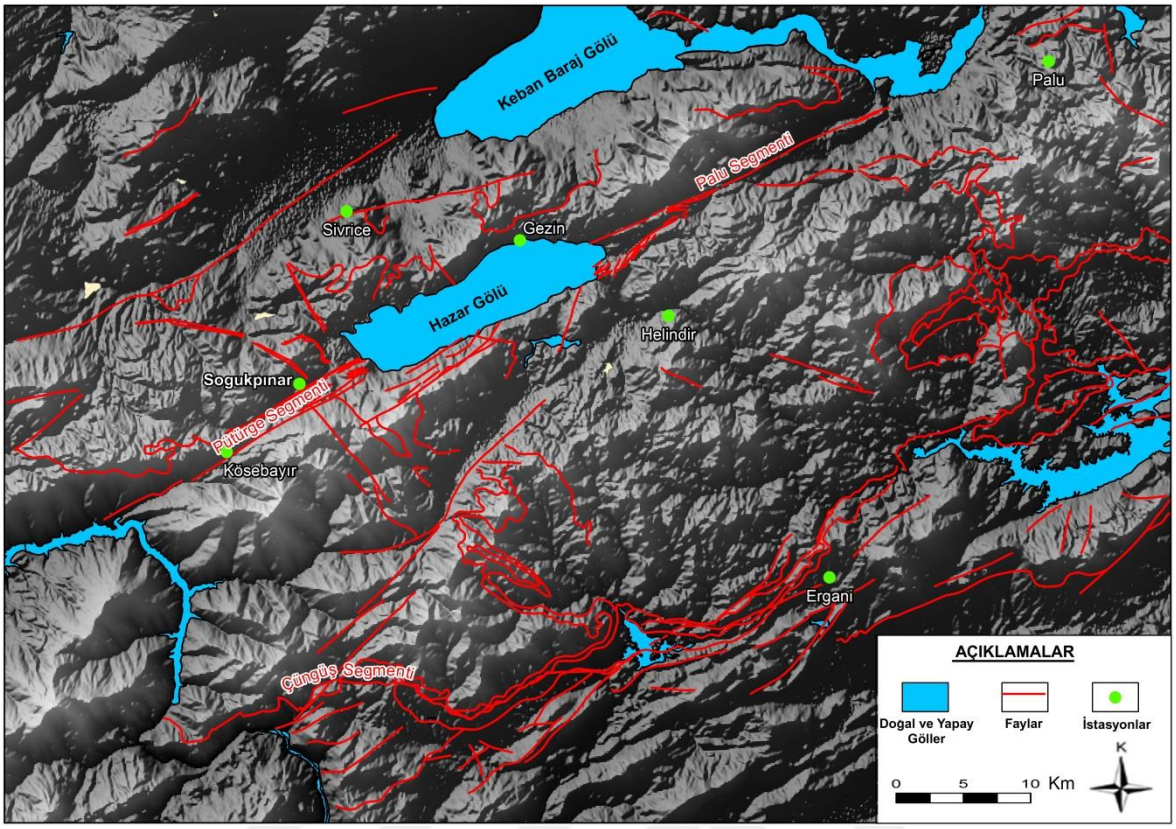
Vogl kuralında momentum katsayısı (β) sabit tutulabilir. İkinci aşama küçük salınımlara neden olacağından en azdan kurtulmayı sağlayabilir. Bu kuralda hatanın en azına küçük salınımlarla yaklaşılmakla birlikte öğrenme oranı yaklaşık en iyi sınırlarda tutulacağından YSA’nın eğitimi hızlanır (Zurada, 1992; Fernandez vd., 2006).

6. ÇALIŞMA BÖLGESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

6.1. Doğu Anadolu Fayı

Sol yönlü doğrultu atımlı kıta içi bir transform fayı olan Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), kuzey ucunda Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile yaptığı Karlıova üçlü birleşmesinden başlar. Antakya yöresindeki güney ucunda ise Ölü Deniz fay sistemine bağlanır. DAFS Karlıova-Antakya arasında KD-GB genel uzanımda ülkeyi kat eder. Bu transform fay sistemi Karlıova-Antakya arasında 580 km uzunluğundadır. DAFS'nden ayrılan veya birleşen çok sayıda aktif fay mevcuttur. DAF sistemini oluşturan segmentlerden Palu-Hazar Gölü Segmenti Elazığ ve dolaylarını, Hazar Gölü-Sincik Segmenti Malatya ve dolaylarını, Çelikhan-Erkenek Segmenti Adıyaman ve dolaylarını, Gölbaşı-Türkoğlu Segmenti ise Kahramanmaraş ve dolaylarını doğrudan etkileyecek depremleri oluşturma potansiyeli taşımaktadırlar (URL-2).

DAFS Palu'dan itibaren güneybatıya doğru 3 alt zona ayrılmaktadır. Bunlardan kuzeydeki Elazığ-Yeşilyurt Fay Zonu, ortadaki Sivrice Fay Zonu ve güneydeki Adıyaman Fay Zonu olarak adlandırılmaktadır. Sivrice Fay Zonu DAFS'nin en önemli segmentlerinden birisi olup, Sincik (Adıyaman) ile Bingöl arasında yaklaşık 250 km kadar izlenebilmektedir. Sivrice Fay Zonu 2-6 km genişliğinde güneybatıda Yarpuzlu ilçesi ve kuzeydoğuda Palu ilçesi arasında yerleşmiş sol yanal atımlı bir faydır. Bu fay yakın aralıkta, çeşitli boyutlarda (0.2-18 km) birkaç fay segmenti içerir. (Çolak vd., 2012).



Şekil 6.1. Çalışma bölgesi

^{222}Rn ölçümlerinin alındığı istasyonlar ve bu istasyonlardan geçen faylara ait harita Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu haritada yer alan faylar Maden Tetkik Arama Yer Bilimleri Portalından yararlanılarak çizilmiştir. Bu istasyonlara ait enlem, boylam değerleri ve çalışmada kullanılan ^{222}Rn ölçüm tarih aralığı ise Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Çalışma istasyonlarına ait bilgiler

İl	Enlem	Boylam	İstasyonun Yeri	^{222}Rn ölçüm tarih aralığı
Diyarbakır	38,3391	39,6995	Ergani (Değirmendere Köyü)	01.09.2007-06.06.2010
Elazığ	38,5258	39,4389	Gezin (Karayolları)	01.01.2007-21.08.2009
Elazığ	38,4634	39,5524	Helindir (Çitli Köyü)	01.03.2008-06.06.2010
Elazığ	38,3902	39,1901	Kösebayır	01.01.2007-21.08.2009
Elazığ	38,6913	39,9393	Palu (Karşı Bahçeler Mah.)	16.02.2007-06.06.2010
Elazığ	38,5294	39,2439	Sivrice	24.10.2005-31.12.2009
Elazığ	38,4194	39,2572	Soğukpınar	17.02.2007-31.08.2009

6.2. Sivrice İstasyonu Genel Yapısı

Sivrice ilçesi, il merkezine 31 km. uzaklıkta olup, Hazar Gölü kıyısında yer almaktadır. Hazar Gölü tektonik bir göldür. Hazar Gölü'nün doğusunda ve güneybatısında Üst Neojene ve Kuvaternere ait eski göl birikintileri ve bugün zamanla gölün çekilmesiyle meydana gelen taraçalar mevcuttur. Hazar Gölü Havzasının temelini Pliyosen öncesi kayalar oluşturmaktadır. Pliyokuvaterner çökelleri, Hazar Havzasını sınırlayan fayların kontrolünde toplanmıştır ve bunlar Neotektonik birimler olarak kabul edilebilir. Temel kayanın aşınma yüzeyleri, travertenler ile açısal uyumsuzluk göstermektedir (Gürocak, 1993).

Sivrice (Elazığ), Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Palu-Sincik segmentinde bulunmaktadır. Sivrice-Sincik arasında DAFZ, Paleozoyik-Alt Mesozoyik kayalar ve Mesozoyik-Senozoyik ofiyolitik melanjı kesmektedir (Herece ve Akay, 1992). Sivrice yerleşim alanının zemini kumlu ve çakıllı kildir. Sivrice ilçesi ve çevresinde Permokarbonifer'den Kuvaterner'e kadar farklı kayaç türlerinden oluşan birimler yüzeylemektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru şöyle sıralanabilir: Metapelit, kalkşist, rekristalize kireçtaşı ve metakuvarsitlerle temsil edilen Pütürge Metamorfitleri; gabro, diyabaz, bazalt ve andezitlerle temsil olunan Yüksekova Karmaşığı (Senoniyen); kumtaşı, kiltaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan Simaki Formasyonu (Maastrihtiyen-Üst Paleosen); volkanik arakatkılı çamurtaşı, kumtaşı, tüf, andezit, bazalt ve volkanik breşlerle temsil olunan Maden Karmaşığı (Orta Eosen); gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve killerden oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile ayrık kum, kil ve çakıllardan oluşan güncel alüvyonlardır. Sivrice ilçe merkezinin batısında, paralel faylar boyunca akarsular keskin dirsekler oluşturmuştur. Yamaç eğiminin fazla olması ve fay zonu nedeniyle kolay aşınan kayaçlar üzerinde yarıntı ve çok şiddetli yüzey erozyonu ortaya çıkmıştır. Hazar Gölü batısında, Sivrice Deltaik ova tabanından 50-70 m yükseklikte, Hazar gölünün eski seviyesine göre çökelen Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl depoları fay tarafından kesilmiş ve 15^0 GB'ya çarpılmıştır. Seki yüzeyi deforme olmuştur. Seki düzlüğü gerisinde ana faya paralel ikinci bir fay boyunca aşınım ilerlemiş, Kürk Çayı'na kavuşan yan dereler keskin dirsekler çizmiştir. Bu bakımdan Sivrice batısı Türkiye'de genç tektonik hareketlerin en açık görüldüğü yerlerden biridir (Gürocak, 1993).

6.3. Palu İstasyonu Genel Yapısı

Elazığ ili ilçesi olan Palu, Murat suyu civarındaki düzlükler ile güneydeki doğu Toros silsilesini oluşturan Ak dağlardan meydana gelir. İlçe 1. derece deprem kuşağında yer almaktadır (Yüksek, 2006).

Doğu Anadolu Fay zonunun (DAFZ), her bir depremde kırılması beklenen belirgin bölümleri şunlardır: 1-Karlıova-Bingöl fayı; 65 km uzunluğundadır, 2-Palu-Hazar fayı; 50 km uzunluğundadır, 3-Hazar-Sincik fayı; 85 km uzunluğundadır, 4-Çelikhan-Gölbaşı fayı; 50 km uzunluğundadır, 5-Gölbaşı-Türkoğlu fayı; 90 km uzunluğundadır, 6-Türkoğlu-Antakya fayı; 145 km uzunluğundadır.

Palu-Sincik Segmenti yaklaşık 145 km. uzunluğunda olup, DAF'nın bu parçası Palu Güneyinde K 60^0 D genel doğrultusunda uzanarak Hazar Gölü, Sivrice, Doğanyol üzerinden Şiro Çayı boyunca uzanır ve Sincik kuzeyinde belirginliğini yitirir. Palu formasyonu konglomera, kumtaşı ve çamur taşlarından oluşmaktadır. Çakıllar yer yer iyi yuvarlaklaşmış, yer yer derecelenme gösteren gri renkli, matriks destekli konglomeralardır. Çakıl boyutları 5-6 cm. kadardır. Normal dereceli seviyelerin tabana daha yakın kısımlarında çakıllar binik dizilimlidir. Bunların orta eksenleri üst üste gelecek şekilde dizilmişlerdir. Düzlemsel çapraz tabakalanma gösteren seviyelerde, çakıllar bu tabakalanma düzlemine paralel olarak sıralanmıştır. Çakıllar Yüksekova karmaşığı ve Kırkgeçit Formasyonundan kaynaklanmış olup andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşmuştur. Bu yapılar büyük seviyede doğal radyoaktivite de içerir (Tykva ve Sabol, 1995). Konglomera ile başlayıp yukarıya doğru bazen kumtaşı bazen de killi seviyelere kadar geçen dereceli yapılar görülmektedir. Ayrıca, Sungurlu ve diğerleri (1985), Elazığ–Palu dolaylarındaki yüzeylemelerde yaptıkları araştırmada, birimin genellikle şeyl, kumtaşı, kireçtaşı, volkanik kumtası, tüf, aglomera, bazalt, diyabaz, gabro, serpantinit, granit ve granodiyorit ile temsil edildiğini, yer yer sil ve dayk sokulumlarının bulundugunu ve volkanitlerin genellikle spilitleştiğini belirtmişlerdir (Yüksek, 2006).

6.4. Kösebayır İstasyonu Genel Yapısı

Bu bölgedeki formasyon konglomera, kumtaşı ve çamur taşlarından oluşmaktadır. Çakıllar yer yer iyi yuvarlaklaşmış, yer yer derecelenme gösteren gri renkli, matriks destekli konglomeralardır. Çakıl boyutları 5-6 cm. kadardır. Normal dereceli seviyelerin

tabana daha yakın kısımlarında çakıllar binik dizilimlidir. Bunların orta eksenleri üst üste gelecek şekilde dizilmişlerdir. Düzlemsel çapraz tabakalanma gösteren seviyelerde, çakıllar bu tabakalanma düzlemine paralel olarak sıralanmıştır. Çakıllar Yüksekova karmaşığı ve Kırkgeçit Formasyonundan kaynaklanmış olup andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşmuştur. Konglomera ile başlayıp yukarıya doğru bazen kumtaşı bazen de killi seviyelere kadar geçen dereceli yapılar görülmektedir (Kaya, 2004).

6.5. Soğukpınar İstasyonu Genel Yapısı

Bu istasyonda genellikle şeyl, kumtaşı, kireçtaşı, volkanik kumtası, tüf, aglomera, bazalt, diyabaz, gabro, serpantinit, granit ve granodiyorit ile temsil edildiğini, yer yer sil ve dayk sokulumlarının bulundugunu ve volkanitlerin genellikle dağıldığı görülmüştür (Yüksek, 2006). Ayrıca bu yerleşkede Paleozoyik yaşlı gnays ve şistlerden meydana gelen Pötürge Metamorfitleri yer alır. Bu formasyon konglomera, kumtaşı ve çamur taşlarından oluşmaktadır.

6.6. Gezin ve Helindir İstasyonu Genel Yapısı

İlgili istasyonlar ve çevrelerinde; güneyden kuzeye doğru Arap platformu, Pütürge-Bitlis bindirme kuşağı, Çüngüş Formasyonu, Pütürge- Bitlis Masifi, Guleman ofiyoliti, Simaki flişi, Maden Formasyonu ve daha kuzeyde Yüksekova Karmaşığı yer almaktadır. İlgili istasyonlar, Maden Karmaşığı olarak adlanan formasyon içerisinde yer almaktadırlar (Kaya, 2004). Faylanmalar sahanın önemli yapısal özelliğidir. Cevherleşme; kloritleşmiş, silisleşmiş diyabazlar içinde yer alır. Üstte merceğimsi masif sülfit kütlesi, altta ağsal ve dissemine cevher görülür. Başlıca cevher mineralleri; pirit, kalkopirit, pirotin, kübanit, manyetit, linneit, valleriyit, pendlandittir. Manyetit ve pirotin miktarı genellikle alt zonlara doğru artmaktadır. Cevher zonu, doğudan ve batıdan faylarla sınırlandırılmıştır. Kuzeydoğuda çamurtaşları güneybatıda da serpantinit ve gabro bulunur (Kaya, 2004).

6.7. Ergani İstasyonu Genel Yapısı

Güneydoğu Anadolu'da Ergani-Maden yöresi ve çevresinde birbirlerinden oluşum, başkalaşım, deformasyon ve bulundurdukları kaya türleri yönünden farklı üç tektonik kuşak ayırt edilir. Bunlar en kuzeyde Bitlis ve Malatya-Pötürge metamorfik masifleri, bu kuşağın güneyinde ve özellikle inceleme alanında yaygın bir şekilde yüzeyleyen ultramafik, volkanik ve tortul kayalardan oluşmuş ofiyolit kuşağı ve en güneyde Arap kıtasının kuzey uzantısı üzerinde, uzun jeolojik zaman aralığında platform özelliği göstermiş kenar kıvrımları kuşağıdır (Erdoğan, 1982).

7. BULGULAR

Birçok değişkenin etkisi altında biçimlenen depremler, dünya yüzeyi üzerinde meydana gelen en karmaşık jeolojik olaylar arasında yer almaktadır. Depremin yerinin, zamanının ve büyüklüğünün günümüz şartlarında tam olarak belirlenmesi hâlâ mümkün olmamakla beraber buna yönelik çalışmalar artan bir şekilde devam etmektedir. Buna bağlı olarak bir deprem meydana gelmeden önce yeryüzünde oluşan değişimler takip edilmekte ve modellenmeye çalışılmaktadır. 1966 Taşkent depremi öncesinde yeraltı suyu ^{222}Rn gazında görülen artış ve anomaliler, Ulomov vd. (1967) tarafından ^{222}Rn'nin deprem tahmini çalışmalarında iyi bir izleyici olduğunu göstermiştir. Deprem öncüsü olarak yorumlanan birçok değişken mevcuttur. 1976 yılında Rikitake deprem öncüsü 15 değişken listelemiştir. Bu değişkenlerden bazıları; birbiri ardına gelen öncü şoklar, sismik dalga hızındaki değişimler, fay kayması, yeraltı suyu akış hızı ve sıcaklığındaki değişimler, yeryüzü direnç ve akı değişimi, jeomanyetik etkiler ve ^{222}Rn derişimindeki değişimlerdir. 14 Şubat 1983 yılında Alaska'nın Sand Point şehrinde meydana gelen 6.3 büyüklüğündeki deprem öncesinde ölçüm konumundan 178 km uzaklıkta, ^{222}Rn derişiminin yaklaşık 40 kat arttığı görülmüştür (Rikitake, 1976; Durrani ve Ilić, 1997; Virk vd., 2001). Bu değişimlerin uzun dönemler boyunca takip edilmesi ve her sismik faaliyet öncesinde bu gibi değişimlerin sık sık gözlenmesi ^{222}Rn gazının deprem tahmini çalışmalarında yaygın bir biçimde kullanılmasına neden olmuştur. Bu tür çalışmaların ardından ^{222}Rn değişimi ile deprem arasındaki ilişkinin incelenmesi hız kazanmıştır. Bu nedenle topraktaki ^{222}Rn gazının sürekli ölçümü sismik aktivitenin karakteristiğini belirlemek ve depremin oluştuğu fayın karakteristiğini tespit etmek için oldukça önemlidir.

Topraktaki ^{222}Rn gazı derişimi depremler ile birlikte genellikle lineer olmayan davranışlar gösterir (Kamışlıoğlu vd., 2014). ^{222}Rn gazı bir deprem süresince yer yüzeyi içinde meydana gelen gerilmeler ile toprak yapısı, toprak sıcaklığı, toprak geçirgenliği, barometrik basınç vs. gibi fiziksel süreçlerle de sürekli değişir (Rikitake, 1976; King vd.,1985; Planinić vd., 2004; Külahcı ve Şen, 2013). Dolayısıyla, ^{222}Rn ile deprem arasındaki ilişkinin incelendiği modelleme çalışmalarında yalnızca ^{222}Rn gazı derişiminin bilinmesi yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, çalışmada, ^{222}Rn ve deprem arasındaki ilişki, çevresel değişkenler de (toprağın 10 cm, 20 cm, 50 cm derinlikteki sıcaklığı, buhar basıncı,

ıslak ve kuru termometre sıcaklığı) kullanarak incelenmeye çalışıldı. Aynı fay sistemi üzerinde birbirine çok yakın ölçüm istasyonlarında dahi jeolojik yapı farklılık gösterebileceğinden bu konumlarda ölçülen ^{222}Rn derişimi aynı zamanda uzaklığın bir fonksiyonu olacaktır. Yarıvariogram ya da sonrasında geliştirilen diğer variogram yöntemleri (TYV, NTYV, UZNTYV) incelenen değişkenin sadece konuma veya zamana bağlı değişimlerini incelemekte, bu değişkeni etkileyen diğer değişkenleri model içine bire bir katmamaktadır. Bu çalışmada deprem ile ^{222}Rn gazı derişimindeki değişim, ^{222}Rn'yi etkileyen çevresel değişkenlerin UZNTYV yöntemi ile birleştirilmesiyle ele alındı. Tüm bu değişkenler arasındaki ilişki çoklu regresyon yöntemi ile kuruldu. Böylelikle hem ölçüm istasyonları arasındaki konumsal ilişki hem de incelenen değişkeni etkileyen diğer değişkenler bir araya getirilerek daha detaylı bir model geliştirildi. Elde edilen bu yeni yöntem yardımı ile deprem büyüklüğü tahmin edilmiş, sonuçlar YSA'dan elde edilen sonuçlar ile kıyaslandı. Bunun yanı sıra ^{222}Rn derişiminin çalışma süresi içindeki değişimi her bir istasyon için Zaman Serisi Analizi ile incelenmiş ve meydana gelen ani değişimlerin çevresel etkenlerden ya da sismik faaliyetlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmeye çalışıldı.

Çalışmamızda 15 dk'lık aralıklarla ölçülen toprak ^{222}Rn gazı verileri kullanıldı. İlgili grafikler ve verilerin analizinde ise günlük ortalaması alınan ^{222}Rn verileri kullanıldı. ^{222}Rn ölçümlerinin yapıldığı tarih aralığında meydana gelen depremler, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'ndan alındı. Çalışma bölgesi sismik aktivite açısından oldukça hareketli bir bölge olduğu için yapılan tüm analizlerde her bir istasyonun 30 km çevresinde meydana gelen depremler göz önüne alındı. Literatürde çalışma bölgelerinin sismik yapısına bağlı olarak baz alınan farklı uzaklık değerleri bulunmaktadır (Planinić vd., 2004, Planinić vd., 2008, Vizzini ve Brai, 2012). Bu yöntemlerin yanısıra aktivite formülünün yarıvariogram yöntemi ile birleştirilmesiyle bölgedeki ^{222}Rn derişiminin mevsimsel değişimi incelendi.

7.1. Regresif Uzay Zaman Noktasal Yarıvariogram Yöntemi (RUZTYV) ile Analiz

Bu çalışmada, RUZNTYV modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle kullanılacak değişkenler arasında regresyon analizinin yapılması gerekmektedir. Bu analiz için bir adet bağımlı değişkene ihtiyaç vardır. Çalışmada deprem değişkeni bağımlı değişken, ^{222}Rn ve çevresel değişkenler ise bağımsız değişken olarak alındı. Regresyon analizi SPSS 15.0

paket programı uygulaması ile yapılırken, RUZNTYV yöntemine ait sonuçlar ve grafikler tarafımızdan yazılan Matlab programı kullanılarak elde edildi. Bu yöntem neticesinde elde edilen deprem tahmini sonuçları yine Matlab içerisinde tarafımızdan yazılan Yapay Sinir Ağları programının sonuçları ile kıyaslandı.

Regresyon analizi için öncelikle kullanılacak değişkenlerin normallik testlerinin yapılması gereklidir. Çalışma bölgemizin 38.3391 enlemi ile 39.6995 boylamı arasında yer alan Ergani istasyona ait paramatrelerin normallik testi sonuçları Tablo 7.1'de verildi. Diğer istasyonlara ait test sonuçları ise Ek 1'de verildi. Ergani istasyonu için kullanılan sürekli ^{222}Rn ölçümleri 01.09.2007-06.06.2010 tarihleri arasını kapsamaktadır. Bu dönem süresince ilgili istasyonun 30 km çevresinde meydana gelen deprem sayısı 72'dir.

Tablo 7.1. Ergani istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			**Shapiro-Wilk**		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,103	72	0,074	0,957	72	0,020
deprem	0,148	72	0,058	0,953	72	0,371
ts_10	0,093	72	0,034	0,978	72	0,294
ts_20	0,111	72	0,066	0,976	72	0,221
ts_50	0,071	72	0,040	0,977	72	0,248
bb	0,083	72	0,200	0,973	72	0,154
ıts	0,080	72	0,200	0,982	72	0,463
kts	0,073	72	0,200	0,982	72	0,448

Normallik testi için kullanılan veri sayısı önemlidir. Çalışmamızda kullandığımız veri sayısı 30'dan büyük olduğu için Kolmogorov-Smirnov testine ait sonuçlar dikkate alınacaktır. %5 anlamlılık düzeyine göre elde edilen sonuçlarda Sig. değeri %5'ten büyük olan değişkenlerin normal dağılıma sahip olduğu, %5'ten küçük değere sahip değişkenlerin ise normal dağılmadığı söylenir. Buna göre Sig. değerleri 0,05'den büyük olan ^{222}Rn, deprem, ts_20, bb, ıts ve kts değişkenleri normal dağılıma sahiptir. Bu nedenle bu değişkenler regresyon analizi için kullanılabilirken geri kalan değişkenler kullanılmayacaktır. Yalnız bu durum regresyon denkleminin oluşturulması için yeterli değildir. Bunun dışında ilgili değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkisi de önemlidir. Bu ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları ise Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2. Ergani istasyonuna ait ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		deprem	^{222}Rn	ts_20	bb	ıts	kts
Pearson Korelasyon Matrisi	**deprem**	1,000	-0,725	-0,294	-0,352	-0,361	-0,307
	^{222}Rn	-0,725	1,000	0,403	0,462	0,480	0,433
	ts_20	-0,294	0,403	1,000	0,482	0,581	0,629
	bb	-0,352	0,462	0,482	1,000	0,542	0,656
	ıts	-0,361	0,480	0,581	0,542	1,000	0,962
	kts	-0,307	0,433	0,629	0,656	0,962	1,000

Tablo 7.2. incelendiğinde deprem ve ^{222}Rn arasında negatif ve yüksek düzeyde bir ilişkinin (r=-0,73) olduğu, geri kalan değişkenlerle ise yine negatif yönlü fakat zayıf bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre Ergani istasyonunda deprem büyüklüğü arttıkça ^{222}Rn miktarında azalmanın meydana geleceği söylenebilir. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyonlar incelendiğinde ise bb-kts ile ıts-kts arasında pozitif yönde yüksek ilişkinin olduğu görülmektedir. Regresyon analizi için bağımsız değişkenler arasında bu şekilde yüksek bir ilişkinin olması istenmeyen bir durumdur. Böylesi bir durumda korelasyon oranı %70 ve üzeri olan değişkenlerin ya birleştirilmesi ya da değişkenlerden birinin çıkarılması gerekmektedir (Okutkan, 2013). Burada hem bb hem de ıts ile yüksek korelasyona sahip kts değişkeni çıkarılarak regresyon modeli elde edilecektir. Buna göre Ergani istasyonu için regresyon modelinde kullanılacak değişkenler deprem, Rn, ts_20, bb ve ıts olacaktır. Bu değişkenlerin kullanımı ile elde edilen regresyon model özeti Tablo 7.3'de verildi.

Tablo 7.3. Ergani istasyonu için regresyon model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası	Durbin-Watson
1	0,895	0,801	0,791	0,20395	2,052

Tablo 7.3'de elde edilen sonuçlara bakıldığında R, R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri sırasıyla %89,5; %80,1 ve %79,1 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların %50 ve üzerinde olması kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. R^2 ifadesi bize bağımlı değişkenin yüzde kaçlık kısmının bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını

göstermektedir. Bizim çalışmamızda kullandığımız değişkenlere göre bağımsız değişkendeki değişimin %80,1'i modele dâhil ettiğimiz ^{222}Rn, ts_20, bb ve ıts tarafından açıklanmaktadır. Geri kalan %19,9'luk kısım ise hata terimi vasıtasıyla modele dâhil etmediğimiz değişkenler tarafından açıklanır. Modeldeki bağımsız değişken sayısını arttırdığımızda R^2 artacaktır. Regresyon analizinde en önemli varsayımlardan biri hatalar arasında ilişki olmaması şartıdır. Hataların birbirinden bağımsız olması yani otokorelasyonun olmaması gerekmektedir. Bu durumun tespiti Durbin-Watson testi ile gerçekleştirilir. Genellikle 1,5-2,5 aralığında yer alan değerler otokorelasyonun olmadığı anlamına gelmektedir. Tablo 7.3'de elde edilen Durbin Watson test değeri bu aralıkta yer aldığı için hataların birbirinden bağımsız olduğu söylenir.

Modelimizin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığını test etmemize yarayan ANOVA sonuçları ise Tablo 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.4. ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regresyon	2,941	7	0,735	16,704	0,000
Artıklar	2,641	65	0,044		
Toplam	5,582	72			

Tablo 7.4'deki 16,704 *F* değeri, %5'ten büyük olduğundan modelimizin bir bütün olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Regresyon modeline ilişkin değişkenlerin yer aldığı ve regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin *t* testi sonuçları ise Tablo 7.5'de verilmiştir. Bu tablo regresyon analizi formülünün oluşturulmasını sağlamaktadır.

Tablo 7.5. Katsayılar Tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**β**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	3,394	0,144		23,548	0,000		
Rn	-0,005	0,001	-0,715	-7,041	0,000	-0,725	-0,673
ts_20	0,002	0,007	0,048	0,225	0,133	-0,294	0,029
bb	-0,001	0,021	-0,011	-0,054	0,106	-0,352	-0,007
ıts	-0,002	0,015	-0,044	-0,157	0,068	-0,361	-0,020

Tablo 7.5'de elde edilen *t* testi sonuçları incelendiğinde her bir değişkene ait değerin 0,05'ten büyük olduğu yani %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu değerler incelendiğinde sadece ^{222}Rn değişkeninin deprem üzerinde önemli bir tahminleyici değişken olduğu; ts_20, bb ve ıts değişkenlerinin ise önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir.

Standardize edilmiş β katsayısı bağımsız değişkenlerin önem sırasını göstermektedir. İşaret dikkate alınmaksızın en büyük β değerine sahip bağımsız değişken göreli olarak en önemli bağımsız değişkendir. Buna göre Tablo 7.5 incelendiğinde en önemli bağımsız değişkenin ^{222}Rn olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla ts_20, ıts ve bb bağımsız değişkenleri takip etmektedir. Tablo 7.5'de bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde daha öncede belirttiğimiz gibi deprem ile ^{222}Rn arasında zıt yönlü yüksek düzeyde (r=-0,73) bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde bu iki değişken arasındaki ilişki r=-0,67 olmaktadır. Aynı şekilde ts_20 ile deprem, bb ile deprem ve ıts ile deprem arasında negatif ve düşük düzeyde (sırasıyla r=-0,29; r=-0,35; r=-0,36) bir ilişki vardır. Bu değişkenler arasındaki ilişkinin geri kalan diğer iki değişken kontrol altına alındığında sırasıyla r≅0,029; r≅-0,007 ve r≅-0,020 olarak hesaplandığı görülmektedir.

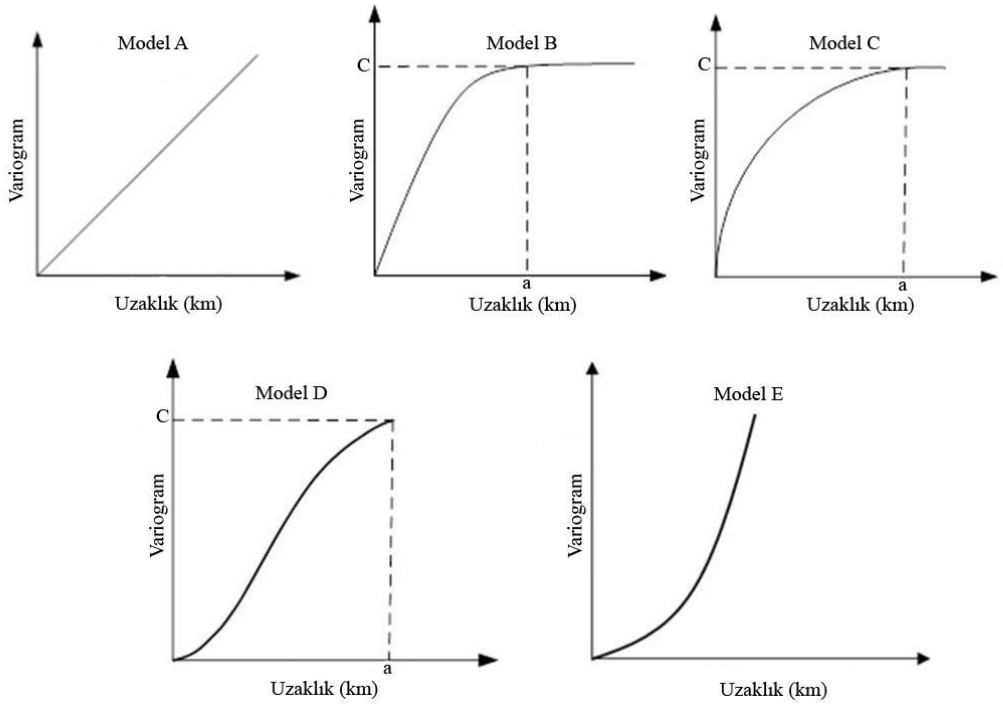
Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon formülü Denklem 7.1'de verilmiştir.

$$deprem = 3{,}394 - 0{,}005(Rn) + 0{,}002(ts_20) - 0{,}001(bb) - 0{,}002(ıts) \qquad (7.1)$$

Denklem 7.1 aracılığıyla deprem tahmini yapılabilir, ancak formül içerisinde yer alan ^{222}Rn; deprem derinliği ve konumsal etkiye bağlı olarak ani değişimler gösterebildiğinden, aynı şekilde çevresel değişkenlerde konumsal etkiye bağlı olarak değiştiğinden, bu durum göz önüne alınmadan elde edilen bir formül genel geçer bir ifadeye sahip olmayacaktır. Bu nedenle tüm bu etkileri de göz önüne alan UZNTYV yöntemi ile Regresyon modelinin birleştirilmesi hem iki modeldeki eksikleri gidermiş hem de daha genel geçer bir ifade sağlamış olacaktır. Elde edilen 7.1 eşitliğinin Regresif Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram denkleminde yerine yazılması ile elde edilen eşitlik Denklem 7.2'deki şeklini alır.

$$\gamma(d_i)=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n-1}((3{,}394-0{,}005Rn+0{,}002ts_20-0{,}001bb-0{,}002its\times V\times t)_j-(3{,}394-0{,}005Rn+0{,}002ts_20-0{,}001bb-0{,}002its\times V\times t)_{j+d})^2 \quad (7.2)$$

Denklem 7.2'de j ve $j+d$ konumundaki ^{222}Rn, çevresel değişkenler ve deprem derinliği değerlerinin yerine yazılmasıyla, her bir konum için $\gamma(d_i)$ RUZNTYV değeri elde edilir. Meydana gelen 72 deprem olduğundan, 72 tane RUZTYV grafiği elde edilecektir. Elde edilen grafikler Ek 2'de gösterildi. Bu grafikler benzerliklerine göre gruplandırıldıklarında ise Şekil 7.1'de gösterildiği gibi 5 farklı model elde edildi. Elde edilen her bir model A, B, C, D, E olarak isimlendirildi.



Şekil 7.1. Variogram modelleri

Bu modellerin her biri ilgili konum etrafında ^{222}Rn, çevresel değişkenler ve depremlerin davranışını yansıtan farklı özellikleri açıklamaktadır. Örneğin; Ek 2'de yer alan grafikler incelendiğinde 69. ve 70. şekiller dışında kalan diğer tüm şekillerin orijinden geçmediği görülmektedir. Bu grafikler ilgili konumlarda meydana gelen sismik olayların bölgeye göre düzgün süreçlerde oluşmadığı ve bu konumlardaki sismik oluşumların bazı lokâl ve jeolojik faktörlerin kontrolü altında olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanı sıra konumsal sismik oluşumlarda düzenli şartlar hakim olmayıp, çok sayıda tektonik olayın oldukça

kompleks bir kombinasyonunun etkisi söz konusudur (Şen, 1998; Şen, 2009). Ek 2'de yer alan Şekil 3-15, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 31, 34, 35, 36, 43, 46, 48, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 67 incelendiğinde ise bu grafiklerin mesafe ekseni üzerinde bir kesişime sahip olduğu görülmektedir. Bu durum kesişim değerinden küçük mesafelerde RUZNTYV değerinin sıfıra eşit olacağı anlamına gelmektedir. Yani bölgesel sismik olay içinde yapısal bir kontrol vardır. İlaveten, büyük sismik değerlerin büyük sismik olayları, küçük sismik değerlerin küçük değerleri izlediğini ifade eder (Şen ve Habib, 1997; Şen, 1998; Şen, 2009). Yani ilgili konum, çevresinde yüksek ve düşük sismik değerlerine sahip iki farklı yerleşim alanına ayrılmıştır. Benzer özellikler eser elementlerin incelendiği Bazuhair ve Şen'in (1994) çalışmalarında, Külahcı ve Şen (2007, 2008) tarafından gerçekleştirilen ^{90}Sr ve ^{137}Cs dağılımının incelendiği çalışmalarda da görülmektedir.

Elde edilen grafiklerin hangi modele uyduğu Tablo 7.6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 7.6. RUZNTYV modelleri

RUZNTYV modelleri	Konumlar
Model A	6, 56
Model B	8, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 29, 44, 46, 55, 58
Model C	1, 2, 5, 7, 11, 15, 17, 21, 25, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 49, 52, 54, 60, 64, 66, 67, 68
Model D	3, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 28, 31, 33, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 50, 51, 57, 59, 61, 63, 65
Model E	4, 9, 45, 47, 48, 53, 62, 69, 70, 71, 72

Model A (Şekil 7.1), lineer model olarak bilinir. Eğer bu model orijinden geçen düz bir doğru ise bu incelenen değişkenin bölgesel bağlılık yapısına sahip olmadığını gösterir. Yani sismik olay ilgili bölge üzerinde rastgele gelişmiştir. Ancak bizim grafiklerimizde olduğu gibi mesafe ekseninde bir kesişime sahipse, bu ilgili konumların azda olsa bölgesel bağlılık yapısına sahip olduğunu gösterir. Böyle bir durumda hareketli ortalama işlemi bölgesel değişkenliğin temel üretim mekanizmasıdır. Ayrıca bu model ağırlıklı olarak bölgesel sismik dağılımlar yalnızca dış faktörlerin aktivitelerinden dolayı ortaya çıktığında geçerlidir (Myers vd., 1982; Journel ve Posa, 1990; Şen, 1998). Bu modelin matematiksel fonksiyonu Denklem 7.3 ve 7.4'de verildi.

$$\gamma\,(0) = 0 \tag{7.3}$$

$$\gamma\,(h) = C_0 + ph \qquad h > 0 \tag{7.4}$$

Bu denklemlerde; h; konumlar arasındaki mesafeyi, C_0; nugget etkisini ve p; doğrunun eğimini göstermektedir. Çalışmamızda bu modele uyan 6. ve 56. deprem konumlarına ait C_0 değerleri sırasıyla 1884 ve 878 olarak hesaplandı. Nugget değerinin yüksek olması, ilgili değişkenlerin çalışma alanı içerisinde önemli bölgesel değişimlerden küçük miktarda etkilendiğini ifade etmektedir (Külahcı vd., 2008; Külahcı ve Şen 2009b). Buna göre, 56. deprem konumu 6. deprem konumuna göre meydana gelen jeolojik ve çevresel değişimlerden daha çok etkilenmiş olup, bölgesel bağlılık yapısı daha fazladır. Bunların yanısıra, lineer model ilgili konumlar çevresinde oldukça homojen etki alanlarının olduğunu gösterir. Yani incelenen değişken hem çevresel değişkenlerden hem de ilgili konum çevresinde meydana gelen sismik faaliyetlerden homojen bir şekilde etkilenmektedir ya da bir başka deyişle ^{222}Rn, deprem ve çevresel değişkenler bu konum çevresinde homojen bir dağılım sergilemektedir (Külahcı ve Şen 2007; Külahcı vd., 2008; Şen, 2009).

Model B (Şekil 7.1), küresel model olarak bilinir. Bu model etki alanı ve sill değeri olmak üzere iki önemli değişkenye sahiptir. Sill değerine ulaşılan uzaklık, menzil değeri olarak bilinir ve bu mesafeden sonraki konumlarda meydana gelen değişimlerin ilgili konum üzerinde incelenen değişken üzerine bir etkisi yoktur. İlk olarak Matheron (1963) tarafından önerilen bu modele ait matematiksel fonksiyonlar Denklem 7.5 ve 7.6'da verildiği gibidir.

$$\gamma(h) = C_0 + C\left\{\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2}\frac{h^3}{a^3}\right\} \qquad (0 \le h \le a) \tag{7.5}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \qquad (h > a) \tag{7.6}$$

Bu denklemlerde a; etki alanını, yani menzil değerini ifade etmektedir. Çalışmamızda elde ettiğimiz grafiklerden 12 tanesi bu grupta yer almaktadır. İlgili grafikler incelendiğinde menzil değerinin (a) yaklaşık olarak 25-30 km civarında olduğu

görülmektedir. Bu ilgili konumlarda ölçülen ^{222}Rn derişimi üzerinde 30 km'den sonra meydana gelen jeolojik ve çevresel değişimlerin etkili olmayacağı anlamına gelmektedir.

Küresel model orijine yakın küçük ayrım mesafelerinde doğrusala yakın bir değişim gösterirken, uzak mesafelerde düzleşir. Dolayısıyla bu konumlarda küçük mesafelerde meydana gelen deprem, ^{222}Rn, çevresel değişken değişimlerinde yapısal bir ilişki söz konusu değildir. Ancak RUZNTYV değerinin maksimum değere ulaşmaya başladığı kısa bir mesafe aralığında yapısal ilişki söz konusu olup, bu mesafeden sonraki konumlarda meydana gelen sismik olayların ise ilgili konumlarda ki sismisite üzerine bir etkisi söz konusu olmayacaktır.

Model C (Şekil 7.1), eksponansiyel model olarak bilinir ve bu model de küresel model gibi etki alanı ve sill gibi iki önemli değişkene sahiptir. Bu modele ait matematiksel fonksiyon Denklem 7.7'de verilmiştir.

$$\gamma(h) = C_0 + C\left\{1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)\right\} \qquad h > 0 \qquad (7.7)$$

Model sill değerine asimptotik olarak yaklaşmaktadır. Yani incelenen değişkenler belirli bir mesafeden sonra çok küçük değişimler sergilemekte, değerleri küresel modelde olduğu kadar keskin değişmeyip büyük farklılıklar göstermemektedir. Dolayısıyla Tablo 7.6'da bu modele uyan konumlarda; deprem, ^{222}Rn ve çevresel değişkenlerin ilgili konum çevresinde kısa ve uzun mesafelerde farklı özellikler sergilediği ve yine her bir konumun bu değişkenlerden farklı oranlarda etkilendiği sonucuna varılır. Bu modele göre konumsal bağlılık mesafe ile eksponansiyel olarak azalmaktadır (Clark, 2001; Külahcı ve Şen, 2007; 2008).

Model D (Şekil 7.1), gauss modeli olarak adlandırılır. Bu model kısa mesafelerde ki benzer veya sürekli olayları temsil etmektedir (Isaaks ve Srivastava, 1989; Clark, 2001). Tablo 7.6 incelendiğinde bu modele uyan konumların diğer modellerdekinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü çalışma bölgemiz dünyanın en hareketli sismik bölgelerden biridir ve ilgili model sıklıkla meydana gelen olayların incelenmesinde kullanılmaktadır. Bu modelde küresel ve eksponansiyel modelde olduğu gibi sill ve etki alanı (a) değişkenlerine sahip olup, matematiksel fonksiyonu Denklem 7.8'deki gibidir.

$$\gamma(h) = C_0 + C\left\{1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right)\right\} \qquad h > 0 \qquad (7.8)$$

Modelin başlangıcında sahip olduğu eğri ilgili konumlardaki sismik olayların bölgesel bağlılık yapısına sahip olduğunu gösterir. Ancak bu bağlılık eğri mesafesinin sonuna doğru azalmaktadır. Yani bu modele göre bölgesel bağlılık uzak mesafelerde daha zayıf, küçük mesafelerde ise daha güçlüdür (Isaaks ve Srivastava, 1989; Şen, 2009). Bu nedenle bu modele sahip konumlarda meydana gelen ^{222}Rn değişimlerinin yakın konumlarda meydana gelen sismik faaliyetlerden güçlüce etkilendiği sonucuna varılır. Bununla birlikte ilgili modele göre deprem oluşumu belirli bir mesafe sonra fakir ve zengin bölgelere ayrılır. Yani deprem oluşumları bu istasyonlar çevresinde belirli mesafelerde daha sık oluşurken bazı mesafelerde daha seyrek görülmektedir. Bir başka deyişle, depremlerin ilgili konum çevresinde kümelendiği söylenebilir. Gauss modelinde eğriler konveks olduğundan deprem ve ^{222}Rn pozitif bölgesel bağlılık yapısına sahiptir (Clark, 1979; Isaaks ve Srivastava, 1989; Şen, 1998; 2009).

Model E (Şekil 7.1), güç modeli (power) olarak adlandırılır. Bu model sill ve etki alanı değişkenlerine sahip değildir ve incelenen değişkenler fraktal davranış sergilediğinde uygundur. Stokastik sürecin varyansı mesafe ile sürekli olarak artar (Şen, 2009). Bu modelin matematiksel ifadesi Denklem 7.9'da verildiği gibidir (Clark ve Harper, 2000).

$$\gamma(h) = Ch^n \qquad h > 0 \qquad (7.9)$$

Uzun menzilli ilişkiler var olduğunda veya örnekler nokta çiftlerinin ilişkisiz olduğu yerlere kadar uzanan mesafelerde birikmediği zaman bu model geçerlidir. Buna göre ilgili konumlar çevresinde deprem, ^{222}Rn ve çevresel değişkenlerde uzun menzilli ilişkiler gösterip kaotik davranışlar sergilemektedir (Şen, 2009). Ayrıca ilgili konum çevresinde deprem ve ^{222}Rn'nin bölgesel bağlılığı, artan mesafe ile birlikte artmaktadır.

RUZTYV yöntemi ile yukarıda açıklandığı gibi incelenen değişkenler hakkında önemli bilgiler sağlanmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemin kullanımı ile, kestirim işlemi gerçekleştirmek de mümkündür. Bunun için ilgili yöntem aracılığla elde edilen her bir modele ait denklemin bilinmesi gerekmektedir. Çalışmamızda elde ettiğimiz modellere ait denklemler konum bilgileri ile birlikte Tablo 7.7'de verildi. Bu yöntem ile çalışmada

kullanılan her bir konum için tahmin işlemini gerçekleştirmek mümkündür. Tahminleme işleminde kullanılan verilere ait bilgiler ve RUZTYV yöntemi tahmin sonuçları ise, Tablo 7.8'de yeralmaktadır. RUZTYV yöntemi ile tahmin işleminin nasıl gerçekleştirildiğini bir örnek ile açıklamayalım.

38.4000 enlemi ile 39.3815 boylamında meydana gelen 2,9 büyüklüğündeki depremi bilmediğimizi kabul edelim. Öncelikle tüm deprem konumlarının bu konuma olan uzaklığı hesaplanır ve elde edilen her bir modele ait denklemde uzaklık değeri yerine yazılır. Buradan elde edilen sonuçlar Tablo 7.7'nin dördüncü sütununda görülmektedir. Daha sonra her bir konumdaki deprem büyüklüğü dördüncü sütundaki değerler ile çarpılarak beşinci sütundaki değerler elde edilir. Hem uzaklık değerlerinin yazılmasıyla elde edilen sonuçların toplamı hem de deprem büyüklüğünün yazılması ile elde edilen sonuçların toplamı alınır. Eşitlik 5.9'da bu değerlerin yerine yazılmasıyla, yani elde edilen toplam değerlerin birbirine bölünmesi ile ilgili konuma ait tahmin değeri elde edilmiş olur.

Tablo 7.7. RUZNTYV yöntemine ait model denklemleri ve tahminleme işlemi

Enlem	Boylam	Grafik Denklemi	Uzaklık (km)	$(a_i + b_i X_i^{\,k} + c_i X_i^{\,k+1})$	$(a_i + b_i X_i^{\,k} + c_i X_i^{\,k+1})C_i$
38,4000	39,3815	$y = 90.8514 + 283.3178 \times d_{i,p} - 2.0974 \times d_{i,p}^2$	0,00	0,0000	0,0000
38,3947	39,3872	$y = 211.0099 + 453.5617 \times d_{i,p} - 3.5276 \times d_{i,p}^2$	0,77	557,1960	1727,3075
38,5800	39,6100	$y = -157.4879 + 1.6484 \times d_{i,p} - 21.8239 \times d_{i,p}^2 - 0.5965 \times d_{i,p}^3 + 0.0043 \times d_{i,p}^4$	28,11	6594,1734	19782,5203
38,1870	39,7350	$\ln(y) = 3.3308 \times \ln(d_{i,p}) - 4.0829$	38,75	3287,6345	9534,1399
38,4060	39,4383	$y = -5077.7252 + 2346.9773 \times d_{i,p} - 28.5854 \times d_{i,p}^2 - 1.2076 \times d_{i,p}^3$	4,98	7158,4458	18611,9591
38,5742	39,7157	$y = 1884.1089 \times d_{i,p} - 8478.3350$	34,82	57118,0624	165642,3811
38,3597	39,4063	$y = -183.3284 + 223.0290 \times d_{i,p} - 1.9178 \times d_{i,p}^2$	4,96	875,0183	2275,0476
38,5023	39,5247	$y = 145.5424 - 46.6219 \times d_{i,p} + 57.3004 \times d_{i,p}^2 - 1.7213 \times d_{i,p}^3 + 0.0137 \times d_{i,p}^4$	16,82	8470,9665	25412,8995
38,2742	39,3593	$\ln(y) = 1.3939 \times \ln(d_{i,p}) + 3.3533$	14,07	1140,2356	3534,7303
38,4777	39,4842	$y = -733.1422 + 313.9262 \times d_{i,p} - 3.1113 \times d_{i,p}^2 - 0.0006 \times d_{i,p}^3$	12,39	2679,7448	8307,2088
38,3813	39,3542	$y = -424.2347 + 220.6211 \times d_{i,p} - 1.8195 \times d_{i,p}^2$	3,15	252,2422	807,1749
38,4420	39,5633	$y = 26.5979 - 168.3561 \times d_{i,p} - 42.1388 \times d_{i,p}^2 - 0.9117 \times d_{i,p}^3$	16,45	4601,6051	11964,1732
38,5953	39,6297	$y = -456.5282 + 151.5318 \times d_{i,p} - 10.0695 \times d_{i,p}^2 - 0.1903 \times d_{i,p}^3$	30,51	8136,5527	27664,2792
38,5603	39,5862	$y = -574.2959 + 107.8355 \times d_{i,p} + 18.6109 \times d_{i,p}^2 - 0.3747 \times d_{i,p}^3$	25,11	7935,1405	26979,4776
38,4922	39,5713	$y = -3695.221 + 1247.3816 \times d_{i,p} - 16.4313 \times d_{i,p}^2$	19,38	14305,9509	38626,0675
38,2490	39,4967	$y = 875.0111 - 355.0409 \times d_{i,p} + 53.1549 \times d_{i,p}^2 - 1.5042 \times d_{i,p}^3 + 0.01373 \times d_{i,p}^4$	19,49	3010,7946	7828,0660
38,5210	39,4715	$y = -1666.0813 + 546.5607 \times d_{i,p} - 1.0361 \times d_{i,p}^2 - 0.1189 \times d_{i,p}^3$	15,51	6617,2408	19189,9984
38,4442	39,3925	$y = 970.1869 + 134.8791 \times d_{i,p} + 32.5627 \times d_{i,p}^2 - 0.6161 \times d_{i,p}^3$	4,99	2376,8835	6417,5854
38,3343	39,5113	$y = 405.8596 - 393.2309 \times d_{i,p} + 68.7553 \times d_{i,p}^2 - 2.6103 \times d_{i,p}^3 + 0.0319 \times d_{i,p}^4$	13,42	2239,4850	7390,3004
38,3343	39,5113	$y = -937.7853 + 136.3757 \times d_{i,p} + 22.3033 \times d_{i,p}^2 - 0.4427 \times d_{i,p}^3$	13,42	3838,5964	13051,2276
38,3510	39,4597	$y = -1904.7416 + 518.5504 \times d_{i,p} - 5.4939 \times d_{i,p}^2$	8,69	2188,2254	7439,9663

Tablo 7.7'nin devamı

Enlem	Boylam	Grafik Denklemi	Uzaklık (km)	$(a_i + b_i X_i^{\ k} + c_i X_i^{\ k+1})$	$(a_i + b_i X_i^{\ k} + c_i X_i^{\ k+1})C_i$
38,3355	39,5532	$y = 560.4187 - 366.5652 \times d_{i,p} + 49.3131 \times d_{i,p}^2 - 0.8829 \times d_{i,p}^3$	16,54	3990,7855	13568,6706
38,4932	39,4095	$y = -114.5273 + 31.4694 \times d_{i,p} + 57.8149 \times d_{i,p}^2 - 1.4636 \times d_{i,p}^3 + 0.0089 \times d_{i,p}^4$	10,61	5089,9375	12724,8437
38,5455	39,5792	$y = 200.8791 + 32.7833 \times d_{i,p} + 16.8508 \times d_{i,p}^2 - 0.3007 \times d_{i,p}^3$	23,53	6385,6959	17879,9486
38,3787	39,4157	$y = 168.3326 + 218.0549 \times d_{i,p} - 1.7206 \times d_{i,p}^2$	3,79	970,6175	2329,4819
38,4870	39,5373	$y = 800.3863 - 371.6794 \times d_{i,p} + 79.4381 \times d_{i,p}^2 - 2.5544 \times d_{i,p}^3 + 0.0239 \times d_{i,p}^4$	16,60	6657,8564	17310,4267
38,4870	39,5373	$y = 874.0616 - 393.8261 \times d_{i,p} + 89.4066 \times d_{i,p}^2 - 2.8787 \times d_{i,p}^3 + 0.0269 \times d_{i,p}^4$	16,60	7851,1917	23553,5750
38,4128	39,4072	$y = -5077.7252 + 2346.9773 \times d_{i,p} - 28.5854 \times d_{i,p}^2 - 1.2076 \times d_{i,p}^3$	2,64	1921,4187	4611,4048
38,4128	39,4072	$y = 392.9373 + 259.3047 \times d_{i,p} + 7.5406 \times d_{i,p}^2 - 0.1871 \times d_{i,p}^3$	2,64	1127,6199	2931,8116
38,4128	39,4072	$y = 363.7337 + 233.1585 \times d_{i,p} + 3.3655 \times d_{i,p}^2 - 0.0987 \times d_{i,p}^3$	2,64	1001,7602	3105,4568
38,5017	39,4168	$y = -620.9410 + 193.2263 \times d_{i,p} + 25.1640 \times d_{i,p}^2 - 0.4776 \times d_{i,p}^3$	11,67	4304,7433	9470,4353
38,4607	39,3840	$y = 375.3692 + 460.6921 \times d_{i,p} - 3.1597 \times d_{i,p}^2$	6,73	3331,7129	8329,2822
38,5253	39,5883	$y = 381.6544 - 103.1384 \times d_{i,p} + 30.2953 \times d_{i,p}^2 - 0.7548 \times d_{i,p}^3 + 0.0045 \times d_{i,p}^4$	22,68	6013,4164	16837,5659
38,3147	39,5050	$y = -925.2955 + 141.5000 \times d_{i,p} + 13.4256 \times d_{i,p}^2 - 0.2471 \times d_{i,p}^3$	14,30	3119,4530	9670,3044
38,4990	39,6102	$y = -3680.5106 + 675.7052 \times d_{i,p} - 8.3239 \times d_{i,p}^2$	22,67	7359,8160	22079,4480
38,2518	39,3930	$y = -420.3315 + 84.9745 \times d_{i,p} + 3.8264 \times d_{i,p}^2 - 0.055 \times d_{i,p}^3$	16,45	1766,1579	4592,0106
38,4618	39,5898	$y = 1624.9597 - 602.4428 \times d_{i,p} + 67.7126 \times d_{i,p}^2 - 1.3728 \times d_{i,p}^3$	19,33	5364,7636	15021,3382
38,4413	39,3878	$y = 656.7714 + 314.7659 \times d_{i,p} - 2.2129 \times d_{i,p}^2$	4,61	2060,1075	6592,3441
38,2975	39,3680	$y = 267.9229 - 26.1954 \times d_{i,p} + 18.3099 \times d_{i,p}^2 - 0.5314 \times d_{i,p}^3 + 0.0048 \times d_{i,p}^4$	11,41	1645,8079	4443,6814
38,5928	39,6960	$y = 1272.9010 + 17.0903 \times d_{i,p} + 12.4241 \times d_{i,p}^2 - 0.1829 \times d_{i,p}^3$	34,64	9170,1629	22925,4073
38,5803	39,6400	$y = 140.0557 + 45.0189 \times d_{i,p} + 8.2175 \times d_{i,p}^2 - 0.1319 \times d_{i,p}^3$	30,02	5328,3019	12787,9244
38,5977	39,6980	$y = 935.0793 - 27.4490 \times d_{i,p} + 8.7412 \times d_{i,p}^2 - 0.1195 \times d_{i,p}^3$	35,11	5575,5861	15054,0824

Tablo 7.7'nin devamı

Enlem	Boylam	Grafik Denklemi	Uzaklık (km)	$(a_i + b_i X_i^{\ k} + c_i X_i^{\ k+1})$	$(a_i + b_i X_i^{\ k} + c_i X_i^{\ k+1})C_i$
38,2498	39,4545	$y = -285.6448 + 3.3061 \times d_{i,p} + 10.4038 \times d_{i,p}^2 - 0.1287 \times d_{i,p}^3$	17,81	2345,4906	6567,3737
38,5483	39,4942	$y = 450.6885 - 181.5263 \times d_{i,p} + 55.1417 \times d_{i,p}^2 - 1.6296 \times d_{i,p}^3 + 0.0141 \times d_{i,p}^4$	19,12	7623,2764	19820,5187
38,4620	39,7817	$y = 281.7586 - 10.2486 \times d_{i,p} + 12.4668 \times d_{i,p}^2 - 0.1595 \times d_{i,p}^3$	35,40	8464,4204	26239,7034
38,5902	39,5798	$y = 449.8710 - 322.4498 \times d_{i,p} + 56.9659 \times d_{i,p}^2 - 1.6725 \times d_{i,p}^3 + 0.0149 \times d_{i,p}^4$	27,19	8291,8457	25704,7217
38,6113	39,7302	$y = 538.8117 - 26.9739 \times d_{i,p} + 13.4166 \times d_{i,p}^2 - 0.1317 \times d_{i,p}^3$	38,23	11760,4857	31753,3114
38,1790	39,5580	$y = 1709.9723 - 277.4757 \times d_{i,p} + 13.6442 \times d_{i,p}^2 - 0.1239 \times d_{i,p}^3$	28,89	2094,8730	5865,6443
38,4545	39,4325	$y = 15.7453 + 235.6326 \times d_{i,p} - 1.7446 \times d_{i,p}^2$	7,49	1681,8813	4709,2678
38,5278	39,5198	$y = 482.0848 - 142.0428 \times d_{i,p} + 37.0912 \times d_{i,p}^2 - 1.0235 \times d_{i,p}^3 + 0.0079 \times d_{i,p}^4$	18,56	5014,0670	13537,9810
38,6008	39,6823	$y = 801.8019 - 27.3819 \times d_{i,p} + 8.4132 \times d_{i,p}^2 - 0.1073 \times d_{i,p}^3$	34,28	5428,0471	16284,1413
38,3200	39,3500	$y = -1002.0141 + 300.9914 \times d_{i,p} - 1.9847 \times d_{i,p}^2$	9,27	1618,9115	6151,8639
38,6090	39,7477	$y = -488.8386 + 146.3469 \times d_{i,p} + 2.2019 \times d_{i,p}^2$	39,29	8660,5447	28579,7974
38,4193	39,4180	$y = 1408.1787 + 475.3317 \times d_{i,p} - 3.0307 \times d_{i,p}^2$	3,82	3180,7095	9224,0576
38,5775	39,5945	$y = 176.4648 - 183.1489 \times d_{i,p} + 42.5017 \times d_{i,p}^2 - 1.2625 \times d_{i,p}^3 + 0.0111 \times d_{i,p}^4$	26,98	7265,2478	21795,7435
38,5482	39,8392	$y = -927.4867 - 170.5089 \times d_{i,p} + 30.9727 \times d_{i,p}^2 - 0.2774 \times d_{i,p}^3$	42,96	26915,1630	67287,9076
38,2818	39,3575	$y = -741.6310 + 174.5668 \times d_{i,p} + 12.6143 \times d_{i,p}^2 - 0.1733 \times d_{i,p}^3$	13,26	3386,4601	11513,9644
38,5335	39,5555	$y = -1549.2887 + 356.2349 \times d_{i,p} - 3.5121 \times d_{i,p}^2$	21,13	4409,8106	11465,5075
38,4828	39,4985	$y = -511.6983 + 198.4269 \times d_{i,p} + 5.3449 \times d_{i,p}^2 - 0.1500 \times d_{i,p}^3$	13,68	2819,4128	7330,4732
38,4782	39,4888	$y = -662.4541 + 276.9516 \times d_{i,p} - 0.3949 \times d_{i,p}^2 - 0.0481 \times d_{i,p}^3$	12,72	2696,8229	7820,7863
38,4417	39,5800	$y = 984.4097 - 526.8854 \times d_{i,p} + 70.25017 \times d_{i,p}^2 - 1.4537 \times d_{i,p}^3$	17,84	5686,8592	15354,5199
38,3765	39,6375	$\ln(y) = 2.6436 \times \ln(d_{i,p}) + 0.0073$	22,38	3729,8167	8951,5600
38,3102	39,5598	$y = 193.1749 - 83.1988 \times d_{i,p} + 26.8051 \times d_{i,p}^2 - 0.4865 \times d_{i,p}^3$	18,41	4710,0473	12246,1231

Tablo 7.7'nin devamı

Enlem	Boylam	Grafik Denklemi	Uzaklık (km)	$(a_i + b_i X_i^{\,k} + c_i X_i^{\,k+1})$	$(a_i + b_i X_i^{\,k} + c_i X_i^{\,k+1})C_i$
38,3162	39,3732	$y = -1150.6142 + 304.8973 \times d_{i,p} - 1.7522 \times d_{i,p}^2$	9,31	1536,3743	4148,2107
38,4568	39,7543	$y = 401.1972 - 191.2918 \times d_{i,p} + 28.6557 \times d_{i,p}^2 - 0.3863 \times d_{i,p}^3$	32,96	11393,1086	29622,0824
38,3915	39,3997	$y = 201.6679 + 415.5307 \times d_{i,p} - 3.5352 \times d_{i,p}^2$	1,84	954,0319	2575,8860
38,2988	39,4453	$y = -1511.8742 + 273.6896 \times d_{i,p} - 1.9612 \times d_{i,p}^2$	12,51	1604,1345	4010,3361
38,4523	39,4582	$y = 450.5002 + 262.9610 \times d_{i,p} - 2.2029 \times d_{i,p}^2$	8,82	2599,4479	6758,5645
38,3813	39,6923	$\ln(y) = 0.1912 \times \ln(d_{i,p}) + 4.1870$	27,06	11625,8489	34877,5467
38,3813	39,6923	$\ln(y) = 0.1904 \times \ln(d_{i,p}) - 4.4029$	27,06	14120,4842	39537,3557
38,2900	39,6580	$\ln(y) = 0.1377 \times \ln(d_{i,p}) + 5.2098$	26,94	7468,1563	20164,0221
38,3732	39,7108	$\ln(y) = 0.1135 \times \ln(d_{i,p}) + 5.7439$	28,75	8154,5007	22832,6020
Toplam				420661,3877	1190737,5284

Eşitlik 5.9'a göre ilgili konuma ait deprem büyüklüğü; $1190737{,}5284/420661{,}3877 = 2{,}83$ olarak bulunur. Aynı hesaplamalar diğer konumlar içinde gerçekleştirildi ve elde edilen sonuçlar Tablo 7.8'de verildi.

Tablo 7.8. RUZNTYV yöntemine ait tahmin sonuçları

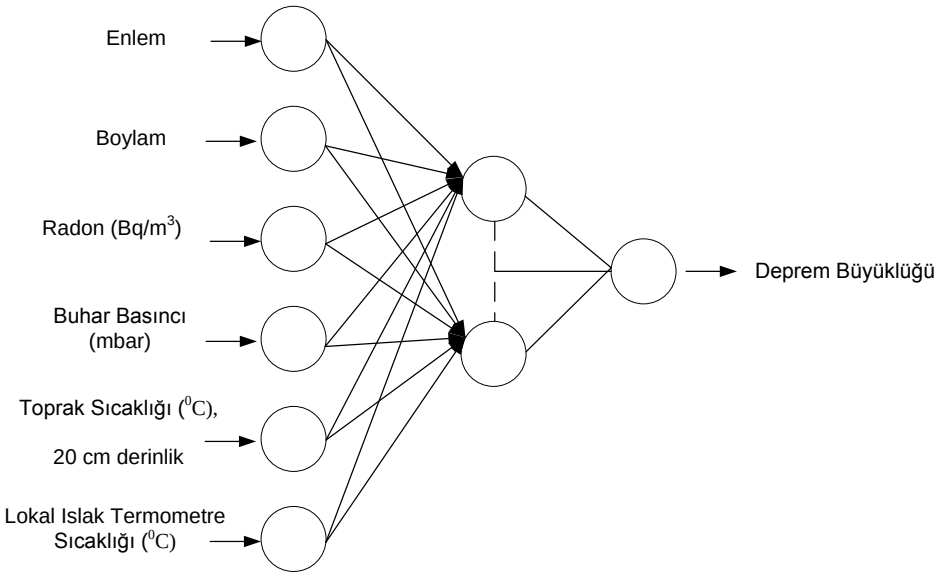
Enlem	Boylam	Derinlik	Deprem Büyüklüğü		Yüzde Bağıl Hata (%)
			Gerçek Değer	Tahmin Değeri	
38,4000	39,3815	5,5	2,9	2,83	2,41
38,3813	39,3542	7,1	3,2	3,1	3,12
38,5603	39,5862	5	3,4	3,3	2,94
38,5455	39,5792	11,6	2,8	2,7	3,57
38,3147	39,5050	4,6	3,1	3	3,23
38,5928	39,6960	5	2,5	2,6	4
38,3200	39,3500	12	3,8	3,6	5,26
38,4782	39,4888	9	2,9	3	3,45
38,2818	39,3575	2,3	3,4	3,3	2,94
38,3343	39,5113	6,7	3,3	3,4	3,03
38,2518	39,3930	9,8	2,6	2,5	3,85
38,5775	39,5945	6,4	3	3,1	3,33
38,3732	39,7108	12,2	2,8	2,7	3,57
38,4413	39,3878	5	3,2	3,2	0

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda ortalama %3 kadarlık bir hata payıyla kestirim işlemi gerçekleştirildi. Bu sonuç ilgili yöntemin kestirim işleminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğinin bir göstergesidir. Aynı zamanda az sayıdaki veriyle bile güvenli sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Diğer taraftan uzaysal analiz hesaplamalarının minimum 7 veri ile yapılabilirliği durumu literatürde açıktır (Külahcı ve Şen, 2007, 2008, 2009a, 2009b). Bu yöntemin tek dezavantajı normal dağılım sergileyen değişkenlerin kullanılmasını gerektirmesidir. Ancak YSA'da olduğu gibi ezberleme olayı olmadığından ve konumsal kombinasyona bağlı olarak tahminleme yaptığından az sayıda veri ile tahminleme yapılması gereken durumlarda daha kullanışlı bir yöntem olacaktır.

7.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi (YSA) ile Analiz

Çalışmada YSA yöntemi ile modellemede, İleri Beslemeli Geri Yayılım Yapay Sinir Ağı kullanılmıştır. Bu ağın tercih edilmesinin nedeni, literatürde tahmin çalışmalarında yaygın kullanılan bir yöntem olmasından ve hem lineer hem de non-lineer davranış segileyen yapıların modellenmesinde güvenilir sonuçlar vermesinden dolayıdır. YSA ile tahmin yapabilmek için öncelikle ağın eğitilmesi gerekmektedir. Ağ eğitiminin tamamlanmasından sonra ağın öğrenip öğremediğini ölçmek için ağın test edilmesi gerekir. Test aşamasında, ağın eğitimi sırasında görmediği veri seti kullanılmaktadır ki bu veriler test verisi olarak adlandırılır. Bu işlem esnasında ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Test verisinin bu ağırlıklar ile işleme tabi tutulması neticesinde bu verilere karşılık gelen çıktılar üretilir. Elde edilen sonuçların doğruluk derecesi ne kadar iyi olursa eğitimin performansıda o kadar iyi olacaktır.

Ergani istasyonunun 30 km çevresinde meydana gelen deprem sayısı 72'dir. Bu deprem tarihlerine karşılık gelen ^{222}Rn ve çevresel değişken ölçümleri ile birlikte eğitim ve test verileri belirlenmiştir. Verilerin %80'i (≈58 tane) öğrenme amaçlı, %20'si (≈14 tane) ise test amaçlı kullanılmştır. Test amaçlı kullanılan girdi verileri bir önceki bölümde Tablo 7.2'de yeralan verilerdir. Şekil 7.2'de görüldüğü gibi çalışmada Girdi Katmanı, Gizli Katman ve Çıktı Katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli bir YSA modeli kullanılmıştır.



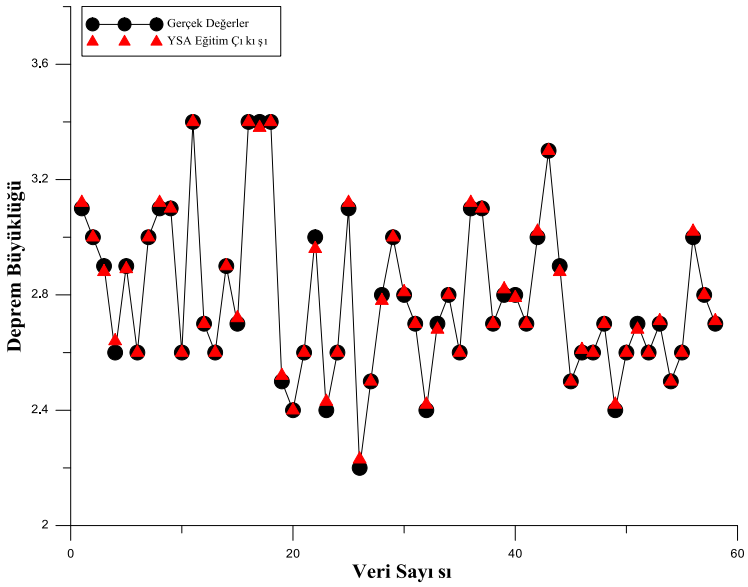
Şekil 7.2. Çalışmada kullanılan YSA modeli

Geri yayılım öğrenme algoritması sürekli ve türevlenebilir aktivasyon fonksiyonu ile işlem elemanlarını içeren çok katmanlı ileri beslemeli ağa uygulanmıştır. Gizli katman sayısının belirlenmesinde kesin bir kural olmadığı için deneme yoluyla en iyi sonucu veren gizli katman sayısı belirlendi. Yapılan denemeler neticesinde en iyi sonucun tek gizli katmanda elde edildiği görüldü ve kullanılan nöron sayısı ise 11 olarak alındı. Girdi ve Gizli Katman arasına Tanjant Sigmoid Fonksiyonu ve Saklı Katman ile Çıktı Katmanı arasına Lineer Transfer Fonksiyonu uygulandı. Geri Beslemeli eğitim metodu olarak ise, Levenberg-Marquardt algoritması seçilmiştir. Bu algoritmanın seçilmesinin nedeni, orta büyüklükteki YSA'lar için en hızlı yakınsamaya sahip olmasından dolayıdır. Quasi-Newton metoduna benzer olarak bu algoritma Hessian matrisi hesaplamaksızın 2. derecede eğitim hızına sahip yaklaşımla tasarlama yapar (Külahcı vd., 2009c). LM algoritmasının yanında RUZNTYV'nin ve YSA modelinin güvenilirliğini test etmek için hesaplamalar Momentumlu Geri Yayılım (MÖA) ve Vogl Öğrenme (VÖA) Algoritmalarıyla da yapıldı (Tablo 7.9). Çalışmada iterasyon sayısı ise 30000 olarak alındı. Elde edilen performans değerlerine göre oluşturulan YSA'nın eğitimi için öğrenme oranı 0,01 ve momentum katsayısı ise 0,6 olarak belirlendi. Elemanların birleşme fonksiyonu ise toplama fonksiyonu olarak belirlenmiştir. YSA yöntemi ile elde edilen tahmin sonuçları Tablo 7.9'da verildi. Elde edilen bütün sonuçlar incelendiğinde ortalama %4'lük bir hata payı ile tahmin işleminin gerçekleştiği görüldü. Veri sayısının arttırılması ile daha güvenli sonuçlar elde etmek mümkün olabilir. Her iki yöntem neticesinde elde edilen sonuçlardan yola çıkarak şu sonuca varmak mümkündür. Normal dağılım sergileyen ancak az sayıdaki veriyle tahmin işleminde RUZNTYV yöntemi, YSA'dan daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Ayrıca RUZNTYV yöntemi neticesinde elde edilen grafikler incelenen değişkenin hem konumsal hem de çevresel değişkenlere bağlı olarak nasıl bir değişim sergilediği hakkında bilgi vermekte ve bölgenin karakteristiğini belirlemede önemli katlı sağlamaktadır. Ancak aynı durumu YSA için söylemek mümkün değildir. Ayrıca YSA'da eğitim sırasında sistemin programa kaç defa okutulacağını gösteren döngü sayısı oldukça önemlidir. Çünkü hatalı bir modelin kurulup kurulmadığı buna bağlıdır. Yani döngü sayısının aşırı öğrenmeye neden olmayacak kadar yüksek, öğrenmenin olmayacağı kadarda az olmaması gerekmektedir. RUZTYV yönteminde ise böyle bir kısıtlama bulunmamaktadır. Bu nedenle YSA'da elde edilen girdi ve çıktı sonuçları için arasındaki korelasyona bakmak gerekmektedir. Bu ilişki 1'e ne kadar yakınsa modelin o kadar geçerli olduğu söylenir.

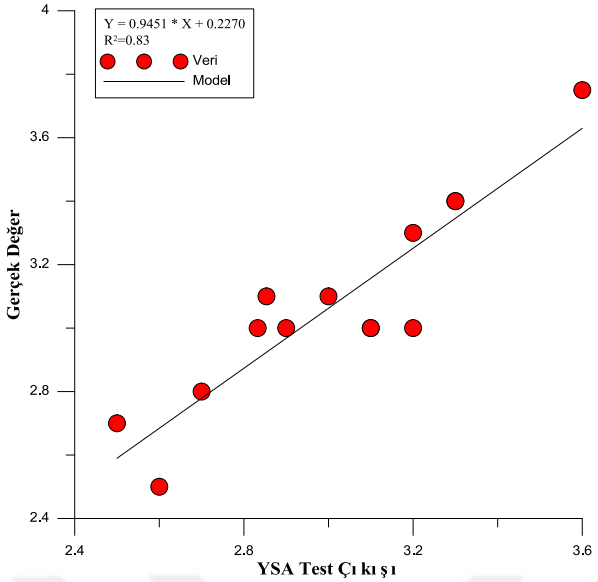
Tablo 7.9. YSA yöntemine ait tahmin sonuçları

Enlem	Boylam	Derinlik	Deprem Büyüklüğü	LM	Bağıl Hata (%)	MÖA	Bağıl Hata (%)	VÖA	Bağıl Hata (%)
38,4000	39,3815	5,5	2,9	3,1	6,89	3,1	6,89	3,1	6,89
38,3813	39,3542	7,1	3,2	3,3	3,12	3,3	3,12	3,3	3,12
38,5603	39,5862	5	3,4	3,3	2,94	3,3	2,94	3,3	2,94
38,5455	39,5792	11,6	2,8	2,9	3,57	2,9	3,57	2,9	3,57
38,3147	39,5050	4,6	3,1	3	3,23	3	3,23	3	3,23
38,5928	39,6960	5	2,5	2,7	8	2,7	8	2,7	8
38,3200	39,3500	12	3,8	3,6	5,26	3,6	5,26	3,6	5,26
38,4782	39,4888	9	2,9	2,8	3,44	2,8	3,44	2,8	3,44
38,2818	39,3575	2,3	3,4	3,3	2,94	3,3	2,94	3,3	2,94
38,3343	39,5113	6,7	3,3	3,4	3,03	3,4	3,03	3,4	3,03
38,2518	39,3930	9,8	2,6	2,7	3,85	2,7	3,85	2,7	3,85
38,5775	39,5945	6,4	3	3,1	3,33	3,1	3,33	3,1	3,33
38,3732	39,7108	12,2	2,8	2,7	3,57	2,7	3,57	2,7	3,57
38,4413	39,3878	5	3,2	3	6,25	3	6,25	3	6,25
38,4000	39,3815	5,5	2,9	3,1	6,89	3,1	6,89	3,1	6,89

Eğitim verilerinin YSA çıkışlarına karşı çizilen grafiği Şekil 7.3'de, test ve gerçek çıktıların karşılaştırıldığı grafik ise Şekil 7.4'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Deprem verileri için eğitim ve gerçek çıkışların grafiği



Şekil 7.4. Test ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Şekil 7.3 ve 7.4 kurulan YSA modelinin geçerli olduğunu göstermektedir. Veri sayısının arttırılması ile daha güvenilir tahminler yapmak mümkündür ancak elde edilen sonuçlar veri sayısının kısıtlı olduğu durumlarda RUZNTYV yönteminin daha kullanışlı olduğunu göstermektedir. Bunun yanısıra RUZNTYV yönteminde verilerin eğitim ve test verisi şeklinde ayrılmasına gerek yoktur. Ayrıca ezberleme olayıda olmadığından YSA'ya göre daha kullanışlıdır.

7.3. ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Birçok farklı alanda kullanılan zaman serileri, incelenen değişkenlerin bir dönemden farklı bir döneme zaman içinde nasıl değiştiğini, özelliklerini ve yapısını ortaya koymaya çalışır. Bu işlem zaman boyutunda yapılmakta olup; değişken değişimleri günlük, aylık veya yıllık ölçekte açıklanabilir. Genellikle zaman serileri eğilimleri üç farklı yolla ölçülür. Bunlar; yarı ortalama (semi-averages), hareketli ortalama (moving averages) ve en küçük kareler (least squares) yöntemleridir (Külahcı ve Çiçek, 2014). Hareketli ortalama tüm veri setinin farklı alt kümelerinin ortalamalarının bir serisini oluşturarak analiz yapmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010). Bu çalışmada hareketli ortalama yöntemi kullanılarak her bir istasyonda ^{222}Rn derişimindeki eğilimin depremler ile birlikteki ilişkisi belirlenmeye çalışıldı.

Zaman Serisi analizi, incelenen veri içindeki farklı ya da aykırı durumların tespiti için oldukça büyük kolaylık sağlamaktadır (Karagöz, 2009). Bu verilerin tespit edilmesi incelenen değişkenin davranışının doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanması açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla çalışmada ^{222}Rn derişiminin depremler ile birlikte değişimini gösteren Zaman Serisi grafikleri çizilerek meydana gelen değişimler yorumlanmaya çalışıldı.

^{222}Rn davranışının Zaman Serisi ile analizinin oluşabilecek depremler hakkında önemli bilgiler sağladığını gösteren birçok çalışma vardır. Örneğin; 1966'daki Taşkent depreminden önce Ulumov ve Mavashev tarafından ^{222}Rn'nin zamansal değişiminin yer aldığı raporda 1956-1959 yılları arasında ^{222}Rn'nin yavaşça değiştiği, 1965 yılında ise ^{222}Rn derişiminin hızla artarak 20 Nisan 1966 yılında başlangıçtaki derişim değerinin yaklaşık 3 kat arttığı görülmüştür (Teng, 1980). Çin'de 7.3 büyüklüğünde meydana gelen Haicheng depremi öncesi ^{222}Rn zamansal değişiminin izlenmesi, oluşacak depremin birkaç saat öncesinde tahmin edilmesini sağlamıştır (Teng, 1980). 1975-1977 yılları süresince Çin'de meydana gelen büyük depremlerde ^{222}Rn derişimindeki zamansal değişimin deprem tahminine katkıda bulunduğu saptandı. Yine Çin'de Kutzan istasyonunda 1972-1976 yılları boyunca ^{222}Rn derişiminin zamansal değişimi incelenmiş ve bu süre içinde meydana gelen 9 depremden 8'inde depremlerden 6-13 gün önce ^{222}Rn seviyesinin %36-%120 büyüklüğünde arttığı görüldü (Teng, 1980). Taşkent'te ^{222}Rn derişiminin zamansal değişiminin incelendiği gözlemlerde 1976 Mayıs ayında termal mineral sularında derişimin 1 gün içinde 4 kat arttığı ve 7.3 büyüklüğündeki depreme kadar 4 gün boyunca dalgalandığı görülmüştür (Tanner, 1980). Külahcı ve Çiçek 23 Haziran 2011 tarihinde Doğu Anadolu Fayı'nda yer alan İçme (Elazığ) konumunda meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki depremden 21 gün önce su ve topraktaki ^{222}Rn konsantrasyonunun yaklaşık %70-99 civarında arttığını Zaman Serisi analizi ile göstermiştir (Külahcı ve Çiçek, 2014). Tüm bu çalışmalar Zaman Serisi analizi ile ^{222}Rn davranışını izlemenin, oluşan aykırı değerlerin tespitinin ve yorumlamasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Günümüze kadar birçok çalışmada ^{222}Rn derişiminin zamansal değişimi incelenmiş ve ^{222}Rn anomalilerinin önemli bilgiler sağladığı görüldü (King, 1978, 1980, 1996; Shapiro vd., 1980; Teng, 1980; Planinić vd., 2001, 2004; Miklavčić vd., 2008; Vizzini ve Brai, 2012; Külahcı ve Çiçek, 2014; Tarakçı vd., 2014; Kumar vd., 2015; Sadat-Noori vd., 2015). ^{222}Rn derişiminin zamansal değişimlerinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için aynı süre içinde ölçülen meteorolojik değişkenlerin Zaman Serisi

grafiklerinin de incelenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar meteorolojik değişkenlerin ortalama ^{222}Rn derişimini ±1σ (1 standart sapma) kadar değiştirdiğini ya da ortalama değerin yaklaşık %10'u kadarlık bir değişime neden olduğunu gösterdi (Virk ve Singh, 1993; Planinić vd., 2001). Dolayısıyla ortalama ^{222}Rn seviyesinin ±1σ'nın ile ±2σ üstündeki değerler ^{222}Rn anomalisi olarak kabul edilmektedir (Virk 1993, 1995; Boukhol 1995; Planinić vd., 2001, 2004; Miklavčić vd., 2008). Buna bağlı olarak Zaman Serisi grafiklerinden faydalanarak tespit edilen piklerin meteorolojik etkenlerden ya da sismik faaliyetlerden kaynaklı olup olmadığını söyleyebilmek mümkündür (Planinić vd., 2001, 2004; Miklavčić vd., 2008). Bunun için çalışmamızda herhangi bir sismik faaliyetin olmadığı, ancak basınç ve sıcaklık değişkenlerinin büyük değişimler gösterdiği karakteristik noktalar, Zaman Serisi grafiklerinden faydalanarak tespit edilmiş ve bu değişkenler ile ^{222}Rn arasında kurulan çoklu regresyon denkleminden faydalanılmıştır. ^{222}Rn derişiminin en büyük değere ulaştığı tarihte ölçülen çevresel değişkenlerin değerleri çoklu regresyon denkleminde yazılarak, ^{222}Rn derişiminin tahmini değeri elde edilmiş ve bu değer gerçek değerle kıyaslanmıştır. Bu iki veri arasındaki fark standart sapma değeri ile kıyaslanarak ^{222}Rn derişimindeki değişimin sismik kaynaklı olup olmadığı belirlenmeye çalışıldı. Bu yöntem özellikle 3 ve 3'ten büyük depremler için uygulandı.

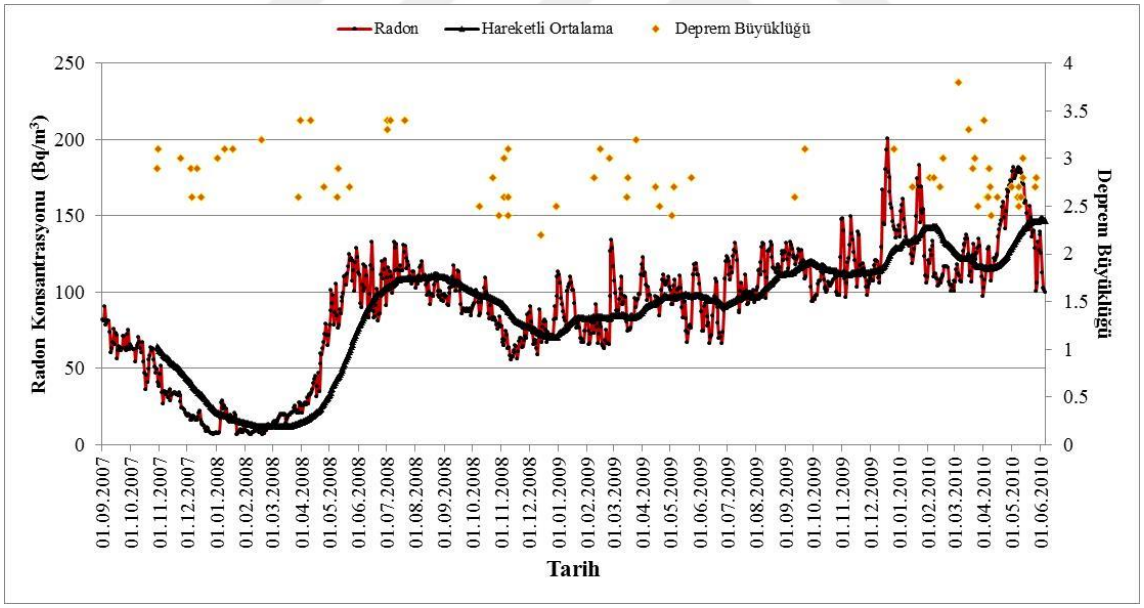
İncelenen bölge; sismik faaliyetler açısından oldukça yoğun olduğundan, Ergani istasyonu haricindeki tüm istasyonlarda, çalışma süresi boyunca meydana gelen ^{222}Rn değişimlerinin yer aldığı genel Zaman Serisi grafiklerinde sadece 3 ve 3'ten büyük depremlere yer verildi. Bu süre boyunca meydana gelen tüm depremler ise aylık ^{222}Rn değişiminin incelendiği Ek 3-Ek 9'da yer alan Zaman Serisi grafiklerinde yer almaktadır. Her bir istasyonun 30 km çevresinde meydana gelen bu depremler ile ilgili istatistiki bilgiler ise Tablo 7.10'da verildi.

Tablo 7.10. İstasyonların 30 km çevresinde meydana gelen depremlere ait tanımlayıcı istatistikler

	Deprem Büyüklüğü						
	Ergani	**Gezin**	**Helindir**	**Kösebayır**	**Palu**	**Sivrice**	**Soğukpınar**
Ölçüm Sayısı	72	558	211	774	430	754	630
Minimum	2,2	2	2	2	2,2	2	2
Maksimum	3,8	4,3	3,8	4,3	3,8	5,9	5,9
Ortalama	2,84	2,87	2,77	2,86	2,85	2,89	2,87
Ortanca	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
Ortalama Sapma	0,25	0,014	0,236	0,254	0,204	0,28	0,264
Standart Sapma	0,31	0,33	0,296	0,328	0,25	0,394	0,363
3 ≤ Deprem sayısı	25	200	49	259	148	267	217

7.3.1. Ergani İstasyonu ^{222}Rn derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Araştırma süresi boyunca ilgili istasyon için elde edilen ^{222}Rn derişimi ve depremlere ait Zaman Serisi grafiği Şekil 7.5'de verildiği gibidir. Bu şekil incelendiğinde ilk dikkati çeken durum, ^{222}Rn derişimindeki değişimin mevsimsel periyodiklik göstermemesi olmuştur. Geçmişte ve günümüzde ^{222}Rn derişiminin günlük ve mevsimsel değişiminin incelendiği birçok çalışmada, derişim değerinin yaz mevsiminde artıp, kış mevsiminde azalan bir yapı sergilediği görüldü (Sharman, 1992; King, 1994; Muramatsu, 2002; Al-Shereideh, 2006; Baykut vd., 2010; Choubey vd., 2011; Duenas vd., 2011; Hayashi vd., 2015; Tchorz-Trzeciakiewicz ve Parkitny, 2015; Moreno vd., 2016). Bahsedilen bu durum toprak yapısına bağlı olarak sadece meteorolojik değişkenlerin etkisinde kalan ^{222}Rn için geçerlidir (King, 1994). Dolayısıyla bu istasyonda ^{222}Rn derişiminde meteorolojik etmenlerden ziyade farklı faktörlerin etkili olduğunu ve dönem dönem bu faktörlerin değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür.



Şekil 7.5. Ergani istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Şekil 7.5'de ^{222}Rn derişiminin 2007'nin sonlarına kadar azaldığı bunun dışında genel anlamda artan bir eğilimde olduğu, dönem dönem ise ani artış ve azalışların meydana geldiği görülmektedir. Bu değişimlerin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için ^{222}Rn derişimini etkileyen tüm değişkenlerin zaman içindeki değişimlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla çalışma süresi boyunca hem ^{222}Rn hem de meteorolojik

değişkenlerin aylık ortalama değerleri hesaplanarak Tablo 7.11'de verilmiştir. Ayrıca ^{222}Rn derişiminin depremler ile birlikte aylık değişimlerini gösteren ayrıntılı Zaman Serisi grafikleri de Ek 3'de gösterilmiştir.

2007 yılı sonbahar mevsiminde ^{222}Rn derişimi 32-71 Bq/m^3 aralığında değişirken, 2008 ve 2009 yılları sonbahar mevsiminde sırasıyla 67-97 Bq/m^3 ile 106-119 Bq/m^3 aralığında değer aldığı görülmektedir (Tablo 7.10). Yine aynı tabloda bahsedilen dönemler için ts_10, ts_20, ts_50, bb, ıts ve kts sıcaklığı değerleri incelendiğinde çok büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir. Farklı tarihlerde ki aynı mevsimlerde meteorolojik değişkenlerde büyük farklılıklar olmamasına rağmen ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu farklılığın ancak sismik faaliyetlerden kaynaklandığı söylenebilir. Ek 3'de yer alan aylık değişimler incelendiğinde de bahsedilen dönemlerde meydana gelen deprem sayılarının farklı olduğu görülmektedir. Özellikle 2008 yılı sonbahar döneminde 2007 ve 2009 yılına göre daha fazla deprem meydana gelmiştir. Bilindiği üzere ^{222}Rn derişimindeki artışlar depremlerden birkaç ay önce olabildiği gibi deprem esnası ve sonrasında da olabilmektedir (Külahcı, 2013; Külahcı ve Şen, 2014). 2009 yılı sonbahar mevsiminde meydana gelen deprem sayısı diğer iki yıla göre daha az olmasına rağmen ^{222}Rn derişiminin fazla olması daha öncesinde meydana gelen depremlerin oluşturduğu kırıklar nedeniyle ^{222}Rn salınımının artmasından ya da bu dönemden sonra artış gösterecek olan sismik faaliyetlerin göstergesi olmasından kaynaklanmış olabilir. Gerek Şekil 7.5, gerekse Ek 3 incelendiğinde de Aralık 2009 itibariyle yoğun bir sismik faaliyetin başladığı görülmektedir. Daha önce Tablo 7.2'de yer alan korelasyon tablosu incelendiğinde de ^{222}Rn ile depremler arasında güçlü bir ilişkinin olması bu durumu açıklar niteliktedir.

Aralık 2007, Ocak-Şubat 2008 itibariyle ^{222}Rn derişimi 9-14 Bq/m^3 aralığında değişmekte olup, çalışma süresi boyunca en düşük değere sahip olmuştur. Kış mevsimlerinde toprak yüzeyini örten kar katmanı nedeniyle ^{222}Rn salınımı azalmaktadır (Cothern ve Smith, 1987). İlgili süre boyunca ^{222}Rn derişiminin düşük olması bundan kaynaklanmaktadır. Ancak Ocak ve Şubat ayında küçükte olsa ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Ek 3'de yer alan aylık değişimler ayrıntılı olarak incelendiğinde Ocak ayında 3 ve 3'den büyük üç tane, Şubat ayında ise 3 büyüklüğünde bir tane depremin olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu sismik aktivitelerin ^{222}Rn derişiminde ani değişimlerin gözlenmesine sebep olduğu söylenebilir. Daha öncede bahsedildiği gibi kış mevsimi ^{222}Rn derişiminin diğer mevsimlere göre daha az olması beklenmektedir. 2008 ve 2009 kış mevsimi ^{222}Rn ortalama derişim değerlerinin diğer mevsimlere göre daha düşük

olduğu Tablo 7.11'de görülmektedir. Ancak 2009 kış mevsimi ortalama ^{222}Rn derişim değerinin bir önceki yılın gerek ilkbahar gerekse sonbahar ortalamasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 2010 kış ortalama değerinin de 2009 yılı tüm mevsim ortalama değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7.5 incelendiğinde bu dönemlerde sismik faaliyetlerin de artış gösterdiği ve değişimin bundan kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca 2009 sonbahar döneminden sonra 2010 kış mevsiminde ^{222}Rn derişiminin azalmayıp değerinin artmış olması ve meydana gelen deprem sayısındaki artış bunun kanıtı niteliğindedir.

Tablo 7.11. Ergani istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
Eylül 2007	71	22	25	26	9	10	16
Ekim 2007	56	16	19	21	9	8	11
Kasım 2007	32	7	9	13	6	1	3
Aralık 2007	14	2	4	7	4	-3	-1
Ocak 2008	15	-2	-1	2	2	10	-8
Şubat 2008	9	-1	-1	1	2	-9	-7
Mart 2008	19	6	8	7	5	2	6
Nisan 2008	44	13	14	14	8	7	11
Mayıs 2008	102	16	8	19	10	9	13
Haziran 2008	102	22	24	24	8	11	18
Temmuz 2008	115	26	28	28	12	15	22
Ağustos 2008	104	27	30	29	16	17	23
Eylül 2008	97	21	25	26	12	12	16
Ekim 2008	90	13	16	19	9	8	9
Kasım 2008	67	7	10	12	7	3	4
Aralık 2008	77	2	4	6	4	-4	-2
Ocak 2009	89	0	1	3	3	-5	-3
Şubat 2009	80	4	5	5	5	0	2
Mart 2009	93	6	7	8	5	1	3
Nisan 2009	101	11	13	13	7	5	8
Mayıs 2009	96	17	19	18	8	9	14
Haziran 2009	87	22	24	23	10	12	19
Temmuz 2009	105	26	28	27	10	13	21
Ağustos 2009	119	25	28	28	8	11	19
Eylül 2009	119	20	23	25	9	10	14
Ekim 2009	106	15	18	20	7	6	11
Kasım 2009	119	7	10	12	7	3	4
Aralık 2009	140	5	6	8	6	2	3
Ocak 2010	141	4	5	7	5	-1	2
Şubat 2010	113	4	6	6	5	0	2
Mart 2010	120	8	9	10	6	3	5
Nisan 2010	135	12	14	14	8	6	8
Mayıs 2010	156	18	20	20	12	12	16
Haziran 2010	113	23	25	24	13	15	22

2008 ilkbahar mevsiminde artmaya başlayan ^{222}Rn derişiminin yaz mevsiminde bu yılın maksimum seviyesine ulaştığı ve sonbahar itibariyle tekrar azaldığı görülmektedir. Bu sadece çevresel değişkenlerin etkisi altında kalan ^{222}Rn gazı davranışı için beklenen bir durumdur. Çünkü sonbahar mevsiminde yağışlar diğer mevsimlere göre artış göstermekte ve nemli topraktan ^{222}Rn gazı salınımını azalmaktadır (Cothern ve Smith, 1987; Durrani ve Ilić, 1997). Bu nedenle 2008 dönemi boyunca meydana gelen ^{222}Rn derişim değişiminde çevresel etkilerin sismik faaliyetlerden daha etkin olduğu söylenebilir. 2009 yılı ilkbahar döneminde başlayan artışın ise yılsonuna kadar devam ettiği görülmektedir. Oysaki normal şartlarda beklenen durum 2008 yılında olduğu gibi yaz sonu itibariyle derişimin azalmaya başlaması yönündedir. 2009 yaz mevsiminde ortalama 104 Bq/m^3 değerine sahip olan ^{222}Rn derişim değeri, sonbaharda ortalama 115 Bq/m^3'e ulaşmış, 2010 kışı itibariyle 131 Bq/m^3 değerine kadar artmıştır. Bahsedilen dönemlerde meydana gelen sismik faaliyetler incelendiğinde 2009 yılı sonu ile 2010 yılı başından itibaren yoğunluğu artan sismik faaliyetlerin olduğu görülmektedir (Şekil 7.5). Dolayısıyla 2009 yılı itibariyle ^{222}Rn derişiminde meydana gelen değişimlerde çevresel değişkenlerden ziyade sismik faaliyetlerin daha etkin olduğu söylenebilir. 2010 yılı ilkbahar mevsiminde derişim değeri artmaya devam ederek ortalama değeri 137 Bq/m^3'e ulaşmıştır. 2009 yılı sonu 2010 yılı başından itibaren ^{222}Rn derişimi gözlem süresinin sonuna kadar bir artış göstermiştir. Aynı zaman zarfı içinde sismik faaliyetlerde de diğer yıllara nazaran daha yoğun bir artış görülmektedir. Çalışma süresi boyunca meydana gelen ^{222}Rn derişim değişiminin genel olarak depremler ile birlikte olduğu ancak çok büyük anomalilerin meydana gelmediği görülmektedir (Şekil 7.5). Bu durumun çalışma bölgesinin toprak yapısıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Çünkü ilgili bölgenin toprak yapısı ve gözenekliliği ^{222}Rn gazı çıkışını etkilemektedir (Durrani ve Ilić, 1997). Bu bölgenin genel toprak yapısının çamur taşları ve kireç taşlarından meydana gelmesinin çok büyük anomalilerin gözlemlenmesini engellediği düşünülmektedir.

Gerek deprem öncesi gerekse deprem sonrası meydana gelen ^{222}Rn gazı anomalilerinin tespit edilmesi oldukça önemli olmasına rağmen, deprem öncesi meydana gelecek olan değişimlerin belirlenmesi çok daha önemlidir. Şekil 7.5'de yer alan pikler incelendiğinde hangi değişimin çevresel faktörlerden hangisinin sismik faaliyetlerden kaynaklandığını istatistiksel yöntemler kullanarak söyleyebilmek mümkündür. Bunun için zaman serisi eğrilerinde seçilen karakteristik noktalar ile bu dönemde ölçülen çevresel değişkenler arasında kurulacak çoklu regresyon yönteminden faydalanılır (Planinić vd., 2004;

Miklavčić vd., 2008). Ek 10 Şekil 1'de yer alan grafiklerden faydalanarak, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalar tespit edildi ve bu verilere ait değerler Tablo 7.12'de verildi.

Tablo 7.12. Ergani istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
08.09.2007	81	25	27,6	28	7,2	12	23,4
05.10.2007	62	20	22	23,5	7,6	10,1	18
07.11.2007	35	11,4	13	15,4	9	7,6	10
20.12.2007	11	0,6	3,2	6,8	2,5	-7,4	-6
29.01.2008	8	1	0,8	1	5,7	0,7	2
03.03.2008	15	4,2	4,2	1,6	4,9	3,2	7,8
30.04.2008	72	15	16,4	18,4	13	11,7	13
30.06.2008	102	26	28	26,8	6,5	11,4	23
23.08.2008	107	28,2	29,6	29,2	10,7	15	25,5
15.10.2008	109	17,2	19	19,2	7,2	8,1	14
24.12.2008	72	3,5	3,4	4	6,9	2,8	3,8
07.01.2009	83	0,2	1	3	5,9	0,4	1
09.03.2009	110	9,2	8,8	7	9,9	7,8	9
16.05.2009	94	17,6	19,6	18	11,9	11,8	15
26.06.2009	74	24,2	25,6	24	5,4	9,8	21
09.07.2009	132	28	28,2	26,8	13	14,8	21,2
09.08.2009	131	28,8	30	28,4	18,7	17,6	20
28.08.2009	125	21	25,4	27,4	11,6	12,4	17
24.10.2009	111	14,8	17,4	19,2	8,8	7	9
08.12.2009	120	6,6	7,2	7,8	8,4	4,8	5,2
28.04.2010	166	13,6	15,6	16	13,1	11,4	12
21.05.2010	156	20,6	22,4	21,6	16,2	14,9	16,2

Ek 11 Tablo 2'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde ts_50 değişkeninin normal dağılım sergilemediği görülmüştür. Veri sayısı 30'dan küçük olduğu için burada Shapiro-Wilk testi sonuçları dikkate alındı. Bu test sonuçlarına göre Sig. değeri 0,05'ten küçük olan değişkenler normal dağılım sergilememektedir. Dolayısıyla, ts_50 değişkeni normal dağılım sergilemediğinden modelden çıkarıldı ve geri kalan değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisi incelendi. Ek 11 Tablo 3'de yer alan korelasyon tablosu incelendiğinde bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu görülmüştür. Bu istenmeyen bir durum olduğundan ts_10 ve ts_20 değişkenleri birleştirilerek ortalamaları alınmış ve bu değişkenler ortalama sıcaklık (*T*) olarak yeniden tanımlanmıştır. ıts ve kts değişkenleri ise modelden tamamen çıkarılmıştır. Dolayısıyla ^{222}Rn, sıcaklık ve bb değişkenleri kullanılarak elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 5 ve Ek 11 Tablo 6), *F* ve *t* testi sonuçlarına

göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ek 11 Tablo 6'da ki değerlere göre bu konum için bb değişkeninin ^{222}Rn üzerinde sıcaklıktan daha önemli bir tahminleyici değişken olduğu sonucuna varılır. Bu tabloda yer alan standardize edilmiş Beta katsayısına göre de en önemli bağımsız değişkenin bb olduğu görülmektedir. Aynı tabloda yer alan ikili ve kısmi korelasyon değerleri (0,718) incelendiğinde ^{222}Rn ile bb arasında pozitif yüksek düzeyli bir ilişkinin olduğu, ancak diğer değişken kontrol edildiğinde bu ilişkinin 0,601'e düştüğü görülmektedir. Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi aşağıdaki gibidir.

$$radon = 11{,}411 + 6{,}687bb + 1{,}022T \tag{7.10}$$

Olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.10'dan faydalanılır. Örneğin; Şekil 7.5 incelendiğinde 19 Aralık 2009 tarihinde ^{222}Rn derişiminin ani bir artış ve azalış sergilediği görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 201 (Bq/m^3) olup, bb ve sıcaklık ortalamasına (*T*) ait değerler sırasıyla 4,6 (hPa) ve 5,8 °C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.10'da yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri ise 48 Bq/m^3 olarak bulunur. Gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark ise 153 Bq/m^3 olarak bulunacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Ergani istasyonuna ait standart sapmanın yaklaşık 3,5 katıdır. Bu değer standart sapma değerini (σ) aştığından deprem öncü pik olarak adlandırılır. Aynı şekilde Şekil 7.5'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen ani değişimler tespit edildi ve bu durumun sismik kaynaklı olup olmadığı yukarıda örnekte belirtildiği gibi Denklem 7.10'dan faydanılarak belirlendi. Buna göre Ergani istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.13'te verilmiştir.

Tablo 7.13. Ergani istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

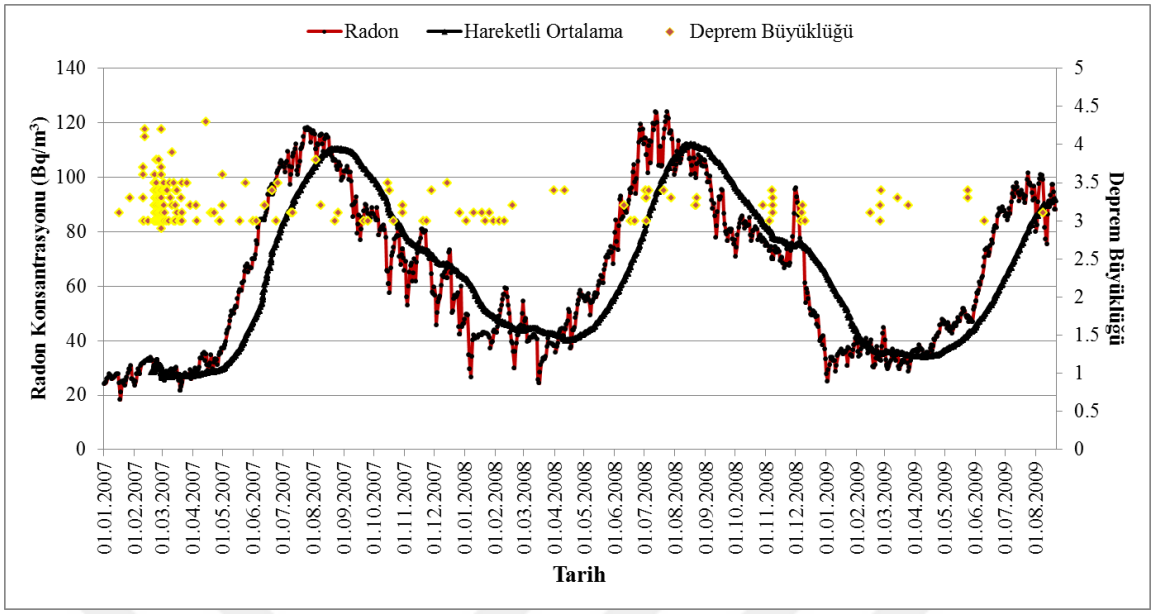
Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	T (^{0}C)	bb (hPa)
03.03.2008	27	11,8	8,5
19.12.2009	201	5,8	4,6
15.02.2010	109	5,6	5,2
04.03.2010	118	3,7	4,9
14.03.2010	138	10,3	7,5
21.03.2010	132	6,2	3,3
12.05.2010	178	19,3	13,2

Elde edilen sonuçlara göre Ergani istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 25 depremin, 7 tanesinde veya bir başka deyişle %28'de ^{222}Rn anomalisi görüldü. Bu değişimin uzun yıllar boyunca takip edilmesi ve karakteristiğinin çıkarılması gelecekte oluşabilecek depremlere yönelik daha sağlıklı değerlendirmelerin yapılmasını açısından önemlidir. Aynı hesaplamalar $M \geq 2,5$ için ve farklı etki alanı uzaklıkları için de gerçekleştirilebilir.

7.3.2. Gezin İstasyonu ^{222}Rn derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Sivrice Fay Zonu üzerinde yer alan bu istasyon için ^{222}Rn derişimi ve depremlere ait Zaman Serisi grafiği Şekil 7.6'da, çevresel değişkenler ile birlikte aylık ortalama derişim değerleri Tablo 7.14'de verildi. Ek 4'te ise çalışma süresi boyunca meydana gelen tüm depremler görülmektedir. Şekil 7.6 incelendiğinde ^{222}Rn derişiminin zaman içinde periyodik bir değişim gösterdiği ve sismik faaliyetin artış gösterdiği her dönemde derişim değerinin azaldığı görülmektedir. Bu süre zarfında derişim değerinin kış mevsimlerinde minimum, yaz mevsimlerinde ise maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Yani bu istasyonda ^{222}Rn derişimi, yoğun sismik faaliyetlere rağmen bir önceki kısımda bahsettiğimiz gibi toprak yapısına bağlı olarak sadece meteorolojik değişkenlerin etkisinde kalan bir durum sergilemiştir.

Gerek Şekil 7.6 gerekse Ek 4'te yer alan grafikler incelendiğinde çalışma süresi boyunca sismik faaliyet açısından en yoğun dönemin 2007 yılı Şubat ve Mart ayları olduğu aşikârdır. Bu dönemde ^{222}Rn derişimi hem diğer yılların aynı aylarına göre, hem de Ocak 2007 hariç geri kalan tüm aylara göre en düşük derişim değerine sahiptir (Tablo 7.14). Nisan 2007 itibariyle artışa geçen derişim değerinin bu dönemden 3-4 ay sonra yaklaşık %340 civarında artarak Temmuz ve Ağustos 2007 tarihinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. 2008 yılında Ocak, Kasım, Nisan ve Aralık ayları diğer aylara göre sismik faaliyetin en yoğun olduğu dönemlerdir (Ek 4). Aynı şekilde bu dönemlerdeki ^{222}Rn derişimi de aynı sene içindeki diğer aylara göre daha düşük derişim değerine sahiptir (Tablo 7.14).



Şekil 7.6. Gezin istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Kış ayları yağışlar nedeniyle genelde ^{222}Rn derişiminin düşük olduğu dönemlerdir. Ancak bu dönemlerde meydana gelen sismik faaliyetler derişim değerlerinde ani artış ya da azalışlara neden olabilir (Cothern ve Smith, 1987; Külahcı ve Şen, 2014). İlgili istasyon için en fazla sismik faaliyet kış döneminde meydana gelmesine rağmen derişim değerinde büyük değişimler görülmemiştir. Buna karşın 2007 kış dönemi hariç 2008 ve 2009 kışı ^{222}Rn derişimi ortalama değeri bu yılların bahar mevsimi ortalamasından daha yüksek değere sahip olmuştur. Genellikle yoğun sismik faaliyetlerden yaklaşık 3-4 ay sonra ise ^{222}Rn derişim artışı %300 civarında olmuştur. Bahsedilen bu dönem sıcaklığın arttığı ve topraktaki nemin azaldığı yaz mevsimlerine denk gelmektedir. Çalışma süresi boyunca meydana gelen tüm bu değişimlerde gelişen tektonik stresin mi yoksa çevresel etkenlerin mi daha baskın olup olmadığını anlamak için korelasyon analizi yapıldı. Elde edilen sonuçlara göre çevresel değişkenler ile ^{222}Rn arasında güçlü bir ilişkinin (ortalama 0,78) , deprem ile ^{222}Rn arasında ise zıt yönlü zayıf bir ilişkinin (-0,121) olduğu görülmüştür (Tablo 7.15). Yani meydana gelen deprem sayısı arttıkça ^{222}Rn derişimi azalmakta, sıcaklıklar ve basınç arttığında ise ^{222}Rn derişimide artmaktadır. Dolayısıyla bu istasyonda gözlemlenen ^{222}Rn değişimlerinde çevresel değişkenlerin daha baskın olduğu söylenir.

Tablo 7.14. Gezin istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m$^{3)}$	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts(^{0}C)
Ocak 2007	26	-1	0	2	3	-6	-4
Şubat 2007	30	2	3	3	3	-3	-1
Mart 2007	27	6	7	7	5	1	3
Nisan 2007	32	9	10	11	7	4	6
Mayıs 2007	55	18	19	18	11	12	16
Haziran 2007	90	23	25	25	11	13	19
Temmuz 2007	109	26	28	28	10	13	22
Ağustos 2007	109	27	29	29	13	15	22
Eylül 2007	90	22	25	26	9	10	16
Ekim 2007	76	16	19	21	9	8	11
Kasım 2007	69	7	9	13	6	1	3
Aralık 2007	57	2	4	7	4	-3	-1
Ocak 2008	41	-2	-1	2	2	-10	-8
Şubat 2008	47	-1	-1	1	2	-9	-7
Mart 2008	38	6	8	7	5	2	6
Nisan 2008	32	9	10	11	7	4	6
Mayıs 2008	55	18	19	18	11	12	16
Haziran 2008	96	22	24	24	8	11	18
Temmuz 2008	109	26	28	28	10	13	22
Ağustos 2008	109	27	29	29	13	15	22
Eylül 2008	90	22	25	26	9	10	16
Ekim 2008	76	16	19	21	9	8	11
Kasım 2008	69	7	9	13	6	1	3
Aralık 2008	57	2	4	7	4	-3	-1
Ocak 2009	34	0	1	3	3	-5	-3
Şubat 2009	37	4	5	5	5	0	2
Mart 2009	33	6	7	8	5	1	3
Nisan 2009	39	11	13	13	7	5	8
Mayıs 2009	47	17	19	18	8	9	14
Haziran 2009	74	22	24	23	10	12	19
Temmuz 2009	93	26	28	27	10	13	21
Ağustos 2009	90	26	29	28	8	11	20

Çalışma süresi boyunca genel beklenti nispeten geçirimli olan toprak yapısına bağlı olarak sıcaklık artışları ile birlikte ^{222}Rn derişiminin artmasından yana olacaktır (King, Minissale, 1994). Ancak Nisan 2008 ve Mart 2009 dönemlerine ait aylık ortalama ^{222}Rn derişim değerinin sıcaklık artışına rağmen bir önceki aya göre daha düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen korelasyon tablosuna göre bu istisnai bir durumdur. Yani ^{222}Rn derişimi bu iki dönemde çevresel değişkenlerden çok sismik faaliyetin etkisinde değişim göstermiştir. Ek 4'te yer alan aylık değişim grafikleri incelendiğinde bu dönemin sismik faaliyet açısından oldukça yoğun olduğu görüldü.

Yıllık ortalama ^{222}Rn derişimi değerlerine bakıldığında 2008 yılı 68 Bq/m^3 ile en yüksek değere sahiptir. Bunu 64 Bq/m^3 ile 2007 yılı ve 38 Bq/m^3 ile 2009 yılı takip etmektedir. Meydana gelen sismik faaliyetler açısından ise 363 deprem ile 2007 yılı ilk

sırada yer alırken, bunu 118 deprem ile 2008 ve 77 deprem ile 2009 yılı takip etmiştir. 2007 yılında meydana gelen deprem sayısı 2008 yılının 3 katı olmasına rağmen ^{222}Rn derişimi ortalamasında çok büyük bir fark olmaması dikkat çekmektedir. Bu durum da ilgili istasyon için ^{222}Rn değişiminde çevresel değişkenlerin daha etkili olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 7.15. Gezin istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	Deprem	**ts_10 (^{0}C)**	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb (hPa)**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	-0,121	0,830	0,841	0,871	0,653	0,728	0,764

Gezin istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 2'de yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.16'de verilmiştir.

Ek 11 Tablo 7'de ise bu verilere ait normallik testi sonuçları yer almaktadır. Bu tablodaki Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre bb değişkeninin Sig. değeri 0,05'ten küçük olduğundan normal dağılım sergilememektedir. Bu nedenle bb değişkeni modelden çıkarılmış ve geri kalan değişkenler arasındaki korelasyon incelenmiştir. Ek 11 Tablo 8'de yer alan korelasyon tablosu incelendiğinde ise bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu görüldü. İstatistiksel olarak daha güvenilir sonuçlar almak için ts_10, ts_20 ve ts_50 değişkenleri birleştirilerek ortalamaları alındı ve *T* olarak tanımlandı. ıts ve kts değişkenleri ^{222}Rn üzerinde diğer sıcaklık değerlerine göre daha az etkili olduğundan ve bu sıcaklık değerleri ile yüksek korelasyona sahip olduğundan modelden tamamen çıkarıldı. Dolayısıyla ^{222}Rn ve ortalama sıcaklık değişkenleri (*T*) kullanılarak elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 10 ve Ek 11 Tablo 11), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.11'de verildiği gibidir.

$$radon = 28{,}452 + 2{,}234T \tag{7.11}$$

Tablo 7.16. Gezin istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
06.01.2007	28	-0,2	-0,1	2,2	5,7	0,2	1
20.11.2007	80	8,2	9	11,4	9,5	7	7,8
29.01.2008	39	1	0,8	1	5,7	0,7	2
18.02.2008	39	0	-0,2	0,8	4,8	0,8	3,5
13.03.2008	41	6,8	7,6	6,6	3,8	1,2	6
16.04.2008	50	9,6	15,6	12,6	8,1	9,6	16
05.05.2008	57	15,4	17,6	18,4	13,4	12	13
27.06.2008	119	24,2	26,4	25,6	10	13	21,2
30.06.2008	112	26	28	26,8	6,5	11,4	23
02.08.2008	105	28,4	30,4	29,6	20	19,8	25
05.08.2008	107	28,4	30,6	29,6	21,6	20,8	25,8
15.10.2008	85	17,2	19	19,2	7,2	8,1	14
16.10.2008	79	16	18,4	19,2	12,2	10,8	12
23.10.2008	81	13,2	15,8	18,4	11,3	9,2	9,8
28.10.2008	76	13	14,4	16,6	11,7	10	11
08.11.2008	70	17,4	10,6	13,8	6,5	2,6	4
07.01.2009	34	0,2	1	3	5,9	0,4	1
03.04.2009	37	12,2	12,4	10,8	6,5	6,5	11,7
07.04.2009	37	12,2	13,6	11,4	5,8	7	14
04.05.2009	47	15,8	17,8	16,4	8,3	7,8	11,6
07.05.2009	45	14,8	16	15,8	9,6	9,2	12,5
16.05.2009	47	17,6	19,6	18	11,9	11,8	15
21.05.2009	51	21	22,8	20,2	8,6	11,4	19,5
22.05.2009	49	19,4	21,4	20,4	13,6	13,6	16,8
15.06.2009	72	23	25	23	12,8	14,3	20
16.06.2009	75	23	25	23,5	9,3	12,1	20
24.07.2009	101	28,4	30	28,4	10,2	13,8	23
27.07.2009	97	27,2	29	28,2	12,4	14,8	22,2
09.08.2009	87	28,8	30	28,4	18,7	17,6	20

Gezin istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.11'den faydalanılacaktır. Örneğin; Şekil 7.6 incelendiğinde 1 Aralık 2008 tarihinde ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 96 (Bq/m^3) olup, sıcaklık ortalamasına (T) 8,9 °C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.11'da yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri ise 48 Bq/m^3 olarak bulunur. Buna göre, gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark 48 Bq/m^3 olacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Gezin istasyonuna ait standart sapmanın yaklaşık 1,8 katıdır. Yani tahmin değeri 1σ ile 2σ arasında değer aldığından ve bu tarihten 5 ve 6 gün sonra birçok deprem meydana geldiğinden ^{222}Rn derişimindeki bu değişim öncü pik olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.6'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edildi ve Denklem 7.11'den faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem

öncüsü ^{222}Rn anomalileri tespit edildi. Buna göre Gezin istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.17'te verildi.

Tablo 7.17. Gezin istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	T (^{0}C)
03.03.2008	27	11,8
19.12.2009	201	5,8
15.02.2010	109	5,6
04.03.2010	118	3,7
14.03.2010	138	10,3
21.03.2010	132	6,2
12.05.2010	178	19,3

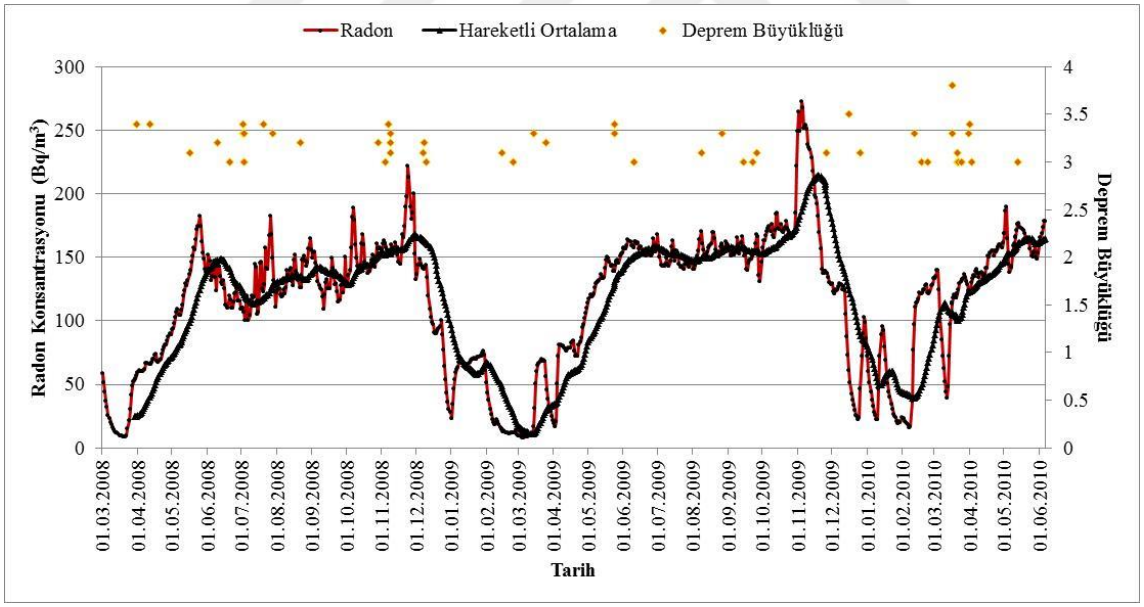
Elde edilen sonuçlara göre Gezin istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 200 depremin, 11 tanesinde ^{222}Rn anomalisi oluşmuştur. Yani Gezin istasyonunda bu büyüklükte meydana gelen depremlerin %6'sında ^{222}Rn anomalisi görülmektedir. Elde edilen bu sonuç ilgili konumun bir ön izleyici olarak kullanılamayacağını göstermektedir. Bu durum gerek bölgenin toprak yapısından ya da fay düzlemindeki malzemenin geçirgenliğinden kaynaklı olabilir.

7.3.3. Helindir İstasyonu ^{222}Rn derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Çalışma bölgemizde Hazar Gölü'nün güneyinde yeralan bu istasyona ait ^{222}Rn derişimi ve meydana gelen 3 ve 3'ten büyük depremlerin yer aldığı Zaman Serisi grafiği Şekil 7.7'de verildi. Çalışma süresi boyunca oluşan tüm depremler ise Ek 5'te yer alan Zaman Serisi grafiklerinde ayrıntılı olarak gösterildi. Şekil 7.7 incelendiğinde bu istasyonda da ^{222}Rn derişiminin Gezin istasyonunda olduğu gibi periyodik bir değişim sergilediği görülmektedir. Buna karşın meydana gelen pikler bu istasyonda daha belirgindir. Bu durumun ilgili istasyonun faya olan uzaklığından ve toprak yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü sismik olarak aktif çok sayıda fay içeren dar alanlarda bile ^{222}Rn gazı derişimi, çalışılan alanın litolojik, hidrolojik, yapısal özelliklerine ve fay düzlemindeki malzemenin geçirgenlik farklılığına bağlı olarak zamansal ve konumsal farklılıklar göstermektedir (Yaprak vd., 2003). Bu grafikte dikkat çekici bir başka nokta, ^{222}Rn derişimindeki periyodik değişimin Gezin istasyonundakinden farklı olmasıdır. Gezin

istasyonundaki derişim, yoğun sismik faaliyetlere rağmen sürekli yağışlı mevsimlerde azalıp, yaz mevsimlerinde artarken; Helindir istasyonunda, yağışın en bol olduğu dönemlerde dahi artış göstermiştir. Özellikle 2008 ve 2009 Kasım ayı sonlarında ^{222}Rn derişiminin maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Bu dönemde kısa aralıklarla meydana gelen 3 ve 3'ten büyük depremlerin ilgili durum üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Aynı durumun Gezin istasyonunda yaşanmamasının nedeninin farklı bir fay zonu üzerinde yeralmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü farklı faylar ve zonlar üzerinde kırıkların dağılımı, geometrisi ve geçirgenliği değiştiğinden bu kabuksal gazların yayılımını etkileyecektir (Yaprak vd., 2003).

Şekil 7.7 ve çevresel değişkenler ile birlikte aylık ortalama derişim değerlerinin yer aldığı Tablo 7.18 incelendiğinde, 2008 yılı Mart ayında 27 Bq/m^3 değerine sahip olan ^{222}Rn derişiminin Mayıs ayında yaklaşık 5 kat artarak 134 Bq/m^3 değerine ulaştığı, yaz mevsiminde ise ortalama 130 Bq/m^3 derişim değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu yılın en yüksek derişim değerine ise 168 Bq/m^3 ile Kasım ayında sahip olundu.



Şekil 7.7. Helindir istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Sıcaklık artışı ile birlikte ilkbaharın sonlarına doğru ^{222}Rn derişiminde genel bir artış beklenmektedir, ancak bu değişimin orantılı bir biçimde olmayıp ani bir değişim göstermesi oldukça dikkat çekicidir. 2008 Mayıs ayı; Mart ve Nisan aylarına göre sismik faaliyet açısından oldukça aktif bir dönem olmuş, en büyüğü 3.1 olmak üzere toplamda 7

deprem meydana gelmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte sismik faaliyetinde artış göstermiş olmasının ^{222}Rn derişiminde bu ani değişime sebep olduğu düşünülmektedir. 2008 yaz mevsimi boyunca ise ^{222}Rn derişimi dengeli bir değişim göstererek 127-137 Bq/m^3 arasında değer almıştır. Sonbahar itibariyle gerek sıcaklığın azalması, gerekse yağışların artması ile birlikte ^{222}Rn derişiminin gitgide azalması beklenirken, tersine derişim değeri artmış ve bu yılın en yüksek ortalama değerine (150 Bq/m^3) sahip olmuştur. 2008 sonbahar dönemi, ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre sismik açıdan en aktif dönem olmuştur. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde 13 deprem meydana gelirken, sonbahar döneminde en büyüğü 3.4 olmak üzere Kasım ayında 14, toplamda ise 25 deprem meydana gelmiştir (Ek 5). Bu mevsimde ^{222}Rn derişiminde azalma yerine artışın yaşanmasının bu sismik faaliyetlerden kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 7.18. Helindir istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10(^0C)	ts_20(^0C)	ts_50(^0C)	bb (hPa)	ıts (^0C)	kts (^0C)
Mart 2008	27	6	8	7	5	2	6
Nisan 2008	71	13	14	14	8	7	11
Mayıs 2008	134	16	18	19	10	9	13
Haziran 2008	127	22	24	24	8	11	18
Temmuz 2008	128	26	28	28	12	15	22
Ağustos 2008	137	27	30	29	16	17	23
Eylül 2008	132	21	25	26	12	12	16
Ekim 2008	151	13	16	19	9	8	9
Kasım 2008	168	7	10	12	7	3	4
Aralık 2008	102	2	4	6	4	-4	-2
Ocak 2009	64	0	1	3	3	-5	-3
Şubat 2009	19	4	5	5	5	0	2
Mart 2009	32	6	7	8	5	1	3
Nisan 2009	76	11	13	13	7	5	8
Mayıs 2009	137	17	19	18	8	9	14
Haziran 2009	157	22	24	23	10	12	19
Temmuz 2009	148	26	28	27	10	13	21
Ağustos 2009	156	25	28	28	8	11	19
Eylül 2009	153	20	23	25	9	10	14
Ekim 2009	173	15	18	20	7	6	11
Kasım 2009	200	7	10	12	7	3	4
Aralık 2009	85	5	6	8	6	2	3
Ocak 2010	44	4	5	7	5	-1	2
Şubat 2010	88	4	6	6	5	0	2
Mart 2010	108	8	9	10	6	3	5
Nisan 2010	145	12	14	14	8	6	8
Mayıs 2010	162	18	20	20	12	12	16
Haziran 2010	171	23	25	24	13	15	22

^{222}Rn derişimi ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren Tablo 7.19 incelendiğinde; ^{222}Rn derişimi ile ts_10, ts_20, ıts ve kts arasında pozitif yönlü orta düzeyde bir ilişkinin, bb ile pozitif yönlü zayıf bir ilişkinin ve ts_50 ile pozitif yönlü kuvvetli bir ilişkinin varolduğu görülür (Karagöz, 2009). Korelasyon değerleri çok yüksek olmadığından bu istasyonda ki ^{222}Rn derişimi değişimini yalnızca çevresel değişkenler ile açıklamak mümkün değildir.

Tablo 7.19. Helindir istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	ts_10 (^{0}C)	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb (hPa)**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	0,546	0,565	0,615	0,437	0,523	0,492

2009 kış mevsiminde sıcaklığın düşmesiyle birlikte ^{222}Rn derişimi azalmaya başlamış, bu dönem içerisinde minimum 19 Bq/m^3, maksimum 102 Bq/m^3 değerlerine sahip olmuştur. Minimum ve maksimum değerler arasında bu kadar büyük bir değişimin olmasının yine sismik faaliyetler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü ^{222}Rn derişiminin maksimum değeri aldığı Aralık ayında en büyüğü 3.2 olmak üzere toplamda 10 deprem, minimum değere ulaştığı Şubat ayında ise 4 deprem meydana gelmiştir. Kar katmanının toprak yüzeyini kapatması ve buz katmanlarının oluşması nedeniyle topraktan yüzeye ^{222}Rn salınımı azalacağından, kış mevsimi boyunca ^{222}Rn derişiminde azalma meydana gelmiştir. Aynı durum 2010 kış mevsimi içinde geçerlidir. Bu dönemde meydana gelen deprem sayısında büyük farklılıklar olmadığı için derişim değerleri daha dengeli bir değişim göstererek 44-88 Bq/m^3 aralığında değer almıştır.

2009 ilkbahar mevsiminde tekrar artışa başlayan ^{222}Rn derişimi 32-137 Bq/m^3 aralığında değer alarak, en yüksek derişim değerine 14 depremin meydana geldiği Mayıs ayında ulaşmıştır. Bu durumdan hem artan sıcaklığın hem de sismik faaliyetin etkili olduğu düşünülmektedir. Maksimum ve minimum değerler arasında büyük farklılık olması ise aylara göre meydana gelen sismik yoğunluğun değişim göstermesinden kaynaklanmaktadır. 2010 ilkbahar mevsimi derişim değerleri 108-162 Bq/m^3 aralığında değişerek diğer yılların aynı dönemlerine göre daha dengeli bir değişim göstermiş ve bu dönemler içinde en yüksek ortalama derişim değerine (138 Bq/m^3) sahip olmuştur. Tablo 7.14'de yer alan çevresel değişkenlerin bahsedilen bu dönemlerdeki değerleri

incelendiğinde çok büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir. Oluşan küçük farklılıklar ise ^{222}Rn derişiminde bu denli büyük artışlara sebep olmayacaktır. Dolayısıyla derişim artışında çevresel değişkenlerden ziyade başka dış faktörler etkili olmuştur. 2010 ilkbahar mevsimi çalışma süresi boyunca en fazla depremin meydana geldiği (47 deprem) bir dönemdir. Ek 5'te yer alan grafikler incelendiğinde Mart 2010'da 7 tanesi 3 ve 3'den büyük olmak üzere toplam 21 deprem, Nisan 2010'da en büyüğü 3.4 olmak üzere toplam 14 deprem ve Mayıs 2010'da en büyüğü 3 olmak üzere 12 deprem meydana gelmiştir. Çevresel değişkenlerde çok fazla bir değişim olmamasına rağmen hem farklı yılların aynı aylarında, hem de mevsim ortalamasında bu denli derişim farklılığının olması ve 2010 ilkbahar mevsiminin daha yüksek derişim değerine sahip olması bu dönemde artış gösteren sismik faaliyetler ile ilişkilidir. Bu dönem içerisindeki her ay sismik açıdan oldukça aktif olup, meydana gelen deprem sayılarında çok büyük farklılıklar olmadığı için aylar kendi içinde çok büyük derişim farklılığı göstermemiştir.

İlkbahar mevsimi itibariyle artışa geçen ^{222}Rn derişimi 2009 yaz mevsiminde de artışını devam ettirerek ortalama derişim değeri 154 Bq/m^3 ulaşmıştır. Bu değer 2008 yaz mevsimi ortalamasının üzerindedir. Bu iki yılın çevresel değişkenleri incelendiğinde ortalama değerlerin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir (Tablo 7.18). Meydana gelen deprem sayılarında da çok büyük bir farklılık söz konusu değildir (Ek 5). Buna rağmen 2009 yaz ortalamasının daha yüksek olması, bir önceki mevsimin sismik faaliyet açısından oldukça aktif olmasından kaynaklanabilir. Zira depremin oluştuğu faydaki kırığın gelişme hızına bağlı olarak ^{222}Rn derişimi yayılımı değişecektir. Şayet kırık yavaş ilerliyorsa ^{222}Rn boşalması da yavaş olacak ve bir önceki ayda başlayan derişim artışı bir sonraki ayda da devam edecektir (King, 1980). Bu açıdan 2008 ve 2009 ilkbahar mevsimlerine bakıldığında meydana gelen deprem sayıları sırasıyla 13 ve 29 olduğu görülmektedir (Ek 5).

^{222}Rn artışının 2009 sonbaharı süresince de devam ettiği görülmektedir. Sıcaklıkların azalması ve yağışların artış göstermesi ile birlikte derişim değerinde azalma beklenirken, derişim değeri bu dönemde 153-200 Bq/m^3 aralığında değer alarak çalışma dönemi boyunca en yüksek ortalama derişim değerine sahip olmuştur. Çalışma süresi boyunca ölçülen ^{222}Rn değerleri incelendiğinde bu istasyon için tüm yıllarda en yüksek derişim değerine sonbahar mevsiminde ulaşıldığı görüldü. Bu durum sismik faaliyetlerin yanısıra ilgili istasyonun toprak yapısıyla da ilişkili olabilir. Çünkü Kaliforniya'da yapılan çalışmalarda; yüksek geçirgenliği olan toprakların, yağışlı mevsim boyunca gaz

geçirgenliğini azalttığı ve kuru mevsimler boyunca ise arttırdığı gözlenmiş; düşük geçirgenliği olan toprakların yağışlı mevsim boyunca yüksek ^{222}Rn değerlerinin görülmesine neden olduğu saptanmıştır (King ve Minissale, 1994; Yaprak vd., 2003; Külahcı ve Çiçek, 2014; Külahcı ve Çiçek, 2015). Dolayısıyla ilgili istasyonun toprak yapısı da sonbahar döneminde yüksek derişimlerin gözlenmesine neden olmuş olabilir.

Helindir istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 3'de yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.20'de verildi.

Tablo 7.20. Helindir istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
11.03.2008	14	6	6,8	6,4	6,8	3,4	5
25.05.2008	182	22	23,4	20,6	14,4	14,8	18,8
27.06.2008	125	24,2	26,4	25,6	10	13	21,2
25.07.2008	167	28,8	30,4	28,6	15,2	17	24
25.08.2008	151	25,8	28	28,6	18,6	18	21,4
14.11.2008	155	5,6	9	11,6	6,5	2	3
24.12.2008	89	3,5	3,4	4	6,9	2,8	3,8
17.01.2009	67	0	0,2	2,4	3,5	-2	1
31.01.2009	61	4,2	4,6	3,2	7,3	3,3	4
09.02.2009	20	5,2	5,4	5	7,8	4,2	5
08.04.2009	80	11	13,2	12,4	9,3	6,6	7,4
22.04.2009	73	13,6	14,4	13	10	8,8	11
07.05.2009	126	14,8	16	15,8	9,6	9,2	12,5
21.05.2009	143	21	22,8	20,2	8,6	11,4	19,5
25.06.2009	151	23,4	25	24	12,3	14,4	21,2
09.08.2009	161	28,8	30	28,4	18,7	17,6	20
13.09.2009	167	24,8	26,6	25,8	17,4	16,6	19
20.09.2009	148	21	24	25,6	15,5	13,8	14,3
14.11.2009	218	11	12	13,1	9,3	7,4	9
08.12.2009	129	6,6	7,2	7,8	8,4	4,8	5,2
03.01.2010	51	6,6	7,2	8	7,8	4	4,6
20.01.2010	44	6,7	7,2	7,8	7,6	4,6	6
01.02.2010	23	3,2	3,2	4,2	6,8	2,8	4
04.04.2010	136	11,2	12,8	12,8	10,2	7,6	8
27.04.2010	160	15,2	16,6	15,8	8	8,2	13
21.05.2010	162	20,6	22,4	21,6	16,2	14,9	16,2

Ek 11 Tablo 12'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre; ts_50, bb ve kts değişkenlerinin Sig. değeri 0,05'ten küçük olduğundan normal dağılım sergilememektedir. Bu nedenle ilgili değişkenler modelden çıkarıldı ve geri kalan değişkenler arasındaki korelasyon incelendi. Ek 11 Tablo

13'de yer alan korelasyon tablosu incelendiğinde ise bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu görülmüştür. Bu istenmeyen bir durum olduğundan ts_10 ve ts_20 değişkenleri birleştirilerek ortalamaları alındı ve *T* olarak tanımlandı. ıts değşkenide bu sıcaklık değerleri ile yüksek korelasyona sahip olduğundan modelden tamamen çıkarıldı. Dolayısıyla ^{222}Rn ve ortalama sıcaklık değişkenleri (*T*) kullanılarak elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 15 ve Ek 11 Tablo 16), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.12'de verildiği gibidir.

$$radon = 53{,}531 + 4{,}223T \tag{7.12}$$

Helindir istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.12'den faydalanılacaktır. Örneğin; Şekil 7.7 incelendiğinde 4 Kasım 2009 tarihinde ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 166 (Bq/m^3) olup, sıcaklık ortalaması (*T*) 9,9 °C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.12'da yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri 95 Bq/m^3 olarak bulunur. Buna göre, gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark 70 Bq/m^3 olacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Helindir istasyonuna ait standart sapmadan büyük olup yaklaşık 1,3 katıdır. Yani tahmin değeri 1σ ile 2σ arasında değer aldığından bu değişim deprem öncü piki olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.7'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edilmiş ve Denklem 7.12'den faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem öncü ^{222}Rn anomalileri tespit edildi. Buna göre Helindir istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.21'de verildi.

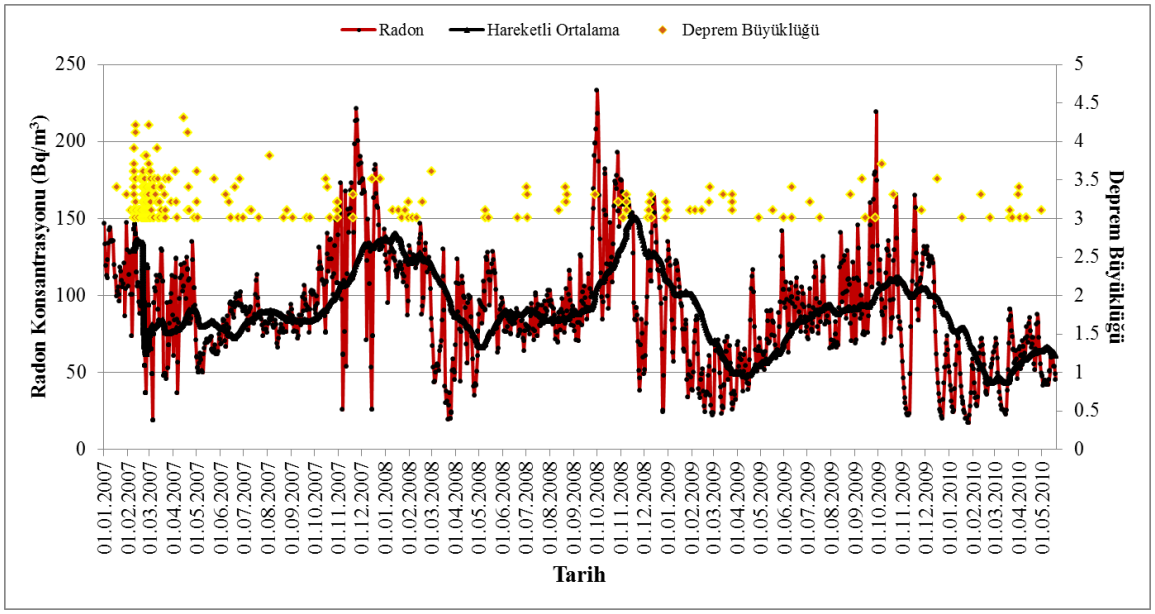
Tablo 7.21. Helindir istasyonu için deprem öncü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	T (^{0}C)
18.07.2008	105	28,3
24.11.2008	221	9,4
22.03.2009	68	6,1
04.11.2009	166	9,9
03.03.2010	140	8,6

Elde edilen sonuçlara göre Helindir istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 49 depremin, 5 tanesinde yani yaklaşık olarak %10'nunda ^{222}Rn anomalisi görüldü. Bu yaklaşık olarak 2,5 yıl içinde görünen orandır.

7.3.4. Kösebayır İstasyonu ^{222}Rn derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Sivrice Fay Zonu'nun Pötürge Segmenti üzerinde yer alan bu istasyon için elde edilen ^{222}Rn derişimi ve meydana gelen 3 ve 3'ten büyük depremlerin Zaman Serisi grafiği Şekil 7.8'de, çalışma süresince meydana gelen tüm depremler ise Ek 6'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Kösebayır istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Şekil 7.8 incelendiğinde bu istasyonda da ^{222}Rn derişiminin Gezin ve Helindir istasyonlarında olduğu gibi periyodik bir değişim sergilediği görülmektedir. Ancak diğer

istasyonlardan farklı olarak bu istasyonda derişim değeri genellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde artıp diğer mevsimlerde azalmaya geçmiştir. 2007 ve 2009 yaz mevsimi, aynı yılların sonbahar dönemine göre sismik açıdan daha yoğun bir dönemdir. Aynı şekilde 2009 ve 2010 yılı ilkbahar mevsimi de bu yılların kış mevsimine göre daha fazla depremin meydana geldiği dönemlerdir. Buna karşın ^{222}Rn derişimi sismik faaliyetin yoğun olduğu ve sıcaklıkların arttığı bu dönemlerde artış göstermeyip kış ve sonbahar mevsimlerinde artış sergilemiştir. Bu durum oldukça dikkat çekicidir. Kösebayır istasyonunun toprak yapısı Bölüm 6'da da belirttiğimiz gibi kil ve çamur taşlarından oluşmaktadır. Bu toprak türünün özelliği ise düşük geçirgenliğe sahip olmasıdır. Daha öncede belirttiğimiz gibi bu tür topraklar yağışlı mevsimler boyunca yüksek ^{222}Rn salınımına neden olmaktadır (King ve Minissale, 1994; Yaprak vd., 2003). Dolayısıyla Kösebayır istasyonunda sonbahar ve kış mevsimlerinde ölçülen ^{222}Rn derişiminin fazla olması bundan kaynaklanmaktadır.

Çalışma süresi boyunca çevresel değişkenler ile ^{222}Rn derişimi arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelendi ve değerler Tablo 7.22'te verildi. Elde edilen sonuçlara göre korelasyon katsayıları oldukça düşük olup sıfıra çok yakındır. Yani çevresel değişkenler ile ^{222}Rn derişimi arasında yok denecek kadar az bir ilişki vardır. ^{222}Rn derişimi; ts_50 ile pozitif yönlü, geri kalan tüm değişkenler ile zıt yönlü zayıf bir ilişkiye sahiptir. Yani ts_10, ts_20, bb, ıts ve kts arttığında ^{222}Rn derişimi azalmakta, ts_50 arttığında ise artmaktadır. Dolayısıyla Kösebayır istasyonunda ^{222}Rn derişiminin değişiminde çevresel değişkenlerin etksinden bahsetmek pek mümkün değildir. Ancak toprak sıcaklıklarından ziyade bb, ıts ve kts bu değişimde daha etkilidir.

Tablo 7.22. Kösebayır istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	ts_10 (^{0}C)	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	-0,078	-0,039	0,077	-0,164	-0,187	-0,166

Aylık ortalama ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlerin yer aldığı Tablo 7.23'e göre; 2007 Ocak ve Şubat ayında ortalama 111 Bq/m^3 olan ^{222}Rn derişimi, aynı yılın ilkbahar mevsiminde azalarak 82 Bq/m^3 değerine ulaşmış, yazın ise azda olsa bir artış göstererek neredeyse ilkbahar dönemi ortalamasına eşit bir değer almıştır. Sonbaharda ise bu yılın en yüksek ortalama değeri olan 120 Bq/m^3 ulaşmıştır. 2007 yılı sismik açıdan oldukça aktif

bir dönem olup yılsonuna doğru gittikçe azalan bir yapı sergilemiştir. Kış mevsiminde 219, ilkbaharda 113, yaz mevsiminde 72 ve sonbaharda ise 40 deprem meydana gelmiştir. Toprak yapısının düşük geçirgenliğe sahip olması doğal olarak yağışlı dönemlerde ^{222}Rn derişimini arttırmıştır ancak sismik faaliyetler esnasında da yayılımının ani değil de yavaş bir biçimde değişim göstermesine neden olmuştur. 2007 ilkbaharında havaların ısınması ve yağışların azalmasıyla derişimde azalma meydana gelse de ortalama derişim değeri, normalde büyük farklılığın olması gereken yaz mevsimi ortalaması ile hemen hemen aynı olmuştur. Dolayısıyla bu iki mevsim ortalamasının birbirine yakın olmasında sismik faaliyetler sonrasında toprak yapısı nedeniyle ^{222}Rn gazının yavaş bir biçimde boşalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı durum 2008 ilkbahar ve yaz mevsimleri içinde geçerlidir. Bu dönemlerde ortalama derişim değerleri sırasıyla 78 ve 85 Bq/m^3'tür. Bundan sonraki dönemlerde ise bu iki mevsim arasındaki derişim farkı artmaya başlasa da diğer istasyonlardaki gibi 2 ya da 3 katlık bir fark oluşmamıştır. Bu durumun ise sismik faaliyetlerin gittikçe azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2008 kış dönemi 121-145 Bq/m^3 aralığında değişen ^{222}Rn derişimi ortalama 128 Bq/m^3 değeri ile çalışma süresi boyunca sahip olunan en yüksek değere ulaşmıştır. Biraz öncede bahsedildiği gibi ilkbahar döneminde azalmaya başlayan derişim, yaz mevsiminde kısmen artmış ve sonbahar döneminde ise 111-147 Bq/m^3 aralığında değişerek tekrar artış göstermiştir. 2008 yılı boyunca ^{222}Rn derişiminin maksimum değerlere ulaştığı kış ve sonbahar dönemleri sismik faaliyetlerinde en aktif olduğu dönemler olmuştur. Kış mevsimi süresince 46, sonbahar döneminde ise toplam 32 deprem meydana gelmiştir. Bu yıl içerisindeki ^{222}Rn derişiminin mevsimlere göre değişimi Kış > Sonbahar > Yaz > İlkbahar şeklinde olmuştur.

2009 kış mevsimi 79 Bq/m^3 ortalama derişim değeri ile diğer yılların aynı dönemleri arasında en düşük ortalamaya sahip olan dönem olmuştur. 2009 kış mevsimi öncesi meydana gelen deprem sayısında diğer yıllara göre azalma vardır. Bunun yanısıra çevresel değişkenler incelendiğinde toprak sıcaklığı değerlerinin diğer yıllara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Buda bize bu dönemde meydana gelen yağışın diğer yıllara göre daha az olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla tüm bu etkiler toprak yapısıyla da birleşince ^{222}Rn derişiminin azalmasına neden olmuştur. Yine de bu değer aynı yılın ilkbahar ortalamasından (63 Bq/m^3) daha büyüktür. Aynı durum 2010 kışı içinde geçerlidir. Bu dönemde sismik faaliyetin daha da azaldığı ve sıcaklığın arttığı görülmektedir (Tablo

7.23). Dolayısıyla 2010 kış ve ilkbahar dönemi 56 Bq/m^3 ile aynı ortalama derişim değerine sahip olmuştur.

Tablo 7.23. Kösebayır istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10(^{0}C)	ts_20(^{0}C)	ts_50(^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
Ocak 2007	119	0	1	5	4	-5	-4
Şubat 2007	104	2	3	5	5	-2	-1
Mart 2007	83	7	8	9	6	1	3
Nisan 2007	98	9	10	11	7	3	6
Mayıs 2007	64	18	19	18	12	12	17
Haziran 2007	88	24	25	24	11	13	20
Temmuz 2007	88	28	28	27	10	14	24
Ağustos 2007	81	28	29	29	10	14	23
Eylül 2007	89	24	26	27	7	9	17
Ekim 2007	115	16	19	22	8	7	11
Kasım 2007	158	7	10	15	6	2	3
Aralık 2007	145	3	4	9	5	-2	-1
Ocak 2008	118	-2	-1	4	3	-8	-7
Şubat 2008	121	0	1	3	3	-7	-6
Mart 2008	55	7	8	9	5	2	5
Nisan 2008	79	14	15	14	7	6	11
Mayıs 2008	101	17	18	19	8	8	14
Haziran 2008	81	22	23	23	9	12	20
Temmuz 2008	87	27	29	27	9	13	24
Ağustos 2008	89	29	30	29	10	14	23
Eylül 2008	111	22	25	26	8	10	17
Ekim 2008	147	16	17	21	8	7	10
Kasım 2008	121	9	11	15	7	3	5
Aralık 2008	104	4	4	9	4	-2	-1
Ocak 2009	88	2	2	5	4	-4	-3
Şubat 2009	47	4	5	7	5	0	1
Mart 2009	48	5	6	8	5	1	3
Nisan 2009	65	10	11	12	7	5	8
Mayıs 2009	78	17	18	17	8	9	14
Haziran 2009	92	24	24	23	11	13	20
Temmuz 2009	91	26	27	26	11	14	22
Ağustos 2009	95	25	27	27	8	11	20
Eylül 2009	117	20	23	25	8	9	15
Ekim 2009	105	16	18	21	8	8	11
Kasım 2009	87	8	9	14	8	4	6
Aralık 2009	78	6	6	10	7	2	4
Ocak 2010	39	4	5	8	5	0	1
Şubat 2010	50	5	5	7	5	1	2
Mart 2010	52	8	9	10	6	2	6
Nisan 2010	68	13	14	14	7	6	9
Mayıs 2010	49	17	17	17	10	10	14

Kösebayır istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 4'de yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik

faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.24'de verilmiştir.

Tablo 7.24. Kösebayır istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
11.09.2007	87	24,6	27	27,6	9	10,6	17
06.10.2007	117	19	21,4	24,2	12,8	11,6	13
25.10.2007	100	16	18,2	20,4	9,1	8,6	12
03.03.2008	53	5,4	5,8	5,8	7,1	3,8	5,4
10.03.2008	51	8,2	8	7,6	5,9	4	7,7
30.03.2008	45	12,4	12,2	12	6,8	8	14,6
04.05.2008	94	16,4	17,8	18	9,5	8	10
27.05.2008	86	18	19,9	21	10,6	10,8	14,7
29.06.2008	71	27	27,4	25,6	8,9	13,8	25,4
16.08.2008	91	29,6	30,2	28,8	9,2	13,6	24,4
25.08.2008	101	26,2	27,6	28,6	11,8	14	21
27.09.2008	169	18,4	21,4	24,2	14,1	12,8	14
06.10.2008	99	18,6	20	21,5	10,3	9,8	12,8
16.10.2008	92	17	18,6	21,2	9,6	8,6	11,2
25.11.2008	38	10,6	10,8	13,7	10,5	8,3	9
24.12.2008	65	5,4	5	7,5	5,5	2,2	5
09.02.2009	62	7	6,4	6,7	8,2	4,8	5,4
28.02.2009	22	5,2	5	6,6	7	2,3	2,7
09.03.2009	50	9,6	8,7	7,4	9,6	7,6	9
03.04.2009	54	12,4	12,4	10,4	7,9	7	10,6
07.05.2009	63	13,8	14,2	14,5	10,6	9,2	11
21.05.2009	60	21,4	21	19	10,1	12,7	20,4
25.07.2009	94	25,6	26,8	27,4	15,9	16	19,9
20.08.2009	85	26,6	28	27,4	8,2	12,2	22,2
09.10.2009	72	17,4	19,2	21,4	10,5	10	13
12.11.2009	80	11,8	12	14,8	10,9	8,6	9
27.12.2009	61	7,6	7,4	9,3	8,5	5	5,4
04.01.2010	31	6,4	6,8	8,8	7,7	3,8	4,4
02.02.2010	43	4,4	4,2	5,6	6,9	2,4	3
03.03.2010	69	9,4	8,9	9	7,6	6	9

Ek 11 Tablo 17'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarına göre tüm değişkenler normal dağılım sergilemektedir. Bu nedenle herhangi bir değişken modelden çıkarılmamıştır. Ancak Ek 11 Tablo 18'de yer alan korelasyon tablosu incelendiğinde bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu görüldü. Bu istenmeyen bir durum olduğundan ts_10, ts_20 ve ts_50 değişkenleri birleştirilerek ortalamaları alınmış ve *T* olarak tanımlanmıştır. ıts ve kts değişkenleri ise bu sıcaklık değerleri ile yüksek korelasyona sahip olduğundan modelden çıkarılmıştır. Dolayısıyla model ^{222}Rn, ortalama sıcaklık değeri (*T*) ve bb değişkenleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bu değişkenlerin

kullanımı ile elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 15 ve Ek 11 Tablo 16), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ek 11 Tablo 21'deki değerlere bakıldığında bb değişkeninin ^{222}Rn üzerinde sıcaklıktan daha önemli bir tahminleyici değişken olduğu sonucuna varılır. Bu tabloda yer alan standardize edilmiş Beta katsayısına göre de en önemli bağımsız değişkenin bb olduğu görülmektedir. Aynı tabloda yer alan ikili ve kısmi korelasyon değerleri incelendiğinde ^{222}Rn ile bb arasında pozitif yüksek düzeyli bir ilişkinin olduğu, ancak diğer değişken kontrol edildiğinde bu ilişkinin 0,45'e düştüğü görülmektedir. Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.13'de verildiği gibidir.

$$radon = -0{,}732 + 1{,}510T + 5{,}396bb \tag{7.13}$$

Kösebayır istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.13'den faydalanılacaktır. Örneğin; Şekil 7.8 incelendiğinde 28 Eylül 2009 tarihinde ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 219 (Bq/m^3) olup, sıcaklık ortalaması (T) ve bb ait değerler sırasıyla 17,9 °C ve 4,8 hPa'dır. Bu değerlerin Denklem 7.13'de yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri ise 52 Bq/m^3 olarak bulunur. Gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki fark ise 167 Bq/m^3 olacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Kösebayır istasyonuna ait standart sapmanın yaklaşık 5,5 katıdır. Yani fark değeri 2σ değerini de aşmıştır. Bu nedenle ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu değişim deprem öncü pik olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.8'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edilmiş ve Denklem 7.13'dan faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem öncüsü ^{222}Rn anomalileri tespit edilmiştir. Buna göre Kösebayır istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.25'de verilmiştir.

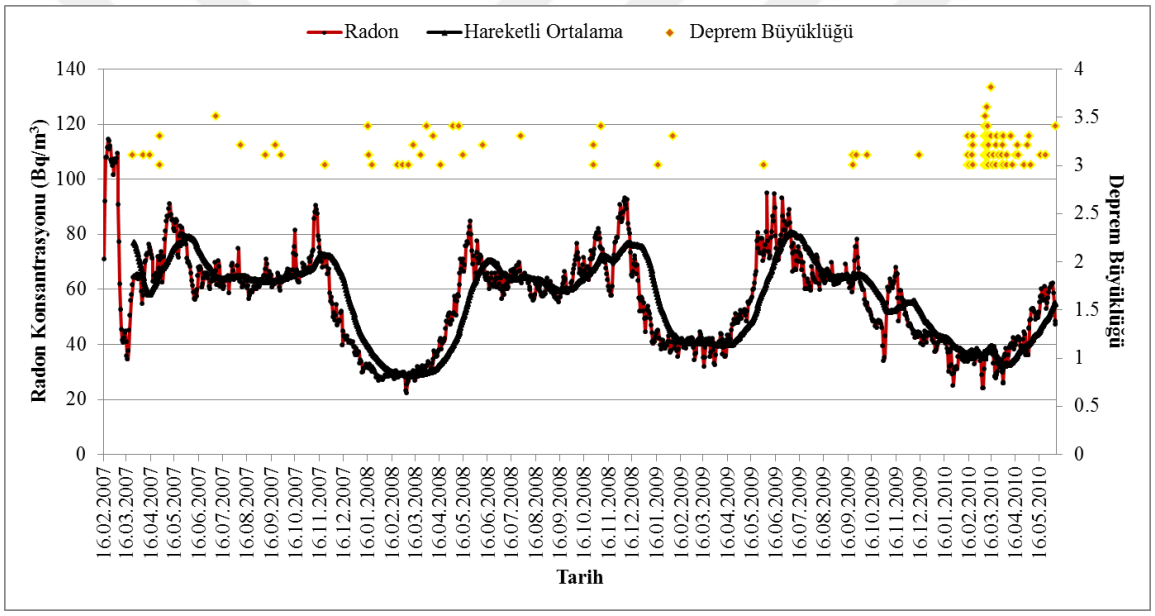
Tablo 7.25. Kösebayır istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	T (^{0}C)	bb (hPa)
09.01.2007	144	2,2	3,6
27.01.2007	121	1,8	4,5
21.02.2007	88	4,0	4,8
10.03.2007	113	7,3	3,9
24.03.2007	95	9,4	8,8
30.03.2007	113	8,3	4,5
04.04.2007	124	7,5	4,7
11.04.2007	120	10,3	7,7
15.04.2007	121	10,6	3
25.04.2007	135	8,7	4
19.05.2007	73	19,8	13,5
18.07.2007	113	26,0	8,5
31.08.2007	94	27,6	11,5
18.09.2007	107	24,7	4,9
07.10.2007	131	19,4	11,4
28.10.2007	149	16,7	5,9
17.11.2007	168	10,2	6,6
24.11.2007	221	7,8	3,4
19.12.2007	185	5,2	2,3
30.12.2007	143	1,4	2,2
01.02.2008	132	1,0	1,6
22.02.2008	134	1,4	2,8
02.05.2008	97	17,5	7,3
19.05.2008	129	16,5	8,3
01.08.2008	103	29,5	10,2
17.08.2008	98	28,7	9,5
09.09.2008	126	26,3	6,5
18.10.2008	147	18,2	8,3
28.11.2008	85	11,1	8,6
14.12.2008	165	5,3	3,2
24.01.2009	84	3,1	4,7
07.02.2009	87	5,1	6
03.03.2009	68	4,7	4,6
19.03.2009	73	5,3	5,3
21.04.2009	117	11,1	7,1
10.05.2009	90	14,4	6,9
29.05.2009	142	19,8	6,6
24.06.2009	105	24,5	11
11.07.2009	122	26,2	8,6
13.08.2009	141	25,5	7,4
04.09.2009	145	25,3	6,2
28.09.2009	219	17,9	4,8
14.10.2009	135	18,9	7,5
17.11.2009	165	10,3	7,5
03.12.2009	132	6,2	5
10.01.2010	67	4,8	5,2
02.02.2010	43	4,7	6,9
02.03.2010	72	7,0	5,1
21.03.2010	91	7,4	2
25.04.2010	88	14,3	5,1

Elde edilen sonuçlara göre Kösebayır istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 259 depremin, 50 tanesinde yani %19'unda ^{222}Rn anomalisi görüldü. Bu sonuç, ilgili konumda meydana gelen ^{222}Rn anomalilerinin depremelere diğer konumlardan daha hassas olduğunu göstermiştir.

7.3.5. Palu İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi Analizi ile İncelenmesi

Çalışma bölgemizin Palu Segmenti üzerinde yer alan bu istasyon için elde edilen ^{222}Rn derişimi ve meydana gelen 3 ve 3'ten büyük depremlerin yer aldığı Zaman Serisi grafiği Şekil 7.9'da, bu süre zarfında oluşan diğer depremler ise Ek 7'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 7.9. Palu istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Şekil 7.9'da ^{222}Rn derişiminin periyodik bir değişim sergilediği görülmektedir. Ancak bu periyodiklik içinde ^{222}Rn derişiminin maksimum ve minimum değerlere hep farklı dönemlerde ulaştığı dikkati çekmektedir. Bu durum derişim değişiminde her dönemde farklı etkenlerin baskın olduğu anlamına gelmektedir.

^{222}Rn ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon değerleri Tablo 7.26'de verildi. Bu değerler incelendiğinde ^{222}Rn derişimi ile bb arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişki, diğer değişkenlerle ise pozitif yönlü orta düzeyde bir ilişki söz konusudur. Yani tüm bu değişkenlere ait değerler artış gösterdiğinde ^{222}Rn derişimi de artacaktır.

Ancak katsayıların yüksek olmaması bu istasyonda meydana gelen ^{222}Rn derişimi değişimlerinde sadece meteorolojik değişkenlerin etkin olmadığını gösterir.

Tablo 7.26. Palu istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	ts_10 (^{0}C)	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb (hPa)**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	0,480	0,489	0,509	0,379	0,462	0,461

Şubat 2007'de ^{222}Rn derişiminin ani artış göstermesinin ardından birçok deprem meydana gelmiş, bu sürecin devamında ^{222}Rn derişimi 63-81 Bq/m^3 aralığında değer alarak, ilkbahar mevsiminde ortalama 70 Bq/m^3 derişim değerine sahip olmuştur. Yaz dönemi süresince deprem sayısında azalma meydana gelirken, ^{222}Rn derişim ortalaması da azalarak 63 Bq/m^3 değerine ulaşmıştır (Tablo 7.27). İlgili dönem boyunca sıcaklık artışı olmasına rağmen derişim değeri neredeyse değişmeyip sabit kalmıştır. Dolayısıyla bu süre zarfında meydana gelen değişimlerde sismik faaliyetlerin daha etkin olduğu düşünülmektedir. Eylül 2007'de artmaya başlayan derişim değeri Kasım 2007'de maksimum değerine ulaşmış ve sonrasında tıpkı Şubat ayında olduğu gibi birçok deprem meydana gelmiştir. Oluşan bu depremlerin etkisi ile meydana gelen boşalma neticesinde derişim değeri Nisan 2008 dönemine kadar azalarak 29 Bq/m^3 değerine kadar düşmüştür. Aynı dönem içerisinde oluşan kar yağışı ve buzlanmanın da bu derişim düşüşünde etkili olduğu düşünülmektedir. Aynı durum 2009 kış döneminde de yaşanmıştır. Ek 7'de yer alan aylık değişimler incelendiğinde 7 Aralık 2008 tarihinde ^{222}Rn derişiminin maksimum değerine ulaşmasından 12 gün sonra 2.6, 17 gün sonra 2.9 büyüklüğünde deprem meydana gelmiş ve sismik faaliyetlerin etkisiyle yaşanan boşalma neticesinde ^{222}Rn derişimi 2009 Mart ayı sonuna kadar azalmaya devam etmiştir. Yani ^{222}Rn pikinin gözlemlenmesinin ardından yine sismik faaliyetlerde artış yaşanmış, bu durum çalışma süresi boyunca ilgili istasyonda üç kere meydana gelmiştir. Oluşan ^{222}Rn pikleri anında ya da 10 gün gibi kısa bir süre sonrasında sismik faaliyetlerin meydana gelmesi, ilgili istasyonda hızlı bir bölgesel stresin oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 7.27. Palu istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
Şubat 2007	105	3	4	5	3	-3	0
Mart 2007	63	6	7	7	5	1	3
Nisan 2007	68	9	10	11	7	4	6
Mayıs 2007	81	18	19	18	11	12	16
Haziran 2007	64	23	25	25	11	13	19
Temmuz 2007	64	26	28	28	10	13	22
Ağustos 2007	62	27	29	29	13	15	22
Eylül 2007	64	22	25	26	9	10	16
Ekim 2007	67	16	19	21	9	8	11
Kasım 2007	73	7	9	13	6	1	3
Aralık 2007	45	2	4	7	4	-2	-1
Ocak 2008	32	-2	-1	2	2	-10	-8
Şubat 2008	29	-1	-1	1	2	-9	-7
Mart 2008	29	6	8	7	5	2	6
Nisan 2008	39	13	14	14	8	7	11
Mayıs 2008	66	16	18	19	10	9	13
Haziran 2008	66	22	24	24	8	11	18
Temmuz 2008	64	26	28	28	12	15	22
Ağustos 2008	60	27	30	29	16	17	23
Eylül 2008	60	21	25	26	12	12	16
Ekim 2008	70	13	16	19	9	8	9
Kasım 2008	72	7	10	12	7	3	4
Aralık 2008	73	2	4	6	4	-4	-2
Ocak 2009	44	0	1	3	3	-5	-3
Şubat 2009	40	4	5	5	5	0	2
Mart 2009	39	6	7	8	5	1	3
Nisan 2009	43	11	13	13	7	5	8
Mayıs 2009	61	17	19	18	8	9	14
Haziran 2009	80	22	24	23	10	12	19
Temmuz 2009	70	26	28	27	10	13	21
Ağustos 2009	65	25	28	28	8	11	19
Eylül 2009	65	20	23	25	9	10	14
Ekim 2009	52	15	18	20	7	6	11
Kasım 2009	58	7	10	12	7	3	4
Aralık 2009	44	5	6	8	6	2	3
Ocak 2010	38	4	5	7	5	-1	2
Şubat 2010	36	4	6	6	5	0	2
Mart 2010	33	8	9	10	6	3	5
Nisan 2010	39	12	14	14	8	6	8
Mayıs 2010	53	18	20	20	12	12	16
Haziran 2010	56	23	25	24	13	15	22

2008 kışında gerek sismik faaliyetlerin, gerekse çevresel değişkenlerin etkisi ile azalmaya başlayan ^{222}Rn derişimi bu dönemde ortalama 35 Bq/m^3 derişim değerine sahip olmuştur. Nisan ayı itibariyle artmaya başlayan derişim değeri ilkbahar döneminde ortalama 45 Bq/m^3 değerine ulaşmıştır. ^{222}Rn derişiminin 25 Mayıs'ta 85 Bq/m^3 ile maksimum değere ulaşmasından bir hafta sonra 2.4, iki hafta sonra ise 3.2 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. Bu dönemin ardından sismik faaliyetler azalmış ve yaz

süresi boyunca derişim değeri hemen hemen sabit kalmıştır. Ancak 28 Temmuz'da meydana gelen 3.3 büyüklüğünde ki depremden iki gün önce ^{222}Rn derişimi artarak 70 Bq/m^3 değerine ulaştı. 2008 sonbahar döneminde sıcaklığın azalması ve yağışların artması ile birlikte derişim değerinde azalma beklenirken 67 Bq/m^3 ortalama derişim değeri ile bu yılın en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu durumda meydana gelen depremlerin etkisinin olduğu düşünülmektedir. Çünkü 9 Ekim ve 7 Kasım tarihlerinde meydana gelen depremlerden 2 gün önce ^{222}Rn derişiminde görülen ani artış bu dönem ortalamasını arttırmıştır.

^{222}Rn derişimi 2009 yılı kış mevsiminde 52, ilkbaharda 48, yaz mevsiminde 72 ve sonbaharda 62 Bq/m^3 ortalama derişim değerine sahip olmuştur. Şekil 7.9 incelendiğinde ^{222}Rn derişimindeki anomaliler bu yılda diğer iki yıla göre daha farklı olmuştur. 2007 ve 2008 yılında ^{222}Rn derişiminde meydana gelen ani artış ve azalışlar birkaç gün sürerken, 2009 yılında yaklaşık 1,5 ay sürmüştür. Mayıs 2009 itibariyle artışa geçen derişim değeri Temmuz ayının ilk haftalarından itibaren azalışa geçmiş bu süre zarfında Haziran ayında üç pik gözlemlenmiştir. Bu dönemin devamında diğer yıllarda olduğu gibi derişim değerinde logaritmik bir azalma başlamışken biri 27 Ekim diğeri 15 Kasım'da olmak üzere derişimde ani artışlar yaşanmıştır. Bu ani artışların ardından yine yoğun bir sismik aktivitenin başladığı görülmektedir. Bilindiği gibi ^{222}Rn anomalisi kısa süreli olabildiği gibi uzun sürelide olabilmektedir (Külahcı ve Şen, 2014). Mayıs-Temmuz döneminde meydana gelen değişim uzun süreli bir anomali olup bu dönem içerisinde yavaş bir bölgesel stresin oluştuğunu gösterir. Bahsedilen dönemden yaklaşık 3 ay sonra derişimde meydana gelen ani değişimlerin ardından depremlerin artış göstermesi ve bu sismik faaliyetlerin diğer yıllara göre daha fazla sayıda olmasının bu anomali süresi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Palu istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 5'te yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.28'de verildi.

Tablo 7.28. Palu istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
16.03.2007	41	3,40	5,2	7,6	6	0,6	1,2
10.04.2007	70	11,00	11	11,2	8,4	5,2	6
27.05.2007	80	20,40	22,2	21,6	15	14,8	17,8
19.06.2007	67	26,00	27,8	26,2	11,6	14,6	23
28.07.2007	68	27,40	29,8	29,3	9,9	13,2	22
03.08.2007	65	28,40	30,2	29,4	15,5	17,2	24
25.09.2007	65	21,00	24	25	14,2	14	17
06.10.2007	66	19,00	21,2	23	13,4	12	13
13.12.2007	51	6,40	6,8	8,2	9,3	6,8	7,8
04.01.2008	37	-0,20	0,2	2,8	4,1	-1,4	1
29.01.2008	28	1,00	0,8	1	5,7	0,7	2
17.02.2008	29	-0,60	-0,6	0,8	4,8	-0,7	1
26.02.2008	29	0,00	-0,1	0,6	5,1	-1	0
11.03.2008	29	6,00	6,8	6,4	6,8	3,4	5
25.05.2008	85	22,00	23,4	20,6	14,4	14,8	18,8
27.06.2008	64	24,20	26,4	25,6	10	13	21,2
30.09.2008	62	17,20	19,4	21,8	13,6	12,2	13,2
24.10.2008	71	13,20	15,4	17,8	11,4	9,4	10
25.11.2008	77	10,00	10,6	10,4	8,6	6,4	8
27.01.2009	38	1,00	1,2	2,2	6,1	0,6	1
16.02.2009	41	6,60	6,8	6,8	3,7	1,2	6,2
21.05.2009	65	21,00	22,8	20,2	8,6	11,4	19,5
09.06.2009	72	22,20	23	23	11	12	17
25.06.2009	87	23,40	25	24	12,3	14,4	21,2
02.07.2009	87	25,00	27,2	25,5	13,2	15,2	22
09.07.2009	77	28,00	28,2	26,8	13	14,8	21,2
13.09.2009	69	24,80	26,6	25,8	17,4	16,6	19
30.10.2009	49	12,80	14,6	17,6	11,6	9,4	9,8
13.12.2009	53	12,00	7	8,2	5,9	2,6	5
25.12.2009	53	6,60	7	8,2	6,8	3	4,2
03.01.2010	51	6,60	7,2	8	7,8	4	4,6
20.01.2010	57	6,70	7,2	7,8	7,6	4,6	6
01.02.2010	51	3,20	3,2	4,2	6,8	2,8	4
03.03.2010	36	8,60	8,6	8,4	5,8	4,6	9
22.04.2010	37	12,40	14,8	15,8	8,9	6,6	8

Ek 11 Tablo 22'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarına göre; ts_20, ts_50, ve ıts değişkenlerinin Sig. değeri 0,05'ten küçük olduğundan normal dağılım sergilemediği görüldü. Bu değişkenler modelden çıkarıldı ve geri kalan değişkenler arasındaki ilişki incelendi. Ek 11 Tablo 23'te ilgili değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon tablosuna göre, bb ve kts arasında yüksek düzeyli bir ilişkinin olduğu görüldüğünden bu değişkenlerde modele dahil edilmedi. Dolayısıyla model ^{222}Rn ve ts_10 değişkenleri kullanılarak kuruldu. Buna göre ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 25 ve Ek 11 Tablo 26), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı görülmektedir. Tüm

bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.14'te verildiği gibidir.

$$radon = 36{,}781 + 1{,}510 ts_10 \tag{7.14}$$

Palu istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.14'den faydalanılacaktır. Örneğin; Şekil 7.9 incelendiğinde 11 Kasım 2007 tarihinde ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 91 (Bq/m^3) olup, ts_10 değeri 9,2 °C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.14'de yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri ise 51 Bq/m^3 olarak bulunur. Gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark 40 Bq/m^3 olacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Palu istasyonuna ait standart sapmanın yaklaşık 2,3 katıdır. Bu fark değeri 2σ'dan büyük olduğu için ^{222}Rn derişimindeki bu değişim deprem öncü pik olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.9'den faydalanılarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edilmiş ve Denklem 7.14'dan faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem öncüsü ^{222}Rn anomalileri tespit edildi. Buna göre Palu istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.29'de verildi.

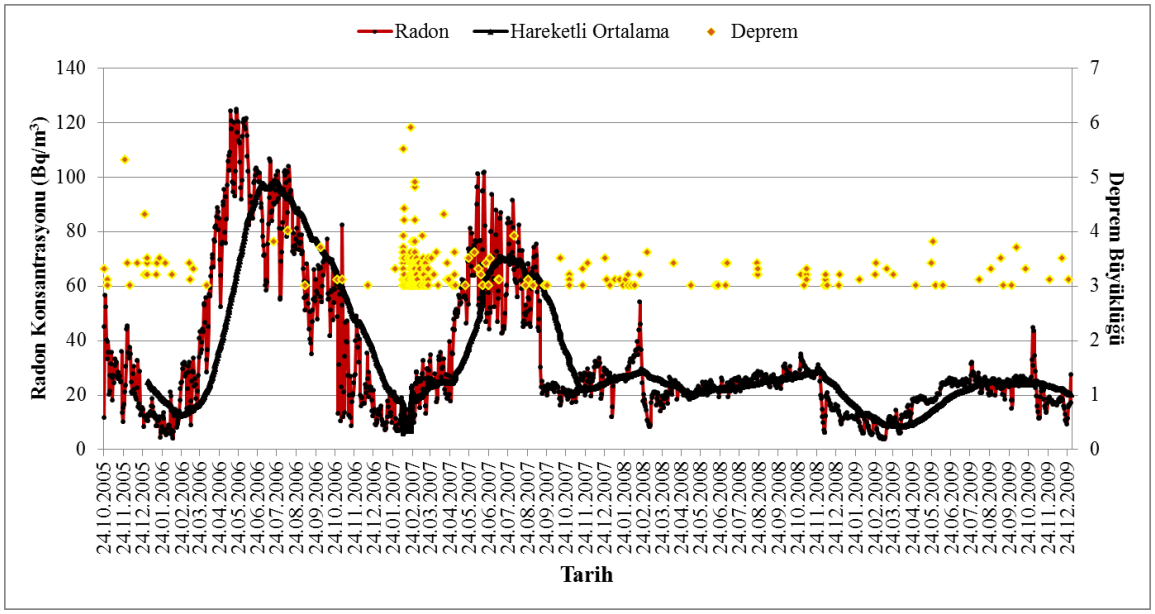
Tablo 7.29. Palu istasyonunna ait deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)
05.03.2007	109	7
14.04.2007	76	9,2
11.11.2007	91	9,2
03.11.2008	82	8,2
10.12.2008	93	4,6
26.05.2009	79	12,2
16.11.2009	66	6,2

Elde edilen sonuçlara göre Palu istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 148 depremin, 7 tanesinde ^{222}Rn anomalisi oluşmuştur. Yani Palu istasyonunda bu büyüklükte meydana gelen depremlerin %6'sında ^{222}Rn anomalisi görülmektedir. Meydana gelen depremler ^{222}Rn derişiminde artışa neden olmuştur ancak anlık değişimler şeklinde yani anomali şeklinde değişimler nadir gözlemlendi. Bu durumun fay düzlemindeki malzemenin geçirgenliği ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

7.3.6. Sivrice İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi ile Analizi

Araştırma süresi boyunca bu istasyon için elde edilen ^{222}Rn derişimi ile 3 ve 3'ten büyük depremlerin yer aldığı Zaman Serisi grafiği Şekil 7.10'da verildi. Bu süre zarfında meydana gelen tüm depremler ise Ek 8'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Sivrice istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Şekil 7.10 incelendiğinde Sivrice istasyonu ^{222}Rn derişiminin şimdiye kadar incelenen diğer istasyonlardan oldukça farklı bir davranış sergilediği görülmektedir. 2006 ve 2007 yılında oldukça yüksek değerlere ulaşan derişim değeri, 2008 ve 2009 yılı boyunca neredeyse sabit kalıp oldukça düşük değerler almıştır. Bu iki farklı davranışın oluştuğu dönemler incelendiğinde, meydana gelen sismik hareketliliğin faklılığıda oldukça dikkat çekicidir. Derişimin artış gösterdiği yıllarda 4 ve üstünde meydana gelen deprem sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Bir başka dikkat çekici durum ise 26 Kasım 2005 ve 28 Aralık 2005 tarihlerinde meydana gelen 5.3 ve 4.3 büyüklüğündeki depremlerden yaklaşık 5-6 ay sonra ^{222}Rn derişiminin maksimum değere ulaşmasıdır. Aynı durum 9 Şubat 2007 ve 21 Şubat 2007 tarihlerinde meydana gelen 5.9 ve 5.5 büyüklüğündeki depremlerden sonra da yaşanmış, bu tarihlerden 4 ay sonra ^{222}Rn derişimi maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bahsedilen depremler büyük depremler olup mikro depremler gibi çok sık oluşmamaktadır. Dolayısıyla bu durumun ^{222}Rn derişimini etkilediği düşünülmektedir.

Çünkü ^{222}Rn gazı yayılımı uzun aralıklarla oluşan depremlerde, kısa aralıklarla oluşan depremlere göre daha fazla artış göstermektedir (Şahin, 2009). ^{222}Rn derişiminin depremlerin öncesinde değilde sonrasında maksimum değere ulaşması ise bir başka dikkat çekici durumdur. Meydana gelen büyük depremler ikincil kırık ve çatlakları arttırmaktadır. Bölgesel stres arttığında kaya kütlelerinde meydana gelen genişleme ya kırılma ya da sıkışma nedeniyle boşluklardan ^{222}Rn gazı yayılımında değişime neden olur. Bu değişim kırığın gelişme hızına bağlı olarak değişecektir. Şayet kırık yavaş ilerliyorsa ^{222}Rn derişim artışı deprem anında meydana gelmeyip depremden birkaç ay sonra oluşacaktır (King, 1978). Dolayısıyla 2006 ve 2007 yıllarında ^{222}Rn derişiminde meydana gelen büyük artışların yaklaşık 4-5 ay öncesinde oluşan büyük depremlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2008 ve 2009 yıllarında daha önceki iki yılda olduğu gibi çok büyük depremler oluşmadığından, ^{222}Rn derişiminin hem düşük değerler aldığı hem de anomaliler sergilemediği düşünülmektedir. Bu durumdan ilgili bölgenin toprak yapısı, kırıkların dağılımı ve geometrisi, makaslama zonlarına karşılık gelen fay düzlemindeki malzemenin geçirgenliğide etkilidir. Diğer istasyonlar 3 ve üstünde meydana gelen depremlerde dahi ani değişimler sergilerken bu istasyonda 4'e yakın depremlerde bile çok büyük değişimlerin yaşanmaması biraz önce bahsettiğimiz değişkenlerin ilgili istasyonda diğer istasyonlara göre farklı olduğunu göstermektedir.

^{222}Rn ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkinin incelendiği Tablo 7.30'da bu değişkenler arasında pozitif yönlü orta düzeyde bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Yani bu değişken değerleri artmaya başladığında ^{222}Rn derişimide artış gösterecektir, ancak bu değişimde ts_50'nin etkisi diğer değişkenlere göre daha az olacaktır. Dolayısıyla ilgili istasyonda ^{222}Rn derişimi değişiminde sadece çevresel değişkenlerin etkili olduğunu söylemek mümkün değildir. Zaten 2008 ve 2009 yıllarında ki değişimler incelendiğinde de ^{222}Rn derişiminin mevsimlere göre çok büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.

Tablo 7.30. Sivrice istasyonu ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	ts_10 (^{0}C)	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb (hPa)**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	0,519	0,530	0,493	0,537	0,538	0,535

Tablo 7.30'a göre toprak sıcaklığının arttığı yani havaların ısınmaya başladığı dönemlerde ^{222}Rn derişimininde artışa geçeceği anlamı çıkmaktadır. 2006 ve 2007 yıllarında ^{222}Rn'nin maksimum değere ulaştığı dönemlere bakıldığında genel olarak hava sıcaklığının yüksek olduğu dönemleri kapsadığı görülmektedir. Ancak aynı durum 2008 ve 2009 yıllarında yaşanmamıştır. Bu yıllarda sıcaklığın artmaya başladığı mevsimlerde derişim değerinde nisbeten bir artış olmuş ancak hiçbir zaman 2006 ve 2007'deki kadar yüksek değerlere ulaşılmamıştır (Tablo 7.31). Dolayısıyla 2006 ve 2007 yıllarında sismik faaliyetlerin etkisi ile çevresel değişkenlerin etkisinin birleşmesi sonucu derişim artışının daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

^{222}Rn ve çevresel değişkenlerin aylık ortalama değerleri incelendiğinde, derişim değerinin 2008 yılı hariç diğer tüm yıllarda kış mevsiminde minimum değere ulaştığı görülmektedir (Tablo 7.31). 2008 yılında ise ilkbahar mevsimi en düşük, kış mevsimi ise en yüksek ortalama derişim değerine sahip olan dönemler olmuştur. Genel olarak beklenen durum, yağışlı dönemlerde derişim değerinin azalması ve havaların ısınması ile birlikte artmasıdır. Ancak 18 Şubat 2008'de ^{222}Rn derişimi yaklaşık 2 katlık bir artış ile bu dönem içerisinde ki en yüksek değerine ulaşmış ve yaklışık 12 gün sonra 3.6 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Dolayısıyla bu artışın sismik faaliyetle ilgili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanısıra 2008 kış mevsiminin aynı yılın diğer mevsimlerine göre daha yüksek derişim değerine sahip olmasında da hem öncesinde yaşanan yoğun sismik faaliyetlerin hem de aynı süreçte oluşan sismik faaliyetlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Bundan sonraki süreçte ise 3 ve üstünde meydana gelen deprem sayısı azalmış ve ^{222}Rn derişimide mevsimler arasında çok büyük farkların olmadığı bir değişim sergilemiştir.

2006 Şubat ayı itibariyle yükselişe geçen derişim değeri yaklaşık 7 katlık bir artış ile Mayıs ayında ortalama 104 Bq/m^3 değerine ulaşmıştır. Yaz süresince yüksek bir ortalamaya sahip olan derişim değeri sonbahar itibariyle azalsada, asıl düşüş Kasım ayı itibariyle yaşanmıştır. 2007 Şubat ayı itibariyle ilgili istasyon çevresinde yoğun bir sismik faaliyetin başladığı dikkat çekmektedir. Bu durum çalışma süresinin sonuna kadar devam etmiş ancak en büyük depremler Şubat 2007 döneminde meydana gelmiştir. Gerek Şekil 7.10, gerekse Tablo 7.31 incelendiğinde bu dönemden sonra ^{222}Rn derişiminin arttığı görülmektedir. Şubat itibariyle 11 Bq/m^3 değerine sahip olan ^{222}Rn derişimi iki katlık artış ile Mart ayında 25 Bq/m^3 değerine, %200'lük artış ile de Mayıs'ta 60 Bq/m^3 değerine ulaşmıştır. Bu değer Haziran itibariyle maksimum değere ulaşmış ve Eylül sonu itibariyle azalmaya başlamıştır.

Tablo 7.31. Sivrice istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
Kasım 2005	27	6	9	13	6	2	3
Aralık 2005	21	5	7	10	6	1	2
Ocak 2006	11	1	3	6	4	-4	-3
Şubat 2006	15	2	4	5	5	-2	0
Mart 2006	29	7	9	9	6	2	4
Nisan 2006	66	12	14	13	9	7	10
Mayıs 2006	104	17	19	18	10	10	15
Haziran 2006	101	25	26	25	11	14	22
Temmuz 2006	82	27	29	28	12	15	23
Ağustos 2006	85	28	30	29	10	14	24
Eylül 2006	57	22	25	27	8	10	16
Ekim 2006	58	16	19	22	10	9	12
Kasım 2006	31	6	8	13	6	1	3
Aralık 2006	19	1	4	8	3	-5	-3
Ocak 2007	13	0	1	5	4	-5	-4
Şubat 2007	11	2	3	5	5	-2	-1
Mart 2007	25	6	8	9	6	1	3
Nisan 2007	28	9	10	11	7	3	6
Mayıs 2007	60	18	19	18	12	12	17
Haziran 2007	70	24	25	24	11	13	20
Temmuz 2007	65	28	28	27	10	14	24
Ağustos 2007	61	28	29	29	10	14	23
Eylül 2007	40	24	26	27	7	9	17
Ekim 2007	21	16	19	22	8	7	11
Kasım 2007	24	7	10	15	6	2	3
Aralık 2007	28	3	4	9	5	-2	-1
Ocak 2008	26	-2	-1	4	3	-8	-7
Şubat 2008	31	0	1	3	3	-7	-6
Mart 2008	17	7	8	9	5	2	5
Nisan 2008	23	14	15	14	7	6	11
Mayıs 2008	21	17	18	19	8	8	14
Haziran 2008	23	22	23	23	9	12	20
Temmuz 2008	24	27	29	27	9	13	24
Ağustos 2008	26	29	30	29	10	14	23
Eylül 2008	25	22	25	26	8	10	17
Ekim 2008	29	16	17	21	8	7	10
Kasım 2008	29	9	11	15	7	3	5
Aralık 2008	15	4	4	9	4	-2	-1
Ocak 2009	12	2	2	5	4	-4	-3
Şubat 2009	8	4	5	7	5	0	1
Mart 2009	8	5	6	8	5	1	3
Nisan 2009	13	10	11	12	7	5	8
Mayıs 2009	18	17	18	17	8	9	14
Haziran 2009	24	24	24	23	11	13	20
Temmuz 2009	25	26	27	26	11	14	22
Ağustos 2009	24	25	27	27	8	11	20
Eylül 2009	23	20	23	25	8	9	15
Ekim 2009	26	16	18	21	8	8	11
Kasım 2009	20	8	9	14	8	4	6
Aralık 2009	17	6	6	10	7	2	4

2008 kışında ise ortalama derişim değeri 2007 Sonbahar dönemi derişim ortalamasına eşit bir değişim sergilemiştir. 2009 yılında ise kış ortalama derişim değeri ile ilkbahar ortalaması arasında yaklaşık bir birimlik bir artış yaşanmıştır. Yaz döneminde ortalama 24 Bq/m^3 değerine sahip olan ^{222}Rn derişimini, sonbaharda 1 birimlik düşüşle 23 Bq/m^3 değerine sahip olmuştur. 2008 ve 2009 yılı da sismik açıdan yoğun bir dönem olmuştur. Ancak bu dönemde meydana gelen depremlerin oluşturduğu stresin anomali oluşturacak kritik seviyeye ulaşmamasından dolayı ^{222}Rn konsantrayonunda yüksek değerlere ulaşmadığı düşünülmektedir. Aynı zamanda 2005 ve 2007 yılında meydana gelen büyük depremlerden sonra ^{222}Rn artışının gözlemlenip diğer yıllarda yoğun sismik faaliyete rağmen artışın gözlemlenmemesi ilgili istasyonun stres geçmişi nedeniyle ancak 4 ve üstü depremlerin ^{222}Rn derişiminde büyük artışlara neden olabileceği fikrini doğurmaktadır.

Sivrice istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 6'da yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.32'de verilmiştir.

Ek 11 Tablo 27'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarına göre; tüm değişkenler normal dağılım sergilediği, aralarındaki ilişki incelendiğinde ise bağımsız değişkenlerin kendi aralarında oldukça yüksek korelasyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Ek 11 Tablo 28). Bu nedenle toprağın farklı derinliklerde ki sıcaklık değerleri ortalamaları (*T)* alınarak modele dâhil edilmiş, bb ve ıts ile kts değişkenleri modelden çıkarılmıştır.

Tablo 7.32. Sivrice istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
28.10.2005	40	11,8	15,2	17,8	7,3	6	9,5
11.11.2005	33	5,2	9,4	13,4	5,8	0,2	0,8
29.11.2005	44	5,6	7,8	10,4	7,6	3,4	3,8
15.12.2005	23	4,6	6,4	9,8	6,4	1	1,3
19.12.2005	29	7	8,1	9,8	7,7	5,4	7,5
22.01.2006	7	1	1,4	5,4	1,8	-12,7	-12,2
05.02.2006	9	0,2	1,6	4,4	3,7	-5,4	-5
25.02.2006	30	3,8	5,8	6,2	4	-1,7	0,6
14.03.2006	34	6,6	8,6	9,1	5	1	3,7
30.03.2006	43	7,5	10,4	10,4	5,7	2,4	5
03.04.2006	56	9,4	10,8	11,4	8,6	5,5	6,3
07.04.2006	45	8	10,4	11	7,7	4	4,8
12.04.2006	67	10	12,6	12,6	8,4	6,3	8,2
23.04.2006	81	14,4	16,3	15,4	10,7	9,2	10,8
30.06.2006	89	26,6	28,1	26,8	11,7	14,2	21,8
15.09.2006	41	20,8	25,6	26,8	5,8	7	14
25.09.2006	58	19,6	22,3	25,4	9	9	13,2
14.10.2006	55	18,4	20,6	23	11	10,8	14
22.10.2006	59	10,8	16,2	20,8	9,3	6,7	7,6
16.11.2006	20	4,2	7,2	13	3,9	-0,7	2,4
27.11.2006	49	3,6	6,4	10,8	4,5	-1,8	-0,3
07.04.2007	33	8,6	9,8	10,2	7,9	5,2	6,8
07.05.2007	51	17,4	17,8	15	10,6	11	15,2
14.05.2007	60	16,6	17	16,4	14,5	13,6	15,4
21.06.2007	50	24,8	25,4	25,1	9,6	12,2	20
25.07.2007	85	30	29,8	28	10,8	15,5	27
11.02.2008	36	-1,8	-0,2	3	3	-7,6	-7,2
16.02.2008	37	-0,2	0,4	2,8	2,2	-10	-9,2
03.03.2008	9	5,4	5,8	5,8	7,1	3,8	5,4
08.04.2008	22	9,2	11	12,1	6,9	5	8
30.10.2009	33	13,4	14,4	18,8	12,6	10,5	10,6

^{222}Rn ve *T* değişkenlerinin kullanımıyla elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 30 ve Ek 11 Tablo 31), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.15'da verildiği gibidir.

$$radon = 19{,}498 + 1{,}909T \tag{7.15}$$

Sivrice istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.15'dan faydalanılacaktır. Örneğin; Şekil 7.10 incelendiğinde 18 Şubat 2008 tarihinde ^{222}Rn

derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 54 (Bq/m^3) olup, toprak sıcaklıklarının ortalama değeri (T) 1°C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.15'de yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri 21 Bq/m^3 olarak bulunur. Buna göre, gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark 33 Bq/m^3 olacaktır. Bu fark değeri σ'nında üstünde olduğundan ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu değişim anomali olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.10'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edilmiş ve Denklem 7.15'den faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem öncüsü ^{222}Rn anomalileri tespit edilmiştir. Buna göre Sivrice istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.33'te verilmiştir.

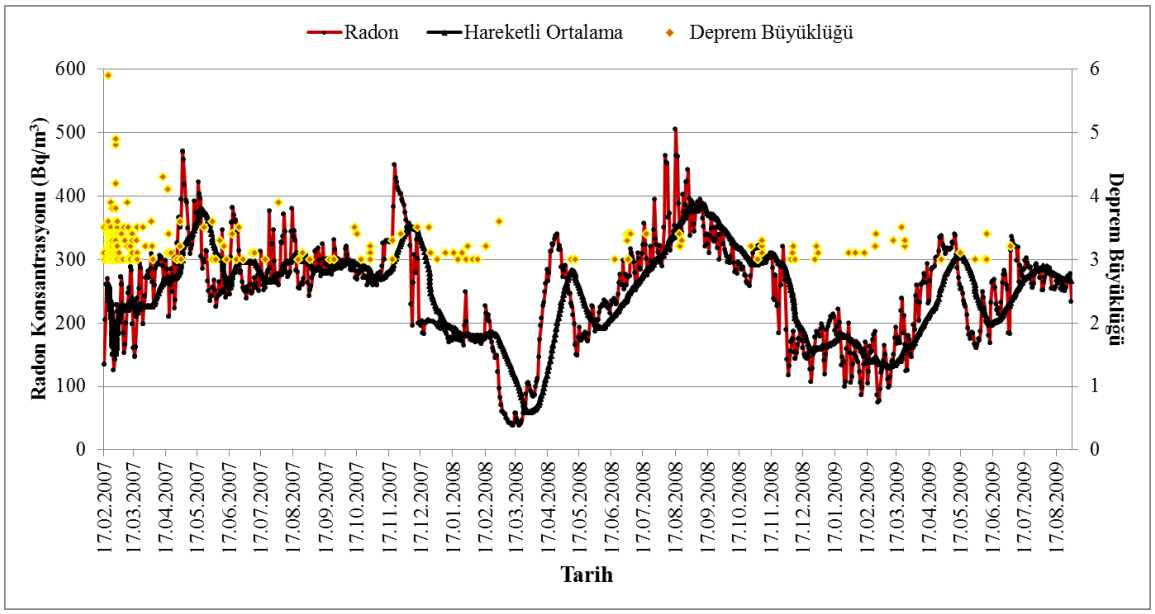
Tablo 7.33. Sivrice istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	T (^{0}C)
24.10.2005	12	14
09.02.2006	5	4
22.07.2006	95	29
21.08.2006	89	29
13.11.2006	47	10
02.03.2007	28	6
12.03.2007	33	8
24.03.2007	35	10
09.04.2007	35	11
23.04.2007	39	11
26.05.2007	81	22
07.06.2007	101	24
16.06.2007	102	25
06.07.2007	88	28
01.08.2007	92	29
11.08.2007	82	30
07.09.2007	76	28
18.02.2008	54	1
31.10.2009	45	15

Elde edilen sonuçlara göre Sivrice istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 267 depremin, 19 tanesinde ^{222}Rn anomalisi oluşmuştur. Yani Sivrice istasyonunda bu büyüklükte meydana gelen depremlerin %7'sinde ^{222}Rn anomalisi görülmektedir. Bu istasyonda anomali şeklinde değişimler nadir görülsede Şekil 7.10'deki Zaman Serisi grafiği incelendiğinde anomali süresinin uzun olması yavaş bir bölgesel stresin oluştuğunu gösterdi.

7.3.7. Soğukpınar İstasyonu ^{222}Rn Derişiminin Zaman Serisi ile Analizi

Araştırma süresi boyunca ilgili istasyon için elde edilen ^{222}Rn derişimi ile 3 ve 3'ten büyük depremlerin yer aldığı Zaman Serisi grafiği Şekil 7.11'de, meydana gelen diğer depremler ise Ek 9'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu süre zarfında ölçülen çevresel değişkenlerin ve ^{222}Rn derişiminin aylık ortalama değerleri Tablo 7.34'de verilmiştir.



Şekil 7.11. Soğukpınar istasyonu ^{222}Rn derişiminin zaman serisi analizi grafiği

Şekil 7.11 incelendiğinde Soğukpınar istasyonunun diğer istasyonlardan daha yüksek ^{222}Rn derişimine sahip olduğu görülmektedir. Kösebayır ve Soğukpınar istasyonu fayın sismik açıdan en yoğun olan güney kesiminde bulunan iki istasyondur. Bu iki istasyon arasında çok büyük bir mesafe olmamasına rağmen Soğukpınar istasyonu ^{222}Rn derişiminin daha yüksek değere sahip olması; ilgili konumun toprak yapısı, yüzey örtü kalınlığı, toprağın Uranyum veya Toryum içeriği farklılığı, farklı fay segmentlerine olan uzaklık gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu etkiler Soğukpınar istasyonu ^{222}Rn derişiminin diğer istasyonlardan da farklı olmasına neden olacaktır. Soğukpınar istasyonunun kumtaşı, kireçtaşı ve çamurtaşından oluşan bir toprak yapısı vardır. Kösebayır istasyonunda ise bu toprak türlerinden başka killi bir yapıda söz konusudur. Dolayısıyla kil geçirgenliği az olan bir toprak çeşidi olduğundan aynı kollar üzerinde yer

alan bu iki istasyonun ^{222}Rn yayılımının da farklı olmasına neden olacak ve derişim değerleri değişecektir.

Tablo 7.34. Soğukpınar istasyonuna ait ^{222}Rn derişimi ve meteorolojik değişkenlerin aylık ortalaması

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
Şubat 2007	195	4	5	6	4	-2	-1
Mart 2007	228	6	8	9	6	1	3
Nisan 2007	283	9	10	11	7	3	6
Mayıs 2007	342	18	19	18	12	12	17
Haziran 2007	286	24	25	24	11	13	20
Temmuz 2007	274	28	28	27	10	14	24
Ağustos 2007	297	28	29	29	10	14	23
Eylül 2007	290	24	26	27	7	9	17
Ekim 2007	283	16	19	22	8	7	11
Kasım 2007	335	7	10	15	6	2	3
Aralık 2007	251	3	4	9	5	-2	-1
Ocak 2008	185	-2	-1	4	3	-8	-7
Şubat 2008	175	0	1	3	3	-7	-6
Mart 2008	61	7	8	9	5	2	5
Nisan 2008	235	14	15	14	7	6	11
Mayıs 2008	210	17	18	19	8	8	14
Haziran 2008	234	22	23	23	9	12	20
Temmuz 2008	301	27	29	27	9	13	24
Ağustos 2008	376	29	30	29	10	14	23
Eylül 2008	351	22	25	26	8	10	17
Ekim 2008	294	16	17	21	8	7	10
Kasım 2008	290	9	11	15	7	3	5
Aralık 2008	157	4	4	9	4	-2	-1
Ocak 2009	176	2	2	5	4	-4	-3
Şubat 2009	133	4	5	7	5	0	1
Mart 2009	153	5	6	8	5	1	3
Nisan 2009	268	10	11	12	7	5	8
Mayıs 2009	261	17	18	17	8	9	14
Haziran 2009	224	24	24	23	11	13	20
Temmuz 2009	285	26	27	26	11	14	22
Ağustos 2009	265	25	27	27	8	11	20

Çalışma süresi boyunca tüm yıllar sismik faaliyet açısından oldukça yoğun olsada özellikle 2007 yılında meydana gelen deprem sayısı daha fazladır. 2007 Şubat ayında meydana gelen 5.9 büyüklüğündeki depremden sonra çok sayıda artçı sarsıntılar ve büyük depremler meydana gelmiştir. 14 Nisan ve 19 Nisan 2007 tarihinde meydana gelen depremlerden sonra ilki Mayıs ayının başlarında, ikincisi ise Mayıs ayının ortalarında olmak üzere çift ^{222}Rn piki gözlendi. Her iki pikte ortalamanın yaklaşık 1,5-2 katı değere sahiptir. King (1996) bu olayı fay düzlemindeki ezik malzemenin düşük geçirgenliğinin yersel değişkenlik göstermesi ile açıklamıştır. ^{222}Rn ve çevresel değişkenlerin aylık ortalama değerleri Tablo 7.34'de verildi.

Tablo 7.34 incelendiğinde 2007 ilkbahar ve yaz mevsimlerinin hemen hemen aynı ortalama değere sahip olduğu (285 Bq/m^3) görülmektedir. İlkbahar mevsimi itibariyle ^{222}Rn derişiminin artması beklenen bir durumdur ancak iki mevsim arasında büyük bir farkın olmaması meydana gelen sismik olaylar ile açıklanabilir. Sonbahar mevsiminde tekrar artan derişim değeri yılsonu itibariyle azalmaya başlamıştır. 2008 kışında ortalama 204 Bq/m^3 değerine ulaşan derişim değeri, ilkbaharda daha da düşerek bu yılın en küçük ortalama derişim değerine (169 Bq/m^3) sahip olmuştur. 2008 kışı sismik açıdan oldukça yoğun bir dönem olmuştur. İlkbahar itibariyle meydana gelen deprem sayısı yarı yarıya düşmüştür. Dolayısıyla bu dönem içerisinde kışın ölçülen derişim değerinin daha yüksek olması bu sismik faaliyetlere bağlanmaktadır. Derişim değeri yaz döneminde tekrar artışa geçmiş ve ortalama 304 Bq/m^3 değerine ulaştı. Bu dönemde meydana gelen deprem sayısı ilkbahar döneminde meydana gelen deprem sayısına hemen hemen eşittir. Dolayısıyla bu dönemdeki derişim artışında daha çok çevresel değişkenlerin etkin olduğu düşünülmektedir. Sonbahar döneminde ise yağış artışına rağmen derişim değeri de artış göstererek bu yılın en yüksek ortalama değerine (312 Bq/m^3) sahip olmuştur. Bu süre zarfında sismik faaliyetlerde tekrar artış göstermiştir. Dolayısıyla ilgili dönemde meydana gelen değişmelerde artan sismik faaliyetin etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma süresi boyunca 2007 ve 2008 yıllarında en düşük derişim İlkbahar mevsiminde en yüksek derişim değeri ise Sonbahar döneminde gözlemlenmiştir. Ancak aynı durum 2009 yılı için geçerli değildir. 2009 kışı itibariyle azalışa geçen derişim, ilkbahar itibariyle artmaya başlamış ve yaz mevsiminde maksimum seviyeye ulaşmıştır. ^{222}Rn derişiminin bu şekilde farklı davranışlar sergilemesi her dönem farklı etkenlerin (çevresel ve sismik) derişim üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

^{222}Rn ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon değerleri Tablo 7.35'de verilmiştir. Buna göre ^{222}Rn ve bb arasında düşük düzeyde, diğer çevresel değişkenlerle ise orta düzeyde pozitif yönlü bir ilişki söz konusudur. Dolayısıyla bu değerler ilgili istasyonda derişim değeri değişiminde yalnızda çevresel değişkenlerin etkili olmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 7.35. Soğukpınar istasyonu için ^{222}Rn ve çevresel değişkenler arasındaki Spearman korelasyon katsayılar matrisi

	ts_10 (^{0}C)	**ts_20 (^{0}C)**	**ts_50 (^{0}C)**	**bb (hPa)**	**ıts (^{0}C)**	**kts (^{0}C)**
^{222}Rn (Bq/m^3)	0,513	0,535	0,573	0,433	0,482	0,478

Tablo 7.35'e göre sıcaklık artışının olduğu dönemlerde ^{222}Rn derişiminin artacağı anlamı çıkmaktadır. Şekil 7.11 incelendiğinde genellikle sıcaklık artışı ile birlikte derişimin arttığı görülmektedir, ancak Tablo 7.34'deki değerler incelendiğinde 2009 yılı hariç en yüksek ortalama derişim değerine sıcaklığın azaldığı sonbahar mevsiminde ulaştığı görülmektedir. Buda bize bu dönemlerde meydana gelen değişimlerde çevresel faktörlerden çok sismik faaliyetlerin daha etkili olduğu sonucunu çıkarmamıza neden olur.

Soğukpınar istasyonunda meydana gelen deprem öncü ^{222}Rn anomalilerini tespit etmek için Ek 10 Şekil 7'de yer alan grafiklerden faydalanarak belirlenen, herhangi bir sismik faaliyetin meydana gelmediği ancak sadece çevresel değişkenlerin ani değişimler gösterdiği karakteristik noktalara ait değerler Tablo 7.36'da verildi.

Ek 11 Tablo 32'de yer alan bu verilere ait normallik testi sonuçları incelendiğinde Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre; ts_10, ts_20, ts_50 ve ıts değişkenlerinin Sig. değeri 0,05'ten küçük olduğundan normal dağılım sergilememektedir. Bu değişkenlerin modelden çıkarılmasıyla geri kalan değişkenler arasında elde edilen korelasyon değerleri Ek 11 Tablo 33'te yer almaktadır. Bu tabloda değişkenler arasındaki korelasyon değerleri incelendiğinde model kurulumu için uygun olduğu görülmektedir. ^{222}Rn, bb ve kts değişkenlerinin kullanımıyla elde edilen ANOVA tablosu ve katsayılar tablosu incelendiğinde (Ek 11 Tablo 35 ve Ek 11 Tablo 36), F ve t testi sonuçlarına göre hem modelin hem de katsayıların anlamlı olduğu sonucuna varılır. Katsayılar tablosu incelendiğinde kts sıcaklığının ^{222}Rn derişimi üzerinde bb'dan daha etkili olduğu görülmektedir. Bu iki değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyon değerleri incelendiğinde ^{222}Rn ile kts arasında pozitif yönlü yüksek düzeyli bir ilişkinin olduğu, ancak diğer değişken kontrol edildiğinde bu ilişkinin 0,67'e düştüğü görülmektedir.

Tablo 7.36. Soğukpınar istasyonu için depremlerin olmadığı dönemlere ait ^{222}Rn derişimi ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	ts_10 (^{0}C)	ts_20 (^{0}C)	ts_50 (^{0}C)	bb (hPa)	ıts (^{0}C)	kts (^{0}C)
23.04.2007	250	10,6	11,5	10,6	7,4	5,8	8,8
28.05.2007	250	19,2	20,1	21	14,8	14,2	16,5
26.07.2007	286	29,8	30	28,2	12,8	16,8	27,4
09.08.2007	345	28,7	30	29,1	11,6	15,8	26,5
17.08.2007	336	30,4	30,6	29,4	11,4	14,2	22,2
29.08.2007	307	25,7	27,6	27,8	14,1	14,5	18,6
04.10.2007	294	21,3	23,2	24,6	5,8	7	14
26.10.2007	271	15,6	18,4	20,4	6,3	7,2	13,6
06.11.2007	277	12,4	14,2	18	10,1	8,4	10
26.02.2008	144	1,6	2,2	3,9	5,4	-0,5	0,4
13.04.2008	232	13,2	13,6	13	9	7,8	10,4
03.05.2008	290	18	18,6	18	7,3	8,2	14,2
28.06.2008	298	27,2	27	25,4	8	12,8	24,2
12.07.2008	310	27,2	28	26,2	8,7	13,4	24,6
16.08.2008	352	29,6	30,2	28,8	9,2	13,6	24,4
25.08.2008	376	26,2	27,6	28,6	11,8	14	21
01.09.2008	394	28	29,4	28,4	9,8	13,2	22,2
17.09.2008	325	24	26,4	26,4	6,7	9,4	18
15.10.2008	277	19	20	21,2	8,6	9,6	15,2
24.12.2008	127	5,4	5	7,5	5,5	2,2	5
29.01.2009	180	5	4,6	5,6	5,4	1	2,9
09.02.2009	123	7	6,4	6,7	8,2	4,8	5,4
23.03.2009	184	7,8	8,2	8,4	7	3,7	5,4
04.04.2009	243	8	9,6	10,5	8,4	4,9	5,3
20.05.2009	235	21	21,4	18,6	12	13,6	19,6
09.07.2009	321	24,6	26	26,2	13,5	15	21
08.08.2009	289	26,6	27,8	27,4	10,6	14,2	23,6

Tüm bu işlemler neticesinde katsayılar tablosuna göre elde edilen regresyon denklemi Denklem 7.16'da verildiği gibidir.

$$radon = 166{,}697 - 1{,}549\,bb + 7{,}615\,kts \tag{7.16}$$

Soğukpınar istasyonunda meydana gelen olası bir ^{222}Rn anomalisini veya çevresel değişkenler tarafından sebep olunan değişimleri açıklamak için Denklem 7.16'dan faydalanıldı. Örneğin; Şekil 7.11 incelendiğinde 22 Kasım 2007 tarihinde ^{222}Rn derişiminde ani bir artış görülmektedir. Bu tarihteki ^{222}Rn derişiminin gerçek değeri 450 (Bq/m^3) olup, bb ve kts değişkenlerine ait değerler sırasıyla 7,5 hPa ve 5°C'dir. Bu değerlerin Denklem 7.16'da yerine yazılmasıyla elde edilen tahmin değeri ise 193 Bq/m^3 olarak bulunur. Buna göre, gerçek ve tahmin değeri arasındaki fark 257 Bq/m^3 olacaktır. Bu değer Ek 11 Tablo 1'de yer alan Soğukpınar istasyonuna ait standart sapmanın 3,6

katıdır. Yani bu fark değeri 2σ'nında üstünde bir değere sahiptir. Bu nedenle ilgili tarihte meydana gelen ^{222}Rn derişimi deprem öncü piki olarak adlandırılır. Çalışma süresi boyunca Şekil 7.11'den faydalanarak ^{222}Rn derişiminde meydana gelen bu ani değişimler tespit edildi ve Denklem 7.16'dan faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda deprem öncüsü ^{222}Rn anomalileri tespit edildi. Buna göre Soğukpınar istasyonunda meydana gelen deprem öncesi artış gösteren ^{222}Rn verilerine ve çevresel değişkenlere ait bilgiler Tablo 7.37'de verildi.

Tablo 7.37. Soğukpınar istasyonu için deprem öncüsü ^{222}Rn pikleri ve çevresel değişkenlere ait değerler

Tarih	^{222}Rn (Bq/m^3)	bb (hPa)	kts (°C)
21.02.2007	259	4,8	-0,4
15.03.2007	282	7,8	4,2
04.04.2007	264	4,7	2,7
18.05.2007	422	12,8	17,2
20.06.2007	382	9,8	20,6
07.10.2007	320	11,4	11,4
22.11.2007	450	7,5	5
29.01.2008	249	5,4	2
16.02.2008	174	2,2	-9,2
29.04.2008	316	5,4	9,8
17.08.2008	505	9,5	22,2
28.11.2008	320	8,6	5,6
20.01.2009	222	4,1	-1,8
22.03.2009	238	3,1	-1
11.05.2009	340	6,9	11
31.05.2009	165	8,1	17

Elde edilen sonuçlara göre Soğukpınar istasyonu çevresinde meydana gelen 3 ve 3'ten büyük 217 depremin, 16 tanesinde ^{222}Rn anomalisi oluşmuştur. Yani Soğukpınar istasyonunda bu büyüklükte meydana gelen depremlerin %7'sinde ^{222}Rn anomalisi görülmektedir. Şekil 7.11'deki Zaman Serisi grafiği incelendiğinde depremler ile ^{222}Rn derişiminin depremler ile birlikte arttığı görülmektedir. Ancak anomali şeklinde değişimler nadir görülmüştür. Bu istasyon çalışma bölgesi içinde en yüksek ^{222}Rn derişimine sahip olan konumdur. Aynı segment üzerinde yer alan Kösebayır istasyonunda dahi derişim değeri bu kadar yüksek olmamıştır. Bu nedenle Soğukpınar istasyonunda doğal radyonüklid dağılımının belirlenmesi ve ^{222}Rn derişimi ile arasında bir ilişkinin bulunup bulunmadığının tespit edilmesi meydana gelen değişimlerin daha net ve rahat bir biçimde belirlenmesine olanak sağlayacaktır.

7.4. ^{222}Rn Aktivitesinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi

^{238}U serisinde yer alan ^{226}Ra'nın dönüşüm ürünü olan ^{222}Rn, 3,82 günlük yarı ömre sahip olmasına rağmen, ^{226}Ra'nın 1600 yıllık yarı ömründen dolayı sürekli olarak çevrede mevcut bulunan radyoaktif bir asalgazdır (Tanır vd., 2013). Bu radyoaktif çekirdek gerek sismik faaliyetlerden, gerekse çevresel değişkenlerden etkilendiğinden ve bu etkenler konumsal farklılık sergilediğinden ilgili radyoaktif çekirdeğin dağılımının da konumsal farklılık göstermesine neden olacaktır. Ancak istenilen her konumda ve zamanda sürekli olarak ölçüm almak mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte uzaysal analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen modeller sayesinde, incelenen değişkenin haritalandırılması ve ölçüm yapılmamış konumlarda dahi değişimin görülmesi mümkündür. Bu nedenle çalışmamızda temeli YV yöntemine dayanan, aynı zamanda bir radyoaktif çekirdeğin zaman içindeki aktivite değişiminide barındıran yeni bir uzaysal model geliştirilerek ^{222}Rn aktivitesinin mevsimsel değişiminin incelenmesinde kullanıldı. Tüm radyoaktif çekirdekler üstel kanuna uyarak bozunurlar ve aktiviteleri de aynı şekilde üstel olarak azalmaktadır. Bir radyoaktif çekirdeğe ait aktivite formülü Denklem 7.17'de verilmiştir.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \tag{7.17}$$

Radyoaktif çekirdeğin konumsal olarak aktivitesinin değişimini ifade etmek için Denklem 7.17, Bölüm 5'te yer alan Denklem 5.2 ile ifade edilen yarıvariogram eşitliği ile birleştirilmiş ve Denklem 7.18 elde edilmiştir.

$$\gamma(d) = \frac{1}{2N_d} \sum_{i=1}^{N_d} ((A_0 e^{-\lambda t})_i - (A_0 e^{-\lambda t})_{i+d})^2 \tag{7.18}$$

Burada, $\gamma(d)$ d mesafesindeki YV değeri; N_d gözlem verilerin toplam sayısı; $(A_0 e^{-\lambda t})_i$ i. yerleşimdeki radyoaktif çekirdeğin aktivitesi, $(A_0 e^{-\lambda t})_{i+d}$ i. konumdan d mesafe sonraki radyoaktif çekirdeğin aktivitesini göstermektedir.

Literatürde radyoaktif çekirdeklerin konumsal ve zamansal değişminin incelendiği çalışmalara bakıldığında, üstel bozunum kanunun gözönüne alınmadığı görüldü. Bu açıdan önerilen yöntemin, bir radyoaktif çekirdeğin konsantrasyonunun konumsal ve zamansal

değişiminin değerlendirilmesinde daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. İlgili yöntemin kullanılmasıyla elde edilen modeller ve bu modellere bağlı olarak oluşturulan haritalar Ek 12 Şekil 1 ve Şekil 2'de verildi.

Ek 12 Şekil 1a 2008 yılı ilkbahar dönemi, Ek 12 Şekil 1c 2008 yılı yaz dönemi, Şekil 1e ise 2008 yılı sonbahar dönemi ^{222}Rn aktivite değişimini ifade eden modeller olup, Ek 12 Şekil 1b, Şekil 1d ve Şekil 1f sırasıyla bu modellere ait aktivite değişimini gösteren izo-eğri haritalardır. Aynı şekilde Ek 12 Şekil 2a 2009 yılı kış dönemi, Ek 12 Şekil 2c 2009 yılı ilkbahar dönemi, Ek 12 Şekil 2e ise 2009 yılı yaz dönemi ^{222}Rn aktivite değişimini ifade eden modeller olup, Ek 12 Şekil 2b, Şekil 2d ve Şekil 2f sırasıyla bu modellere ait aktivite değişimini gösteren izo-eğri haritalardır. Bahsedilen bu süreler boyunca ^{222}Rn aktivitesinin Eksponansiyel ve Küresel model olmak üzere iki farklı model yapısında değişim sergilediği görüldü. 2008 ve 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn aktivite değişiminin Küresel model yapısı sergilerden, diğer dönemlerin Eksponansiyel modele uyduğu görülmektedir. Bu şekilde iki farklı modelin oluşması ilgili konumlarda ^{222}Rn aktivite değişiminde çevresel faktörlerin dışında başka değişkenlerin etkisinin de olduğunu göstermektedir.

Eksponansiyel modele göre; ^{222}Rn aktivitesi birbirine yakın ve uzak mesafelerde farklı özellikler sergilemektedir. Bu modele uyum sağlayan dönemlere ait izo haritalar incelendiğinde bahsedilen bu durumu net bir şekilde görmek mümkündür. Bu modele uyum sağlayan tüm haritalarda, birbirine yakın olan 1 ve 3 nolu istasyon ile 2, 6 ve 7 nolu istasyonların değişimleri oldukça farklıdır. Bölge sanki düşük ve yüksek aktivite bölgesi olmak üzere iki adaya ayrılmıştır. Ancak bu konumlar arasında 4 nolu istasyonun davranışı farklılık göstermiştir. Bu konum 7 nolu istasyona oldukça yakın olmasına rağmen ve bu iki konum aynı klimatik hat üzerinde bulunmasına rağmen, 4 nolu istasyonun daha yüksek aktivite değerine sahip olduğu görülmektedir. Buda bize ilgili konum üzerinde çevresel etkenlerin dışında farklı faktörlerinde etkili olduğunu göstermektedir. Zaten 4 nolu istasyon çalışma bölgesinin sismik faaliyet açısından en yoğun olduğu bölgesinde bulunmaktadır. Bu durum 7 nolu konumda içinde geçerlidir ancak bu iki konum arasında ki farklılığın 4 nolu istasyonun meydana gelen değişimlere daha hassas olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen tüm haritalar incelendiğinde 4 nolu istasyonun sürekli olarak en yüksek aktivite değerine sahip olduğu diğer konumlardaki aktivite değerlerinin ise dönem dönem değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla bu durum ilgili konumun genel olarak yüksek aktiviteye sahip bir konum olduğunu yani bu bölgede ^{222}Rn

üretimine neden olan radyoaktif çekirdek oranının diğer konumlardan daha fazla olabileceğini göstermektedir. Aynı durumu 1 ve 3 nolu istasyonlar içinde söylemek mümkündür. Çünkü 1 ve 3 nolu istasyondaki aktivite değerleri de sürekli olarak diğer istasyonlardan daha yüksektir. Tek fark bazı dönemlerde 1 nolu istasyon maksimum değere ulaşırken, bazı dönemlerde 3 nolu istasyonun ulaşmasıdır. Bu nedenle ilgili konumlardaki ^{238}U miktarının tespit edilmesi ^{222}Rn aktivitesinde meydana gelen tüm bu değişimlerin daha sağlıklı yorumlanmasına yardımcı olacaktır.

Küresel modele uyan dönemler incelendiğinde ise yukarıda bahsedilen istasyonların yine en yüksek aktivite değerlerine sahip istasyonlar olduğu görülmektedir. Özelikle 3 nolu istasyon bu dönemlerde daha yüksek aktivite değerlerine sahip olmuştur. Dolayısıyla bu durum 3 nolu istasyonun sıcaklık artışına diğer istasyonlardan daha hassas olduğunu göstermektedir. Bu döneme ait izo-haritalardaki geçişlerin ise daha yumuşak olduğu, yani yakın konumlardaki istasyonlarda aktivite değerinin ani değil yavaş bir biçimde arttığı ya da azaldığı görülmektedir. Buda ilgili süre zarfında aktivite değişiminin hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bu haritalar, çalışma bölgesinin Güney ve Güneydoğu kesimlerinin daha yüksek aktivite değerlerine sahip olduğunu, sismik aktivite açısından daha yoğun olan bölgenin ise düşük aktivite değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen model neticesinde çizilen bu haritalar bölgedeki olası ^{222}Rn miktarının belirlenmesi, ^{222}Rn risk haritalarının oluşturulması, sağlık riski değerlendirilmeleri ve jeolojik çalışmalar açısından oldukça önemlidir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Toprak gazındaki ^{222}Rn derişiminin zamansal ve konumsal değişiminin analizi sismik aktivitelerle ile ilgili jeodinamik süreçler için kullanışlı bir araç olmakla birlikte önemli bilgiler sağlamaktadır. Ancak, jeolojik olayların oluşumu, kaya ve toprak katmanlarının dağılımı homojen bir yapı göstermediğinden ^{222}Rn'ninde homojen olmayan bir dağılım göstermesine neden olmaktadır. Bu tür davranış sergileyen değişkenlerin modellenmesinde uzaysal analiz yöntemleri oldukça kullanışlıdır. Çünkü incelenen değişkenin konumsal bağlılığını da araştırmaktadır. Bununla birlikte ^{222}Rn derişimi; sıcaklık, barometrik basınç, yağış ve diğer meteorolojik değişkenlerden de etkilenmektedir. Tüm bu etkilerin göz önüne alınmasıyla geliştirilecek uzaysal bir model gerek ^{222}Rn'nin, gerekse ^{222}Rn gibi davranış sergileyen diğer gazların davranışının modellenmesinde ve bölgesel karakteristiğinin çıkarılmasında oldukça fayda sağlayacaktır. Bu amaçla çalışmamızda; Dünya'nın sismik olarak en aktif faylarından biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı'nda; Ergani, Gezin, Helindir, Kösebayır, Palu, Sivrice ve Soğukpınar istasyonlarından alınan toprak ^{222}Rn gazının, depremlerle ve çevresel değişkenlerle olan ilişkisini belirlemek için yeni bir uzaysal analiz yöntemi geliştirildi ve bu yönteme "Regresif Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarıvariogram (RUZNTYV)" adı verildi. Elde edilen bu yöntemin sonuçlarına göre; ^{222}Rn'nin deprem ve çevresel değişkenler ile birlikte 5 farklı model yapısına sahip olduğu görülmüştür. Bu durum bize ilgili bölgede ^{222}Rn'nin oldukça heterojen bir yapı sergilediğini ve her konumda dış etkenlerden farklı oranlarda etkilendiğini göstermektedir. Aynı durumu elde edilen zaman serisi grafiklerinde de görmek mümkün oldu. Her bir konumdaki ^{222}Rn derişiminin zaman serisi grafiklerinin birbirine benzemediği açıkça görülmektedir. Bu durum çok şaşırtıcı olmayıp bir çok çalışmada belirtildiği gibi gaz anomalilerinin klasik bir özelliğidir (King, 1986; Yaprak vd., 2003). Çalışma bölgemiz sismik olarak oldukça aktif ve çok sayıda fay içeren bir bölgedir. Bu tür bölgelerde, faylarda ve fayların birleştiği konumlarda gaz anomalilerinin farklılığı veya yüksek değerler alması her bir kayanın kendine özgü bir stres geçmişinin olmasından ve stresin anomali oluşturacak kritik değere ulaşıp ulaşmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla gerek RUZNTY modelinde, gerekse zaman serisi grafiklerinde görülen

farklılıklar bundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ^{222}Rn gazının zamansal ve konumsal değişiminde fay türü de etkilidir. Doğu Anadolu Fayı, sol atımlı bir faydır ve bu fayların özelliği yerkabuğundaki makaslama kuvvetleri ile oluşmalarıdır. Dolayısıyla fay düzlemindeki materyalden yayımlanan gazlar, şiddetli makaslanmaya uğramış zonlarda yayımlanan gazlardan kimyasal olarak farklılık göstermekte ve bu iki yapının farklı geçirgenliğe sahip olması ^{222}Rn gazı çıkış miktarını etkilemektedir. Tüm bunlarda ^{222}Rn'nin her bir konumda farklı bir yapı sergilemesine ve deprem öncü piklerinin her bir konumda farklı yüzdelik dilimlerle görülmesine neden olmaktadır.

RUZNTYV yöntemi ile elde edilen modeller incelendiğinde Gauss modeline uyan konumların daha fazla olduğu görüldü. Bu modelin özelliği sıklıkla meydana gelen olaylar olduğunda oluşmasıdır. Çalışma bölgemizde sismik açıdan oldukça yoğun bir bölge olduğu için modele uyan konum sayısının fazla olması beklenen bir durumdur. Bununla birlikte bu model ^{222}Rn derişiminde meydana gelen değişimlerin mevsimsel etkilerden ziyade sismik faaliyet kaynaklı olduğunu da göstermiş olmaktadır. Bu durum zaman serisi grafikleriyle de ispatlanabilir. Örneğin; Kösebayır ve Soğukpınar istasyonları Şekil 6.1'de görüldüğü gibi diğer istasyonlara nazaran birbirlerine oldukça yakın iki istasyondur. Ancak elde edilen zaman serisi grafiklerindeki farklılık oldukça dikkat çekicidir. Bu istasyonlarda meydana gelen ^{222}Rn derişimindeki değişimler mevsimsel etkilerden kaynaklanıyor olsaydı aynı klimatik hatta bulunan bu iki istasyonda benzer durumların gözlenmesi gerekirdi. Dolayısıyla bölgede meydana gelen değişimler, atmosferik etkilerden ziyade çalışma bölgesinin jeolojik yapısı ile ilişkilidir. Bununla birlikte yine zaman serisi grafiklerinde ve aylık ortalama ^{222}Rn ve çevresel değişken değerlerinin verildiği tablolar incelendiğinde de ^{222}Rn derişiminin farklı mevsimlerde artış ve azalış sergilemesi bu durumu kanıtlar niteliktedir.

RUZNTYV yöntemi çok kompleks matematiksel teoremler gerektirmeyen ve pratik çalışmalarda kolaylıkla uygulanabilecek bir yöntemdir. Bunun yanı sıra ^{222}Rn derişiminin konumsal değişkenliğinin daha hassas bir biçimde belirlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemle elde edilen her bir modelin kendine ait matematiksel bir denklemi olup, bu denklemlerin kullanımı ile kestirim işlemi yapmak mümkündür. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara göre %3'lük kestirim ortalamasıyla yöntemin başarılı olduğu söylenebilir. Ancak bu yöntem deprem zamanının tahmin edilmesine yardımcı olamamaktadır. Bölgede oluşabilecek olası bir depremin büyüklüğünü olasılıklara göre belirlemeye ve yorumlamaya imkân sağlamaktadır. Yöntemin güvenilirliğini test etmek

için aynı verilerin kullanımıyla YSA yöntemiyle de kestirim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile bulunan değerlerin ise ortalama %4'lük bir hata payına sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda normal dağılım sergileyen ancak az sayıdaki veriyle kestirim işleminde RUZNTYV yönteminin, YSA'dan daha güvenilir olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca RUZNTYV yöntemi neticesinde elde edilen grafikler incelenen değişkennin hem konumsal hem de çevresel değişkenlere bağlı olarak nasıl bir değişim sergilediği hakkında bilgi vermekte ve bölgenin karakteristiğini belirlemeye önemli katlı sağlamaktadır. Ancak aynı durumu YSA için söylemek mümkün değildir. YSA'da eğitim sırasında sistemin programa kaç defa okutulacağını gösteren döngü sayısı oldukça önemlidir. Çünkü hatalı bir modelin kurulup kurulmadığı buna bağlıdır. Yani döngü sayısının aşırı öğrenmeye neden olmayacak kadar yüksek, öğrenmenin olmayacağı kadarda az olmaması gerekmektedir. RUZTYV yönteminde ise böyle bir kısıtlama bulunmamaktadır. Bunun yanısıra RUZNTYV yönteminde verilerin eğitim ve test verisi şeklinde ayrılmasına gerek yoktur. Kullanılan veya kullanılmayan her bir konum için kestirim işlemi yapmak mümkündür. Ayrıca ezberleme olayı da olmadığından YSA'ya göre daha kullanışlıdır.

^{222}Rn derişiminin depremler ile birlikteki değişiminin incelendiği dünya geneli araştırmalara göre, depremle ilişkili ^{222}Rn anomalilerinin %70'den fazlasında bir sismik olay öncesi derişim değerinin arttığı, sadece birkaç anomalide ise azaldığı görülmüştür. Çalışmamızda ^{222}Rn derişiminde meydana gelen anomalileri tespit etmek amacıyla yaptığımız zaman serisi analizleri neticesinde; Gezin istasyonu haricinde geri kalan tüm istasyonlarda ^{222}Rn derişimindeki ani değişimlerin genellikle depremler ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bu istasyonlar arasında ise Kösebayır istasyonunun meydana gelen sismik değişimlere diğer istasyonlardan daha hassas olduğu, gerek zaman serisi grafiklerinden, gerekse bu grafiğe bağlı olarak oluşturulan regresyon modeli neticesinde elde edilen sonuçlardan da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Gezin istasyonunda 3 ve 3'ten büyük depremlerde deprem öncüsü ^{222}Rn anomalisi görünme oranı %6 iken, Ergani, Helindir, Kösebayır, Palu, Sivrice ve Soğukpınar istasyonlarında sırasıyla, %28, %10, %19, %6 ve %7 dür. Buda bize çalışma bölgesinin oldukça karmaşık bir yapı sergilediğini ve bazı istasyonların diğerlerine göre ^{222}Rn anomalisini algılamada daha hassas olduğunu göstermektedir. Bu durum fay düzlemindeki dolgu malzemesinin geçirgenliğinin farklılığından kaynaklanmaktadır. ^{222}Rn derişiminin depremler ile birlikte değişiminin bu şekilde uzun süreler boyunca takip edilip deprem öncesi anomali karakteristiğinin

çıkarılması ve zaman serisi grafiklerinde görünen depremler ve deprem öncüsü ^{222}Rn anomalisi arasındaki öncü zaman periyodunun belirlenmesi daha sonra oluşabilecek bir deprem için olası bir tahminde bulunulmasını sağlayabilir. Bunun için bu çalışma ile ilgili önerilebilecek diğer çalışmalar şöyle özetlenebilir: öncelikle Denklem 4.1'de yer alan *b* değişkeninin ve Denklem 4.2'de yer alan çalışma bölgesinin kabuk yapısına bağlı olarak değişen *a* sabiti değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunların ardından Denklem 4.1'de ki eşitlik ile bölgede meydana gelen depremlerin öncü sürelerini belirleyebilmek mümkün olacaktır. Doğu Anadolu Fayı üzerinde gerek ^{222}Rn gazı davranışının gerekse jeolojik yapısının incelendiği çalışmalarda bahsettiğimiz değişkenlerin belirlenmesine yönelik bir çalışmanın yapılmamış olduğu görülmüştür. Çalışma bölgemize ait bu değişkenlerin bilinmesi durumunda her bir istasyon için tespit ettiğimiz ^{222}Rn anomalilerinden faydalanarak zamanlama konusunda daha sağlıklı değerlendirmeler ve kestirimler yapmak mümkün olacaktır. Bununla birlikte ^{222}Rn her zaman deprem öncüsü anomaliler göstermez veya deterministik kaos tarafından sebep olunan yanlış sinyaller verebilir. Bu nedenle çalışma bölgesinin öncelikle kaotik analizinin yapılması ve sonrasında diğer modellerin uygulanması daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

Elde ettiğimiz zaman serisi grafikleri incelendiğinde Gezin istasyonu dışında Sivrice istasyonunun da oldukça farklı bir yapı sergilediği görüldü. Bu istasyonda 3 büyüklüğünde ki depremlerde ^{222}Rn derişiminde çok büyük değişimler görülmezken, 4 büyüklüğünde ve üstündeki depremlerin sonrasında yüksek ^{222}Rn anomalileri görüldü ve bu anomali süresi uzun sürdü. Anomalinin bu depremlerin sonrasında görülmesi ve süresinin uzun olması ilgili konumda yavaş bir bölgesel stresin oluştuğunun göstergesidir. Yani bu istasyonun bir ön izleyici olarak kullanması mümkün değildir. Ancak aynı konumda yeraltı sularında da ^{222}Rn derişiminin benzer bir değişim sergileyip sergilemediğinin tespit edilmesi, daha sağlıklı bir değerlendirme yapmamıza olanak sağlayacaktır. Elde ettiğimiz tüm modeller ve analizler neticesinde ilgili bölgedeki ^{222}Rn anomalilerinin daha çok büyük depremlere duyarlı olduğu görüldü. Bu depremlerin önceden kestirilebilmesi için daha önce bahsettiğimiz *a* ve *b* değişkenlerinin belirlenerek çalışma kapsamının daha da genişletilmesi ve ^{222}Rn gazı konsantrasyonunun derin gaz veya yerel kaynaklı olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Bunun için ^{222}Rn ölçümlerinin yapıldığı her bir istasyondan alınan toprak örneklerinde Uranyum ve Toryum derişimlerinin saptanarak bölgeye ait doğal radyoçekirdek dağılımının elde edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aboufirassi, M., and Marino, M. A., 1984. A geostatistically based approach to the identification of aquifer transmissivities in Yolo Basin, California, *Mathematical. Geology*, **16(26)**, 125–137.

Arroyo, J. A., and Mateu, J., 2004. Spatio-temporal modeling of benthic biological species, *Journal of Environmental Management*, **71**, 67-77.

Baykut, S., Akgül, T., İnan, S., Seyis, C., 2010. Observation and removal of daily quasi-periodic components in soil radon data, **45**, *Radiation Measurements*, 872-879.

Bazuhair, A. S. A., Şen, Z., 1994. Cumulative Semivariogram models of trace elements from springs in Saudi Arabia, *Nordic Hydrology*, **25**, 345-358.

Bichard, G. F. ve Libby, W. F., 1980. Soil Radon concentration changes preceeding and following four magnitude 4.2-4.7 earthquakes on the San Jacinto Fault in Southern California, *Journal of Geophysical Research*, **85**, 3100-3106.

Büyüköztürk, Ş., 2002. Sosyal Bilimciler için Veri Analizi El Kitabı. Pegem Yayıncılık, Ankara.

Boukhal, H., Cherkaoui, T., Lferde, M., 1995. Radon variation in soil related to the two earthquakes Md 5.2 and 5.3 occured in Rachidia Province (Morocco), *Applied Radiation Isotopes*, **46**, 641-662.

Carr, J. R., Bailey, R. E., and Deng, E. D., 1985. Use of indicator variograms for enhanced spatial analysis, *Mathematical Geology*, **17**, 797–812.

Calder, C., Holloman, C., Higdon, D., 2002. Exploring space–time structure in ozone concentration using a dynamic process convolution model. Case studies in bayesian statistics, *Springer, Heidelberg*, **vol. VI**, pp. 165–176.

Ceylan, S., 2008. Marmara Depremlerinin Kaotik Özellikleri ve Fraktal Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.

Choubey, V. M., Arora, B. R., Barbosa, S. M., Kumar, N., Kamra, L., 2011. Seasonal and daily variations of radon at 10 m depth in borehole, Garhwal Lesser Himalaya, India, *Applied Radiation and Isotopes*, **69**, 1070-1078.

Clark, I., 1979. The semivariogram Part 1, *Engineering & Mining Journal*, **180**, 90-94.

Clark, I., Harper W. V., 2000. Practical Geostatistics, Ecosse North America, Columbus

Cooley, R. L., 1979. A method of estimating parameters and assessing reliability for models of steady state groundwater flow, 2, applications of statistical analysis, *Water Resources Research*, **15**, 603–617.

Cothern, C. R., Smith, J. E., 1987. Environmental Radon, Plenum Press, New York.

Cressie, N., Huang, H., 1999. Classes of nonseparable, spatio-temporal stationary covariance functions, *The Journal of the Acoustical Society of America*, **94**, 1330–1340.

Çelebi, H. ve Peker, İ., 1994: Ergani-Maden (Elazığ) bakır yatağı cevherlerinin Bi, La, Ce, Th ve U eser elementleri, *TJK Bül,* **37**, 149-154.

Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., İnceöz, M., 2012. The Palu-Uluova strike-slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its transition from the palaeotectonic to neotectonic stage, *Turkish Journal of Earth Science*, **21**, 547-570.

Davis, J., C., 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons Inc. Canada.

De Cesare, L., Myers, D.E., Posa, D., 2001. Product–sum covariance for space–time modeling: an environmental application, *Environmetrics*, **12**, 11–23.

De Iaco, S., Myers, D.E., Posa, D., 2001. Space–time analysis using a general product–sum model, *Statistics & Probability Letters*, **52 (1)**, 21–28.

Dobrovolsky, I.P., Zubkhov, S.I., Miachkin, V.I., 1979. Estimation of the size of earthquake preparation zones, *Pure Applied Geophysics*, **117**, 1025-1044.

Dueñas, C., Fernández, M. C., Cañete, S., Pérez, M., Gordo, E., 2011. Seasonal variations of radon and the radiation exposure levels in Nerja cave, Spain, *Radiation Measurements*, **46**, 1181-1186.

Durrani, S., A., Ilić, R., 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors, World Scientific, Singapore.

Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin yayıncılık, Ankara.

Ercan, A., 2001. Deprem Olacağı Nasıl Bilinir? TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Kozan Ofset, Ankara.

Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları, *Geological Society of Turkey*, **25**, 49-59.

Faussett, L., 1994. Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice-Hall.

Fernández, C., Soria, E., Martín, J. D., Serrano, A. J., 2006. Neural networks for animal science applications: two case studies, *Expert Systems with Applications*, **31,** 444-450.

Friedmann, H., and Hernegger, F., 1978. A method for continuous measurement of radon in water of springs for earthquake prediction, *Geophysical Research Letters*, **5**, 565-568.

Gates, A. E., Gundersen, L. C. S., Malizzi, L. D., 1990. Comparison of Radon in soil over faulted crystalline terranes: glaciated versus unglaciated, *Geophsical Research Letters*, **17**, 813-816.

Garcia, F. J. M., 2006. Analysis of the spatio-temporal distribution of helicoverpa armigera Hb in a tomato field using a stohastic approach, *Biosystems Engineering*, **93(3)**, 253-259.

Gesell, T. F., 1983. Background atmospheric ^{222}Rn concentrations outdoors and indoors: A review, *Health Physics*, **45**, 289-302.

Ghosh, D.,Deb, A., Sengupta, R., Patra K. K., Bera, S., 2007. Pronounced soil-radon anomaly—precursor of recent earthquakes in India, *Radiation Measurements*, **42**, 466-471.

Ghosh, D.,Deb, A., Sengupta, R., 2009. Anomalous radon emission as precursor of earthquake, *Journal of Applied Geophysics*, **69**, 67-81.

Gürocak, Z., 1993. Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Hammond, D. E., Teng, T. L., Miller, L., ve Haraguchi, G., 1981. A Search for co-variance among seismicity, groundwater chemistry, and groundwater Radon in Southern California, *Geophysical Research Letters*, **8**, 445-448.

Hayashi, K., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Ishikawa, T., Omori, Y., Suzuki, T., Homma, Y., Mukai, T., 2015. Normal seasonal variations for atmospheric radon concentration:a sinusoidal model, *Journal of Environmental Radioactivity*, **139**, 149-153.

Haykin, S., 1999. Neural Networks a Comprehensive Foundation, Prentice Hall, New Jersey

Herece, E., ve Akay, E., 1992**.** Karlıova Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi, 361–372.

Hoeksema, R. J., ve Kitandis, P. K., 1984. An application of the geostatistical approach to the inverse problem in two dimensional groundwater modeling, *Water Resources Research*, **20**, 1003–1020.

Hosein, P., 2001. Stock price prediction by Artificial Neural Networks: A study of Tehran's stock exchange (T.S.E). Management Studies Quarterly Journal of Management, Accounting School, Allame Tabatabaee University, 31-32.

Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M., Sano, Y., 1995. Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan, *Science*, **269**, 60–61.

Isaaks, E. H., ve Srivastava, R. M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, Oxford.

Jaki, S. L., ve Hess, V. F., 1958. A Study of the distribution of Radon, Thoron and their decay products above and below the ground, *Journal of Geophysical Research*, **63**, 373-390.

Jost, G., Heuvelink, G. B. M., and Papritz, A., 2005. Analysing the space-time distribution of soil water storage of a forest ecosystem using spatio-temporal kriging, Geoderma, **128**, 258-273.

Journel, A. G., 1985. The deterministic side of geostatistics, *Mathematical Geology*, **17**, 1–15.

Journal, A. G., and Posa, D., 1990. Characteristic behavior and order relations for indicator variograms, *Mathematical Geology*, **22**, 1011-1026.

Kalaycı, Ş., 2005. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın, Ankara

Kamışlıoğlu, M., Külahcı, F., 2016. Chaotic behavior of soil Radon gas and applications, *Acta Geophysica,* **64**, 1563-1592.

Karagöz, M., 1998. İstatistik Yöntemleri, Özmert Ofset, Malatya.

Kaya, A., 2004. Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi,* **10**, 41-50.

Khan, H. A. ve Qureshi, A. A. 1994. Solid state nuclear track detection: A useful geological / geophysical tool, *Nuclear Geophysic*, **8**, 1-37.

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**, 3065-3078.

King, C.Y., 1986. Gas geochemistry applied to earthquake prediction: An overview, *Journal of Geophysical Research,* **91**, 12269–12281.

King, C. Y., 1993. Proceedings of the second workshop on Radon monitoring in radioprotection, environmental and/or earth science, Trieste 1991, *World Scientific Publication*, Singapure, pp. 224-274.

King, C. Y., Minissale, A., 1994. Seasonal variability of soil gas radon concentration in Central California, *Radiation Measurements*, **4**, 683-692.

King, C.Y., King, B. S., Evans, W. C., 1996. Spatial Radon anomalies on active faults in California, *Applied Geochemistry,* **11**, 497-510.

Kröse, B., Smagt, P., 1996. An Introduction to Neural Networks, The University of Amsterdam, Amsterdam.

Külahcı, F., Özer, A., Doğru, M., 2006. Prediction of the radioactivity in Hazar Lake by artificial neural networks, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*,**269,** 63-68.

Külahcı, F., Şen, Z., 2007. Spatial dispersion modeling of ^{90}Sr by point cumulative semivariogram at Keban Dam Lake, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, **65**, 1070-1077.

Külahcı, F., Şen, Z., Kazanç, S., 2008. Cesium concentration spatial distribution modeling by Point Cumulative Semivariogram, *Water Air Soil Pollution*, **195,** 151-160.

Külahcı, F., Şen, Z., 2009a. Spatio-temporal modeling of ^{210}Pb transportation in lake environments, *Journal of Hazardous Material*,**165**, 525-532.

Külahcı, F. ve Şen, Z., 2009b. Potential utilization of the Absolute Point Cumulative Semivariogram technique for the evaluation of distribution coefficient, *Journal of Hazardous Materials*, **168**, 1387–1396.

Külahcı, F., İnceöz M., Doğru M., Aksoy E. ve Baykara O., 2009c. Artificial neural network model for earthquake prediction with radon monitoring, *Applied Radiation Isotopes*, **67**, 212-219.

Külahcı, F., Şen, Z., 2014. On the correction of spatial and statistical uncertainties in Systematic Measurements of ^{222}Rn for earthquake prediction, *Surveys in Geophysics*, **35,** 449–478**.**

Külahcı, F., Çiçek, Ş., 2015. Time-series analysis of water and soil Radon anomalies to identify micro–macro earthquakes, *Arabian Journal of Geosciences*, **8**, 5239–5246.

Liu, K.K., Yui, T.F., Yeh, Y.H., Tsai, Y.B., Teng, T.L., 1985. Variations of radon content in groundwaters and possible correlation with seismic activities in northern Taiwan, *Pageoph*, **122**, 231–244.

Ma, C., 2003. Spatio-temporal stationary covariance models, *Journal of Multivariate Analysis*, **86**, 97-107.

Maier, H. R., ve Dandy, G. C., 2000., Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modelling issues and applications, *Environment Software*, **15**, 101-124.

Matheron, G., 1963. Principles of Geostatistics, *Economic Geology*, **58**, 1246–1266.

Megumi, K., ve Mamuro, T., 1972. A Method for measuring Radon and Thoron exhalation from the Ground, *Journal of Geophysical Research*, **77**, 3052-3056.

Miklavčić, I., Radolić, V., Vuković, B., Poje, M., Varga, M., Stanić, D., Planinić, J., 2008. Radon anomaly in soil gas an earthquake precursor, *Applied Radiation and Isotopes*, **66,** 1459-1466.

Moussa, M.M. ve 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,

Muramatsu, H., Tashiro, Y., Hasegawa, N., Misawa, C., Minami, M., 2002. Seasonal variations of ^{222}Rn concentrations in the air of a tunnel located in Nagano city, *Journal of Environmental Radioactivity*, **60**, 263-274.

Myers, D. E., Begovich, C. L., Butz, T. R., and Kane, V. E., 1982. Variogram models for regional groundwater geochemical data, *Mathematical Geology*, **14(6)**, 629–644.

Myers, D.E., De Iaco, S., Posa, D., De Cesare, L., 2002. Space–time radial basis functions. *Computers & Mathematics Applications*, **43**, 539– 549.

Nazaroff, W. W., 1972. Radon Transport from Soil to Air, *Reviews of Geophysics*, **30**, 137-160.

Negarestani, A., Setayeshi, S., Ghannadi-Maragheh, M., Akashe, B., 2002. Layered neural networks based analysis of radon concentration and environmental parameters in earthquake prediction, *Journal of Environmental Radioactivity*, **62**, 225-233.

Noguchi, M., Wakita, H., 1977. A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction, *Journal of Geophysical Research*, **82**, 1353–1357.

Okutkan C., Kumru P., 2013. Borsa İstanbul Şirketlerinin Hisse Senedi Getirilerinin Çoklu Regresyon Yöntemi ile Analizi, 9. Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayı, Türkiye Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi, Eskişehir.

Orhunbilge N., 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayım Müdürlüğü, İstanbul.

Özdamar, K., 2010. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi. Kaan Kitabevi, İstanbul.

Özel, G., İnal, C., 2008. "The probability function of the compound Poisson process and an application to aftershock sequence in Turkey", *Environmetrics*, **19**, 79-85.

Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Papastefanou, C., 2002. An overview of instrumentantion for measuring radon in soil gas and groundwaters, *Journal of Environmental Radioactivity*, **63**, 271–283.

Philip, J. R., 1959. Atmosferik diffusion and natural Radon, *Journal of Geophysical Research*, **64**, 2468.

Planinić, J., Radolic, V., Lazanin, Z., 2001. Temporal variation of Radon in soil related to earthquakes, *Applied Radiation and Isotopes*, **55**, 267-272.

Planinić, J., Radolic, V., Vuković, B., 2004. Radon as an earthquake precursor, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research*, **530**, 568-574.

Rama ve Moore, W. S., 1984. Mechanism of transport of U-Th series radioisotopes from solids into ground water, *Geochimia et Cosmochimica Acta*, **48**, 395-399.

Rikitake, T., 1975. Dilatancy model and empirical formulas for an earthquake area. *Pure and Applied Geophysics*, **113**,141-147.

Rikitake, T., 1976. Earthquake Prediction: Developments in Solid Earth Geophysics, Elsevier, Amsterdam.

Saç, M., Kumru, M. N., Yener, G., Şalk, M., Karalı, T., Uğur, A., Sözbilir, H., Camgöz, B., Harmanşah, C., Özden, B., Sümer, Ö., Erkut, S. L., 2008. Yeraltı Suyu ve Toprak Gazı Radon Derişimlarındaki Değişimin Yerkabuğu (Sismik) Hareketleriyle İlişkilendirilmesi: Doğanbey Fay Hattı, İzmir, Batı Anadolu, ÇAYDAG-104Y314 Nolu Proje.

Sadat-Noori, M., Santos, I. R., Sanders, C. J., Sanders, L. M., Maher, D. T., 2015. Groundwater discharge into an estuary using spatially distributed radon time series and radium isotopes, *Journal of Hydrology*, **528**, 703-719.

Şahin, S., 2009. Sivrice Fay Zonundaki Radon Değişimi ve Doğal Radyoaktivite, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Şahinci. A, 1986. Yeraltı suları jeokimyası, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları*, MM/Jeo-86 EY99, 38-41.

Şaroğlu, F., Emre, O., Boray, A. 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri [Active Faults of Turkey and Th eir Earthquake Potential]. *Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey*, Report no. 8174

Schery, S. D., Wilson J. L., and Phillips, F. M., 1993. Modeling Radon transport in dry, cracked soil, *Journal of Geophysical Research*, **98**, 567-580.

Şen, Z., 1998. Point Cumulative Semivariogram for identification of heterogeneities in regional seismicity of Turkey, *Mathematical Geology*, **30**, 767–787.

Şen, Z., Habib, Z. Z., 1998. Point Cumulative Semivariogram of areal precipitation in mountains regions, *Journal of Hydrology*, **205**, 81-91.

Şen, Z., Al-Suba'i, K., 2001. Seismic hazard assessment in the Tihamat Asir region, southwestern Saudi Arabia., *Mathematical Geology*, **33**, 967–991.

Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Şen, Z., 2009. Spatial Modeling Principles in Earth Sciences, Springer Science Business Media B.V., New York.

Sharman, G., 1992. Seasonal and spatial variations in ^{222}Rn and ^{220}Rn in soil gas and implications for indoor radon levels, *Environmental Geochemistry and Health*, **14(4)**, 113-120.

Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelİkdemİr, E., Naz, H. 1985. Geology of the Elazığ-Hazar-Palu area, *The Bulletin of Turkish Association of Petroleum Geologists*, **29**, 83–191.

Tanır, G., Bölükdemir, M.H., Koç, K., 2013. Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Palme Yayıncılık, Ankara.

Tanner, A. B.,, 1964. Physical and chemical control on distribution of radium-226 and radon-222 in ground water near Great Salt Lake, Utah, in The Natural Radiation Environment, edited by J: A. S. Adams and W. M. Lowder, pp. 253-276, University of Chicago Pres, Chicago.

Tasadduq,I., Rehman, S., Bubshait, K., 2002. Application of neural networks for the prediction of hourly mean surface temperature in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, **25**, 545-554.

Tarakçı, M., Harmanşah, C., Saç, M. M., İçhedef, M., 2014. Investigation of the relationships between seismic activities and radon level in Western Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, **83,** 12-17.

Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E., Parkitny, **T.,** 2015. Radon as a tracer of daily, seasonal and spatial air movements in the underground tourist route "coal mine" (SW Poland), *Journal of Environmental Radioactivity*, **149**, 90-98.

Teng, T.L., 1980. Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor, *Journal of Geophysical Research*, **85**, 3089–3099.

Trauth, M. H., 2006. MATLAB Recipes for Earth Sciences, Springer, New York.

Tsvetkova, T., Monnin, M., Nevinsky, I., Pereleygin V., 2000. Research on variation of Radon and gamma-background as a prediction of earthquakes in the Caucasus, *Radiation Measurements*, **33**, 1-5.

Tsunomori, F., ve Kuo, T., 2010. A mechanism for radon decline prior to the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake in Japan, *Radiation Measurements*, **45**, 139-142.

Turcotte, D. L,. 1991. Earthquake prediction, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **19**,263–281

Tykva, R., and Sabol, J., 1995. Low Level Environmental Radioactivity, Basel Switzerland.

Ulomov, V.I., Zakharovc, A, I. and Ulomova, N.V., 1967. Tashkent earthquake of April 26, 1966, and its aftershocks, *Geophysic*, **177**, 567-570.

URL-1,http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx#KONU9,13.12.2011.

URL-2, http://www.deprem.gov.tr/depremdetay?eventID=370536

Utkin, V.I., Mamyrov, E., Kan, M.V., Krivasheev, S.V., Yurkov, A.K., Kosyakin, I.I., Shishkanov, A.N., 2006. Radon monitoring in the Northern Tien Shan with application to the process of tectonic earthquake nucleation, *Izvestia Physics of the Solid Earth*, **42**, 775–784.

Ünal, S., 2010. Türkiye'de Meydana Gelen Depremlerin Markov Zincirleri ile Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vas, P., 1999. Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives, Application of Fuzzy, Neural, Fuzzy-,Neural, and Genetic-Algorithm-Based Techniques, Oxford University Press, New York.

Virk, H. S. ve Singh, B., 1993. Radon anomalies in soil-gas and groundwater as earthquake precursor phenomena, *Tectonophysics*, **227**, 215-224.

Virk, H. S., Walia, V., Sharma, A. K., 1995. Radon precursory signals of Chamba earthquake, *Current Science*, **69(5)**, 452-454.

Virk, H.S., Walia, V., 2001. Helium/Radon precursory signals of chamoli earthquake, India, *Radiation Measurements*, 34, 379–384.

Vivek, W., Virk H.S., Bajva, B.S., Sharma, N., 2003. Relationship between Radon anomalies and seismic parameters in N-W Himalaya, India, *Radiation Measurements*, **36**, 393-396,

Vizzini, F., Brai, M., 2012. In-soil radon anomalies asmprecursors of earthquakes: a case study in the SE slope of Mt. Etna in a period of quite stable weather conditions, *Journal of Environmental Radioactivity*, **113**, 131-141.

Yaprak, G., Kaya, O., Candan, O., 2003. Aktif Gediz Grabeninde Yeralan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı Radon Anomalilerinin İncelenmesi. YDABÇAG-100Y059 Nolu TÜBİTAK Projesi.

Yeşilkanat, C. M., Kobya, Y., Taşkın, H., Çevik, U., 2015. Dose rate estimates and spatial interpolation maps of outdoor gamma dose rate with geostatistical methods; A case study from Artvin,Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity,***150,** 132-144.

Yuhong, Z., ve Wenxin, H., 2009. Application of artificial neural network to predict the friction factor of open channel flow, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **14**, 2373–2378.

Zmazek, B., Zivcic, M., Vaupotic, J., Bidovec, M., Poljak, M., Kobal, I., 2002. Soil radon monitoring in the Krsko Basin, Slovenia, *Applied Radiation and Isotopes*, **56**, 649-657.

Zmazek, B., Todorovski, L., Dz˘eroski, S., Vaupotic, J., Kobal, I., 2003. Application of decision trees to the analysis of soil radon data for earthquake prediction, *Applied Radiation Isotopes*, **58**, 697–706.

Zurada, J.M., 1992. Artificial Neural Systems, PWS Publishing Company.

Wakita, H., Nakamura, Y., Notsu, K., Noguchi, M., Asada, T., 1980. Radon anomaly: a possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake, *Science*, **207**, 882–883.

Wakita, H., Igarashi, G., Notsu, K., 1991. An anomalous radon decrease in groundwater prior to an M6.0 Earthquake: A possible precursor?.*Geophsical Research Letters*, **18**, 629-632.

Wattananikorn, K., Kanaree, M., Wiboolsake, 1998. Soil gas radon as an earthquake precursor: Some considerations on data improvement, *Radiation Measurements*, **29**, 593-598.

Xu, K., Wikle C. K., 2007. Estimation of parameterized spatio-temporal dynamic models, *Journal of Statistical Planning and İnference*, **137**, 567-588.

EKLER

EK 1

Ek 1 Tablo 1. Gezin istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,138	558	0,000	0,914	558	0,000
deprem	0,138	558	0,000	0,946	558	0,000
ts_10	0,094	558	0,000	0,934	558	0,000
ts_20	0,098	558	0,000	0,925	558	0,000
ts_50	0,104	558	0,000	0,919	558	0,000
bb	0,049	558	0,000	0,975	558	0,000
ıts	0,091	558	0,000	0,953	558	0,000
kts	0,090	558	0,000	0,964	558	0,000

Ek 1 Tablo 2. Helindir istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,149	211	0,000	0,929	211	0,000
deprem	0,149	211	0,000	0,951	211	0,000
ts_10	0,086	211	0,009	0,960	211	0,000
ts_20	0,082	211	0,000	0,962	211	0,000
ts_50	0,103	211	0,000	0,959	211	0,000
bb	0,066	211	0,000	0,973	211	0,000
ıts	0,063	211	0,000	0,989	211	0,000
kts	0,073	211	0,000	0,976	211	0,000

Ek 1 Tablo 3. Kösebayır istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,048	774	0,000	0,987	774	0,000
deprem	0,128	774	0,000	0,944	774	0,000
ts_10	0,088	774	0,000	0,947	774	0,000
ts_20	0,105	774	0,000	0,941	774	0,000
ts_50	0,114	774	0,000	0,930	774	0,000
bb	0,051	774	0,000	0,983	774	0,000
ıts	0,089	774	0,000	0,949	774	0,000
kts	0,077	774	0,000	0,968	774	0,000

Ek 1 Tablo 4. Palu istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,313	430	0,000	0,920	430	0,000
deprem	0,134	430	0,000	0,966	430	0,000
ts_10	0,143	430	0,000	0,916	430	0,000
ts_20	0,156	430	0,000	0,913	430	0,000
ts_50	0,160	430	0,000	0,912	430	0,000
bb	0,090	430	0,000	0,973	430	0,000
ıts	0,144	430	0,000	0,929	430	0,000
kts	0,138	430	0,000	0,940	430	0,000

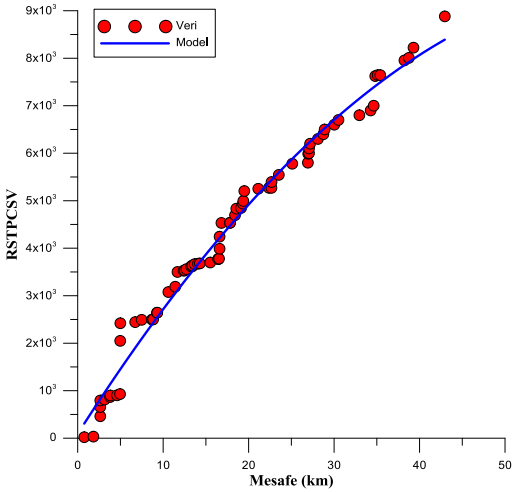
Ek 1 Tablo 5. Sivrice istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,227	754	0,000	0,803	754	0,000
deprem	0,137	754	0,000	0,862	754	0,000
ts_10	0,104	754	0,000	0,933	754	0,000
ts_20	0,101	754	0,000	0,930	754	0,000
ts_50	0,103	754	0,000	0,925	754	0,000
bb	0,038	754	0,000	0,988	754	0,000
ıts	0,080	754	0,000	0,957	754	0,000
kts	0,082	754	0,000	0,965	754	0,000

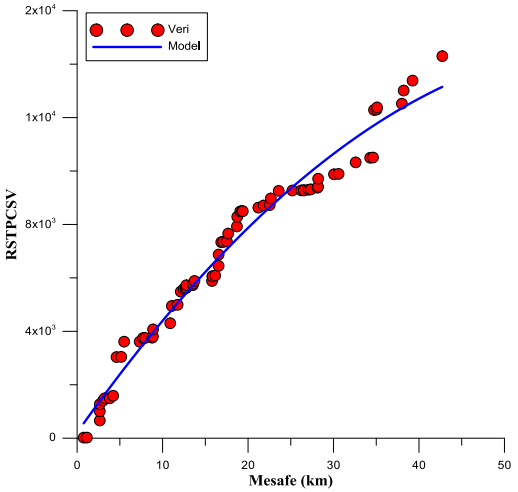
Ek 1 Tablo 6. Soğukpınar istasyonuna ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,050	630	0,001	0,988	630	0,000
deprem	0,135	630	0,000	0,884	630	0,000
ts_10	0,102	630	0,000	0,937	630	0,000
ts_20	0,105	630	0,000	0,931	630	0,000
ts_50	0,104	630	0,000	0,922	630	0,000
bb	0,034	630	0,000	0,989	630	0,000
ıts	0,095	630	0,000	0,939	630	0,000
kts	0,101	630	0,000	0,956	630	0,000

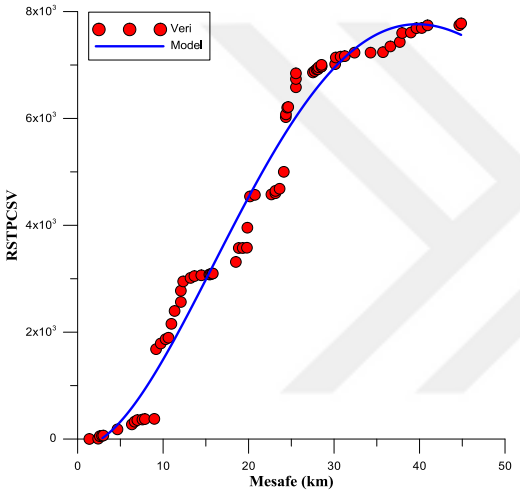
EK 2



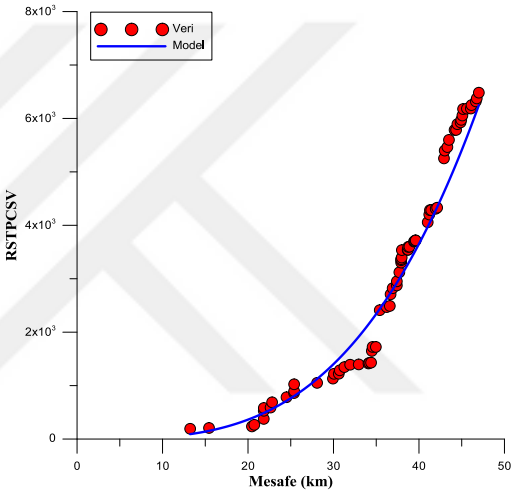
Ek2 Şekil 1. 1. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



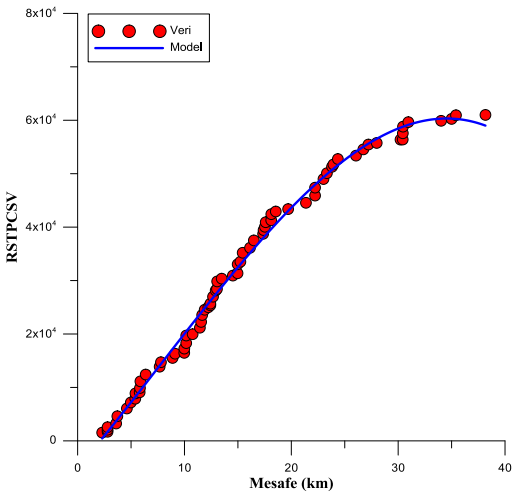
Ek2 Şekil 2. 2. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



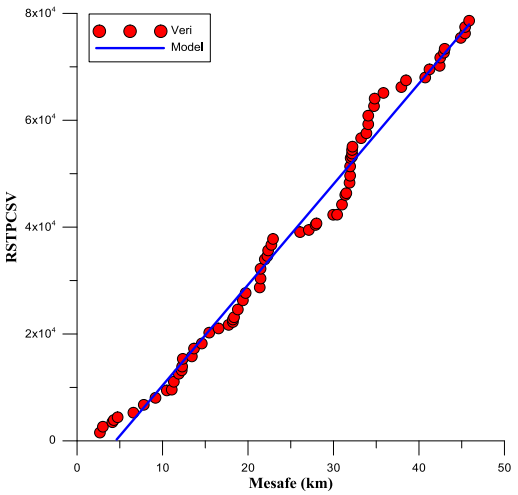
Ek2 Şekil 3. 3. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



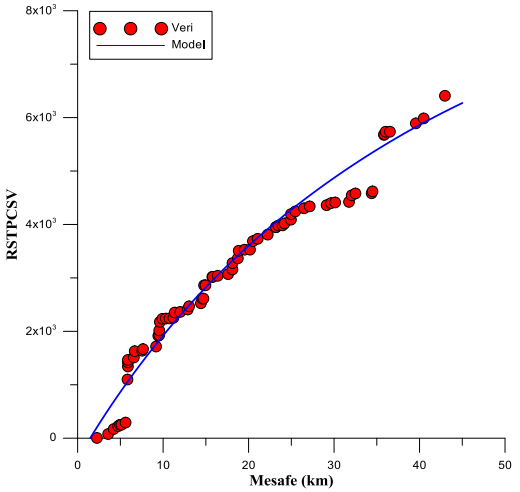
Ek2 Şekil 4. 4. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



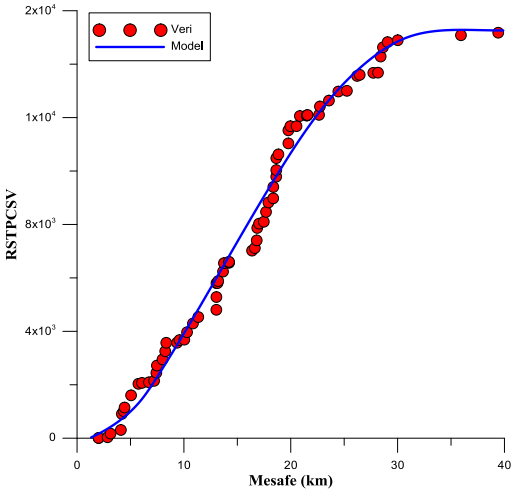
Ek2 Şekil 5. 5. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



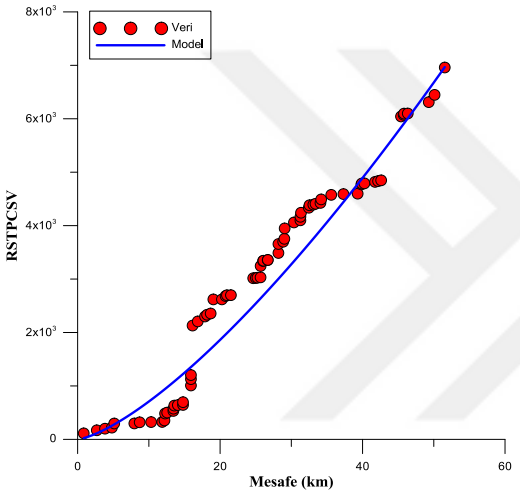
Ek2 Şekil 6. 6. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



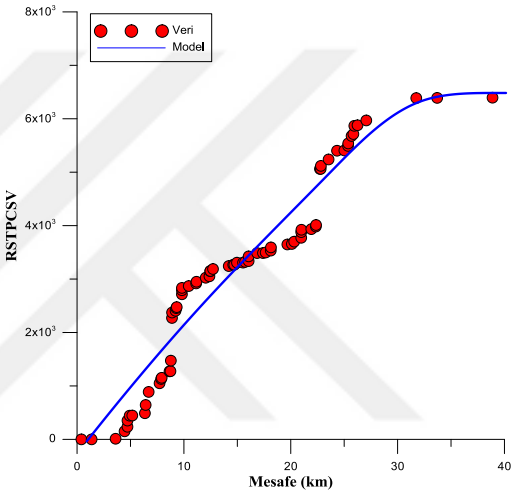
Ek2 Şekil 7. 7. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



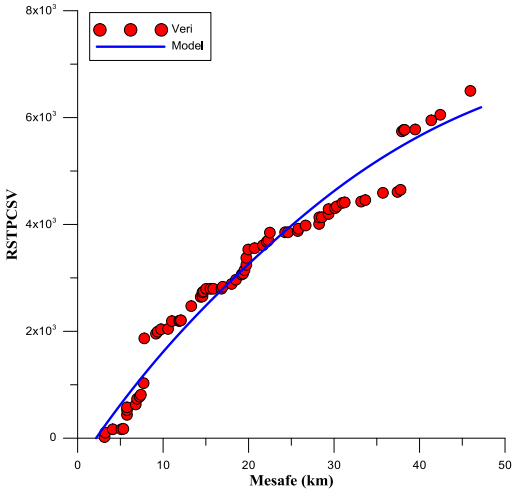
Ek2 Şekil 8. 8. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



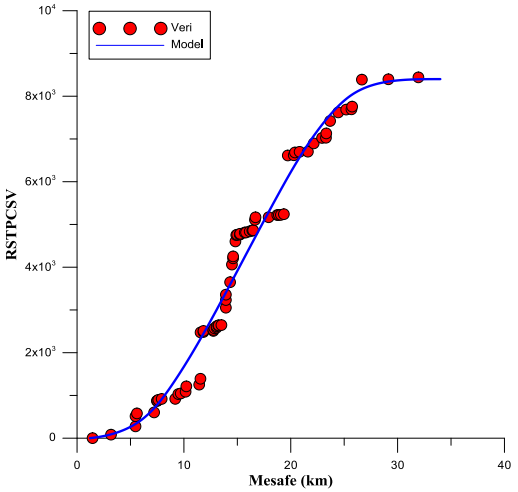
Ek2 Şekil 9. 9. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



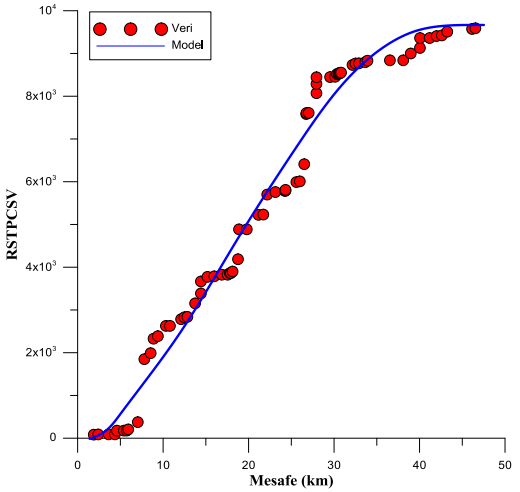
Ek2 Şekil 10. 10. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



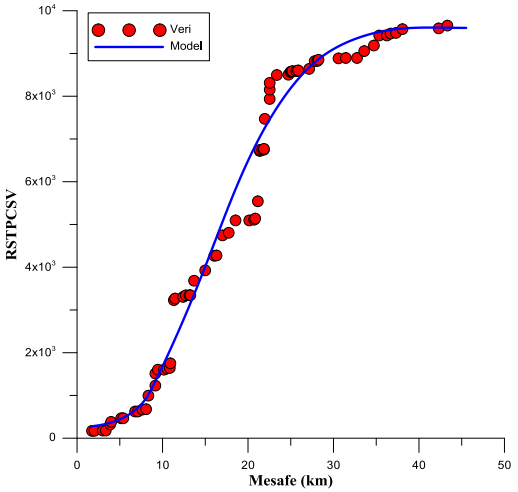
Ek2 Şekil 11. 11. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



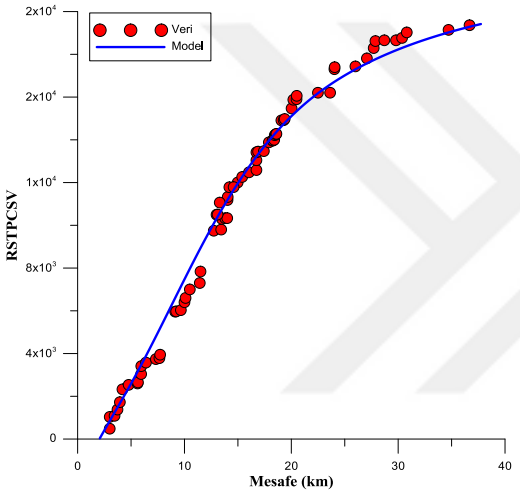
Ek2 Şekil 12. 12. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



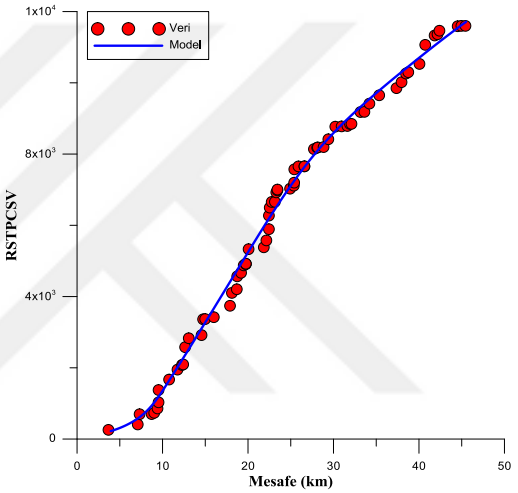
Ek2 Şekil 13. 13. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



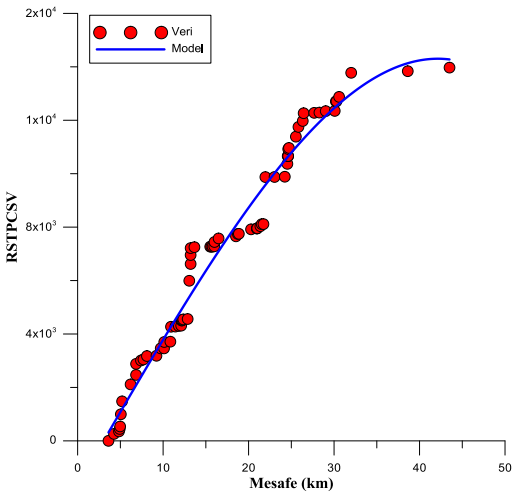
Ek2 Şekil 14. 14. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



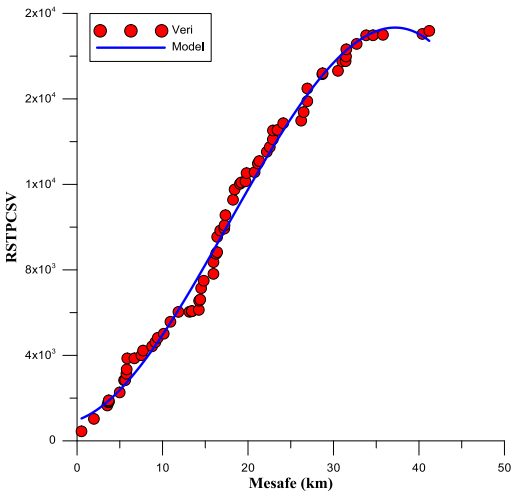
Ek2 Şekil 15. 15. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



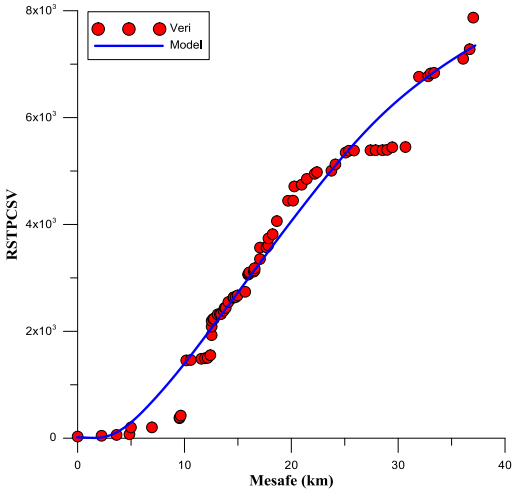
Ek2 Şekil 16. 16. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



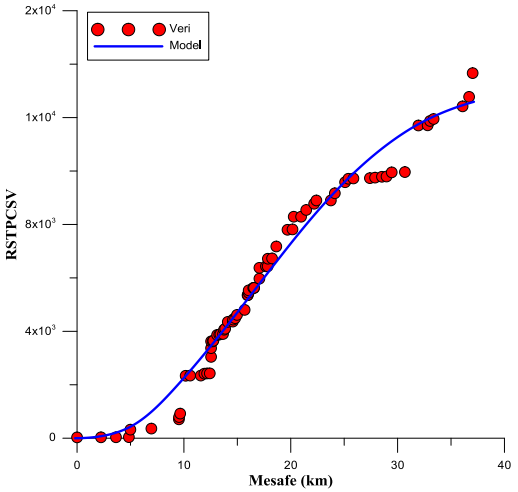
Ek2 Şekil 17. 17. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



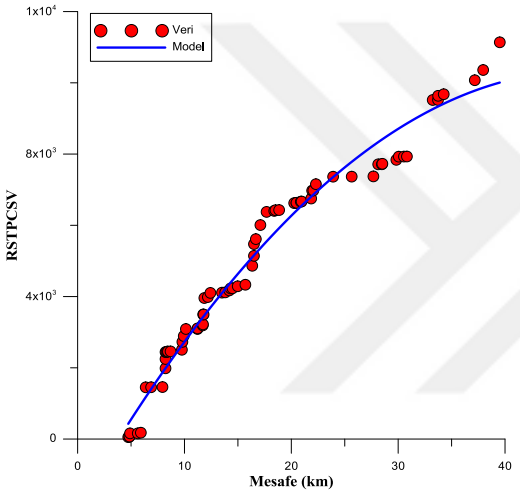
Ek2 Şekil 18. 18. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



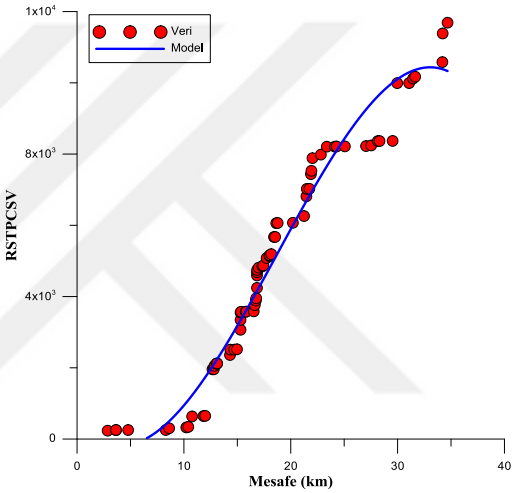
Ek2 Şekil 19. 19. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



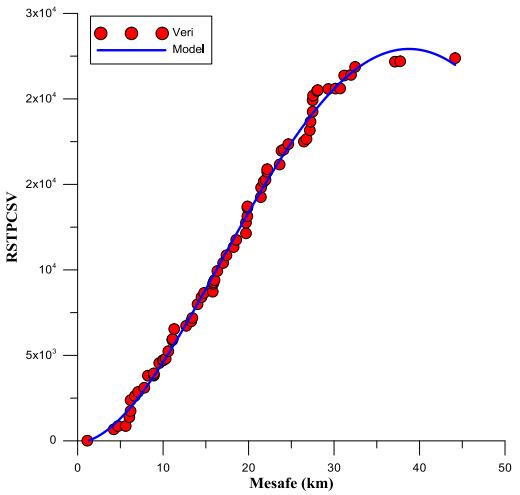
Ek2 Şekil 20. 20. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



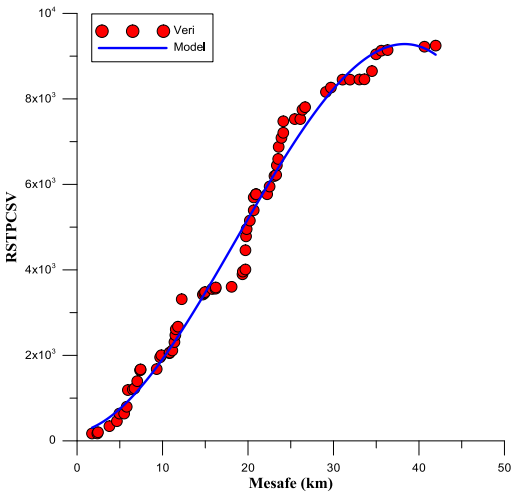
Ek2 Şekil 21. 21. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



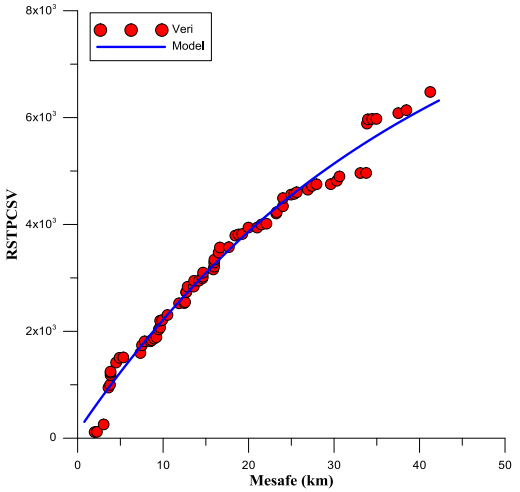
Ek2 Şekil 22. 22. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



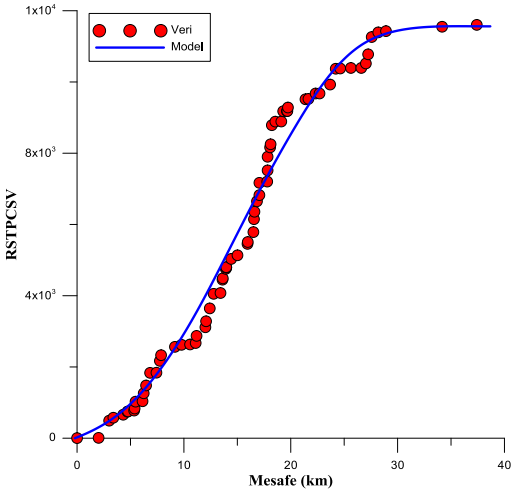
Ek2 Şekil 23. 23. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



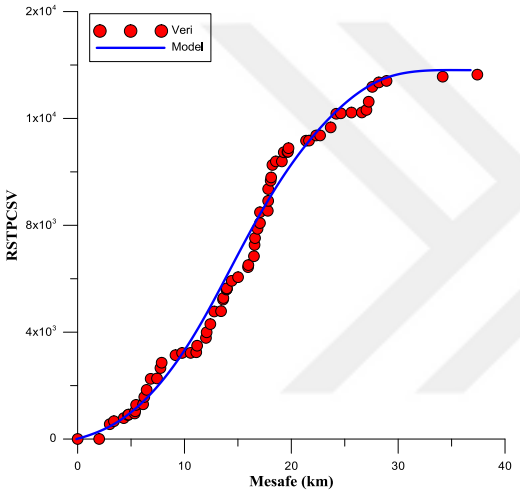
Ek2 Şekil 24. 24. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



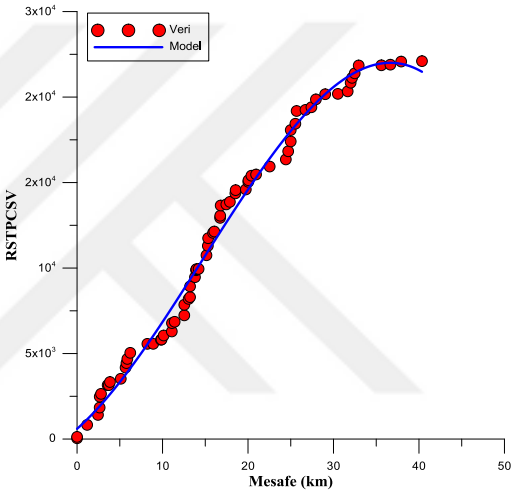
Ek2 Şekil 25. 25. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



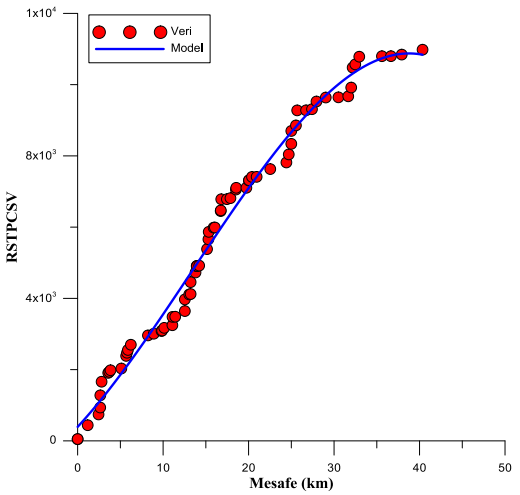
Ek2 Şekil 26. 26. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



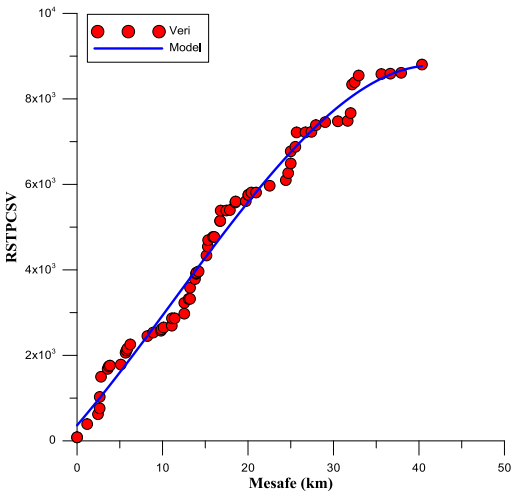
Ek2 Şekil 27. 27. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



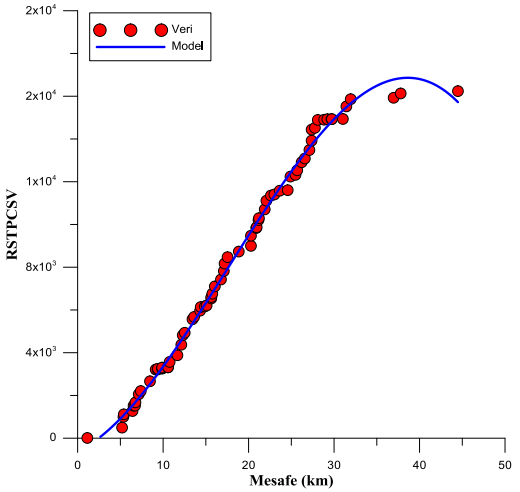
Ek2 Şekil 28. 28. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



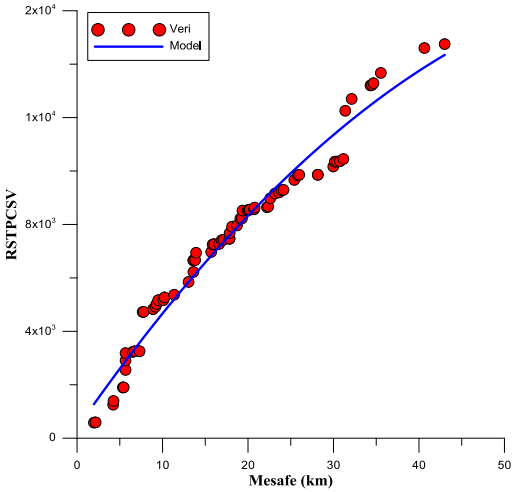
Ek2 Şekil 29. 29. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



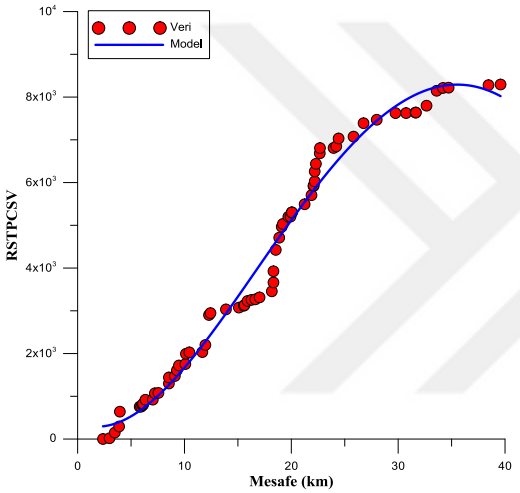
Ek2 Şekil 30. 30. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



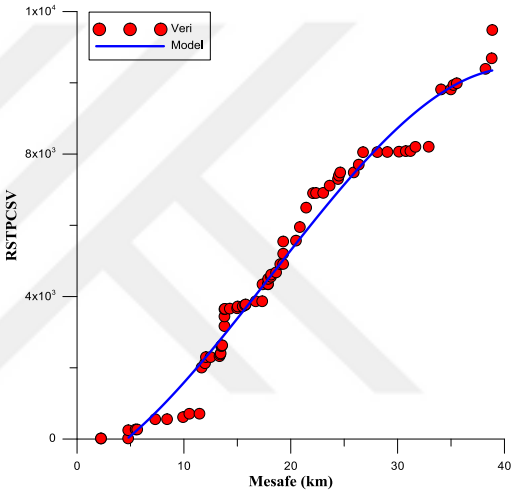
Ek2 Şekil.31. 31. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



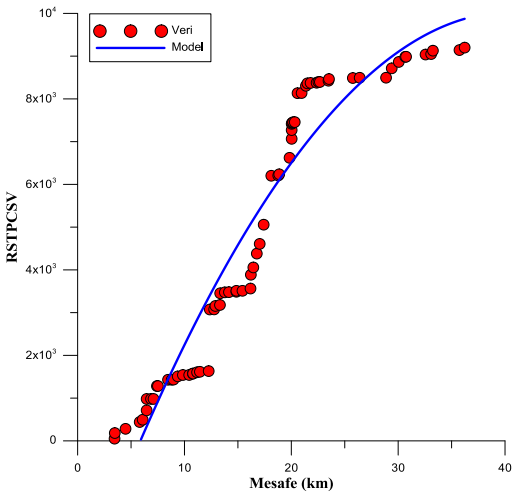
Ek2 Şekil 32. 32. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



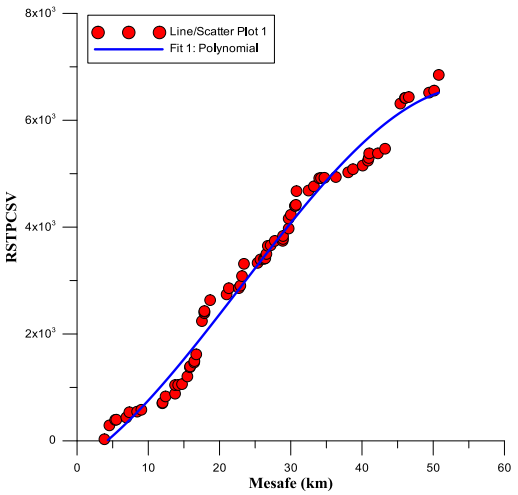
Ek2 Şekil 33. 33. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



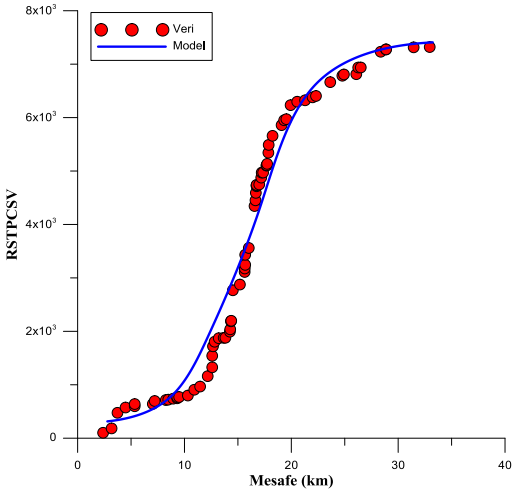
Ek2 Şekil 34. 34. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



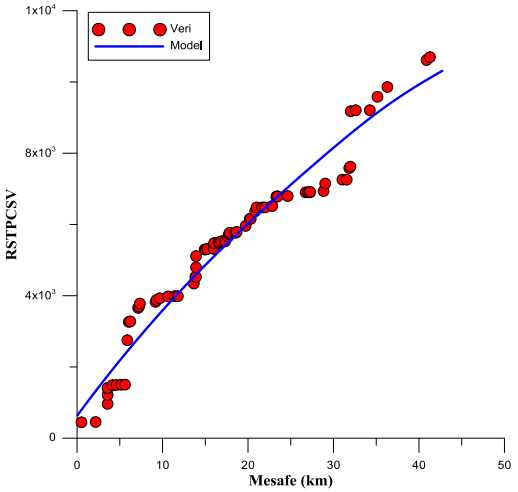
Ek2 Şekil 35. 35. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



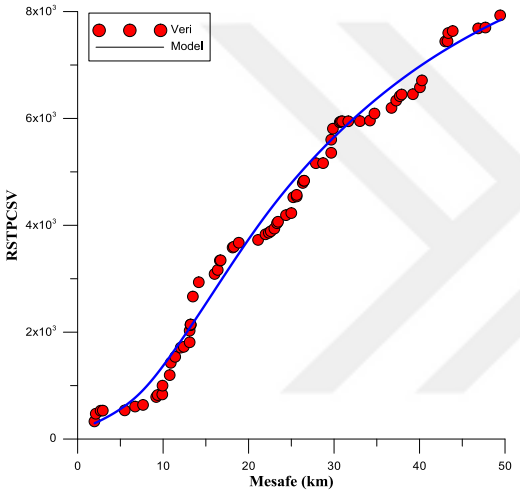
Ek2 Şekil 36. 36. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



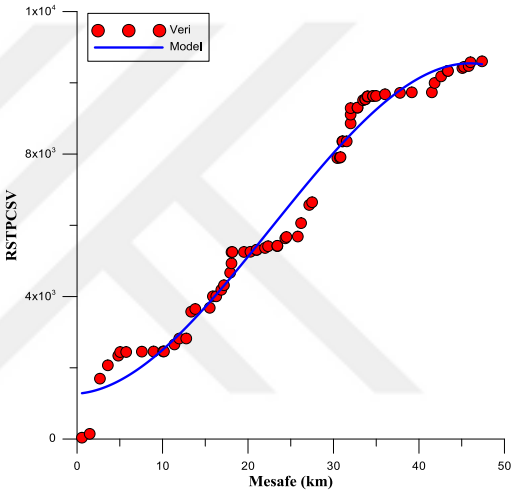
Ek2 Şekil 37. 37. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



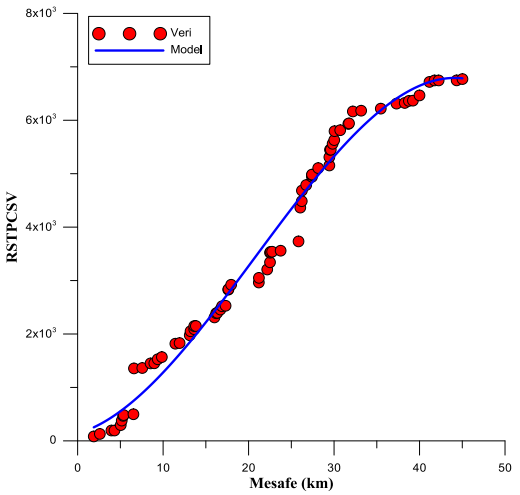
Ek2 Şekil 38. 38. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



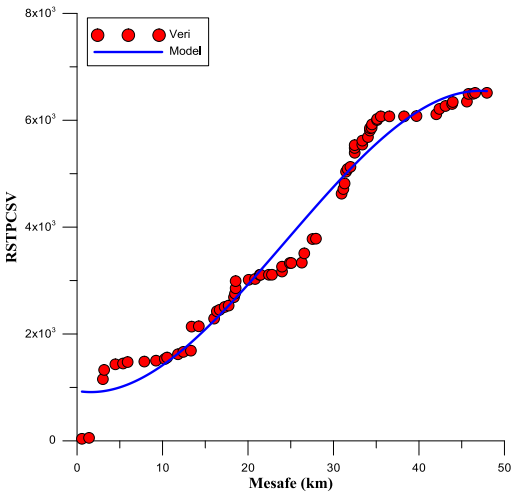
Ek2 Şekil 39. 39. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



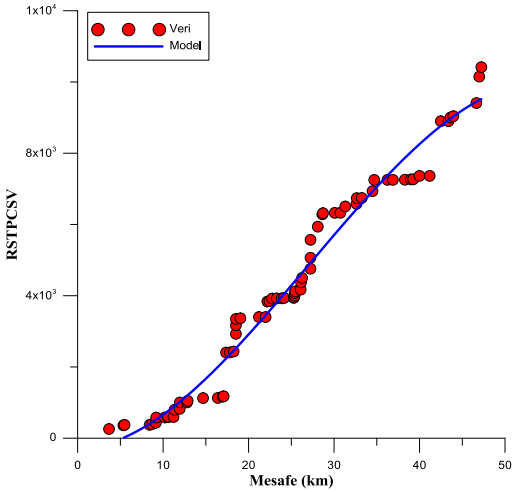
Ek2 Şekil 40. 40. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



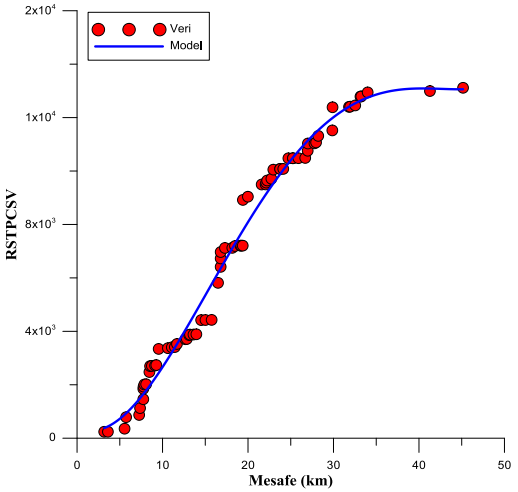
Ek2 Şekil 41. 41 deprem konumu için RUZNTYV grafiği



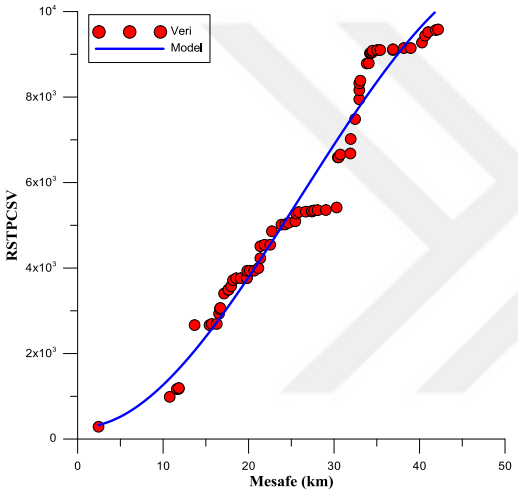
Ek2 Şekil.42. 42. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



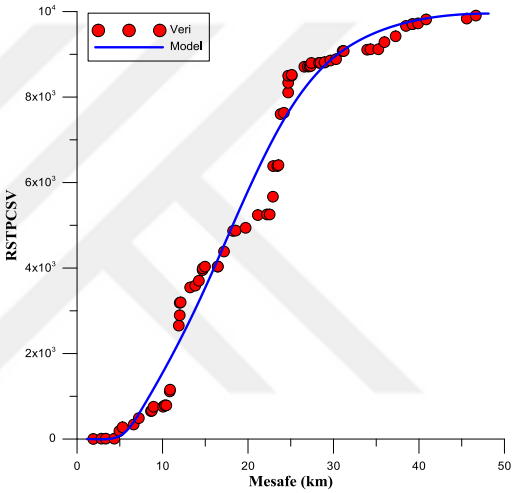
Ek2 Şekil 43. 43. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



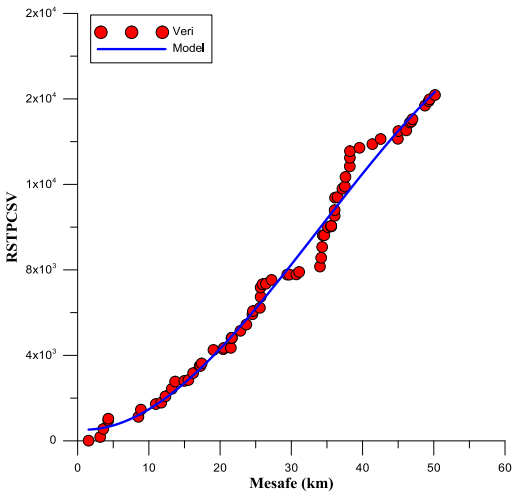
Ek2 Şekil 44. 44. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



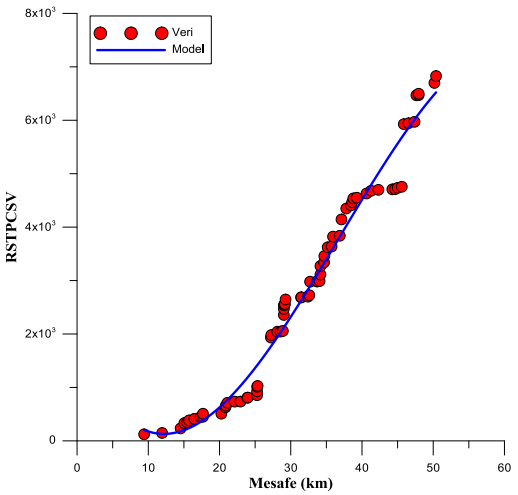
Ek2 Şekil 45. 45. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



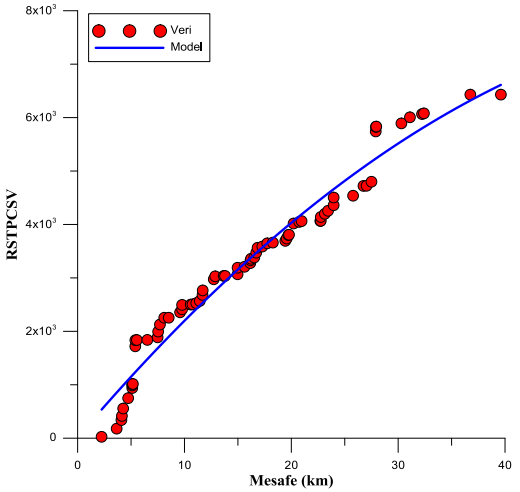
Ek2 Şekil 46. 46. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



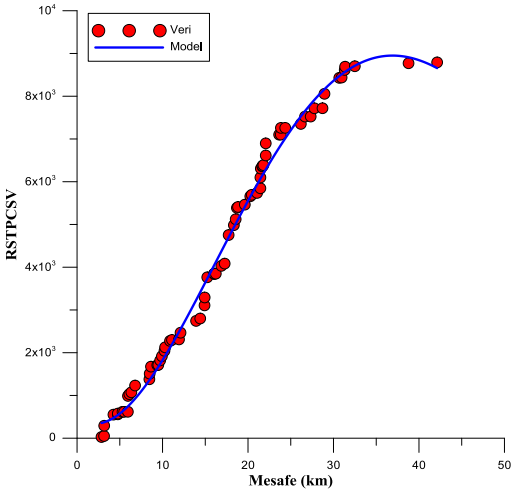
Ek2 Şekil 47. 47. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



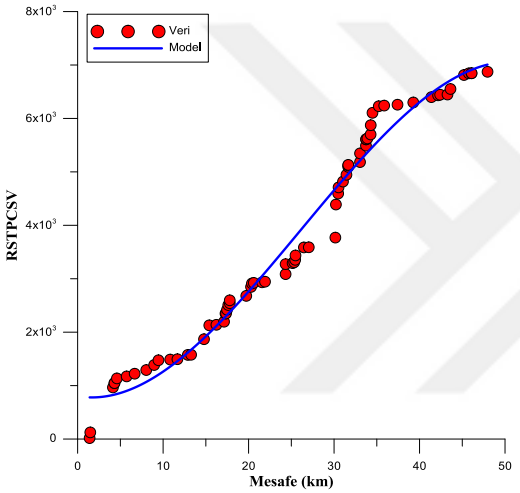
Ek2 Şekil 48. 48. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



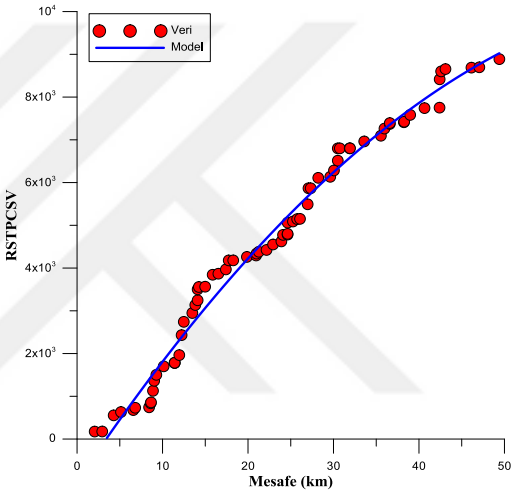
Ek2 Şekil 49. 49. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



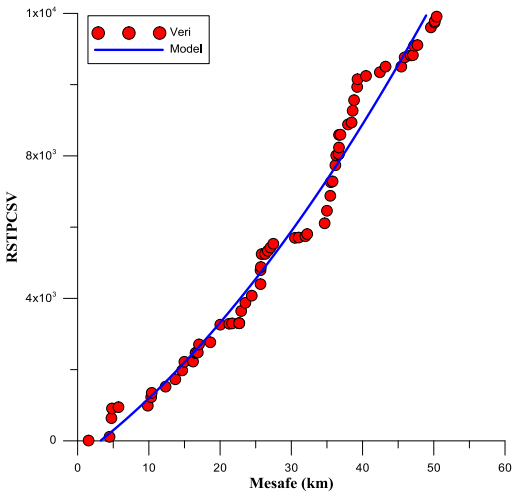
Ek2 Şekil 50. 50. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



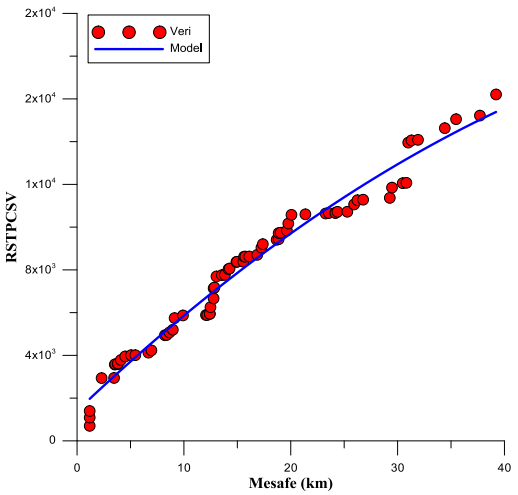
Ek2 Şekil 51. 51. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



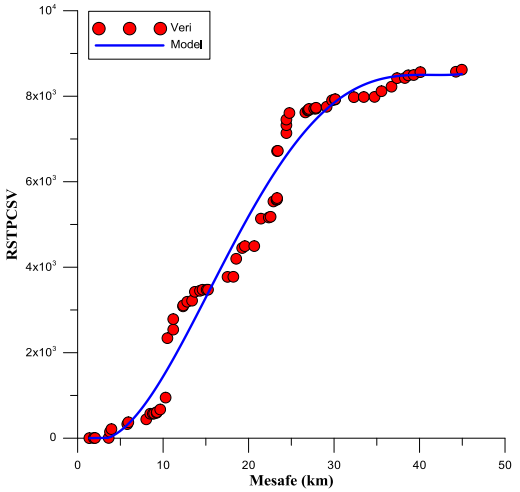
Ek2 Şekil 52. 52. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



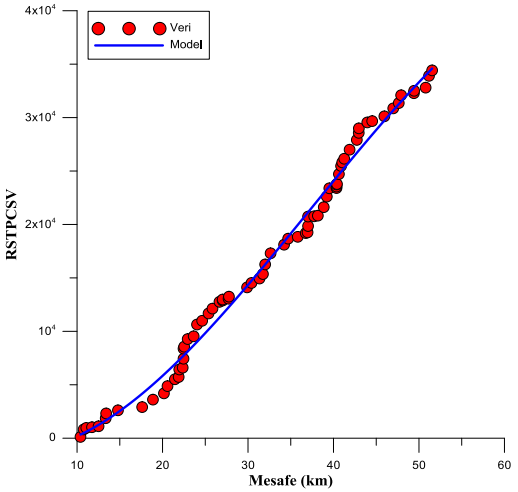
Ek2 Şekil 53. 53. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



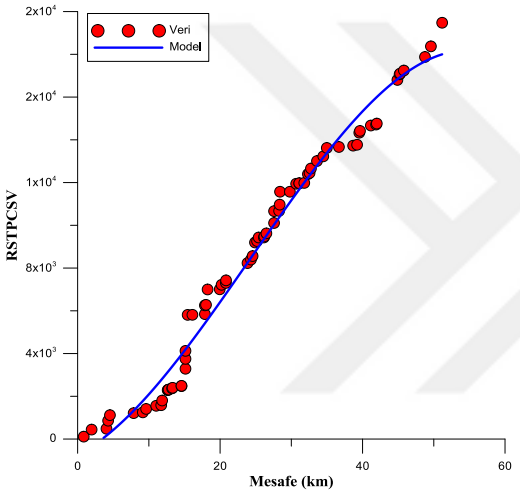
Ek2 Şekil 54. 54. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



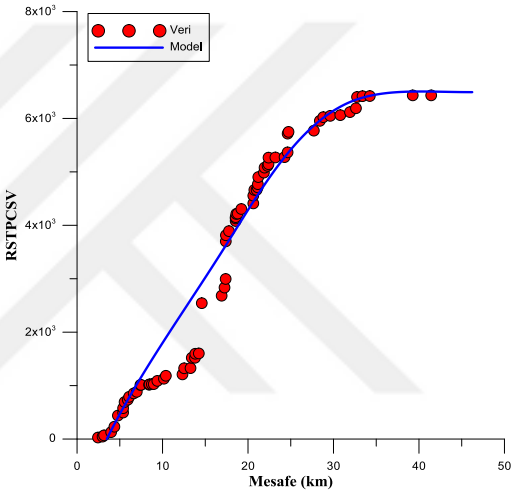
Ek2 Şekil 55. 55. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



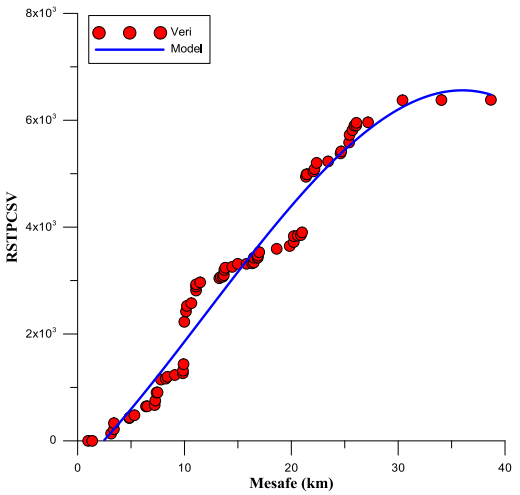
Ek2 Şekil 56. 56. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



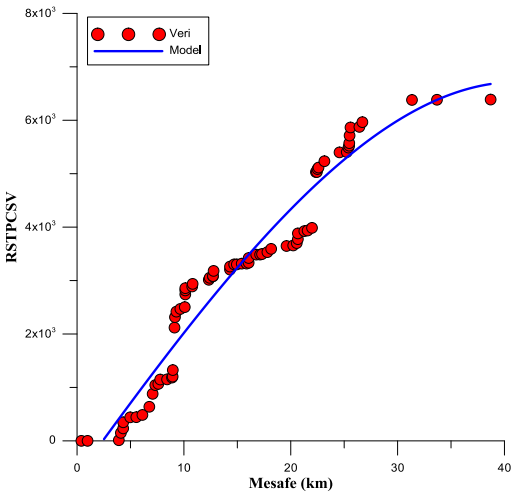
Ek2 Şekil 57. 57. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



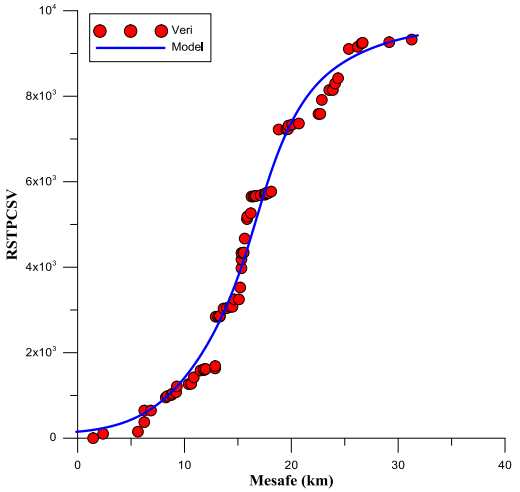
Ek2 Şekil 58. 58. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



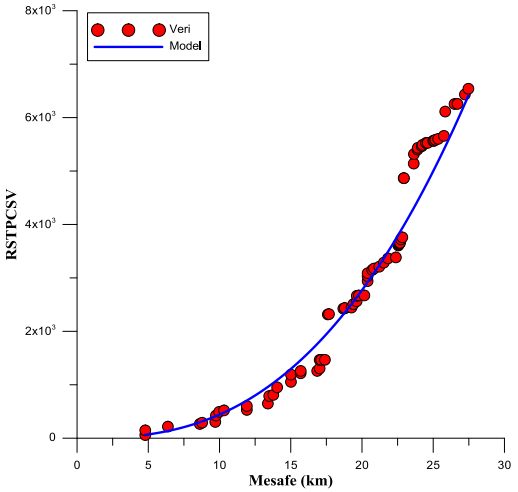
Ek2 Şekil 59. 59. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



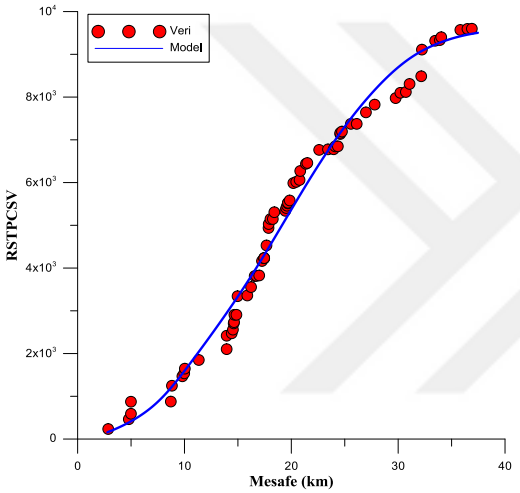
Ek2 Şekil 60. 60 deprem konumu için RUZNTYV grafiği



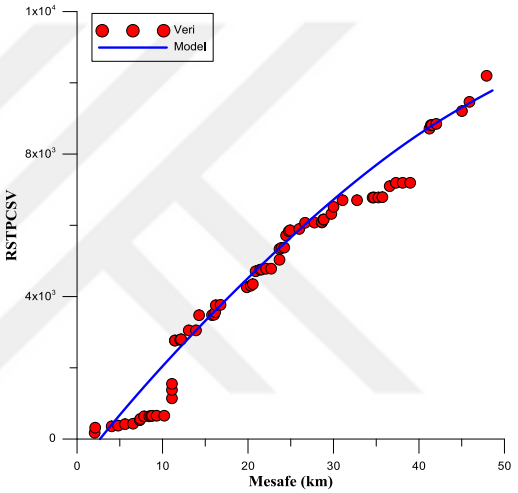
Ek2 Şekil 61. 61. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



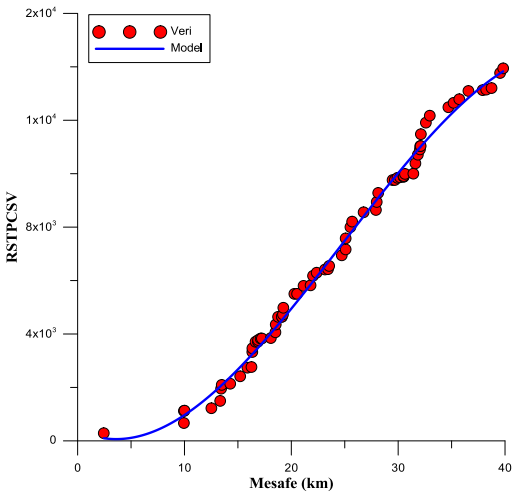
Ek2 Şekil 62. 62. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



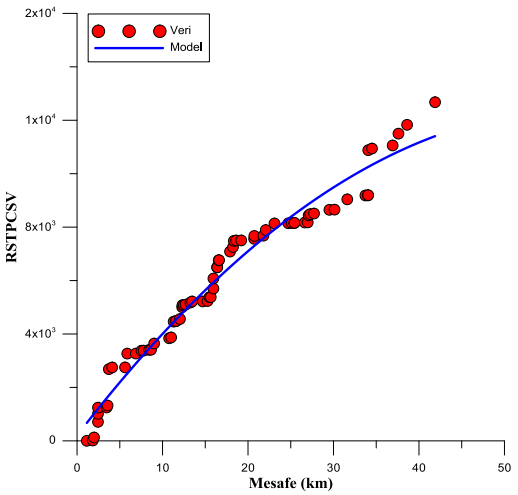
Ek2 Şekil 63. 63. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



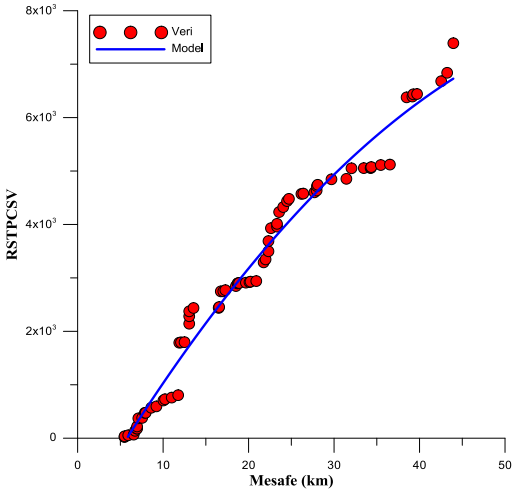
Ek2 Şekil 64. 64. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



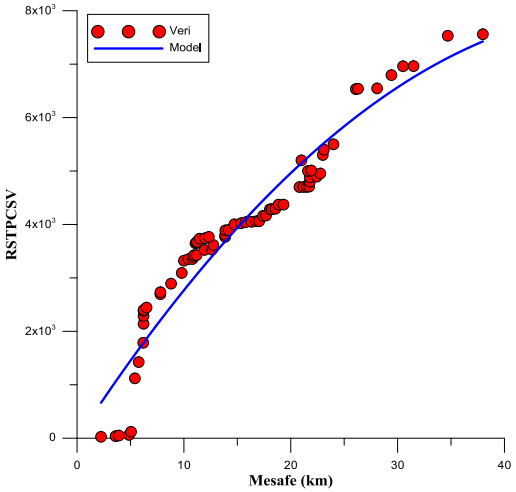
Ek2 Şekil 65. 65. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



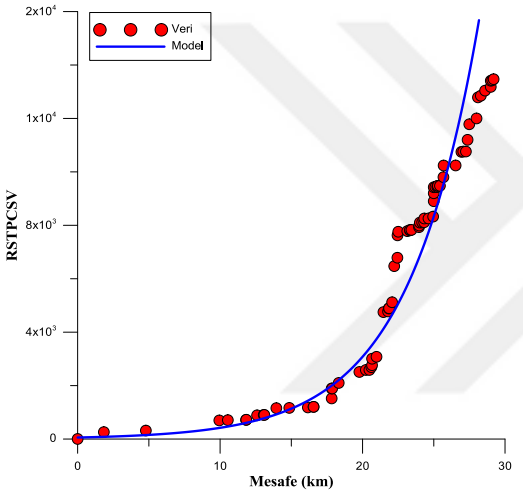
Ek2 Şekil 66. 66. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



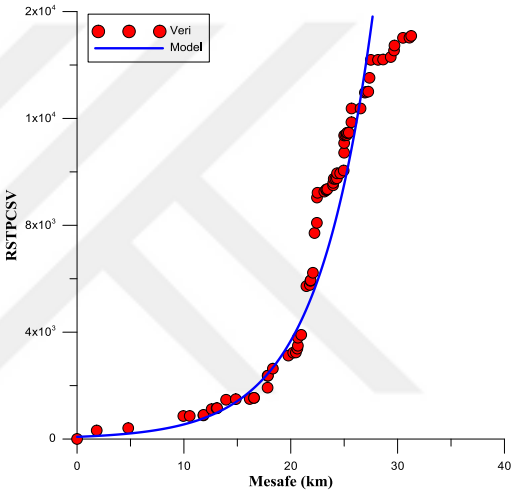
Ek2 Şekil 67. 67. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



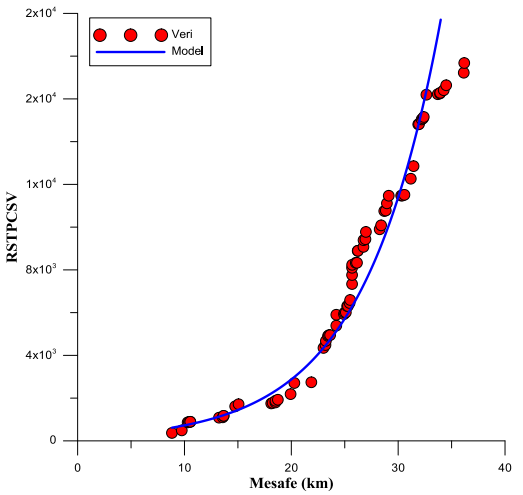
Ek2 Şekil 68. 68. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



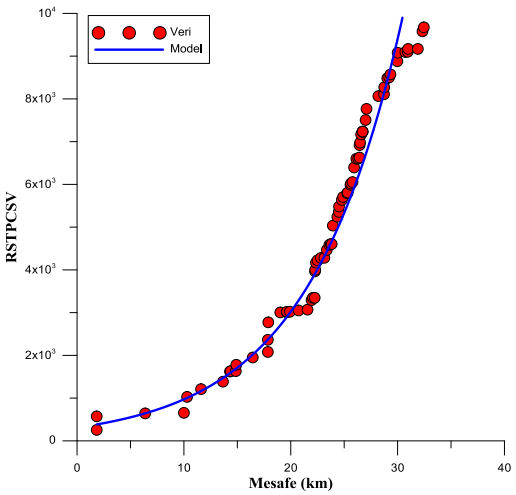
Ek2 Şekil 69. 69 deprem konumu için RUZNTYV grafiği



Ek2 Şekil 70. 70. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



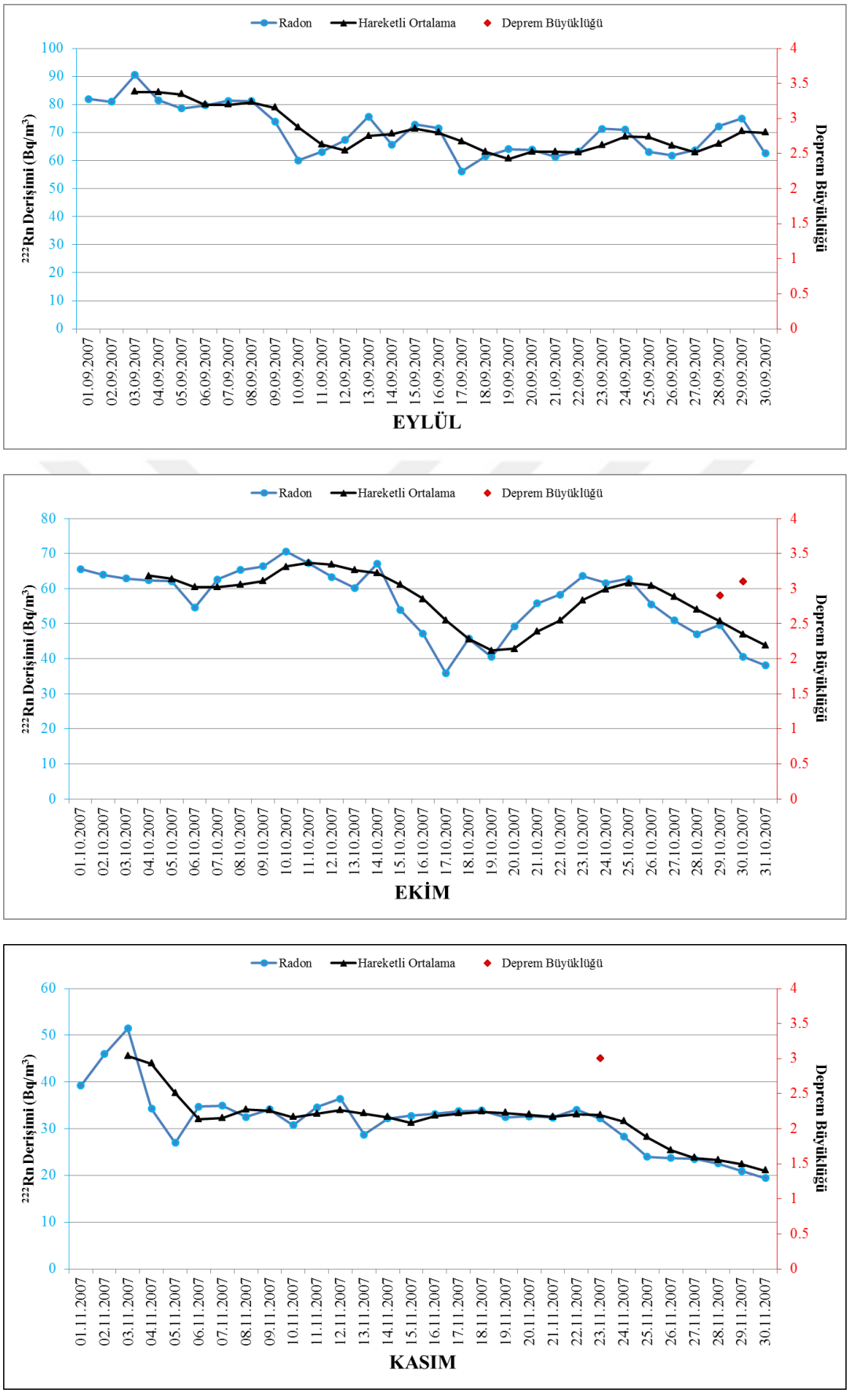
Ek2 Şekil 71. 71. deprem konumu için RUZNTYV grafiği



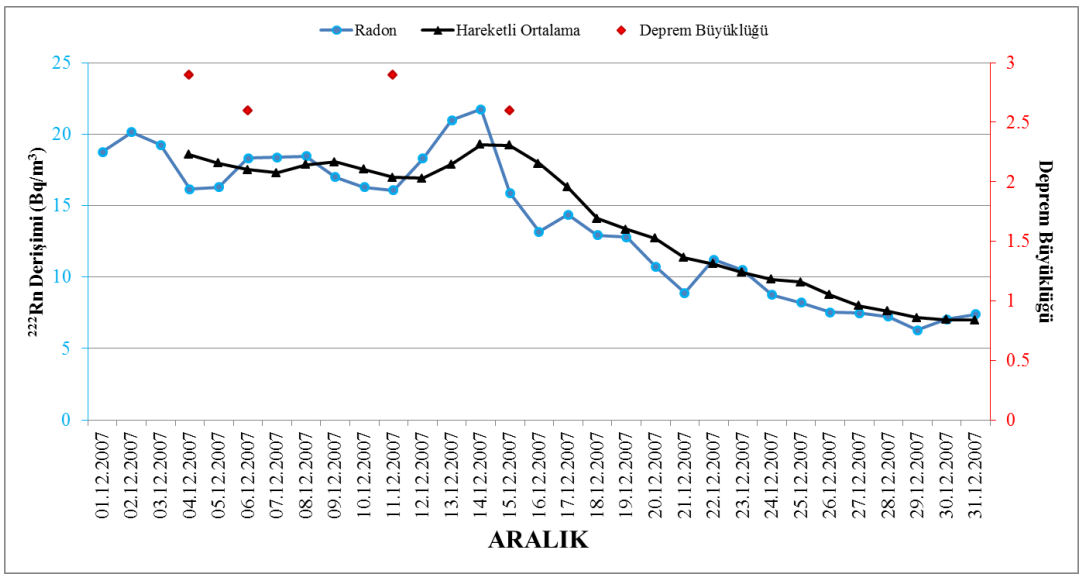
Ek2 Şekil 72. 72. deprem konumu için RUZNTYV grafiği

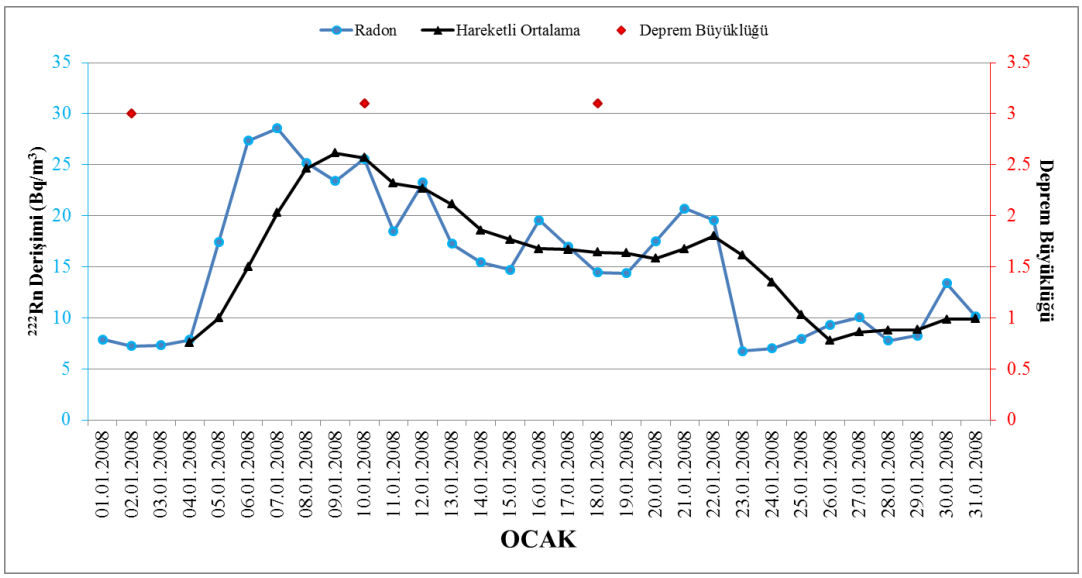
EK 3

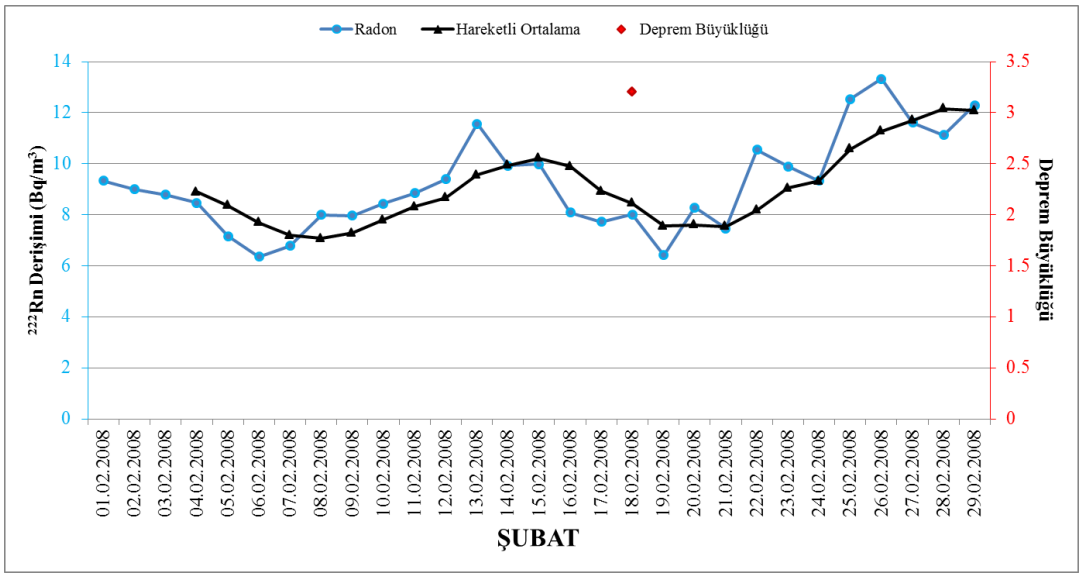
Ergani İstasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



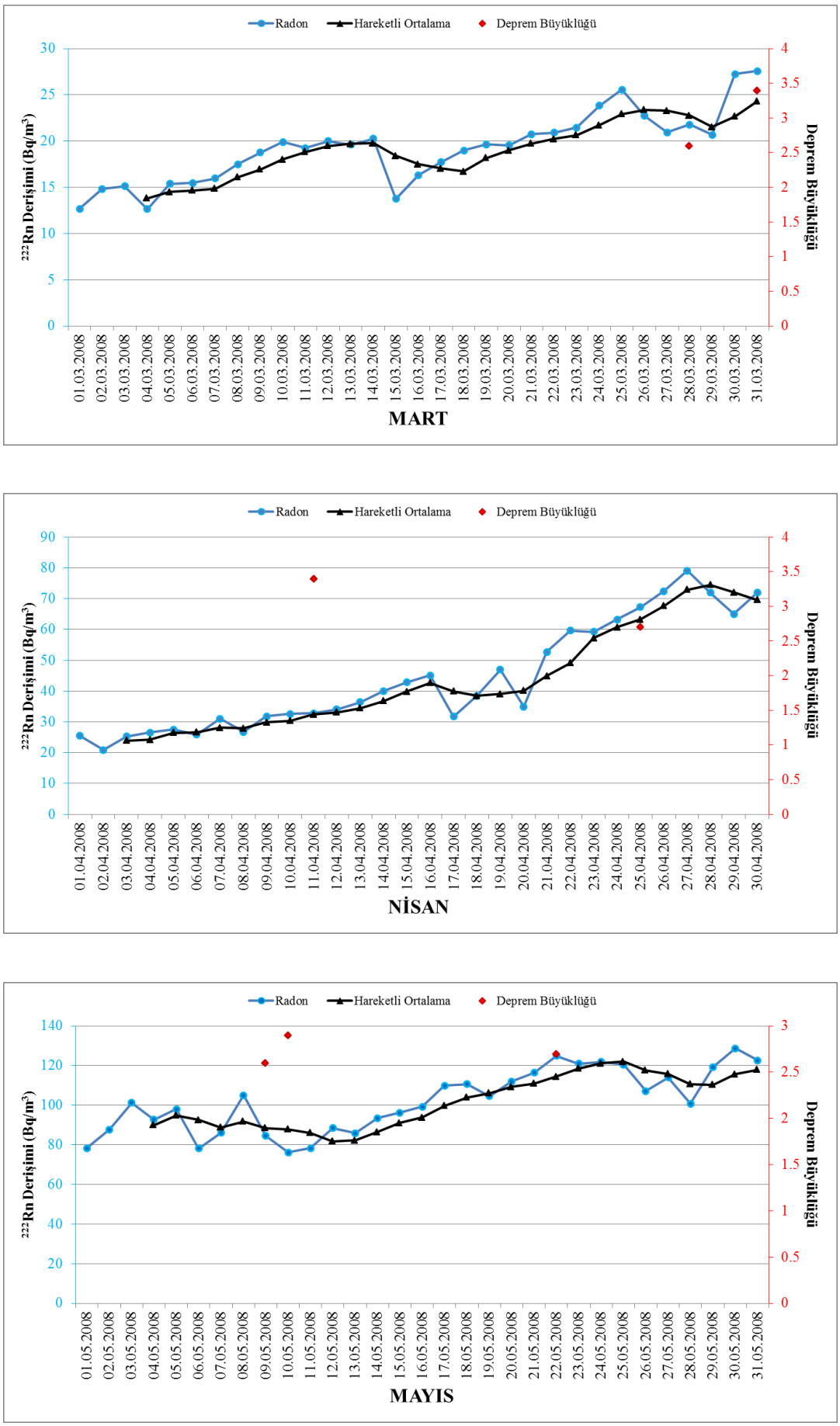
Ek 3 Şekil 1. Ergani istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



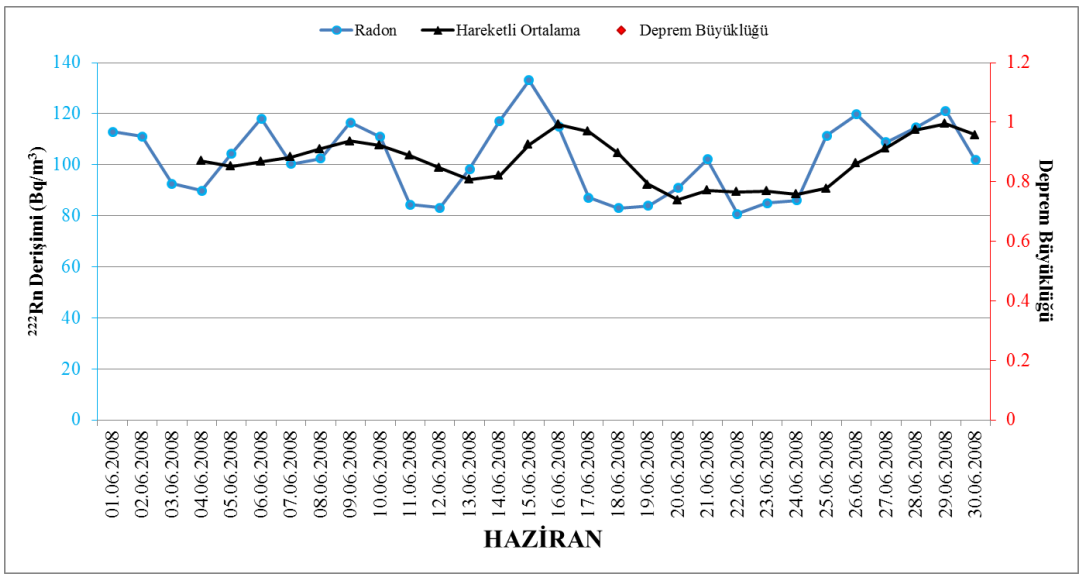


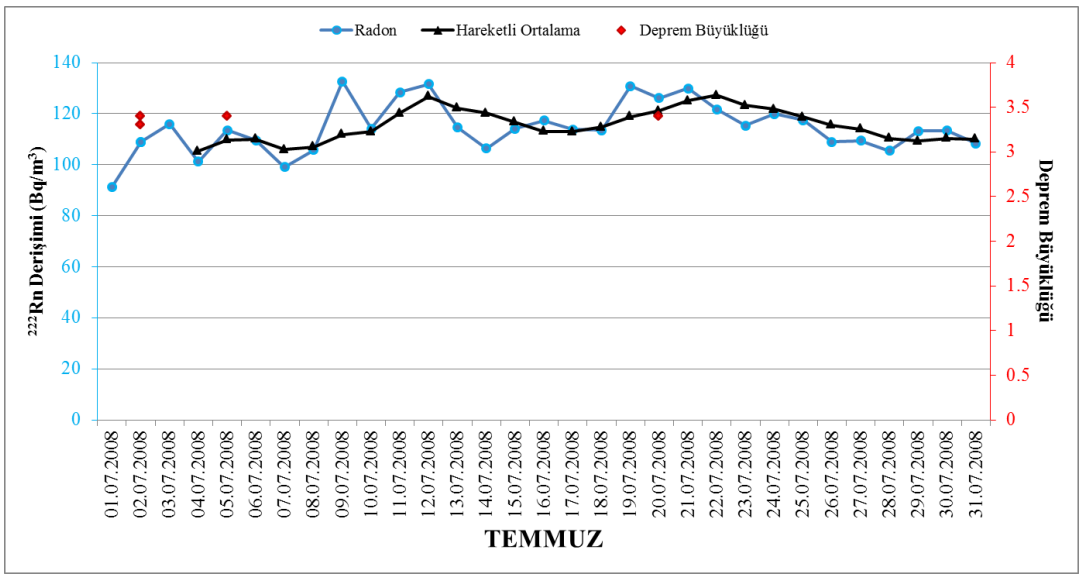


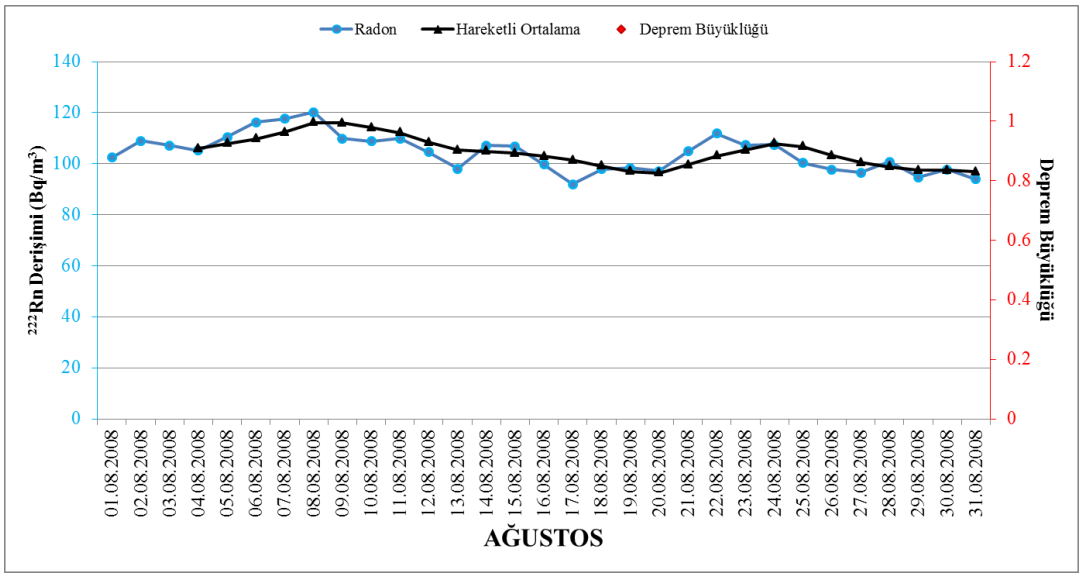
Ek 3 Şekil 2. Ergani istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



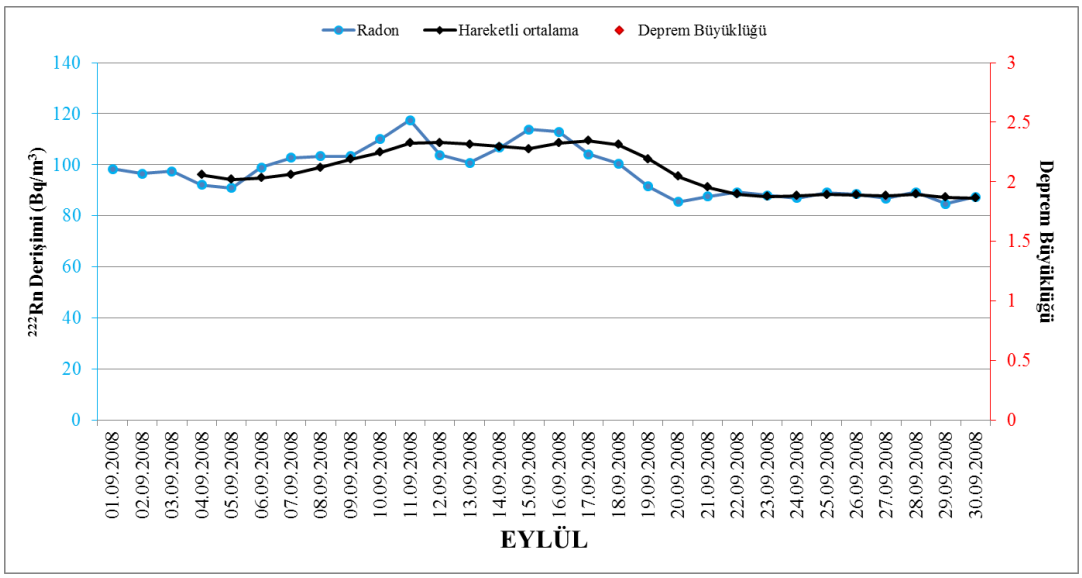
Ek 3 Şekil 3. Ergani istasyonu 2008 yılı bahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

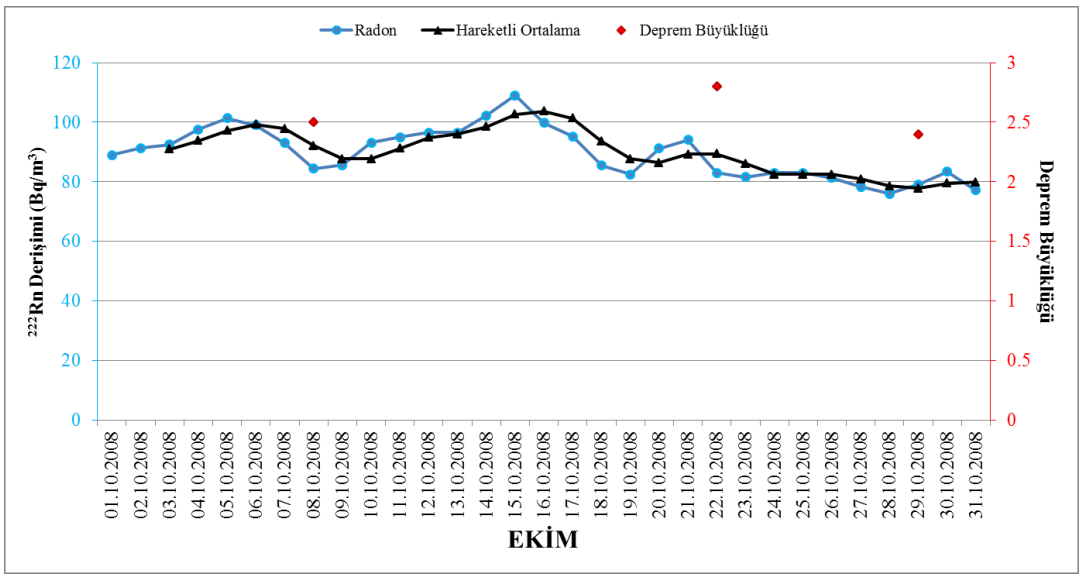


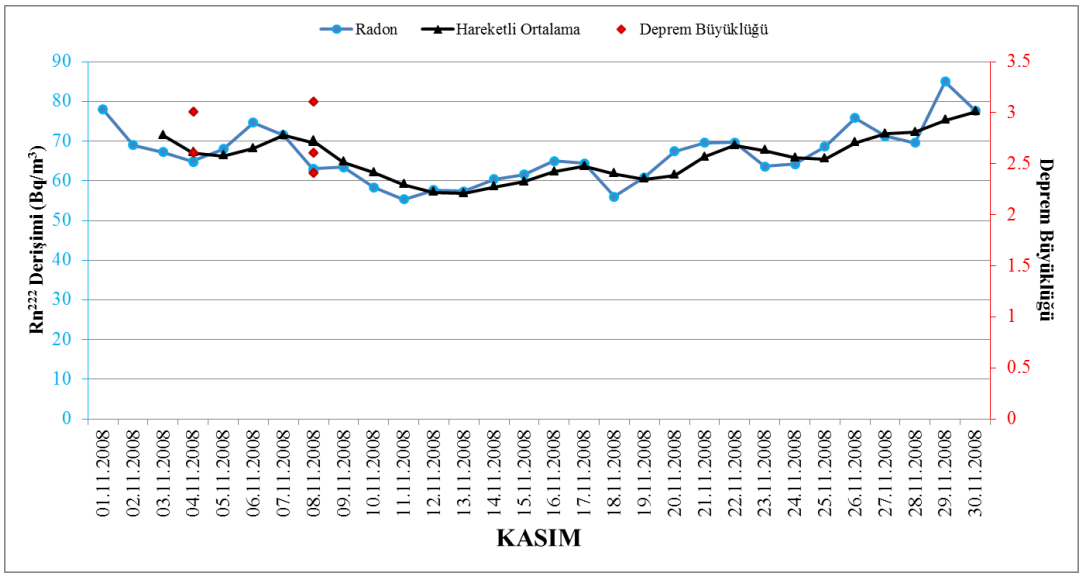




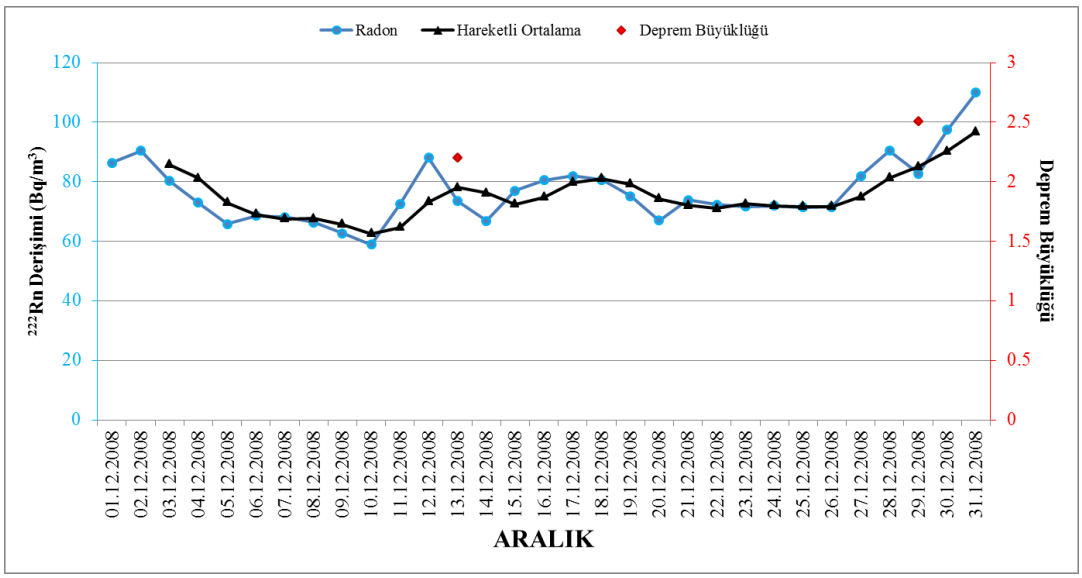
Ek 3 Şekil 4. Ergani istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

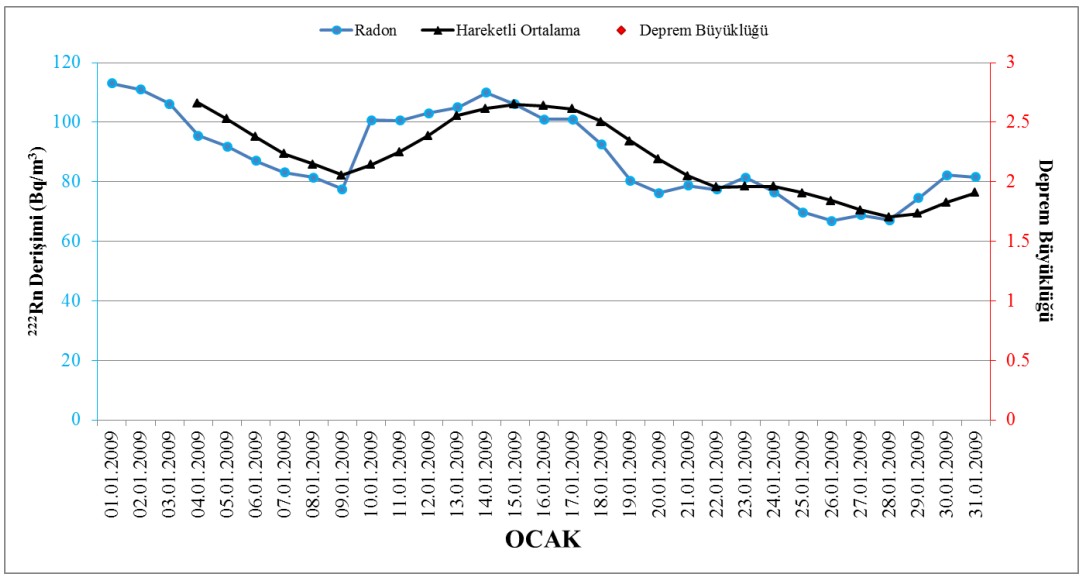


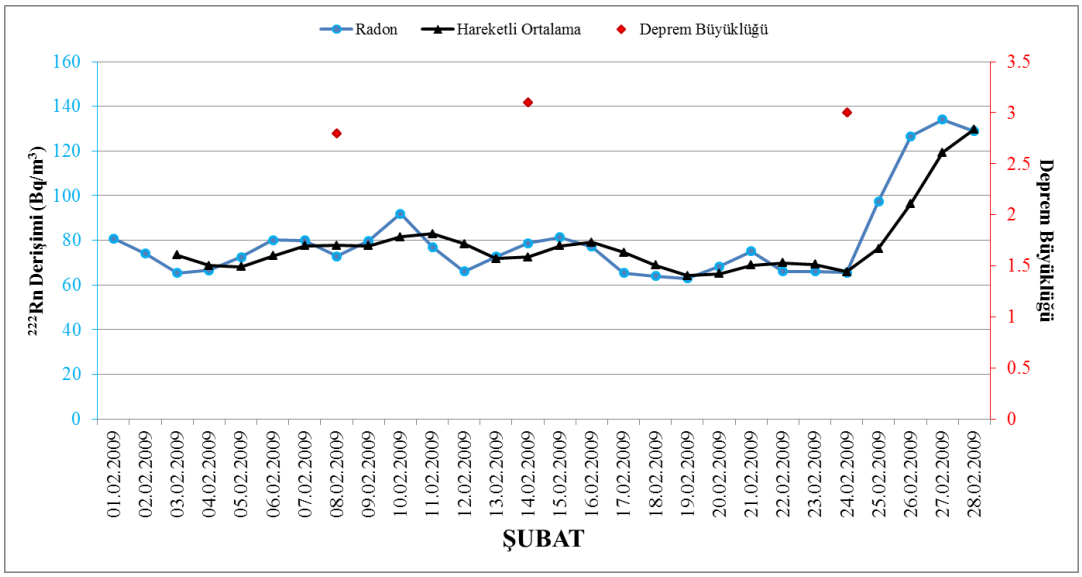




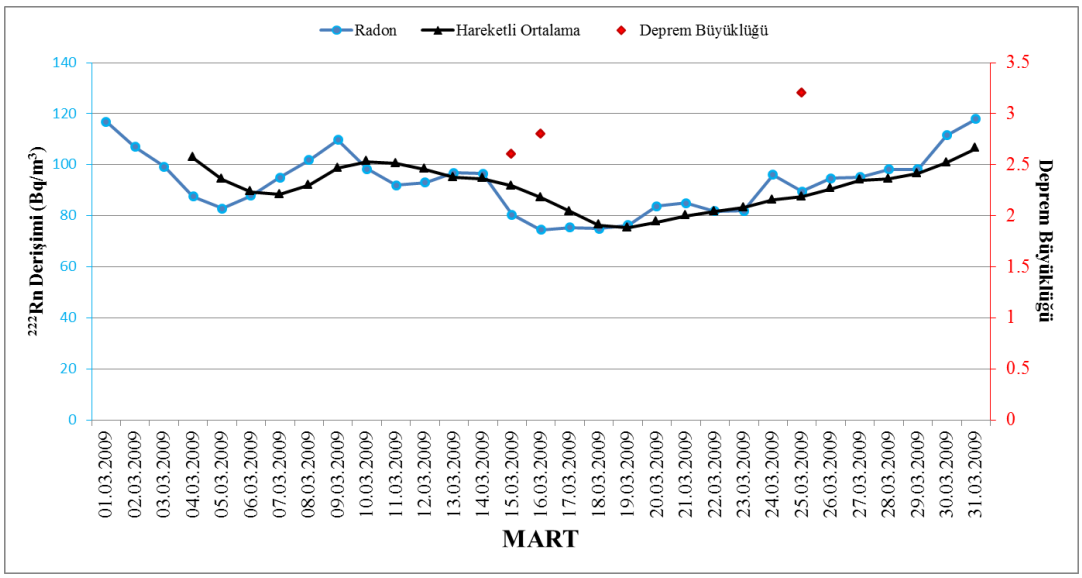
Ek 3 Şekil 5. Ergani istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

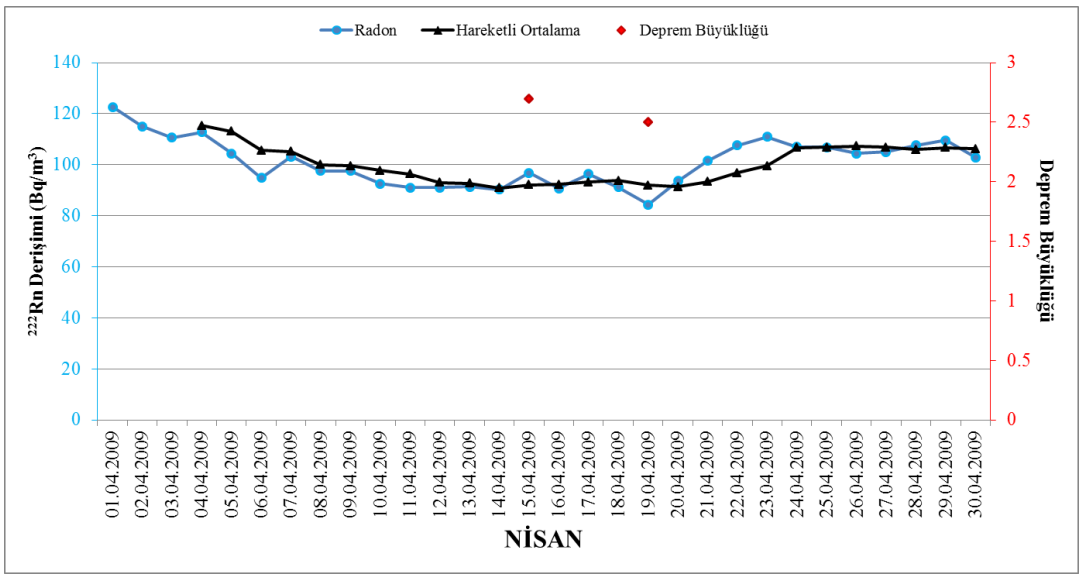


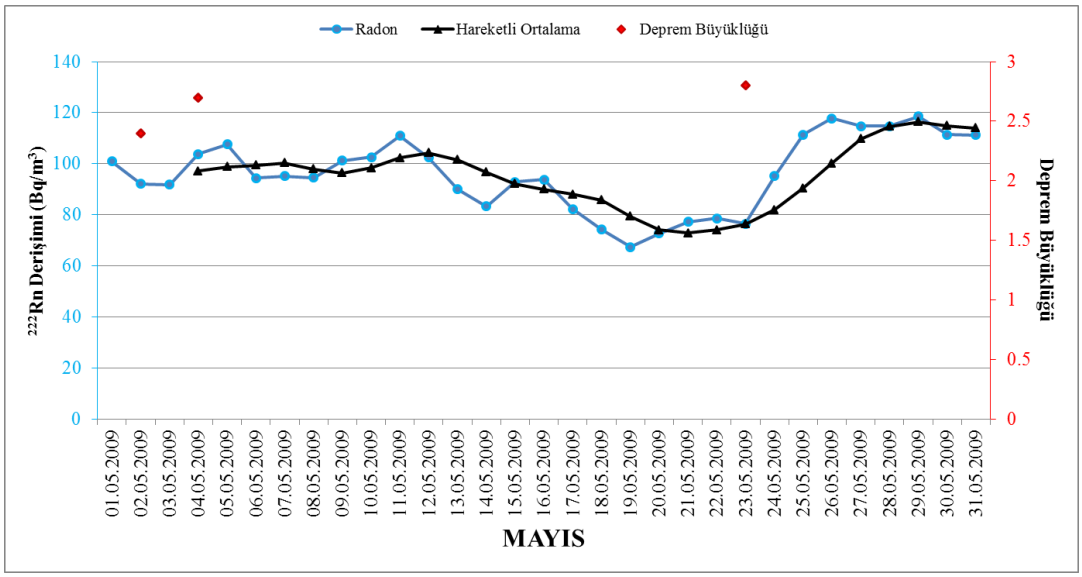




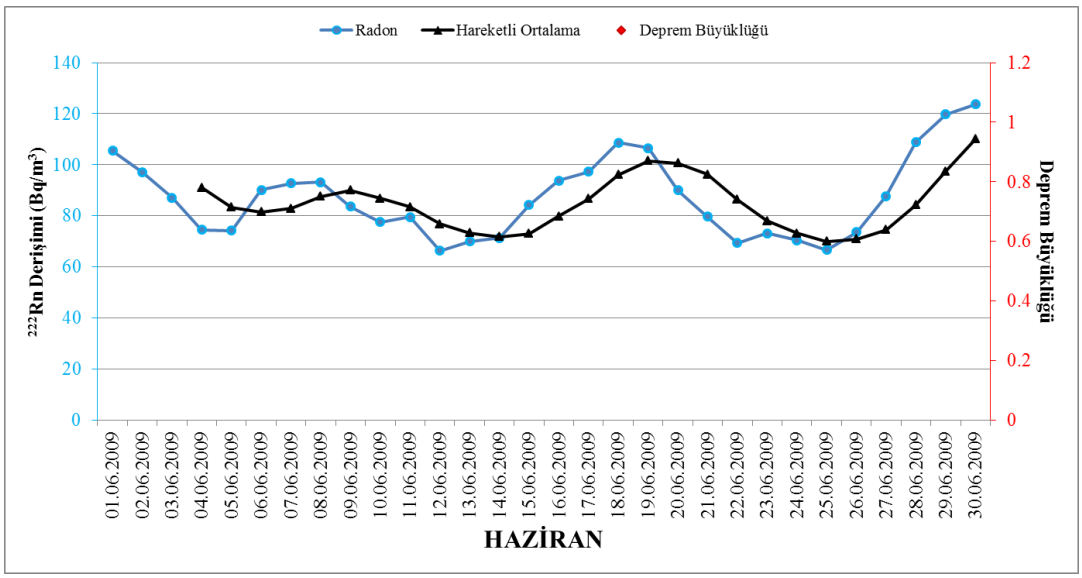
Ek 3 Şekil 6. Ergani istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

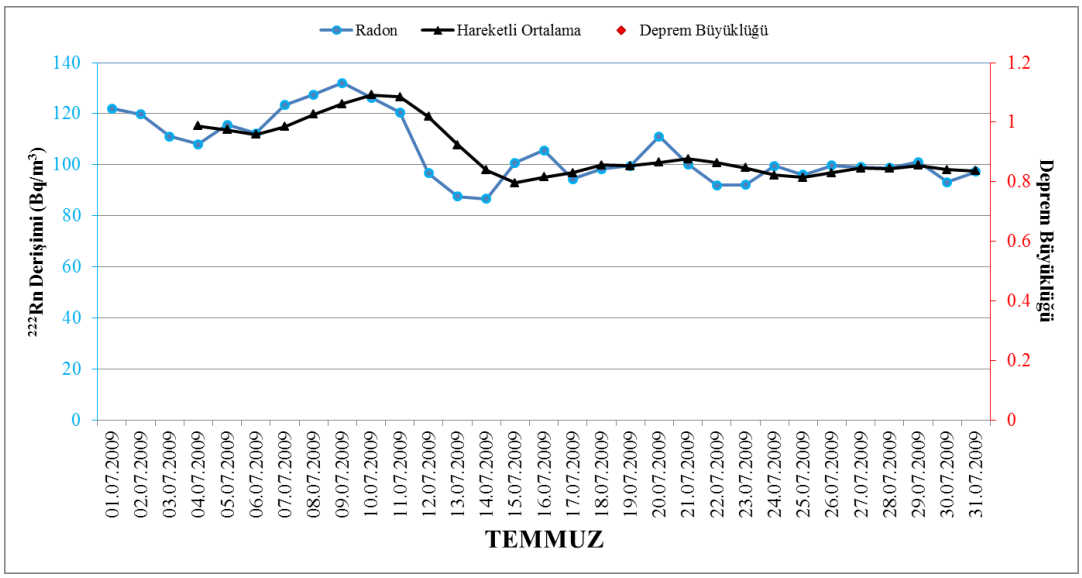


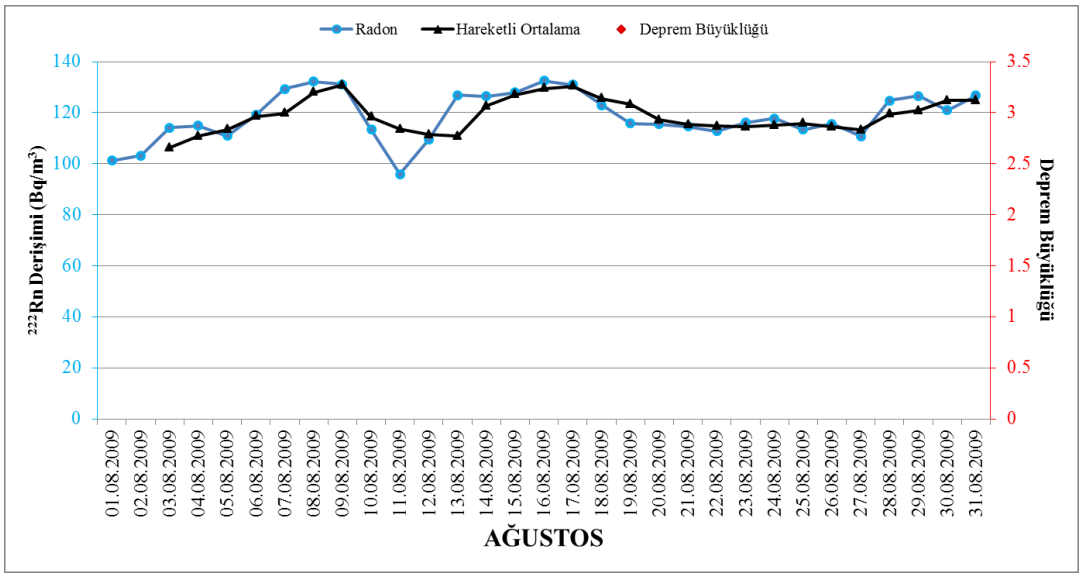




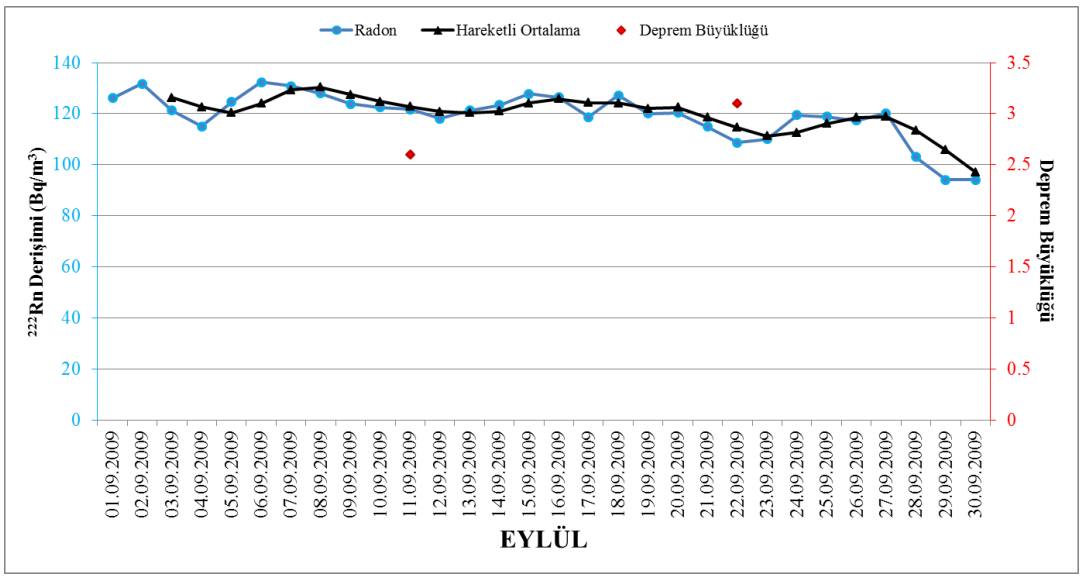
Ek 3 Şekil 7. Ergani istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

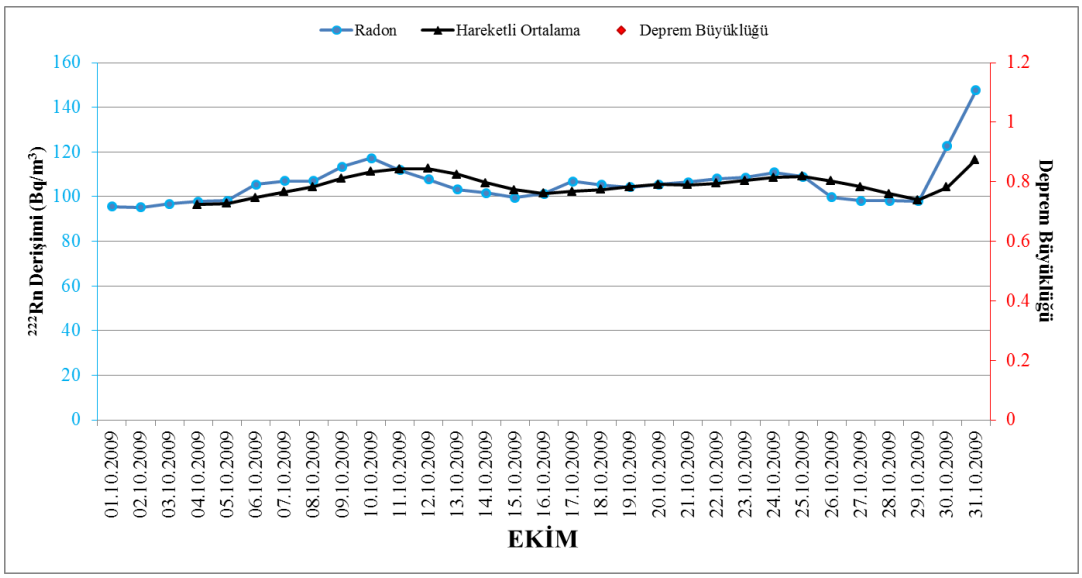


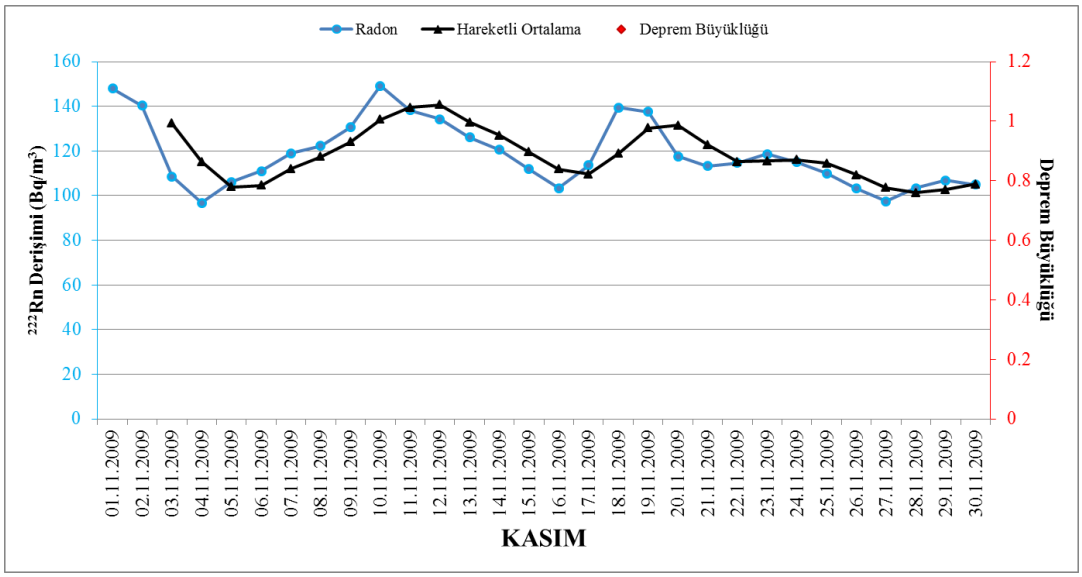




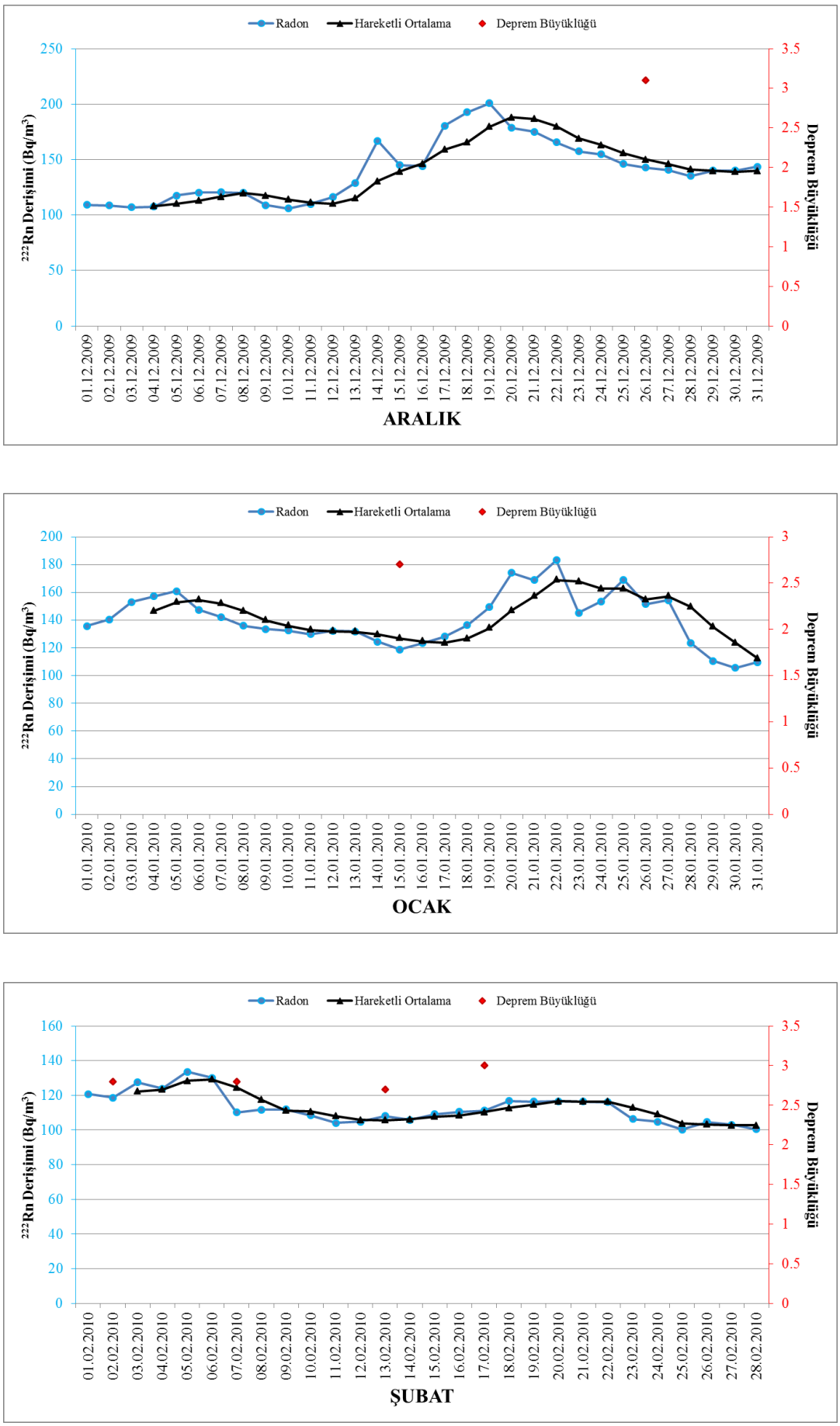
Ek 3 Şekil 8. Ergani istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



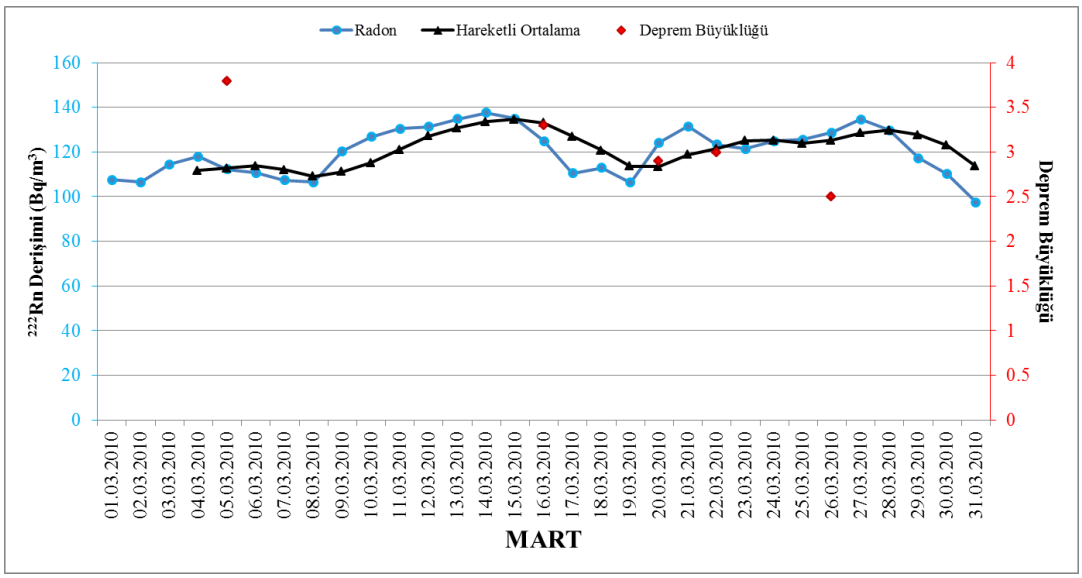


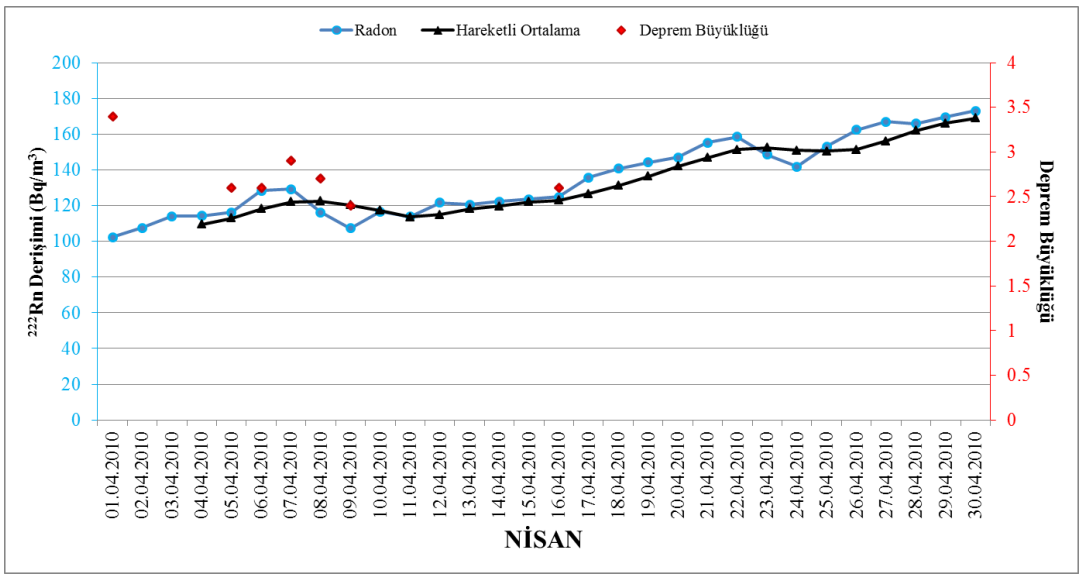


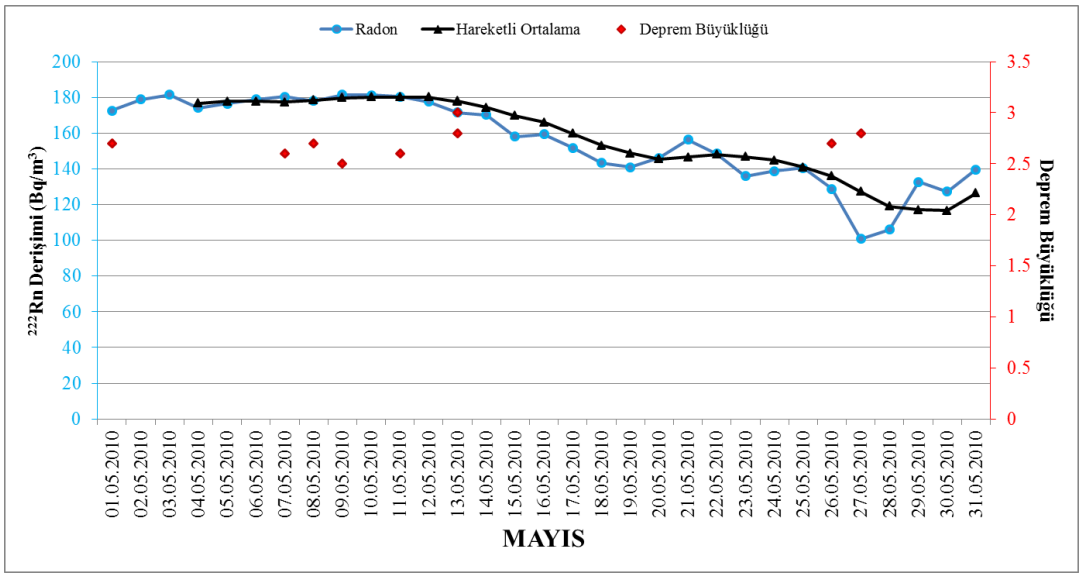
Ek 3 Şekil 9. Ergani istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



Ek 3 Şekil 10. Ergani istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



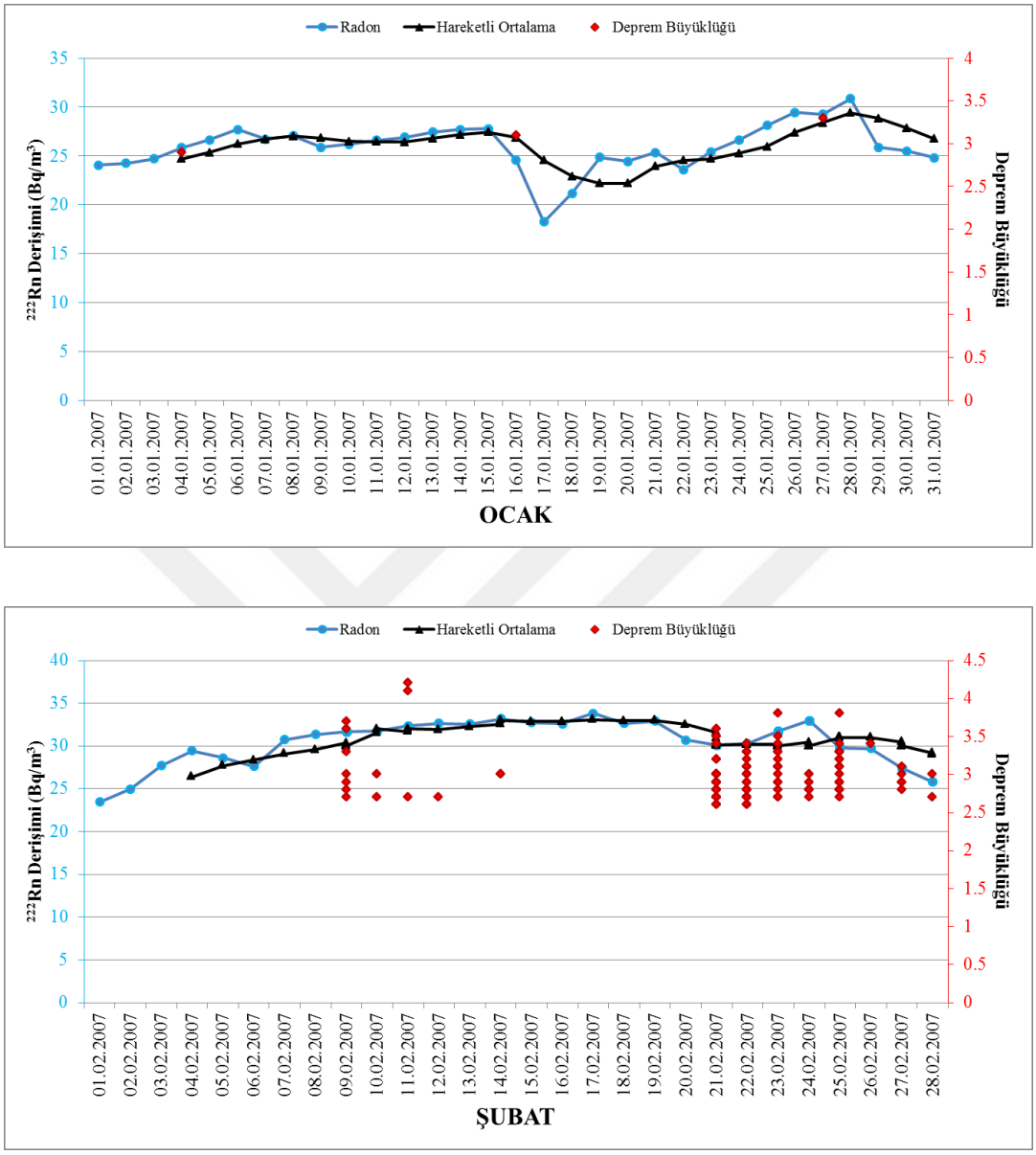




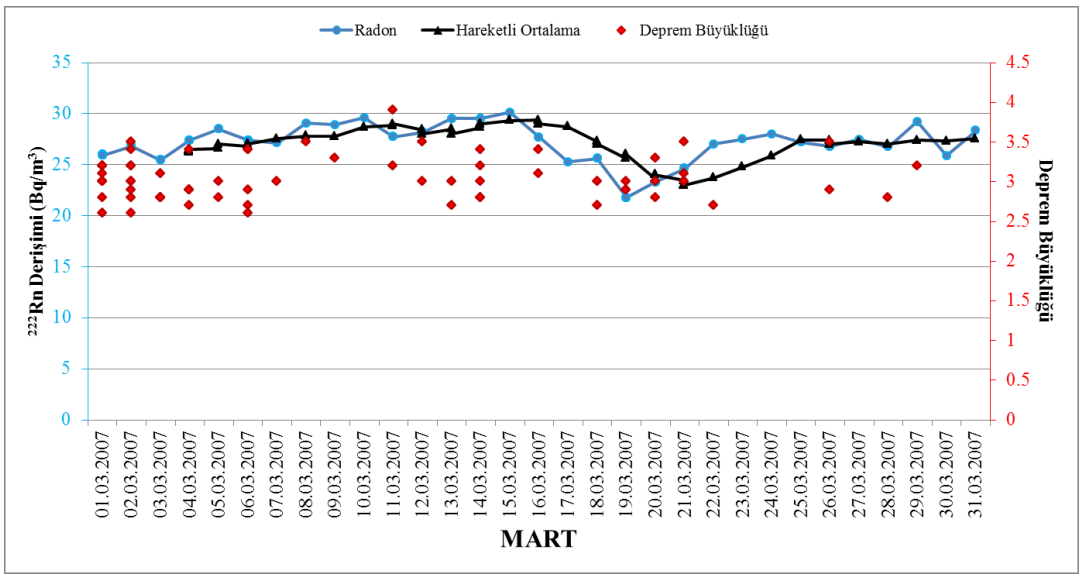
Ek 3 Şekil 11. Ergani istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

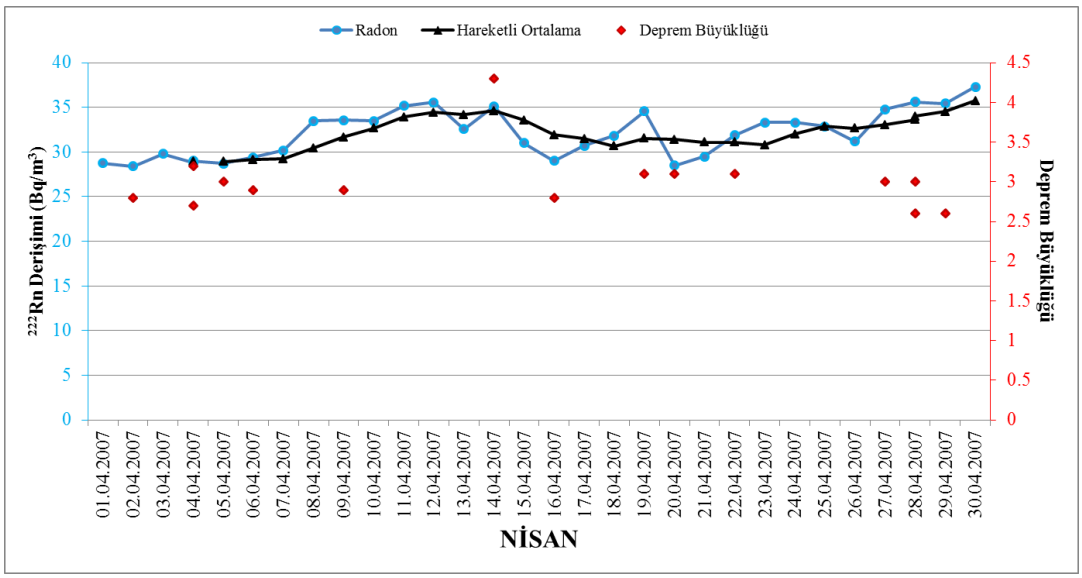
EK 4

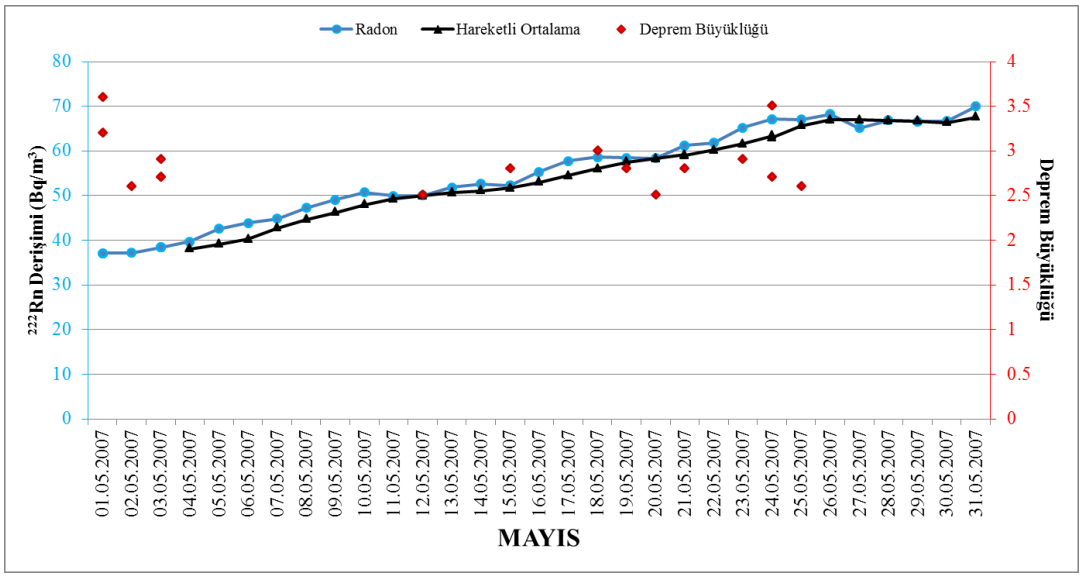
Gezin İstasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



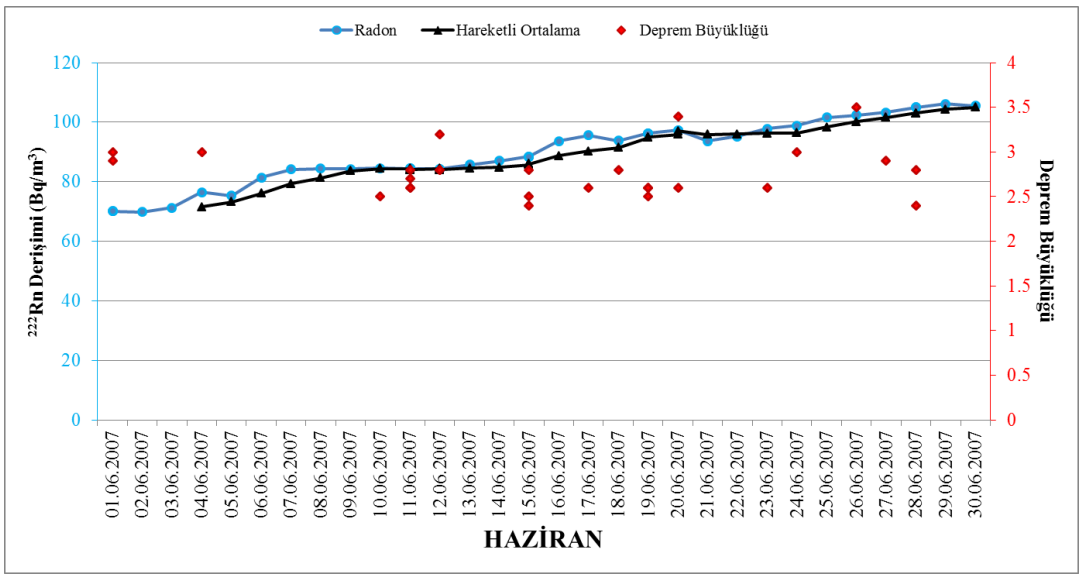
Ek 4 Şekil 1. Gezin istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

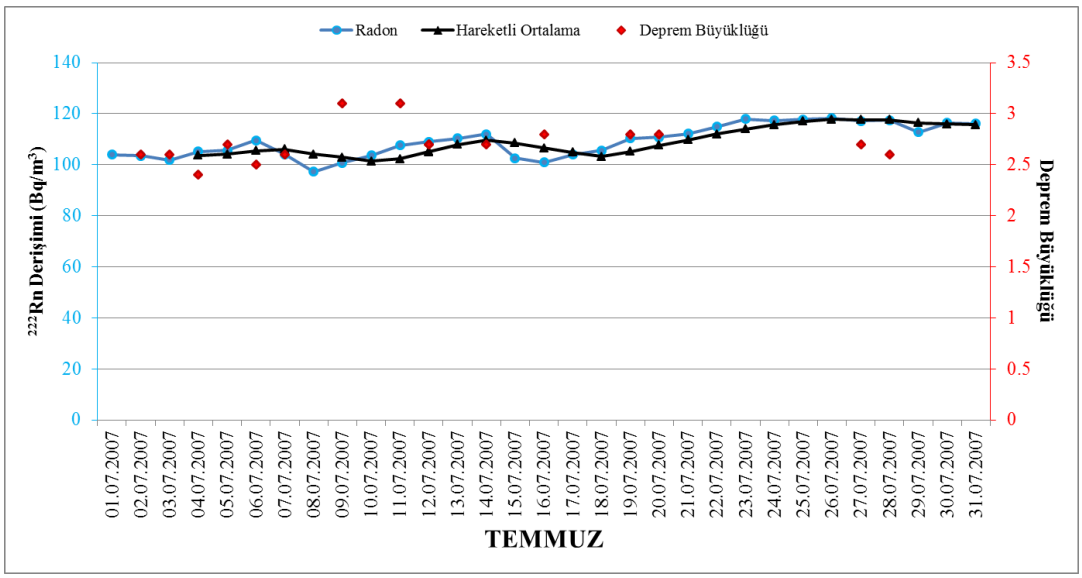


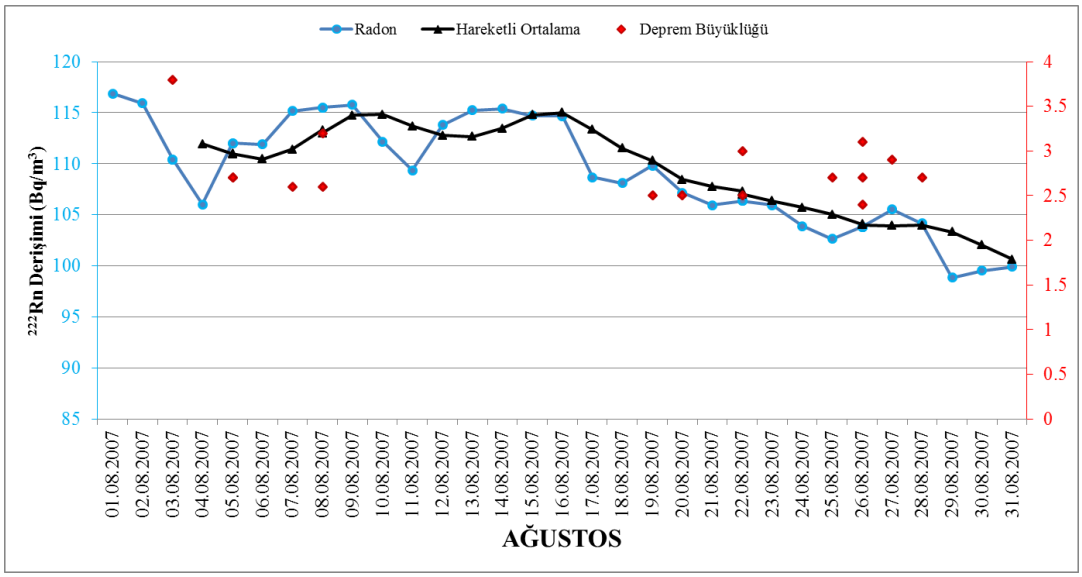




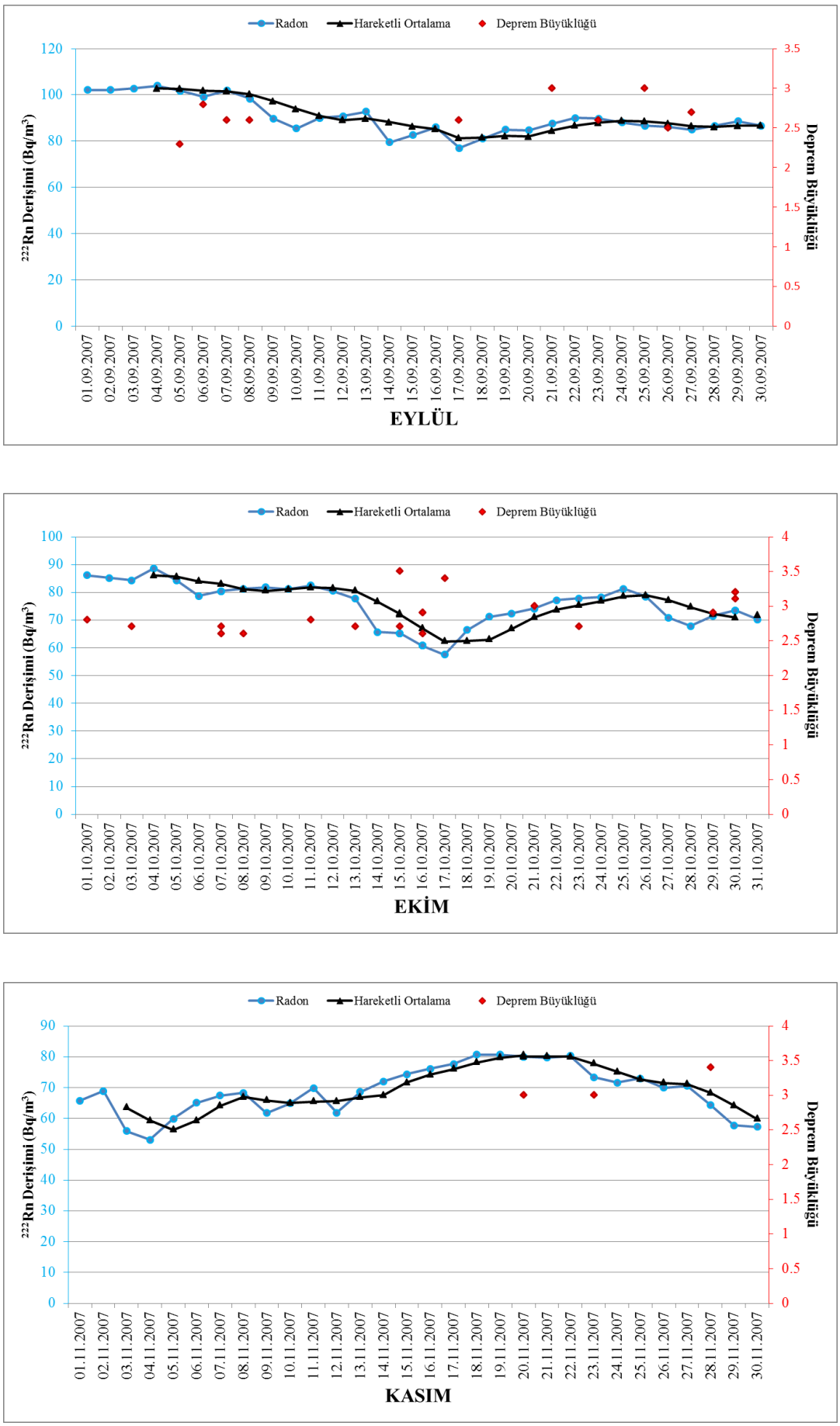
Ek 4 Şekil 2. Gezin istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



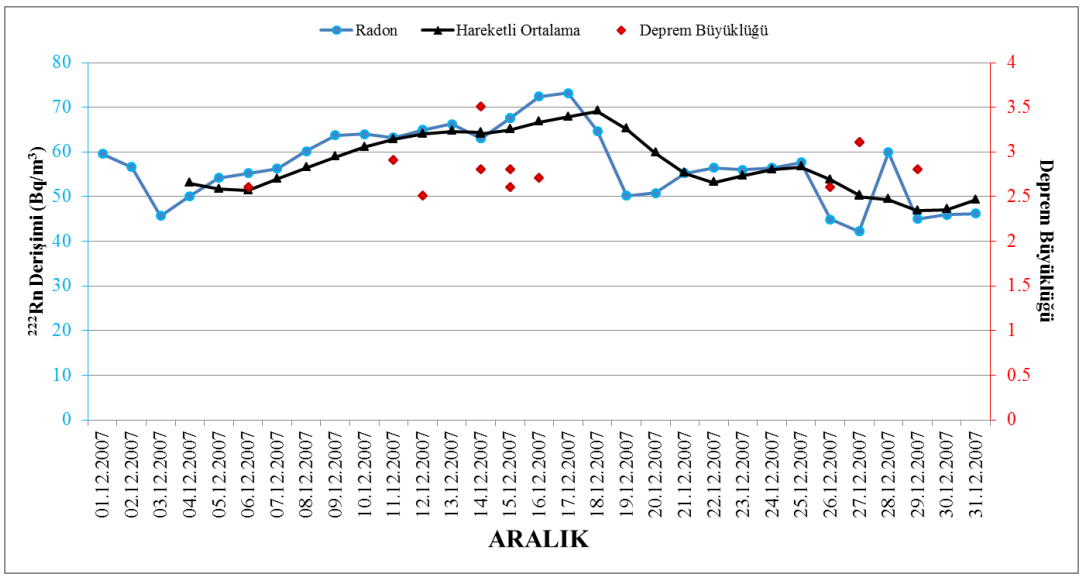


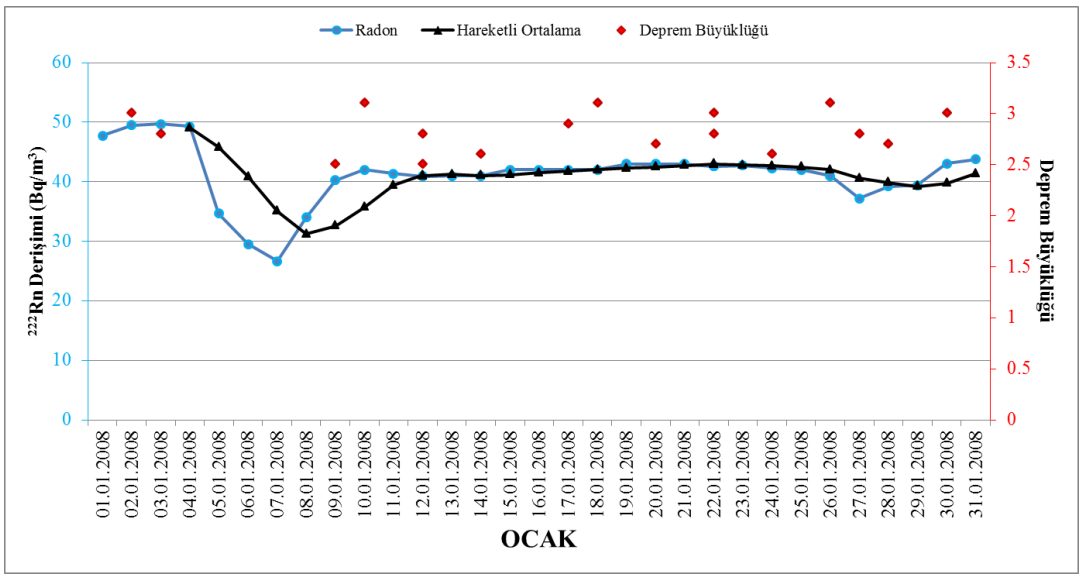


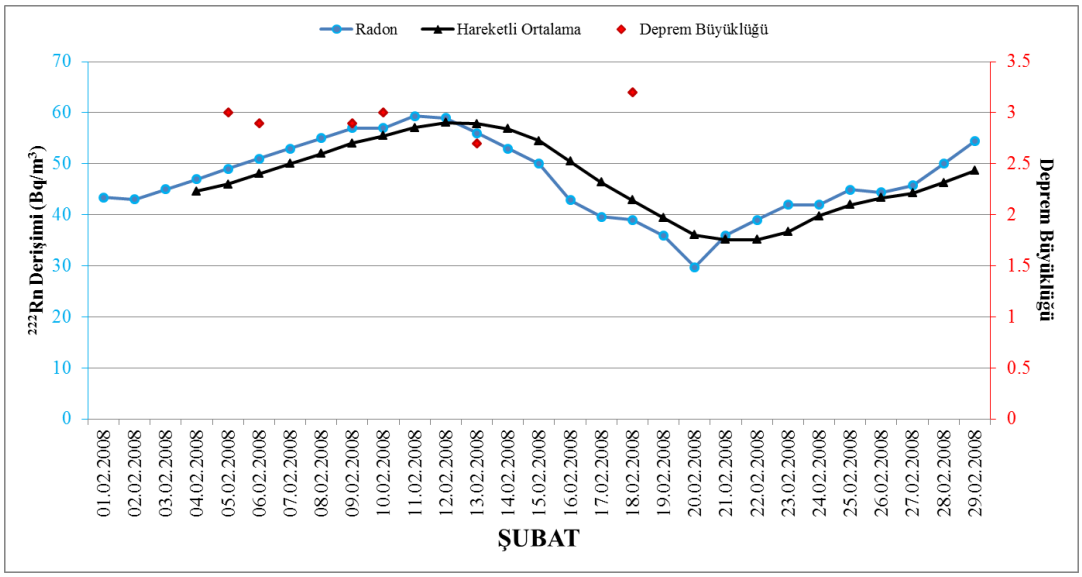
Ek 4 Şekil 3. Gezin istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



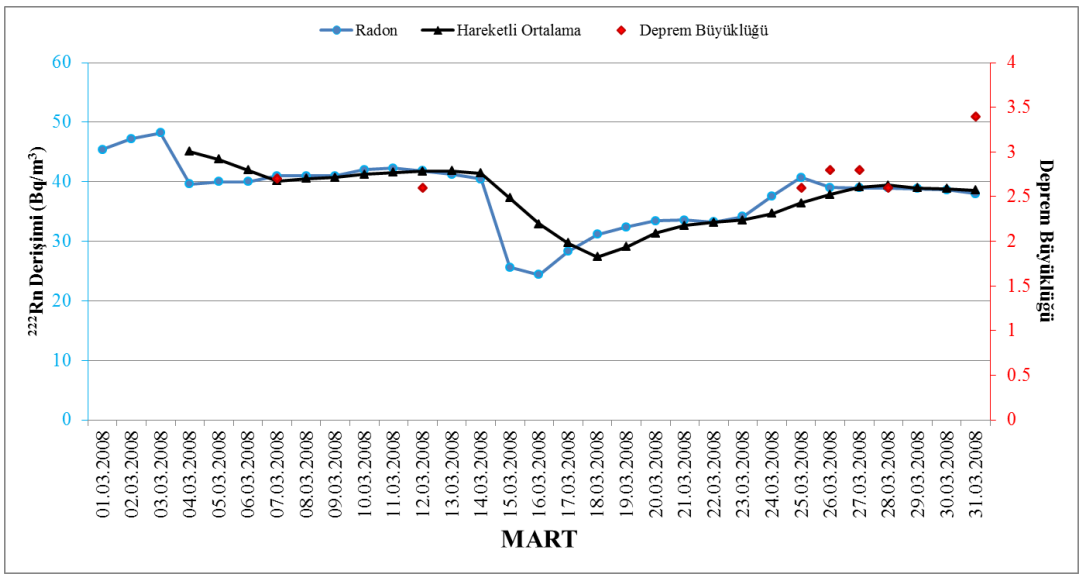
Ek 4 Şekil 4. Gezin istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

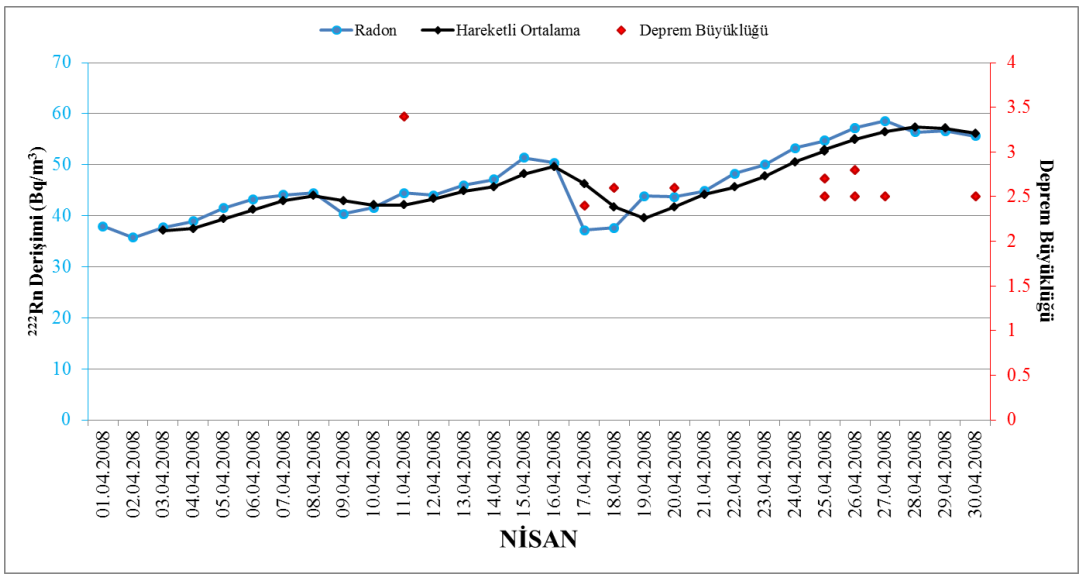


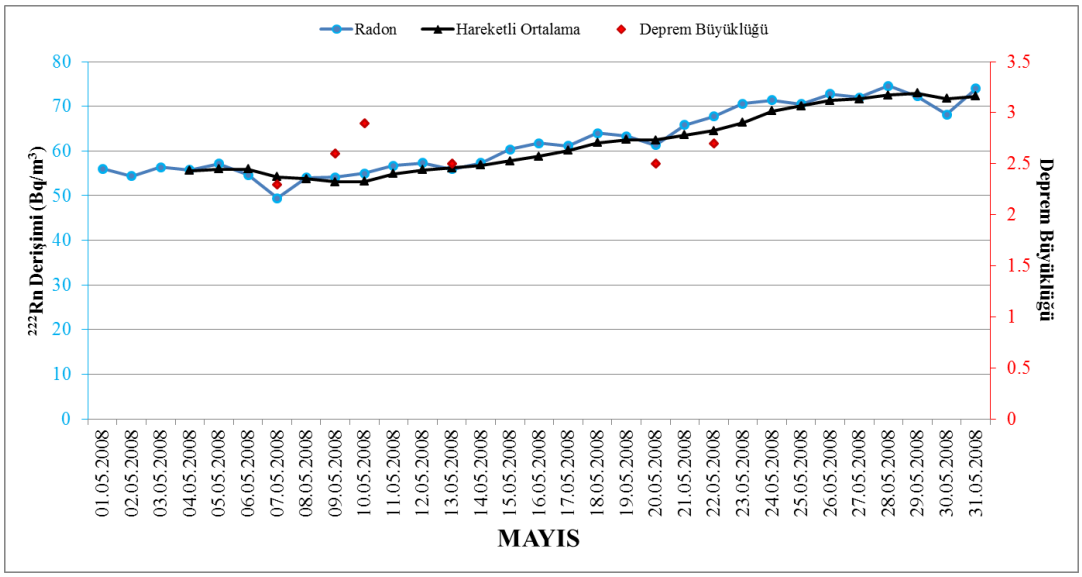




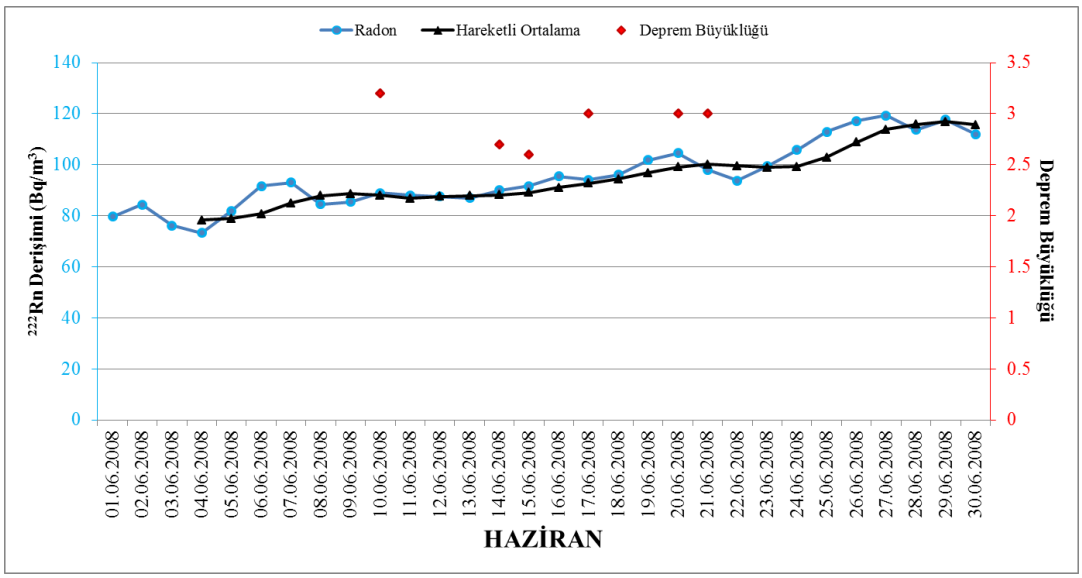
Ek 4 Şekil 5. Gezin istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

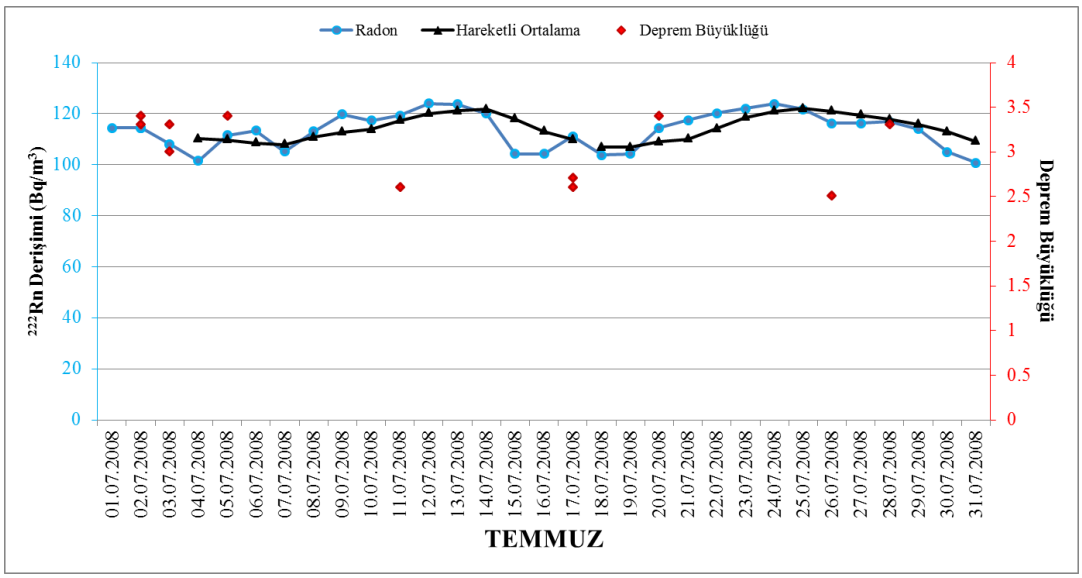


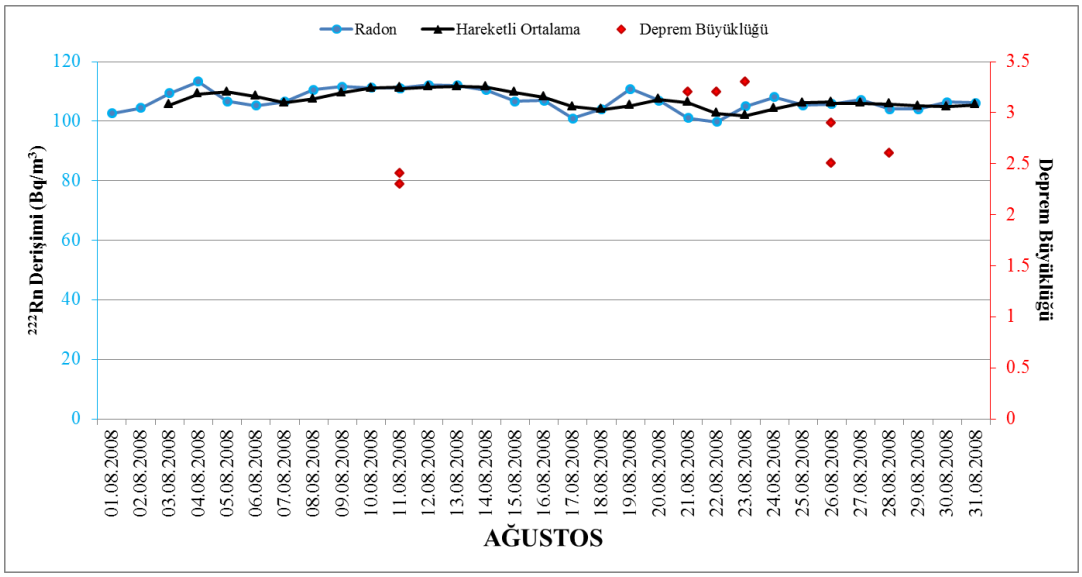




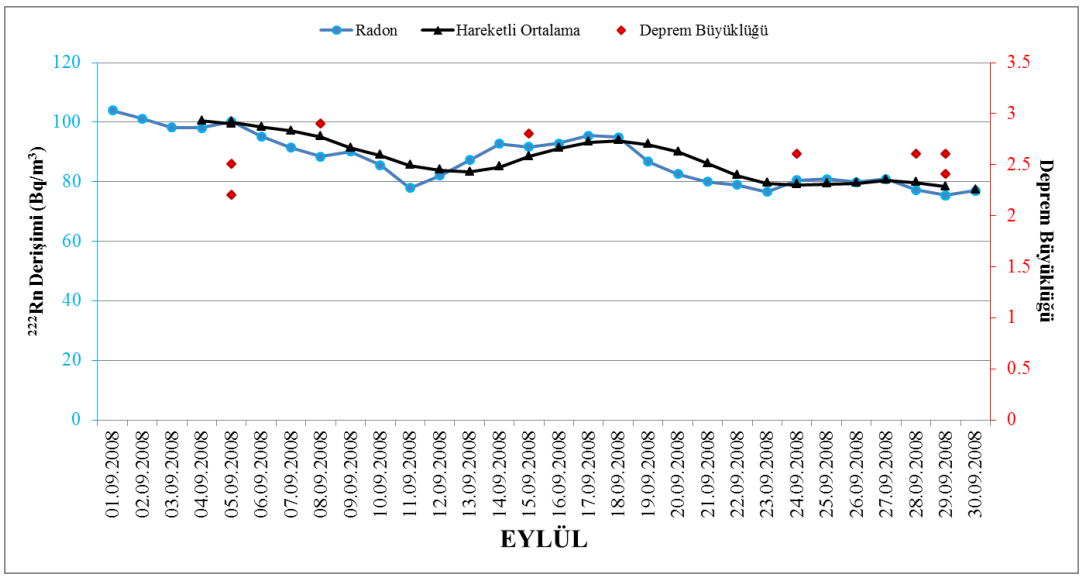
Ek 4 Şekil 6. Gezin istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

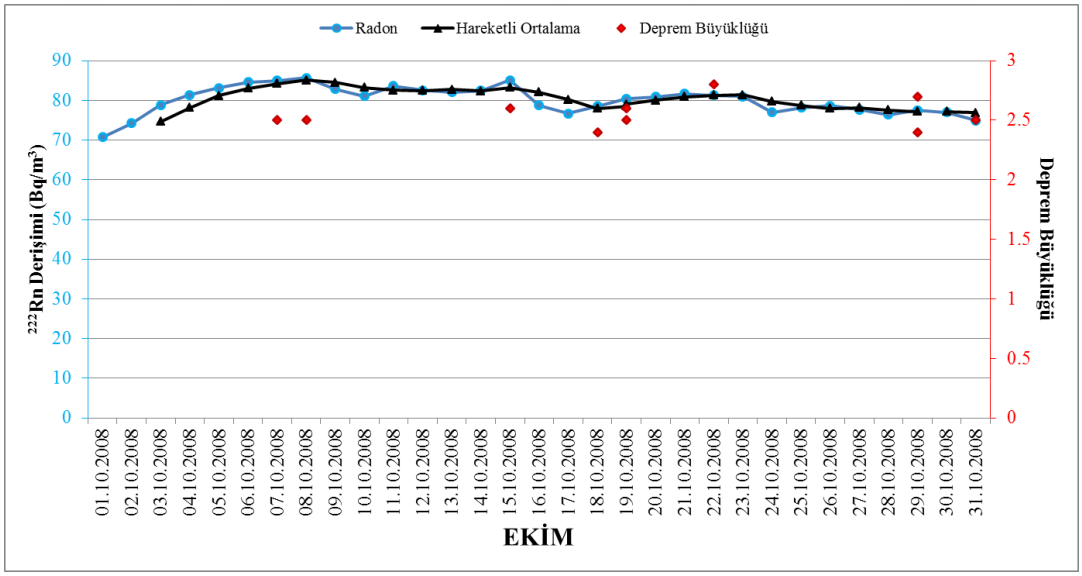


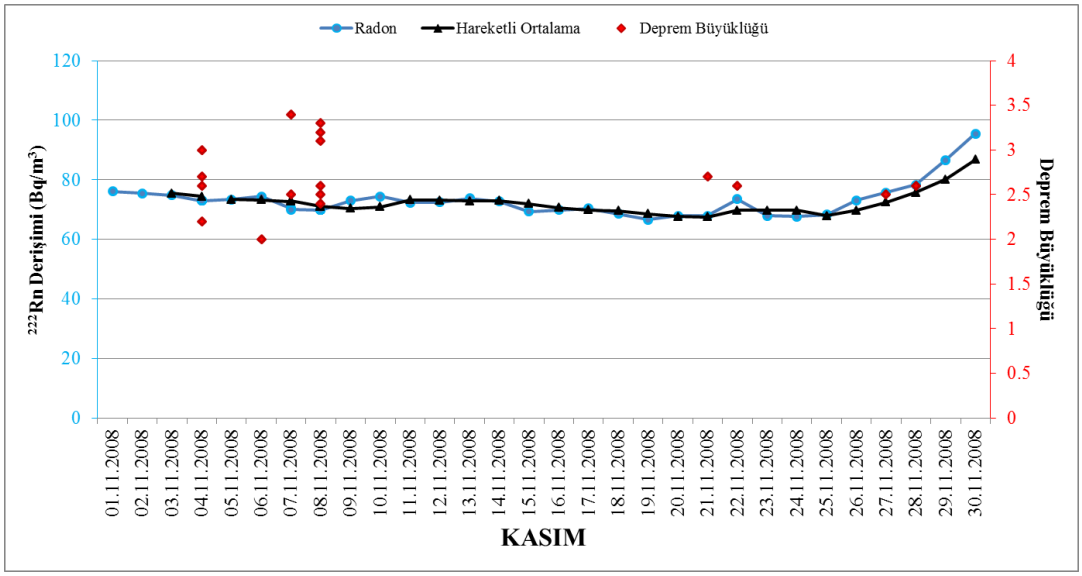




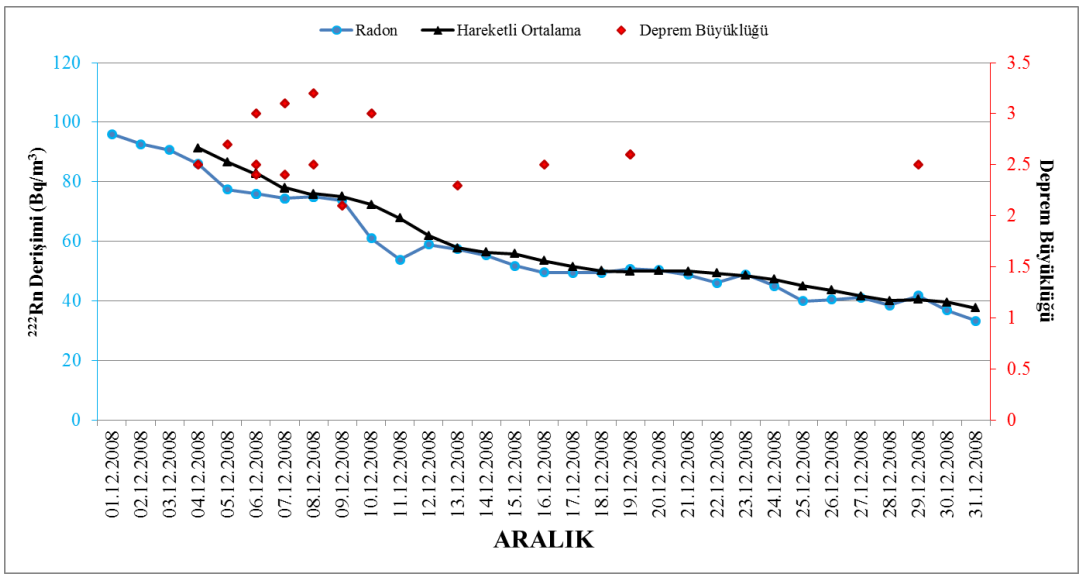
Ek 4 Şekil 7. Gezin istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

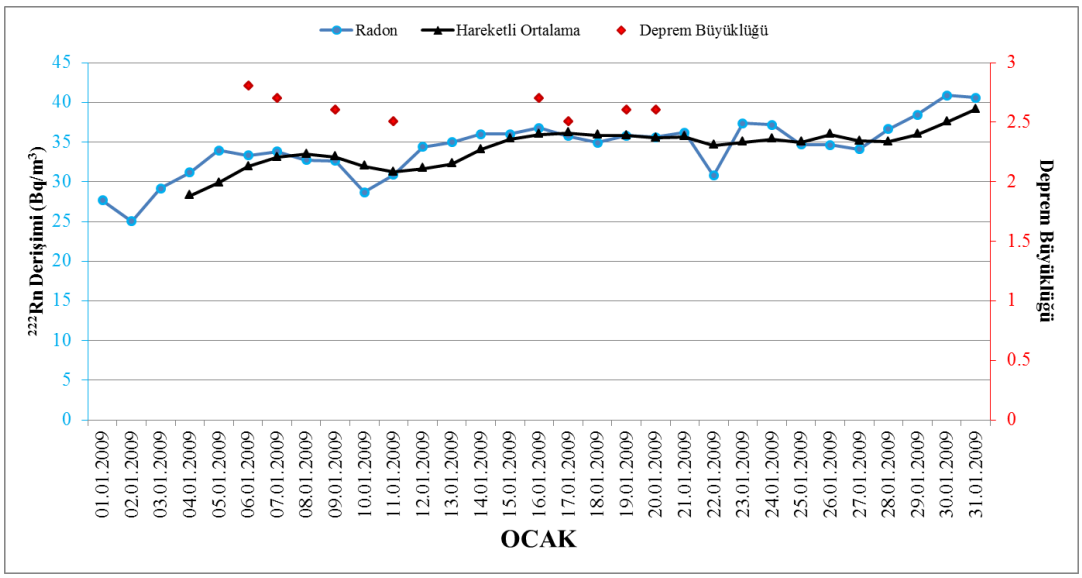


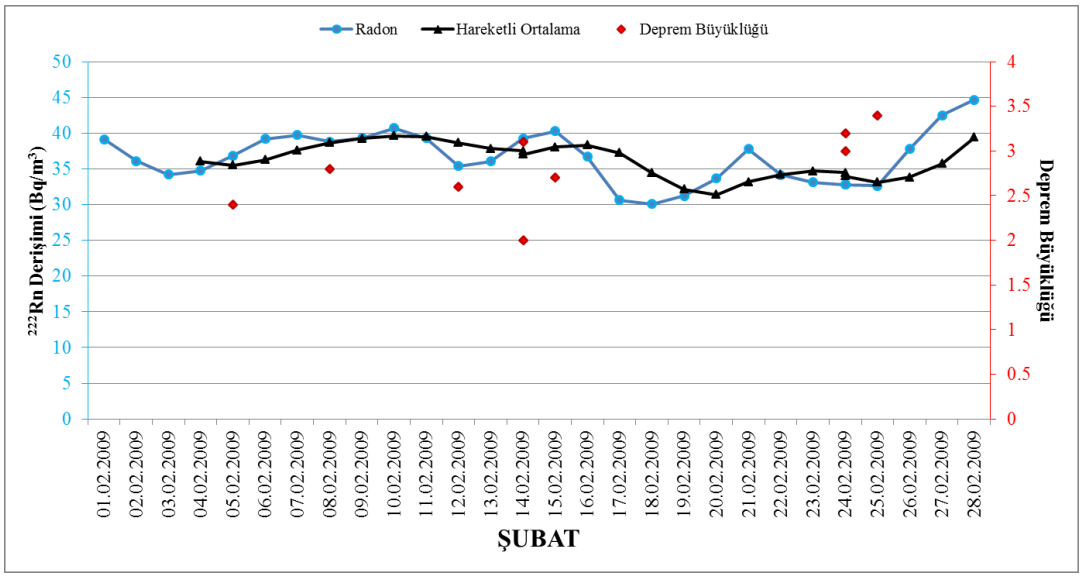




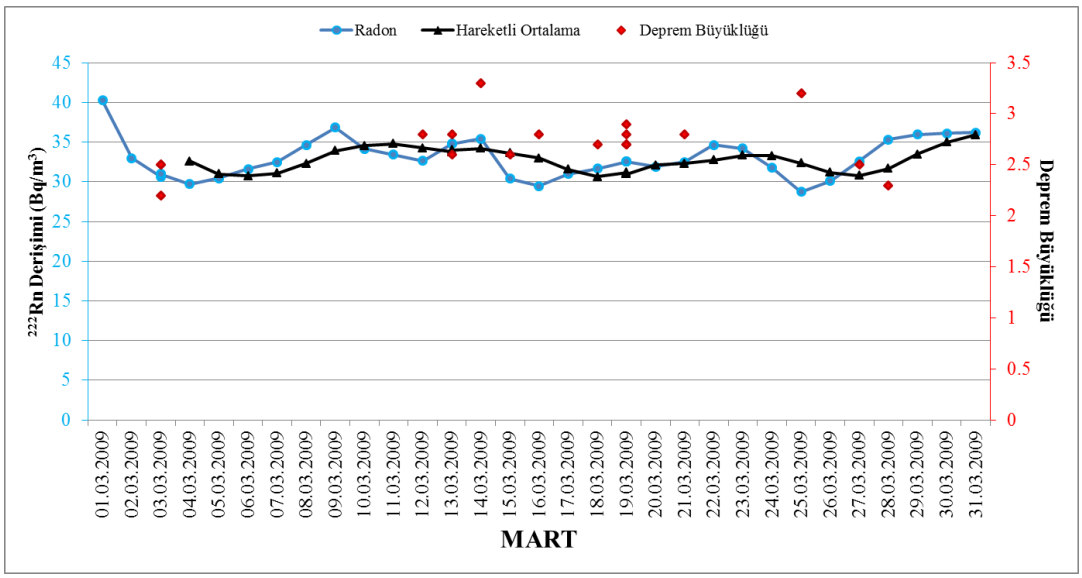
Ek 4 Şekil 8. Gezin istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

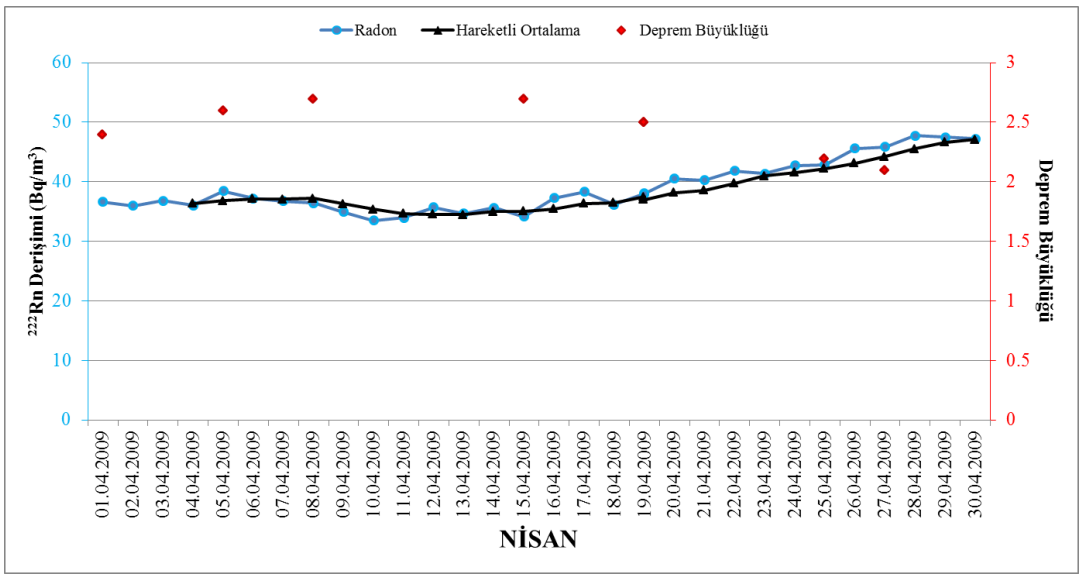


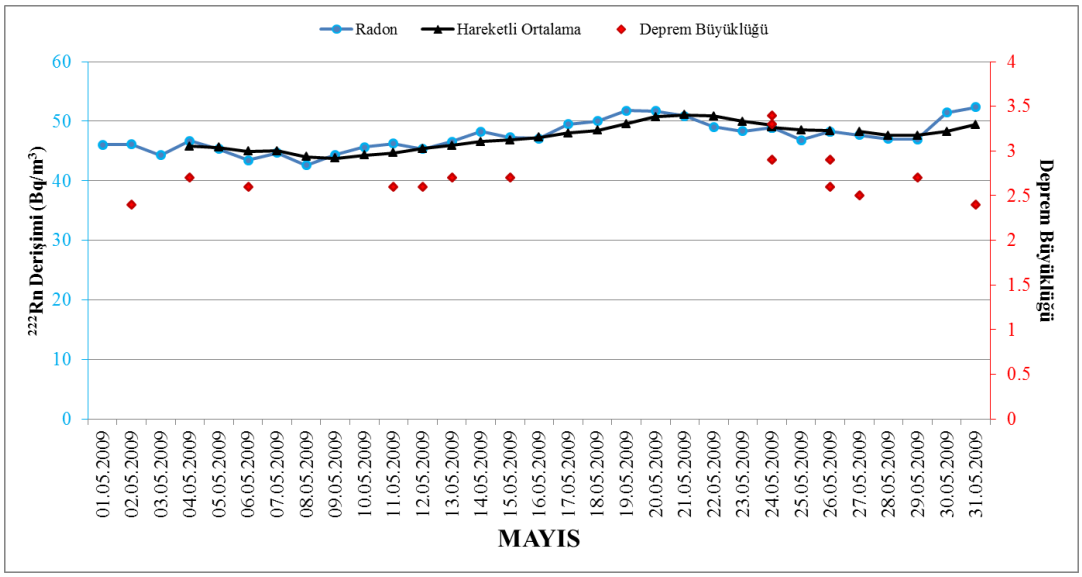




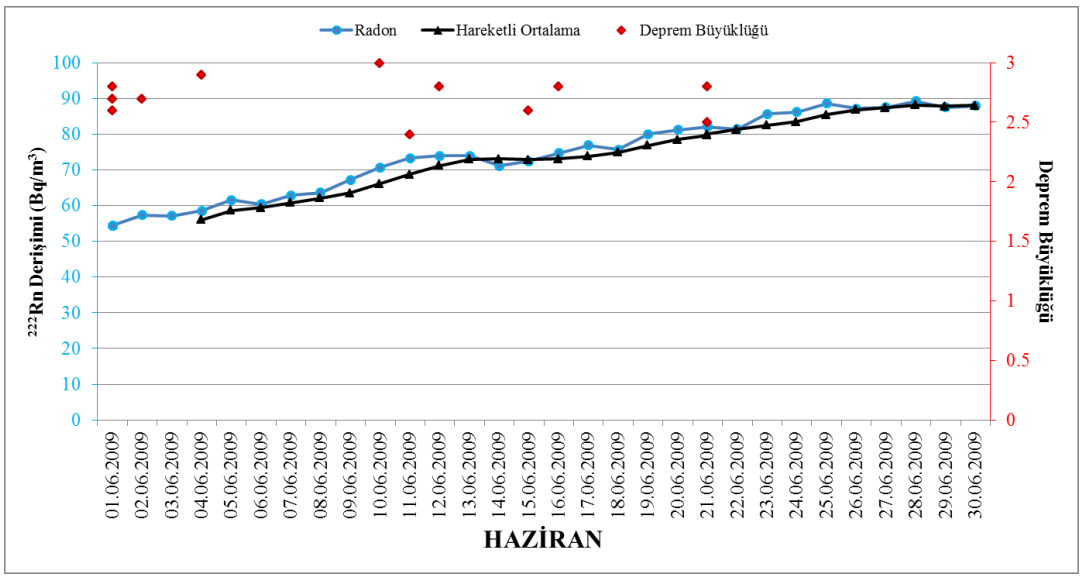
Ek 4 Şekil 9. Gezin istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

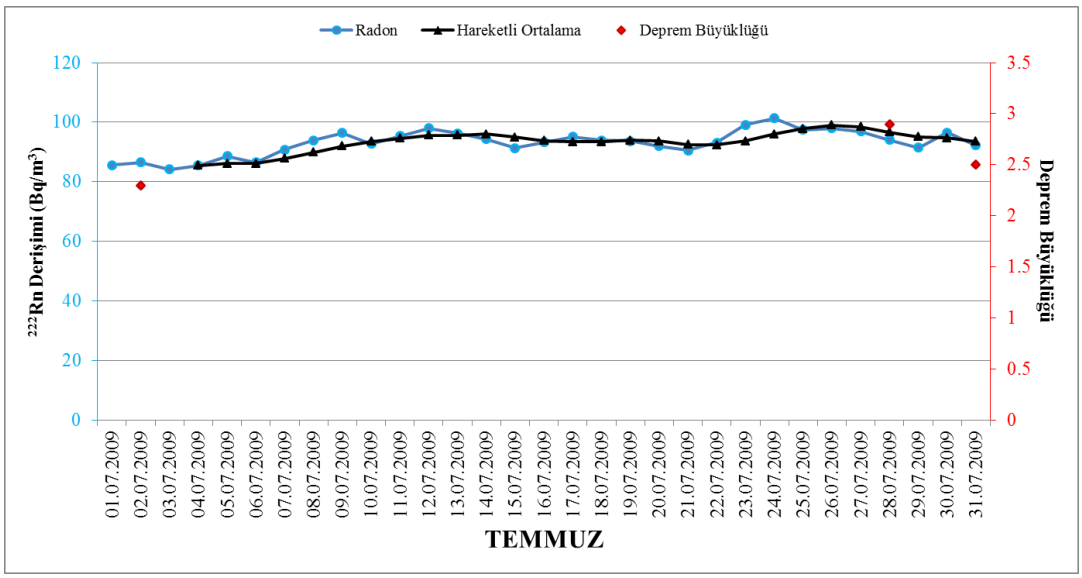


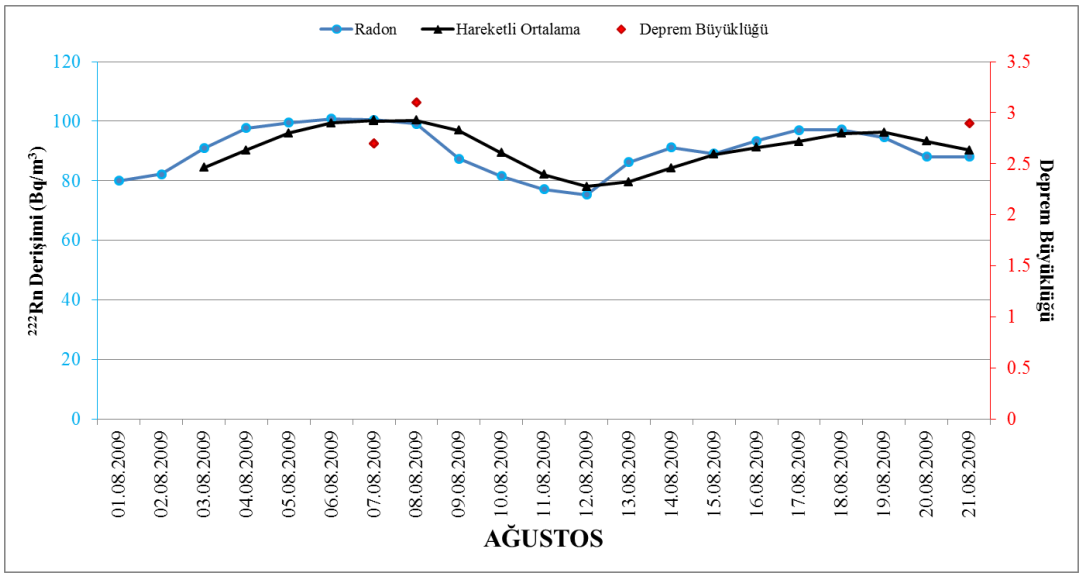




Ek 4 Şekil 10. Gezin istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



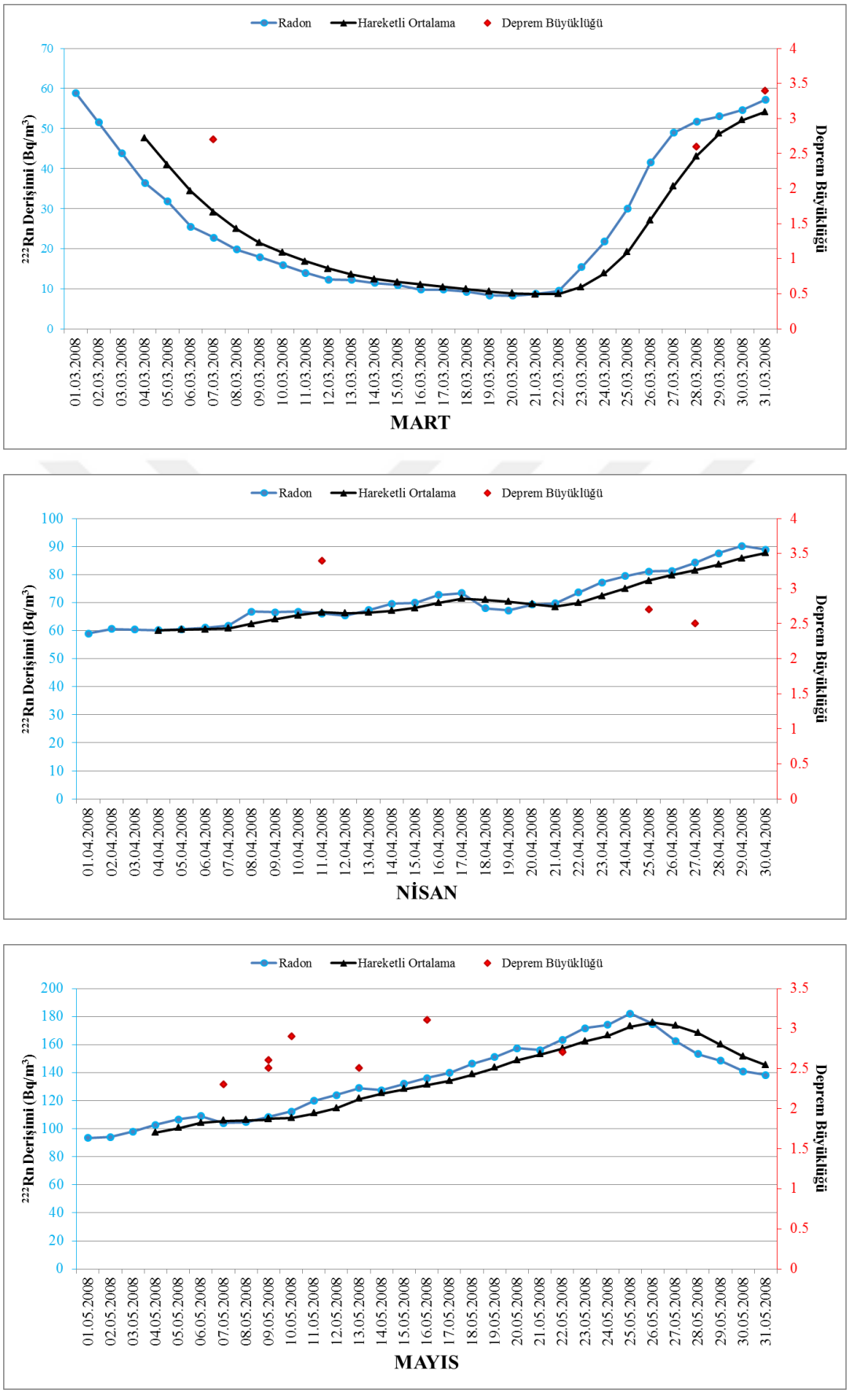




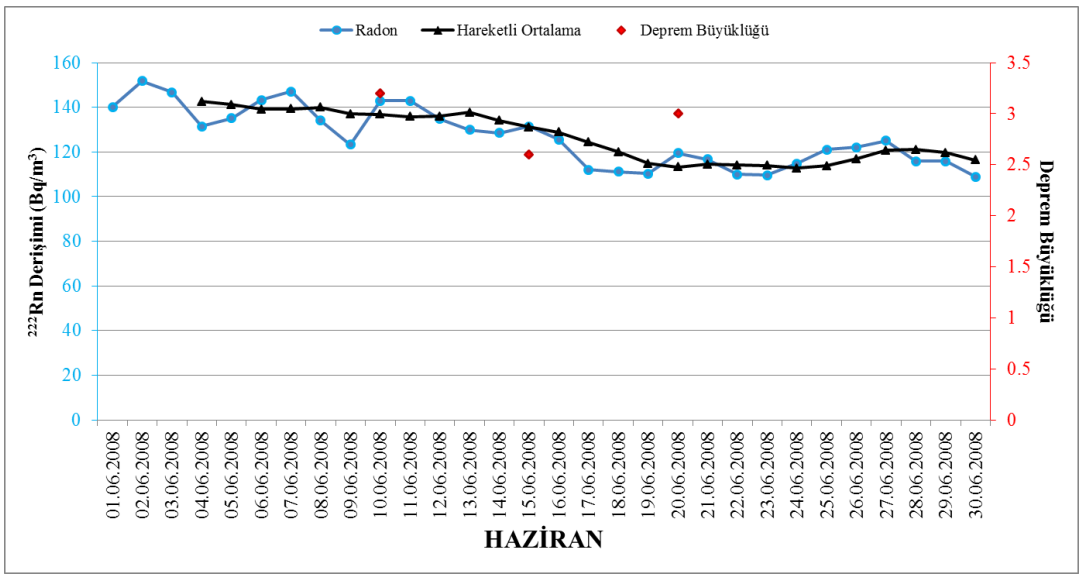
Ek 4 Şekil 11. Gezin istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

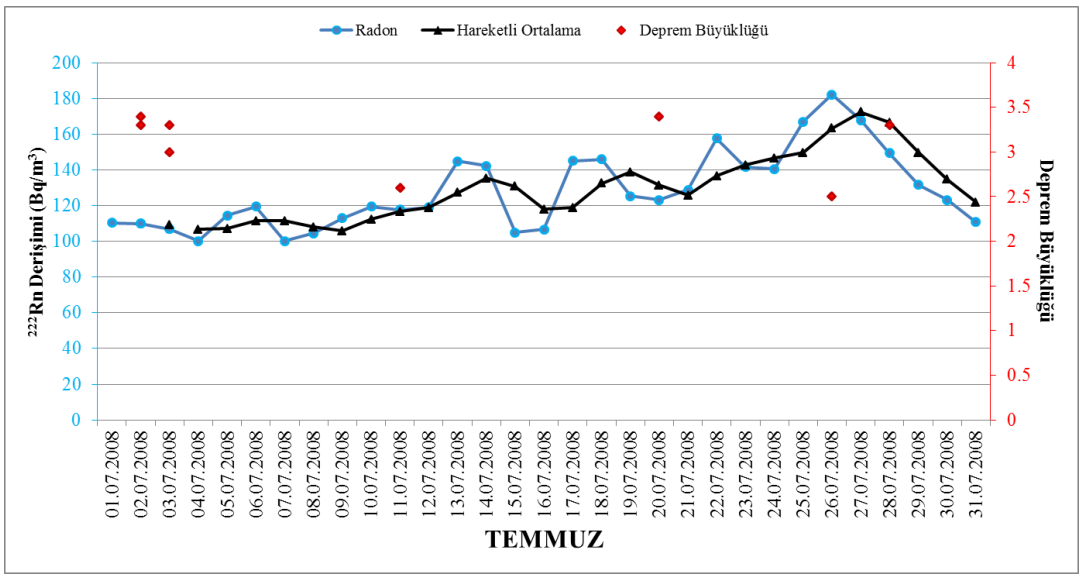
EK 5

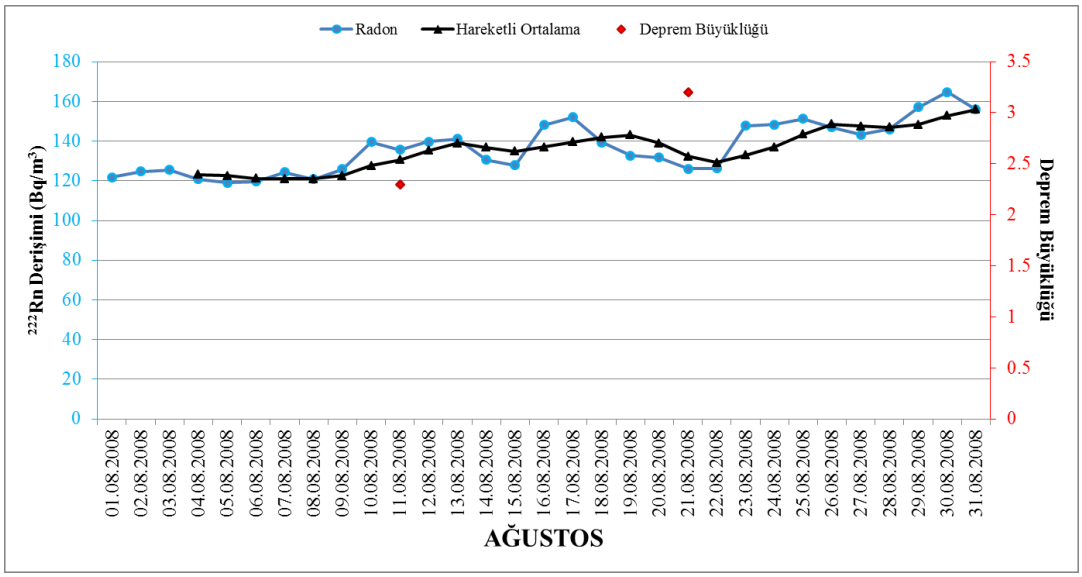
Helindir istasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



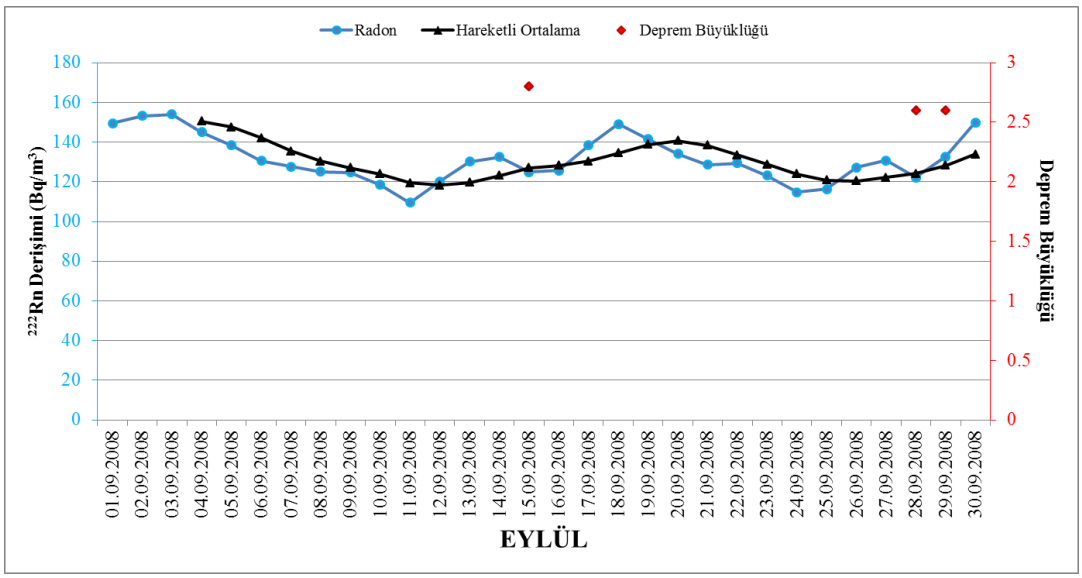
Ek 5 Şekil 1. Helindir istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

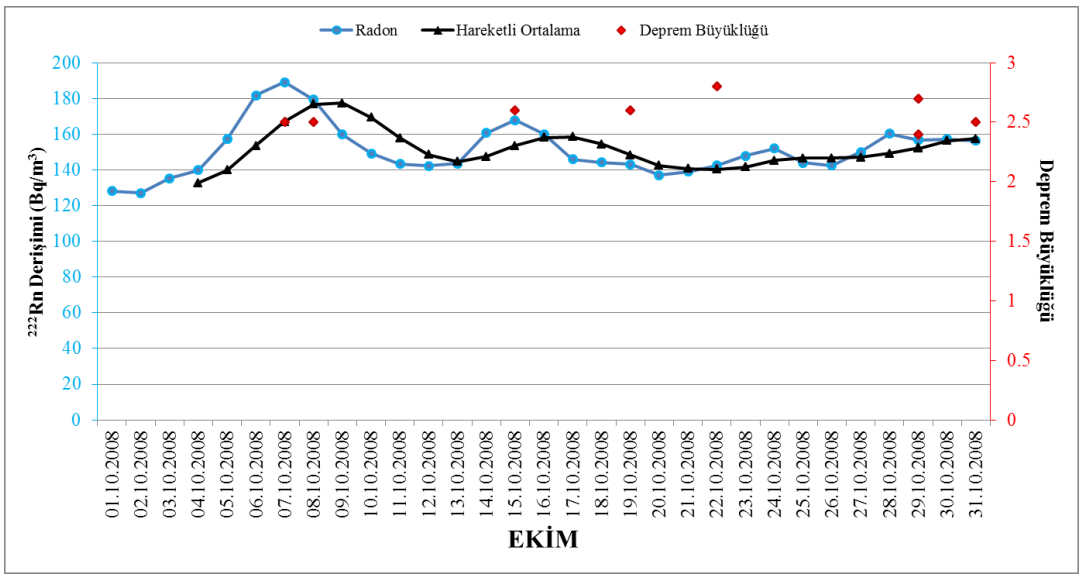


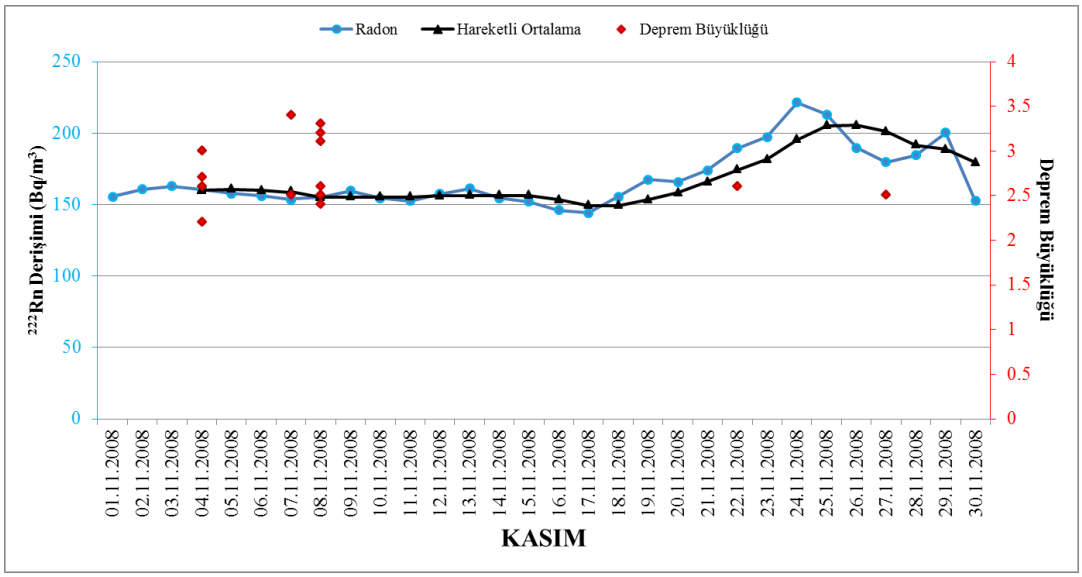




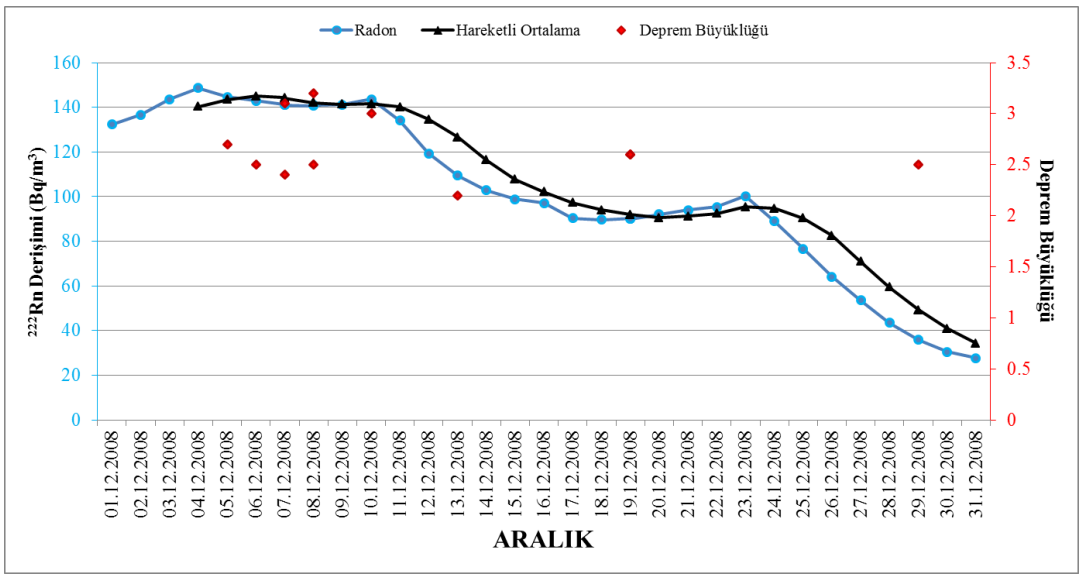
Ek 5 Şekil 2. Helindir istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

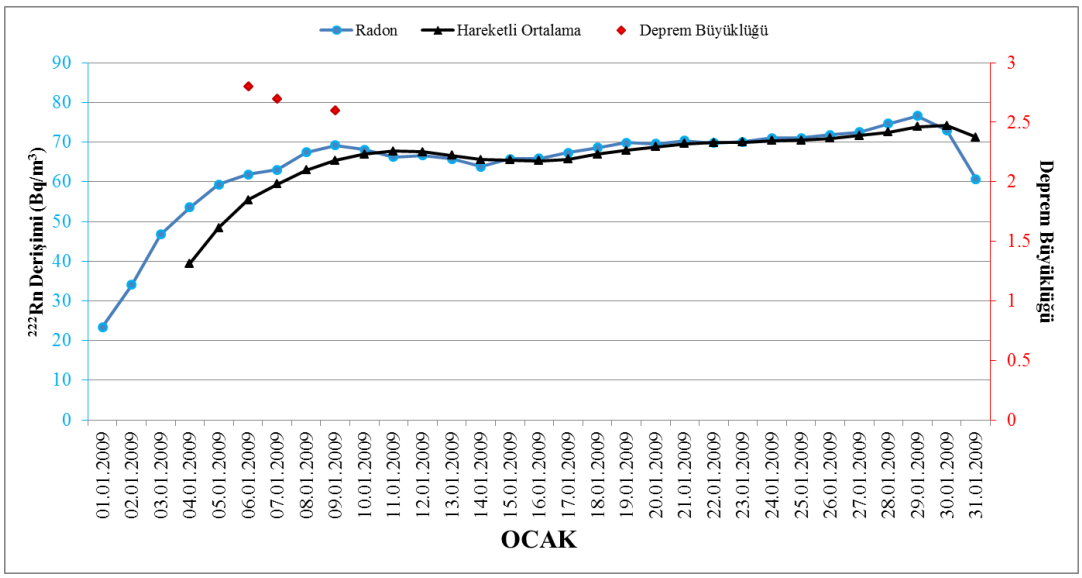


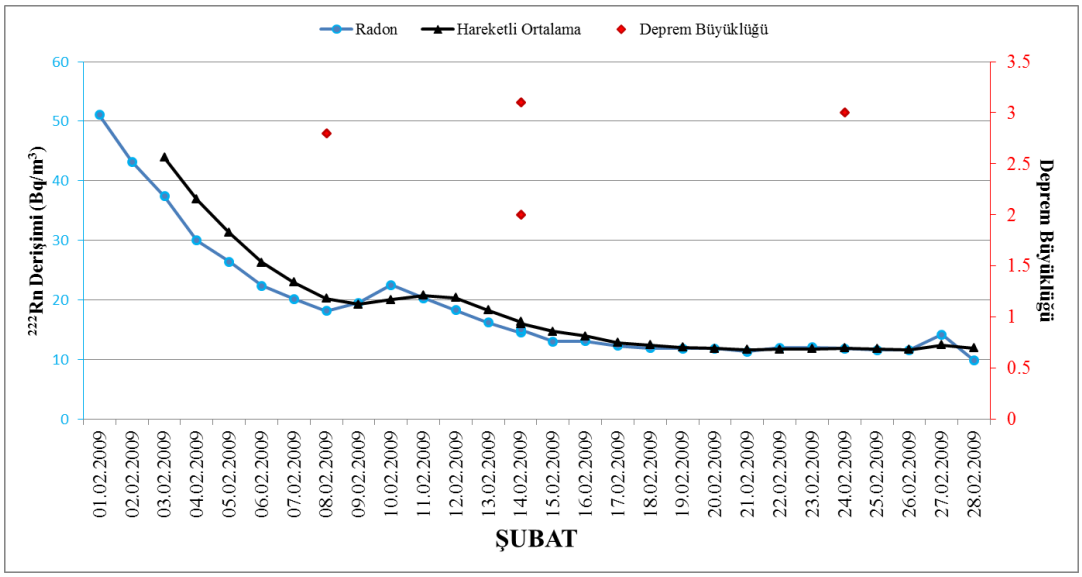




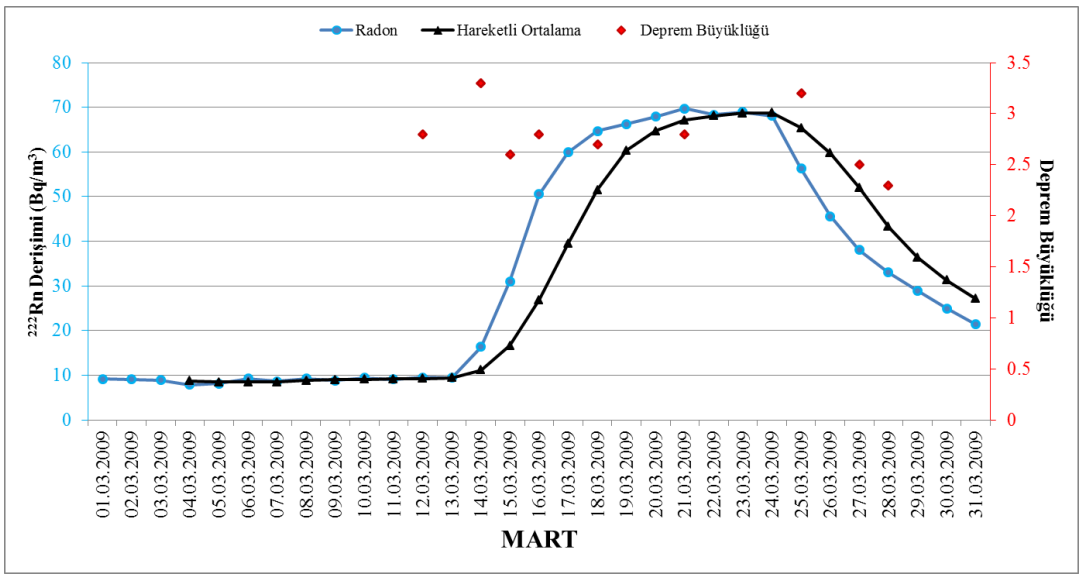
Ek 5 Şekil 3. Helindir istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

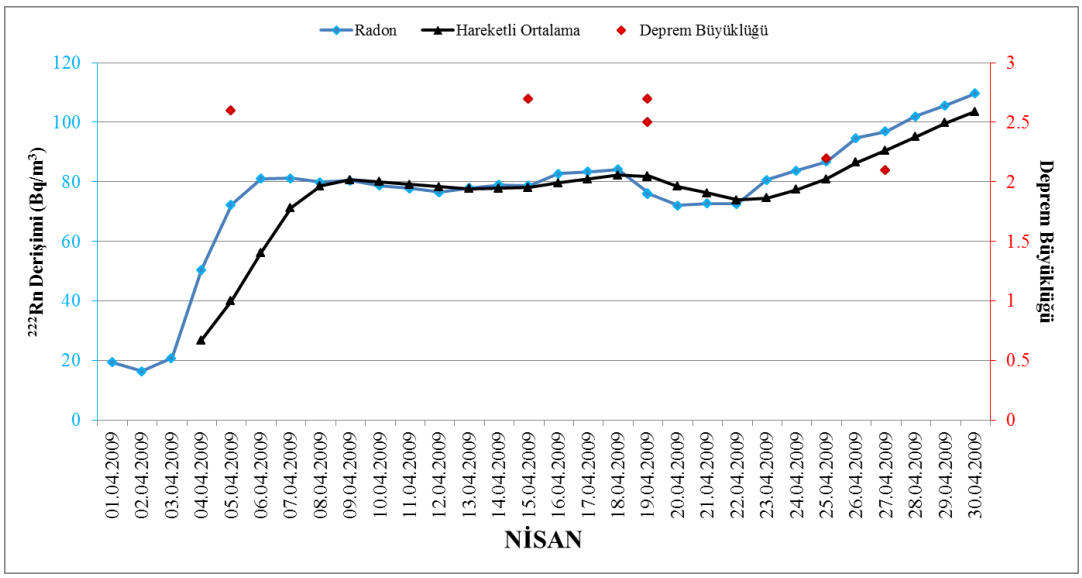


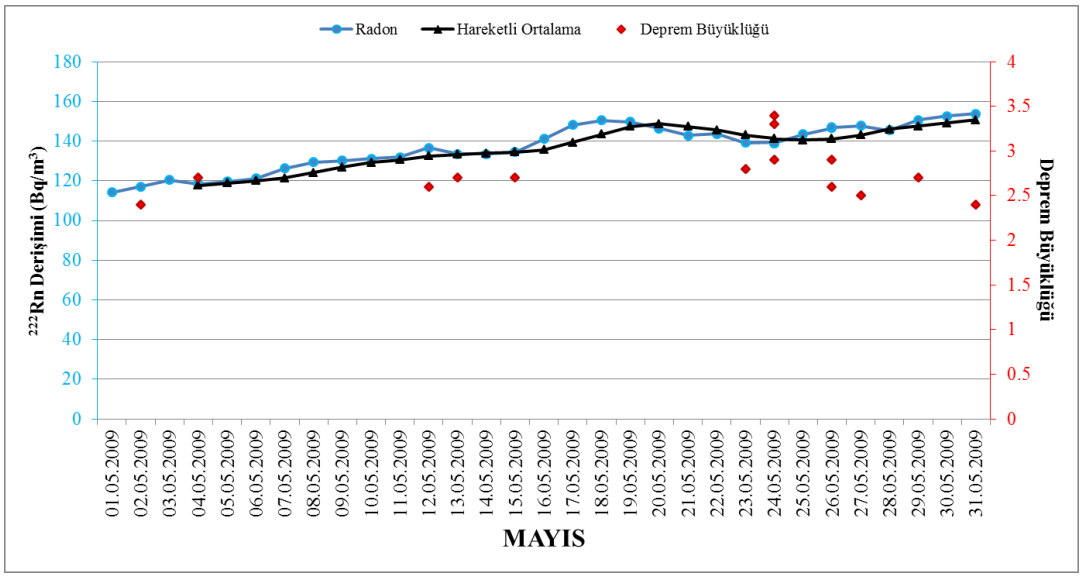




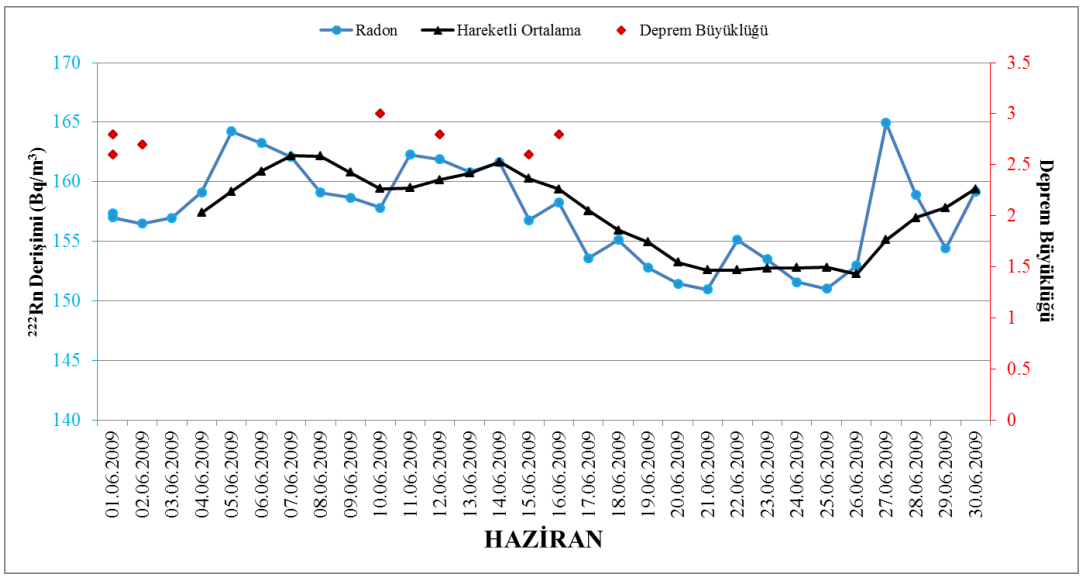
Ek 5 Şekil 4. Helindir istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

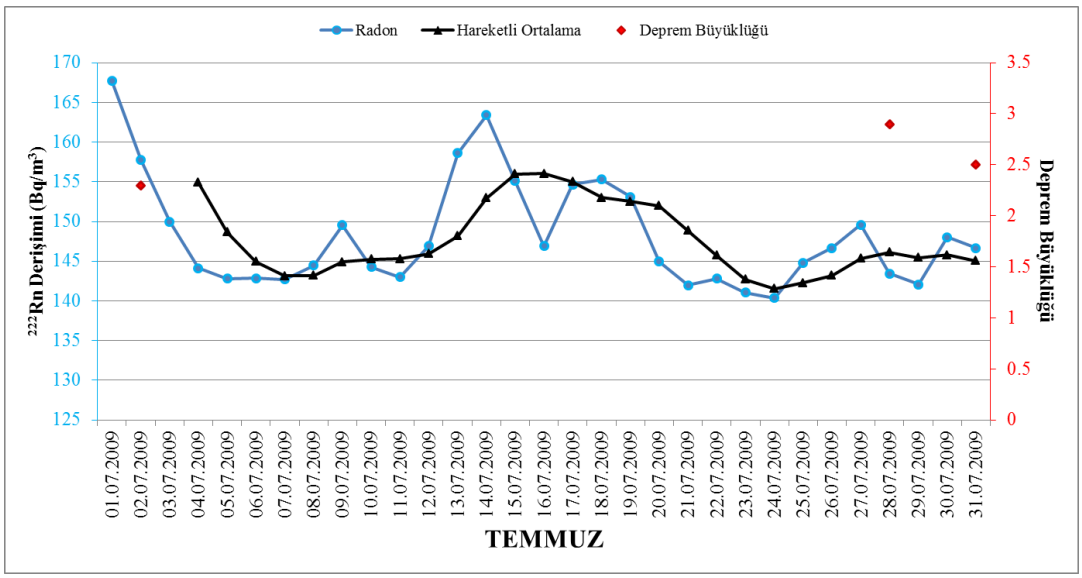


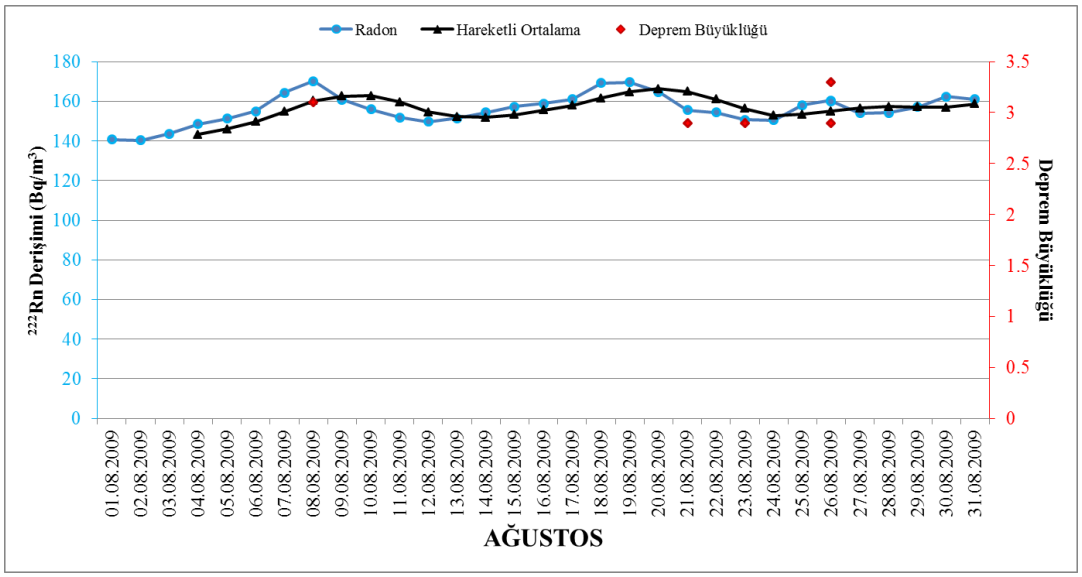




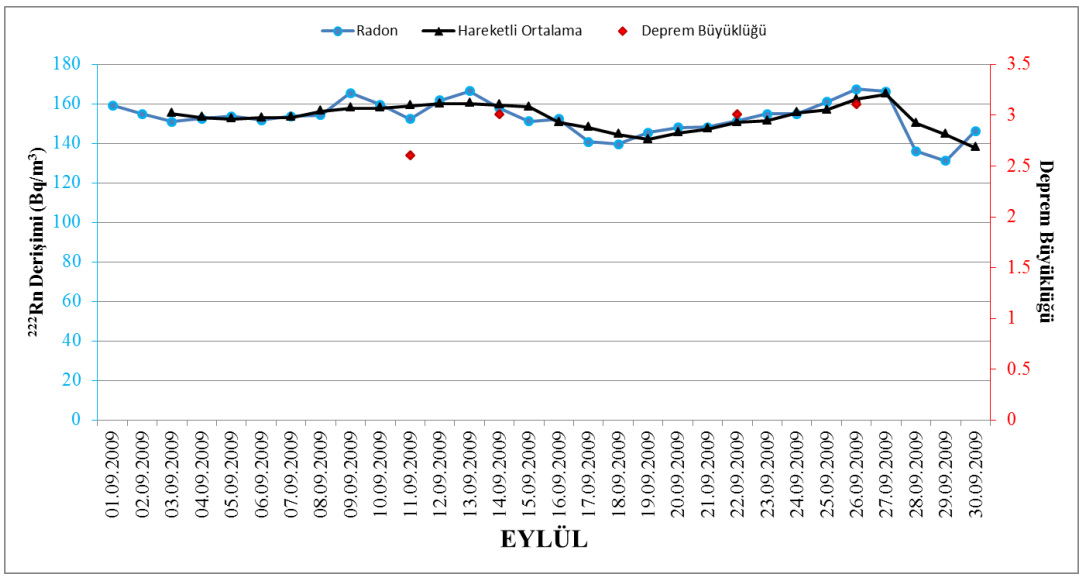
Ek 5 Şekil 5. Helindir istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

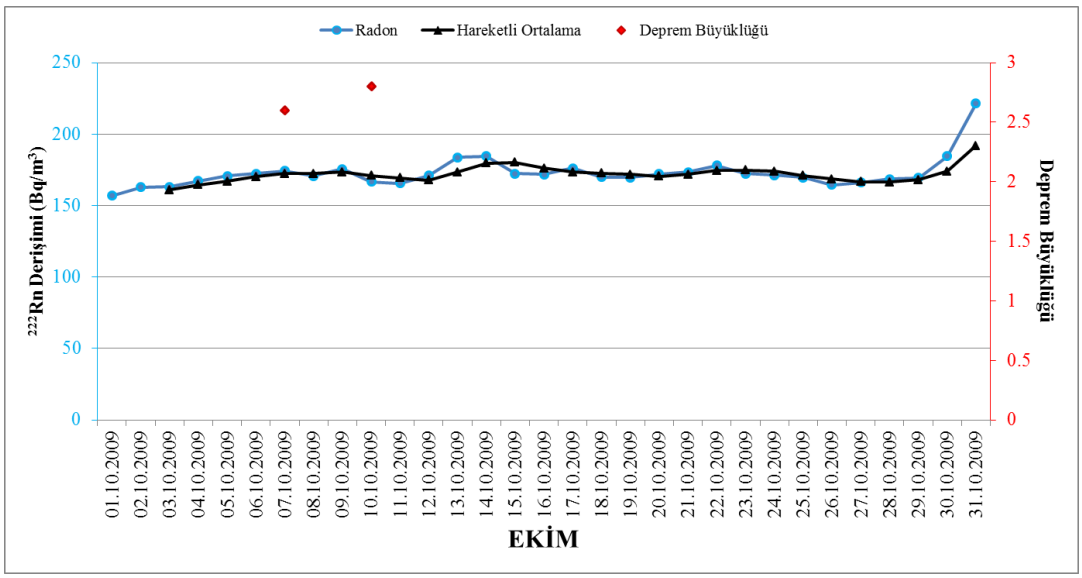


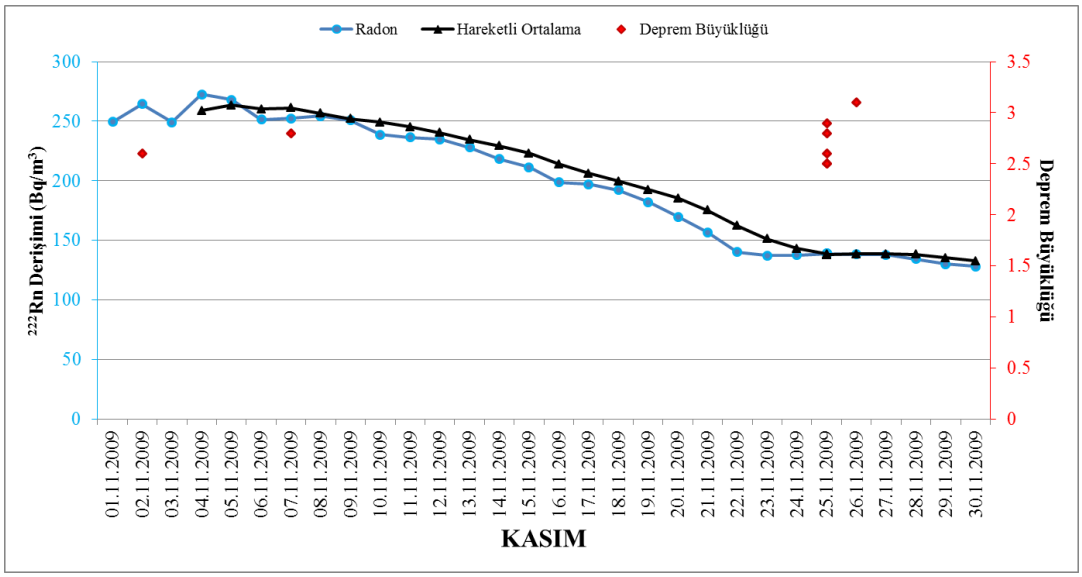




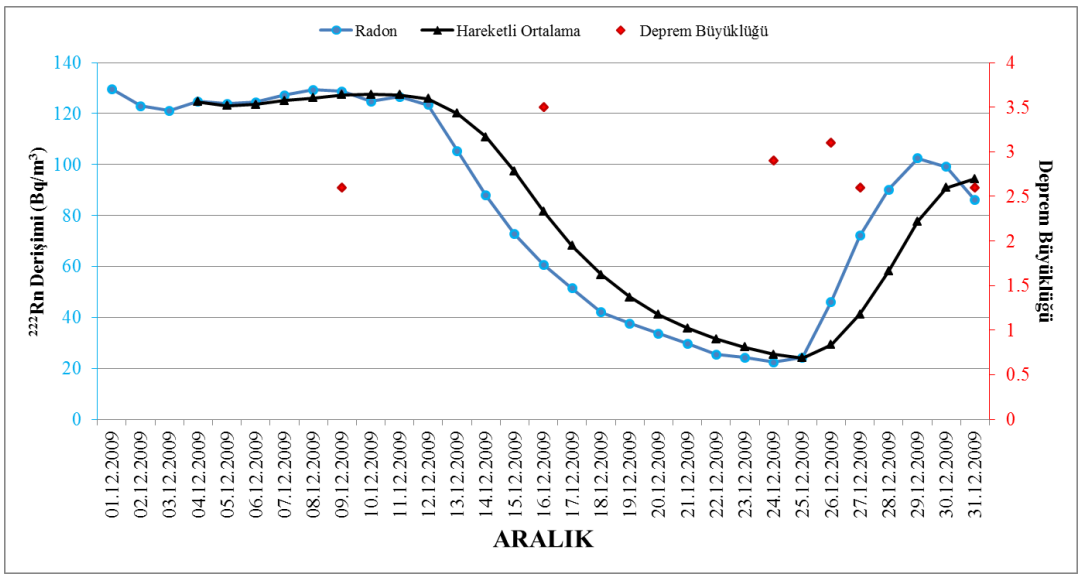
Ek 5 Şekil 6. Helindir istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

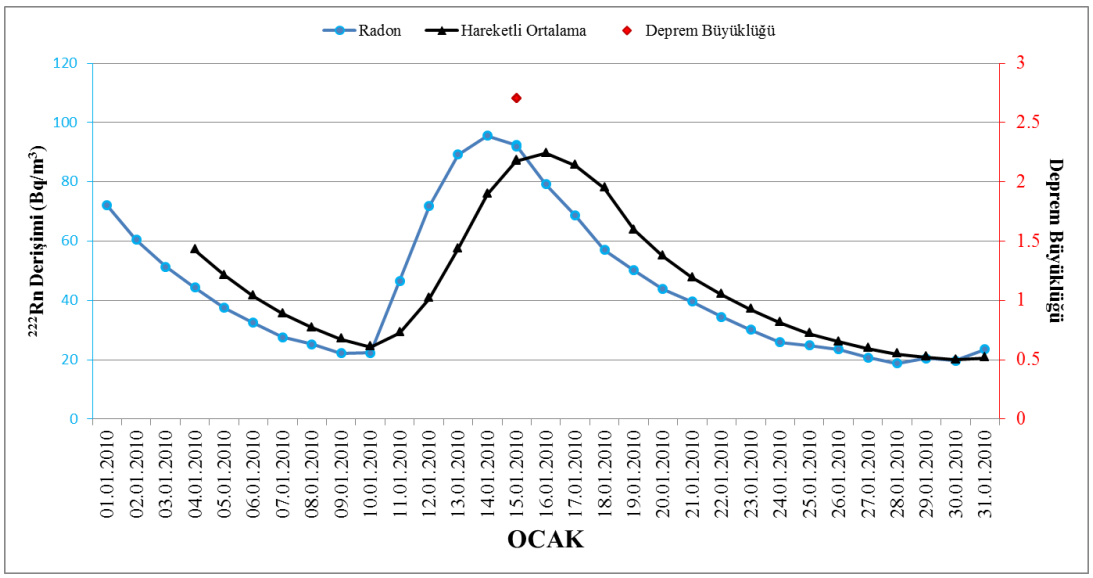


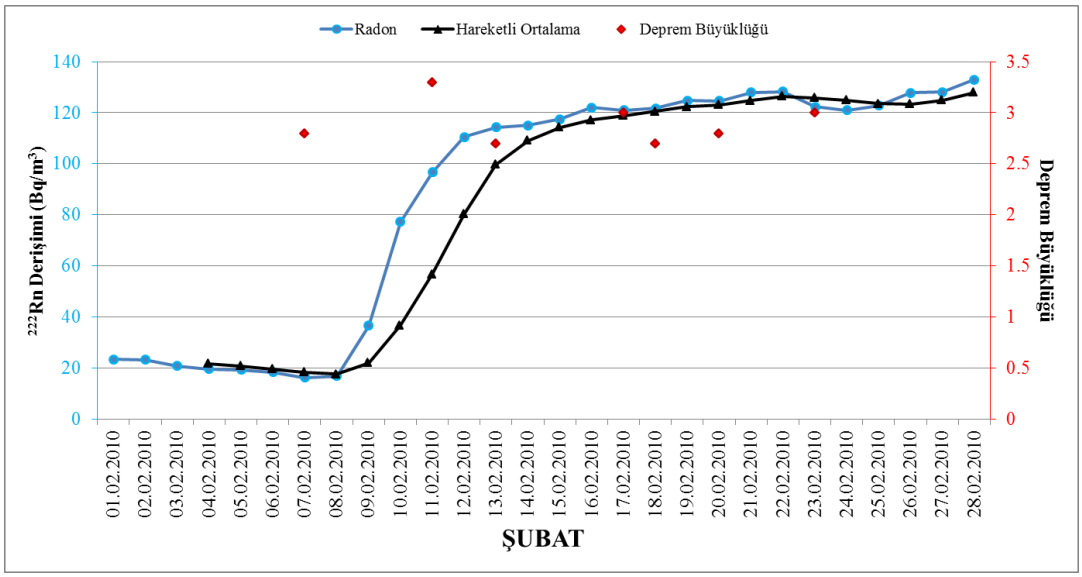




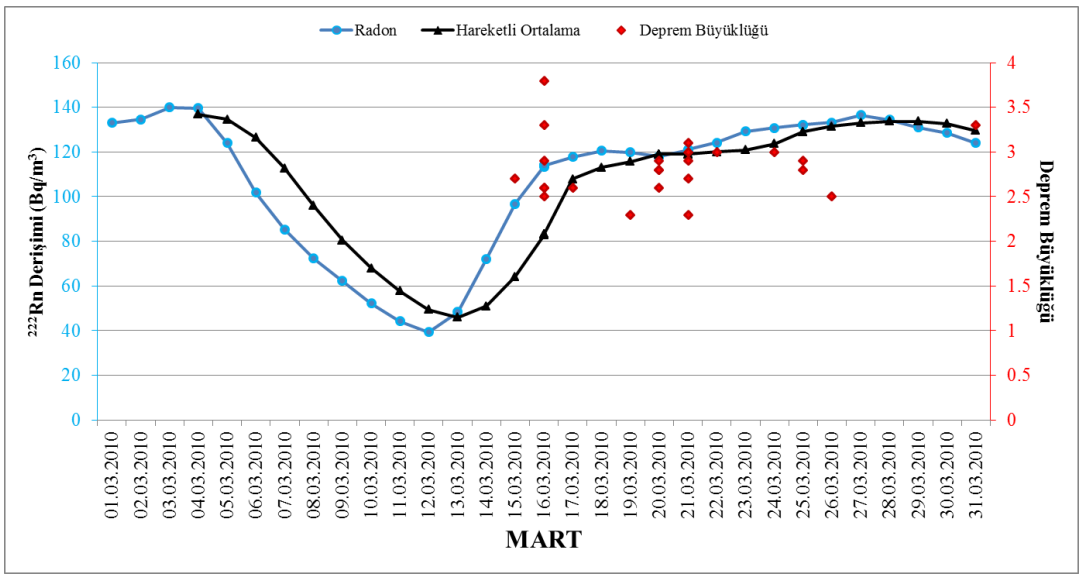
Ek 5 Şekil 7. Helindir istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

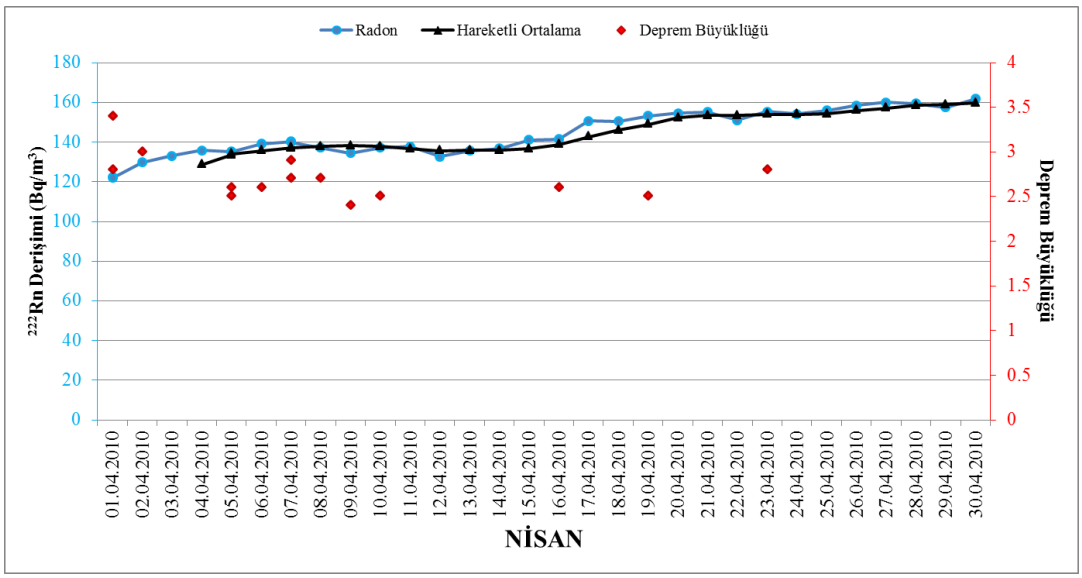


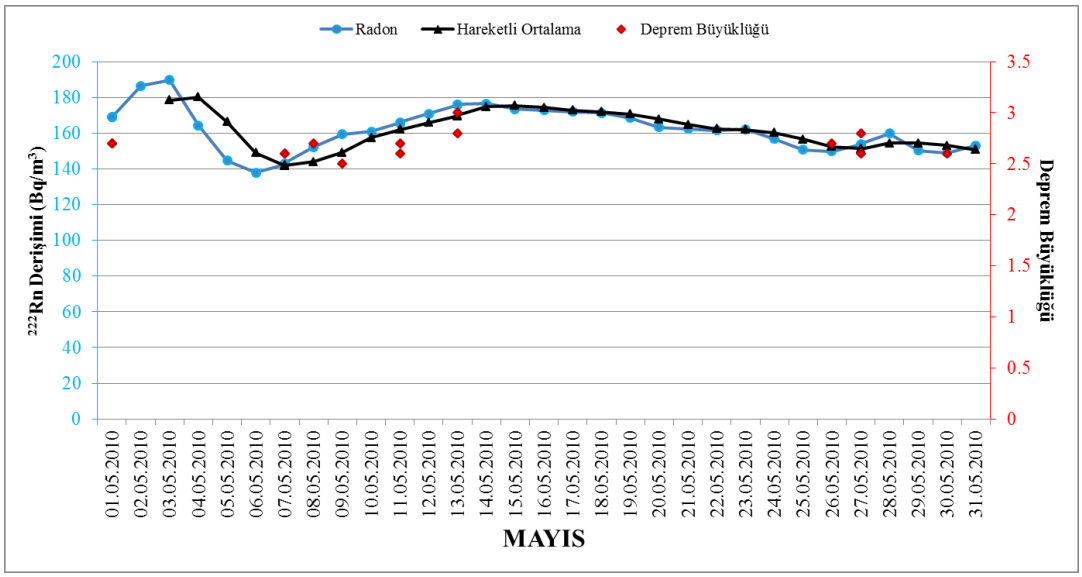




Ek 5 Şekil 8. Helindir istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



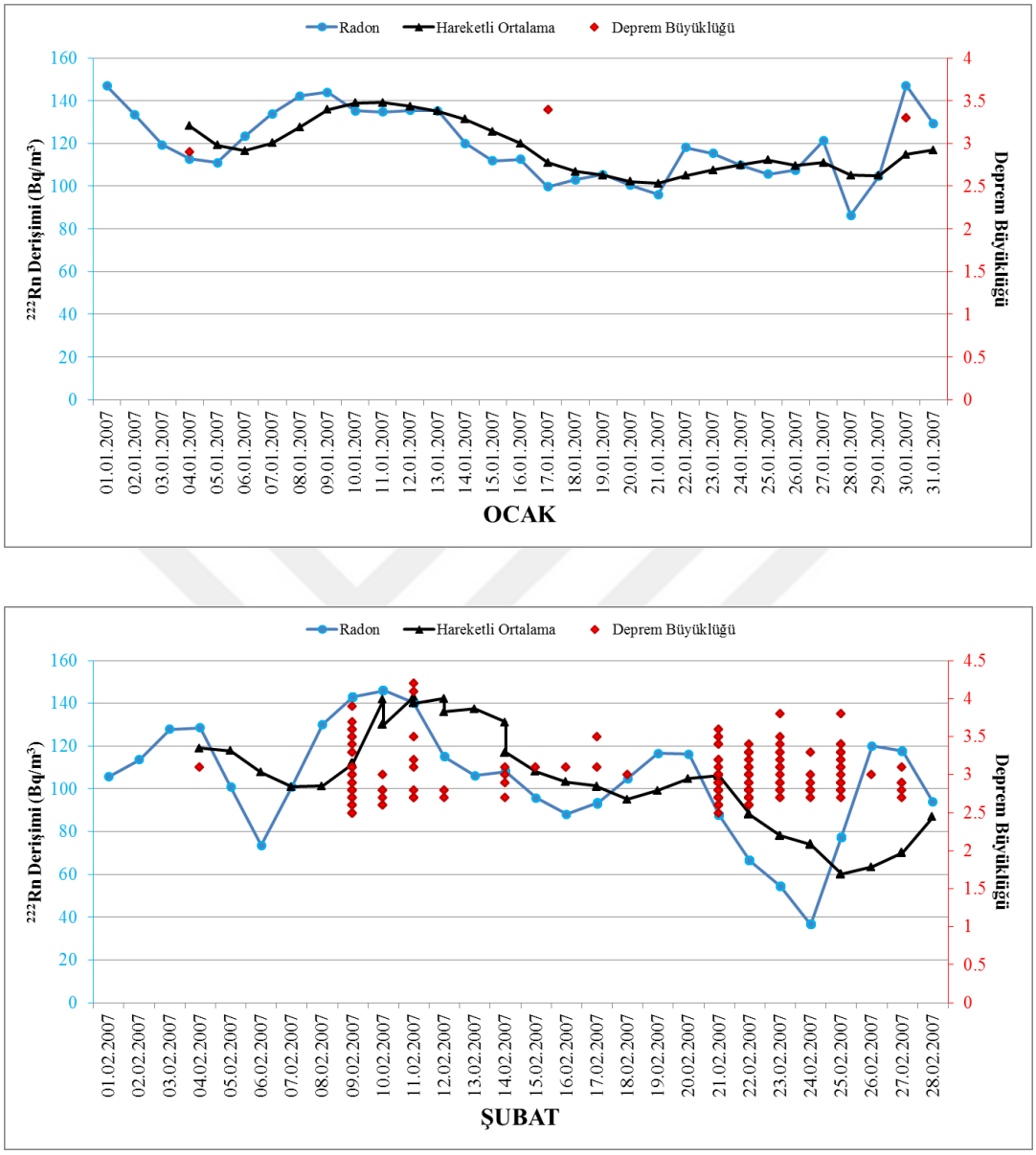




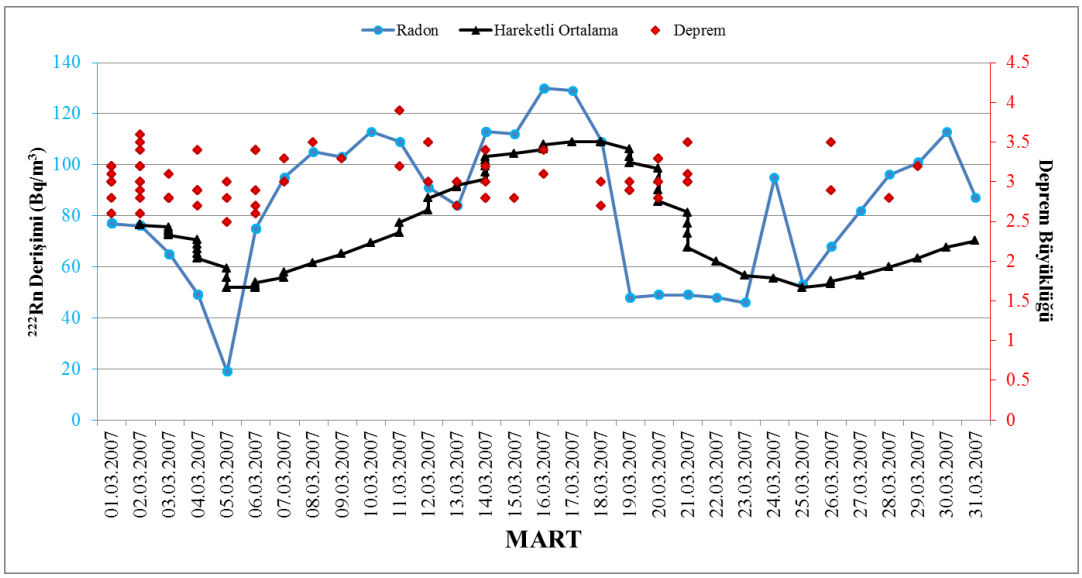
Ek 5 Şekil 9. Helindir istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

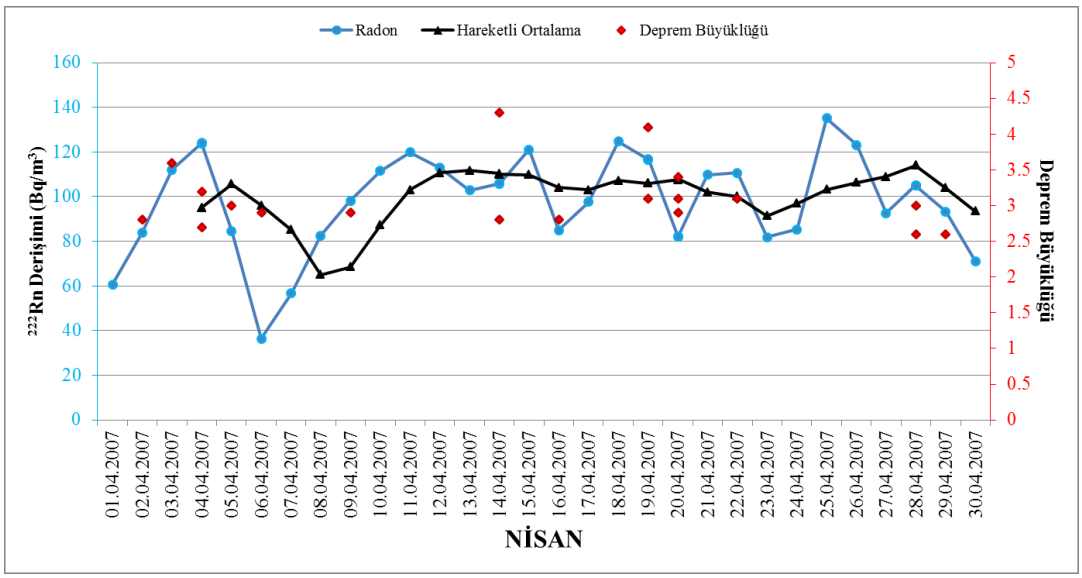
EK 6

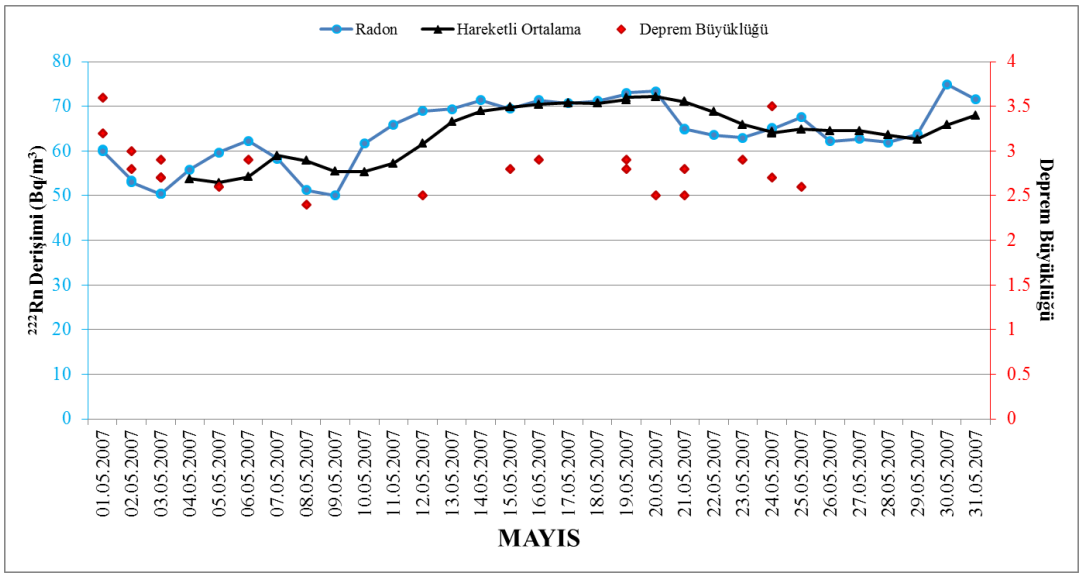
Kösebayır istasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



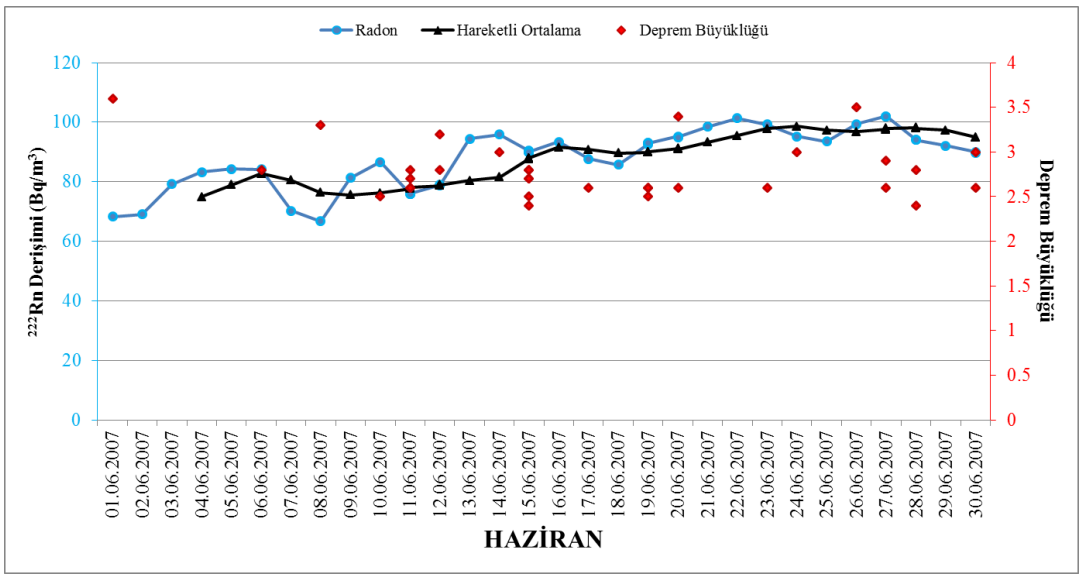
Ek 6 Şekil 1. Kösebayır istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

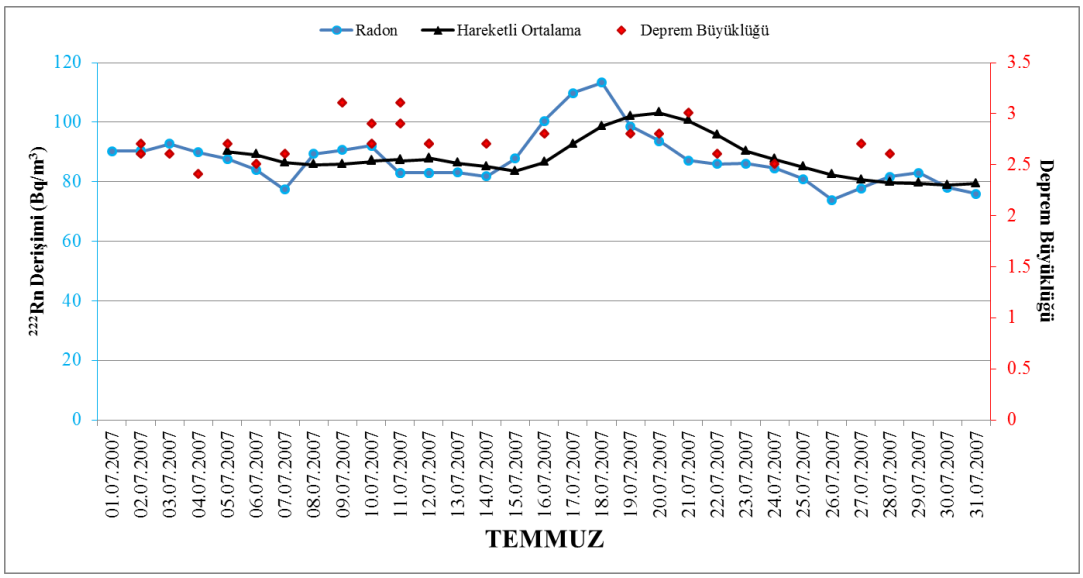


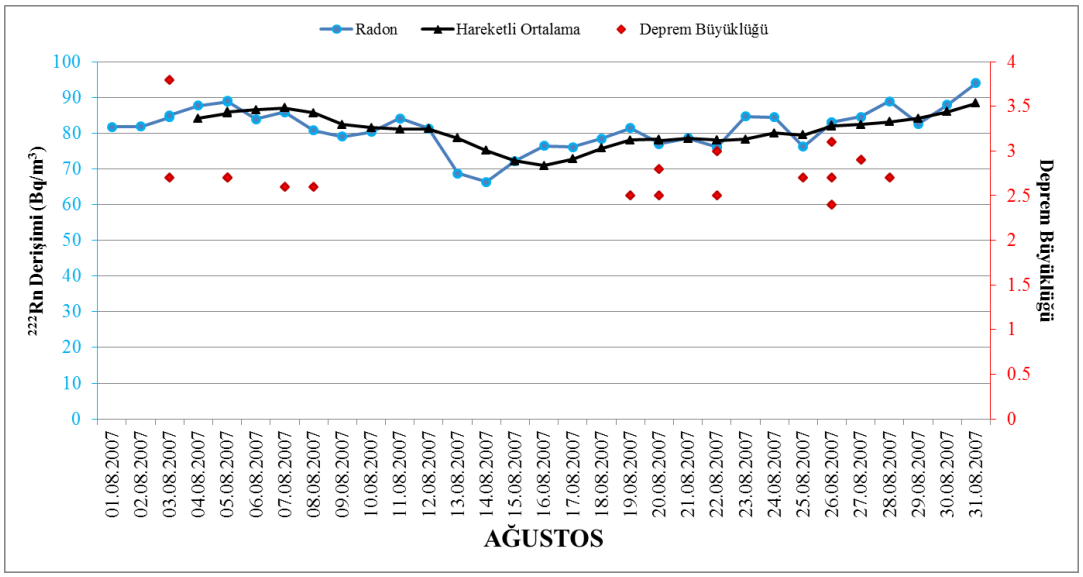




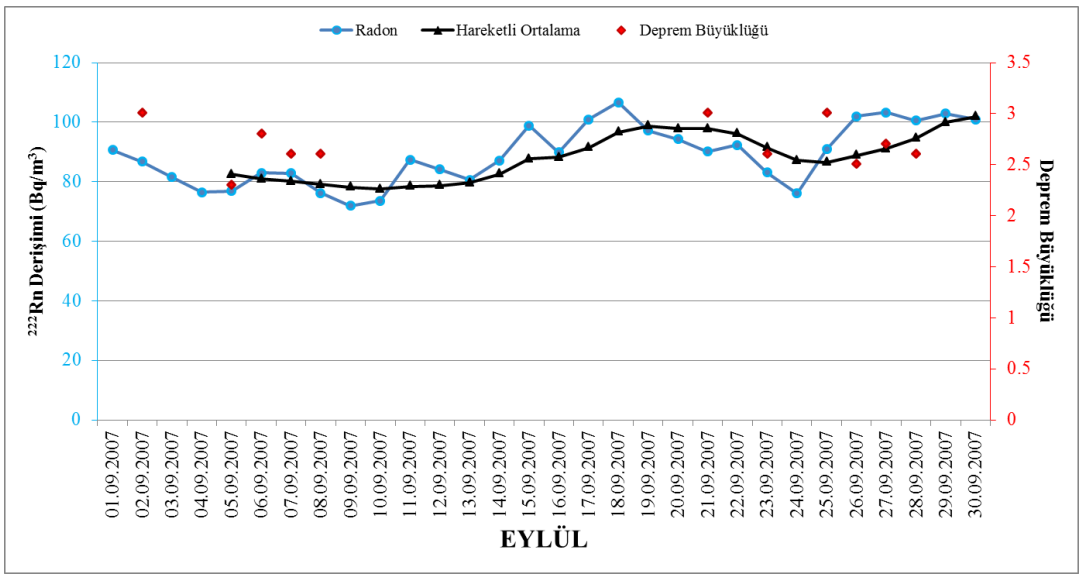
Ek 6 Şekil 2. Kösebayır istasyonu 2007 yılı bahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

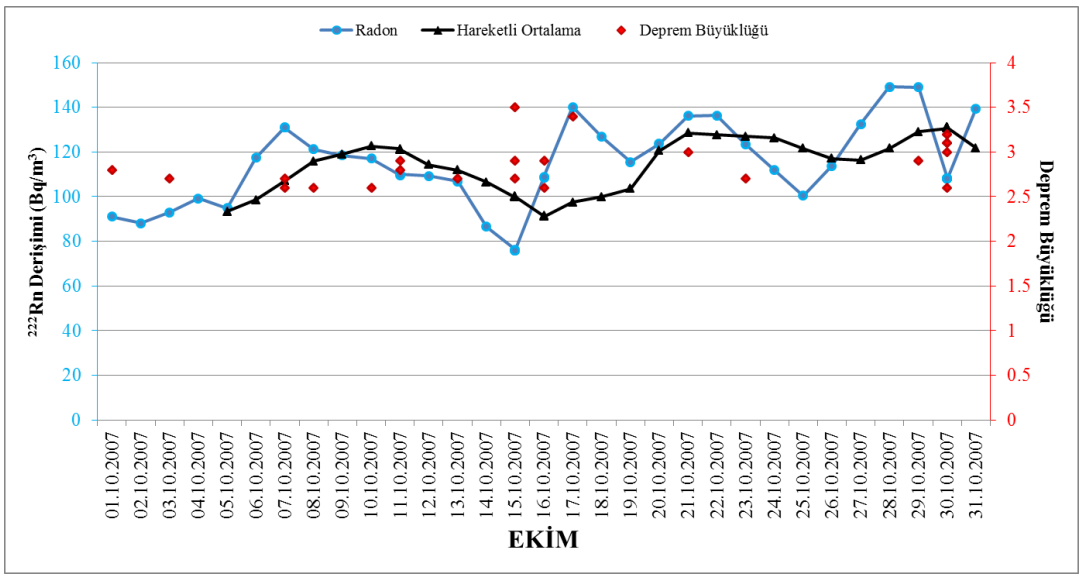


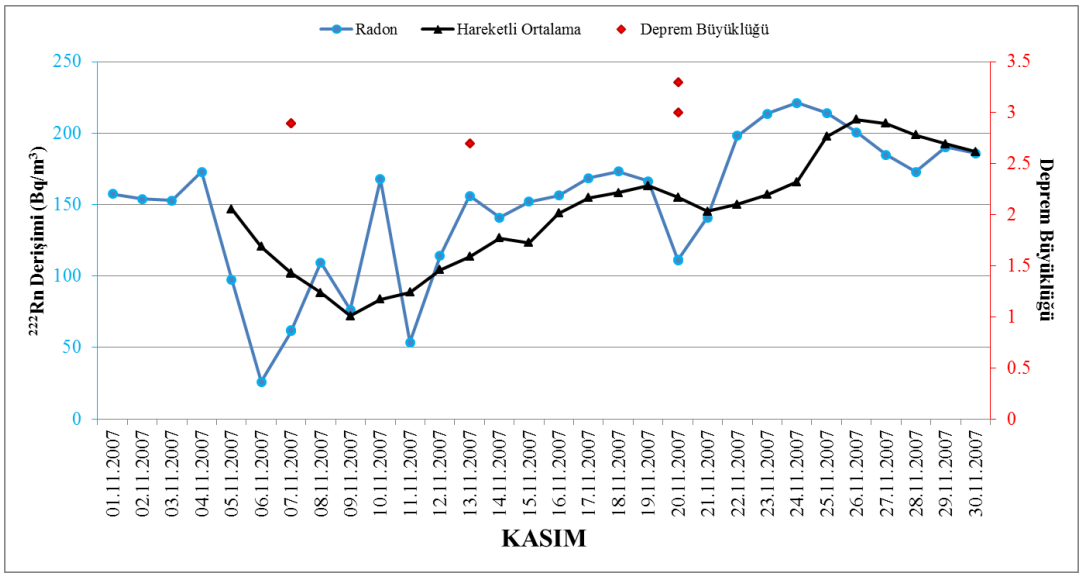




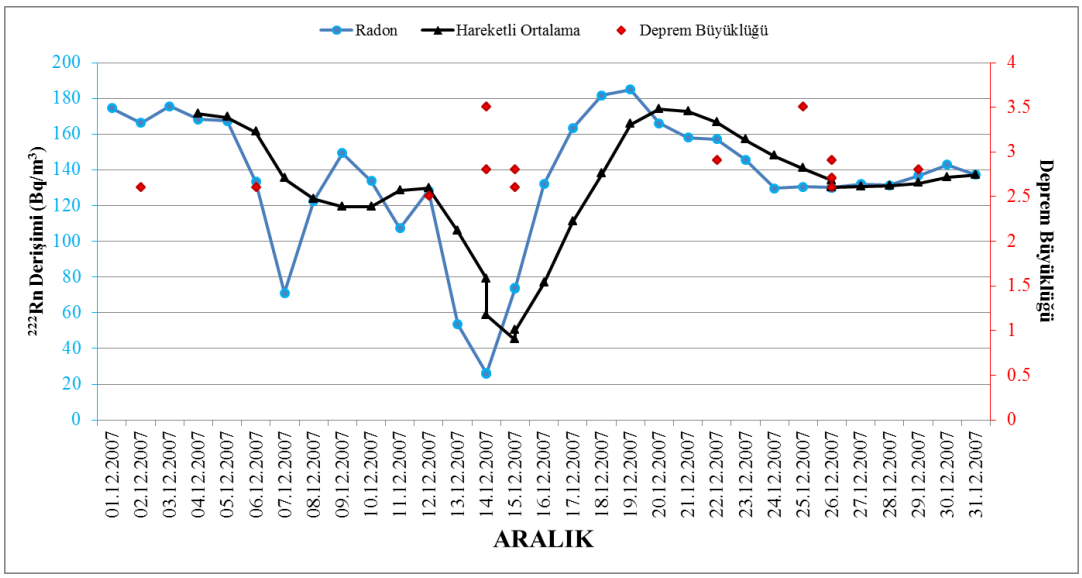
Ek 6 Şekil 3. Kösebayır istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

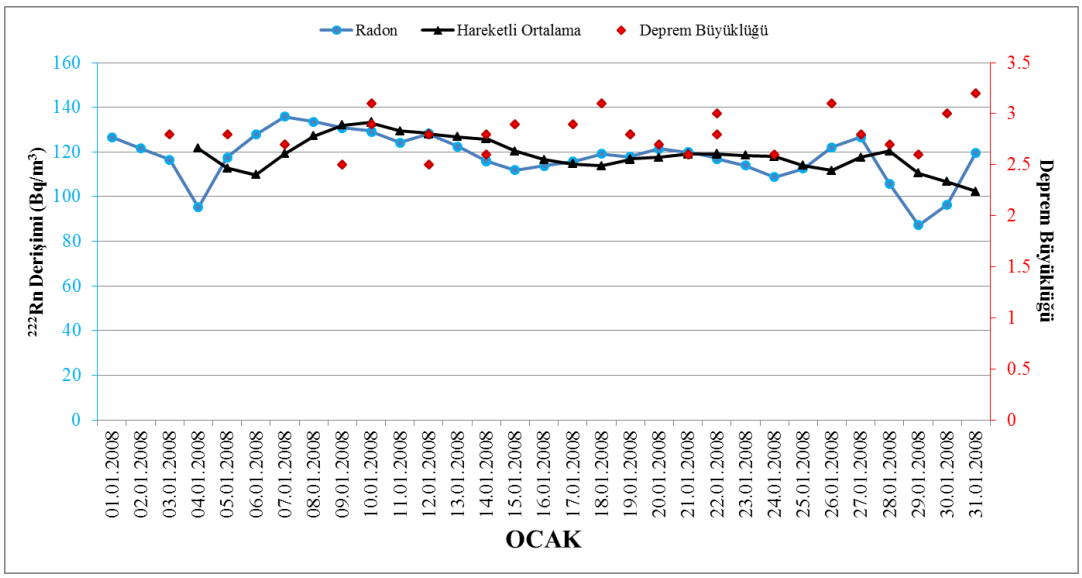


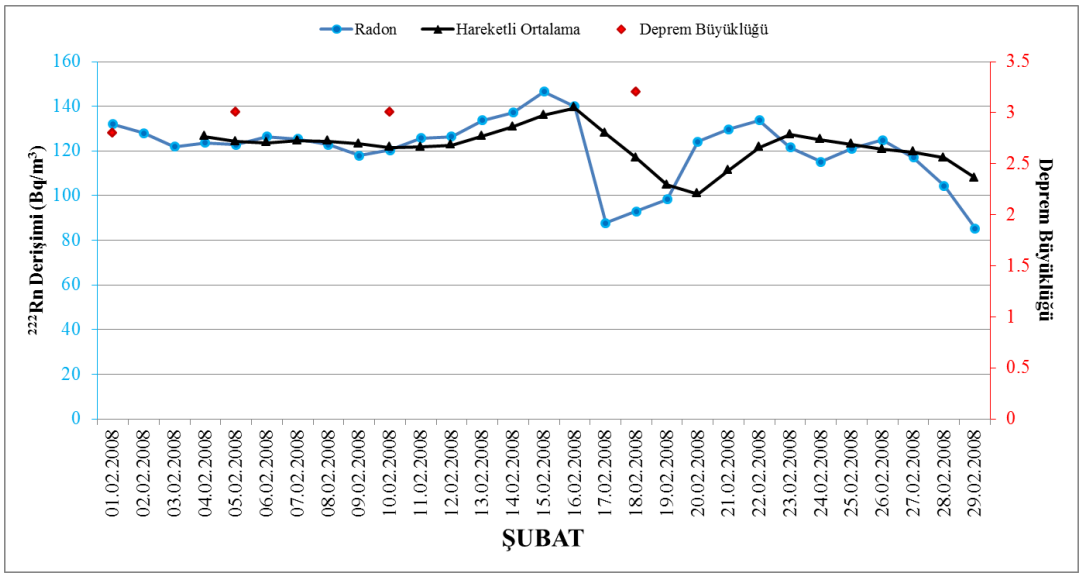




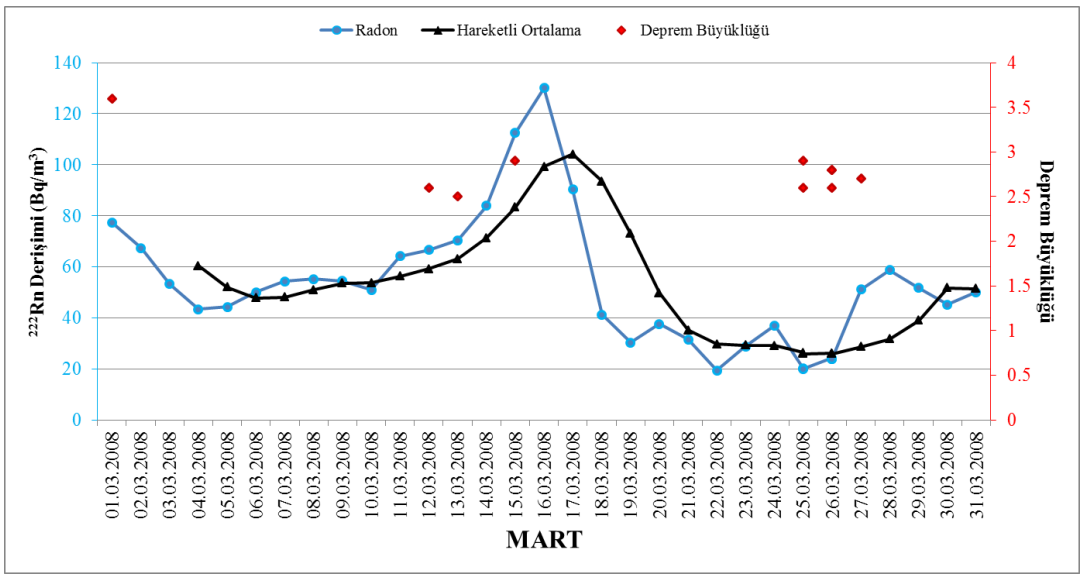
Ek 6 Şekil 4. Kösebayır istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

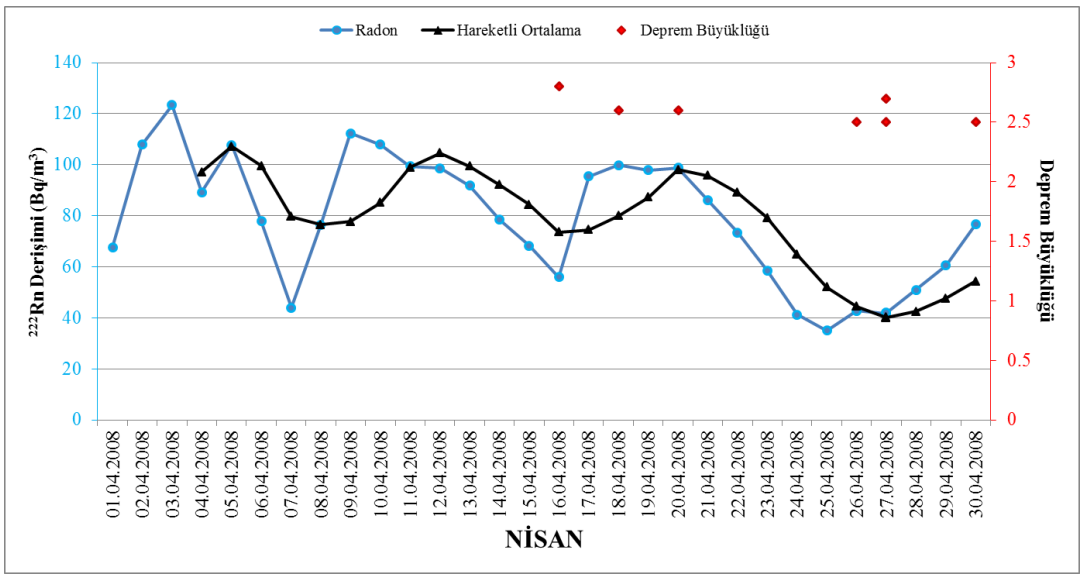


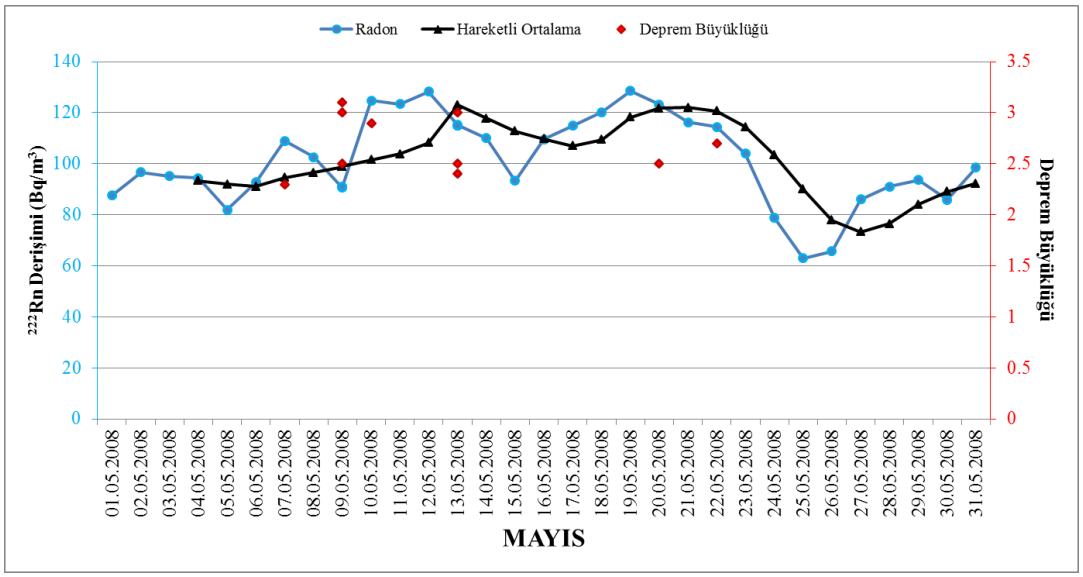




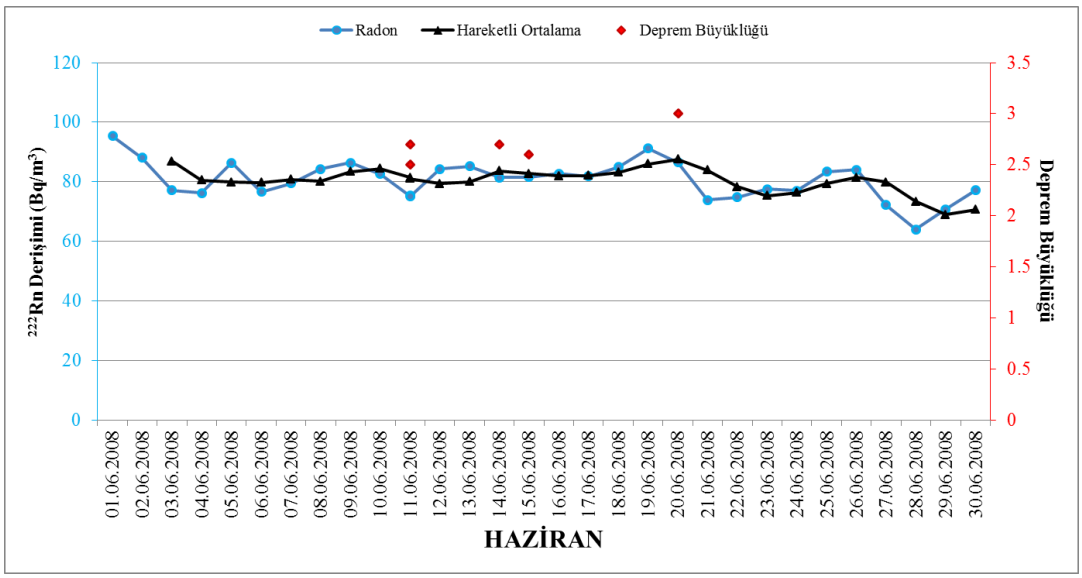
Ek 6 Şekil 5. Kösebayır istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

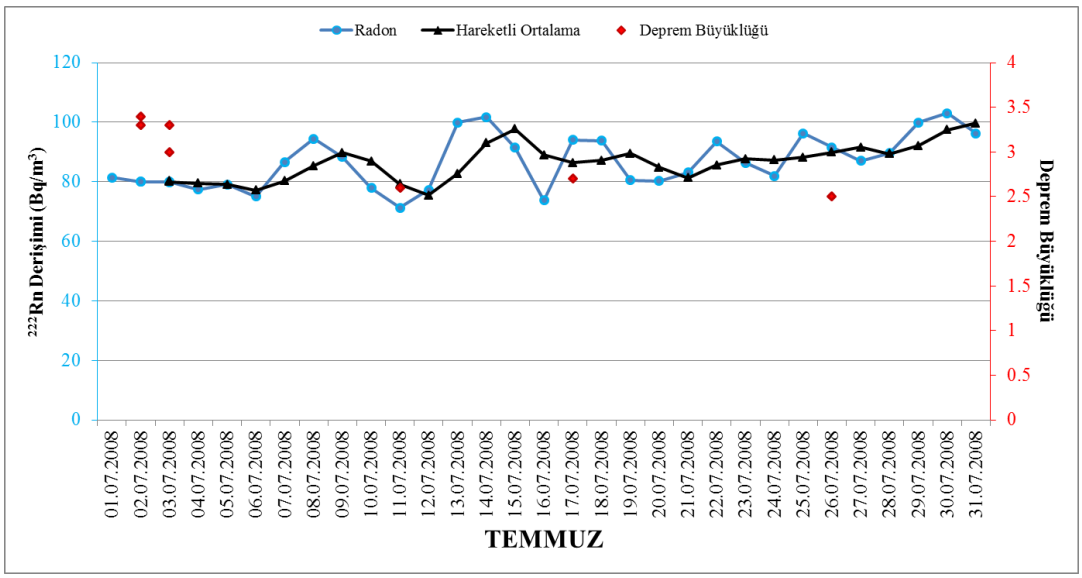


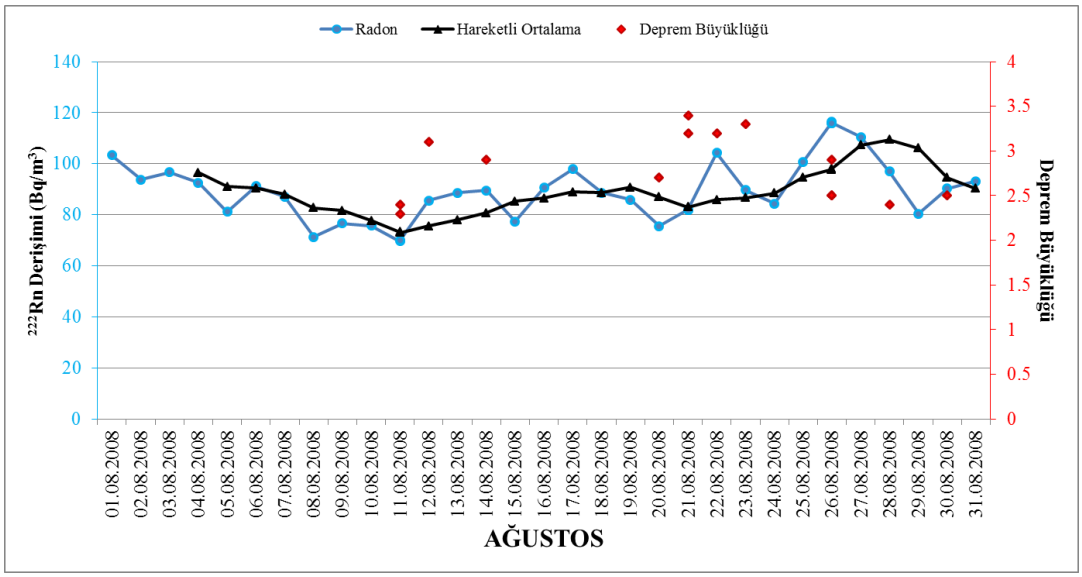




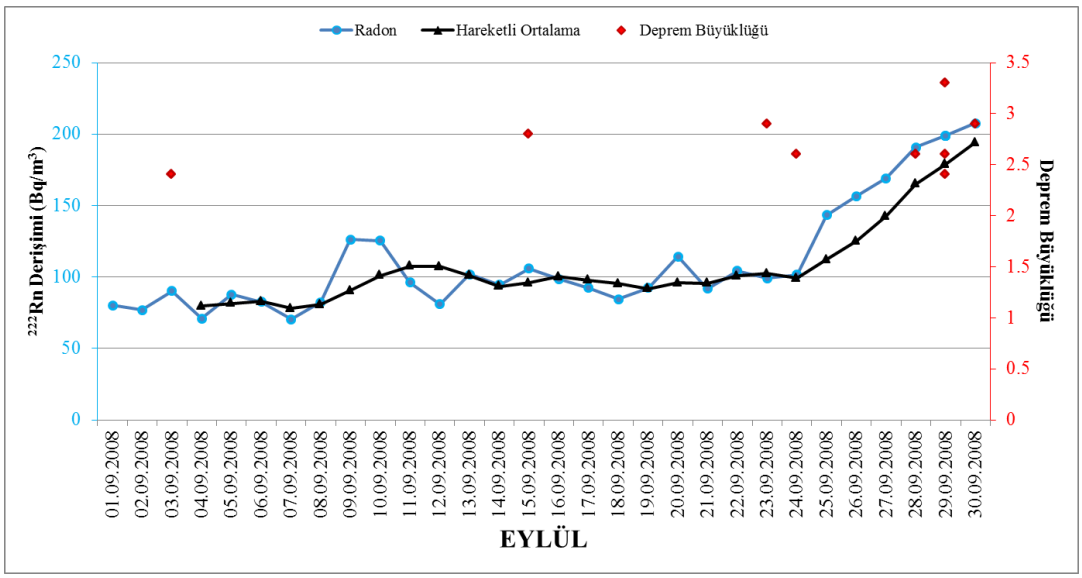
Ek 6 Şekil 6. Kösebayır istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

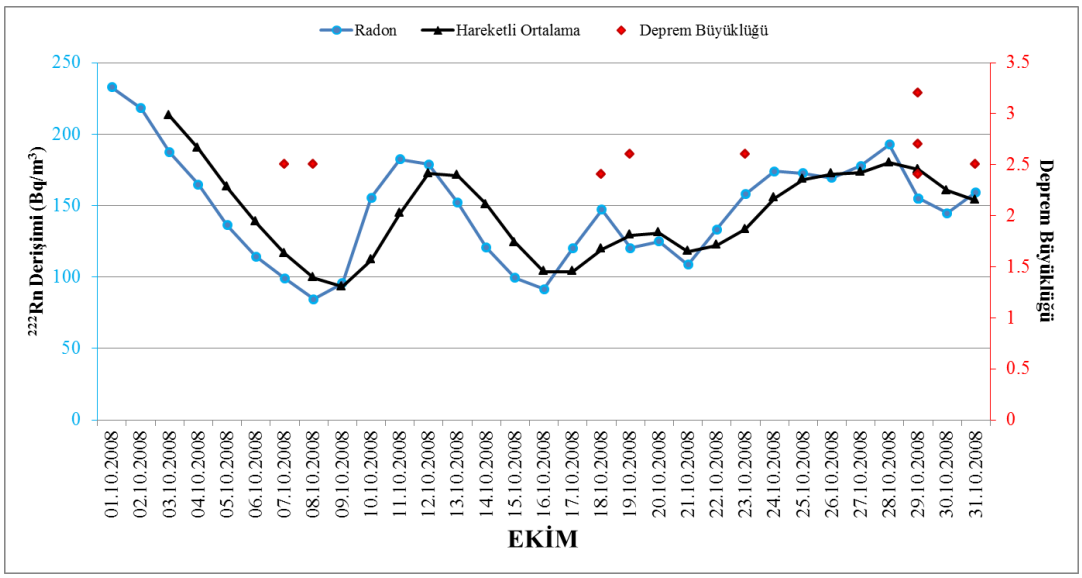


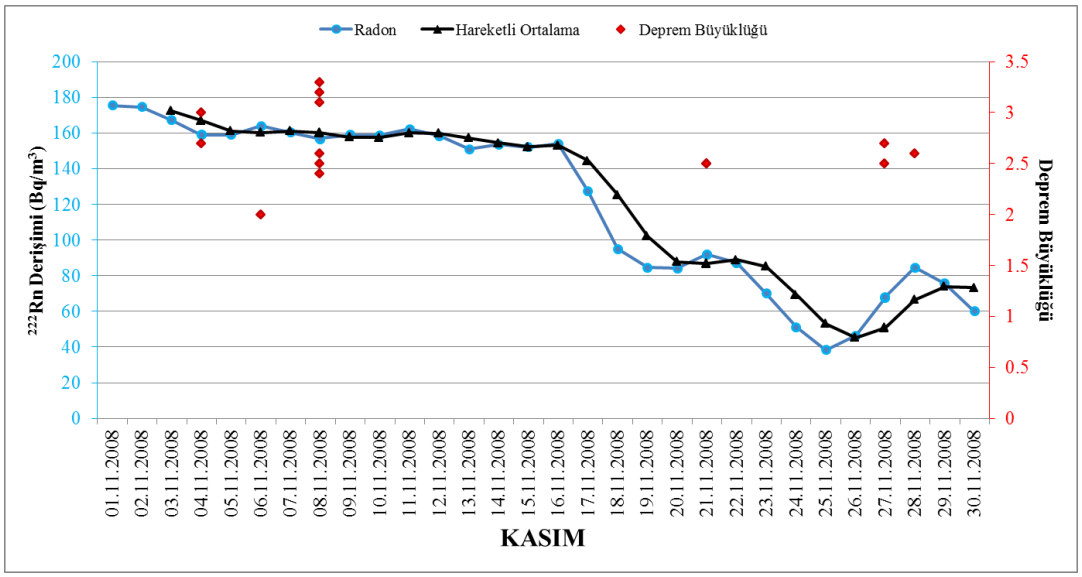




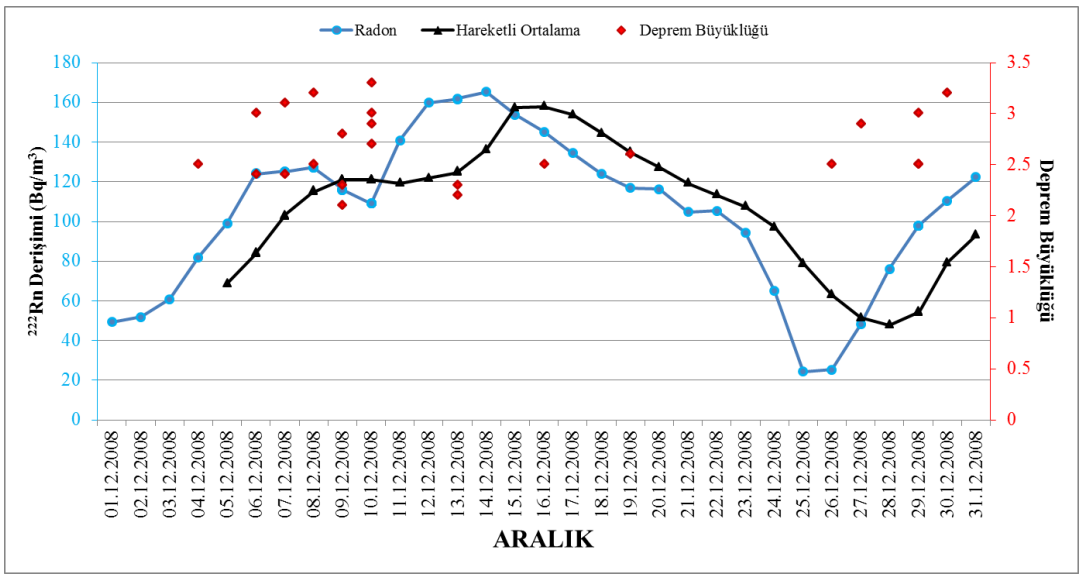
Ek 6 Şekil 7. Kösebayır istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

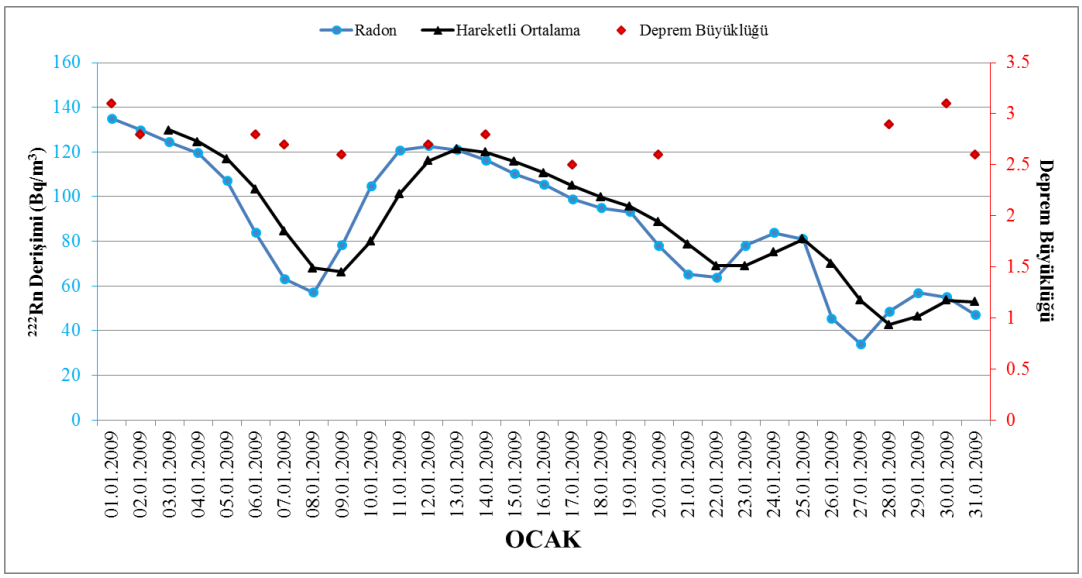


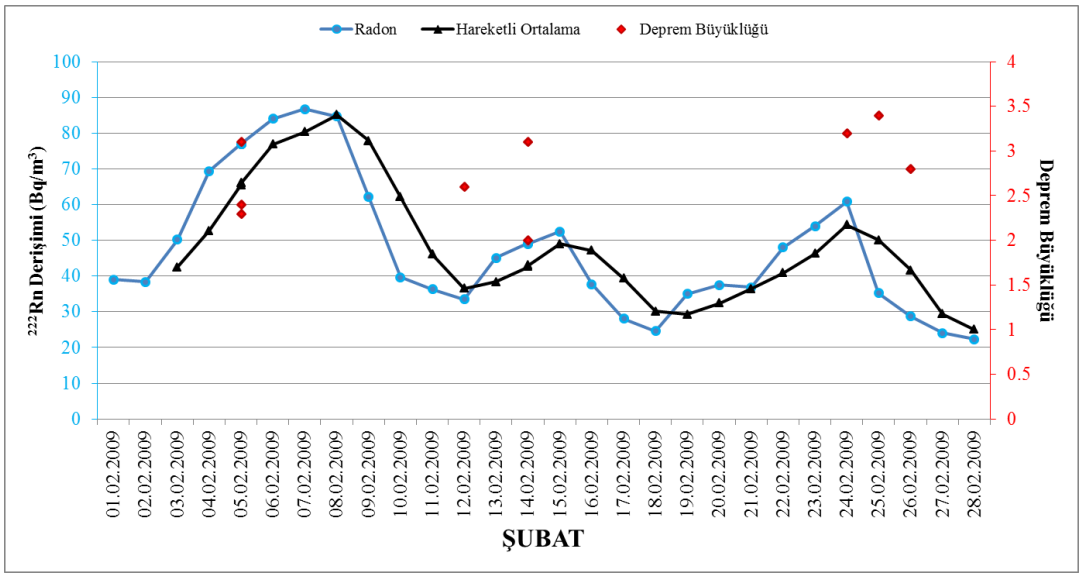




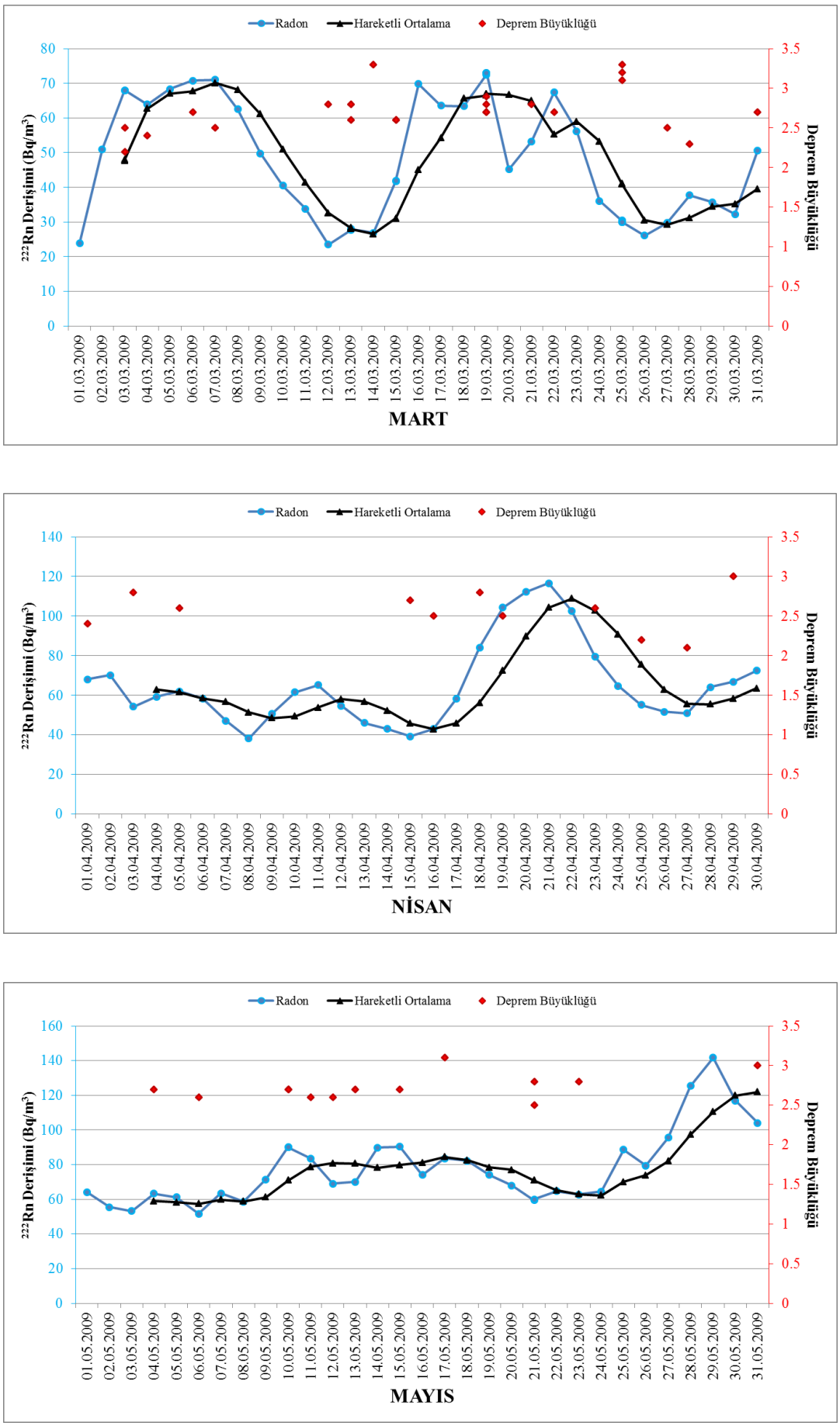
Ek 6 Şekil 8. Kösebayır istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



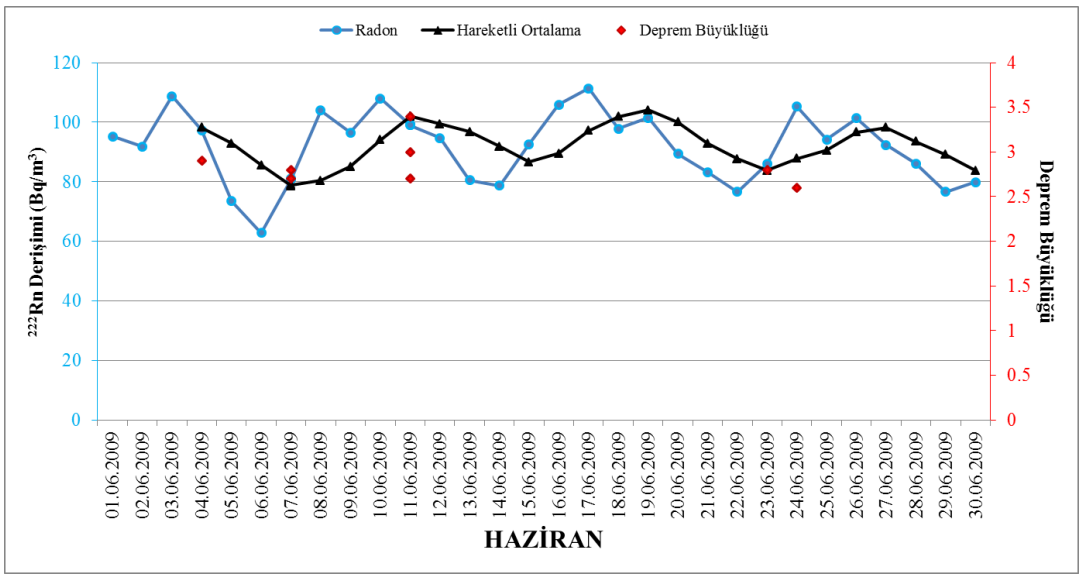


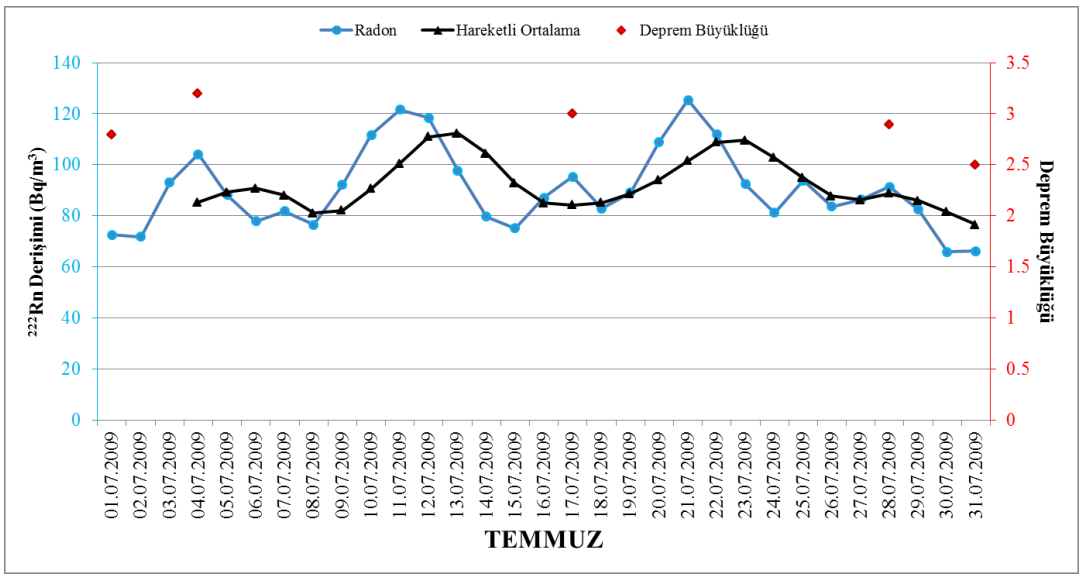


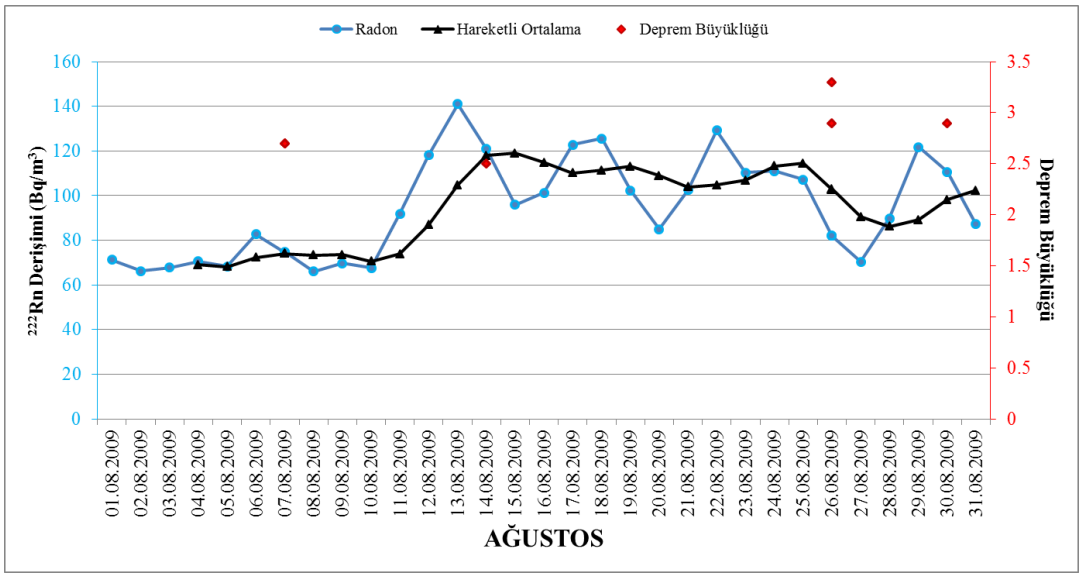
Ek 6 Şekil 9. Kösebayır istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



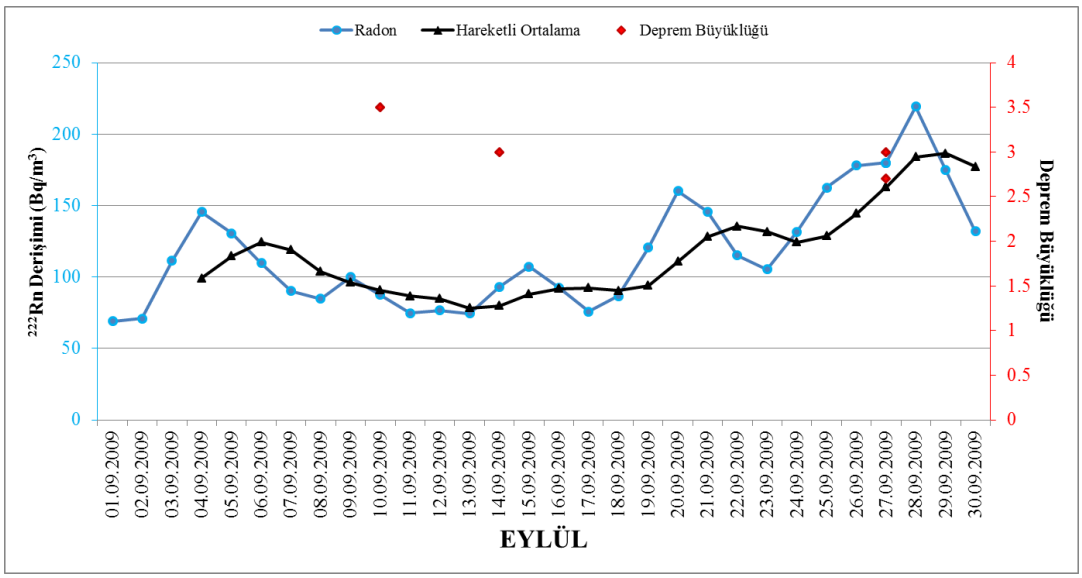
Ek 6 Şekil 10. Kösebayır istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

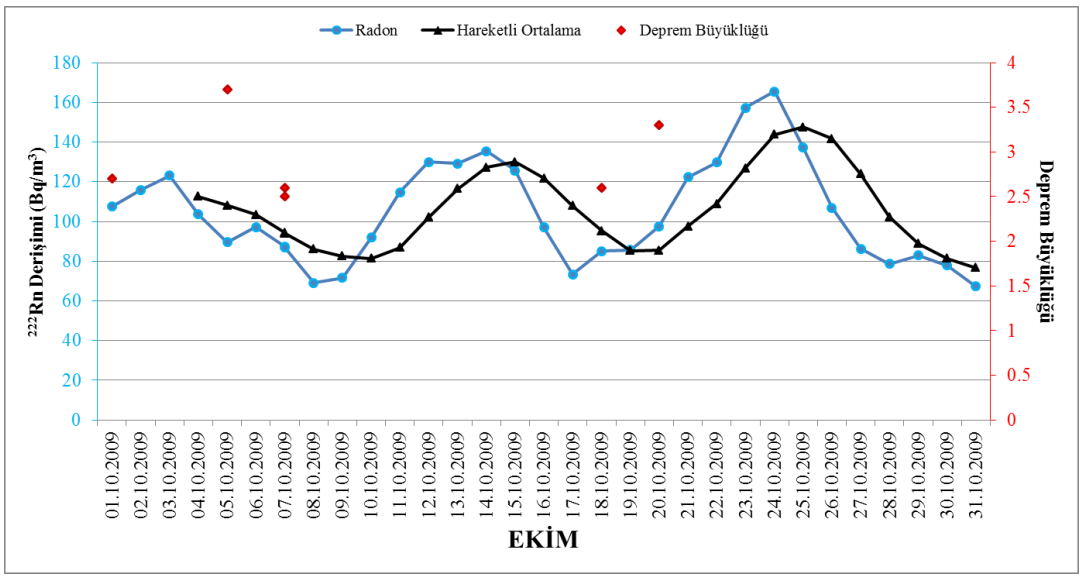


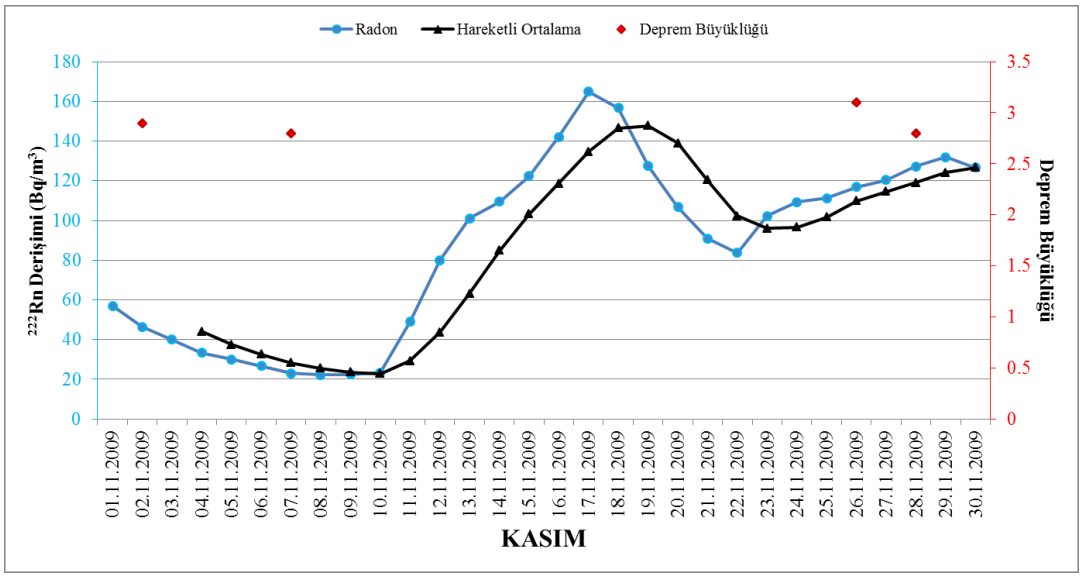




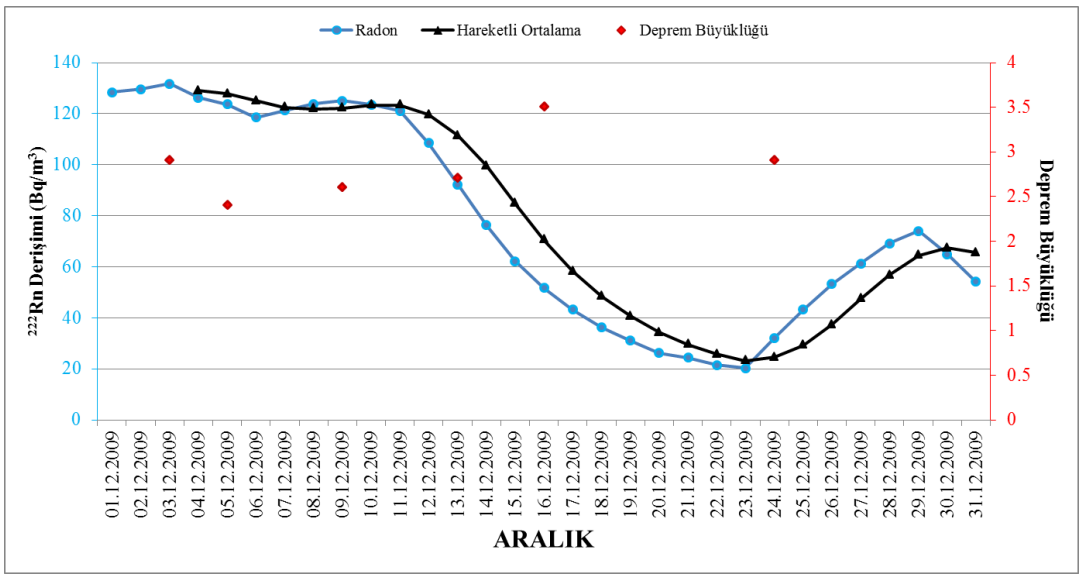
Ek 6 Şekil 11. Kösebayır istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

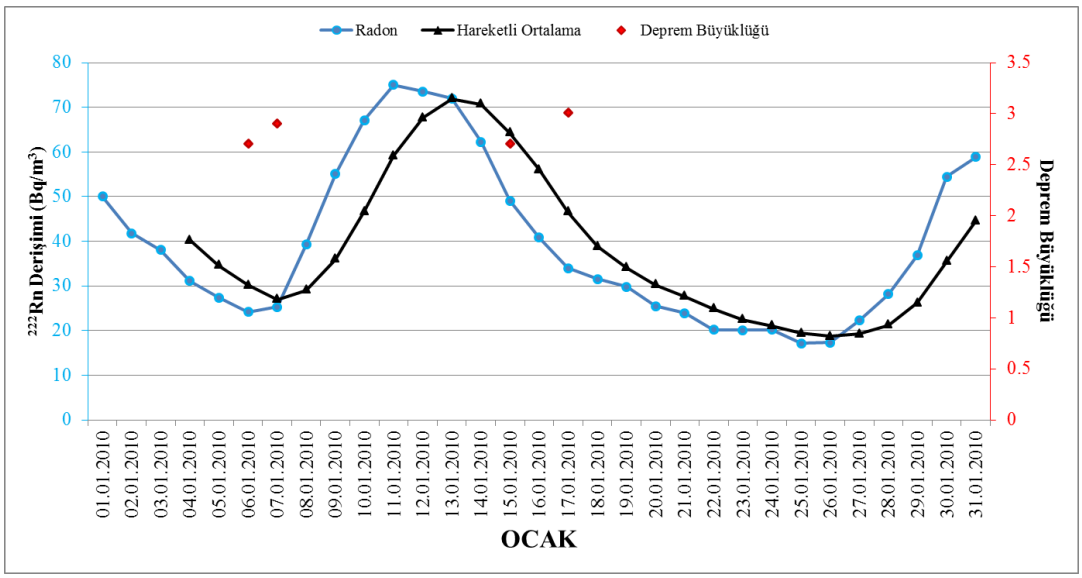


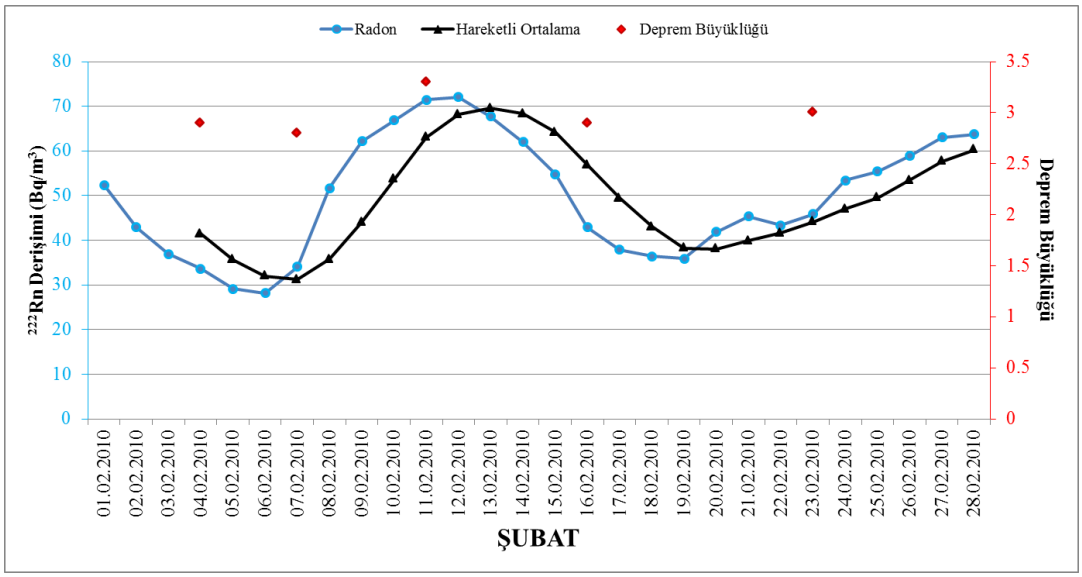




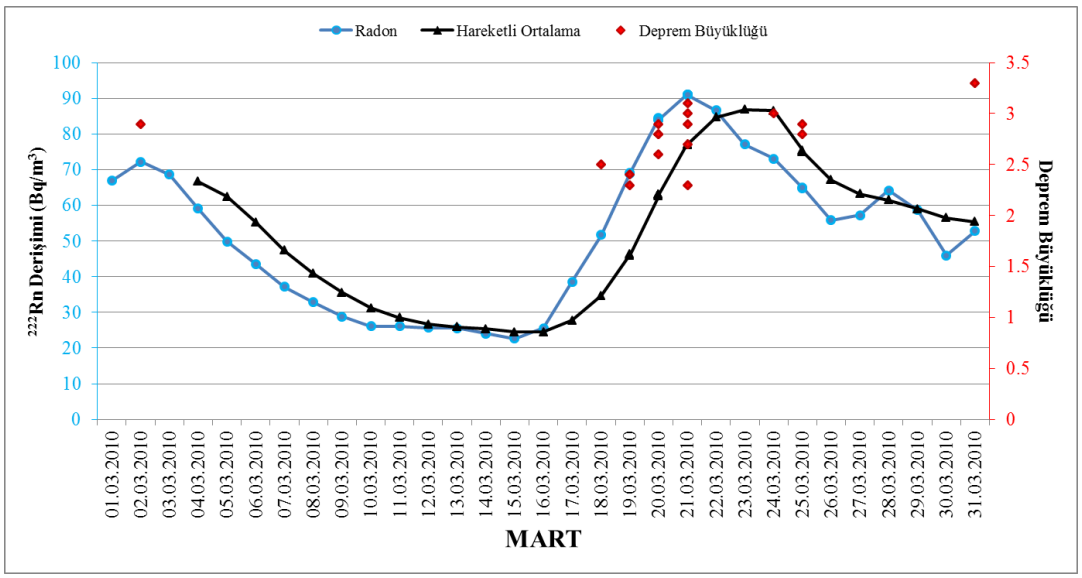
Ek 6 Şekil 12. Kösebayır istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

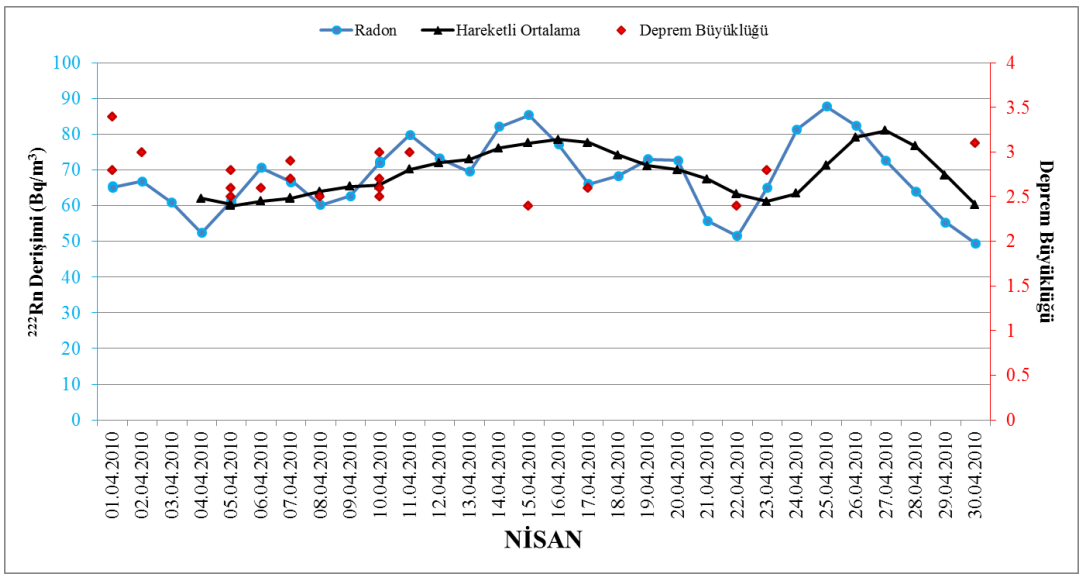


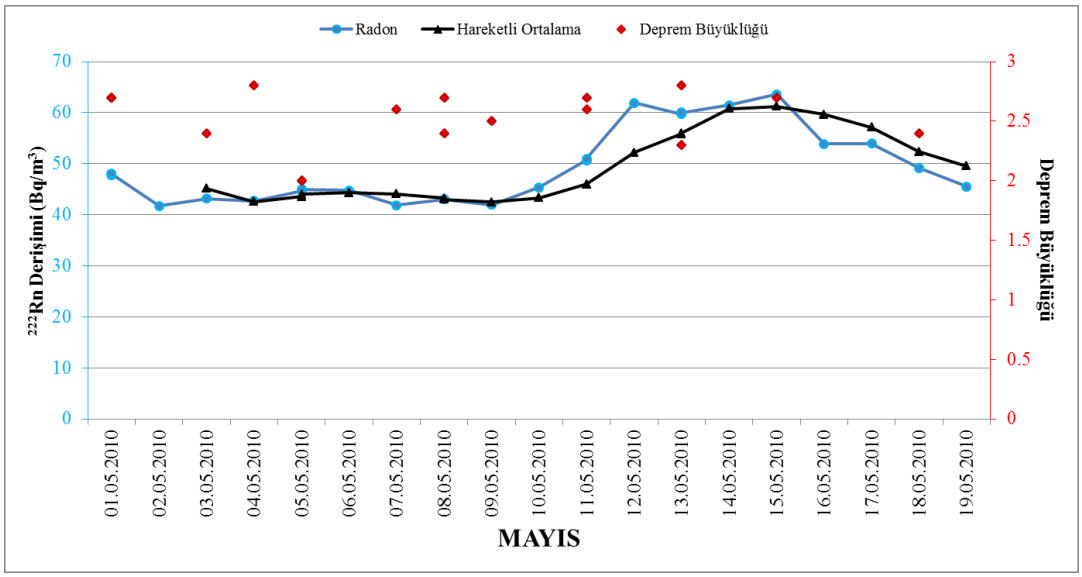




Ek 6 Şekil 13. Kösebayır istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



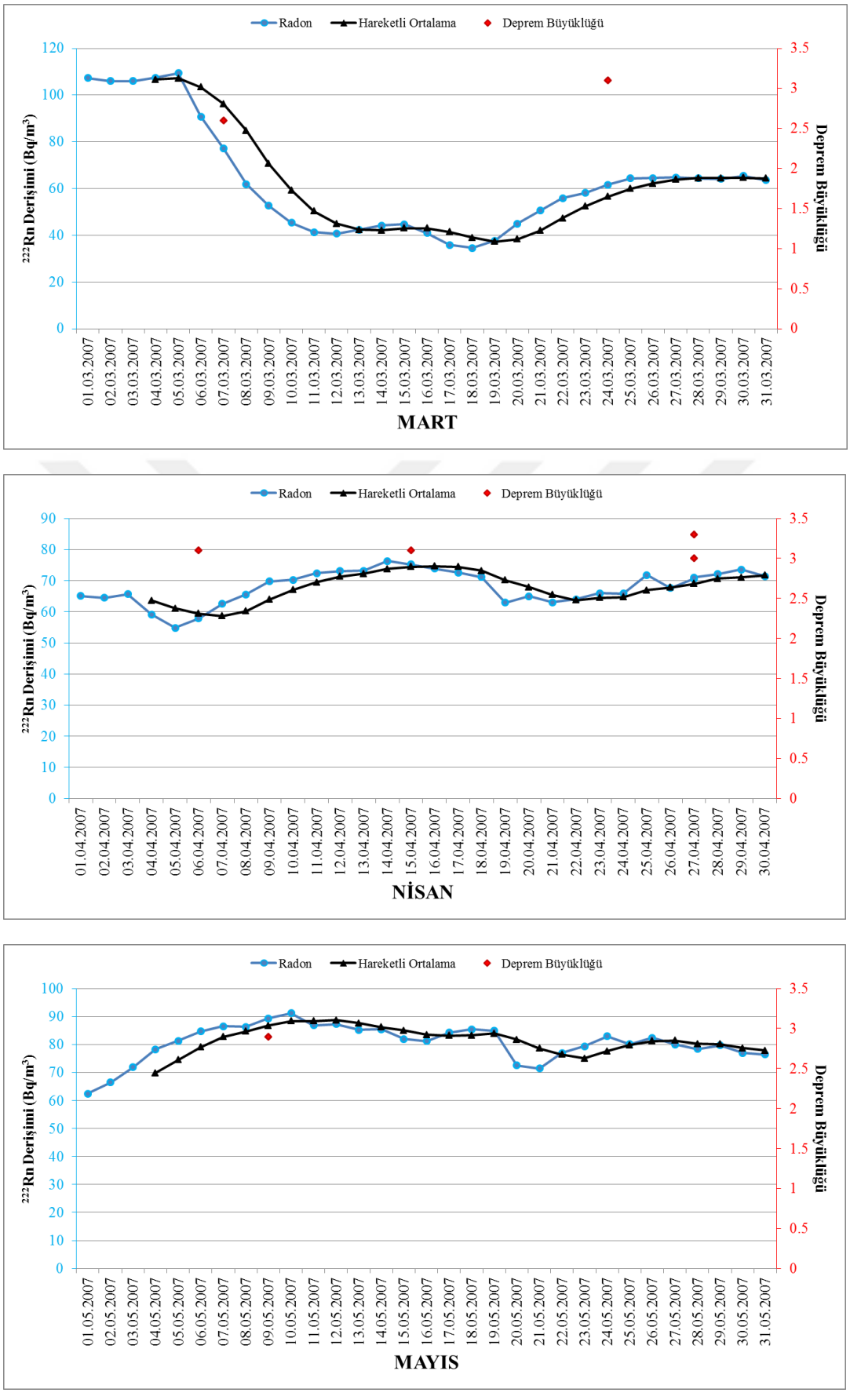




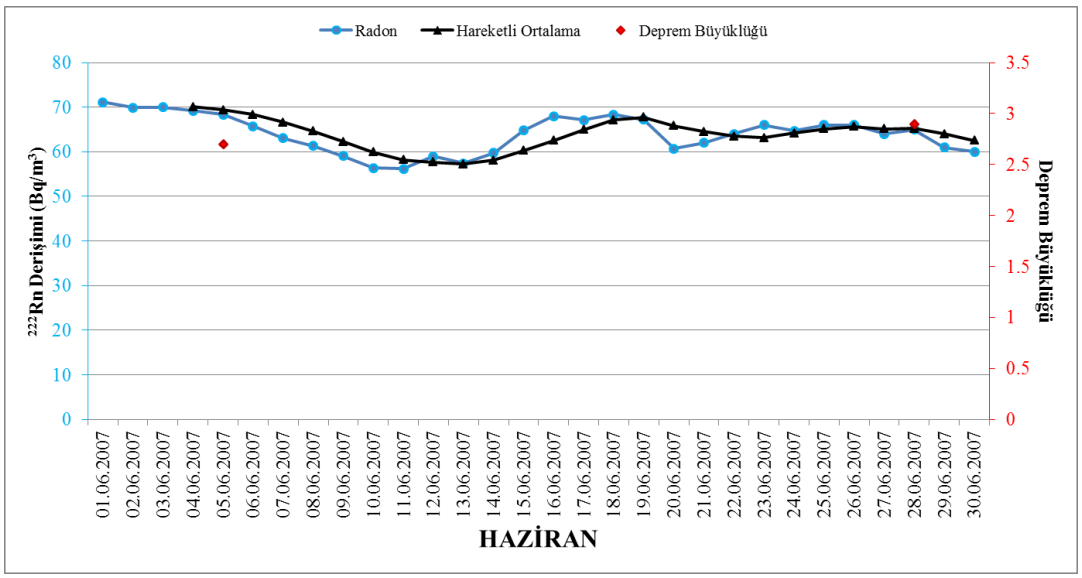
Ek 6 Şekil 14. Kösebayır istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

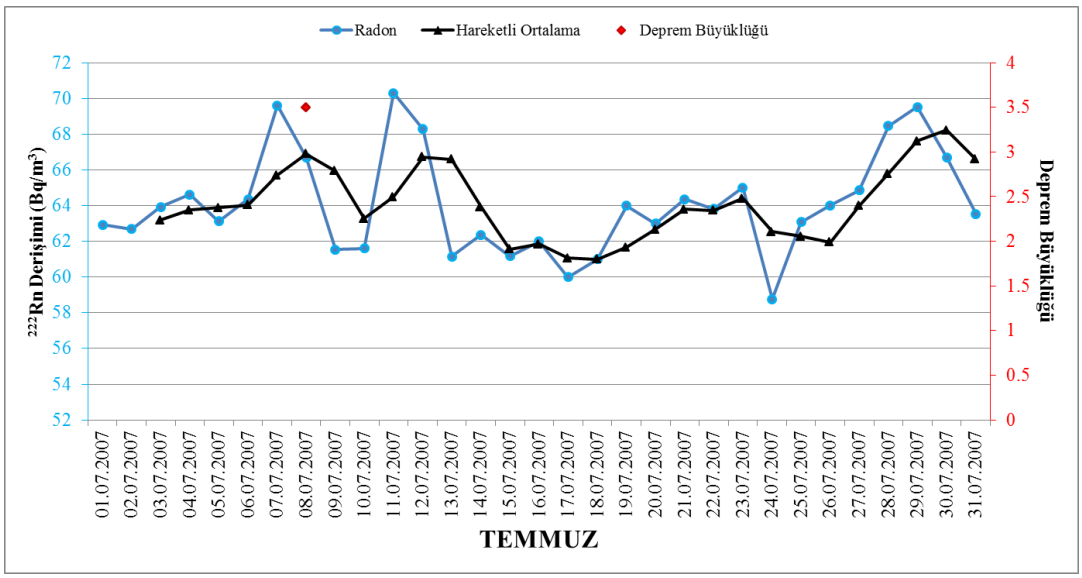
EK 7

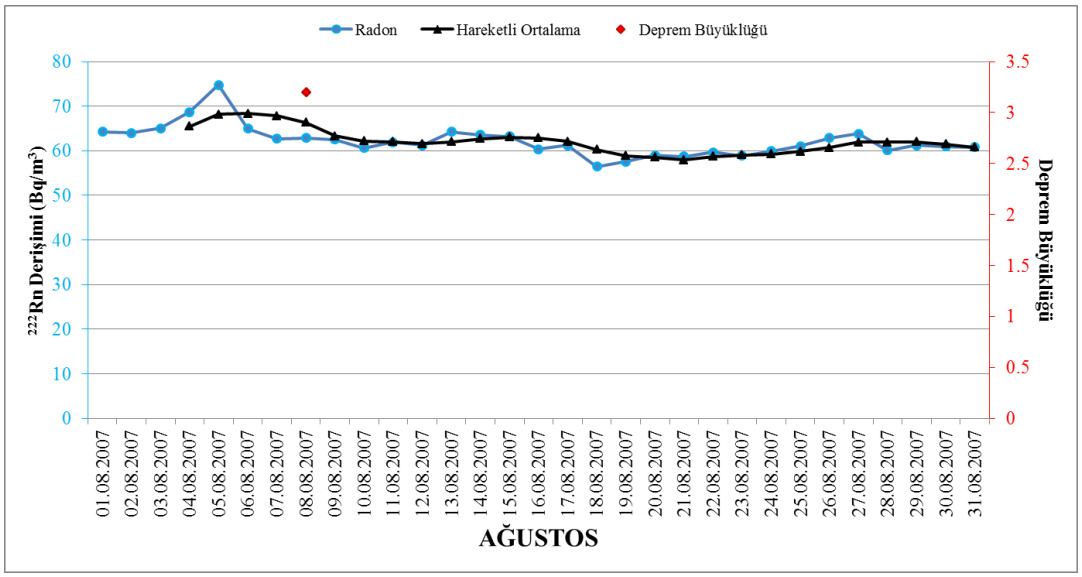
Palu istasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



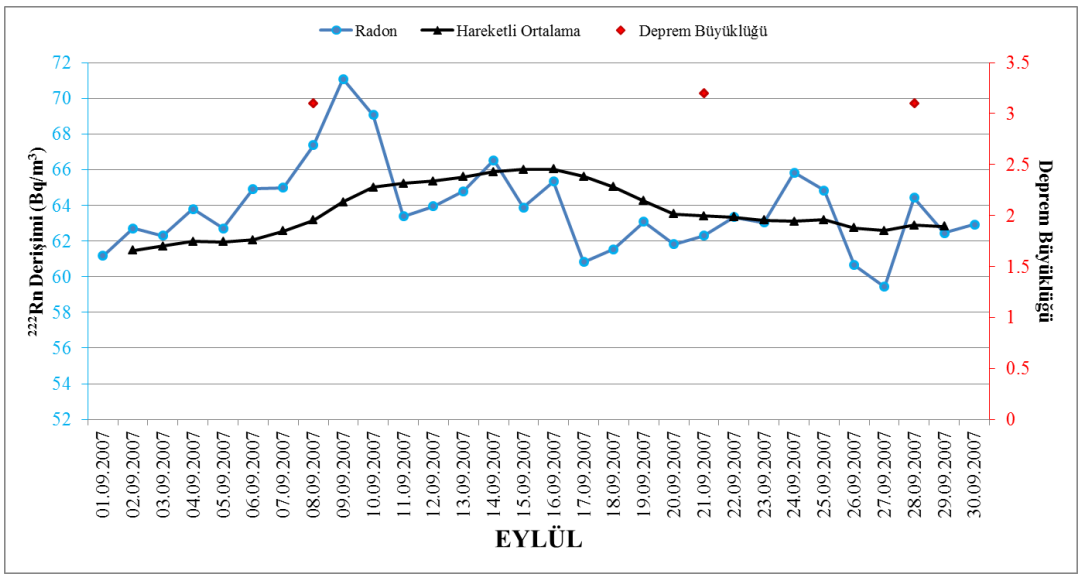
Ek 7 Şekil 1. Palu istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

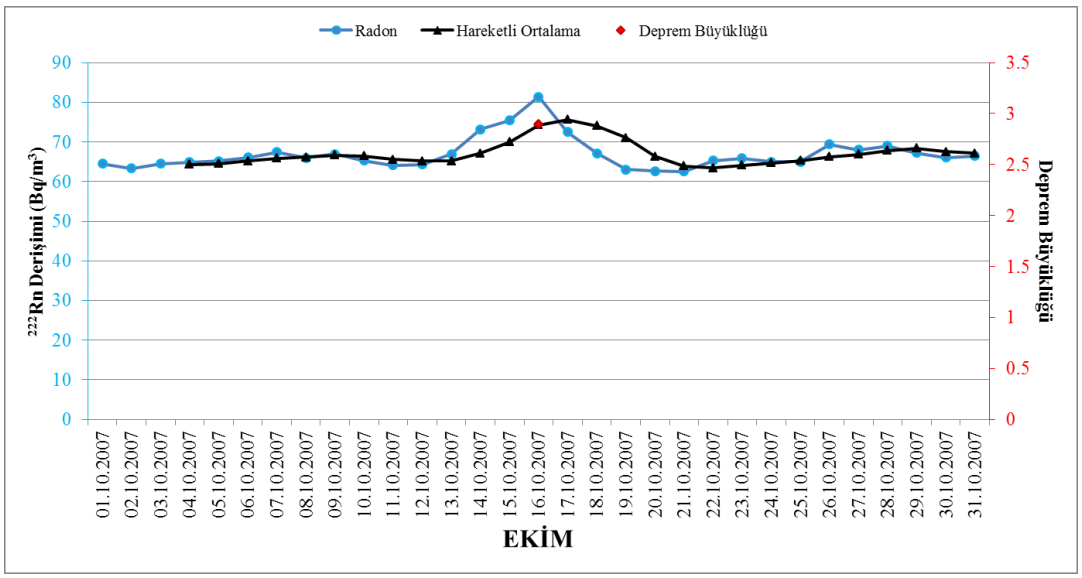


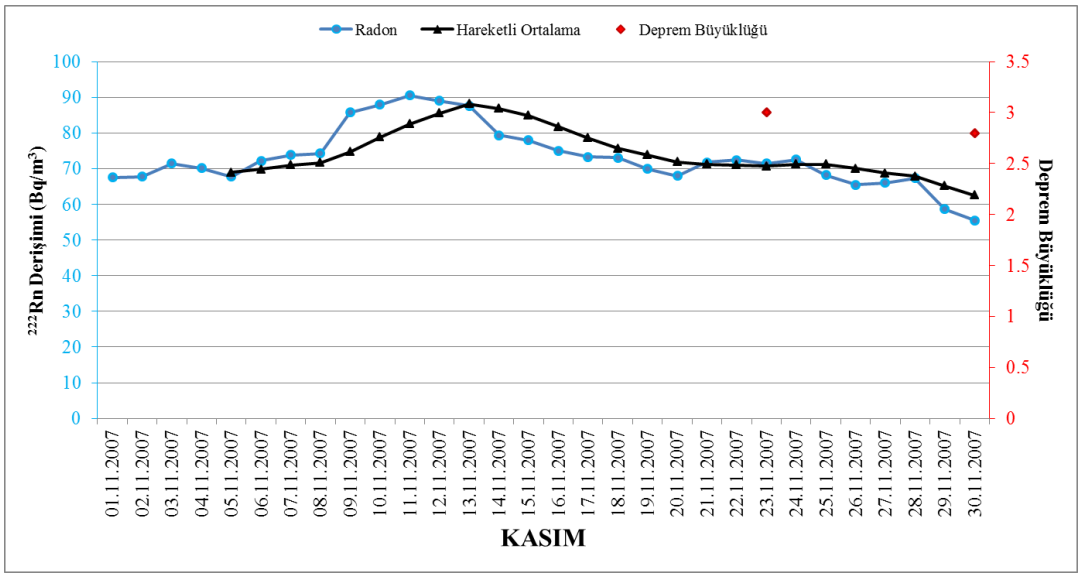




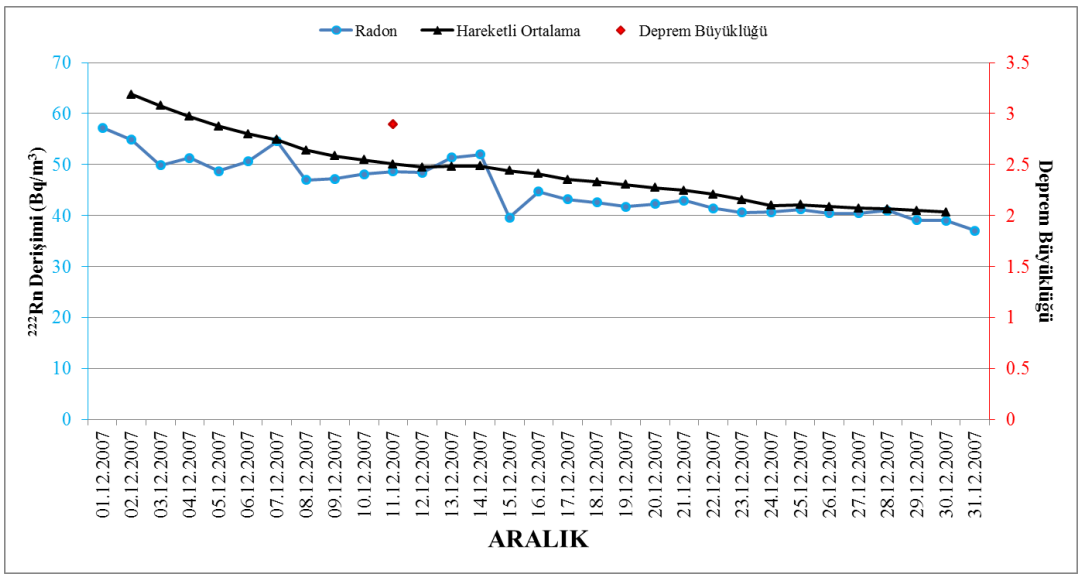
Ek 7 Şekil 2. Palu istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

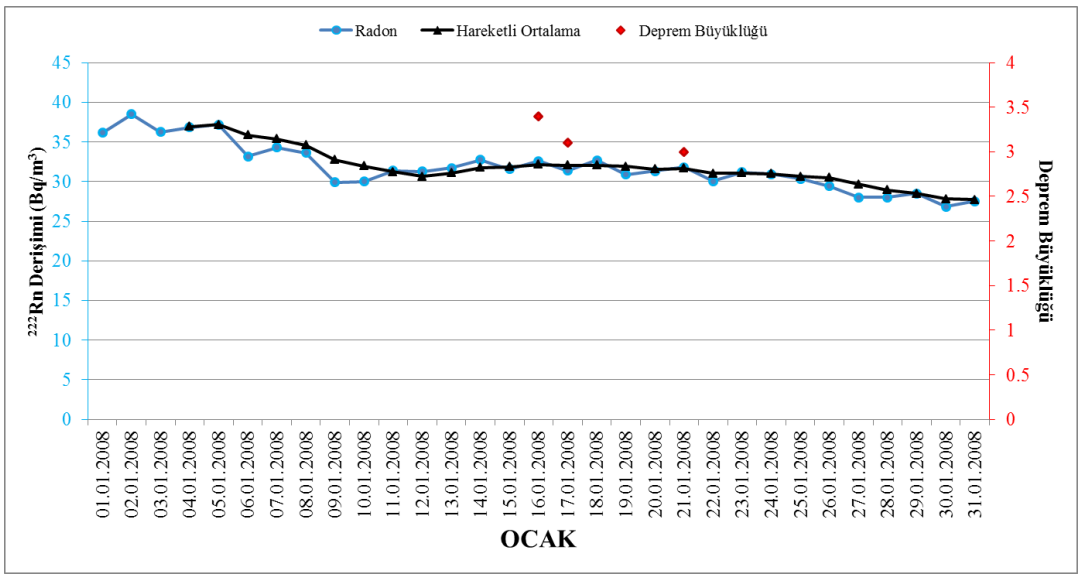


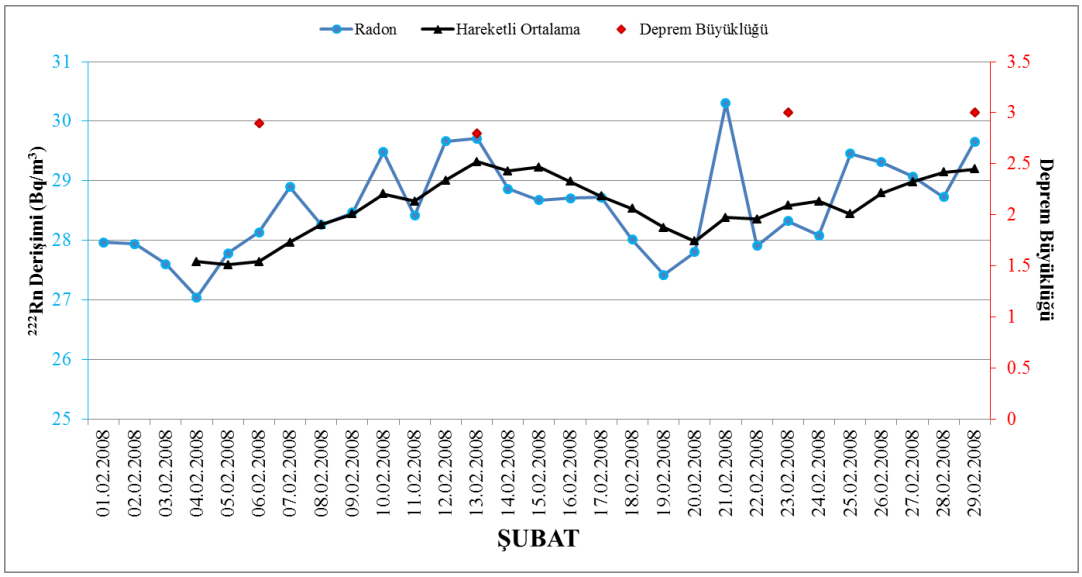




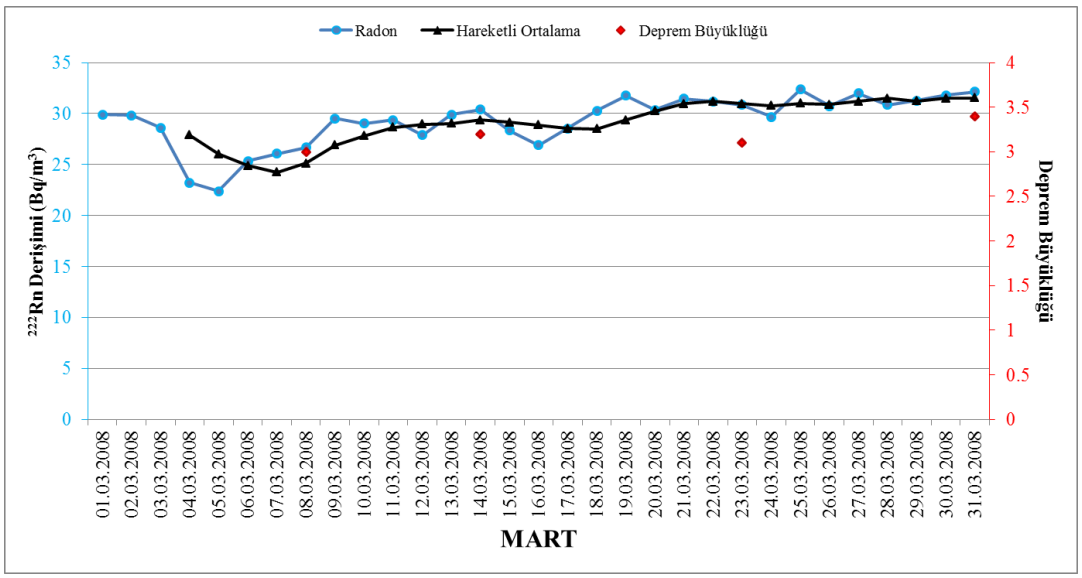
Ek 7 Şekil 3. Palu istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

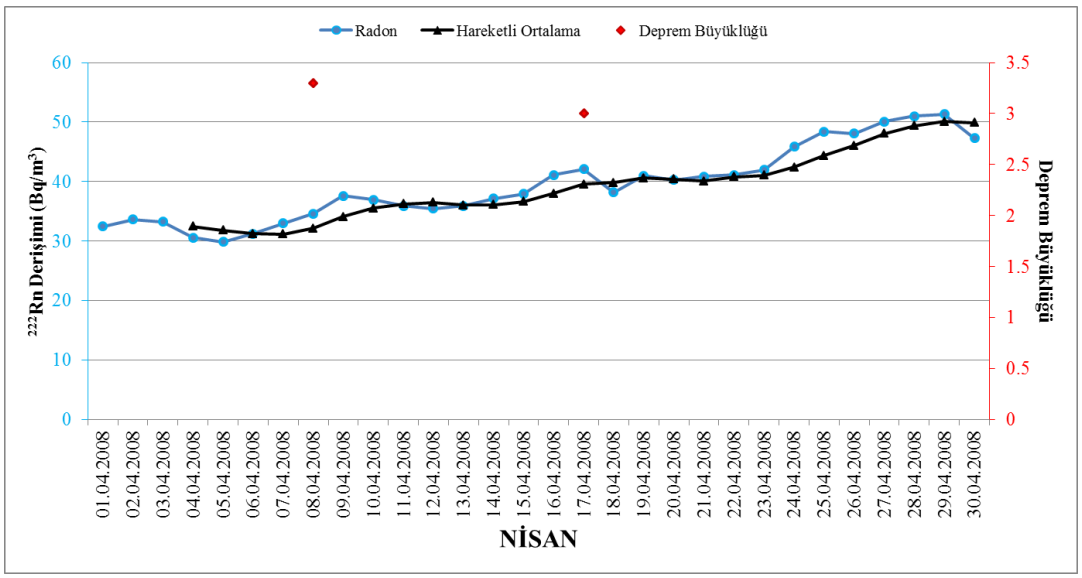


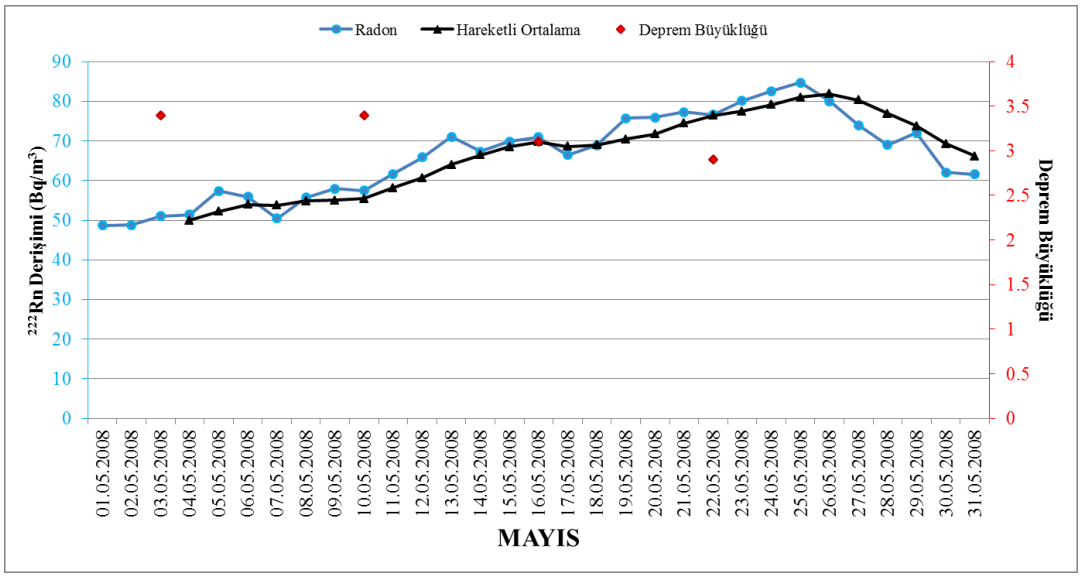




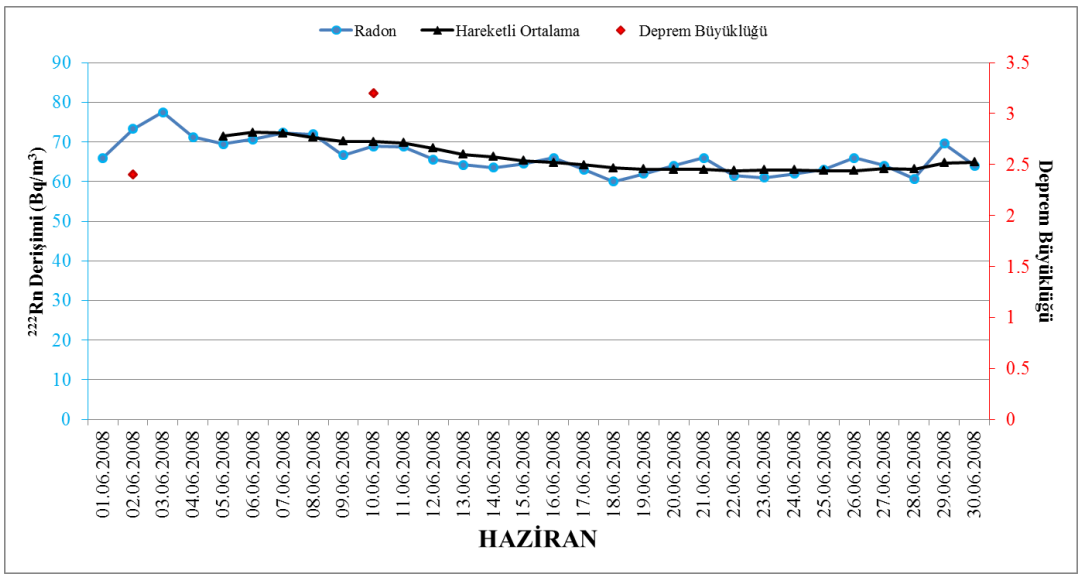
Ek 7 Şekil 4. Palu istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

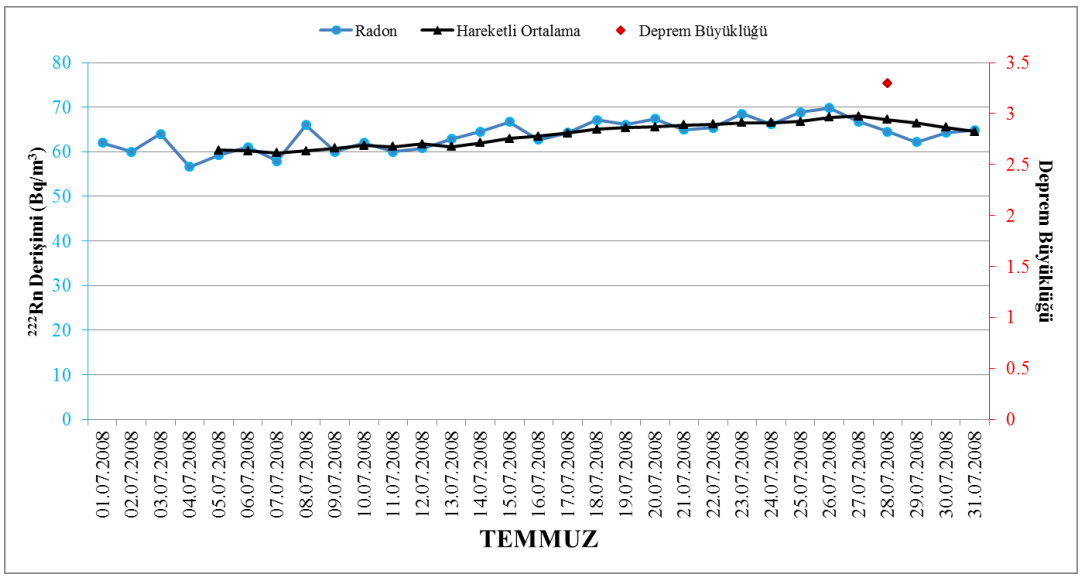


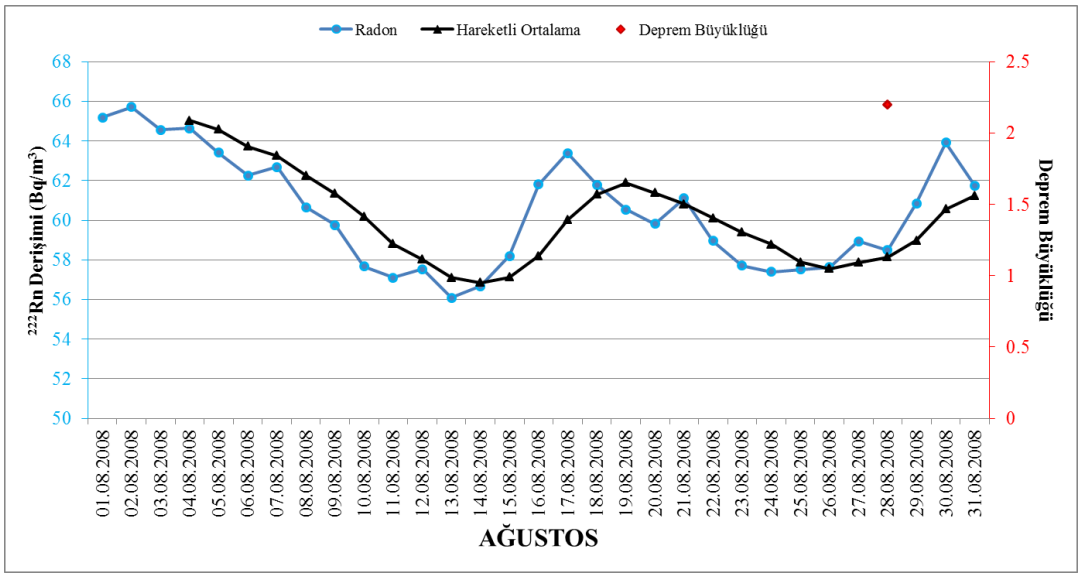




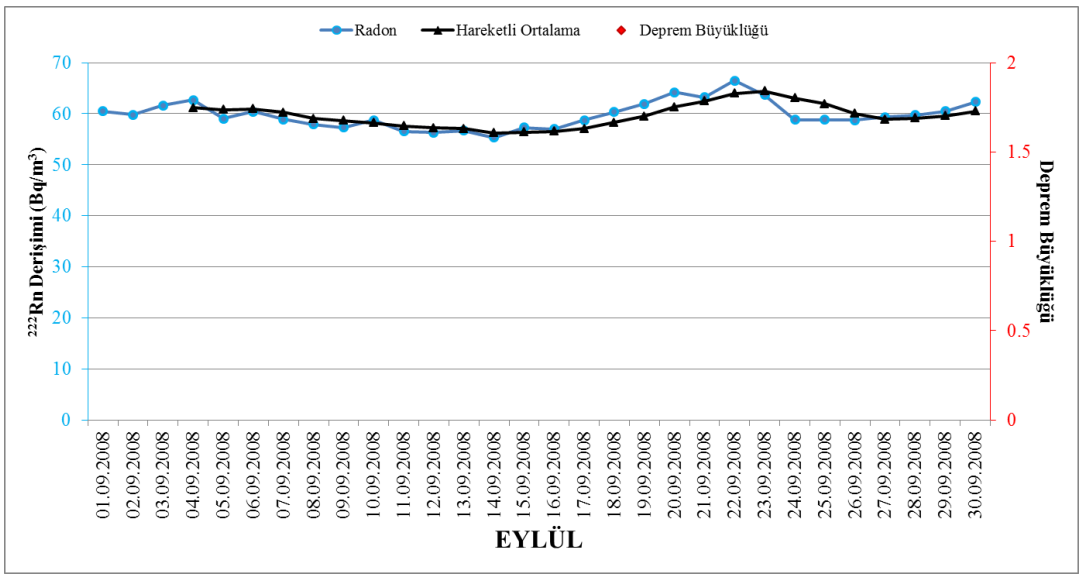
Ek 7 Şekil 5. Palu istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

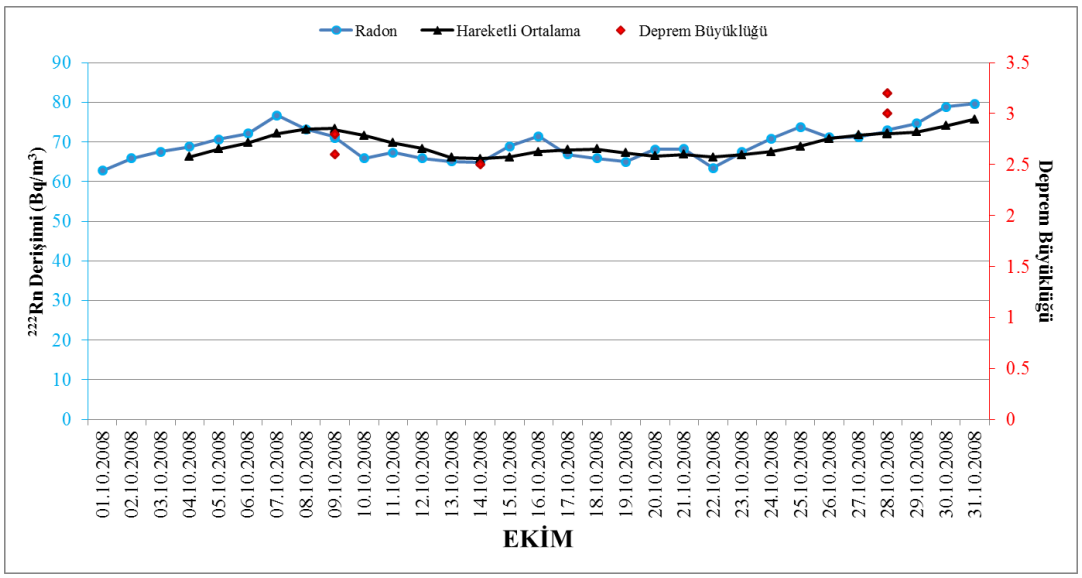


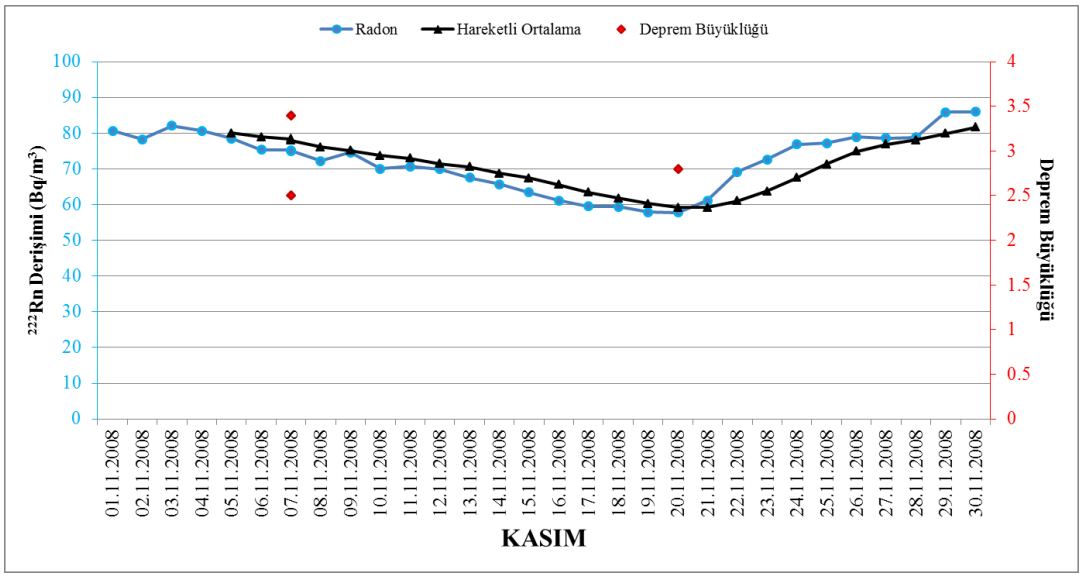




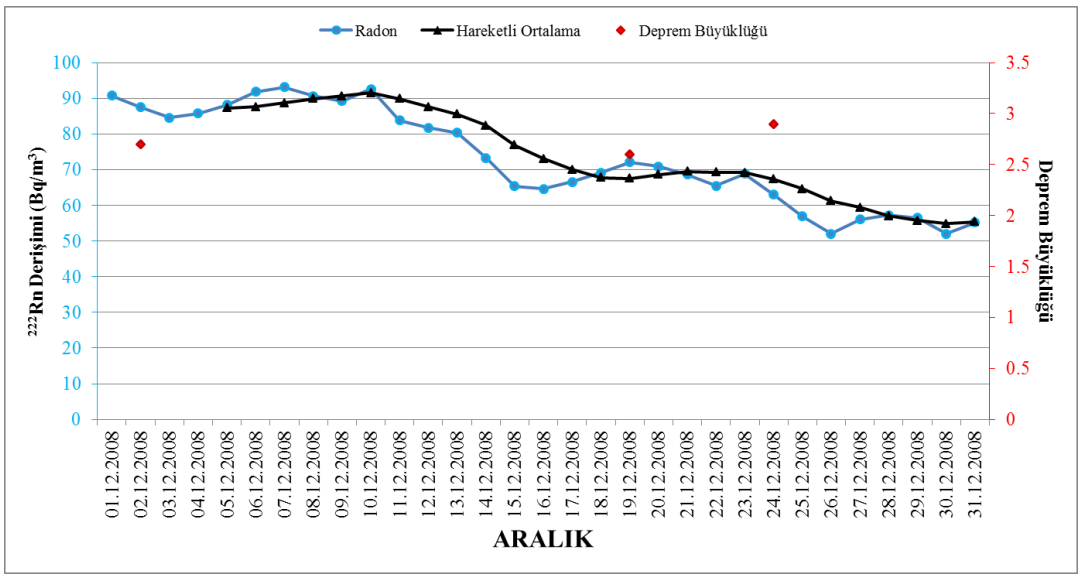
Ek 7 Şekil 6. Palu istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

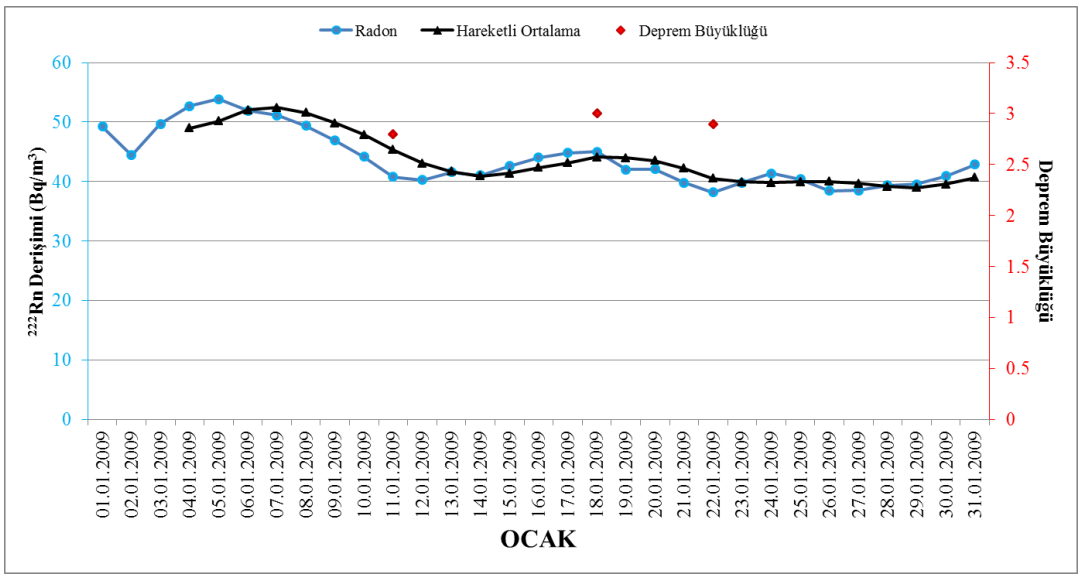


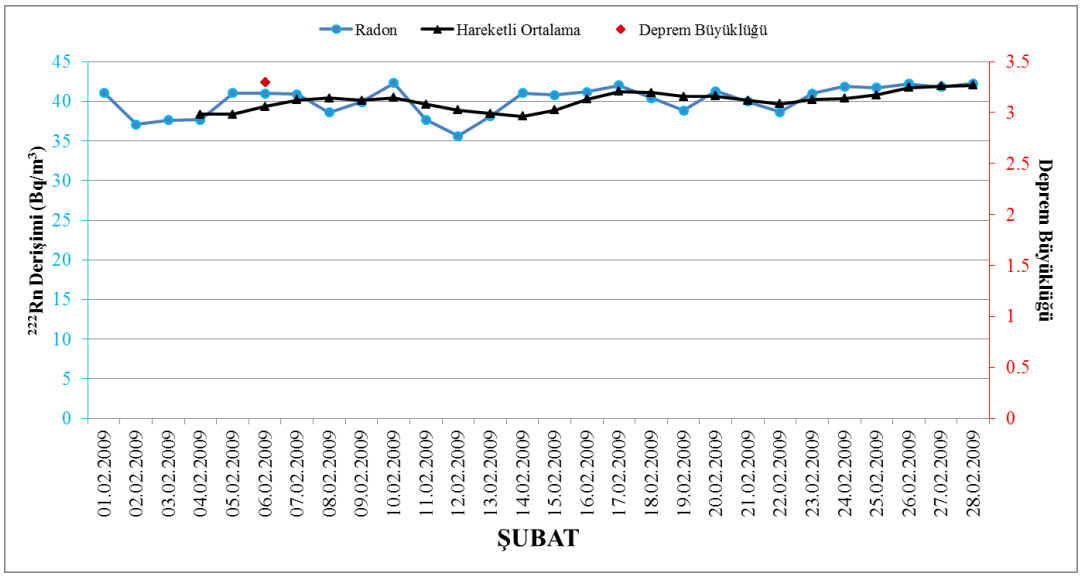




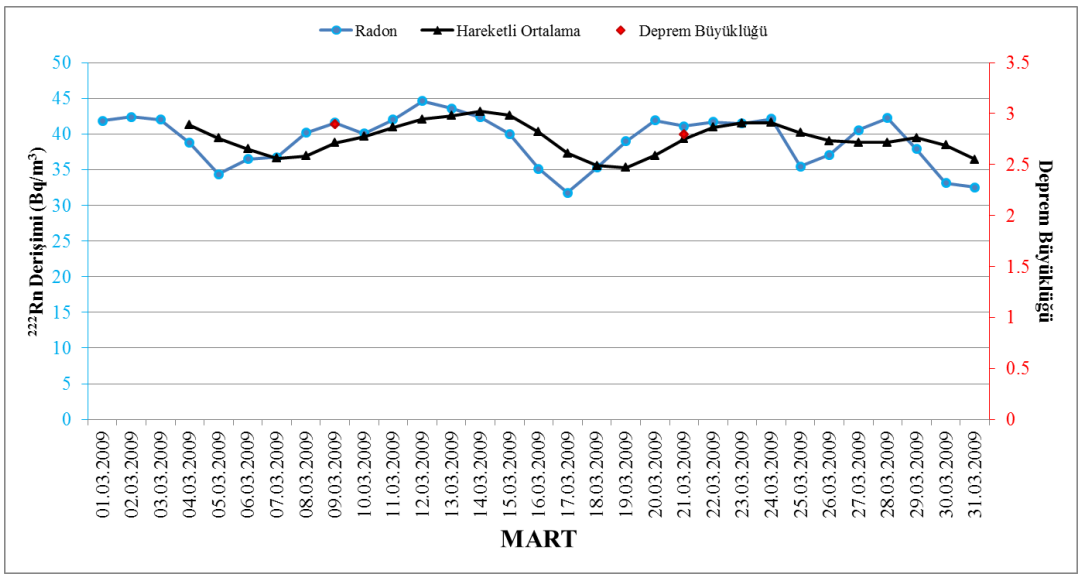
Ek 7 Şekil 7. Palu istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

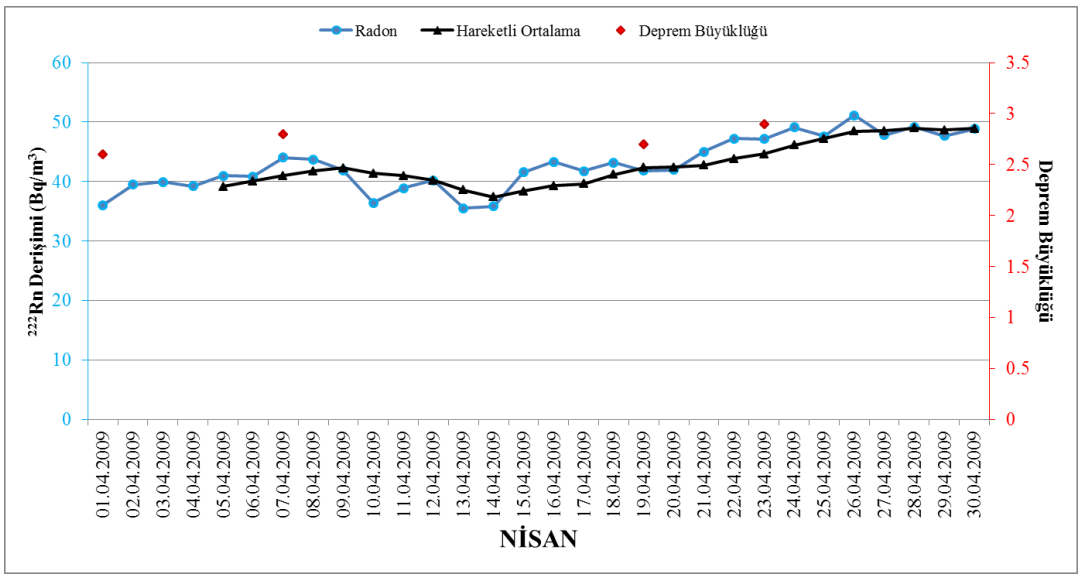


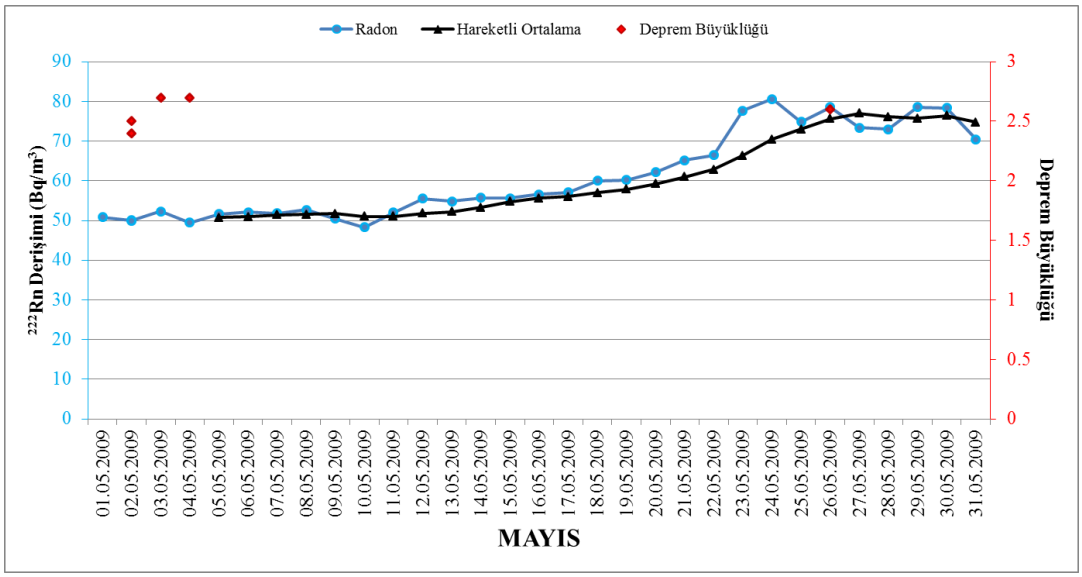




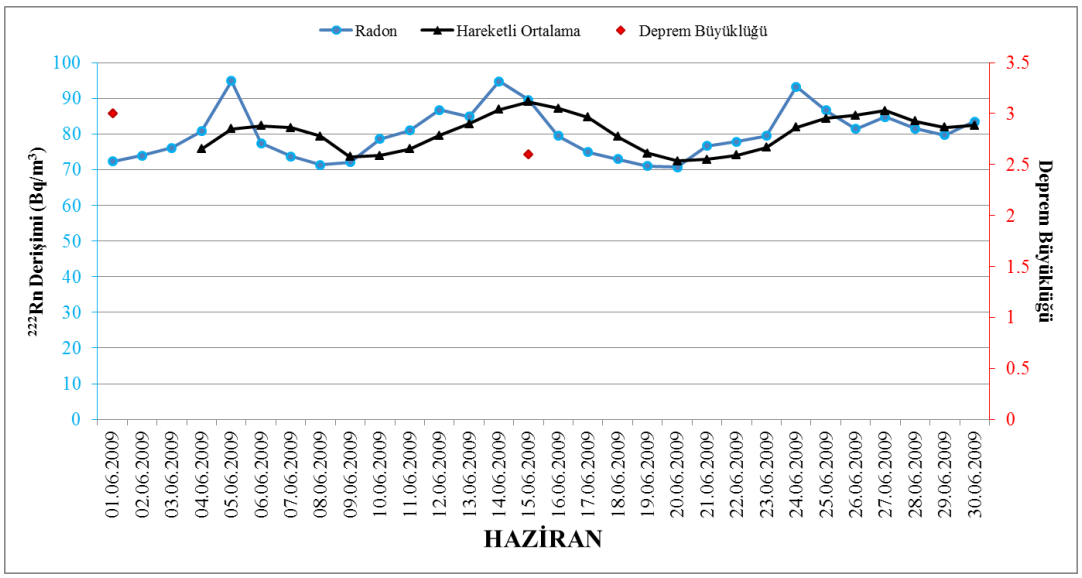
Ek 7 Şekil 8. Palu istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

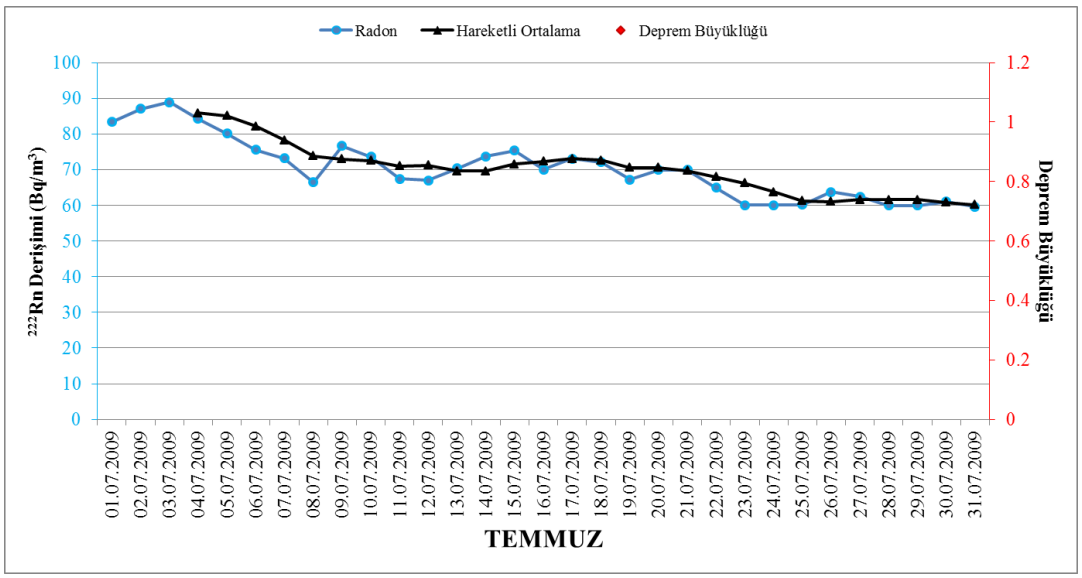


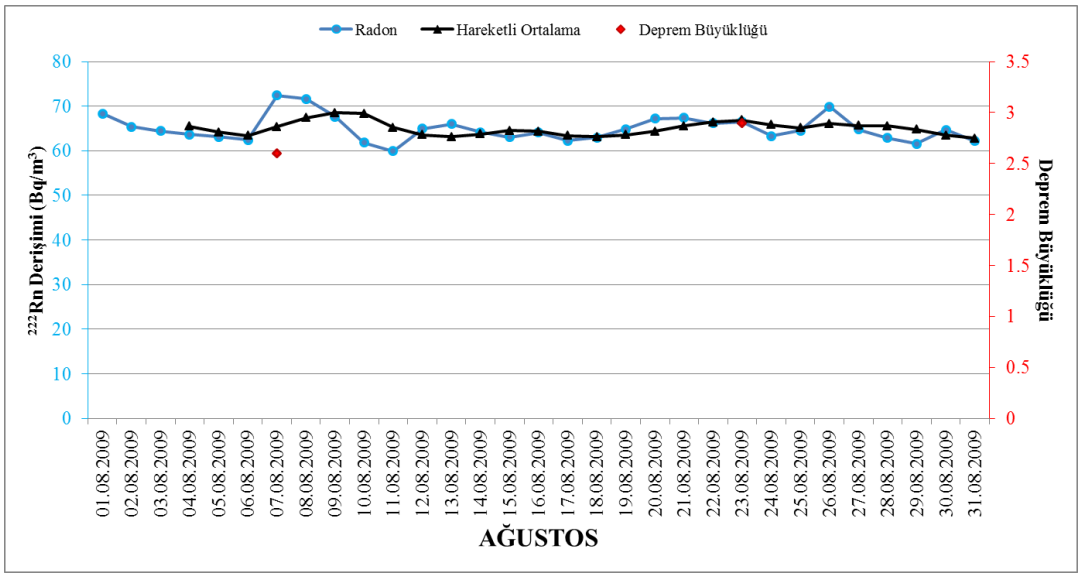




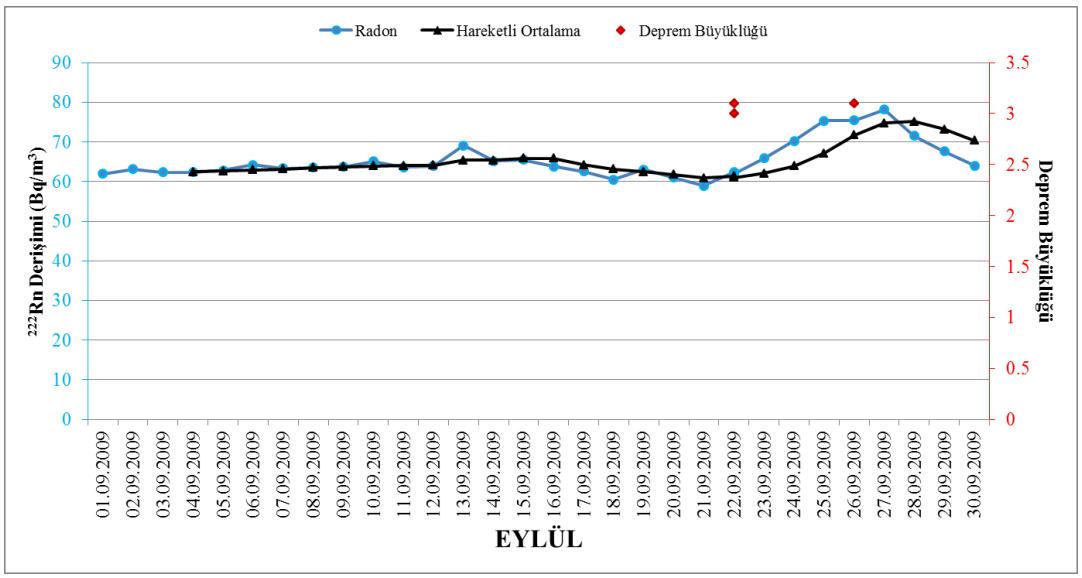
Ek 7 Şekil 9. Palu istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

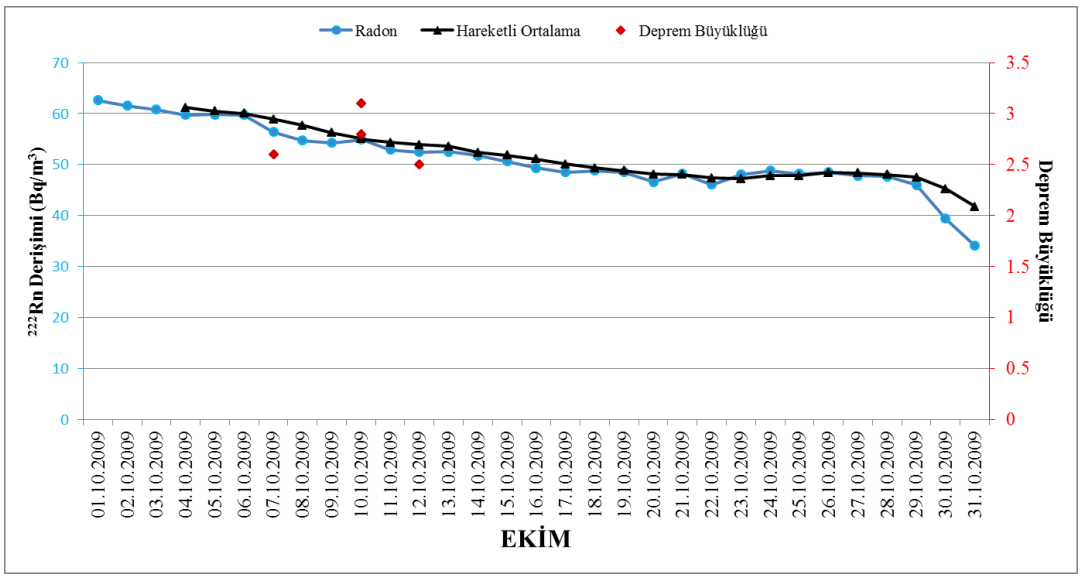


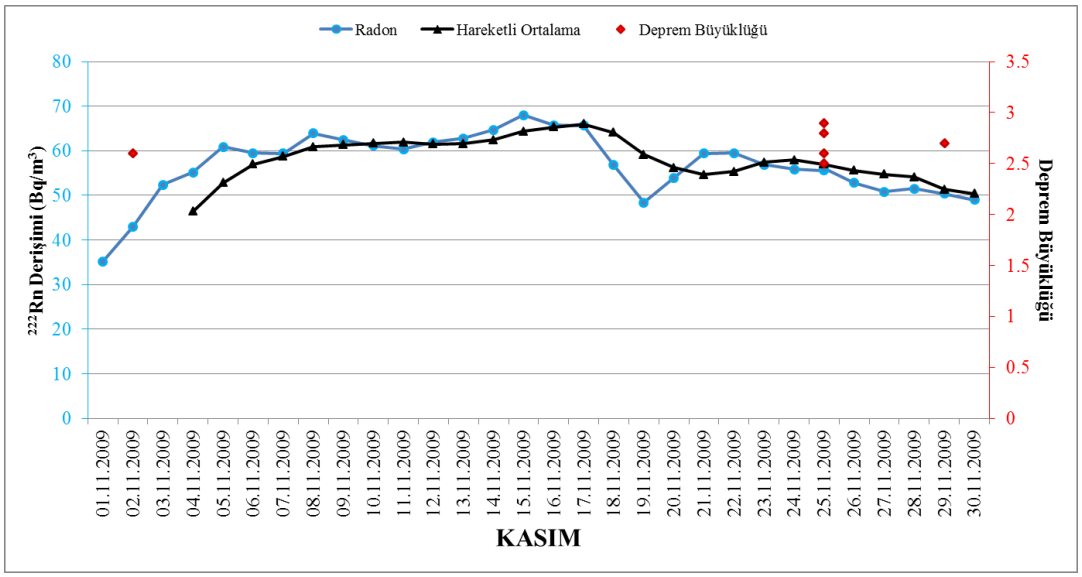




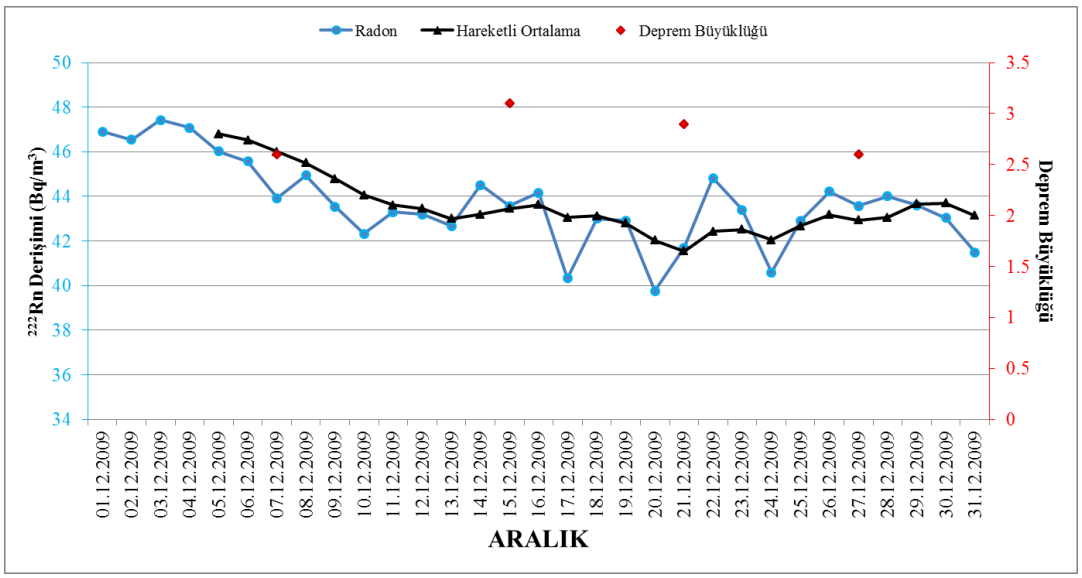
Ek 7 Şekil 10. Palu istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

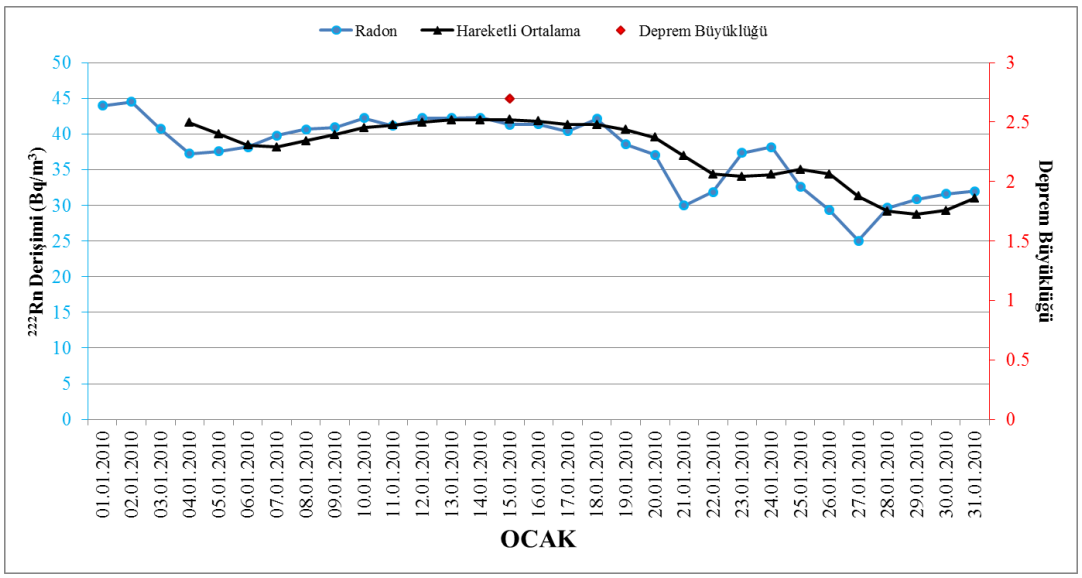


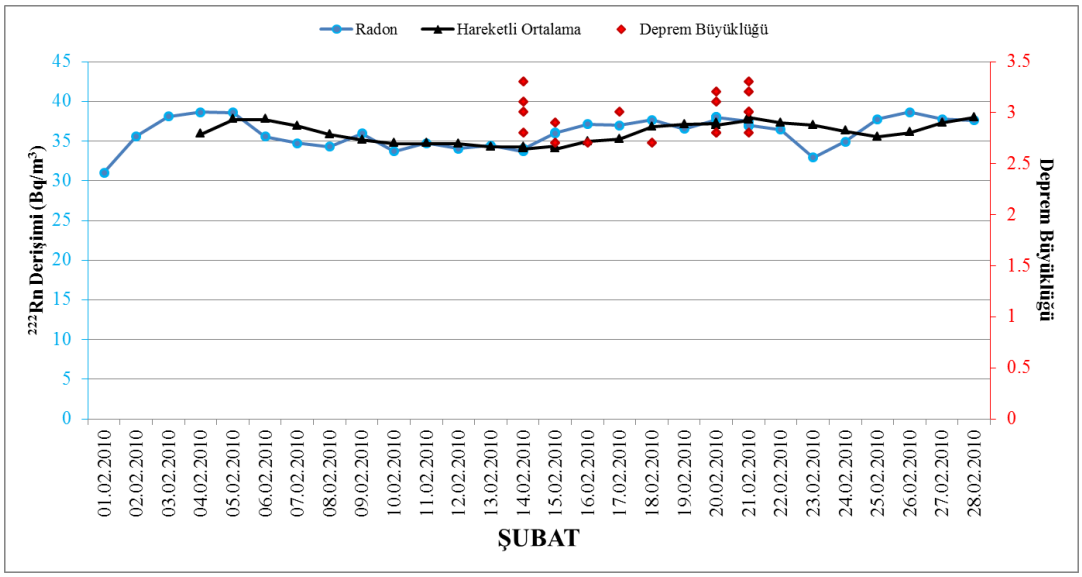




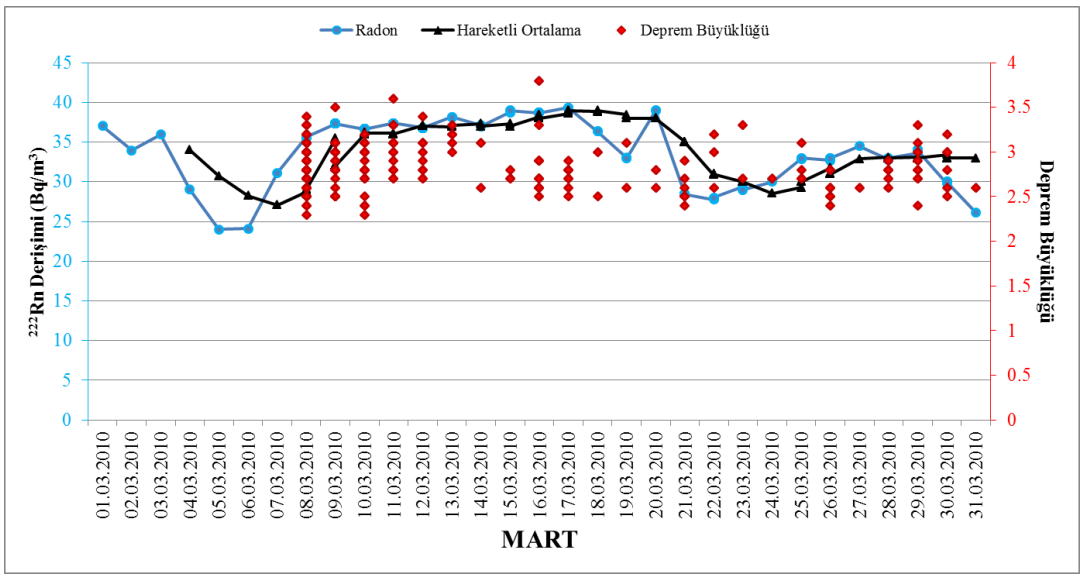
Ek 7 Şekil 11. Palu istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

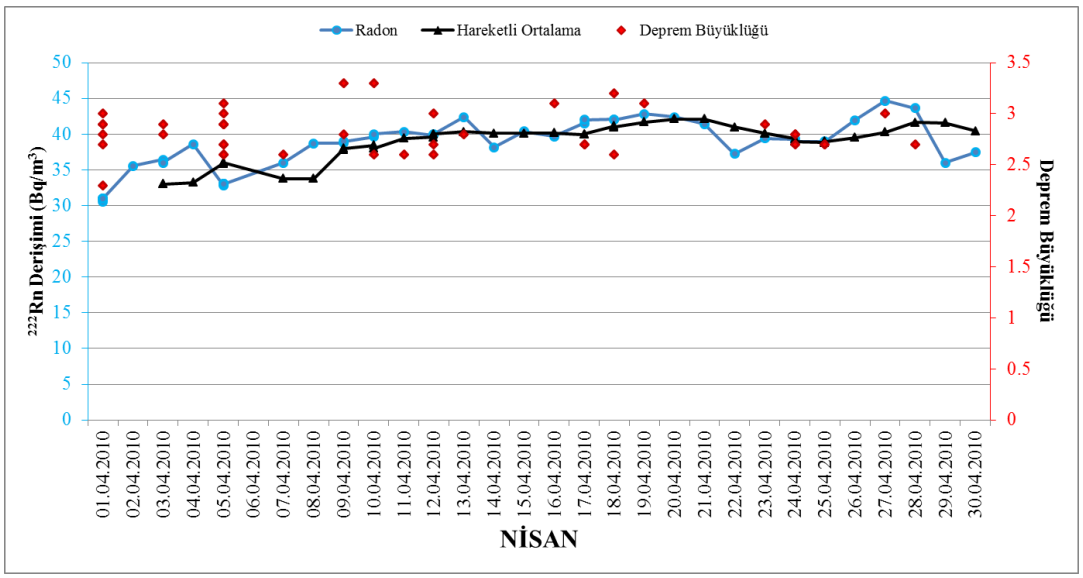


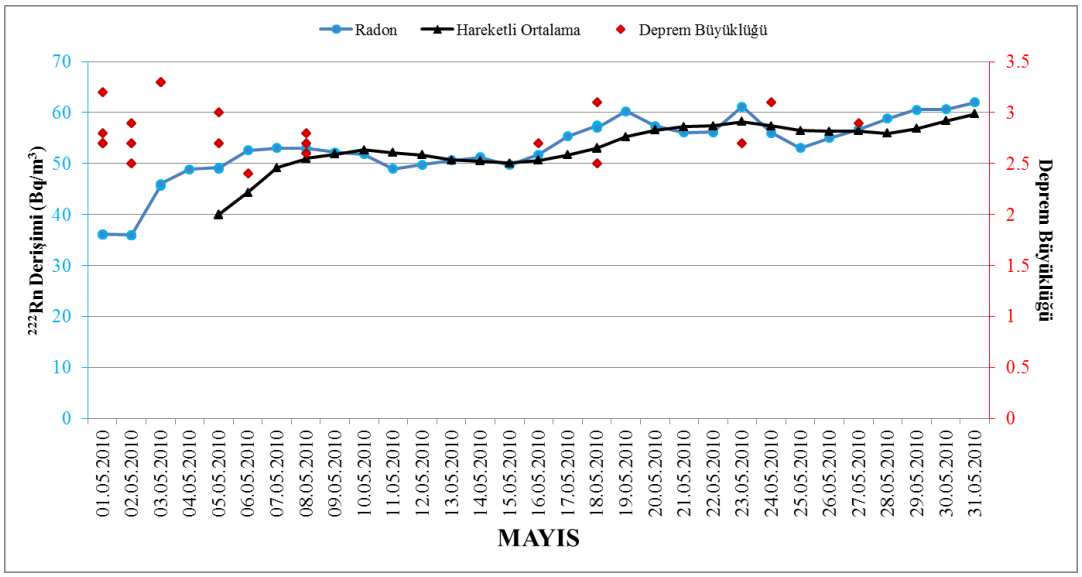




Ek 7 Şekil 12. Palu istasyonu 2010 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



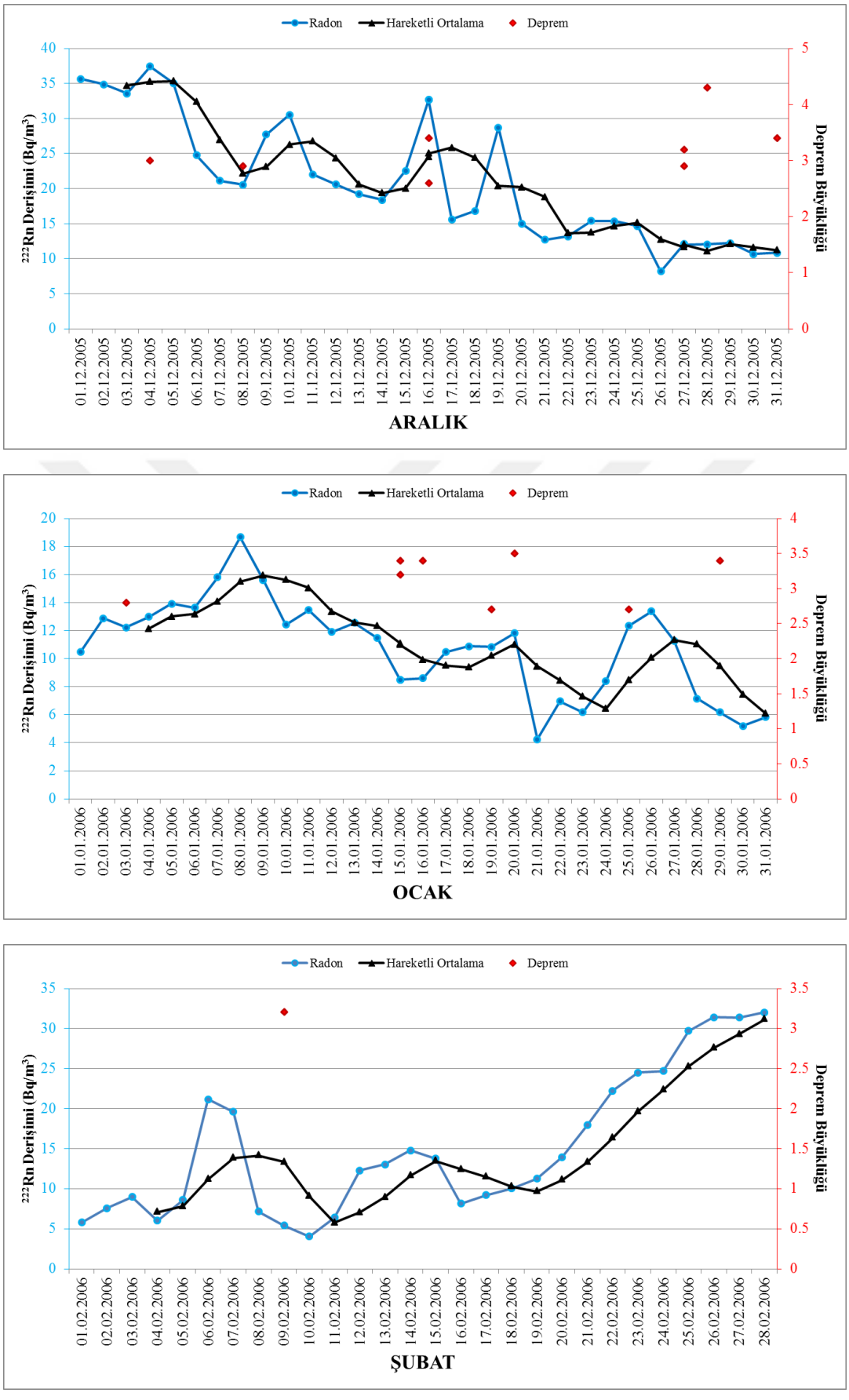




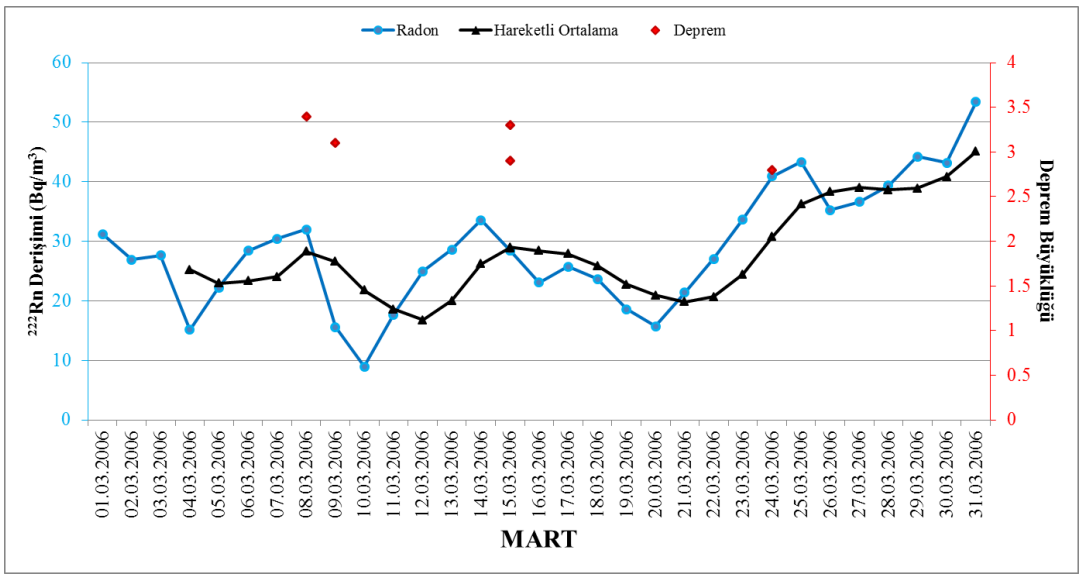
Ek 7 Şekil 13. Palu istasyonu 2010 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

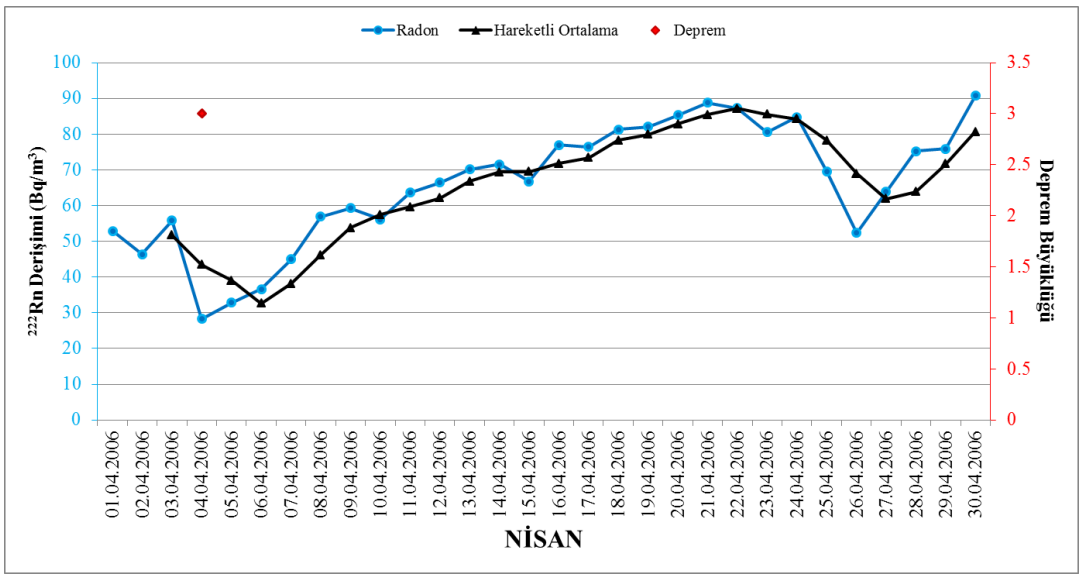
EK 8

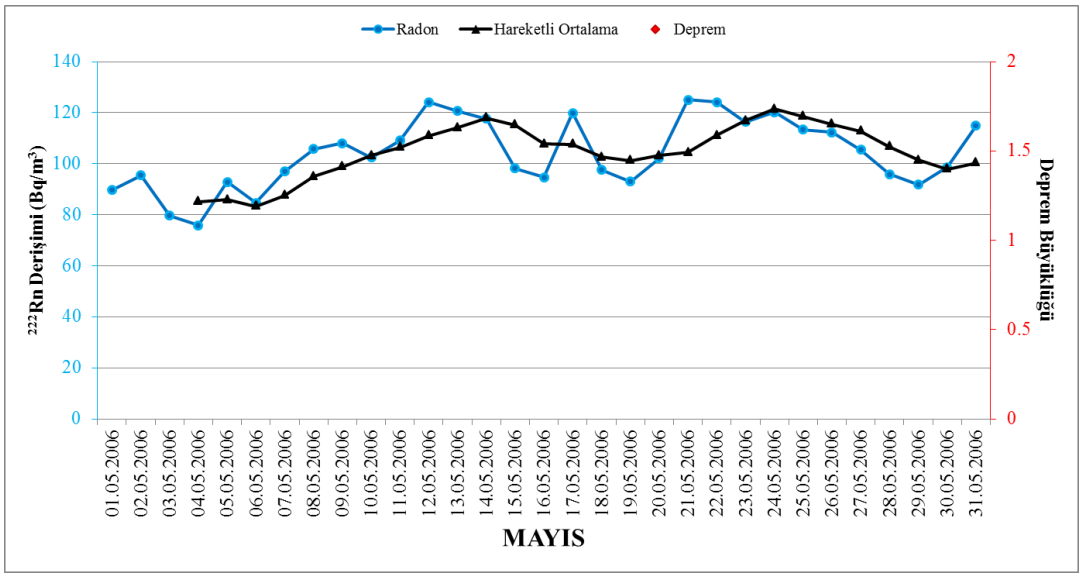
Sivrice istasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



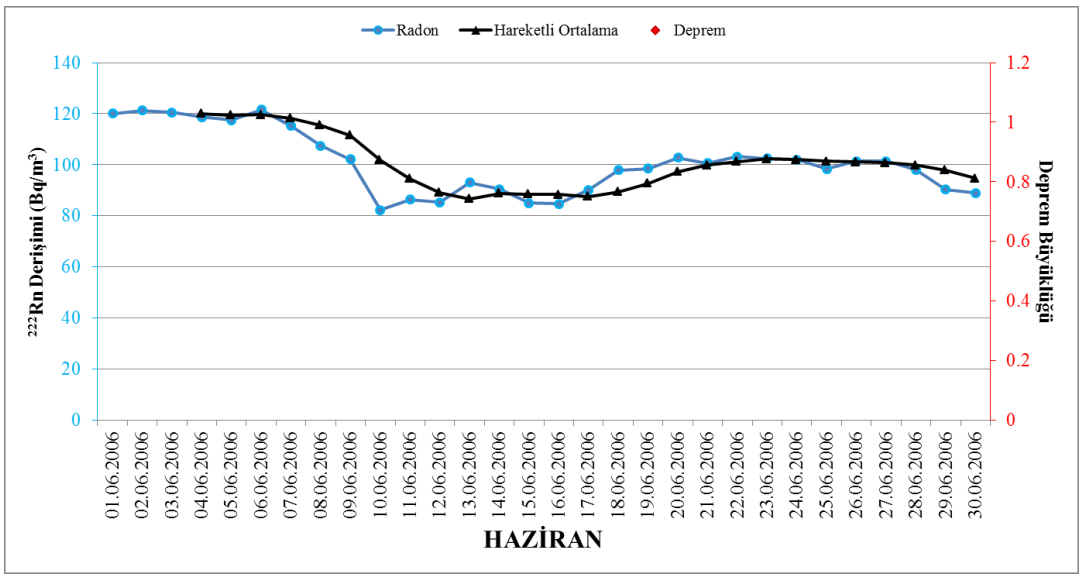
Ek 8 Şekil 1. Sivrice istasyonu 2006 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

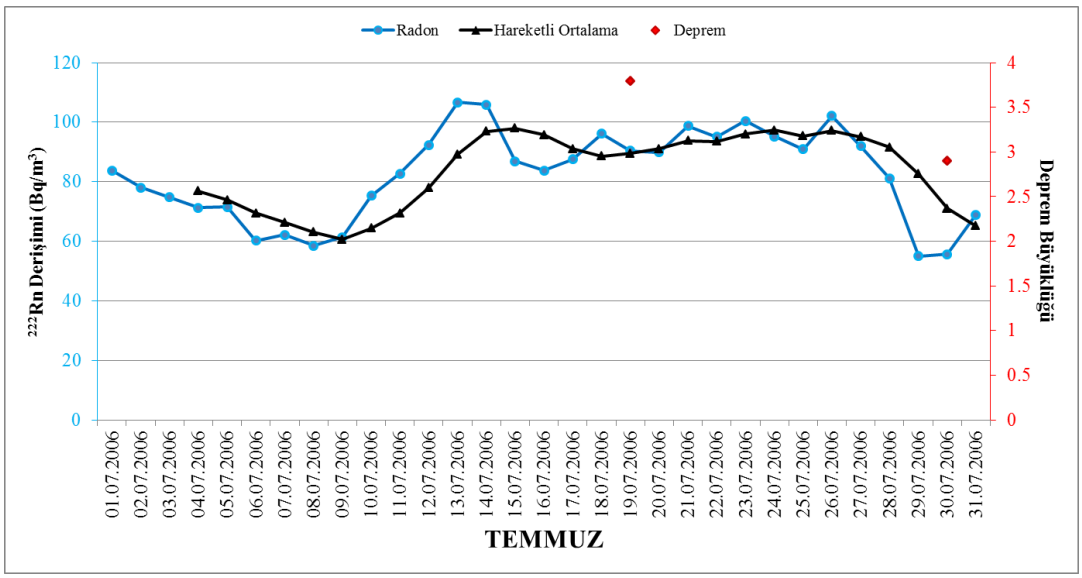


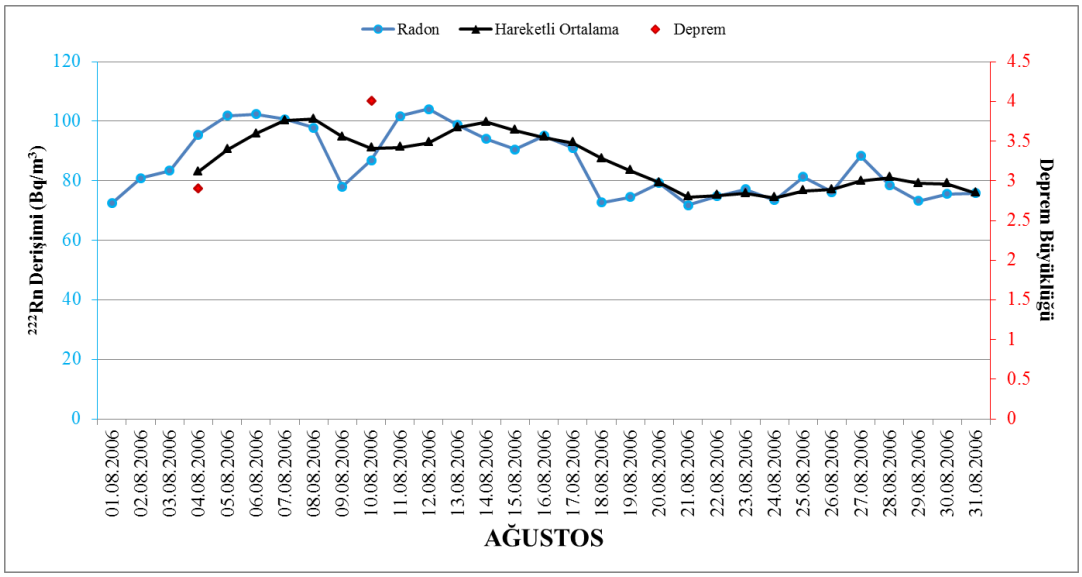




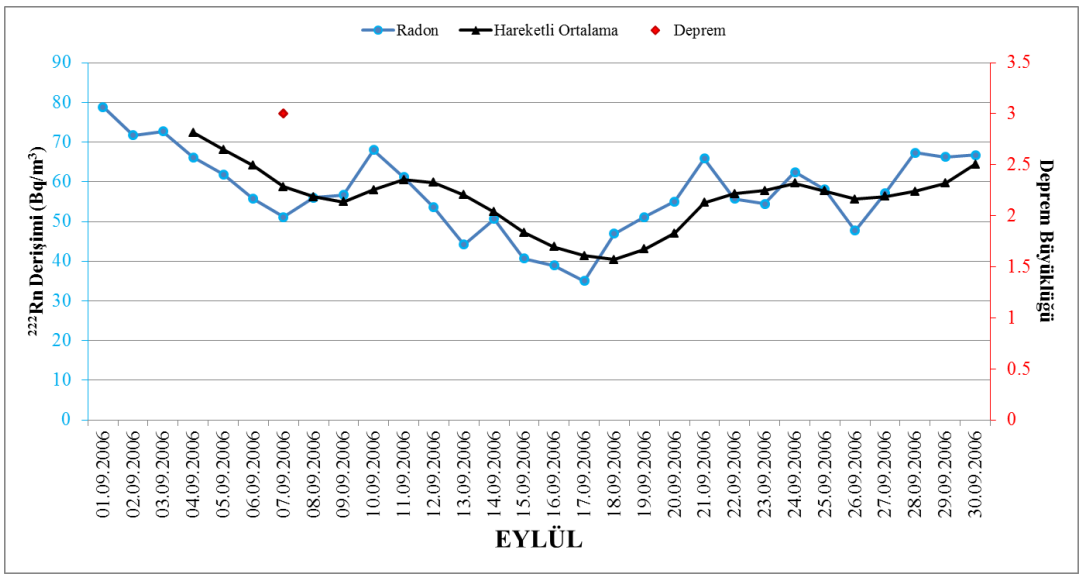
Ek 8 Şekil 2. Sivrice istasyonu 2006 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

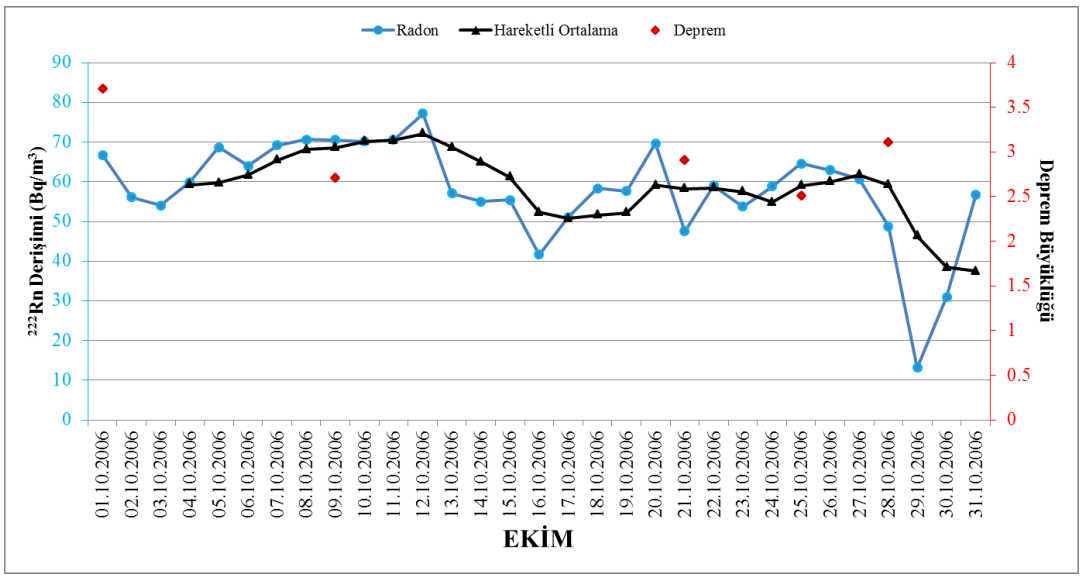


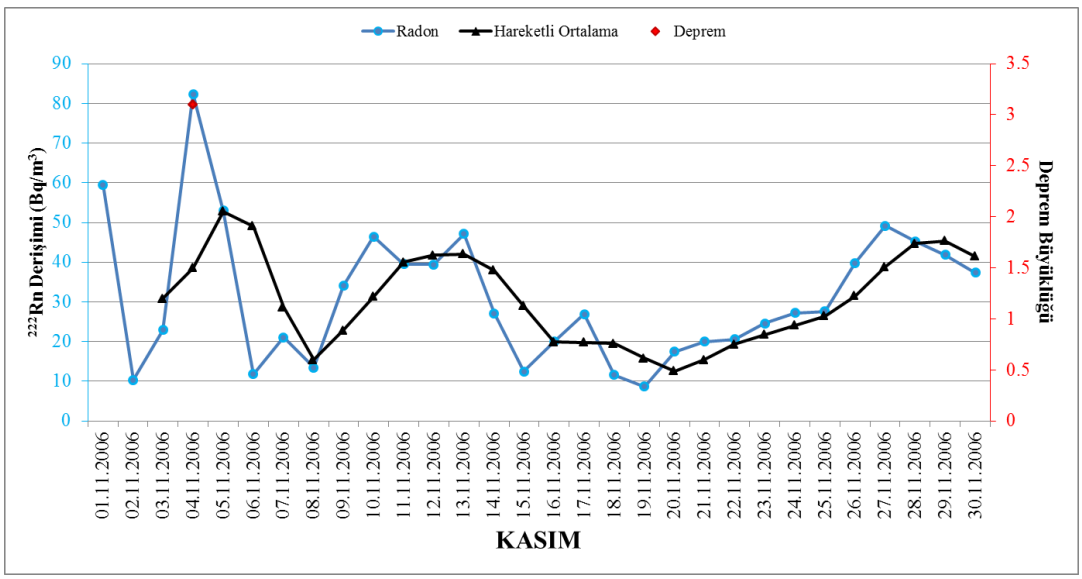




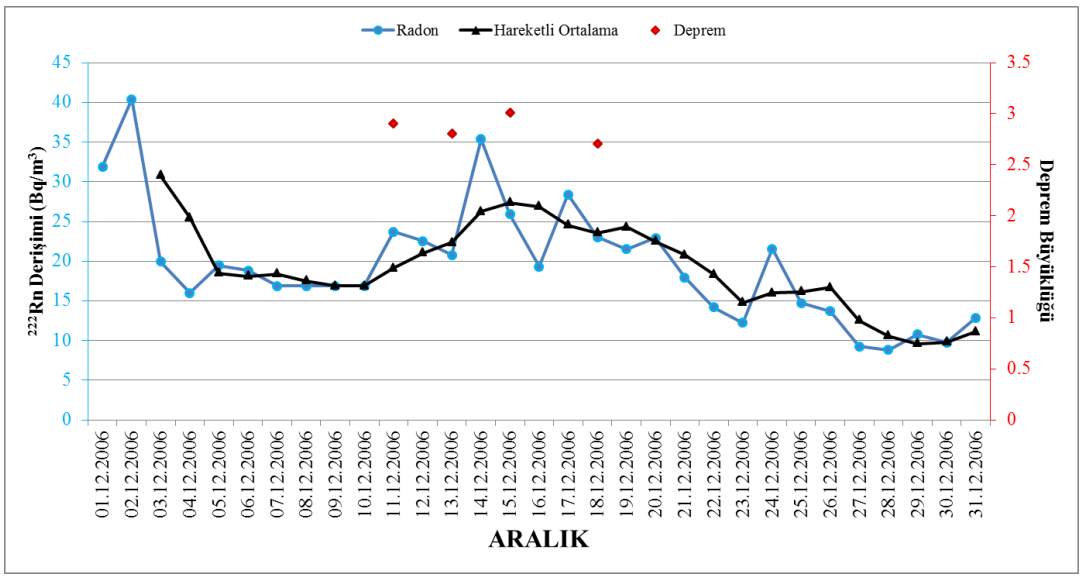
Ek 8 Şekil 3. Sivrice istasyonu 2006 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

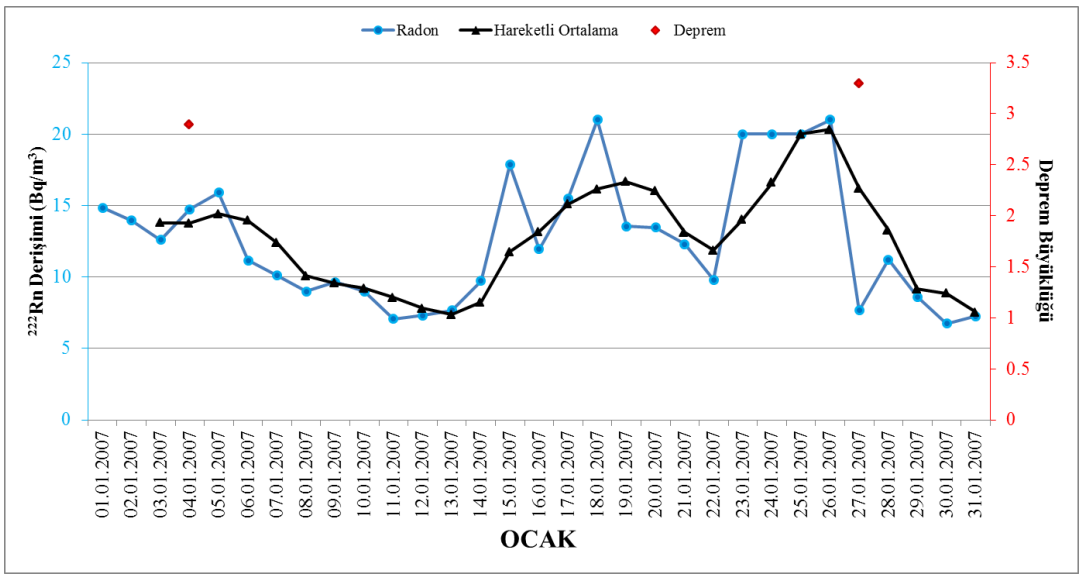


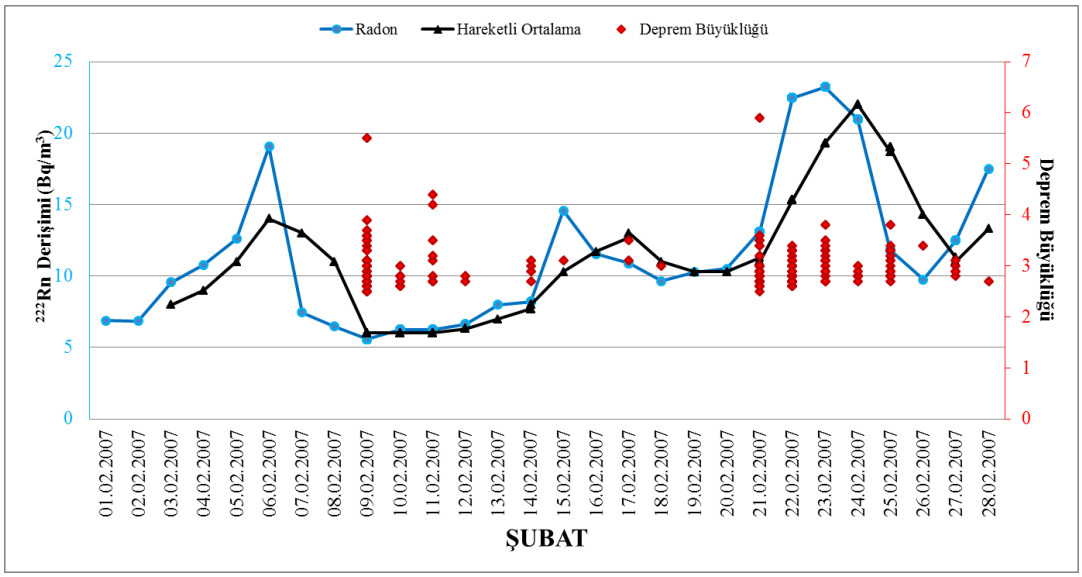




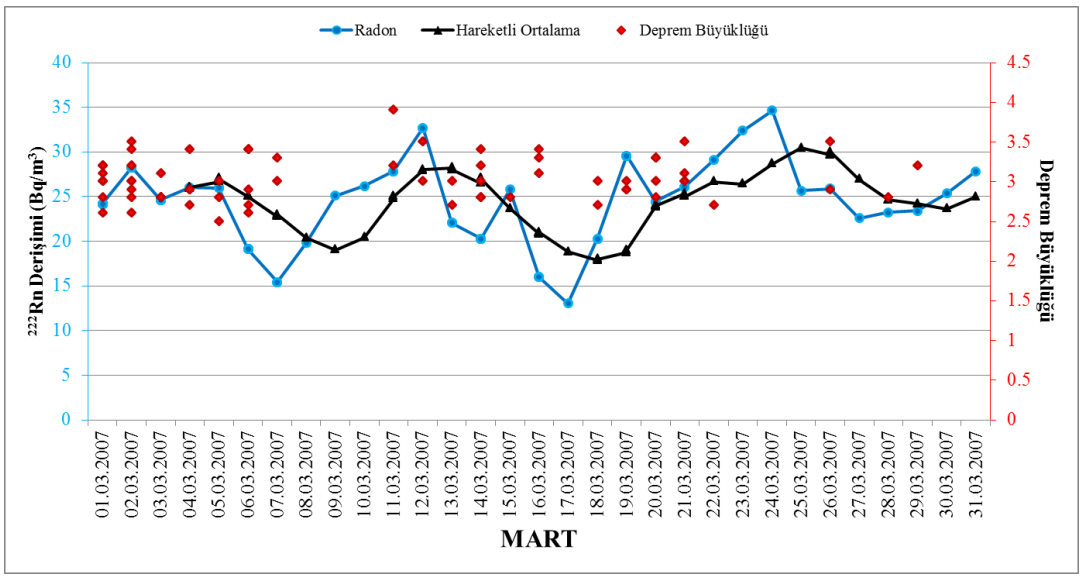
Ek 8 Şekil 4. Sivrice istasyonu 2006 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

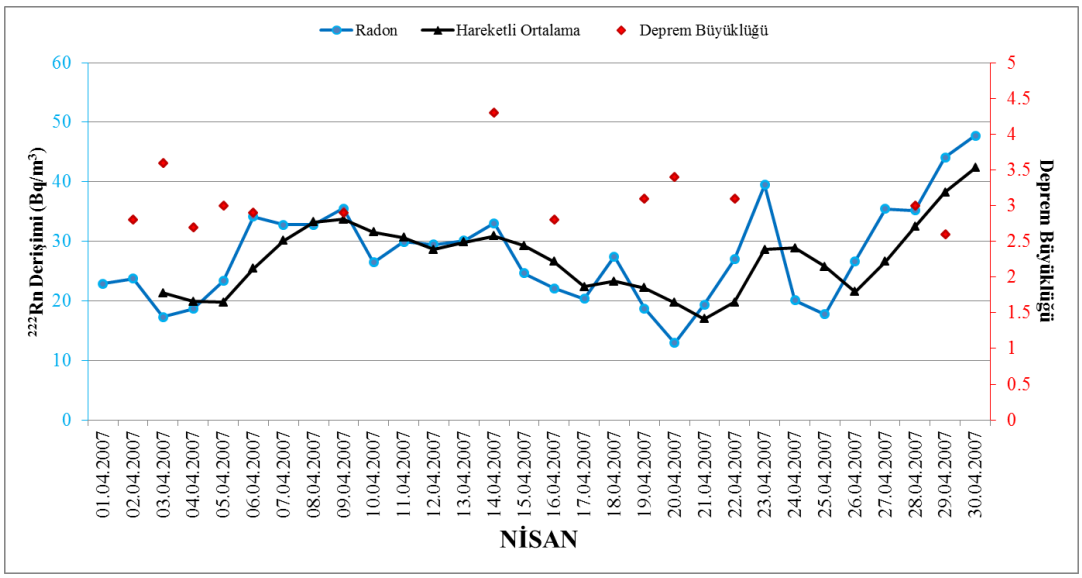


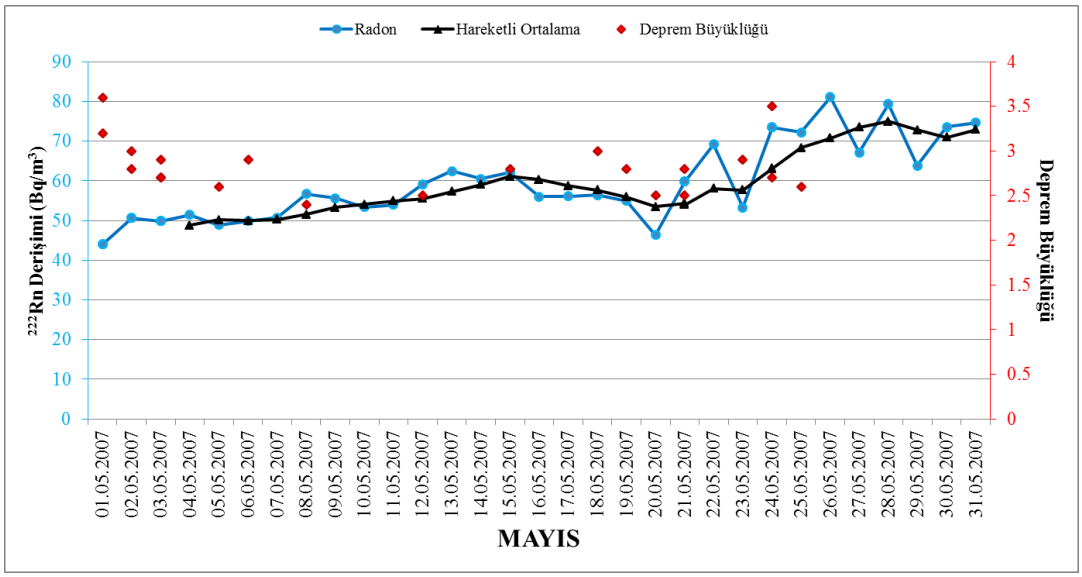




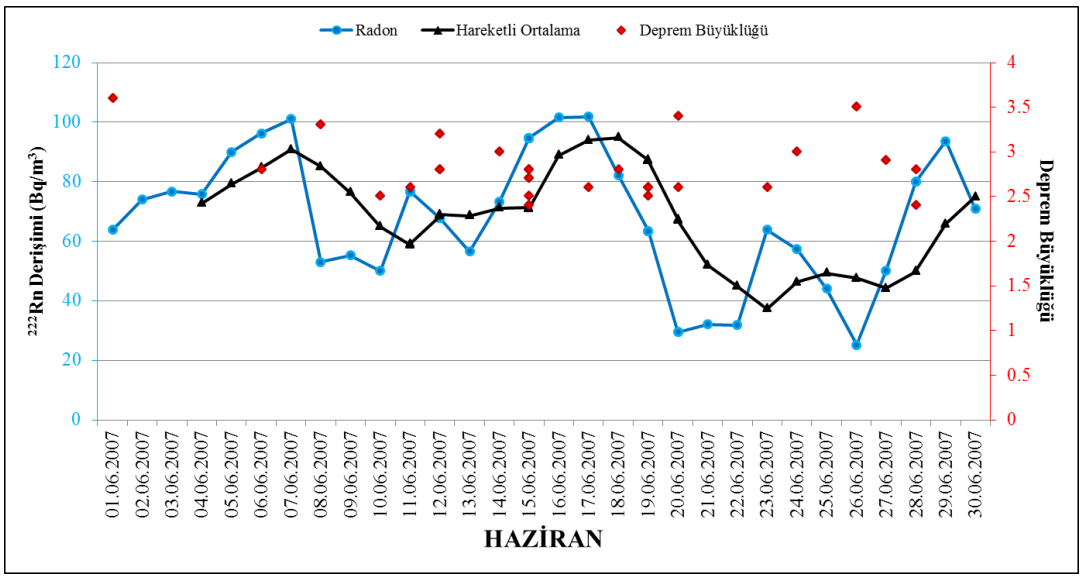
Ek 8 Şekil 5. Sivrice istasyonu 2007 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

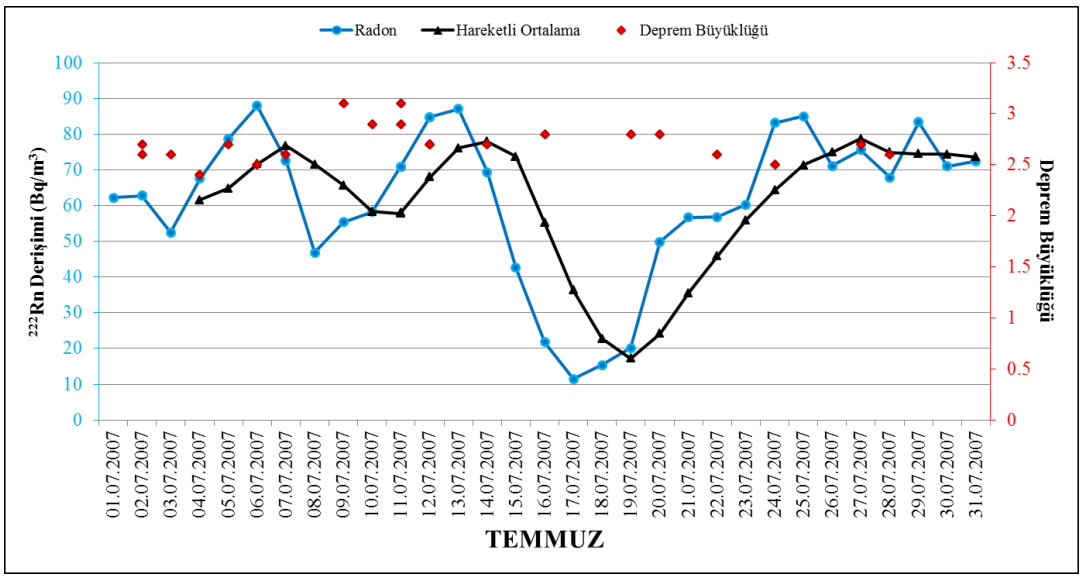


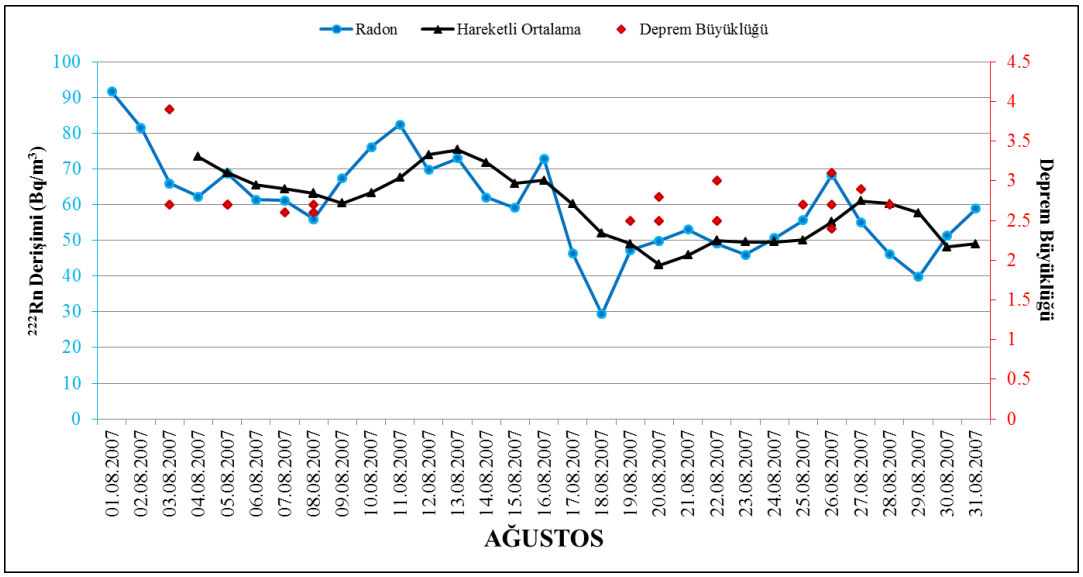




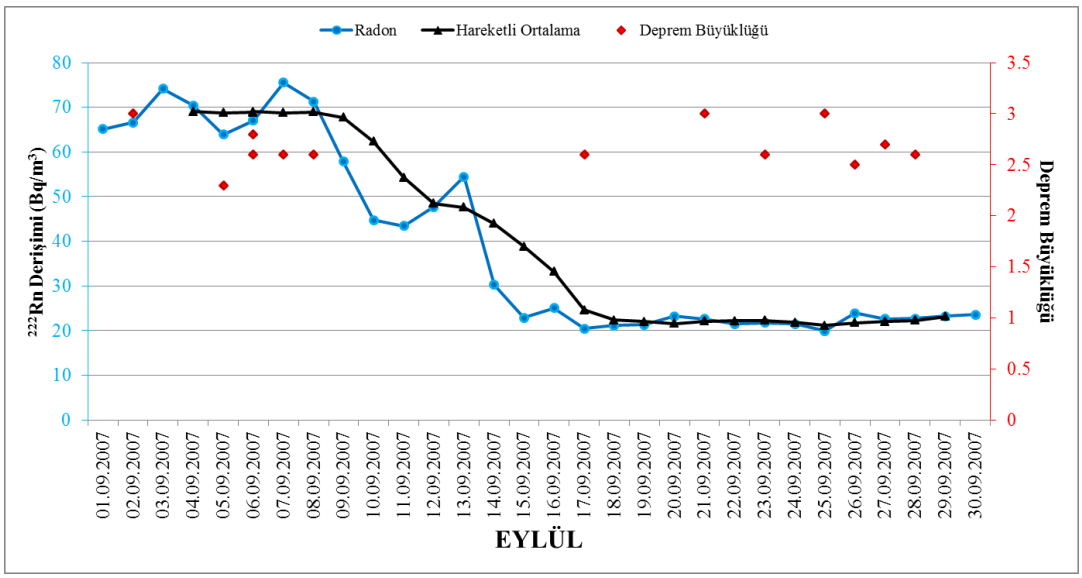
Ek 8 Şekil 6. Sivrice istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

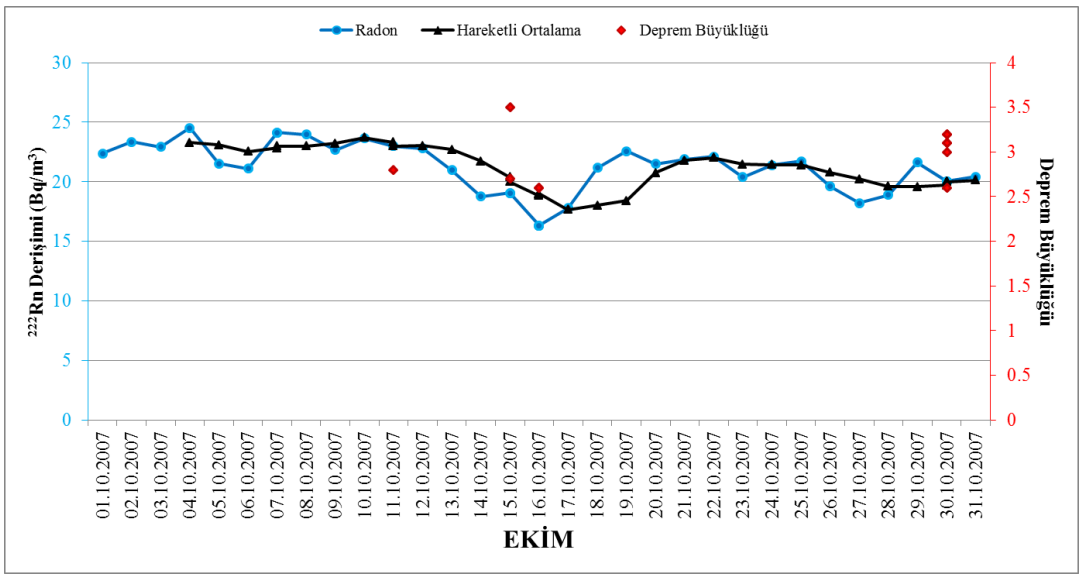


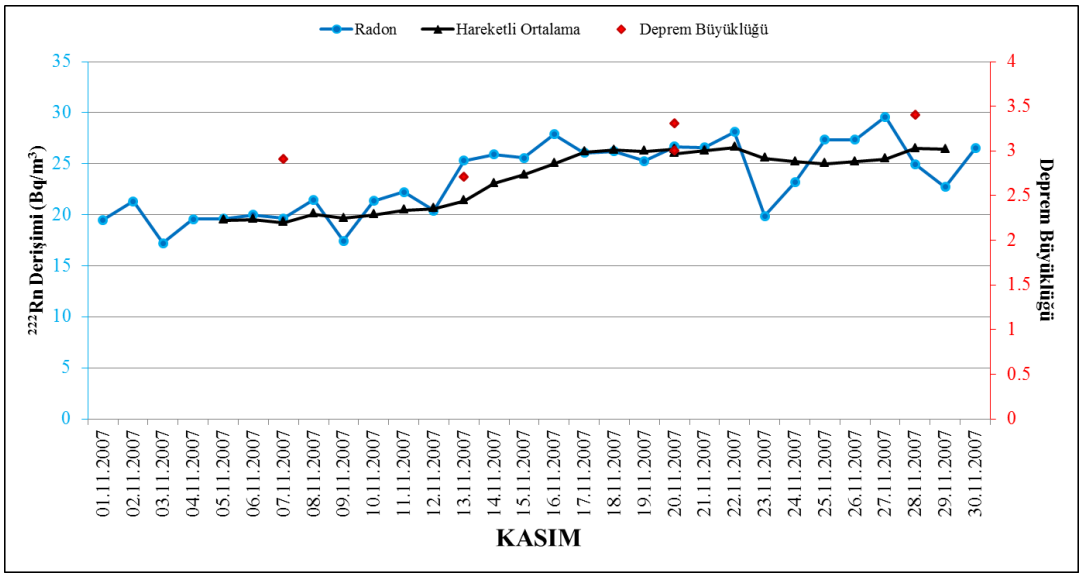




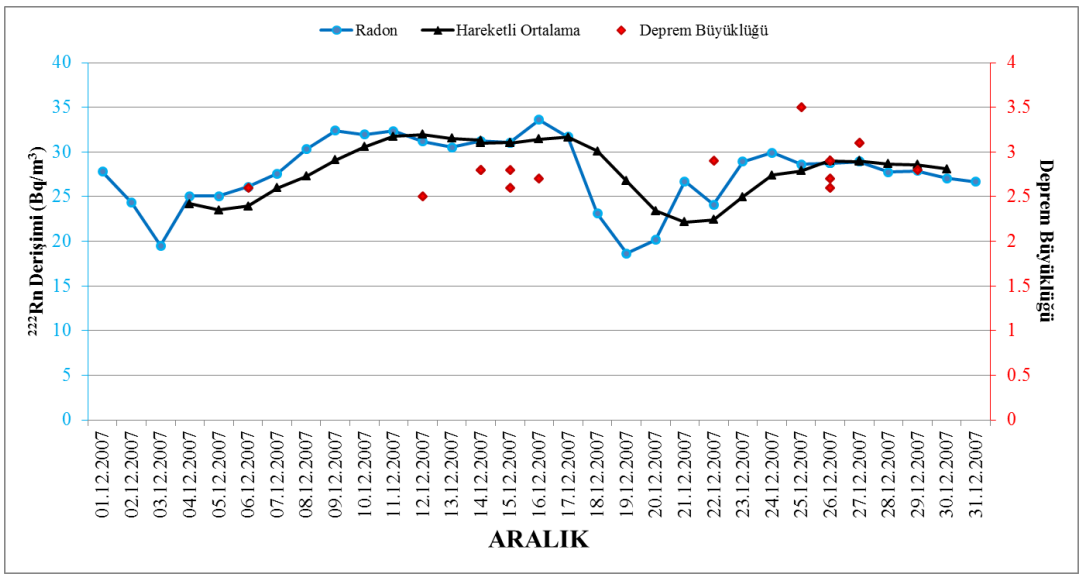
Ek 8 Şekil 7. Sivrice istasyonu 2007 yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

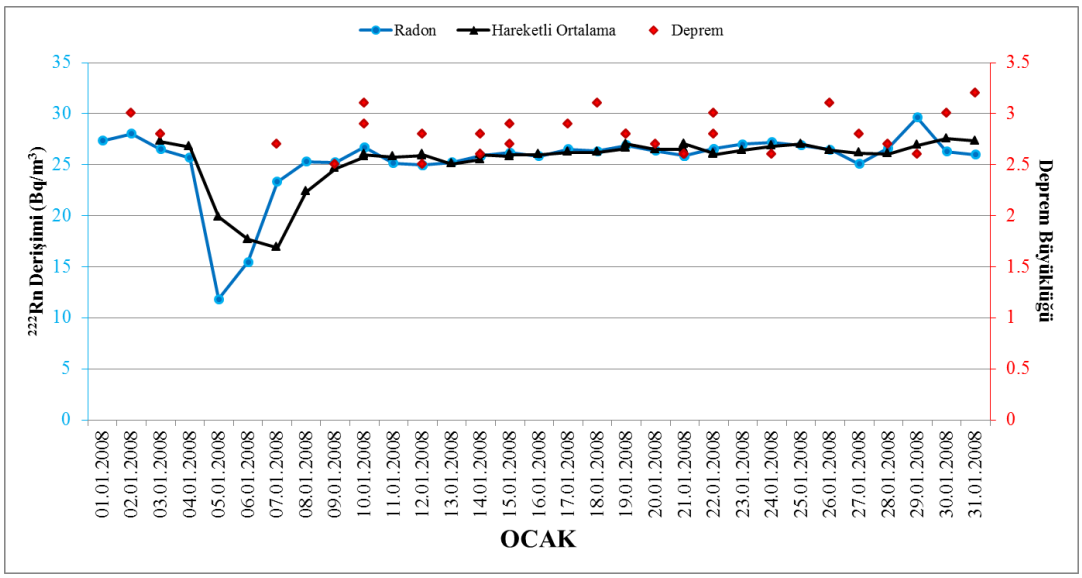


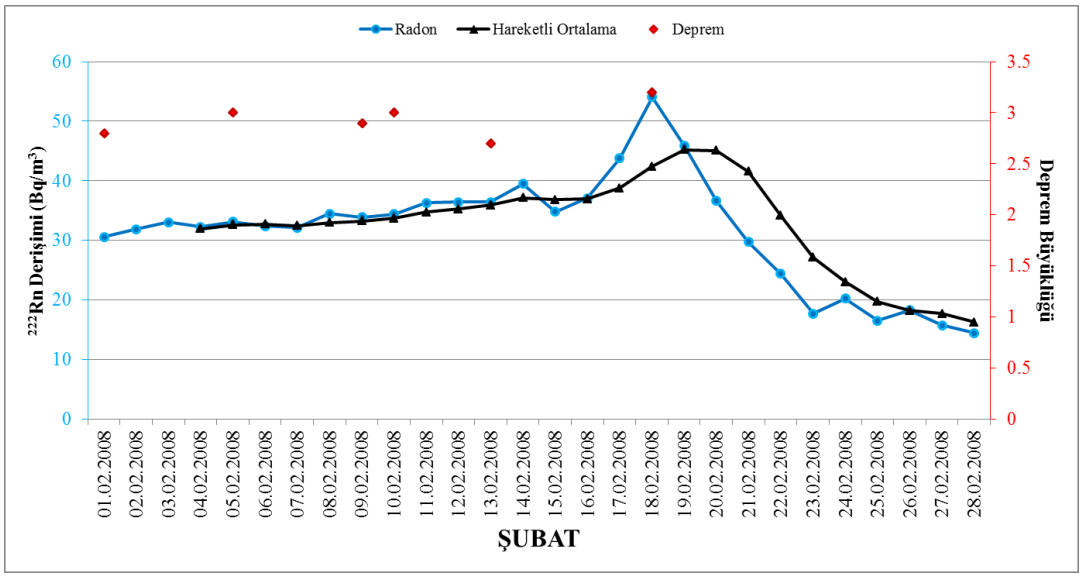




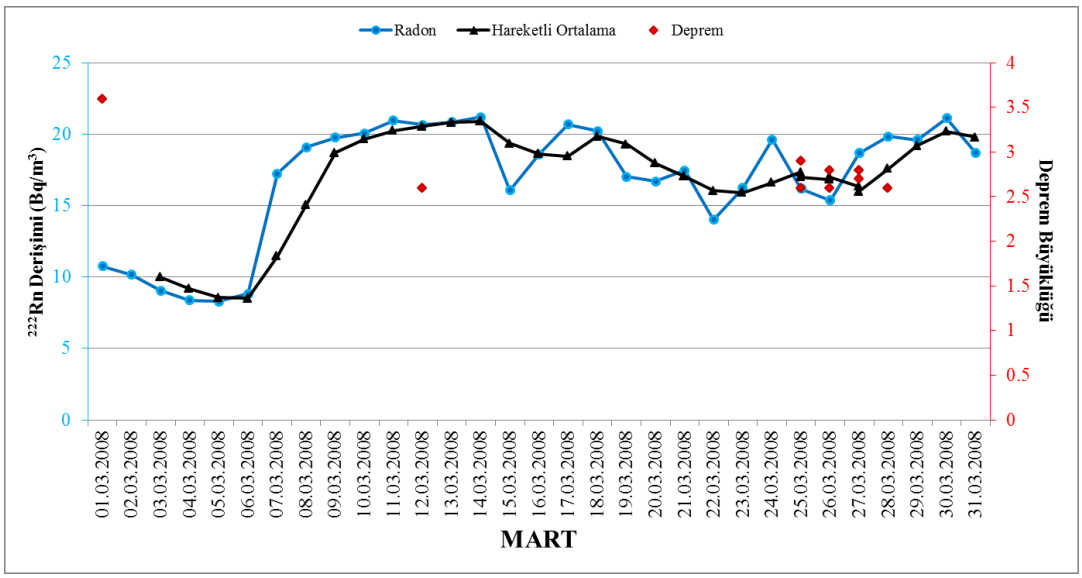
Ek 8 Şekil 8. Sivrice istasyonu 2007 sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

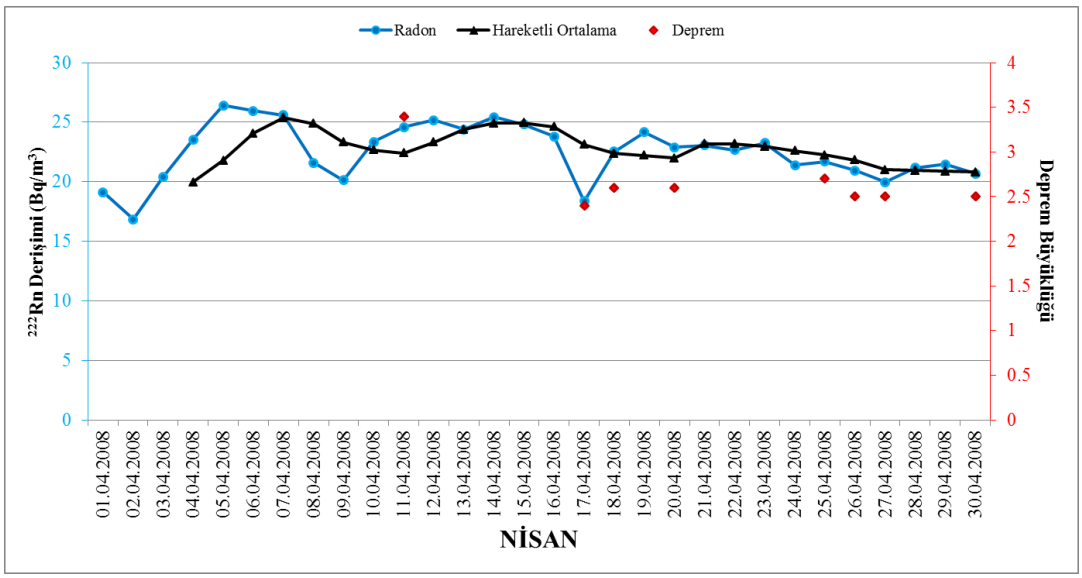


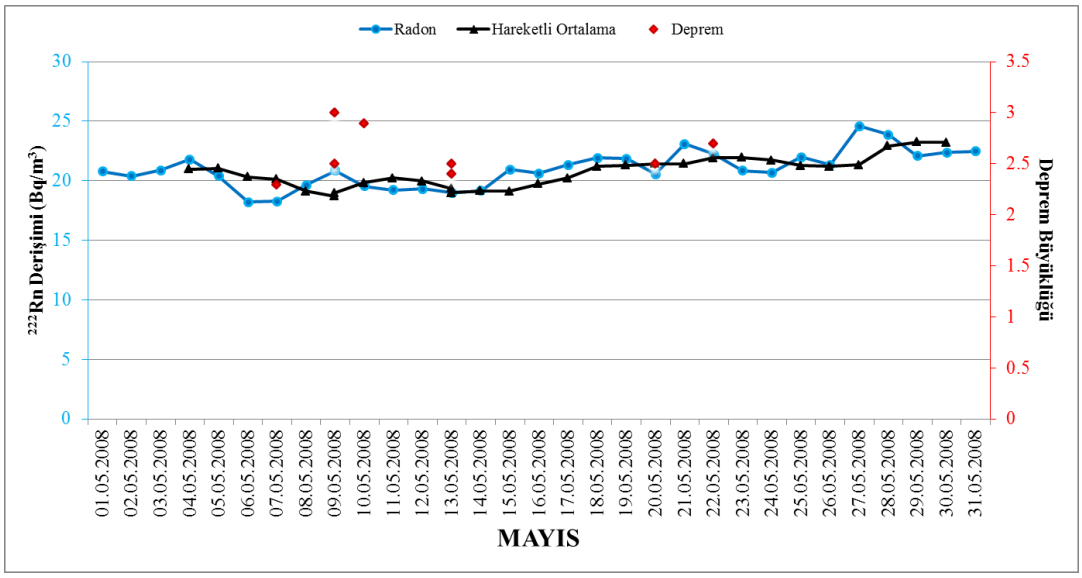




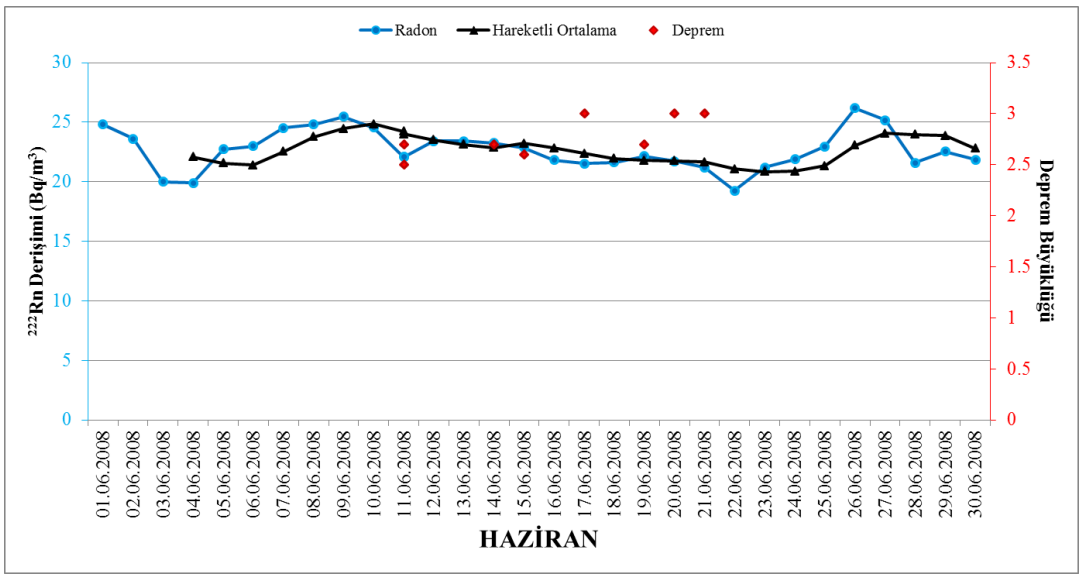
Ek 8 Şekil 9. Sivrice istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

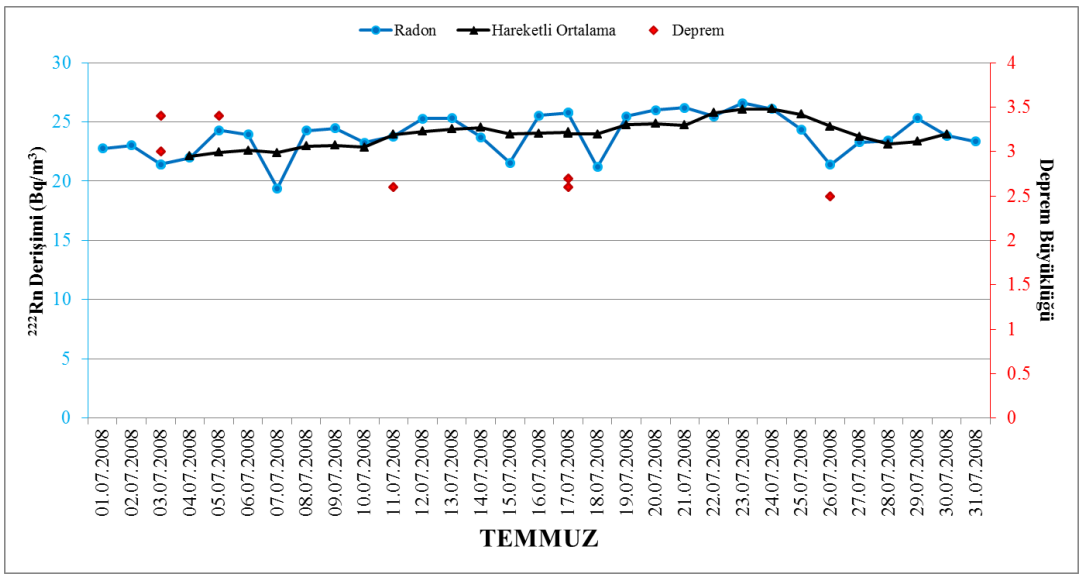


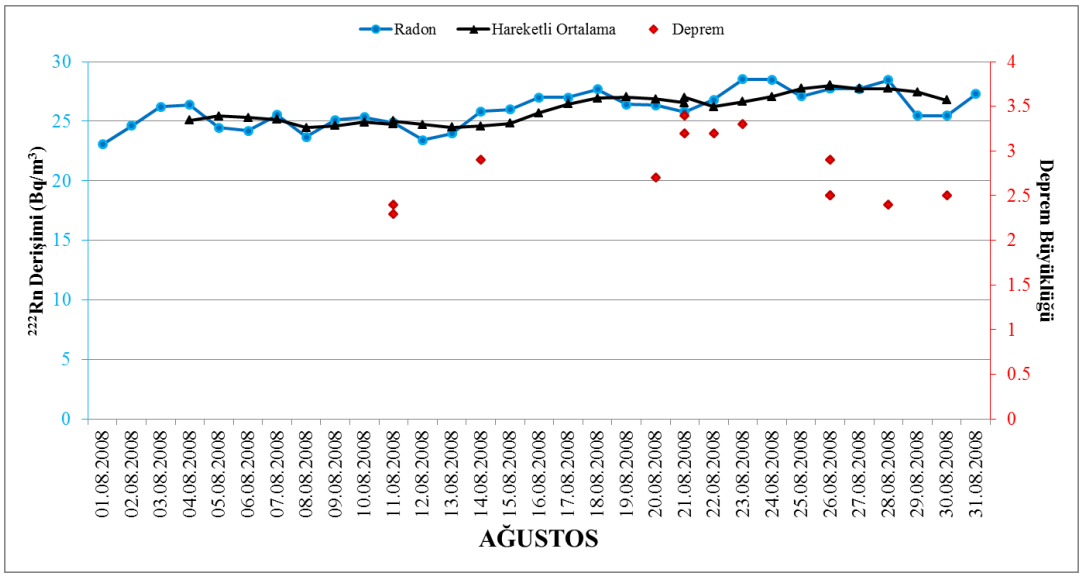




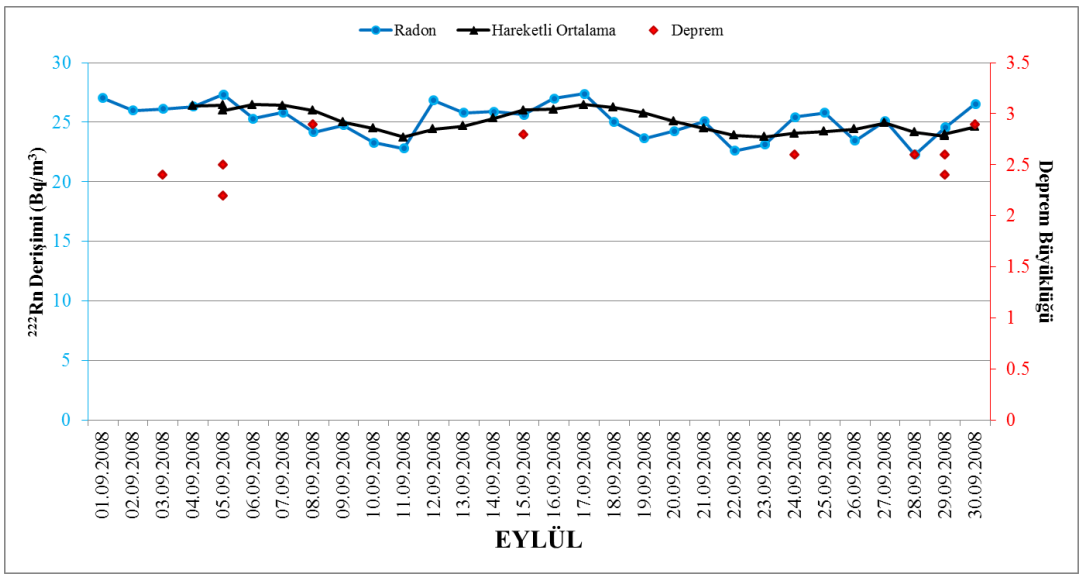
Ek 8 Şekil 10. Sivrice istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

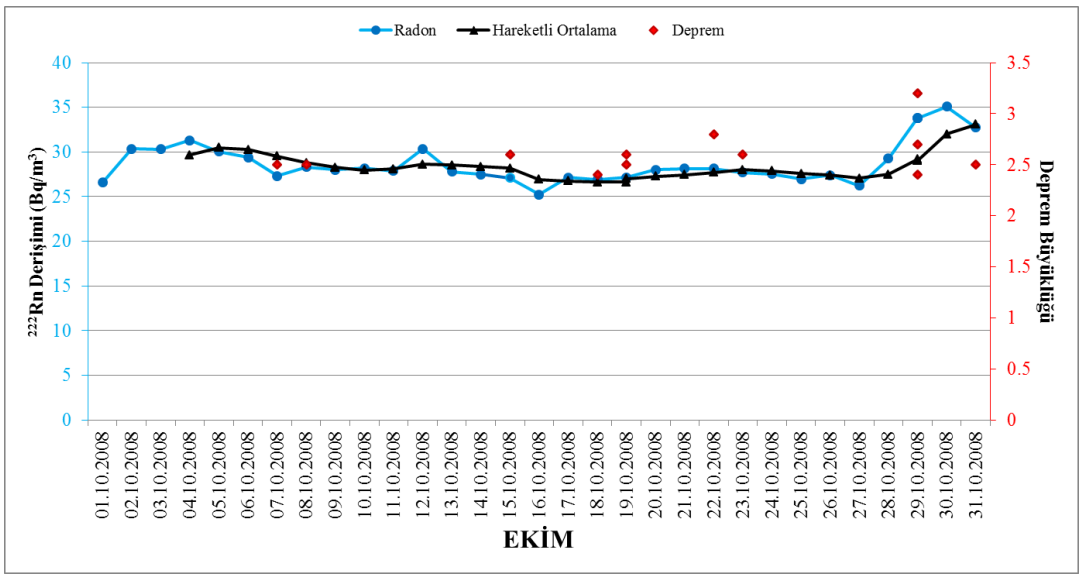


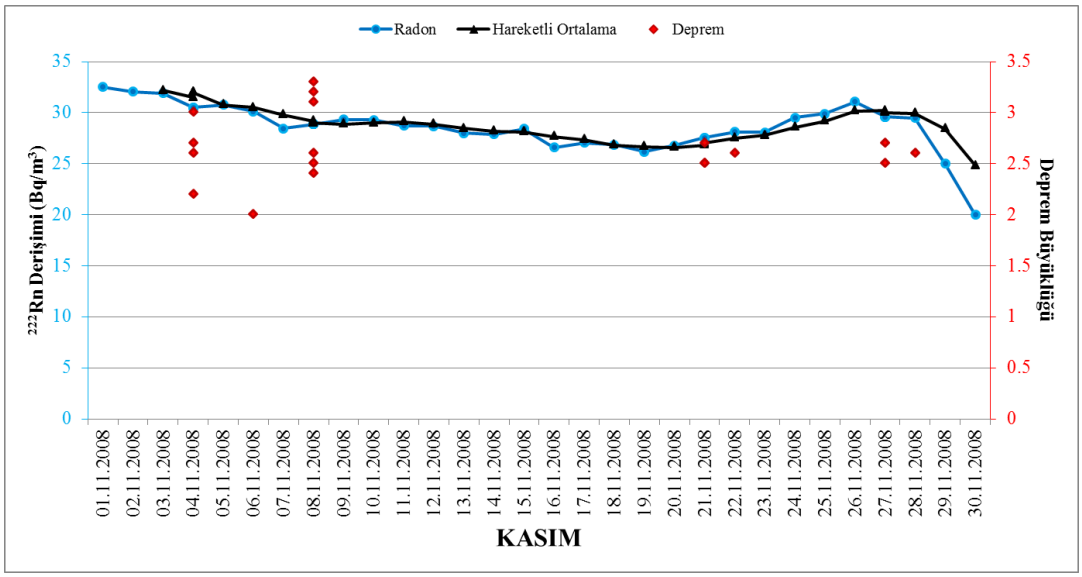




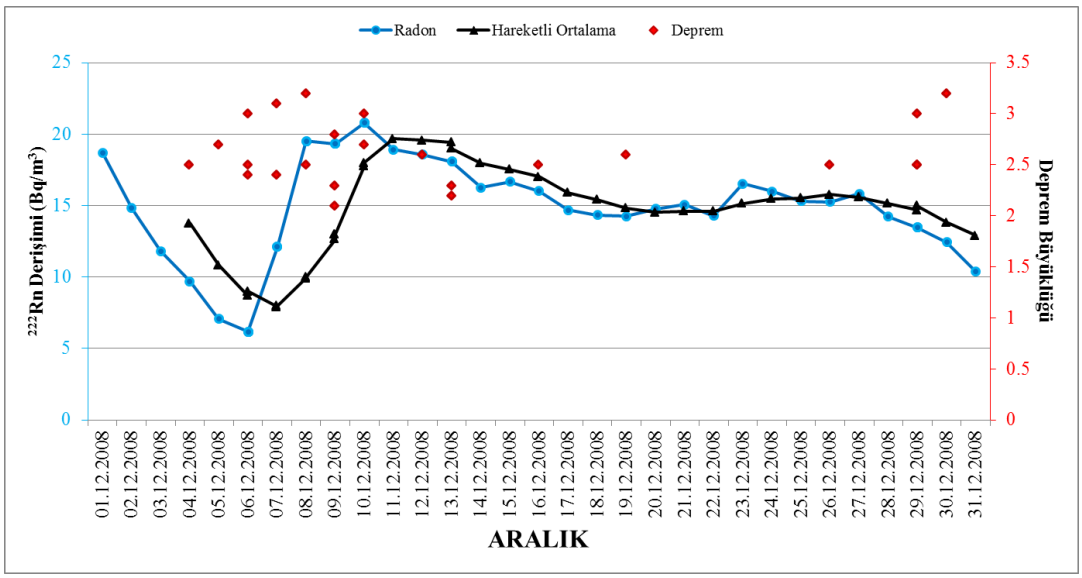
Ek 8 Şekil 11. Sivrice istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

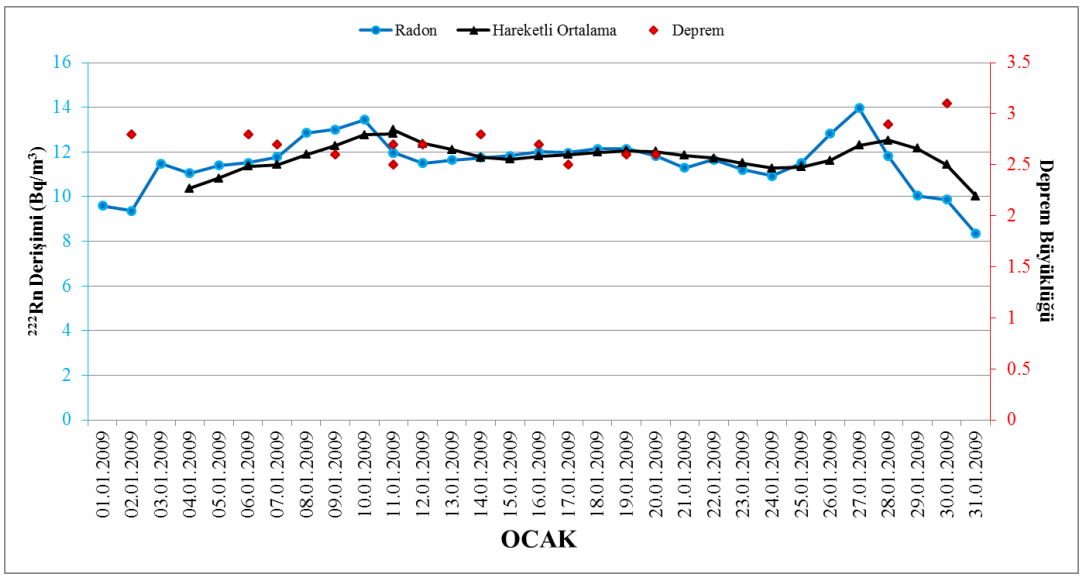


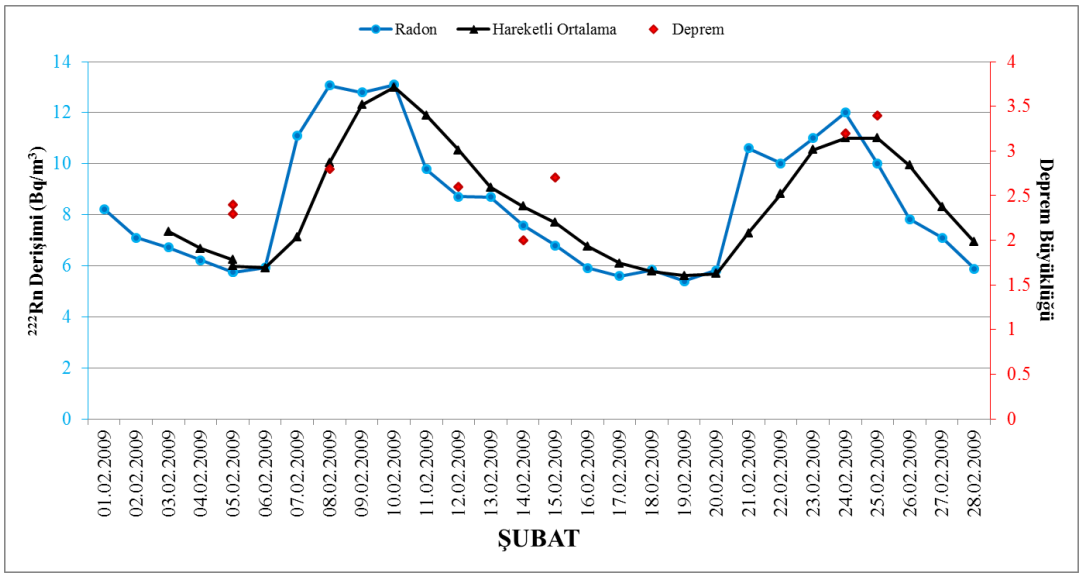




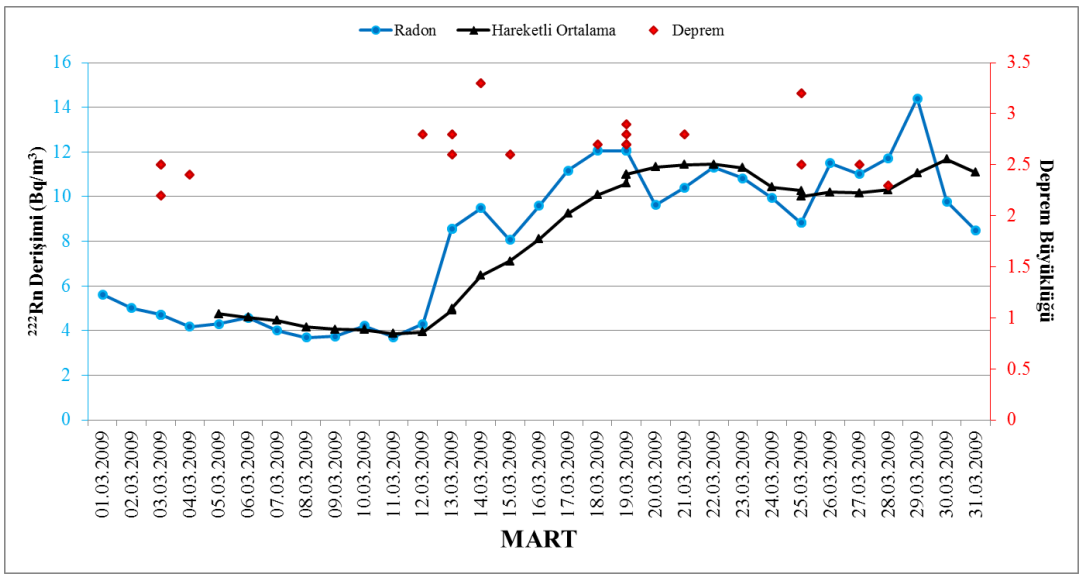
Ek 8 Şekil 12. Sivrice istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

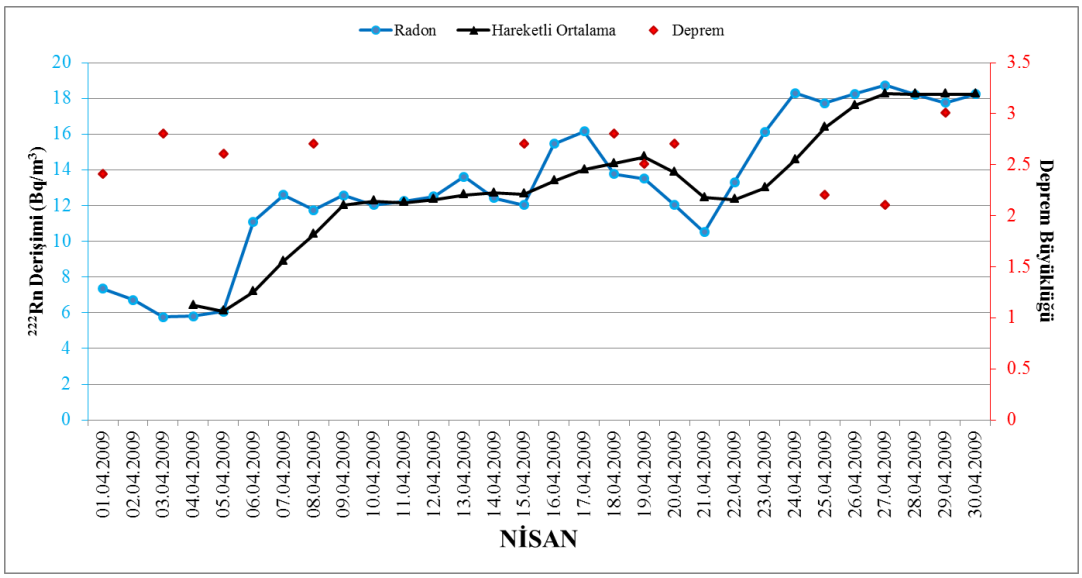


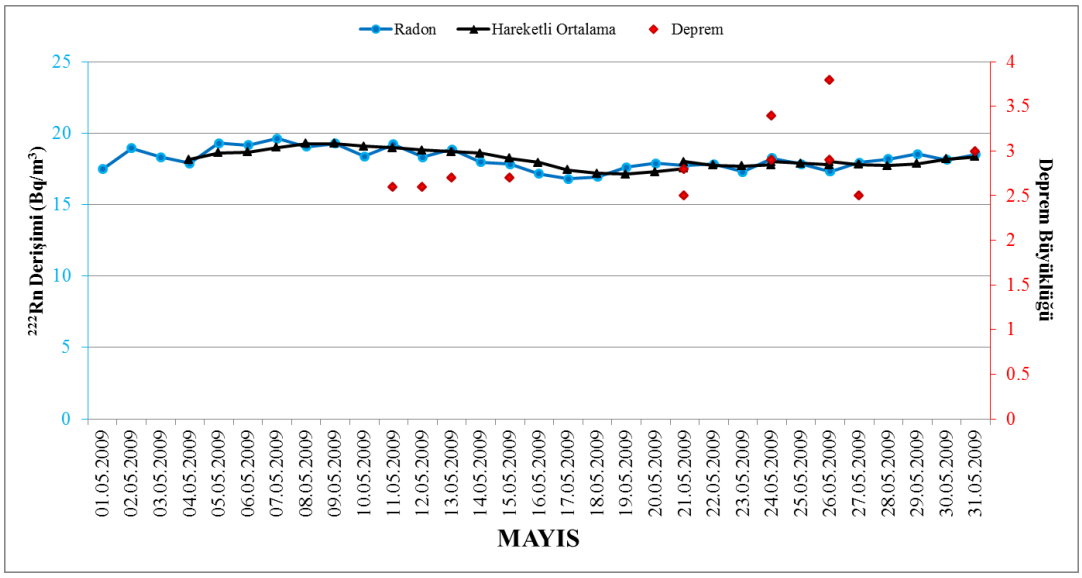




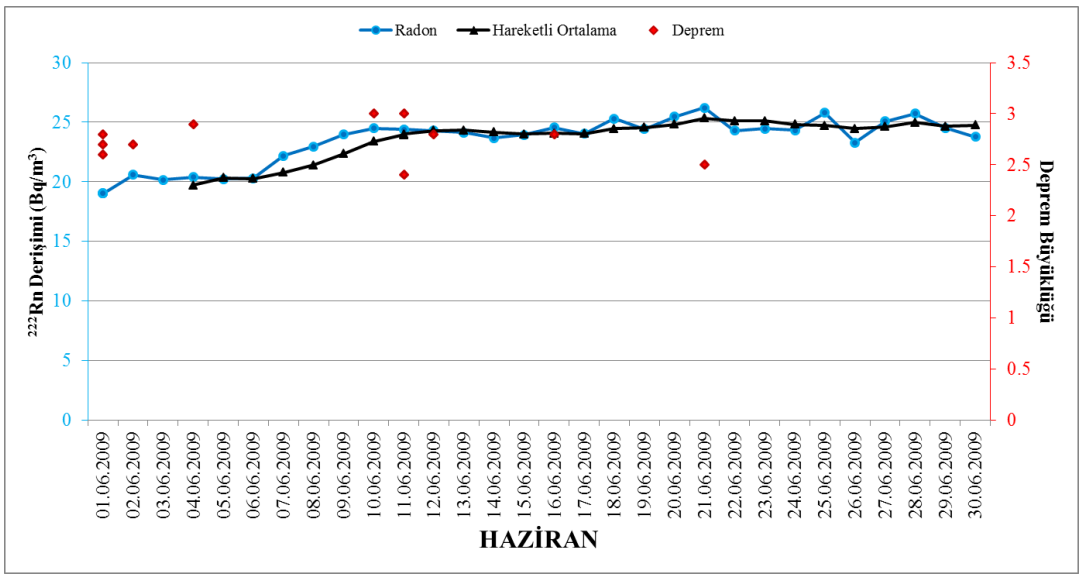
Ek 8 Şekil 13. Sivrice istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

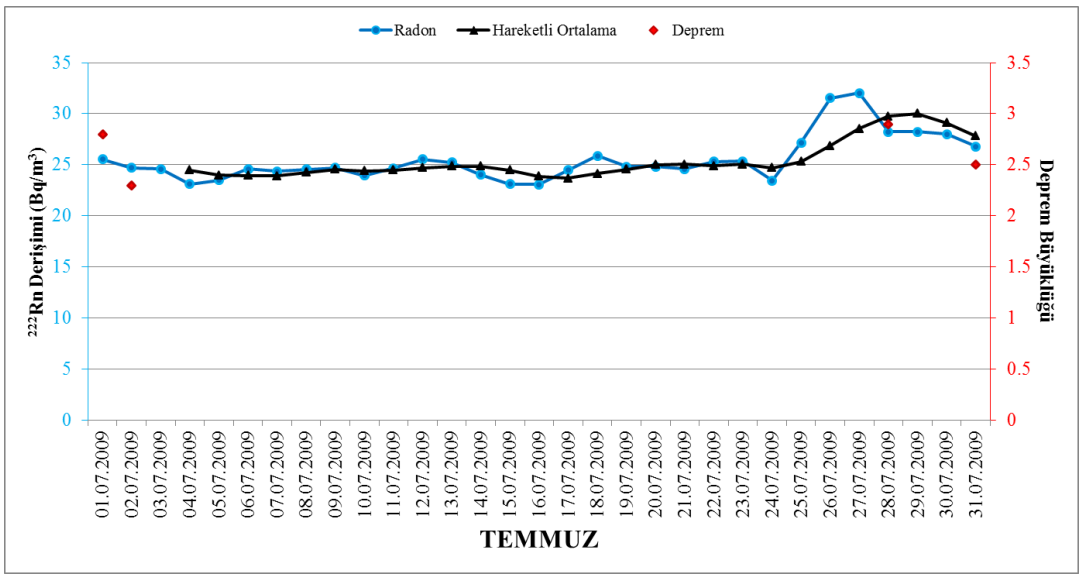


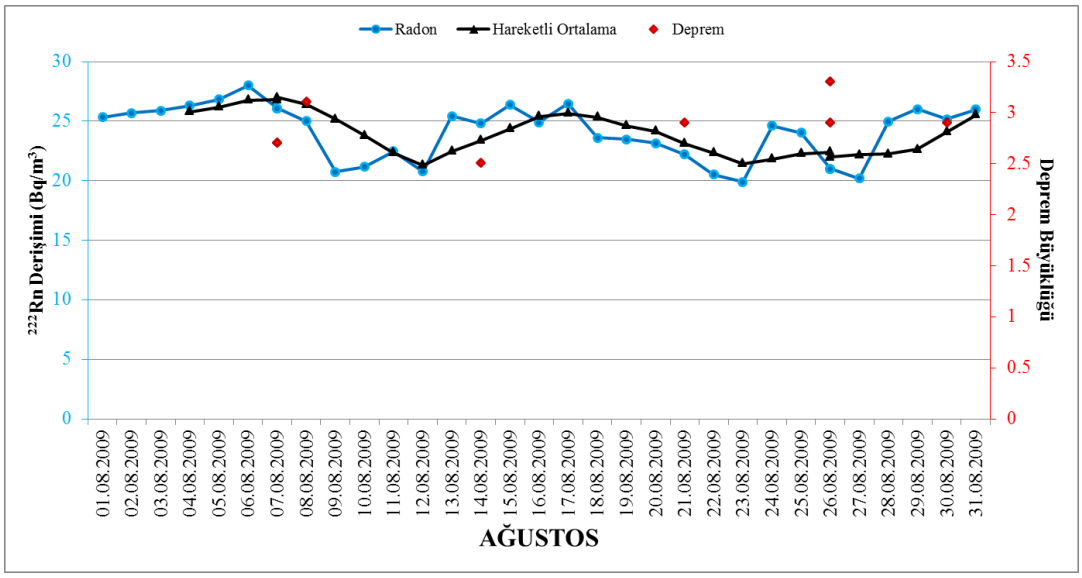




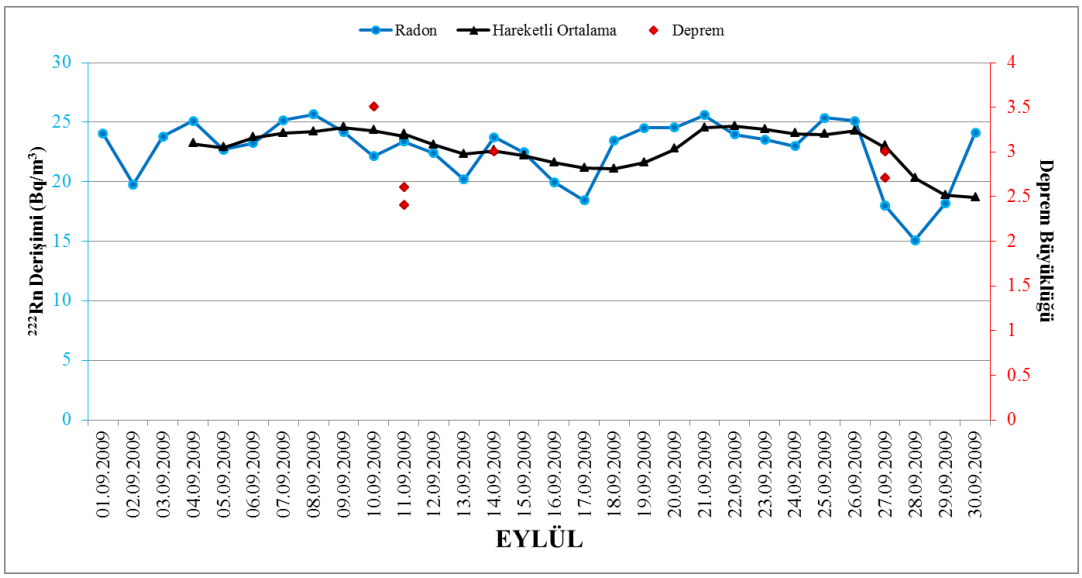
Ek 8 Şekil 14. Sivrice istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

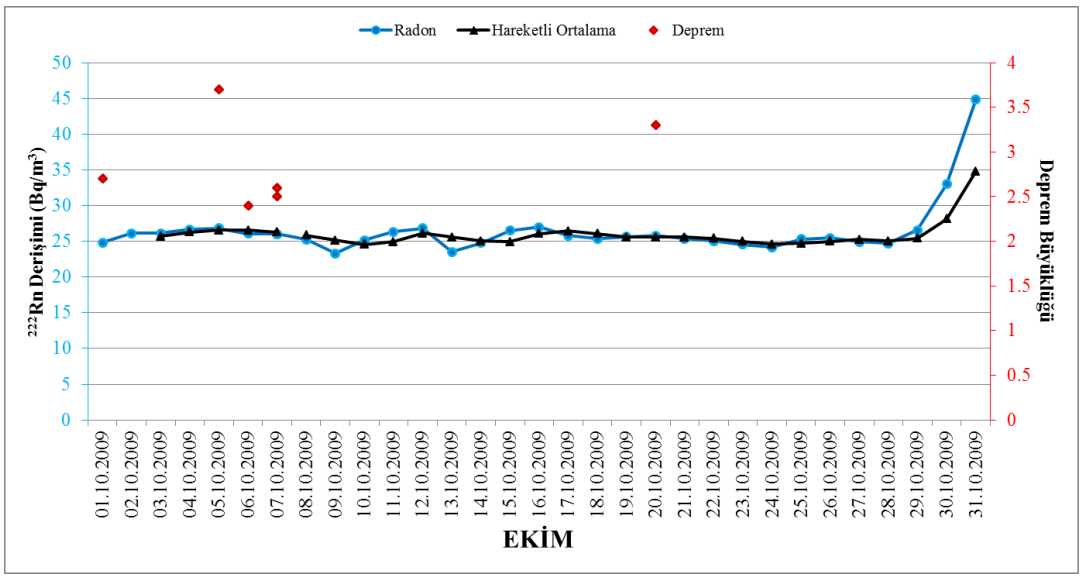


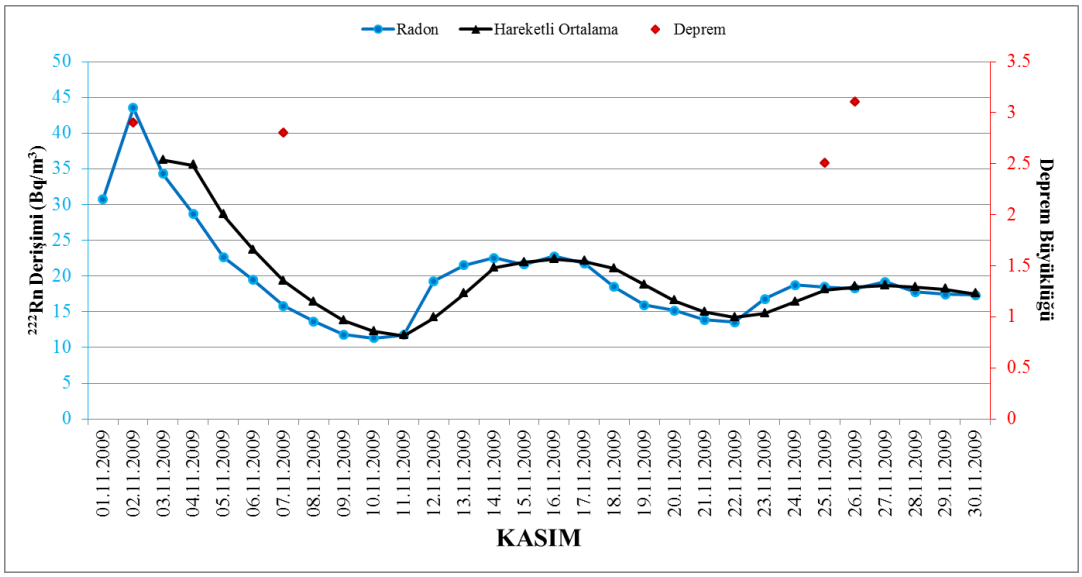




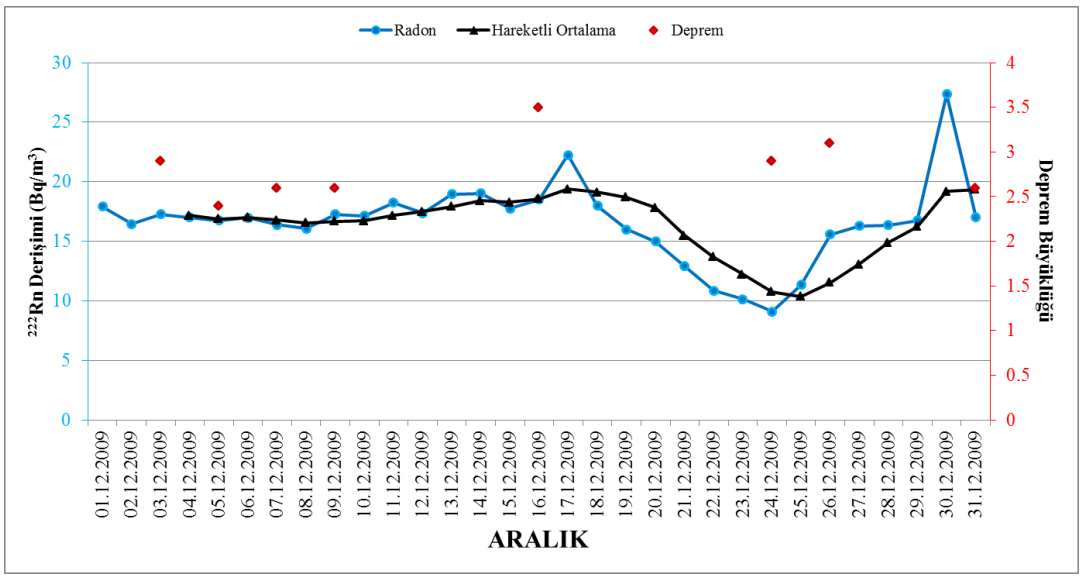
Ek 8 Şekil 15. Sivrice istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi







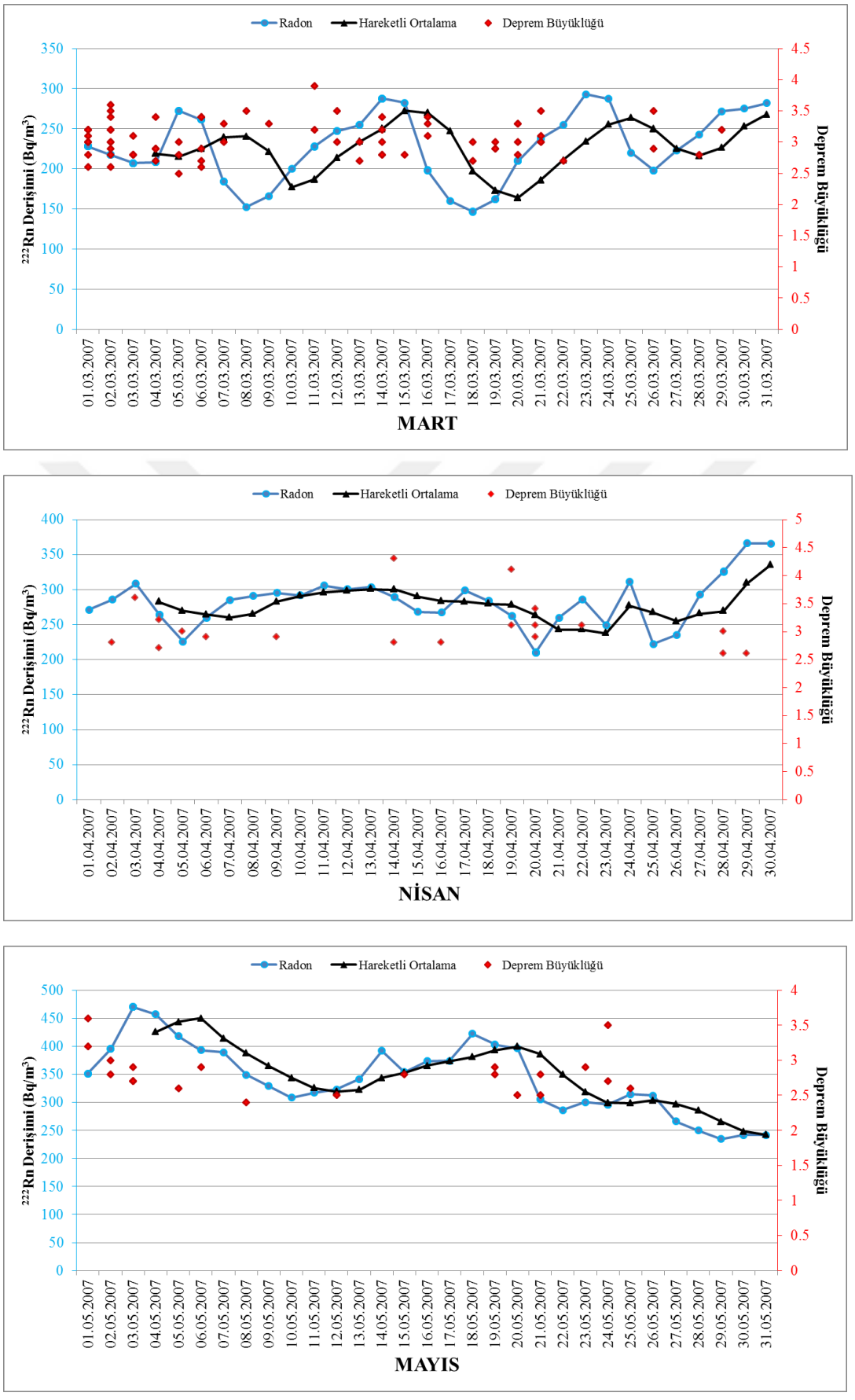
Ek 8 Şekil 16. Sivrice istasyonu 2009 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



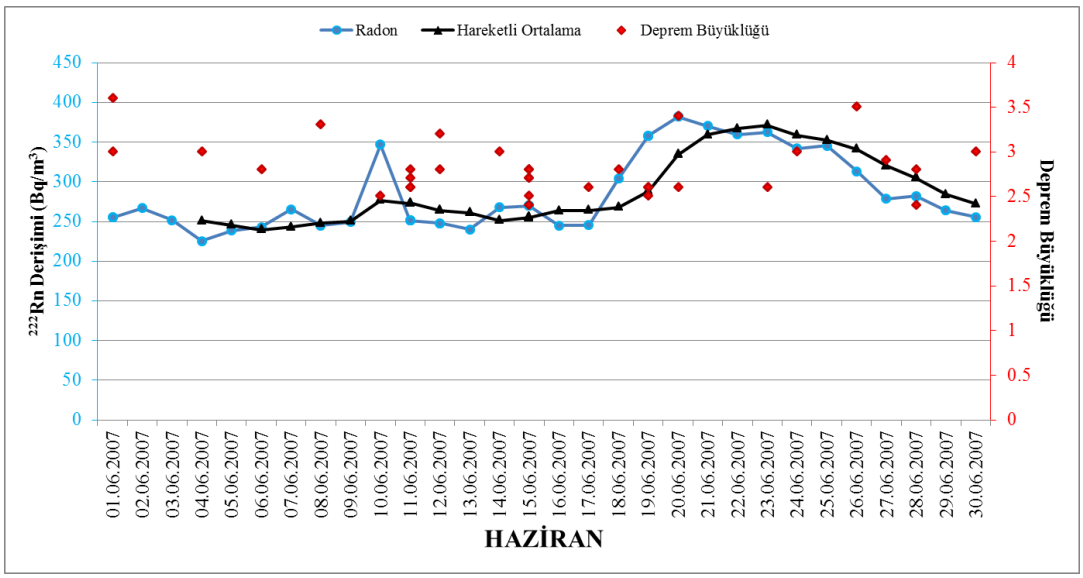
Ek 8 Şekil 17. Sivrice istasyonu 2009 yılı aralık ayı ^{222}Rn ve deprem değişimi

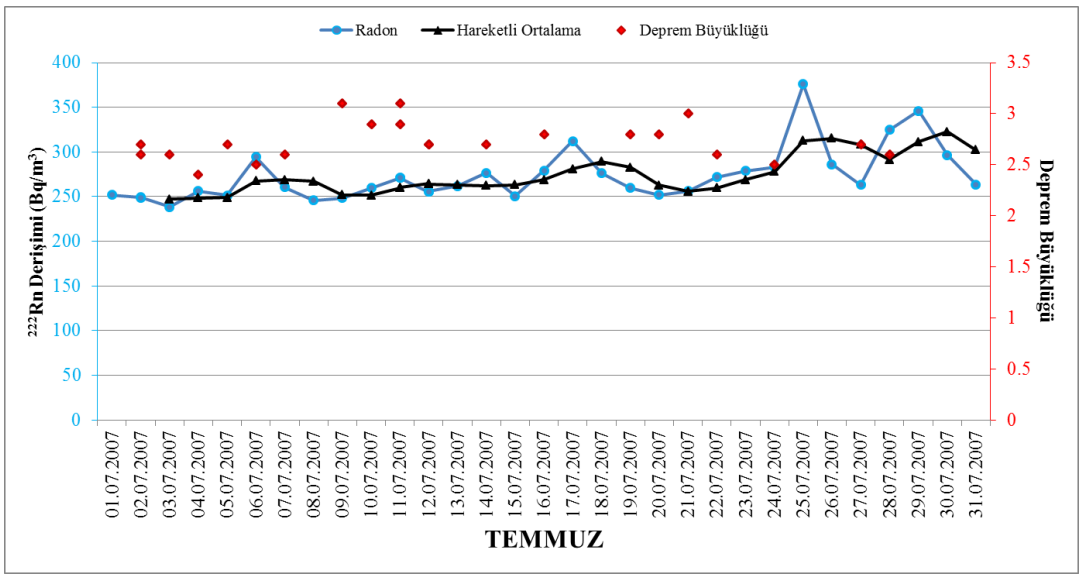
EK 9

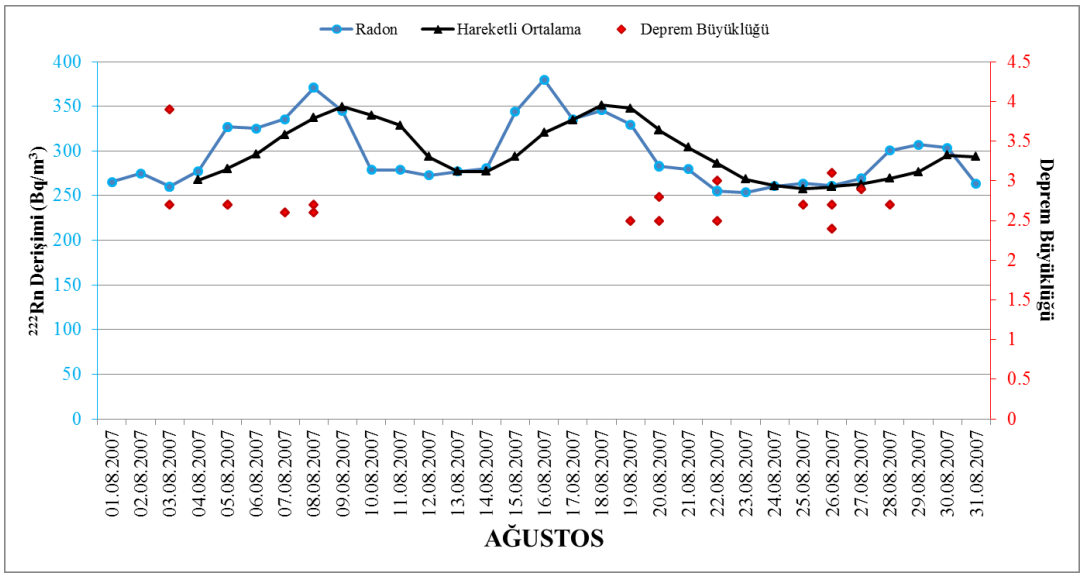
Soğukpınar istasyonu için ^{222}Rn gazı ve Depremlerin Mevsimsel Değişimleri



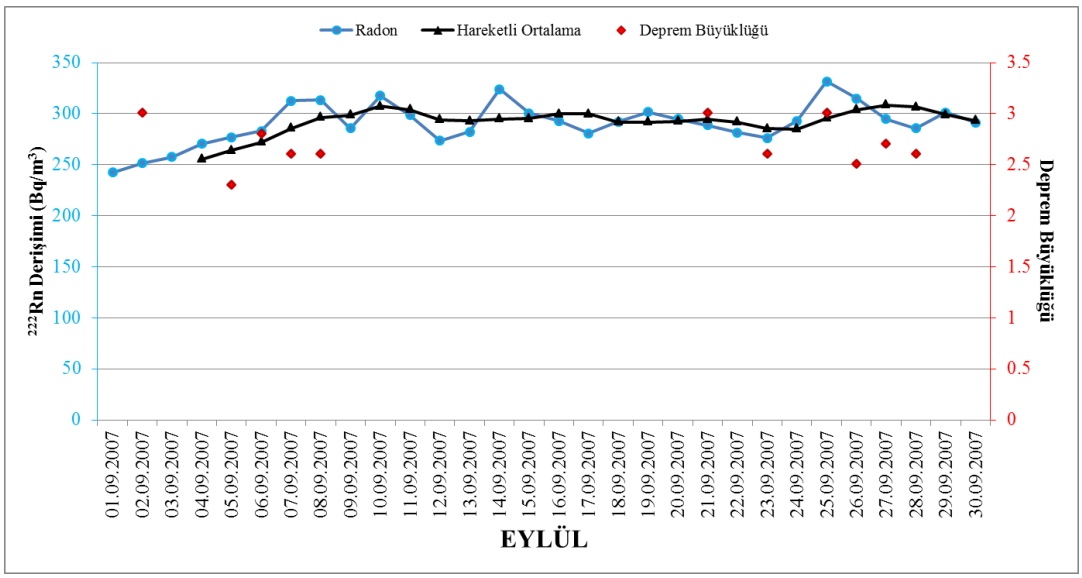
Ek 9 Şekil 1. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

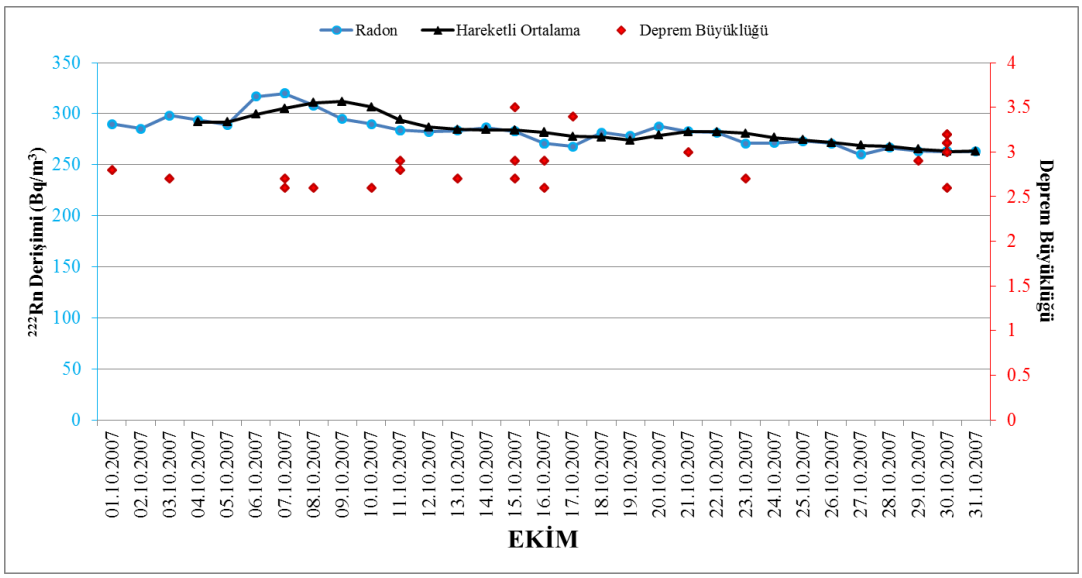


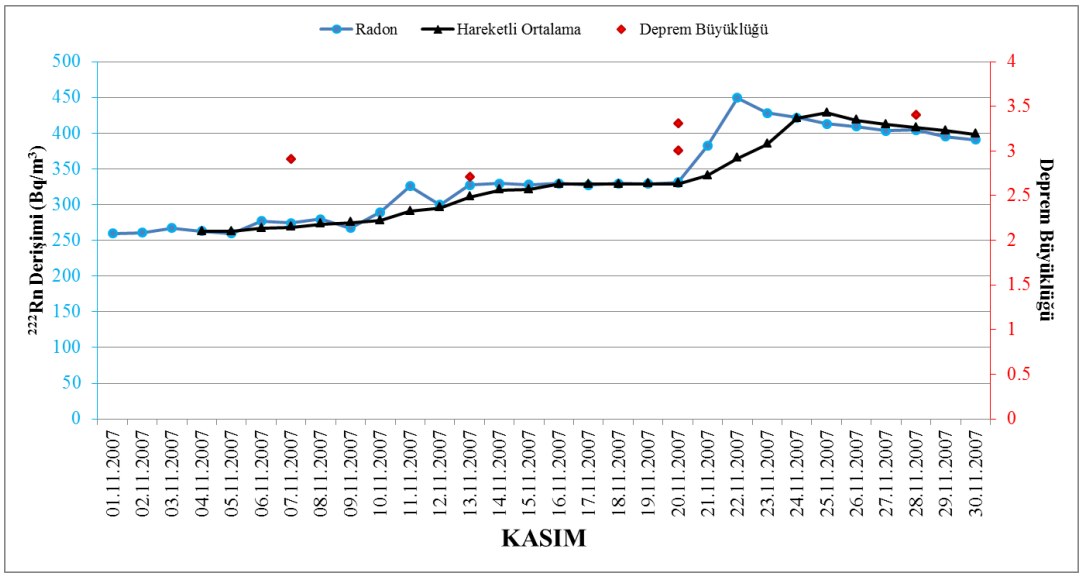




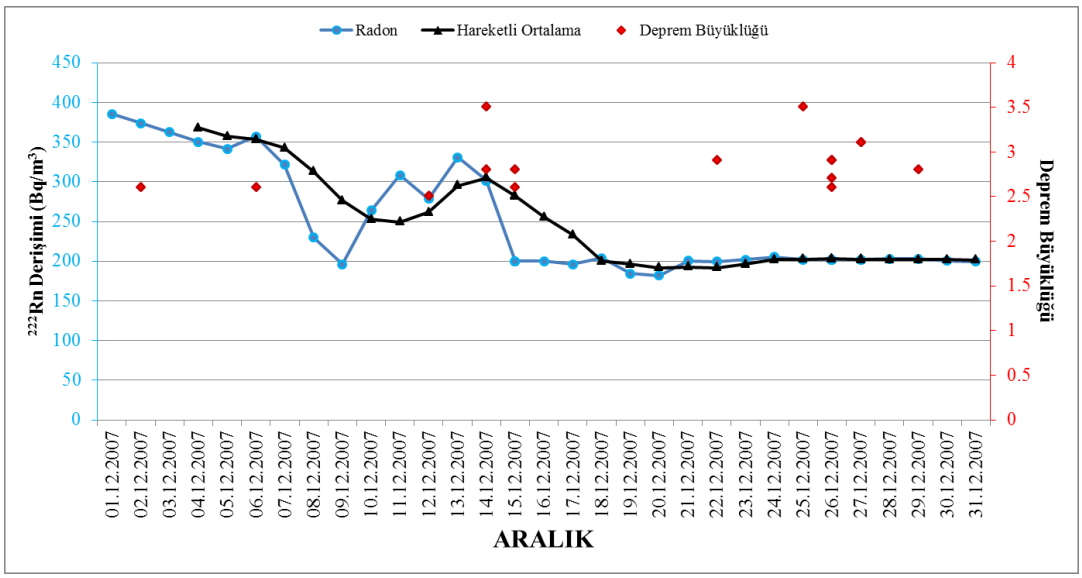
Ek 9 Şekil 2. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

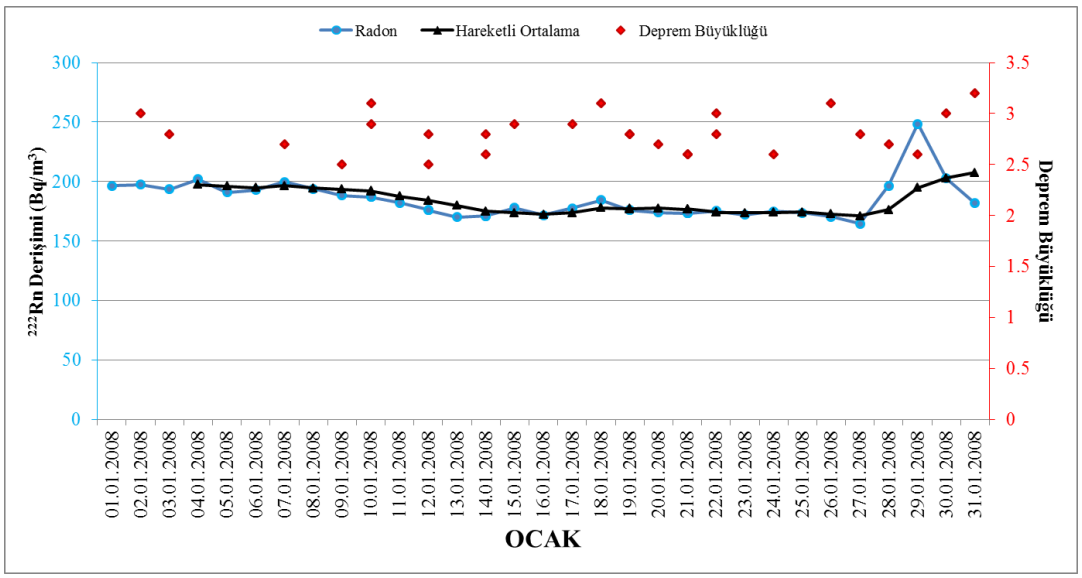


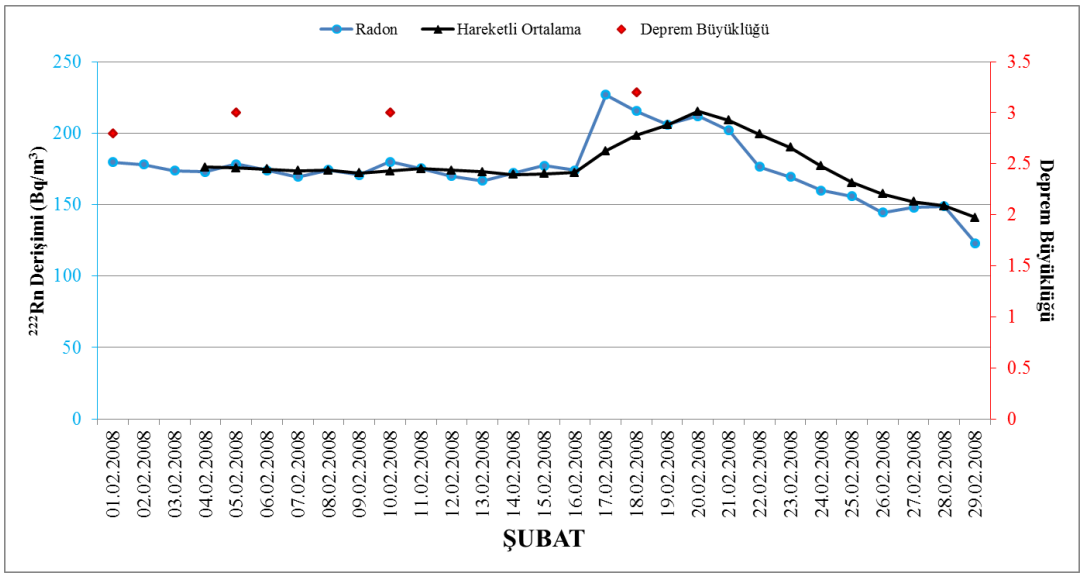




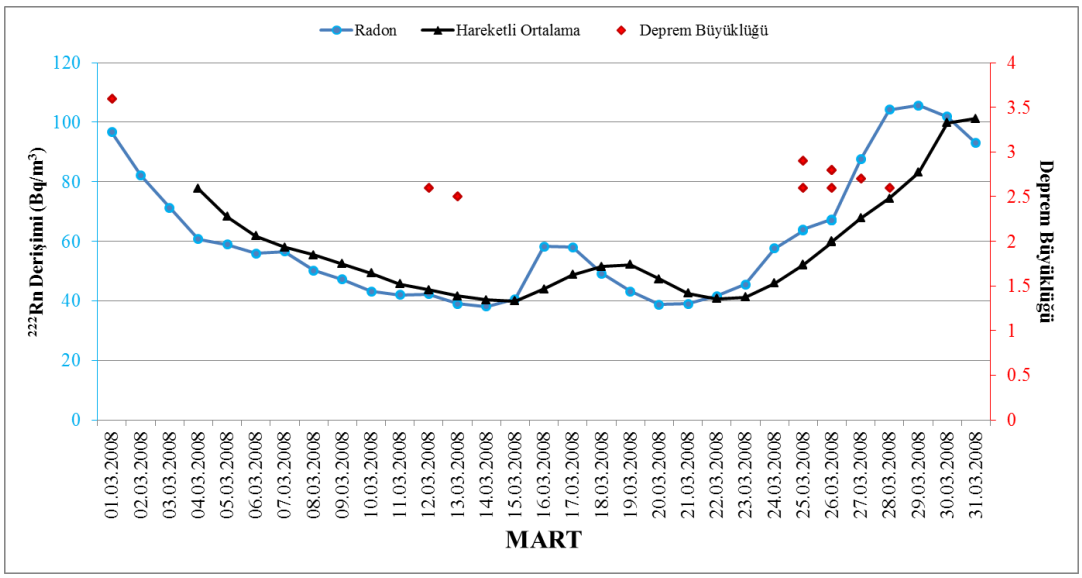
Ek 9 Şekil 3. Soğukpınar istasyonu 2007 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

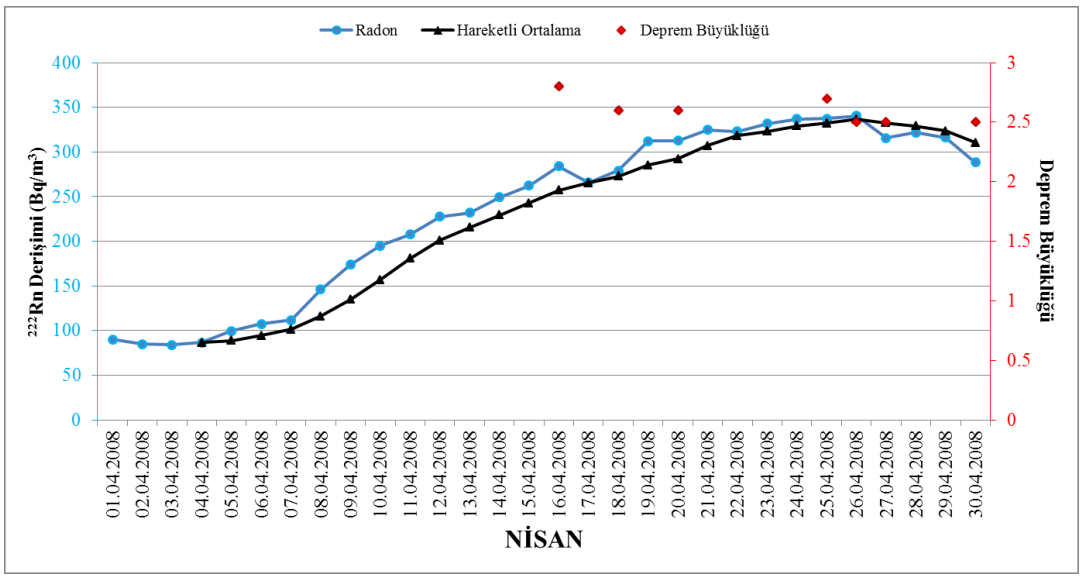


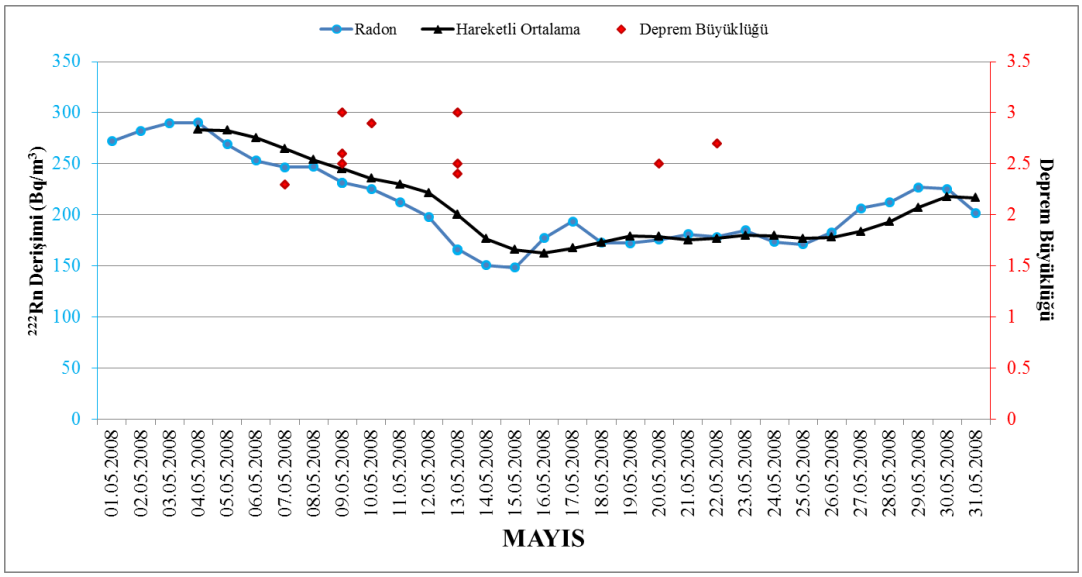




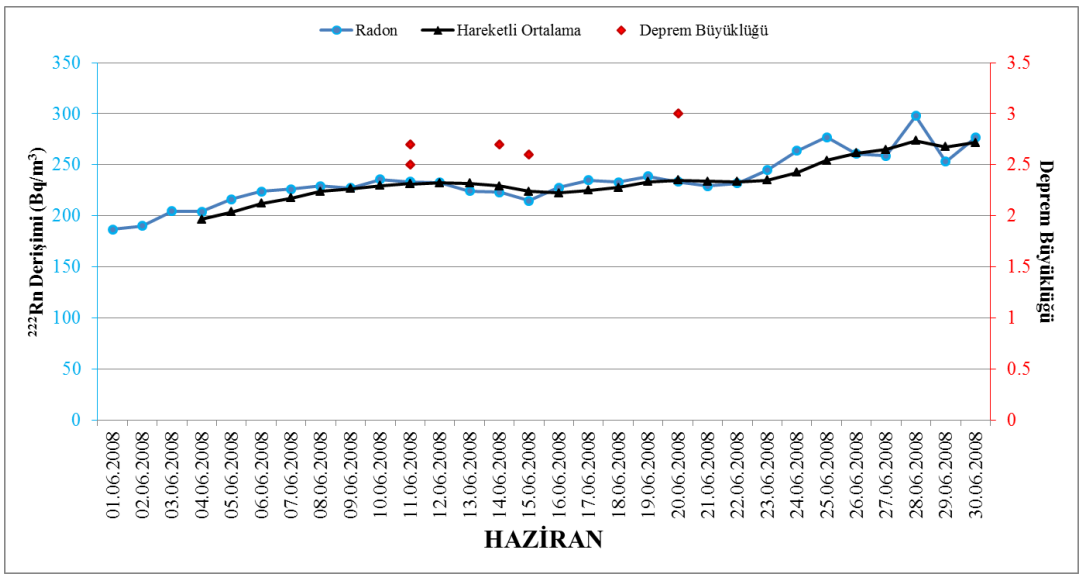
Ek 9 Şekil 4. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

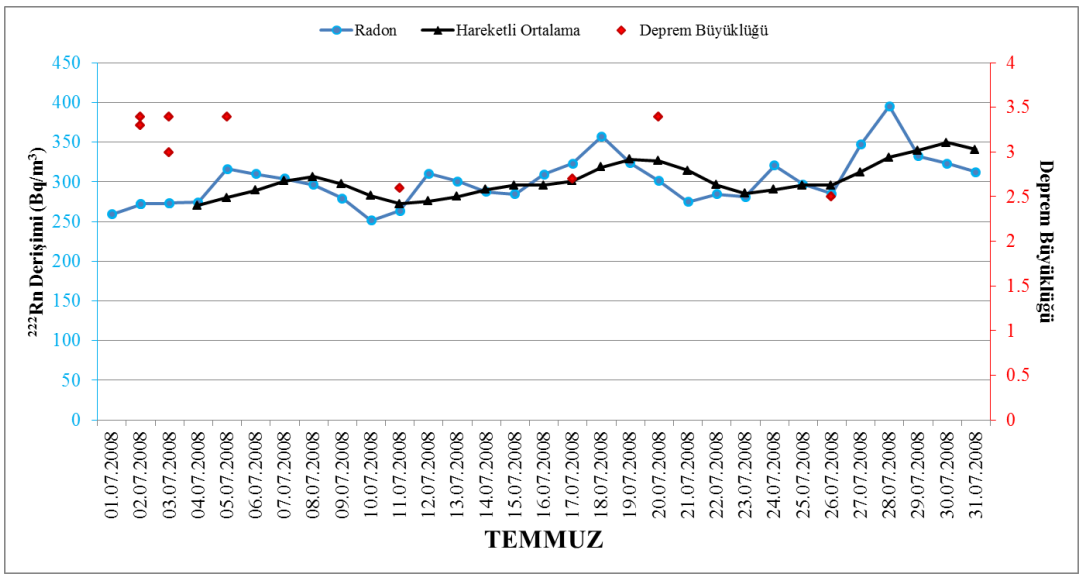


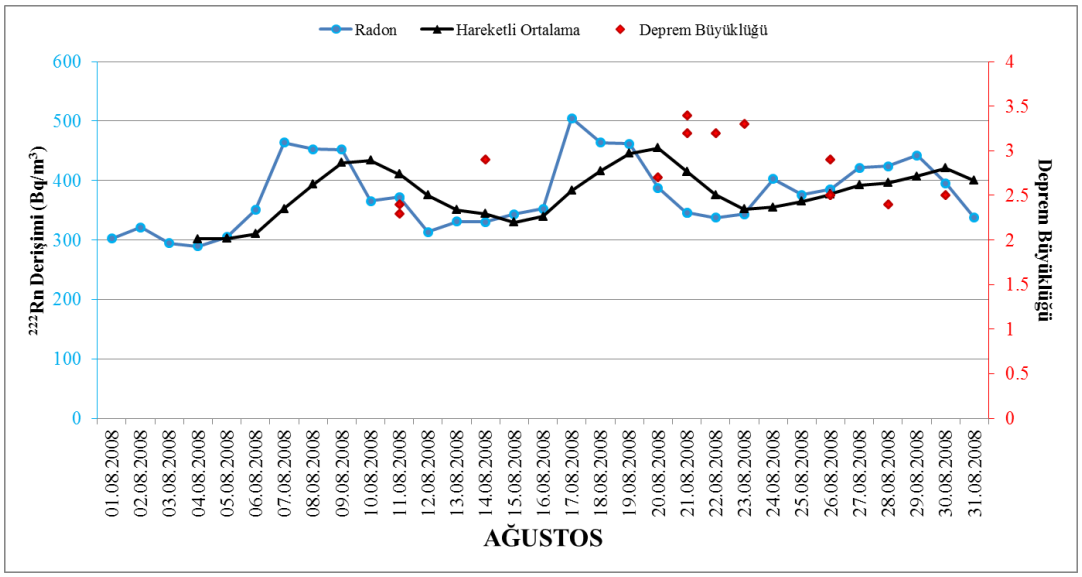




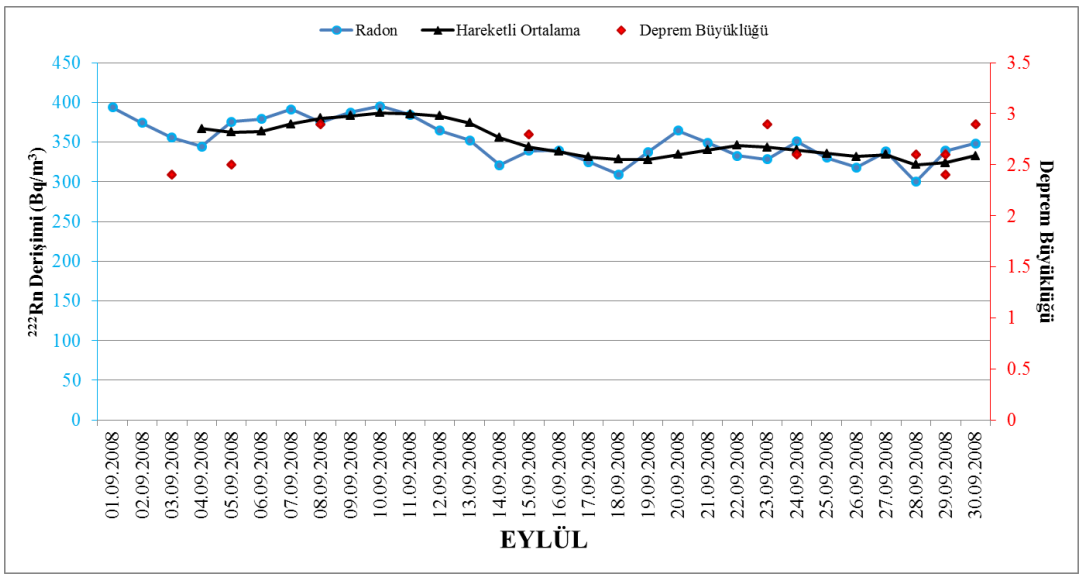
Ek 9 Şekil 5. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

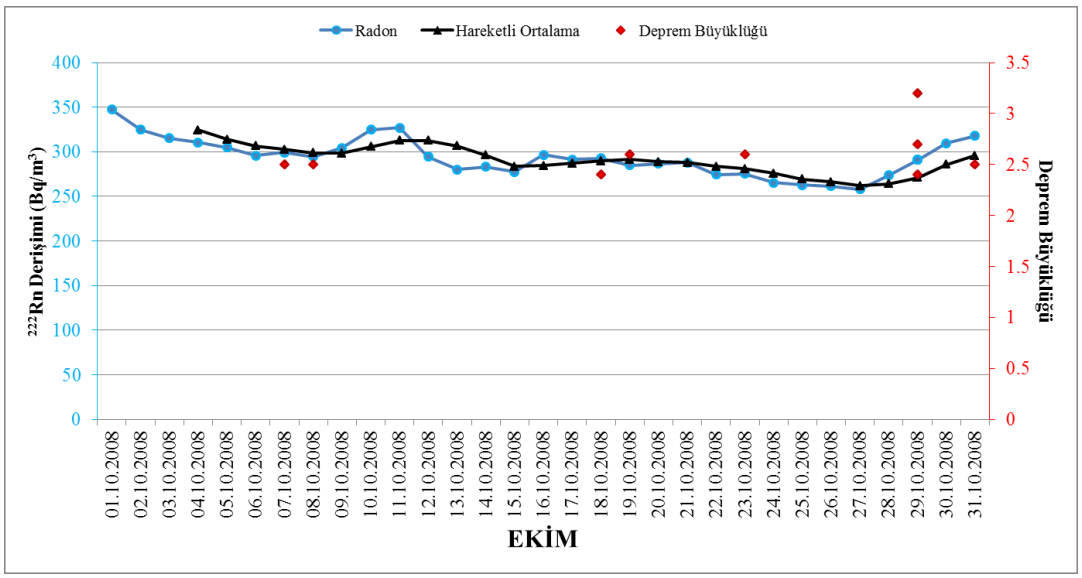


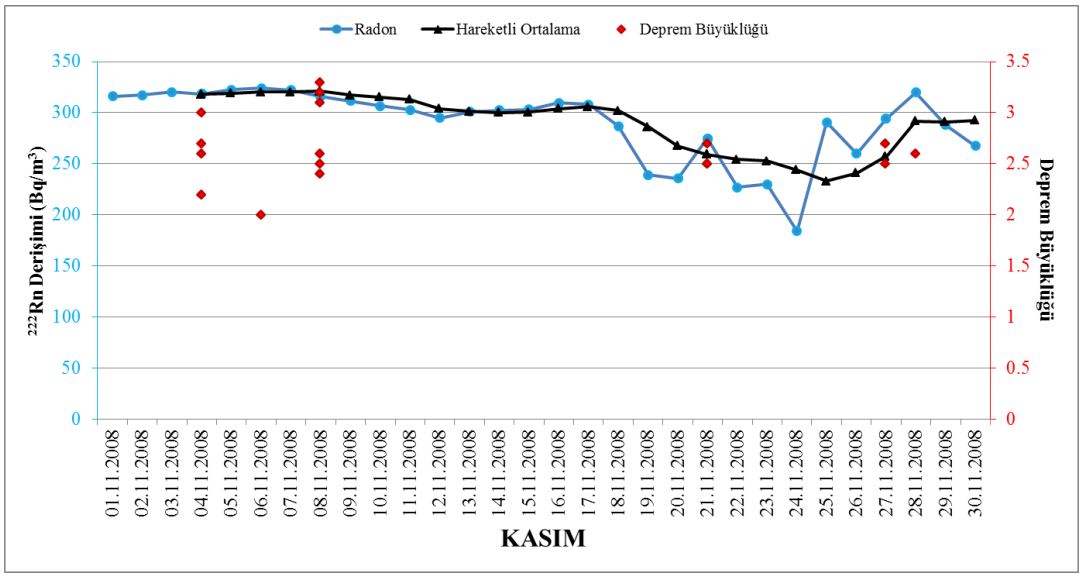




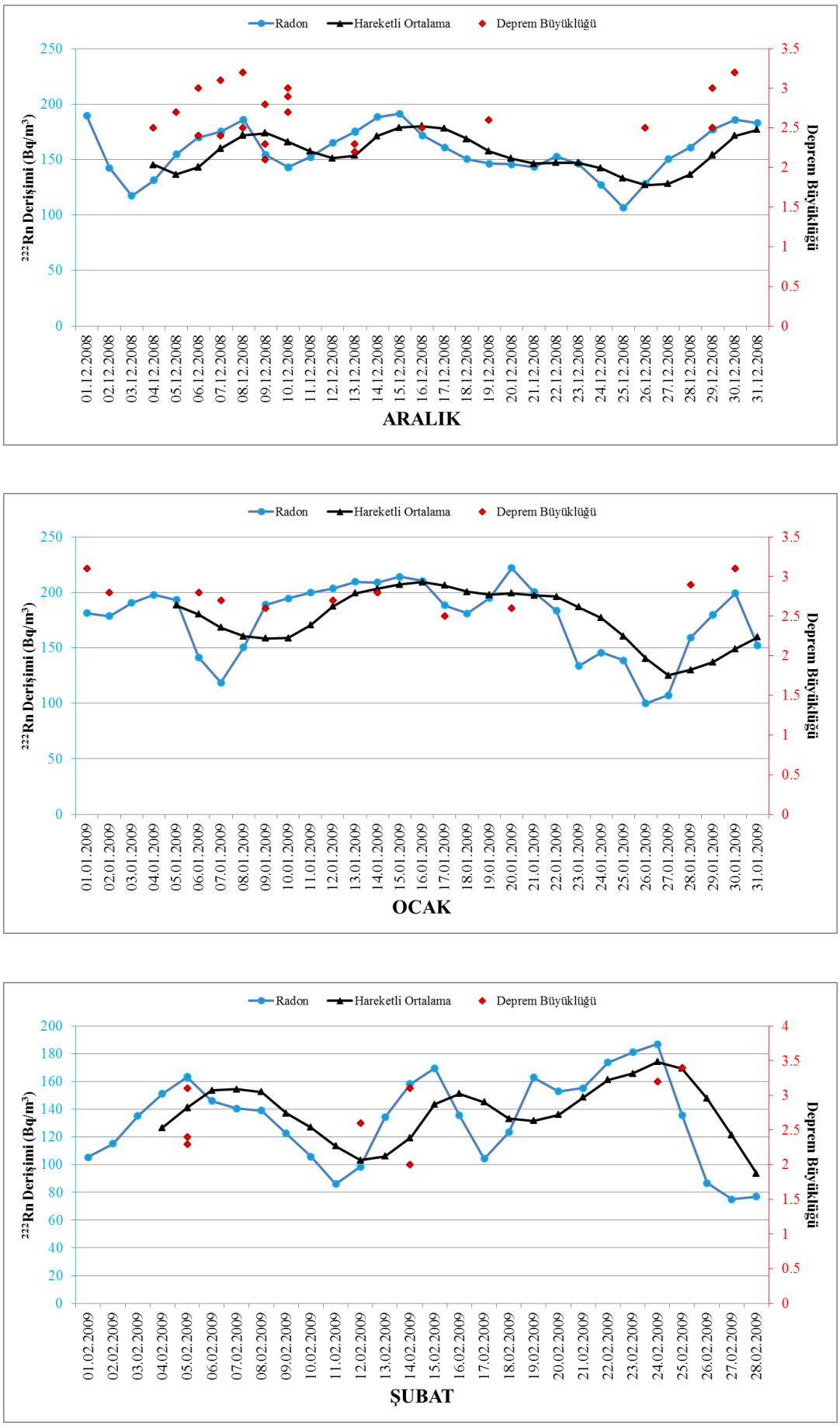
Ek 9 Şekil 6. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



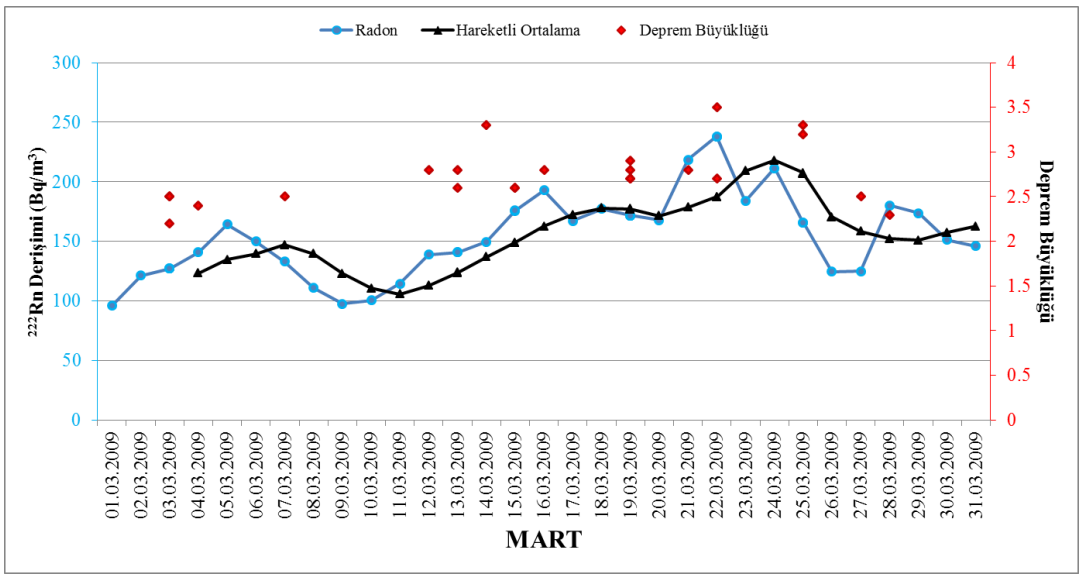


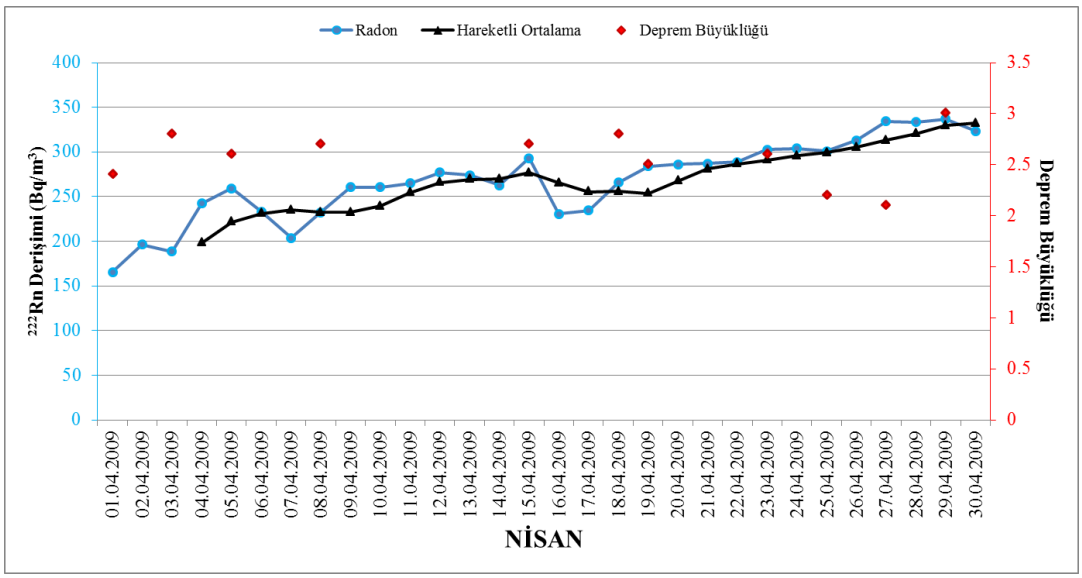


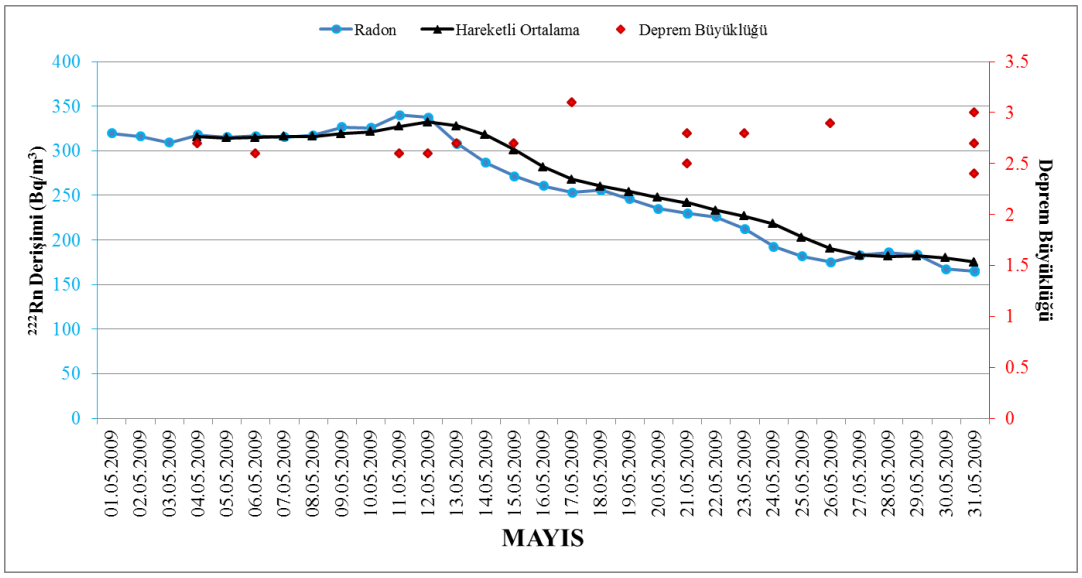
Ek 9 Şekil 7. Soğukpınar istasyonu 2008 yılı sonbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi



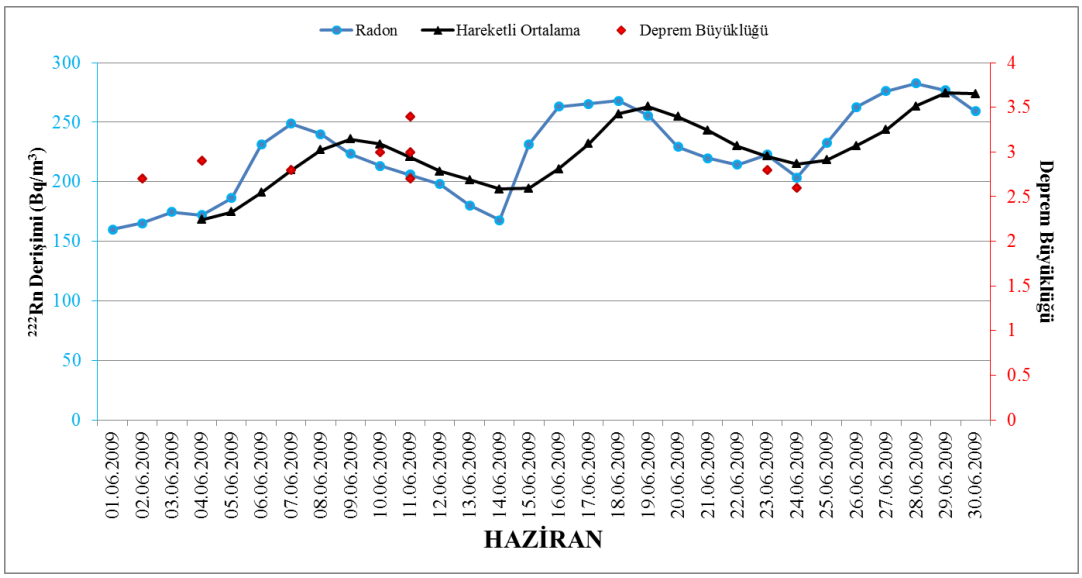
Ek 9 Şekil 8. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı kış mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

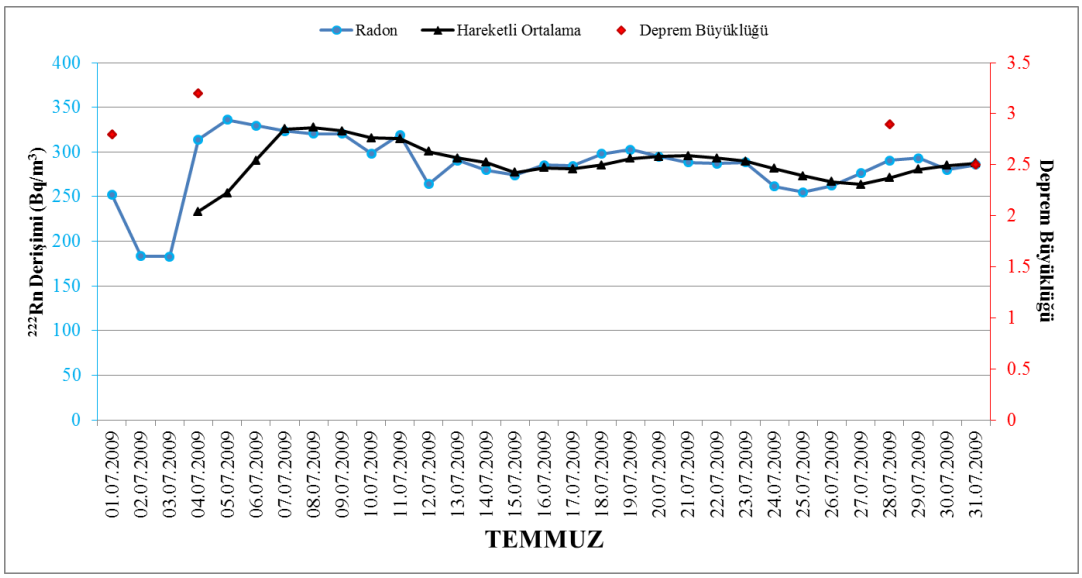


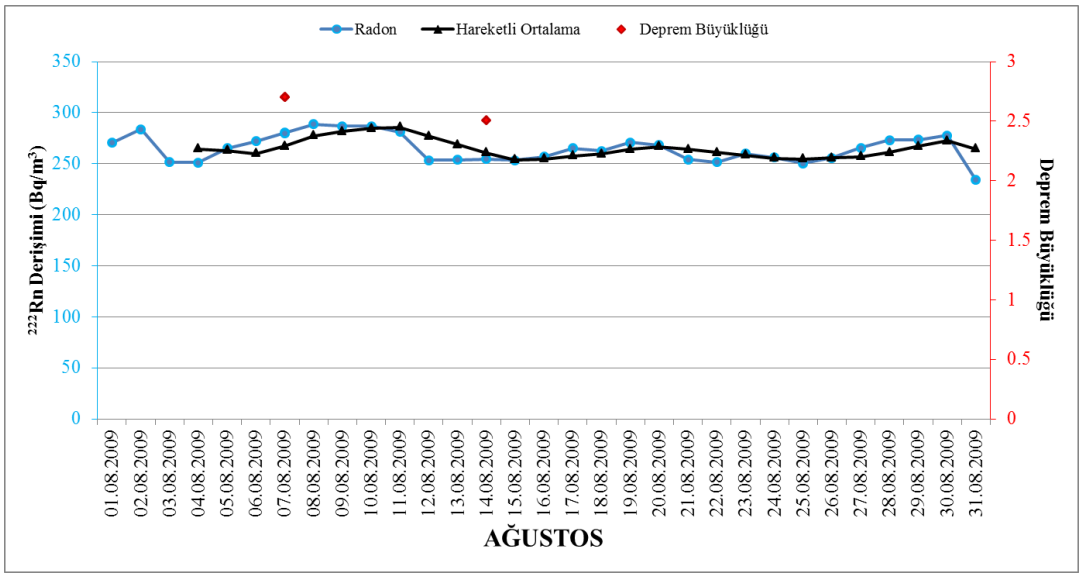




Ek 9 Şekil 9. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı ilkbahar mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

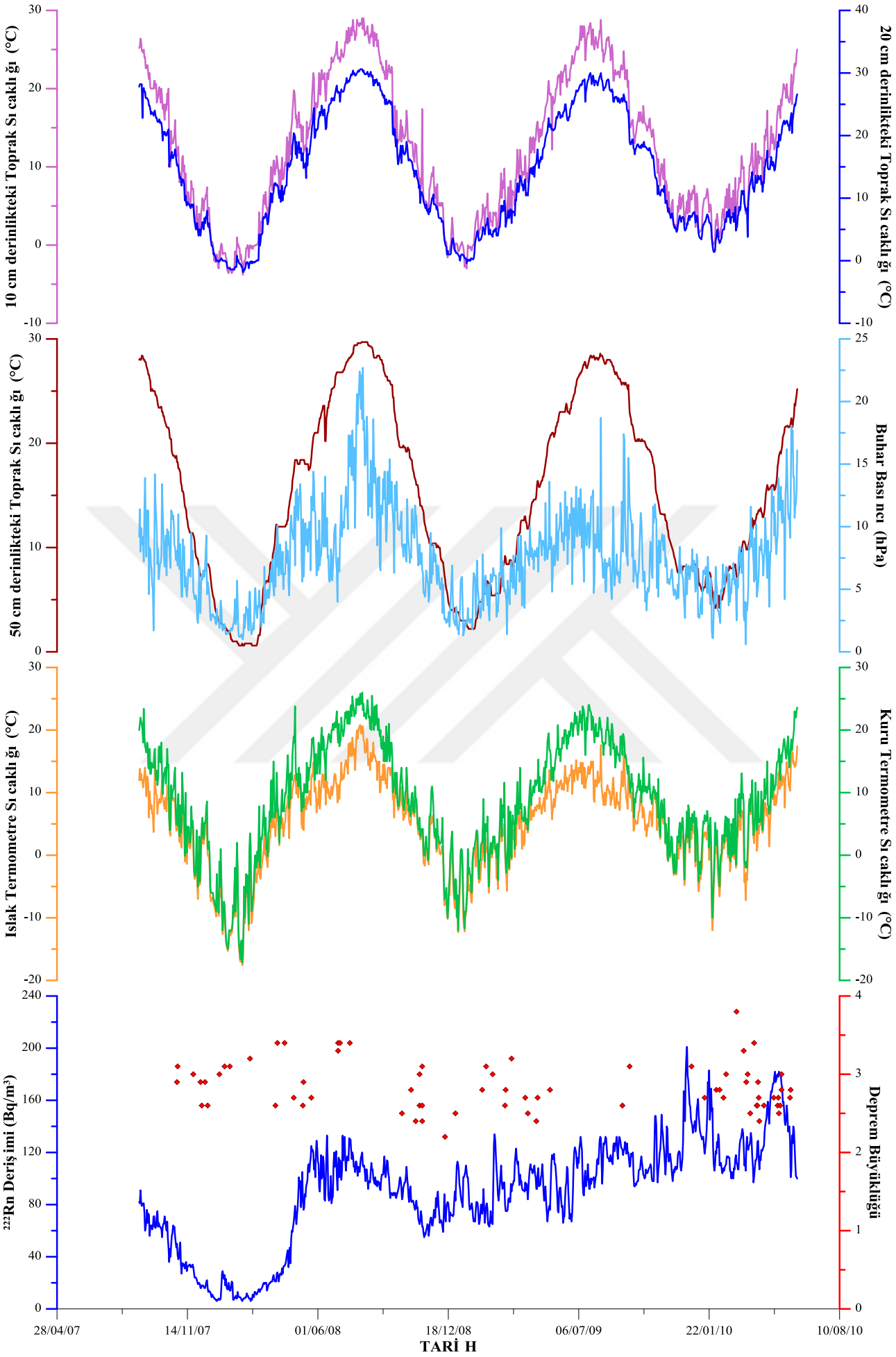




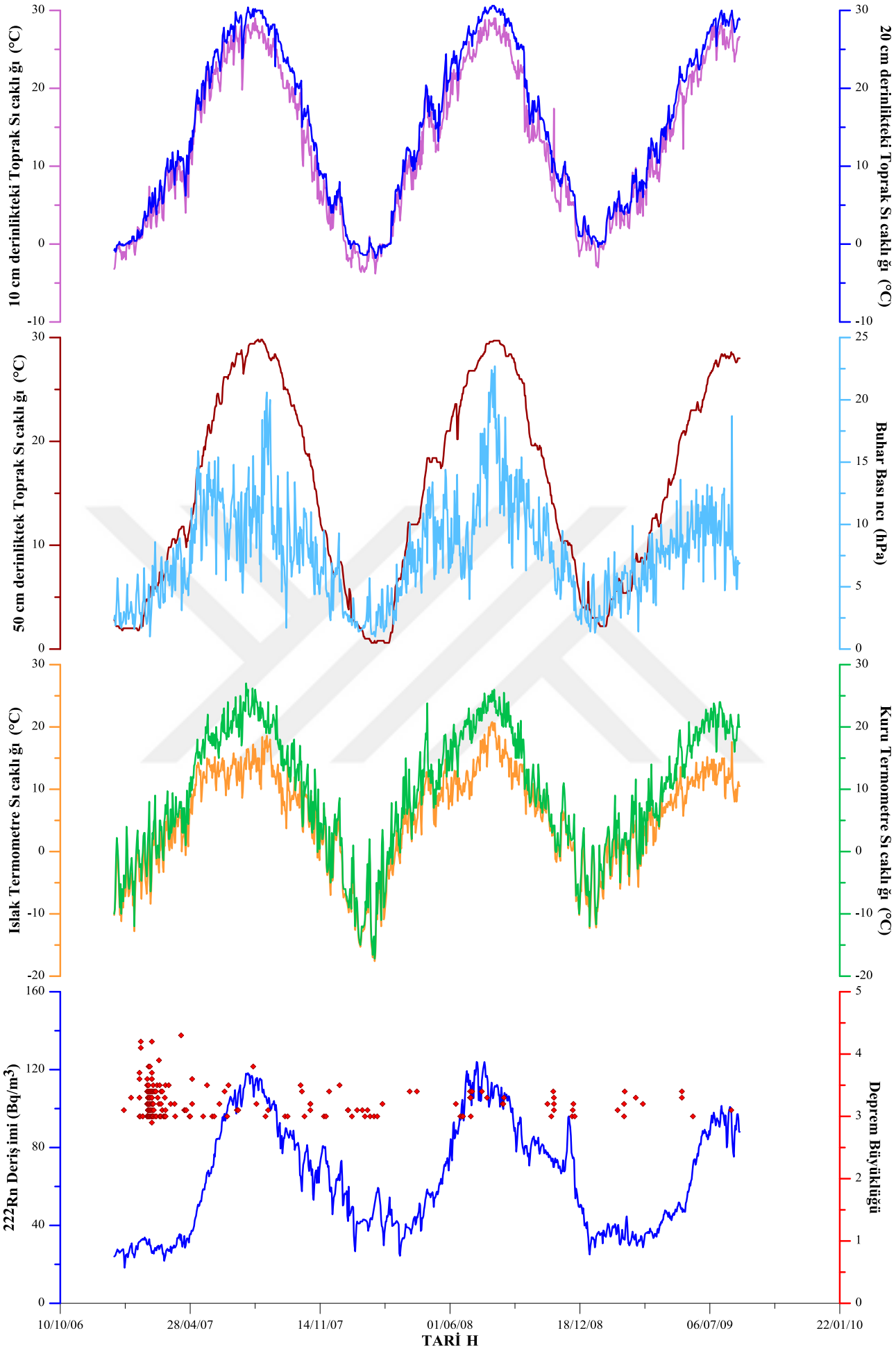


Ek 9 Şekil 10. Soğukpınar istasyonu 2009 yılı yaz mevsimi ^{222}Rn ve deprem değişimi

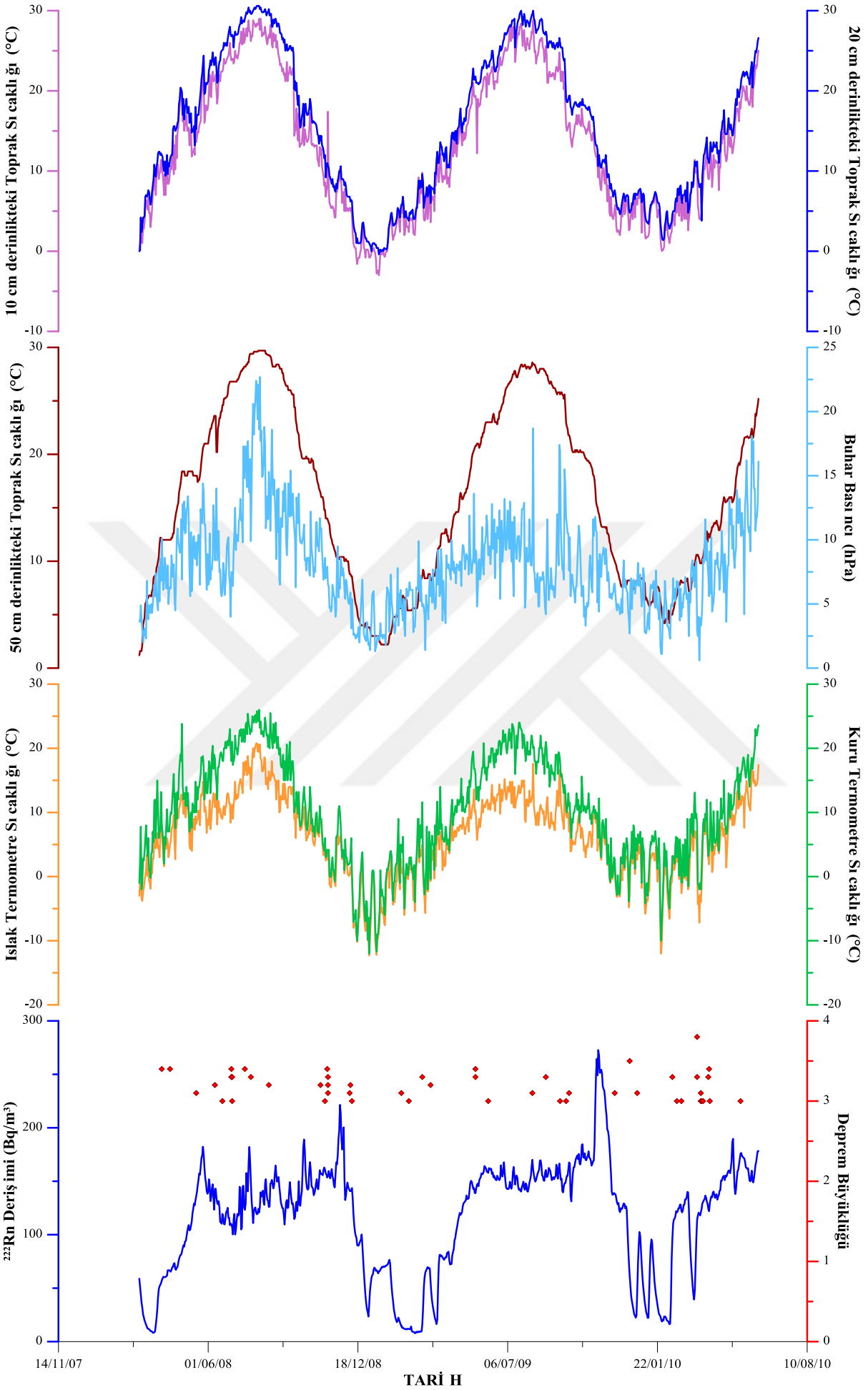
EK 10



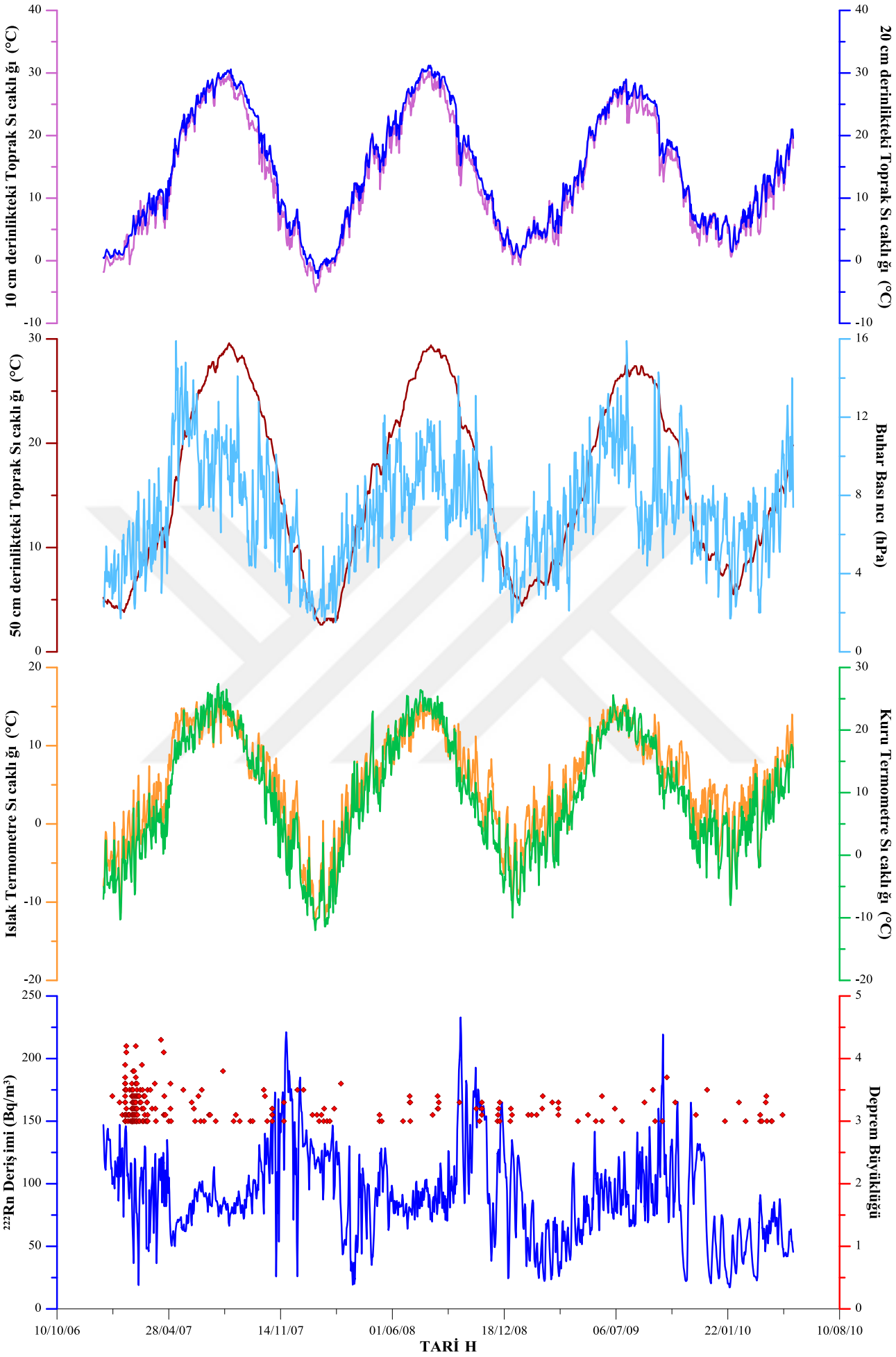
Ek 10 Şekil 1. Ergani istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi



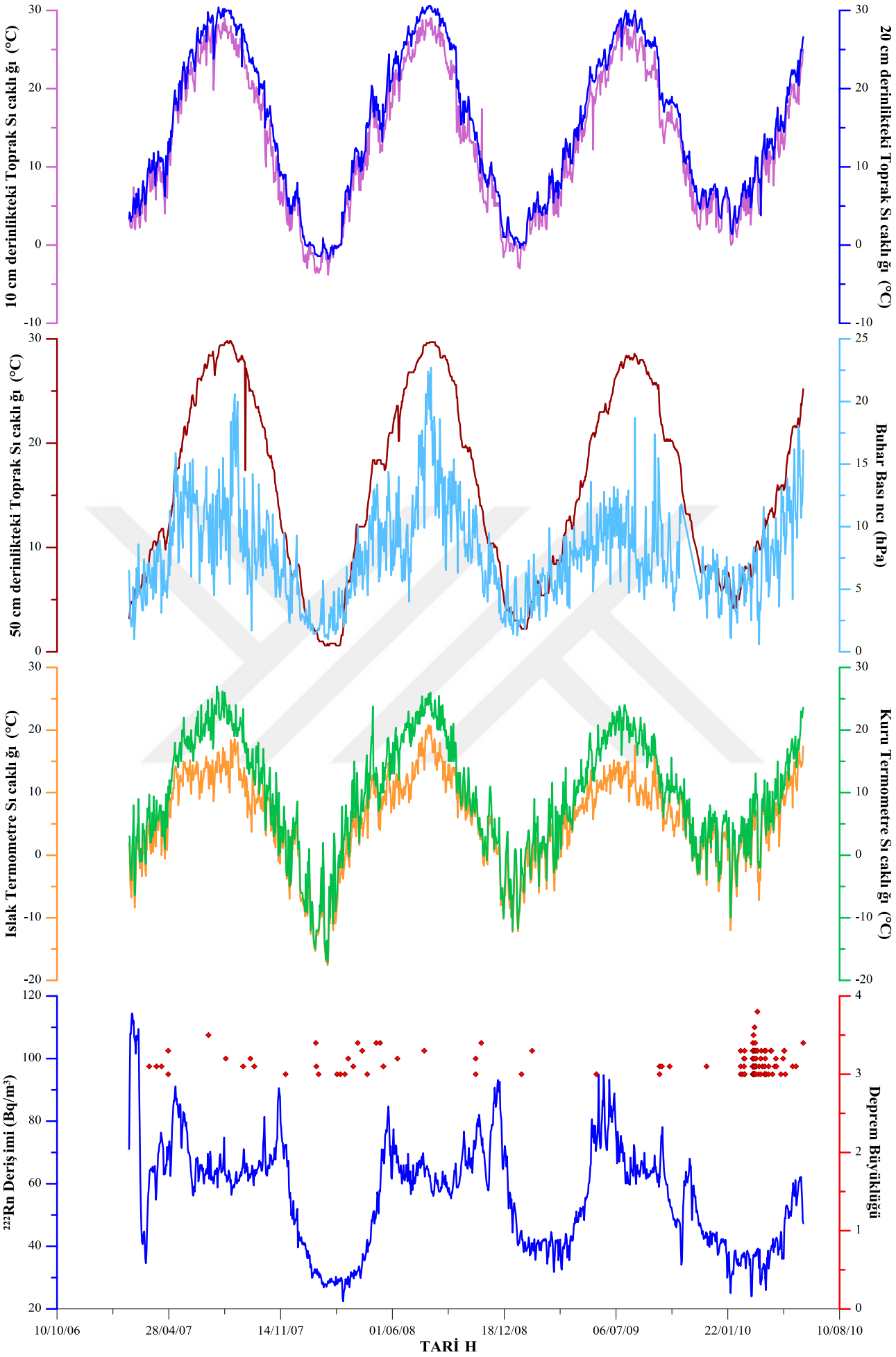
Ek 10 Şekil 2. Gezin istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi



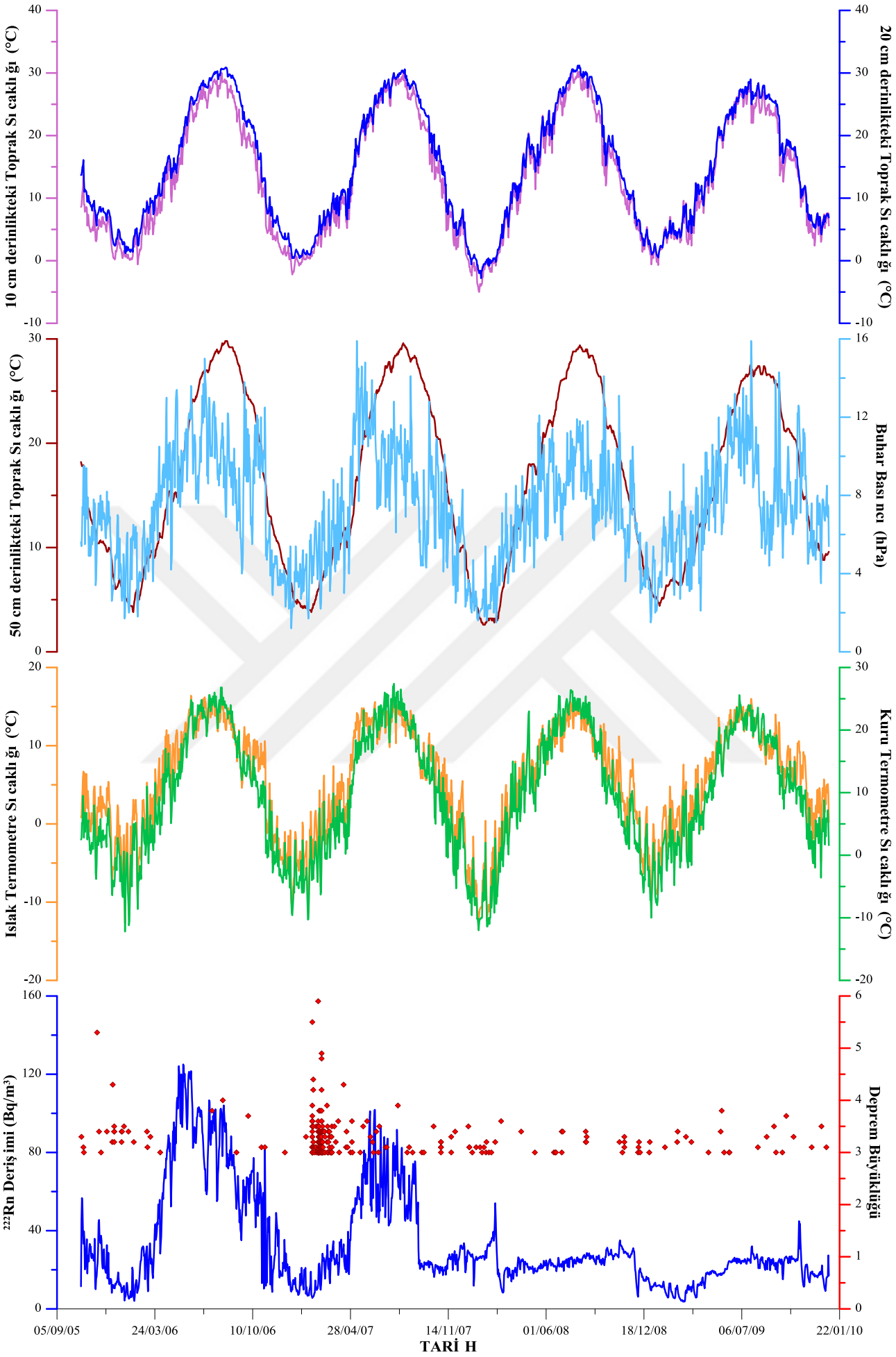
Ek 10 Şekil 3. Helindir istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazı değişimi



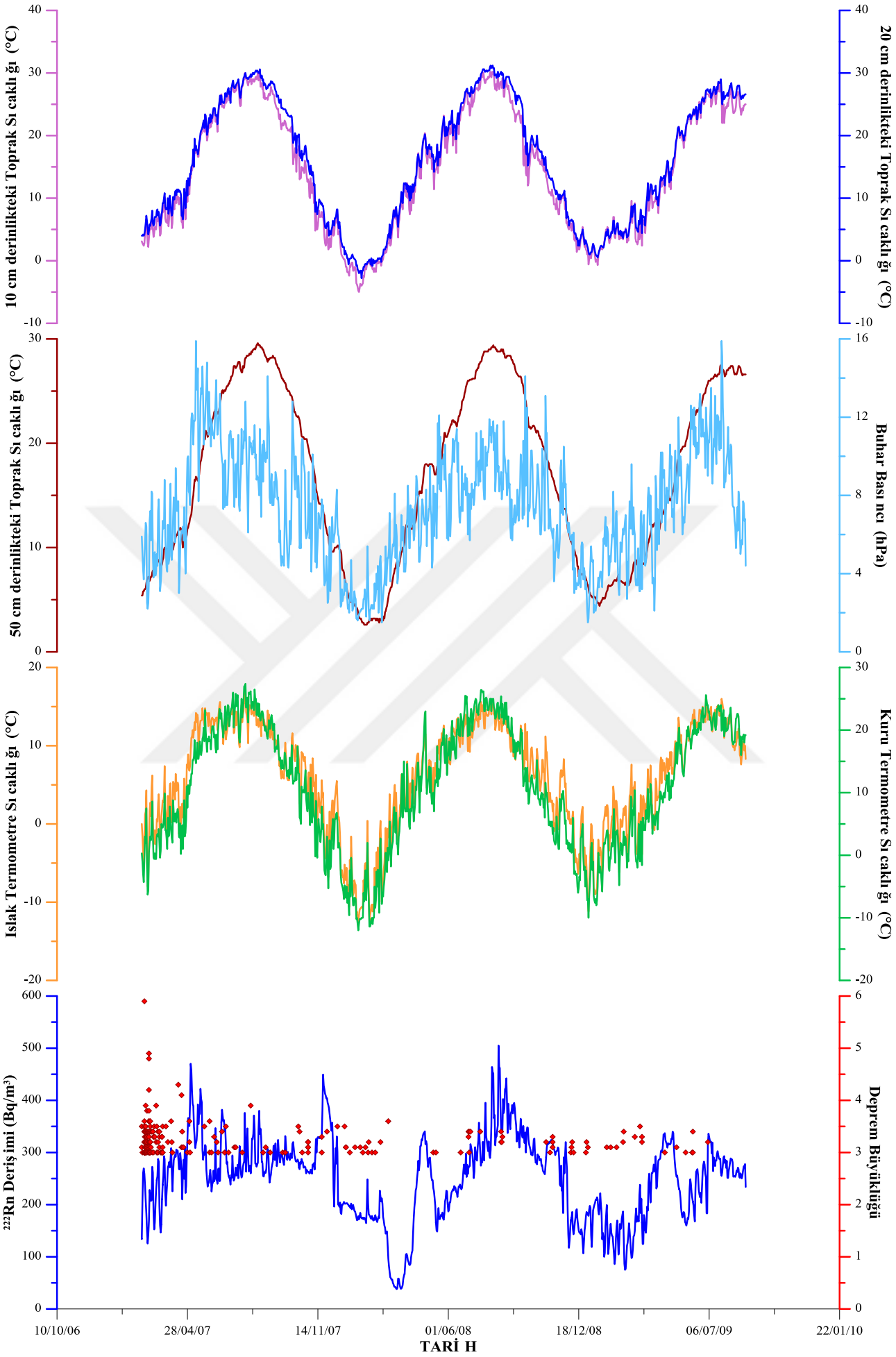
Ek 10 Şekil 4. Kösebayır istasyonundaki meteorlojik değişkenler ile ^{222}Rn gazının değişimi



Ek 10 Şekil 5. Palu istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazının değişimi



Ek 10 Şekil 6. Sivrice istasyonundaki meteorolojik değişkenler ile ^{222}Rn gazının değişimi



Ek 10 Şekil 7. Soğukpınar istasyonundaki meteorlojik değişkenler ile ^{222}Rn gazının değişimi

EK 11

Ek 11 Tablo 1. Sismik faaliyetlerin olmadığı dönemlerdeki ^{222}Rn'e ait tanımlayıcı istatistikler

	^{222}Rn Derişimi (Bq/m^3)						
	Ergani	**Gezin**	**Helindir**	**Kösebayır**	**Palu**	**Sivrice**	**Soğukpınar**
Ölçüm Sayısı	22	28	26	30	35	31	27
Minimum	8,25	27,69	13,91	22,27	28,47	6,95	122,60
Maksimum	165,89	119,30	218,13	169,09	87,09	88,88	393,73
Ortalama	89,80	65,55	115,50	73,55	57,42	42,75	270,87
Ortalama Sapma	35	22,64	48,73	22,65	15,09	16,15	54,97
Standart Sapma	44,08	25,90	56,42	29,43	17,68	20,80	71,23

Ek 11 Tablo 2. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			**Shapiro-Wilk**		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,116	22	0,200	0,954	22	0,372
ts_10	0,104	22	0,200	0,933	22	0,139
ts_20	0,123	22	0,200	0,912	22	0,052
ts_50	0,146	22	0,200	0,899	22	0,029
bb	0,120	22	0,200	0,961	22	0,503
ıts	0,140	22	0,200	0,938	22	0,177
kts	0,081	22	0,200	0,972	22	0,753

Ek 11 Tablo 3. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**ts_10**	**ts_20**	**bb**	**ıts**	**kts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,546	0,545	0,718	0,688	0,484
	ts_10	0,546	1	0,994	0,542	0,893	0,960
	ts_20	0,545	0,994	1	0,502	0,832	0,901
	bb	0,718	0,542	0,527	1	0,790	0,464
	ıts	0,688	0,893	0,875	0,790	1	0,901
	kts	0,484	0,960	0,945	0,464	0,901	1

Ek 11 Tablo 4. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için model özeti

Model	**R**	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahminin Standart Hatası**
1	0,743	0,552	0,505	31,00614

Ek 11 Tablo 5. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	22519,04	2	11259,520	11,712	0,000
Artıklar	18266,23	19	961,381		
Toplam	40785,27	21			

Ek 11 Tablo 6. Ergani istasyonu 08.09.2007-21.05.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	11,411	17,545		0,650	0,523		
bb	6,687	2,039	0,596	3,280	0,004	0,718	0,601
T	1,022	0,815	0,228	1,253	0,225	0,546	0,276

Ek 11 Tablo 7. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,177	28	0,024	0,934	28	0,079
ts_10	0,095	28	0,200	0,941	28	0,114
ts_20	0,097	28	0,200	0,939	28	0,105
ts_50	0,094	28	0,200	0,944	28	0,142
bb	0,115	28	0,200	0,916	28	0,027
ıts	0,105	28	0,200	0,954	28	0,248
kts	0,113	28	0,200	0,959	28	0,328

Ek 11 Tablo 8. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**ts_10**	**ts_20**	**ts_50**	**ıts**	**kts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,766	0,751	0,817	0,717	0,688
	ts_10	0,766	1	0,979	0,979	0,906	0,919
	ts_20	0,751	0,979	1	0,986	0,947	0,965
	ts_50	0,817	0,979	0,986	1	0,943	0,925
	ıts	0,717	0,906	0,947	0,943	1	0,940
	kts	0,688	0,919	0,965	0,925	0,940	1

Ek 11 Tablo 9. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,782	0,611	0,596	16,44258

Ek 11 Tablo 10. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	11033,65	1	11033,648	40,811	0,000
Artıklar	7029,316	26	270,358		
Toplam	18062,96	27			

Ek 11 Tablo 11. Gezin istasyonu 06.01.2007-09.08.2009 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	28,452	6,584		4,321	0,000		
T	2,234	0,350	0,782	6,388	0,000	0,782	0,782

Ek 11 Tablo 12. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,182	26	0,026	0,928	26	0,068
ts_10	0,178	26	0,034	0,922	26	0,050
ts_20	0,157	26	0,101	0,926	26	0,062
ts_50	0,134	26	0,200	0,918	26	0,041
bb	0,220	26	0,002	0,895	26	0,012
ıts	0,142	26	0,188	0,938	26	0,123
kts	0,159	26	0,089	0,902	26	0,018

Ek 11 Tablo 13. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**ts_10**	**ts_20**	**ıts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,682	0,700	0,668
	ts_10	0,682	1	0,997	0,981
	ts_20	0,700	0,997	1	0,975
	ıts	0,668	0,981	0,975	1

Ek 11 Tablo 14. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,692	0,478	0,457	41,56210

Ek 11 Tablo 15. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	38026,70	1	38026,699	22,014	0,000
Artıklar	41457,80	24	1727,408		
Toplam	79484,50	25			

Ek 11 Tablo 16. Helindir istasyonu 11.03.2008-21.05.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	53,531	15,520		3,449	0,000		
T	4,223	0,900	0,692	4,692	0,000	0,692	0,692

Ek 11 Tablo 17. Kösebayır istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,108	30	0,200	0,939	30	0,086
ts_10	0,103	30	0,200	0,940	30	0,089
ts_20	0,131	30	0,200	0,924	30	0,034
ts_50	0,149	30	0,200	0,903	30	0,010
bb	0,126	30	0,200	0,952	30	0,187
ıts	0,088	30	0,200	0,966	30	0,432
kts	0,109	30	0,200	0,947	30	0,140

Ek 11 Tablo 18. Kösebayır istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	ts_10	ts_20	ts_50	bb	ıts	kts
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,600	0,655	0,716	0,670	0,643	0,473
	ts_10	0,600	1	0,994	0,963	0,564	0,938	0,959
	ts_20	0,655	0,994	1	0,982	0,594	0,934	0,934
	ts_50	0,716	0,963	0,982	1	0,653	0,916	0,871
	bb	0,670	0,564	0,594	0,653	1	0,767	0,456
	ıts	0,643	0,938	0,934	0,916	0,767	1	0,917
	kts	0,473	0,959	0,934	0,871	0,456	0,917	1

Ek 11 Tablo 19. Kösebayır istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,743	0,552	0,519	20,41737

Ek 11 Tablo 20. Kösebayır istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	13870,04	2	6935,020	16,636	0,000
Artıklar	11255,46	27	416,869		
Toplam	25125,50	29			

Ek 11 Tablo 21. Kösebayır istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	-0,732	15,942		-0,046	0,964		
sıcaklık	1,510	0,605	0,405	2,496	0,019	0,663	0,433
bb	5,396	2,069	0,423	2,608	0,015	0,670	0,449

Ek 11 Tablo 22. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,132	35	0,130	0,949	35	0,104
ts_10	0,139	35	0,083	0,924	35	0,019
ts_20	0,166	35	0,016	0,910	35	0,007
ts_50	0,183	35	0,004	0,907	35	0,006
bb	0,117	35	0,200	0,961	35	0,242
ıts	0,151	35	0,041	0,918	35	0,012
kts	0,143	35	0,066	0,905	35	0,005

Ek 11 Tablo 23. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**ts_10**	**bb**	**kts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,804	0,764	0,784
	ts_10	0,804	1	0,833	0,978
	bb	0,764	0,833	1	0,808
	kts	0,784	0,978	0,808	1

Ek 11 Tablo 24. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,804	0,646	0,635	10,73001

Ek 11 Tablo 25. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	6922,494	1	6922,494	60,126	0,000
Artıklar	3799,391	33	115,133		
Toplam	10721,89	34			

Ek 11 Tablo 26. Palu istasyonu 11.09.2007-03.03.2010 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	36,781	3,213		11,449	0,000		
ts_10	1,510	0,195	0,804	7,754	0,000	0,804	0,804

Ek 11 Tablo 27. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,075	31	0,200	0,969	31	0,487
ts_10	0,133	31	0,175	0,944	31	0,105
ts_20	0,146	31	0,089	0,952	31	0,176
ts_50	0,140	31	0,126	0,934	31	0,055
bb	0,069	31	0,200	0,987	31	0,959
ıts	0,101	31	0,200	0,964	31	0,374
kts	0,080	31	0,200	0,986	31	0,941

Ek 11 Tablo 28. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**ts_10**	**ts_20**	**ts_50**	**bb**	**ıts**	**kts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,718	0,726	0,658	0,657	0,680	0,693
	ts_10	0,718	1	0,987	0,931	0,762	0,886	0,953
	ts-20	0,726	0,987	1	0,967	0,734	0,879	0,942
	ts_50	0,658	0,931	0,967	1	0,675	0,811	0,869
	bb	0,657	0,762	0,734	0,675	1	0,927	0,835
	ıts	0,680	0,886	0,879	0,811	0,927	1	0,970
	kts	0,693	0,953	0,942	0,869	0,835	0,970	1

Ek 11 Tablo 29. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,707	0,500	0,483	14,93972

Ek 11 Tablo 30. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	6485,535	1	6485,535	29,058	0,000
Artıklar	6472,659	29	223,195		
Toplam	12958,19	30			

Ek 11 Tablo 31. Sivrice istasyonu 28.10.2005-30.10.2009 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	19,498	5,094		3,828	0,000		
T	1,909	0,354	0,707	5,391	0,000	0,707	0,707

Ek 11 Tablo 32. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-08.08.2009 tarih aralığına ait normallik testi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	**Df**	**Sig.**	**İstatistik**	**df**	**Sig.**
^{222}Rn	0,130	27	0,200	0,952	27	0,236
ts_10	0,154	27	0,098	0,912	27	0,026
ts_20	0,188	27	0,015	0,891	27	0,008
ts_50	0,185	27	0,018	0,871	27	0,003
bb	0,098	27	0,200	0,954	27	0,261
ıts	0,208	27	0,004	0,921	27	0,041
kts	0,122	27	0,200	0,942	27	0,134

Ek 11 Tablo 33. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-08.08.2009 tarih aralığı için ^{222}Rn ve çevresel değişkenlere ait Pearson korelasyon katsayılar matrisi

		^{222}Rn	**bb**	**kts**
Pearson Korelasyon	**^{222}Rn**	1	0,466	0,818
	bb	0,466	1	0,615
	kts	0,818	0,615	1

Ek 11 Tablo 34. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-08.08.2009 tarih aralığı için model özeti

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
1	0,819	0,671	0,644	42,5211

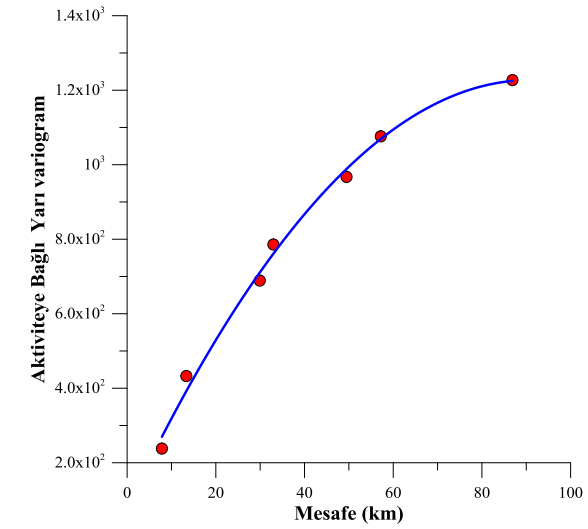
Ek 11 Tablo 35. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-08.08.2009 tarih aralığı için ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.(p)
Regression	88597,89	2	44298,946	24,501	0,000
Artıklar	43393,07	24	1808,045		
Toplam	131991,0	26			

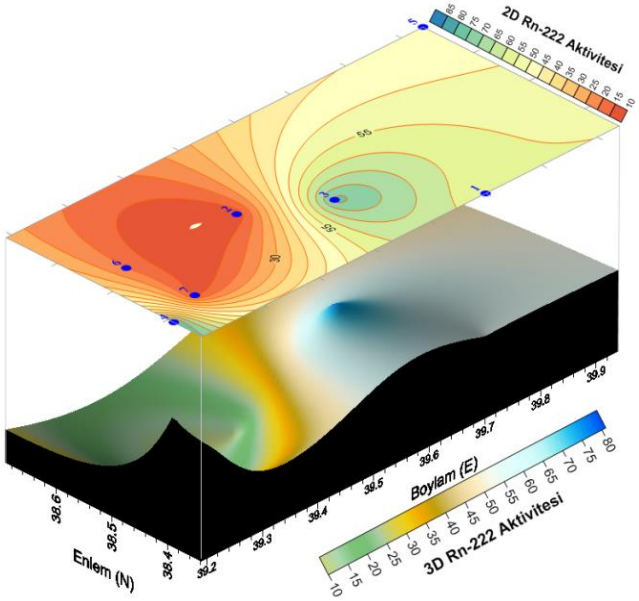
Ek 11 Tablo 36. Soğukpınar istasyonu 23.04.2007-08.08.2009 tarih aralığı için katsayılar tablosu

	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar			Korelasyonlar	
Model	**B**	**Std. Hata**	**Beta**	**t**	**Sig.**	**İkili r**	**Kısmi r**
(Sabit)	166,697	29,020		5,744	0,000		
bb	-1,549	3,820	-0,60	-0,405	0,000	0,466	-0,082
kts	7,615	1,322	0,855	5,759	0,000	0,818	0,674

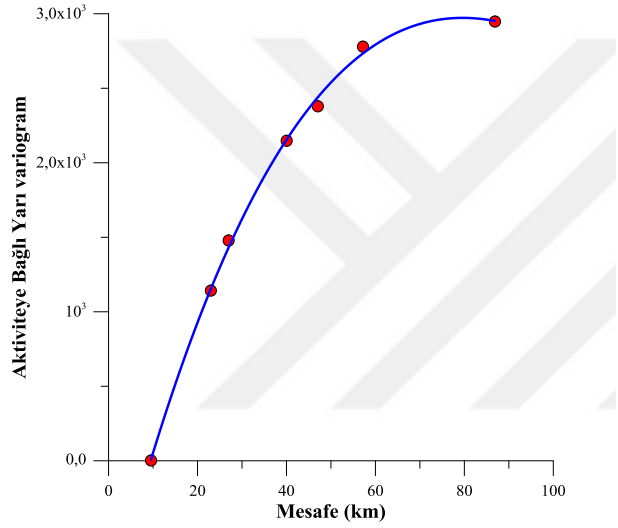
EK 12



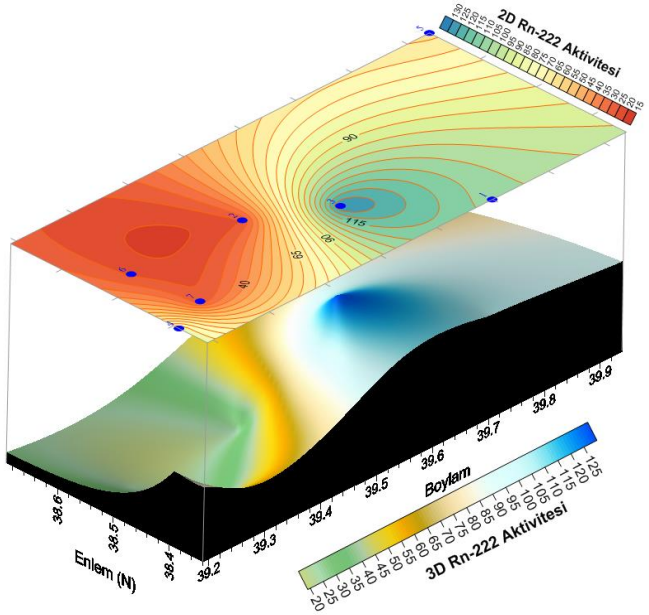
(a)



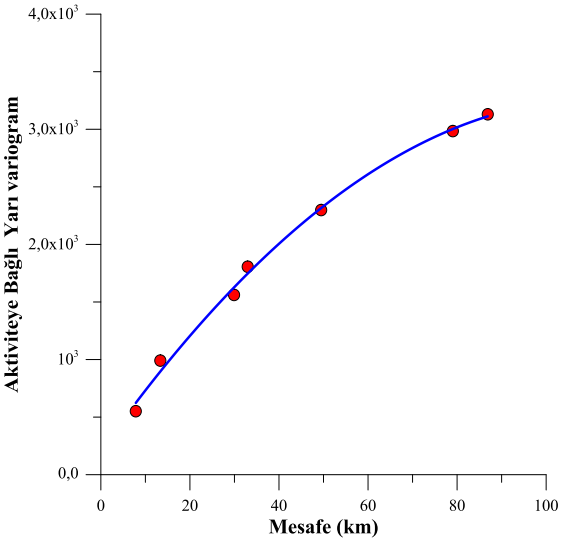
(b)



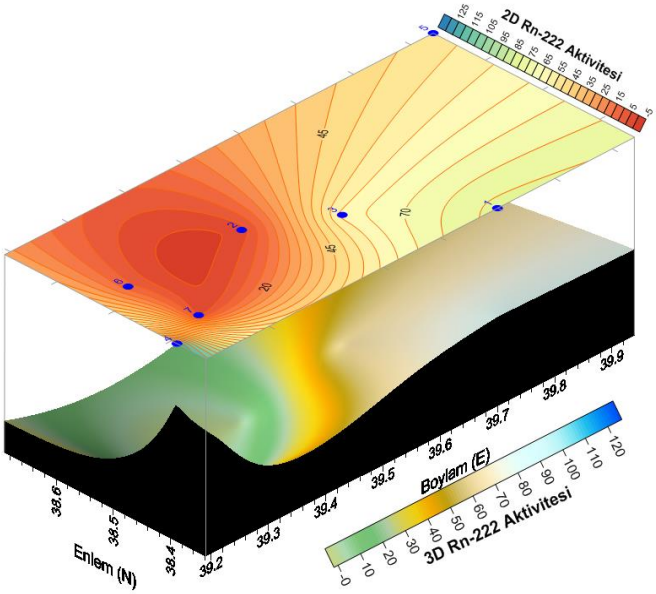
(c)



(d)

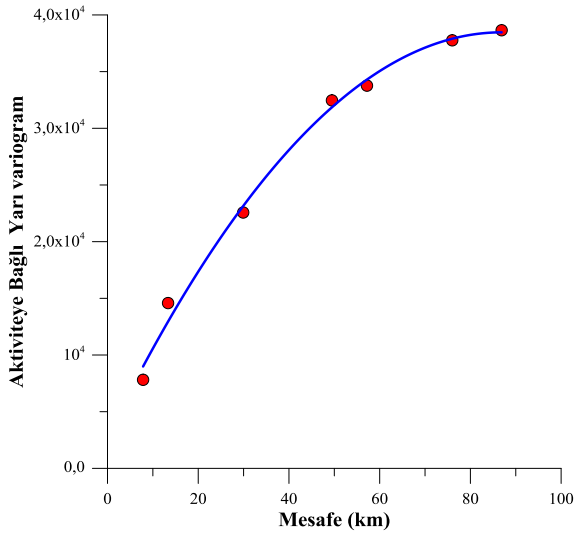


(e)

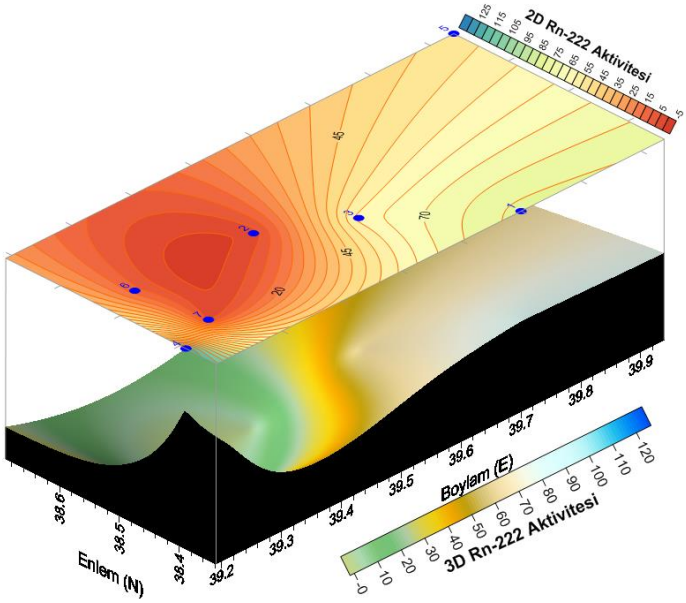


(f)

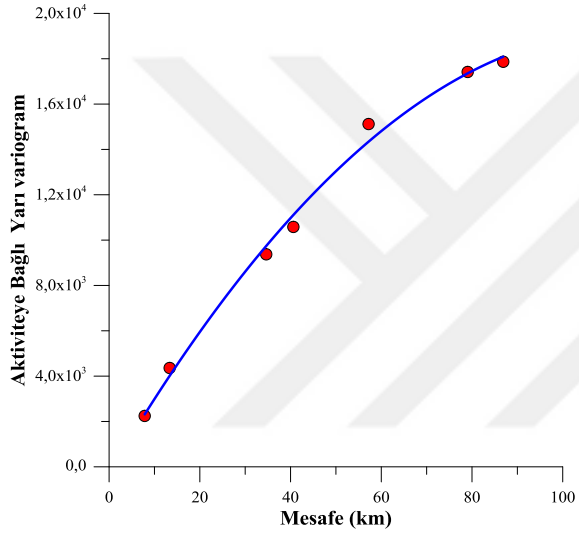
Ek 12 Şekil 1. ^{222}Rn aktivitesinin 2008 yılı ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimi değişimine ait modeller ve izo-eğriler



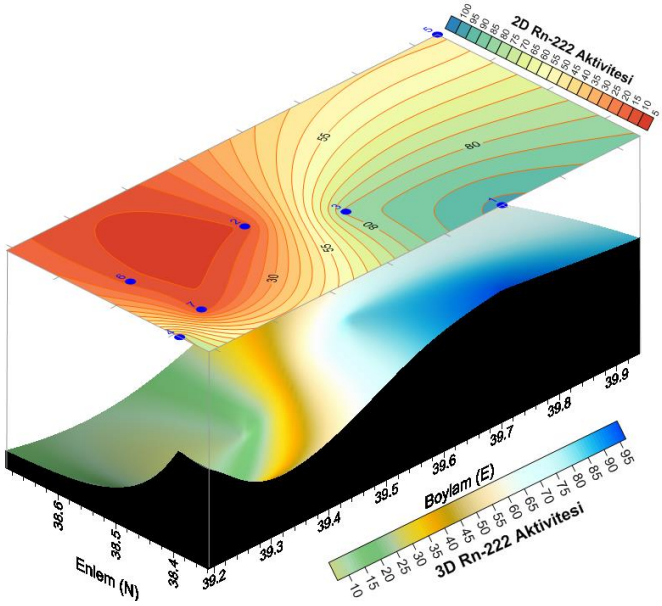
(a)



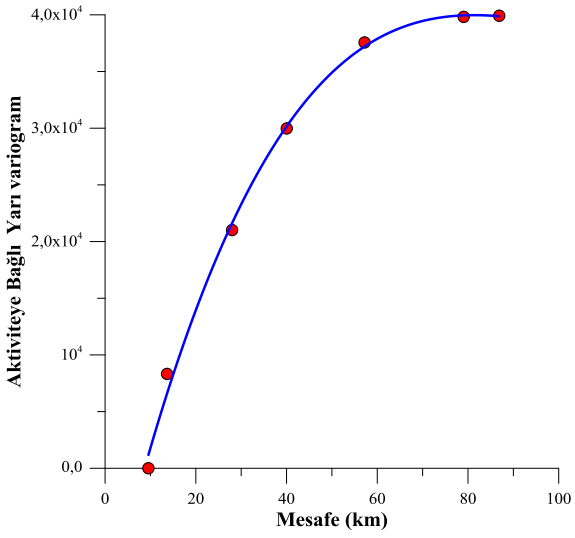
(b)



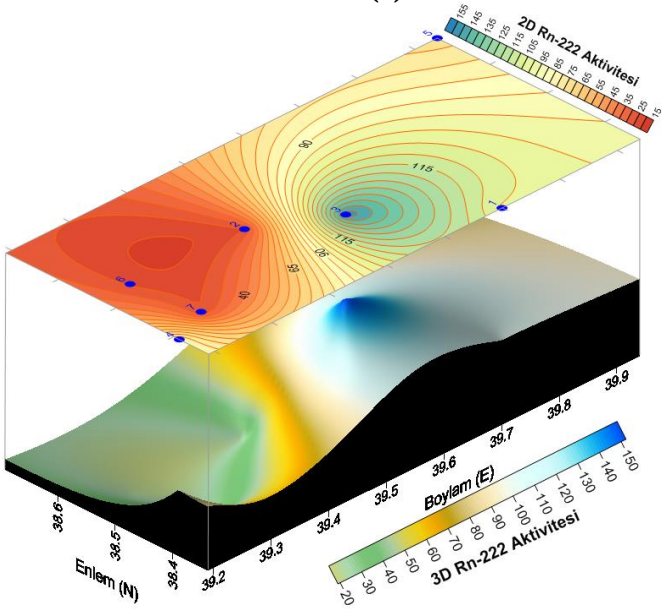
(c)



(d)



(e)



(f)

Ek 12 Şekil 2. ^{222}Rn aktivitesinin 2009 yılı kış, ilkbahar ve yaz mevsimi değişimine ait modeller ve izo-eğriler

ÖZGEÇMİŞ

1984 Arapgir/MALATYA doğumluyum. İlk ve Orta öğretimimi Arapgir Ahmet Zeyneloğlu İlköğretim okulunda, Lise eğitimimi Malatya H. Ahmet Akıncı Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde bitirdim. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandım. 2008'de lisans eğitimimi tamamlayıp aynı yıl Nükleer Fizik anabilim dalında yüksek lisans eğitimime başladım. 2009 yılı Kasım ayında aynı anabilim dalına araştırma görevlisi olarak atandım. Hâlen bu göreve devam etmekteyim.

Yayınları:

Uluslararası Hakemli Dergilerdeki Yayınlar:

1. Rişvanlı, A., Demiral, O., Abay, M., Saat, N., Bekyürek, T., Külahcı, F., Niksarlıoğlu, S., Balcı, T.A., 2010. Effect of Different Forms of Prostaglandin F2α Analogues Administration on Hormonal Profile, Prostaglandin F2α Binding Rate and Reproductive Traits in Akkaraman Sheep During the Breeding Season, Acta Scientiae Veterinariae, 38(4), 391-398.
2. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2013. An Artificial Neural Network Model for Earthquake Prediction and Relations between Environmental Parameters and Earthquakes, World of Academy of Science Engineering and Techonology, 74, 984-987.
3. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Şen, Z., 2015. Spatiotemporal Modeling and Simulation of Chernobyl Radioactive Fallout Northern Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 303, 171-186.
4. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Kamışlıoğlu, M., 2015. Spatial Analysis of Radon Behaviour on the East Anatolian Fault System (EAFS), Balkan Physics Letter, 23,13-22.
5. Akarsu, S.A., Yılmaz, M., Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Rişvanlı, A., 2017. Radioactivity, Heavy Metal And Oxıdatıve Stress Measurements in the Follicular Fluids of Cattle Bred Near A Coal-Fired Power Plant, The Journal of Animal & Plant Sciences, 27 (2), 373-378.

Ulusal Hakemli Dergilerdeki Yayınlar:

1. S. Şahin, M. Yılmaz, S. Niksarlıoğlu, 2010. Fırat Üniversitesi (Elazığ) Kampusunda Çevresel Gama Radyasyonunun Ölçülmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 22(2), 101-107.
2. Kamışlıoğlu, M., Külahcı, F., Niksarlıoğlu, S., 2014. Toprak Radon (^{222}Rn) Gazı Anomalilerinin ARIMA Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi.

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar:

1. Niksarlıoğlu S., Külahcı, F., 2010. Modelling of Chernobyl Radioactive Fallout, Turkish Physical Society 27 th International Congress, 14-17 September, İstanbul, Türkiye.
2. Niksarlıoğlu S., Külahcı, F., 2012. Modelling of Spatial Distribution of ^{137}Cs concentration with Spatiotemporal Point Cumulative Semivariogram, Turkish Physical Society 29 th International Congress, 5-8 September, Bodrum, Türkiye.
3. Niksarlıoğlu S., Külahcı, F., 2012. Modelling of ^{134}Cs Distribution Based on Radioactive Fallout, Turkish Physical Society 29 th International Congress, 5-8 September, Bodrum, Türkiye.
4. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2013. An Artificial Neural Network Model for Earthquake Prediction and Relations between Environmental Parameters and Earthquakes, World of Academy of Science Engineering and Techonology, 27-28 February,Barcelona, Spain.
5. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2013. Comparison of two different models for predicting of radionuclides concentration, NUFRA 2013 Fourth International Conference on Nuclear Fragmentation, 29 September-6 October 2013, Antalya.
6. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Kamışlıoğlu, M., 2014. Spatial Analysis of Radon Behaviour on the East Anatolian Fault System (EAFS), Turkish Physical Society 31 th International Congress, 21-24 July, Bodrum, Türkiye.
7. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2014. Determinig of ^{238}U Concentration with Spatial Analysis Method, VII. International Workshop on Nuclear Structure Properties, 27-29 October 2014, Sinop, Türkiye.
8. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2015. Modelling of ^{222}Rn Concentration Changing in the East Anatolian Fault System with Geostatistical Methods, TESNAT 2015, 23-26 April 2015, Osmaniye, Türkiye.

9. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2015. Investigation of Relationship Between Environmental Parameters and Radon in The East Anatolian Fault System, TESNAT 2015, 23-26 April 2015, Osmaniye, Türkiye.
10. Rişvanlı, A., Akarsu, S.A., Yılmaz, M., Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2016. Radioactivity, Heavy Metal and Oxidative Stress Measurements in The Follicular Fluids of Cattle Bred Near a Coal-Fired Power Plant, 18th International Congress on Animal Reproduction, 26-30 June 2016, France.
11. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Yılmaz, M., Kamışlıoğlu, M., 2017. ^{222}Rn Concentration Dependence on Seasonal Changes with Spatial and Statistics Modelling, International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMME-2017), 11-13 May, Şanlıurfa, Türkiye.
12. Yılmaz, M., Külahcı, F., Kamışlıoğlu, M., Niksarlıoğlu, S., 2017. ^{222}Rn Prediction using the Multiple Regression Model in Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ), International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMME-2017), 11-13 May, Şanlıurfa, Türkiye.
13. Kamışlıoğlu, M., Külahcı, F., Yılmaz, M., Niksarlıoğlu, S., 2017. Fuzzy Logic with Examination of between Relationship ^{222}Rn and Earthquake Magnitude, International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMME-2017), 11-13 May, Şanlıurfa, Türkiye.

Ulusal Konferans ve Sempozyumlar

1. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2011. Prediction of Radionuclide Amount in a Region with Cumulative Semivariogram (CSV), 18. İstatistiksel Fizik Günleri, 30 Haziran-2 Temmuz 2011, İstanbul.
2. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2011. Prediction of Dose Rate in a Region with Cumulative Semivariogram (CSV), 5. Nükleer Yapı Çalıştayı, 12-14 Ekim 2011, Muş.
3. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2011. Spatio-Temporal Modelling of ^{134}Cs Transportation Air, 5. Nükleer Yapı Çalıştayı, 12-14 Ekim 2011, Muş.
4. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., 2012. Investigation Relation between Radon and Earthquake with Factor Analysis, 19. İstatistiksel Fizik Günleri, 28-30 Haziran 2012, İstanbul.

5. Niksarlıoğlu, S., Külahcı, F., Kamışlıoğlu, M., 2014. Doğu Anadolu Fay Sistemindeki ^{222}Rn Değişiminin İstatistiksel Analizi, Adım Fizik Günleri III, 17-18 Nisan 2014, Isparta.
6. Kamışlıoğlu, M., Külahcı, F., Niksarlıoğlu, S., 2014. Toprak Radon (^{222}Rn) Gazı Anomalilerinin ARIMA Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi.

Katıldığı Yaz Okulları

1. "Nükleer Bilimler ve Uygulamaları" Yaz Okulu, 9-16 Haziran 2015, Manavgat.
2. NUBA Uluslararası Yaz Okulu, 23-30 Ağustos 2015, Antalya.