

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

# **RADYOAKTİF SERPİNTİNİN UZAY-ZAMAN MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Seçil NİKSARLIOĞLU

Anabilim Dalı: Fizik  
Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

HAZİRAN- 2010

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

# **RADYOAKTİF SERPİNTİNİN UZAY-ZAMAN MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Seçil NİKSARLIOĞLU

(08114102)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

HAZİRAN-2010

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, değişkenin hem konumsal hem de zamansal değişimini gösteren Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram metodu hakkında genel bir bilgi verilmiş ve bu yöntem 26 Nisan 1986 yılında gerçekleşen Çernobil Kazası sonucunda meydana gelen radyoaktif serpintideki  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarının Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ndeki zamansal ve konumsal davranışının incelenmesinde kullanılmıştır.

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

Hayatımın her aşamasında verdiğim kararlarda bana güvenen, beni destekleyen ve daima yanımda olan bugünlere gelmemde en büyük paya sahip haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme ve babama, dualarını hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen babaanneme, yine bugünlere gelmemde pay sahibi olan ve stresli dönemlerimdeki en büyük destekçim diğer yarım, ablam Duygu ALKAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çalışmamızda kullandığımız verileri temin etmemizi sağlayan sayın Doç. Dr. Ahmet Duran Şahin'e, çalışmalarım esnasında çizimlerime yardımcı olan sayın hocam Arş. Gör. M. Fatih KULUÖZTÜRK'e ve yine çalışmamın çeşitli aşamalarında yardımını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Mücahit YILMAZ'a, ayrıca Arş. Gör. Emrah ŞIKOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi bildiririm.

Bu çalışmayı **FÜBAP-1812** projesi olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Seçil NİKSARLIOĞLU  
ELAĞIĞ-2010

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ .....                                               | II  |
| İÇİNDEKİLER.....                                          | III |
| ÖZET .....                                                | VI  |
| ABSTRACT.....                                             | VII |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                    | V   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                    | VII |
| KISALTMALAR LİSTESİ .....                                 | VII |
| SEMBOLLER LİSTESİ .....                                   | IX  |
| 1. GİRİŞ.....                                             | 1   |
| 2. RADYASYON.....                                         | 3   |
| 3. RADYOAKTİVİTE VE RADYOÇEKİRDEKLER .....                | 4   |
| 4. RADYASYON KAYNAKLARI.....                              | 6   |
| 4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....                     | 6   |
| 4.1.1. Kozmik Radyasyon .....                             | 6   |
| 4.1.2. Karasal Radyasyon .....                            | 8   |
| 4.1.2.1. Uranyum Bozunum Zinciri.....                     | 10  |
| 4.1.2.2. Toryum Bozunum Zinciri.....                      | 11  |
| 4.1.2.3. Aktinyum Bozunum Zinciri .....                   | 13  |
| 4.1.3. Yüzeye Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite..... | 14  |
| 4.1.4. Sulardaki Doğal Radyoaktivite.....                 | 16  |
| 4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları .....                     | 17  |
| 4.2.1. Yapay Radyoçekirdekler .....                       | 17  |
| 4.2.1.1. Sezyum (Cs) .....                                | 18  |
| 4.2.1.1.1. Cs-134.....                                    | 19  |
| 4.2.1.1.2. Cs-137.....                                    | 20  |
| 5. RADYOAKTİF SERPİNTİ.....                               | 23  |
| 5.1. Radyoaktif Serpentinin Yayılımı .....                | 23  |
| 5.1.1. Radyoaktif Serpentinin Su ile Taşınımı .....       | 25  |

## **Sayfa No**

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.2. Radyoaktif Serpentinin Toprak ile Taşınımı .....                                 | 27        |
| 5.1.3. Radyoaktif Serpentinin Hava ile Taşınımı .....                                   | 28        |
| <b>6. NÜKLEER KAZALARDA RADYOAKTİVİTE .....</b>                                         | <b>32</b> |
| <b>7. ÇERNOBİL KAZASI .....</b>                                                         | <b>34</b> |
| 7.1. Çernobil Kazasındaki Radyoaktif Kirliliğin Yayılması .....                         | 35        |
| 7.2. Kazada Atmosfere Yayılan Radyoçekirdeklerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ..... | 36        |
| 7.3. Çernobil Kazasındaki Radyoçekirdeklerin Davranışı .....                            | 37        |
| <b>8. MATERYAL VE METOT .....</b>                                                       | <b>40</b> |
| 8.1. Alansal Modeller .....                                                             | 40        |
| 8.1.1. Yarı-Variogram .....                                                             | 41        |
| 8.1.1.1. Yarı-Variogramın Pratik Zorlukları.....                                        | 46        |
| 8.1.2. Uzun-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram.....                                   | 48        |
| <b>9. ARAŞTIRMA ALANI.....</b>                                                          | <b>52</b> |
| 9.1. Karadeniz Bölgesi'nin Coğrafik Özellikleri.....                                    | 54        |
| 9.2. Karadeniz Bölgesi'nin Jeolojik Yapısı .....                                        | 54        |
| 9.3. Karadeniz Bölgesi'nin Toprak Yapısı .....                                          | 56        |
| 9.3.1. Zonal Topraklar .....                                                            | 56        |
| 9.3.1.1. Kırmızı-Sarımsı Podzolik Topraklar .....                                       | 56        |
| 9.3.1.2. Asit Kahverengi Orman Toprakları .....                                         | 56        |
| 9.3.1.3. Kireçli Kahverengi Orman Toprakları.....                                       | 57        |
| 9.3.1.4 Kahve ve Kestane Renkli Topraklar.....                                          | 57        |
| 9.3.2. İntrazonal Topraklar.....                                                        | 58        |
| 9.3.2.1. Flişler Üzerindeki Kumlu Topraklar.....                                        | 58        |
| 9.3.2.2. Şistler Üzerindeki Topraklar.....                                              | 58        |
| 9.3.2.3. Granitler ve Kristalen Şistler Üzerindeki Kumlu Topraklar.....                 | 58        |
| 9.3.2.4. Volcano-sedimanter Kütleler Üzerindeki Ağır Bünyeli Topraklar.....             | 59        |
| 9.3.2.5. Azonal Topraklar .....                                                         | 59        |

**Sayfa No**

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b> | <b>60</b>  |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                | <b>73</b>  |
| <b>EKLER .....</b>                   | <b>83</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                | <b>175</b> |

## ÖZET

Variogram ya da yarı-variogram; istatistiksel tabanlı, niceliksel, uzay sürekliliğini veya veri setinin değişkenliğini gösteren, örnek konumların bağımlılıklarını ölçen, örnekler arasındaki uzaysal bağımlılığı ve bir bölgesel değişkenin uzaysal değişkenliğini karakterize eden bir fonksiyondur. Bu teori birbirine yakın konumda olan aynı değişkenin büyük bir benzerliğe sahip olduğu ve mesafe olarak uzaklaştıkça bu benzerliğin azaldığı ve sonunda biteceği fikrine dayanır. Ancak bu yaklaşımda incelenen değişkenin homojen şekilde dağıldığı ve durağan olduğu kabul edilmektedir. Bu araştırmada, Karadeniz Bölgesinde (Artvin, Düzce, Giresun, Ordu, Rize, Samsun ve Trabzon illerinde) TAEK tarafından ölçülmüş  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoçekirdek konsantrasyonları, Uzay Zaman Noktasal Toplam Yarı-variogram metodu ile modellendi.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaysal Analiz; Radyoaktif Serpinti;  $^{134}\text{Cs}$ ;  $^{137}\text{Cs}$ ; Yarı-Variogram; Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram.

Bu tez, **FÜBAP (proje no : 1812)** tarafından desteklenmiştir.

## SUMMARY

Variogram also known as semivariogram; a statistically based, quantitatively, space continuum, or variability data sets display, measuring interdependence of sample locations, spatial dependence among samples and characterizing the spatial variability of a regionalized variable is a function. This theory is based on the idea of the same variable in close proximity has a big similarity and moving away as distance, the similarity decreases and at the end of it will finish. The homogeneously dispersed variables examined in this approach have been assumed to be stationary. Also, variables that have been examined only by a change of position have been considered and temporal variations do not take into account. In this approach, examined variables have been accepted to be the distribution as a homogenous and to be stationary. In this research, the  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides concentrations measured by TAEK in Black Sea Region (in Artvin, Düzce, Giresun, Ordu, Rize, Samsun and Trabzon) have been modeled with Spatio-Temporal Point Cumulative Semivariogram method.

**Key Words:** Spatial Analysis; Radioactive Fallout;  $^{134}\text{Cs}$ ;  $^{137}\text{Cs}$ ; Semivariogram; Spatiotemporal Point Cumulative Semivariogram.

This thesis is supported by **FÜBAP (The contract number is 1812)**.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                               | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 4.1. Uranyum bozunum zinciri.....                                                                                       | 11                     |
| Şekil 4.2. Toryum bozunum zinciri.....                                                                                        | 13                     |
| Şekil 4.3. Aktinyum bozunum zinciri.....                                                                                      | 14                     |
| Şekil 5.1. Çevreye salınan radyoçekirdeklerin insana geçiş yolu.....                                                          | 25                     |
| Şekil 8.1. Belirli bir uzaklık aralığında variogram hesaplaması gösterimi .....                                               | 44                     |
| Şekil 8.2. Deneysel variogramın hesaplanması için oluşturulan veri değerleri.....                                             | 44                     |
| Şekil 8.3. 100 birim uzaklık için hesaplamaya katılacak nokta sayısı .....                                                    | 45                     |
| Şekil 8.4. Parçacık hareketinin gösterimi .....                                                                               | 49                     |
| Şekil 8.5. Doğrusal yaklaşım gösterimi.....                                                                                   | 50                     |
| Şekil 9.1. Örnekleme istasyonları.....                                                                                        | 53                     |
| Şekil 10.1. Doğrusal model .....                                                                                              | 64                     |
| Şekil 10.2. Küresel model .....                                                                                               | 64                     |
| Şekil 10.3. Üssel model .....                                                                                                 | 65                     |
| Şekil 10.4. Gauss model .....                                                                                                 | 65                     |
| Şekil 10.2. Hole etkili model.....                                                                                            | 65                     |
| Ek 1 Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 1. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 85                     |

## **Sayfa No**

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ek 1 Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 2. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 85 |
| Ek 1 Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 3. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 86 |
| Ek 1 Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 4. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 86 |
| Ek 1 Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 5. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 87 |
| Ek 1 Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 6. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 87 |
| Ek 1 Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 7. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 88 |
| Ek 1 Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 8. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 88 |
| Ek 1 Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 9. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 89 |
| Ek 1 Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 10. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 89 |
| Ek 1 Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 11. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 90 |
| Ek 1 Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 12. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 90 |
| Ek 1 Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 13. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 91 |
| Ek 1 Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 14. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 91 |
| Ek 1 Şekil 1.15. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 15. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 92 |
| Ek 1 Şekil 1.16. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 16. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 92 |

## **Sayfa No**

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 1 Şekil 1.17. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 17. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 93  |
| Ek 1 Şekil 1.18. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 18. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 93  |
| Ek 1 Şekil 1.19. $^{134}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 19. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 94  |
| Ek 2 Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 1. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 96  |
| Ek 2 Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 2. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 96  |
| Ek 2 Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 3. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 97  |
| Ek 2 Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 4. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 97  |
| Ek 2 Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 5. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 98  |
| Ek 2 Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 6. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 98  |
| Ek 2 Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 7. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 99  |
| Ek 2 Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 8. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 99  |
| Ek 2 Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 9. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği .....   | 100 |
| Ek 2 Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 10. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 100 |
| Ek 2 Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 11. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 101 |
| Ek 2 Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 12. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 101 |

## **Sayfa No**

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 2 Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 13. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 102 |
| Ek 2 Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 14. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 102 |
| Ek 2 Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 15. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 103 |
| Ek 2 Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 16. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 103 |
| Ek 2 Şekil 1.17. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 17. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 104 |
| Ek 2 Şekil 1.18. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 18. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 104 |
| Ek 2 Şekil 1.19. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 19. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 105 |
| Ek 2 Şekil 1.20. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 20. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 105 |
| Ek 2 Şekil 1.21. $^{137}\text{Cs}$ izotopunun 1 saatte 21. istasyondaki uzay-zaman noktasal toplam yarı-variogram grafiği ..... | 106 |
| Ek 3A Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası                                 | 108 |
| Ek 3A Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası                                | 108 |
| Ek 3A Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası                                 | 108 |
| Ek 3A Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası                                | 109 |
| Ek 3A Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası                                 | 109 |
| Ek 3A Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası                                | 109 |
| Ek 3A Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası                                | 110 |

**Sayfa No**

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 3A Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 110 |
| Ek 3A Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası . | 110 |
| Ek 3A Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 111 |
| Ek 3A Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 111 |
| Ek 3A Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 111 |
| Ek 3A Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 112 |
| Ek 3A Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 112 |
| Ek 3A Şekil 1.15. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 112 |
| Ek 3A Şekil 1.16. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 113 |
| Ek 3B Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 115 |
| Ek 3B Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 115 |
| Ek 3B Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 115 |
| Ek 3B Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 116 |
| Ek 3B Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 116 |
| Ek 1B Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası . | 116 |
| Ek 3B Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası . | 117 |
| Ek 3B Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 117 |
| Ek 3B Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ 8 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası       | 117 |

**Sayfa No**

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 3B Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 118 |
| Ek 3B Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 118 |
| Ek 3B Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 118 |
| Ek 3B Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 119 |
| Ek 3B Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 119 |
| Ek 3B Şekil 1.15. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 119 |
| Ek 3B Şekil 1.16. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 8 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 120 |
| Ek 3C Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 122 |
| Ek 3C Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 122 |
| Ek 3C Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 122 |
| Ek 3C Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 123 |
| Ek 3C Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 123 |
| Ek 3C Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 123 |
| Ek 3C Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 124 |
| Ek 3C Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 124 |
| Ek 3C Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 124 |
| Ek 3C Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 125 |
| Ek 3C Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 125 |

**Sayfa No**

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 3C Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 125 |
| Ek 3C Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 126 |
| Ek 3C Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 126 |
| Ek 3C Şekil 1.15. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 126 |
| Ek 3C Şekil 1.16. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 127 |
| Ek 3D Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 129 |
| Ek 3D Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 129 |
| Ek 3D Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 129 |
| Ek 3D Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 130 |
| Ek 3D Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 130 |
| Ek 3D Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 130 |
| Ek 3D Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 131 |
| Ek 3D Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 131 |
| Ek 3D Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 131 |
| Ek 3D Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 132 |
| Ek 3D Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 132 |
| Ek 3D Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 132 |
| Ek 3D Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 133 |

## **Sayfa No**

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 3D Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 133 |
| Ek 3D Şekil 1.15. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 133 |
| Ek 3D Şekil 1.16. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 134 |
| Ek 3E Şekil 1.1. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Eylül 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası     | 136 |
| Ek 3E Şekil 1.2. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Eylül 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 136 |
| Ek 3E Şekil 1.3. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Ekim 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası      | 136 |
| Ek 3E Şekil 1.4. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Ekim 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası     | 137 |
| Ek 3E Şekil 1.5. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Kasım 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası     | 137 |
| Ek 3E Şekil 1.6. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Kasım 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 137 |
| Ek 3E Şekil 1.7. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Aralık 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 138 |
| Ek 3E Şekil 1.8. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Aralık 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 138 |
| Ek 3E Şekil 1.9. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Haziran 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 138 |
| Ek 3E Şekil 1.10. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Haziran 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 139 |
| Ek 3E Şekil 1.11. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Temmuz 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 139 |
| Ek 3E Şekil 1.12. $^{134}\text{Cs}$ 10 Temmuz 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası      | 139 |
| Ek 3E Şekil 1.13. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Ağustos 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 140 |
| Ek 3E Şekil 1.14. $^{134}\text{Cs}$ 'ün 10 Ağustos 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 140 |
| Ek 4A Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası      | 142 |

**Sayfa No**

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 4A Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 142 |
| Ek 4A Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 142 |
| Ek 4A Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 143 |
| Ek 4A Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 143 |
| Ek 4A Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 143 |
| Ek 4A Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 144 |
| Ek 4A Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 144 |
| Ek 4A Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 144 |
| Ek 4A Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 145 |
| Ek 4A Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 145 |
| Ek 4A Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 145 |
| Ek 4A Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 146 |
| Ek 4A Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 146 |
| Ek 4A Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 146 |
| Ek 4A Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 7 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 147 |
| Ek 4B Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 149 |
| Ek 4B Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 149 |
| Ek 4B Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 149 |

**Sayfa No**

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 4B Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 150 |
| Ek 4B Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 150 |
| Ek 4B Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 150 |
| Ek 4B Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 151 |
| Ek 4B Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 151 |
| Ek 4B Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 151 |
| Ek 4B Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 152 |
| Ek 4B Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 152 |
| Ek 4B Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 152 |
| Ek 4B Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 153 |
| Ek 4B Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 153 |
| Ek 4B Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 153 |
| Ek 4B Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 8 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 154 |
| Ek 4C Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 156 |
| Ek 4C Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 156 |
| Ek 4C Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 156 |
| Ek 4C Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 157 |
| Ek 4C Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 157 |

## **Sayfa No**

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 4C Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 157 |
| Ek 4C Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 158 |
| Ek 4C Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 158 |
| Ek 4C Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 158 |
| Ek 4C Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 159 |
| Ek 4C Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 159 |
| Ek 4C Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 159 |
| Ek 4C Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 160 |
| Ek 4C Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 160 |
| Ek 4C Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 160 |
| Ek 4C Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 9 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 161 |
| Ek 4D Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 1 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 163 |
| Ek 4D Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 1 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 163 |
| Ek 4D Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 4 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 163 |
| Ek 4D Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 4 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 164 |
| Ek 4D Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 7 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 164 |
| Ek 4D Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 7 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 164 |
| Ek 4D Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 10 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 165 |

## **Sayfa No**

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 4D Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 10 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 165 |
| Ek 4D Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 13 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 165 |
| Ek 4D Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 13 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 166 |
| Ek 4D Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 16 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 166 |
| Ek 4D Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 16 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 166 |
| Ek 4D Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 19 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 167 |
| Ek 4D Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 19 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 167 |
| Ek 4D Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 22 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 167 |
| Ek 4D Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Mayıs 22 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 168 |
| Ek 4E Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Eylül 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 170 |
| Ek 4E Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Eylül 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 170 |
| Ek 4E Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Ekim 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası    | 170 |
| Ek 4E Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Ekim 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 171 |
| Ek 4E Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Kasım 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası   | 171 |
| Ek 4E Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Kasım 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 171 |
| Ek 4E Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Aralık 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası  | 172 |
| Ek 4E Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Aralık 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası | 172 |
| Ek 4E Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Haziran 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası | 172 |

**Sayfa No**

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ek 4E Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Haziran 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası ..... | 173 |
| Ek 4E Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Temmuz 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası .....   | 173 |
| Ek 4E Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Temmuz 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası .....  | 173 |
| Ek 4E Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Ağustos 12 saat $r=82$ km için iso-radyoaktivite haritası .....  | 174 |
| Ek 4E Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ 'nin 10 Ağustos 12 saat $r=438$ km için iso-radyoaktivite haritası ..... | 174 |

## TABLolar LİSTESİ

|                                                                              | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 4.1. Kozmik ışınlı üretilen radyoçekirdekler ve yarı ömürleri .....    | 8                      |
| Tablo 4.2. Bazı yapay radyoçekirdekler .....                                 | 17                     |
| Tablo 4.3. Önemli sezyum izotopları .....                                    | 19                     |
| Tablo 9.1. İstasyonlar ve veriler .....                                      | 53                     |
| Tablo 10.1. $^{134}\text{Cs}$ için 2. istasyona ait benzerlik değerleri..... | 60                     |
| Tablo 10.2. $^{137}\text{Cs}$ için 2. istasyona ait benzerlik değerleri..... | 61                     |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| YV     | : Yarı-Variogram                               |
| TYV    | : Toplam Yarı-Variogram                        |
| NTYV   | : Notasal Toplam Yarı-Variogram                |
| TNTYV  | : Trigonometrik Noktasal Toplam Yarı-Variogram |
| UZNTYV | : Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram    |
| BD     | : Bölgesel Değişken                            |
| Var    | : Varyans                                      |

## SİMGELER LİSTESİ

|                       |                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| $h$                   | : Konumlar arası uzaklık                                     |
| $\gamma(h), \gamma_h$ | : $h$ uzaklığındaki variogram değeri                         |
| $C$                   | : Nugget etkisi                                              |
| $X_i, Z_i, S_i$       | : $i$ konumundaki bölgesel değişkenin değeri                 |
| $X_{i+d}, Z_{i+d}$    | : $i$ konumundan $d$ mesafe sonra bölgesel değişkenin değeri |
| $N, n$                | : İstasyon sayısı                                            |
| $d_{i,j}$             | : $i$ . ve $j$ . konumlar arasındaki mesafe                  |
| $m$                   | : mesafe çifti sayısı                                        |
| $D_{i,j}$             | : Yarı Kare Farkı                                            |
| $S_j$                 | : $j$ konumundaki değişkenin değeri                          |
| $\gamma(d_{i,j})$     | : $d_{i,j}$ konumundaki variogram değeri                     |
| $S_0$                 | : Parçacığın $t_0$ anındaki konumu                           |
| $S_1$                 | : Parçacığın $t_1$ anındaki konumu                           |
| $\phi$                | : Hata payı                                                  |
| $r$                   | : Alınan istasyonlar arası mesafe                            |
| $C_j$                 | : $j$ istasyonundaki bölgesel değişkenin değeri              |
| mSv                   | : milisievert                                                |
| $N(x)$                | : $x$ konumundaki değişkenin değeri                          |
| $N(x+s)$              | : $x$ konumundan $s$ mesafe uzaktaki değişkenin değeri       |
| $E[]^2$               | : Beklenen değer ifadesi                                     |

## 1. GİRİŞ

26 Nisan günü Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti Birliği'nde Kiev kentinin 100 km kadar kuzeyindeki Çernobil Nükleer Güç İstasyonunun 4. ünitesinde meydana gelen kazada reaktör çekirdeğinin ve binanın bir kısmı yıkılmış ve radyoaktif materyaller salınmıştır. Değişen meteorolojik şartlar, çeşitli yüksekliklerde rüzgârın yön değiştirmesi ve 10 günlük devam eden salınım çok karmaşık bir dağılım örneği ile sonuçlandı. Atmosfere salınan bu radyoaktif gaz ve maddeler, yüksek sıcaklıkları nedeniyle hızla yükselerek 1000-1500 metre yüksekliğe çıkarak troposfere ulaşmıştır. Bu radyoaktif bulutlar, meteorolojik koşullara bağlı hareket ederek Avrupa üzerinde yayılmaya başlamış ve sadece Avrupa'yı değil, neredeyse, tüm kuzey yarım küreyi etkilemiştir. İlk birkaç hafta boyunca yayılan kirli su kümesi birikintileri aerosoller ile askıya alınarak göç edip bölgenin havasını kirletmiştir. Yerel şartlar ile bir araya gelen sağanak yağış, yeryüzünde yüksek seviyelerde radyoaktif kirlilik oluşturmuştur. Yeryüzündeki bu kirlilik, zamanla yeraltı ve yer üstü sularını kısmen etkilemiştir (TAEK, 2007).

Üç boyutlu uzayda herhangi bir parçacık, molekül vb. yapıların hareketinin analizi için yapılan çalışmalarda; parçacığın bulunduğu ortam içerisindeki davranışları bilinmek istenir. Böylece incelenen değişken açısından faydalı yorumlamalar yapılabilir. İlgili değişkenin, üç boyutlu koordinat sistemindeki hareketinin zamansal olarak ta bilinmesi bu yorumlamaları daha ileri düzeyde yapmamıza neden olacaktır (Külahcı ve Şen, 2008).

Su veya atmosferik ortamlardaki bir partikülün taşınımı için geliştirilen modeller; yerbilimleri, fizikçiler, inşaat ve çevre mühendisleri gibi çok değişik alanlarda çalışan araştırmacılar tarafından önerilmişlerdir. Bu konu üzerine çalışan araştırmacıların önerdikleri modeller çok geniş bir yelpaze içerisindeki araştırmacılar tarafından kendi çalışmalarına uygulanabilmektedir. Örneğin Alhajjar vd. (1988), su ortamında biyolojik kirlenme için bir model geliştirmişlerdir. Ng vd. (1996) haliçlerde eser elementlerin meydana getirdiği kirlenmenin taşınımına dair nümerik bir model geliştirmişlerdir. Carroll ve Harms (1999) ise, bir radyoçekirdeğin taşınımındaki belirsizliği gösterebilmek için bir hidrodinamik model yaklaşımı yapmışlardır. Külahcı ve Şen (2009) ise dağılım katsayısının su ortamındaki hesaplamalarındaki dezavantajları ve belirsizliklerini ortaya koyan uzaysal bir model önermişlerdir.

Diğer taraftan, partiküllerin atmosfer içerisindeki konumlarının ve nicel büyüklüklerinin kestirildiği uzaysal ve nümerik modeller mevcuttur (Şen, 1998; Frohn vd., 2002; Külahcı ve Şen, 2008).

Bu çalışmada kullanılan bir modelleme tekniği olan uzaysal (spatial) modelleme; genellikle, matematiksel fonksiyonların kullanıldığı bir tekniktir. Bilinen ilk uzaysal model, Student (1907) tarafından yapılmıştır. Student (1907), bir sıvı içerisindeki parçacığın uzaysal konumlarının analizi yerine, birim alan başına parçacıkların sayısını topladı. Bir Hemacytometer'nin 1 mm<sup>2</sup> lik alanını 400 eşit kareye ayırdı ve maya hücrelerini saydı. Daha sonra Fisher (1935) uzaysal analizi tarımsal alanda kullandı. Yates (1938) gelişigüzelikte uzaysal korelasyonun etkisini araştırdı (Yates, 1938).

Uzaysal analiz temelli çalışmalar Matheron (1962) ile asıl kimliğine kavuştu denilebilir ve sonuçta jeostatistik kavramı gelişti. Bu kavramın temelini oluşturan variogram yöntemleri maden yataklarının keşfi için yapılan istatistiksel çalışmaların sonucunda ortaya çıkmıştır. Fakat şu anda ise, istatistik ile ilgilenen ve uygulama alanı bulabilen hemen her bilim dalında kullanılmaktadır (Külahcı ve Şen, 2008).

Radyoçekirdeklerin uzaysal modellenmesi ile ilgili çalışmalar, son bir iki yıl içerisinde artış göstermesine rağmen literatürde çok fazla bulunmamaktadır (Jardin vd., 2002; Viswanathan vd., 2003; Külahcı ve Şen, 2007; Severino vd., 2007). Uzay-zaman kavramlarını içine alan modelleme teknikleri ise yok denecek kadar azdır (Deutsch ve Priffer, 1981; Bilonick, 1985; Hasslett ve Raftery, 1989). Bununla beraber, Külahcı ve Şen (2009) tarafından geliştirilen, literatürdeki ismiyle “Spatio-Temporal Point Cumulative Semivariogram (Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram) (UZNTYV)” metodu, “radyoçekirdeklerin taşınımı” için geliştirilen uzay-zaman modelidir.

Bu çalışmanın temel amacı; Çernobil reaktör kazasından sonra atmosferik yollarla Türkiye'nin Karadeniz Bölgesindeki Artvin, Düzce, Giresun, Ordu, Rize, Samsun ve Trabzon illerine ulaşan <sup>134</sup>Cs ve <sup>137</sup>Cs konsantrasyonlarının uzay-zaman modellemesini yapmaktır. Bu modellemede UZNTYV metodu kullanılarak, radyoaktif serpentinin zamansal bir analizi de yapılacaktır. Bu analizlerin sonucunda <sup>134</sup>Cs ve <sup>137</sup>Cs konsantrasyonlarının alındığı illerin, ilgili radyoaktivite konsantrasyonları açısından iso-radyoaktivite haritaları çizilecektir.

“Radyoaktif Serpentinin Uzay-Zaman Modellemesi” konulu çalışmamız Fırat Üniversitesi'nin desteklemiş olduğu **FÜBAP-1812** nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## 2. RADYASYON

Radyasyon; maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınımlardır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Ayrıca radyasyon, yüksek hızlı partiküllerin ve elektromanyetik dalgaların enerjisi olarak da değerlendirilebilir. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği maddelerde yüklü parçacıklar oluşturabilen radyasyon demektir. İyon oluşumu yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde insanlar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. Yüksek enerjili parçacıkların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir (Değerlier, 2007). İyonlaştırıcı radyasyonlar; parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki kısımda incelenebilir (Koby, 2009). Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket ederler. Başlıca beş çeşit iyonlaştırıcı radyasyon vardır. Bunlar alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır (Taşkın, 2006).

Atomla etkileşime girebilecek kadar güçlü olmayan enerjiye sahip elektromanyetik dalgaların, atomların yörüngesinde sebep olduğu değişim organizma üzerinde büyük bir hasara neden olmaz. Bunlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır. Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo ve televizyon dalgaları örnek olarak verilebilir (Değerlier, 2007).

### 3. RADYOAKTİVİTE VE RADYOÇEKİRDEKLER

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptir. Kararlı bir çekirdekte; nötron sayısı (N), proton sayısından (Z) daha fazla ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır.

Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle sıkı bağlı olduğundan hiçbir parçacık çekirdek dışına kaçamaz. Bu durumda çekirdek dengede kalacaktır. En ağır kararlı çekirdek  $^{207}\text{Bi}$ 'dir (Taşkın, 2006; Kobya, 2009). Ancak çekirdek dengede değil ise yani kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada tutamayacaktır. Belli bir süre sonra bu enerjisini boşaltacaktır. Bazı atom çekirdeklerinin kararsız olması nedeniyle çeşitli tanecikler ve enerji yayınlayarak başka cins çekirdeklere dönüşmesine radyoaktivite denir (Külahcı, 2005).

Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir (Taşkın, 2006). Doğal radyasyonun, kozmik ve kozmojenik radyasyon (dış uzay ve dünyanın atmosferinden), karasal radyasyon (yeryüzü kabuğundan) ve dâhili radyasyon ( $^{40}\text{K}$  gibi, vücudumuzda doğal olarak oluşan radyasyon) gibi birkaç kaynağı vardır. Karasal radyasyonun en yaygın kaynakları uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleridir.  $^{40}\text{K}$ , karasal radyasyonun bir diğer kaynağıdır. Uranyumun bir bozunum ürünü olan Rn, doğal olarak oluşan karasal radyoçekirdek olarak çok iyi bilinir (Külahcı, 2005).

Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok etken vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binada kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık hava şartları ve su bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (Değerlier, 2007; Kobya, 2009).

Toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Çevresel ışımalara maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekte, hata birbirine yakın yerler arasında bile farklılıklar gözlenebilmektedir (UNSCEAR, 1993). Doğal radyasyonların temel seviyeleri, bölgenin jeolojik ve coğrafik

yapısına bağılı olarak da değişiklik gösterir. Bu bağlamda, toprak, su ve bitkilerde biriken radyoaktif maddeler yerel ve bölgesel radyoaktiviteyi önemli oranda değiştirmektedir. Toprak ve kayaların minerolojik yapıları ile coğrafi yükseklik, bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir (UNSCEAR, 1993).

Doğada tanınan yaklaşık 40 kadar doğal radyoizotop vardır. Bunların içinden bir kaçı hariç tutulursa, doğal radyoizotoplar atom numaraları 81-92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu kendiliğinden olma radyoaktif bozunma, çekirdeklerden alfa parçacığı veya beta parçacığı, yani elektron gibi elektrikçe yüklü parçacıkların yayımlanması şeklinde olur (Değerlier, 2007). Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar, hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla kararsız hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip durdurulamaz veya yavaşlatılamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder (Taşkın, 2006; Kobya, 2009).

Radyoaktif elementler, sıklıkla radyoaktif izotoplar veya radyonüklidler olarak adlandırılır. 1500'ün üzerinde farklı radyoaktif nüklid vardır. Bu radyonüklidler 3 genel grupta toplanabilir.

- Dünyanın oluşumundan beri mevcut olan çok uzun yarı ömürlü doğal olarak oluşan çekirdekler.
- Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan çekirdekler.
- İnsan aktiviteleri ve nükleer kazalar neticesinde oluşan yapay radyoçekirdekler (Valkovic, 2000).

#### **4. RADYASYON KAYNAKLARI**

Radyasyon kaynakları, doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal radyasyonun, kozmik ve kozmojenik radyasyon (dış uzay ve dünyanın atmosferinden), karasal radyasyon (yeryüzü kabuğundan) ve dâhili radyasyon ( $^{40}\text{K}$  gibi, vücudumuzda doğal olarak oluşan radyasyon) gibi birkaç kaynağı mevcuttur (Valkovic, 2000; Külahcı, 2005). Doğal radyoaktiviteye ek olarak, 1945’den 1980’e kadar yeryüzünde yapılan nükleer silah denemeleri ve 1986’daki Çernobil nükleer kazası da çevreye radyoaktif elementlerin yayılmasına sebep olmuştur (Cowart ve Burnett, 1994; Külahcı, 2005). Bu şekilde oluşan radyoaktivite ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılmaktadır.

Doğada var olan radyonüklitlerin sayısı 340 civarındadır (IAEA, 1996). Doğal olarak meydana gelen radyoçekirdekler insanoğlu tarafından alınan radyasyon dozuna en büyük katkıyı sağlar. Doğal radyasyon seviyesinin bilinmesi yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan dozun kıyaslanması ve değerlendirilmesi için önemlidir (Cowart ve Burnett, 1994). Dünyada bir insanın yıllık olarak aldığı radyasyon dozunun yaklaşık %82’si doğal kaynaklardan ileri gelmektedir. Buda kişi başına yaklaşık 2,4 mSv’lik doza eşdeğerdir (IAEA,1996). Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl’dır (Koby, 2009).

##### **4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları**

###### **4.1.1. Kozmik Radyasyon**

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Kozmik radyasyonlar, değişik yüklerde ve farklı enerjilerde yayınlanan partikül veya elektromanyetik ışınlardan ibarettir. Yoğunlukları atmosferin üst tabakalarından deniz seviyesine doğru inildikçe azalmaktadır. Kozmik ışınlar genellikle birincil ve ikincil kozmik ışınlar olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Valkovic, 2000). Bu ışınlara maruz kalma yüksekliğe göre değişmektedir. Uzaydan gelen primer ışınların bir kısmı atmosferin alt

tabakalarına, bir kısmı ise yüksek dağların tepelerine kadar ulaşmaktadırlar (Değerlier, 2007).

Kozmik ışınların büyük bir kısmı, dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yer küreye ulaşır. Kutup yakınlарına ekvatora oranla daha çok kozmik ışın gelir. Bu ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından az miktarlarda tutulurlar. Bu nedenle yeryüzüne doğru yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır (Değerlier, 2007).

Kutuplardan ekvatora giderken deniz seviyesindeki kozmik radyasyon oranlarında sadece %10'luk bir azalma olur. Fakat 55.000 feet'de bu azalma %75 olur. Bunda birincil kozmik radyasyon üzerinde Dünyanın ve Güneşin jeomanyetik alanının etkileri vardır (Değerlier, 2007). Birincil (primer) kozmik ışınlar dış uzaydan dünya atmosferine giren enerji yüklü parçacıklardır. İkincil (sekonder) kozmik ışınlar dünya atmosferinin atomları ile birincil kozmik ışınların etkileşmeleri sonucunda üretilen ışınlardır. Atmosfer üstünde bazı atomlar ile birincil parçacıkların kaçınılmaz etkileşmesinden sonra nükleer parçalar, atmosferde çok aşağıdaki atomlar ile ardışık etkileşmelere maruz kalarak üretilir. Böyle çarpışmalarda  $\pi$  mezonları üretilir ve onlar müonlara ve  $\gamma$  ışınlarına bozunur. Müonlar bozunmadan önce deniz seviyesine kadar hareketine devam eder (Valkovic, 2000). Diğer taraftan, gama ışınları daha fazla gama ışınları yayan elektron-pozitron çiftlerinden üretilir. İkincil radyasyon pozitron ve çeşitli mezonları içeren yeni parçacıkların keşfine neden olur. Atmosferik nitrojen ile ikincil nötronların çarpışması sonucunda kozmojenik  $^{14}\text{C}$  dünya atmosferinde birincil olarak üretilir. Reaksiyon denklemi (4.1) verildiği gibidir.



$^{14}\text{C}$  üretiminin çoğu stratosferde meydana gelir.  $^{14}\text{C}$  radyoaktif yaş tayini için bir ölçüm sağlar. 1947 de W. F. Libby tarafından keşfedilen kozmojenik  $^{14}\text{C}$  yalnızca arkeolojik yaş tayini için değil aynı zamanda biyolojik döngü ve büyük ölçekli okyanus dolaşımı gibi jeofiziksel problemlerin yaygın bir değişimini açıklamak içinde kullanılır (Tyka ve Sabol, 1995).

Birincil kozmik ışınların nükleer bileşeni yaklaşık %90 proton, %9 He, %1 ağır çekirdek ve hemen hemen sıfır anti parçacıktan oluşur (Valkovic, 2000). Kozmik ışın parçacıklarının enerjileri çoğunlukla  $10^2$  ve  $10^5$  MeV arasındadır fakat daha yüksek değerlere de ulaşabilir (Değerlier, 2007). Dünya atmosferinin üst tabakalarına çarpan

birincil kozmik ışın etki oranı ekvatorda yaklaşık  $0.02 \text{ } 1/\text{cm}^2 \text{ s}$  ve kutuplarda yaklaşık  $1 \text{ } 1/\text{cm}^2 \text{ s}$  dir (Tyka ve Sabol, 1995).

Kozmik ışınla üretilen radyoçekirdeklerin yarı ömürleri ve bozunum karakterleri Tablo 4.1’de verilmiştir (Tyka ve Sabol, 1995).

**Tablo 4.1.** Kozmik ışınla üretilen radyoçekirdekler ve yarı ömürleri

| Çekirdek         | Yarı-ömür              | Çekirdek         | Yarı-ömür  | Çekirdek                 | Yarı-ömür  |
|------------------|------------------------|------------------|------------|--------------------------|------------|
| $^{10}\text{Be}$ | $1,6 \times 10^6$ yıl  | $^{36}\text{S}$  | 87,4 gün   | $^{16}\text{F}$          | 109,8 saat |
| $^{26}\text{Al}$ | $7,2 \times 10^5$ yıl  | $^7\text{Be}$    | 53,3 gün   | $^{39}\text{Cl}$         | 56,2 saat  |
| $^{36}\text{Cl}$ | $3,00 \times 10^5$ yıl | $^{37}\text{Ar}$ | 35,0 gün   | $^{38}\text{Cl}$         | 37,29 saat |
| $^{80}\text{Kr}$ | $2,13 \times 10^5$ yıl | $^{33}\text{P}$  | 25,3 gün   | $^{34\text{m}}\text{Cl}$ | 31,99 saat |
| $^{14}\text{C}$  | 5730 yıl               | $^{32}\text{P}$  | 14,28 gün  |                          |            |
| $^{32}\text{Si}$ | ~650 yıl               | $^{28}\text{Mg}$ | 21,0 saat  |                          |            |
| $^{39}\text{Ar}$ | 269 yıl                | $^{24}\text{Na}$ | 15,02 saat |                          |            |
| $^3\text{H}$     | 12,33 yıl              | $^{38}\text{S}$  | 2,83 saat  |                          |            |
| $^{22}\text{Na}$ | 2,60 yıl               | $^{31}\text{Si}$ | 2,62 saat  |                          |            |

#### 4.1.2. Karasal Radyasyon

Karasal radyoçekirdekler birkaç milyar yıl önce yeryüzünün oluşumundan beri dünyada mevcuttur. Birincil radyoçekirdekler olarak isimlendirilen bu çekirdeklerin en bol olanı ve en önemlileri  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve bunların bozunum ürünleri  $^{40}\text{K}$ , ilaveten  $^{87}\text{Rb}$ ’dir (Tykva ve Sabol, 1995).

Uranyum ve Toryum ağır elementleri doğal olarak meydana gelen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ile başlatılan üç radyoaktif serinin kaynağıdır. Tam olarak 1935’te tanımlanan bu üç klasik seri genellikle Uranyum serisi, Aktinyum serisi ve Toryum serisi olarak isimlendirilir. Dördüncü seri nisbeten kısa yarı ömre sahip olan  $^{237}\text{Np}$  ile başlayan Neptinyum serisidir (Tykva ve Sabol, 1995).

Toprakta özellikle  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  izotopları bulunur. Bunlar daha çok volkanik, granit ve kaya tuzlarında bulunur. Bu kayalar doğa şartlarında ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar ve böylece toprağın doğal

radioaktiflik seviyesini arttırmış olurlar (Koby, 2009). Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde toprak tabakasının hemen altında kaya tabakasının bulunduğu görülür. Bu kaya tabakasının, karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonunun önemli bir kısmının, 0-30 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir (Külahcı, 2000; Değerlier, 2007).

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi radyoçekirdeklerin toprakta bulunma miktarları toprağın kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Yüksek radyasyon seviyeleri granit, volkanik, fosfat gibi volkanik kökenli kayalarda ve tuz kayalarında, düşük radyasyon seviyeleri de tortul kayalarda görülür. Fakat bazı katmanlarına ayrılabilen tortul kaya ve fosfat kayalarının da nisbeten yüksek radyonüklid içeriğine sahip olması beklenir. Bu kayalar çevresel şartlara bağlı olarak ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa karışırlar. Bu şekilde topraktaki aktivitenin artmasına neden olurlar (Değerlier, 2007).

Uranyum gümüş beyaz, parlak, hemen hemen her yerde az miktarda da olsa doğal olarak bulunan radyoaktif bir elementtir. Dünya kabuğunun kristalizasyonu ve kısmen erimesi gibi doğal jeolojik işlemler sırasında, uranyum sıvı fazda yoğunlaşmış olur ve sonuç olarak uranyum silikaca daha zengin ürünlerle birleşir. Granitler gibi püskürük kayalar; bazaltik kayalar ve ultramafik kompozisyonlarla karşılaştırıldığında, uranyum içeriği olarak daha zengindirler. Uranyum püskürük kayaların çözünmesinden dolayı karasal çevrede serbest kalır. Ayrıca kum taşları ve çamur taşları gibi pek çok tortul kayanın içerisinde de bulunabilir. Uranyum bu kayalar içerisinde organik madde ve fosfatlarla yaygın bir biçimde birlikte bulunur (özellikle deniz suyundaki uranyumun yüksek konsantrasyonundan dolayı denizsel çevrede). Uranyum, yüzey kayalarının çözünmesi ve yeraltındaki kaya yapılarıyla temas halinde olmasından dolayı; yeraltı sularındaki konsantrasyonu yüzey sularından daha fazladır (Cowart ve Burnett, 1994; Külahcı, 2000).

Uranyum yatağı fosforitleri, linyit ve şist (shales) düşük seviyede uranyum içeren ama yaygın bir şekilde doğada bulunan kaynaklardandır. % 0,01'den daha az uranyum içerirler. Granitler içerisinde de uranyum bulunabilir (Bourdon vd., 2003; Külahcı, 2005).

Yağış miktarı fazla olduğunda uranyum yoğunluğu düşüktür. Uranyum asetatlar, sülfatlar, karbonatlar, kloritler ve nitratlar su içerisinde kolaylıkla çözünebilirler ve bunların yeraltı ve yüzey suları içerisindeki kimyasal formu, karbonat bileşiklerinin mevcudiyeti nedeniyle genellikle baskındır. Bu karbonat kompleksleri ya negatif ya da nötr yüklüdürler ve kil gibi katyon değiştiricilerin mevcudiyetine rağmen, çoğu toprak

içerisindeki hareketleri oldukça yüksektir. Bu durum, uranyumun; toprak içerisinde, kurak ve yarı kurak bölgelerde süzülen yeraltı sularında, hareket kabiliyetini yükseltir (Valkovic, 2000).

Topraktaki çözünmüş uranyumun mobilitesi; toprak ve suyun pH'ı, toprağın organik karbon içeriği, toprağın yeraltı suyuna yakınlığıyla güçlü bir şekilde ilişkilidir. Kurşun gibi pek çok ağır metal, uranyumun mobilitesini nötral ve alkali şartlar altında artırır (Valkovic, 2000).

Jeolojik olarak; U, Th, Ra ve Rn aynı tip kayalarda oluşma eğilimindedir. Th ve U'dan her ikisi de magmatik oluşumlar ve hidrotermal çözeltilerde yüksek oranda yoğunlaşmışlardır. Bu nedenle, asidik volkanik kayalar (granit), pegmatitler ve hidrotermal maden yataklarında bulunmaktadır (Kilen ve Heiger, 1975).

#### 4.1.2.1. Uranyum Bozunum Zinciri

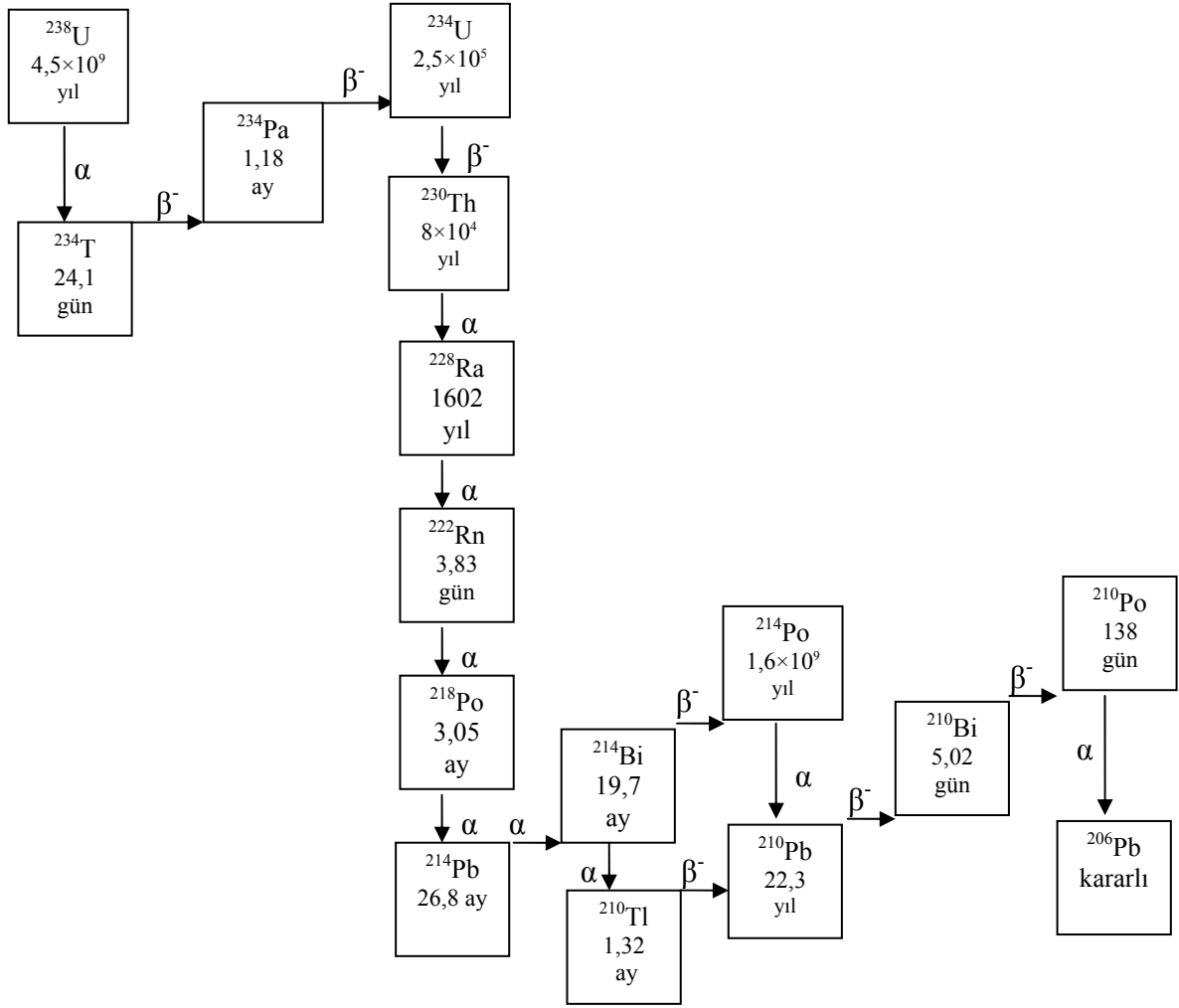
Uranyum serisi  $^{238}\text{U}$  ile başlar ve kararlı  $^{206}\text{Pb}$  çekirdeği ile biten 11 ayrık bozunum basamağından oluşur. Her bir çekirdek bozunum boyunca karakteristik radyasyon yayacaktır. Uranyum serisinin bozunum basamakları Şekil 4.1'de gösterildiği gibidir (Valkovic, 2000).

Zincirdeki çekirdeklerin çoğunluğu kısa yarı ömürlere sahiptir. Yalnızca 5 çekirdek 1 yılı aşan yarı ömre sahiptir. Bu çekirdekler;

$^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{210}\text{Pb}$ 'dur. Bu çekirdeklerin yarı ömürleri 22 yıldan  $4,5 \times 10^9$  yıla uzanır. Kalan çekirdeklerin yalnızca üçü 30 dk'dan daha uzun yarı ömre sahiptir. Bu çekirdekler;

$^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  ve  $^{210}\text{Po}$ 'dur. Bu çekirdeklerin yarı ömürleri 3.82 günden 138 güne kadar uzanır. Öncelikle alfa yayımı vasıtasıyla bozunan 8 çekirdek vardır. Bunlar;  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Po}$ 'dur (Valkovic, 2000).

Bu yayılımlar ya sadece alfa yayılımları ya da pek az miktarda gama fotonları ile birlikte olur. Her bir alfa tek bir karakteristik enerji ile yayılır. Yukarıdaki çekirdekler için enerji değerleri 4,2 MeV ve 7,69 MeV arasında değişir. Alfa parçacıkları havada sınırlı menzile sahiptirler. 4 MeV enerjiye sahip alfa parçacığının erimi 2,5 cm, 7 MeV enerjiye sahip alfa parçacığının erimi ise 6 cm'dir (Valkovic, 2000).



Şekil 4.1. Uranyum bozunum zinciri

#### 4.1.2.2. Toryum Bozunum Zinciri

Toryum normal olarak altın madeni yataklarında düşük konsantrasyonlarda bulunur. Varlığı toron kız çekirdeğinin konsantrasyonunun algılanmasıyla belirlenir. Bazı alanlarda, toryum altın taşıyan kayalar üzerinde siyah mineral kum tabakasında yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Valkovic, 2000).

Ana <sup>232</sup>Th, 9 radyoaktif kız çekirdek aracılığıyla kararlı <sup>208</sup>Pb izotopuna dönüşür. Ana <sup>232</sup>Th'un dışında (yarı ömrü  $t_{1/2} = 1,4 \times 10^9$  yıl) kız çekirdeklerin yarı-ömürleri yedi yıldan daha azdır. <sup>228</sup>Th ve <sup>228</sup>Ra yıllarla ölçülen yarı ömürlere sahiptir (1,9-6,7 yıl). Kalan çekirdeklerin yarı ömürleri nanosaniyelerden 10,64 saate kadar değişir (Valkovic, 2000).

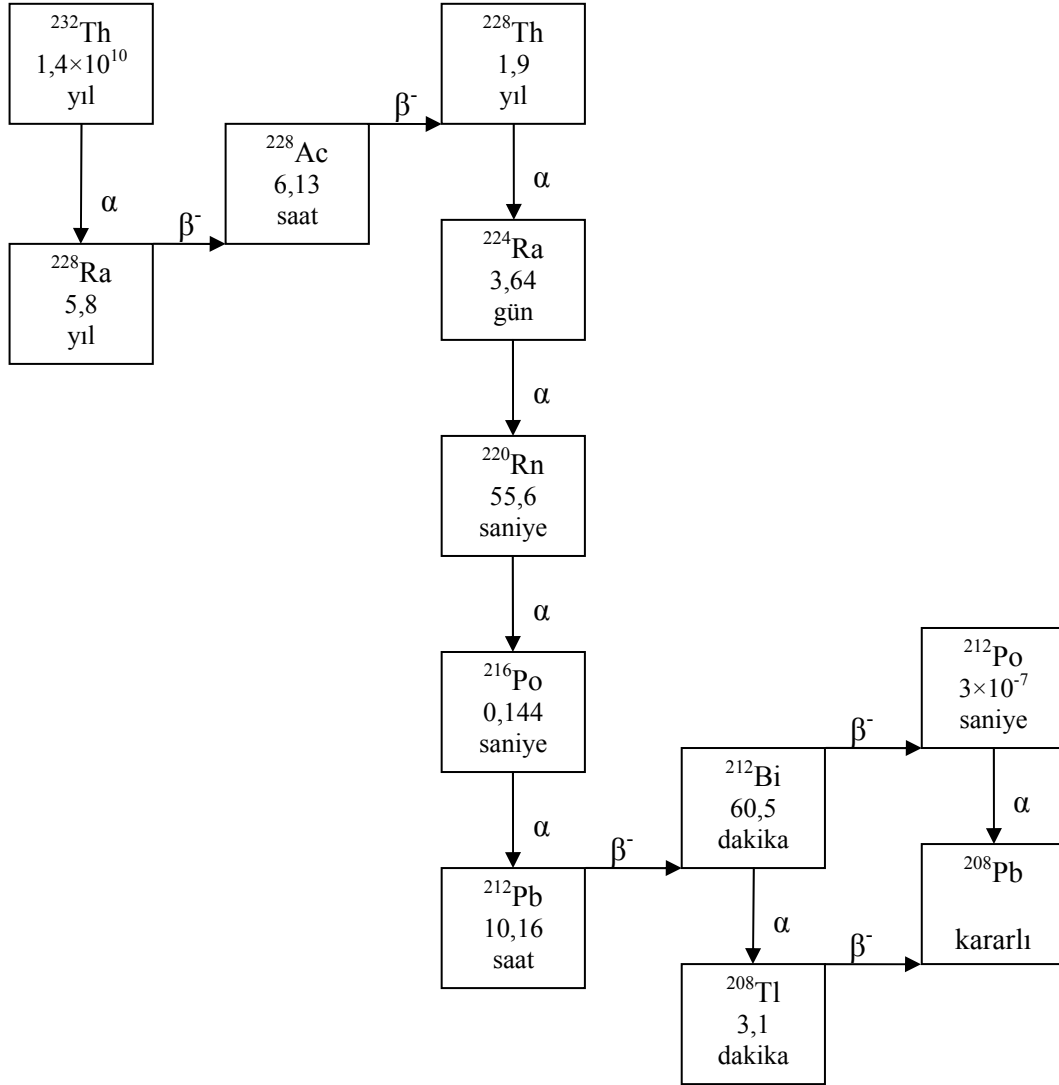
Öncelikli olarak alfa yayılımı aracılığıyla bozunan yedi radyoçekirdek vardır. En önemli uzun ömürlü alfa yayıcılar <sup>232</sup>Th ve <sup>228</sup>Th'dur. Toron gazı (<sup>230</sup>Th) radyolojik olarak

önemli birkaç kısa ömürlü alfa yayıcı üreterek bozunur:  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  ve  $^{212}\text{Po}$  (Valkovic, 2000).

$^{232}\text{Th}$  bozunum zincirinin alfa yayınlayıcılarının çoğu sadece alfa yayınlar veya gama yayılımının düşük seviyelerine sahiptir. Bir istisna beta ve gama yayılımlarının önemli miktarına sebep olan  $^{212}\text{Bi}$ 'dir. Bunlar  $^{238}\text{U}$  bozunum zincirinden daha geniş enerji aralığına ve daha yüksek bir maksimuma sahiptir ve enerji 3.95 MeV ile 8.78 MeV aralığında değişir. Önemli beta yayıcılar tarafından eşlik edilen 5 radyoçekirdek bozunumu vardır. Bunlar;  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  ve  $^{208}\text{Tl}$  radyoçekirdekleridir (Valkovic, 2000).

Beta parçacıkları karakteristik maksimum enerji ( $e_{\text{max}}$ ) ve ortalama enerji ile bir spektrum biçiminde yayılır; tekrar parçacıklar kendi karakteristik olasılıklarında farklı enerjiler ile yayılabilir.  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirinde  $e_{\text{max}}$  değeri için enerji aralığı çok geniştir ve 0,06 MeV'den 2,26 MeV'e uzanır. Toryum serisinin bozunum basamakları Şekil 4.2'de gösterilmiştir (Valkovic, 2000).

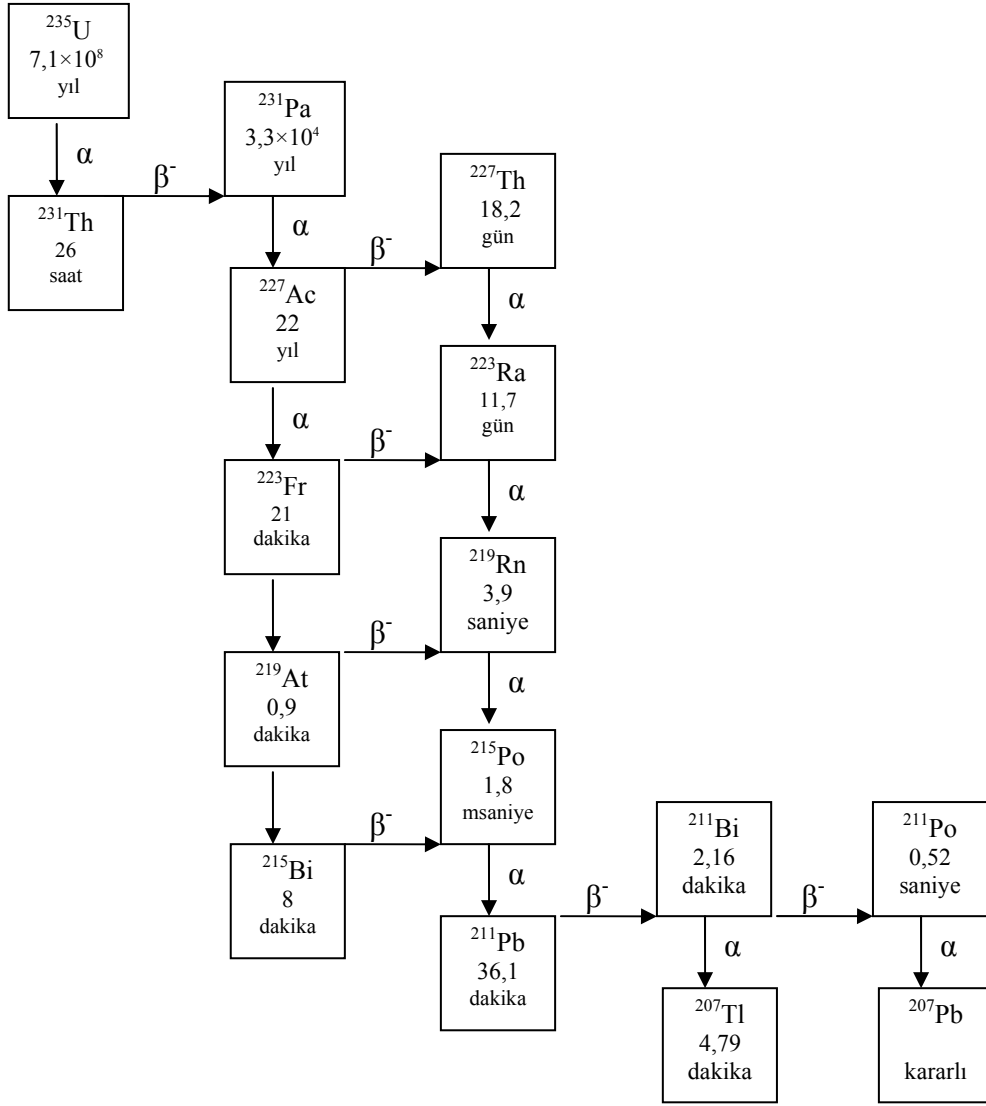
Birçok durumda gama fotonu yayılımında, gama yayılım enerjisi veya bolluk yüzdesi çok düşüktür ve böylece dış ışınlama açısından çok önemli değildir.  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirinde gama yayılımlarına baskın katkı  $^{224}\text{Ra}$  altındaki bozunum zinciri kısmında meydana gelir. Zincirdeki toplam gama yayılımının %95'i zincirin bu alt serisinde meydana gelir. Zincirdeki baskın gama yayıcı  $^{208}\text{Tl}$ 'dir. Enerjideki kendi bolluk yayılım oranı 0.511-2.614 MeV aralığındadır. Bu radyoçekirdeklerin yoğunlaştığı herhangi materyalde bolluk ve yüksek enerjiden dolayı yoğun ve güçlü gama alanları üretilir (Valkovic, 2000).



Şekil 4.2. Toryum bozunum zinciri

#### 4.1.2.3 Aktinyum Bozunum Serisi

Aktinyum serisi,  $^{235}\text{U}$  kaynaklı olup ilk keşfedilen üyesi olan  $^{227}\text{Ac}$ 'nin ismini almıştır. Bozunum basamakları Şekil 4.3'te gösterilmiştir (Valkovic, 2000).



Şekil 4.3. Aktinyum bozunum zinciri

#### 4.1.3. Yüze Yakin Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite

Atmosferik radyonüklidlerin konsantrasyonu enlem ve boylama bağılı olan özel bir dağılıma sahiptir. Kozmojenik radyoçekirdekler, stratosferde kozmik ışınların yoğunluğunun daha yüksek olmasından dolayı troposferdekinden daha yüksek üretime sahiptir. Serpinti çekirdekler Kuzey Yarımküre'nin orta enleminde daha yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Çünkü en çok atmosferik nükleer patlama denemeleri burada yapılmıştır (Valkovic, 2000). Atmosferdeki düşük seviyeli radyo çekirdek dağılımına neden olan etmenlerden birine örnek olarak kömür verilebilir. Kömürün yanmasından ortaya çıkan uranyum, özellikle küller vasıtasıyla atmosfere yayılır (Külahcı, 2005).

Yüzeye yakın atmosferde, hem insan yapımı suni radyoaktifler hem de doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve parçacıklar bulunmaktadır. Atmosferde bulunan toz ve küçük parçacıklar genellikle havada asılı kalmakta veya hava akımlarıyla sürekli dolanmaktadırlar. Bu parçacıkların yoğunlukları genellikle havanın yoğunluğundan az olduğu için çekim etkisiyle yere inmektedirler (Külahcı 2005). Nükleer denemeler, kozmik etkileşmeler, nükleer kazalar, doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller yüzeye yakın atmosferdeki radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. İnsan üretimi sonucu ortaya çıkan hava kirlilikleri, toz fırtınaları, orman yangınları ve volkanik patlamalar ile atmosfere bırakılan toz ve küller atmosferdeki kirlenmeyi arttırmaktadır. Nükleer patlamalar sonucunda fisyon ürünleri, kalıntı fisil malzeme ve aktivasyon ürünleri yüksek ısıda atmosfere karışırlar. Yeryüzüne yakın patlamalarda bu karışıma toprak ve kaya parçaları da katılır. Karışım havada yükselirken soğuma nedeniyle katılaşıp çok çeşitli boyutta radyoaktif partiküller oluşur. Bu partiküllerden geniş çapta olanları birkaç yüz kilometre uzaklığa kadar olan alan içine yağarak bölgesel serpinti (fallout) meydana getirirler. Küçük çaptaki parçacıklar aşağı troposfer tabakasına girerek yeryüzünde geniş çapta radyoaktif kirlenmeye sebep olurlar (Köksal ve Göksel, 1999; Taşkın, 2006; Değerlier, 2007).

Nükleer denemelerde atmosfere atılan radyoaktif maddeler atmosferde bulunan kozmogenik radyoaktif çekirdek yoğunluğunun artmasına neden olur. Protonlar ve kaonlar yer seviyesine ulaşmadan bozunuma uğrarlar. Bunların yarı ömürleri oldukça kısadır. Nötronlar elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederek yavaşlar ve  $^{14}\text{C}$  ve  $^{14}\text{N}$  atomları tarafından yakalanırlar (Külahcı, 2005). Nükleer denemeler atmosfere çok miktarda radyoaktif toz ve parçacıkların atılmasına neden olmaktadır. Bu tür denemeler özellikle atmosferde, 30 km'den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmelere sebep olmaktadır (Eisenbud ve Petrow, 1964; Taşkın, 2006; Değerlier, 2007). Atmosfere atılan kara kökenli toz ve partiküllerin çoğu doğal radyoaktif madde içermektedir. Özellikle volkanik patlamalarla yer kabuğunun derinliklerinden atmosfere atılan toz ve küllerde, rüzgâr ve fırtınalarla toprak yüzeyinden havaya kaldırılan tozlarda ve termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanmasıyla havaya atılan kül ve dumanda radyoaktif maddelerin olduğu bilinmektedir. Bunlar yüzeye yakın atmosferin radyoaktivite yönünden de kirlenmesine neden olmaktadır (Eisenbud ve Petrow, 1964).

#### 4.1.4. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Su,  $^{40}\text{K}$  ile birlikte uranyum, toryum ve onların kız çekirdeklerinin bozunumundan oluşan doğal radyoaktivitenin küçük ve değişik miktarlarını içerir (Valkovic, 2000).

Suyun sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoaktif çekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikleri, suların doğal radyoaktivitesini artırmaktadır (Rogers, 1958; Külahcı 2005). Sulardaki radyoaktiflik önemli ölçüde su yataklarındaki doğal radyoizotoplardan, radyoaktif yağışlardan ve nükleer kuruluşlardan kaynaklanmaktadır (ICRP, 1977). Sular doğada toprak ve kayalar ile temas halindedir. Bu nedenle toprak ve kayaların içerisindeki bir takım element ve minerallerin suya karışması söz konusu olabilir (Koby, 2009).

Yeraltı sularında suyun akışı güçlü değildir (Ericson, 1962; Külahcı, 2005). Yeraltı suları, yüzey sularından daha radyoaktiftir. Buna temas ettikleri radyoaktif kütleler ya da mineraller neden olmaktadır (Duenas vd., 1983). Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir (Lucas, 1991).

Sular farklı miktarlarda  $^{235}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerinden olan radyoaktif çekirdekleri içerebilirler (Duenas vd., 1983). Sularda uranyum serisine dâhil olan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$  izotoplarının ve toryum serisinden  $^{224}\text{Ra}$  ve  $^{228}\text{Ra}$  gibi radyoizotopların bulunma olasılıkları oldukça yüksektir. Sularda en fazla uranyum ailesinden radyum ve radon bulunmaktadır (Lucas, 1991). Okyanuslarda en önemli radyum kaynağı okyanus dip tortullarıdır (Cochran,1992; Valkovic, 2000).

Çözünmüş U yoğunluğunun oranı, nehirlerde 0.0048-0.000083 Bq/L arasında değişirken (Scott, 1982), okyanuslarda bu oran 0.041 Bq/L veya 3.25  $\mu\text{g/L}$  dir (Cochran,1992; Külahcı, 2005). Th izotopları suda her zaman düşük yoğunlukta bulunur (Valkovic, 2000). Th, okyanuslarda U'un çözünmesiyle oluşur ve partiküller üzerine yapışarak ve hidrolize yoluyla dibe iner (Külahcı, 2005). Sulara etki eden bir başka kaynaktan yapay radyoaktif çekirdeklerdir. Yapılan çalışmalarda  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  içeren topraktaki bu radyoaktif çekirdeklerin ancak %7 ile %9'nun suya geçtiği saptanmıştır (Polar,1989).

## 4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla radyoaktif hale getirilebilirler. Radyoaktif hâle gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olaya yapay radyoaktivite denir (Taşkın, 2006; Kobya, 2009).

Halkın maruz kaldığı yapay radyasyon kaynakları; tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ve nükleer reaktör kazalarıdır. Doğada var olmayıp bu olaylar neticesinde oluşan çekirdeklere de “yapay radyoçekirdekler” denir (URL-1).

### 4.2.1. Yapay Radyoçekirdekler

Çevrede bulunan ve fisyon yöntemiyle üretilen radyoçekirdeklerin birincil kaynağı atmosferik nükleer silah denemeleridir. Son yıllarda atmosferik test denemelerinde meydana gelen önemli azalmayla birlikte halk bu denemeler sonucunda oluşan yapay radyoaktif çekirdeklere daha az maruz kalmıştır. Böylece son yıllarda fisyon ürünü radyoçekirdeklerin en önemli kaynağı nükleer kazalar olmuştur. Bir nükleer reaktörün erimesi bir nükleer bomba patlamasına benzer radyoçekirdek spektrumu salabilir ama çekirdeklerin oranı iki olay içinde farklı olabilir. Radyoçekirdeklerin oranındaki farkların sebebi, reaktör işleyişi boyunca uzun ömürlü radyoçekirdeklerin dereceli olarak birikme eğiliminde olmasıdır (Tykva ve Sabol, 1995). Bazı yapay radyoçekirdekler ve yarı ömürleri Tablo 4.2’de verilmiştir (IAEA, 1989).

**Tablo 4.2.** Bazı yapay radyoçekirdekler

| Çekirdek         | Yarı Ömür | Yayılan Radyasyon ve Parçacık | Çekirdek          | Yarı Ömür             | Yayılan Radyasyon |
|------------------|-----------|-------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <sup>60</sup> Co | 5,3 yıl   | $\beta, \gamma$               | <sup>134</sup> Cs | 2,1 yıl               | $\beta, \gamma$   |
| <sup>65</sup> Zn | 244 gün   | $\gamma$                      | <sup>137</sup> Cs | 30 yıl                | $\beta, \gamma$   |
| <sup>90</sup> Sr | 29 yıl    | $\beta$                       | <sup>239</sup> Pu | $2,4 \times 10^2$ yıl | $\alpha, \gamma$  |
| <sup>90</sup> Y  | 64 saat   | $\beta$                       | <sup>241</sup> Am | 432 yıl               | $\alpha, \gamma$  |
| <sup>125</sup> I | 60 gün    | X                             |                   |                       |                   |

#### 4.2.1.1. Sezyum (Cs)

Sezyum, çeşitli madenlerde ve toprakta daha az ölçüde, 133 izotopu olarak doğal olarak meydana gelen yumuşak, gümüş beyaz-gri renkli bir metaldir. Sezyumun büyük miktarını üreten doğal kaynak, nadir bulunan bir mineral olan polüsittir (pollucite). Amerika’da Maine ve Güney Dakota’da bulunan polüsit madenleri sezyum oksidin yaklaşık %13’ünü içerir. Bir metal olmasına rağmen sezyum oldukça düşük sıcaklıklarda 28°C’de (82°F) erir. Bu nedenle civa gibi orta sıcaklıklarda (ılımlı sıcaklıklarda) sıvıdır. Bu alkali metallerin çoğu soğuk hava ile temasa geçtiği zaman patlayıcı olarak tepki gösterir. Dünya kabuğundaki sezyum konsantrasyonu kilogram başına 1.9 miligram (mg/kg) ve deniz suyundaki konsantrasyonu yaklaşık 0.5 µgr/l’tir. Radyoaktif sezyum geçmişteki atmosferik nükleer silah denemelerindeki serpentinin bir sonucu olarak dünya genelinde toprakta mevcut duruma gelmiştir (Peterson vd., 2007).

Sezyumun 11 önemli radyoaktif izotopu vardır. Bunlardan yalnızca üç radyoizotop uzun yarı ömürlere sahiptir. Bu radyo izotoplar;  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ ’dir. Bunların her biri beta ( $\beta$ ) parçacıkları yayımı ile bozunur ve yarı ömürleri yaklaşık olarak 2 yıl ile 2 milyon yıl arasında değişir. Bu üç radyoaktif sezyum izotopu nükleer fisyon tarafından üretilir (Peterson vd., 2007; Külahcı ve Şen 2009). Diğer sezyum izotoplarının yarı ömürleri iki haftadan daha kısadır.  $^{235}\text{U}$  atomu (veya diğer bölünebilir çekirdekler) fisyonu uğradığı zaman, genellikle asimetric olarak iki büyük parçaya ve iki veya üç nötrona ayrılır. Sezyum radyoçekirdekleri böyle fisyon ürünleridir.  $^{135}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  sırasıyla yaklaşık olarak %7 ve %6 ile nispeten yüksek miktarda üretilen ürünlerdir. Yani, 100 fisyon başına  $^{135}\text{Cs}$ ’in yaklaşık 7 atomu ve  $^{137}\text{Cs}$ ’nin 6 atomu üretilir. Bu üç izotoptan en önemlisi 30,1 yıllık yarı ömrü ile  $^{137}\text{Cs}$ ’dir.  $^{135}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  ile radyolojik bozunum karakteristiklerinden dolayı genellikle daha az ilgilenilmektedir.  $^{135}\text{Cs}$ ’in çok uzun yarı ömre sahip olması onun çok düşük özel bir radyoaktiviteye sahip olduğu ve yavaş bir bozunum oranına sahip olduğu anlamına gelir (Peterson vd., 2007).

Sezyuma maruz kalınmasını önlemek zordur. Cs toprakta depolanır ve bu alan içindeki herkes uzun dönem gama ışınımına maruz kalabilir. Topraktaki Cs ayrıca tarımsal ürünlere ve bununla otlanan hayvanlara da transfer olabilir. Sezyum genellikle az hareketli radyoaktif maddelerden biridir. Sezyum toprağa oldukça güçlü şekilde tutunur. Kumlu toprak parçacıklarındaki konsantrasyonun yarık sularındaki sıkı bağlı topraklardan 280 kat

daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Sezyum konsantrasyon oranları kil ve kil, kum, çürümüş maddelerden oluşan toprakta daha fazladır. Böylece sezyum DOE konumları ve diğer yerleşimlerdeki yer altı sularında önemli bir kirlenici değildir (Peterson vd., 2007). Sezyum ayrıca mikali mineraller üzerinde de güçlüce tutulur (Fuhrmann vd., 2002). Önemli Cs izotopları ve özellikleri Tablo 3’de verilmiştir (Peterson vd., 2007).

**Tablo 4.3.** Önemli sezyum izotopları

| İzotop            | Yarı Ömrü<br>( $t_{1/2}$ ) | Özel<br>Aktivitesi<br>(Ci/g) | Bozunum<br>Türü | Radyasyon Enerjisi<br>(MeV) |                     |                      |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|
|                   |                            |                              |                 | Alfa<br>( $\alpha$ )        | Beta<br>( $\beta$ ) | Gama<br>( $\gamma$ ) |
| $^{134}\text{Cs}$ | 2,1 yıl                    | 1,300                        | $\beta, \gamma$ | -                           | 0,16                | 1,6                  |
| $^{135}\text{Cs}$ | 2,3 milyon yıl             | 0,0012                       | $\beta, \gamma$ | -                           | 0,067               | -                    |
| $^{137}\text{Cs}$ | 30,1 yıl                   | 88                           | $\beta, \gamma$ | -                           | 0,661               | -                    |

#### 4.2.1.1.1. $^{134}\text{Cs}$

$^{134}\text{Cs}$ , nükleer silah denemeleri ve reaktör kazalarından oluşan 2,1 yıllık yarı ömre sahip  $\beta$  parçacığı yayımı ile bozunan yapay bir radyoçekirdektir. 20 yıldan daha uzun zaman önce üretilen  $^{134}\text{Cs}$ ’ün hemen hemen tümü radyoaktif bozunumdan dolayı günümüzde yok olmuştur (Peterson vd., 2007). Atmosferik nükleer silah denemelerindeki serpintide tanımlanması zor olan  $^{134}\text{Cs}$ , Mayıs 1986’dan beri bütün serpinti örneklerinde belirlenmiştir ve  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  birikintisine benzer bir eğilim göstermektedir. Bu  $^{134}\text{Cs}$ ’ün Çernobil nükleer reaktöründen salınan radyoaktif materyal izleyicisi için kullanışlı olduğunun göstergesidir (Aoyama, 1988).

$^{134}\text{Cs}$ ’ün topraktaki dikey ilerleme hızı  $^{137}\text{Cs}$  göre daha yavaştır.  $^{134}\text{Cs}$ ’ün ilerleme hızı 0.2 cm/saat ve  $^{137}\text{Cs}$ ’nin 0.3 cm/saattir (Taşkın, 2006).  $^{134}\text{Cs}$  bitki içinde kolayca hareket eder ve daha yaşlı dokular ile kıyaslandığında genç ve gelişen dokularda nisbeten yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Fuhrmann vd., 2002).

#### 4.2.1.1.2. <sup>137</sup>Cs

<sup>137</sup>Cs, Çernobil Nükleer kazası gibi kazalardan veya nükleer patlamalardan meydana gelen 30,1 yıllık yarı ömrü ile insanlar tarafından yapılmış yapay bir radyoçekirdektir (Fujiwara vd., 2007). Bozunum ürünü Baryum-137m (m yarı kararlı anlamına gelir) yaklaşık 2,6 dakikalık yarı ömrü ile enerjik gama yayılımı ile kararlı hâle gelir. Sezyumu bir dış tehlike yapan bu bozunum ürünüdür (Peterson vd., 2007). 1945'ten 1980'e kadar nükleer silahların atmosferik testi bu radyoçekirdekler ile çevrenin kirlenmesinin başlıca sebepleri olmuştur (Fujiwara vd.,2007). Her bir test atmosfere dağılan radyoaktif maddelerin önemli miktarının kontrolsüzce dağılımına neden olmuş ve bu radyoaktif maddeler dünya genelinde depolanmıştır (UNSCEAR, 2000). 1986'daki Çernobil Nükleer Reaktör kazasından başka, 1980'deki atmosferik testlerin durmasından beri, <sup>137</sup>Cs ile ciddi şekilde atmosferik kirlilik olmamıştır. Atmosferik denemelerden meydana gelen <sup>137</sup>Cs stratosfer içine taşınmış ve serpintiyle zamanla yer yüzeyinde depolanmıştır. Radyoaktif parçacıkların stratosferik yarı kalış zamanlarının yaklaşık 1 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Krey ve Krajewsky, 1970). Çernobil kazasından sonra Mayıs 1986'nın başlarında meydana gelen yağmur yağışı ile <sup>137</sup>Cs toprak üzerinde depolanmıştır (Almgren vd.,2006; Mitchell vd., 1990; Renaud vd., 2003; Roux vd., 2009).

İnsan yapımı radyoçekirdeklerin deposu (rezervuarı) okyanus ve karalarda olabilir. Deniz tuzu taşınımı ve yüzey deniz suyunda <sup>137</sup>Cs bileşenine dayanarak, Igarashi vd. (2003) okyanusun kara üzerinde <sup>137</sup>Cs'nin yıllık depolanmasına katkısının %0.2'den daha az olduğunu ihmal edilebilir bir seviyede olduğunu belirledi. Böylece Igarashi vd. (2003) <sup>137</sup>Cs'nin en önemli deposunun kara yüzeyi olduğunu gösterdi. Bir yerde <sup>137</sup>Cs birikintisinin bulunması geçmişteki nükleer denemeler ile kirlenmiş toprak parçalarının rüzgâr ile tekrar askıya alınarak dağılmasının sonucu olarak görülür (Igarashi vd., 2003). <sup>137</sup>Cs konsantrasyonu toprakta derinlik ile eksponansiyel olarak azalır (Zhang vd., 1990; Walling ve Quine, 1991; Zhang vd., 2008).

<sup>137</sup>Cs serpintileri, aşınım ve birikim döngüsü için benzersiz bir belirteçtir. Çünkü <sup>137</sup>Cs çevrede doğal olarak bulunmaz, yapay bir radyonükliddir. Serpintiyle ya da yağmurla toprak yüzeyine ulaşan <sup>137</sup>Cs kildeki mineraller tarafından çabuk ve güçlü bir şekilde tutulur. <sup>137</sup>Cs serpintisinin yeryüzündeki hareketi daha sonra toprak ve sediment partiküllerinin hareketiyle gerçekleşir. Bu da <sup>137</sup>Cs'nin iyi bir sediment izleyicisi olmasının nedenidir. Birçok toprak cinsi için laboratuvar ve arazi koşullarında <sup>137</sup>Cs'nin toprakta

derine inme oranının düşük olduğu fark edilmiştir. Bu da sezyumun toprakta güçlü tutulmasının sonucudur (Hacıyakupoğlu vd., 2003). Araştırmalar,  $^{137}\text{Cs}$ 'nin yüzeye yayıldıktan sonraki yeniden dağılımının, erozyonla ve toprak partiküllerinin taşınımı ve birikmesiyle aynı anda olduğunu göstermiştir.  $^{137}\text{Cs}$  çökeltisi kil ve organik madde gibi katı parçacıklar üzerinde güçlüce absorplanır ve hareketi toprak erozyonu gibi fiziksel süreçlere bağlıdır (Ritchie ve McHenry, 1990; Bernard vd., 1998; Zapata, 2003; Mabit ve Bernard, 2007). Toprak erozyonu çoğunlukla yağışın fazla olduğu dönemlerde meydana gelir (Zhang vd., 2008).

Küresel serpinti çalışmalarında  $^{137}\text{Cs}$  birikintisinin yaklaşık %90'nın ıslak çökelti olarak meydana geldiği görülmüştür (UNSCEAR, 2000). Nükleer kazalar neticesinde oluşan radyoaktif bulutun geçişi sırasında meydana gelen sağanak yağmur  $^{137}\text{Cs}$ 'nin çökmesine yeryüzüne inmesine neden olur. Bununla birlikte birikinti yıllık yağışla ilişkili olarak azalır. Radyoçekirdek birikintisinin dağılımı yağış alanıyla ilişkili olarak ve radyoaktif bulutun izlediği yolla ilişkili olarak değişir (Fujiwara vd., 2007).

Çayır toprağındaki  $^{137}\text{Cs}$ 'nin düşey dağılımı bitki örtüsüyle ilişkili olan rüzgâr erozyonu tarafından şiddetli şekilde etkilenir (Zhang vd., 2002; Hu vd., 2005). Bu durum  $^{137}\text{Cs}$  taşıyan toprak parçacıklarının bitki örtüsü zayıf olan aşınmış otlaklardan sökülebildiği ve askıya alınabildiği fikrini verir. Bununla birlikte,  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu güçlü bir bitki örtüsüyle kaplı olan otlakların yüzey toprağında korunur. Bitki örtüsünün hızlı ve şiddetli azalması biriken  $^{137}\text{Cs}$ 'nin büyük miktarının salınımına neden olur (Fujiwara vd., 2007).

Radyoizotopların bitkiler tarafından alımı da farklılık gösterir. Örneğin;  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'nin bitkiye alımı K (Shaw ve Bell, 1991) ve Ca (Menzel, 1965) ile kıyaslandığında daha kısıtlıdır (Fuhrmann vd., 2002). Yapılan araştırmalarda bitkinin  $^{137}\text{Cs}$  alımını arttırmak için topraktan  $^{137}\text{Cs}$ 'yi ayrıştırması için amonyum nitrat çözeltileri kullanımının etkili olduğu bildirilmiştir (Lasat vd., 1998).

$^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  toprakta biriktikten sonra besin zinciri aracılığıyla insanlara geçer. Toprakten bitkiye kirlilik transferi kurumuş topraktaki konsantrasyon ile kurumuş bitki materyalindeki ilgili elementin konsantrasyonun bölünmesi ile elde edilen konsantrasyon oranı (CR) ile belirlenir. Birçok element için tipik CR değerleri Wang vd. (1993) tarafından derlenmiştir. Örneğin kök bitkileri, tahıl ve meyvelerde  $^{137}\text{Cs}$  için CR değerleri 0.019 (Ng vd., 1982), 0.017 (Napier vd., 1988), 0.03 (Baes vd., 1984) ve 0.098 (Kennedy ve Strange, 1992) olarak verilmiştir. CR'nin biraz daha büyük değerleri 1.4 (Ng vd., 1982), 0.37 (Napier vd., 1988), 0.03 (Baes vd., 1984) ve 0.4 (Kennedy ve Strange, 1992) olarak

$^{90}\text{Sr}$  için gözlemlendi. Yapraklı bitkiler için bu değerler  $^{137}\text{Cs}$  için yaklaşık olarak aynı kalırken  $^{90}\text{Sr}$  için 1.3 ve 2.5 aralığında değişerek biraz daha yükselecektir (Baes vd., 1984). Bu düşük değerler genel olarak bitki dokuları içine  $^{137}\text{Cs}$ 'nin biraz alındığını  $^{90}\text{Sr}$ 'nin ise özellikle yapraklı bitkilerde daha fazla alındığı anlamına gelmektedir.

$^{137}\text{Cs}$  çeşitli çözeltiler ile topraktan ayrıştırılabilir.  $\text{NH}_4\text{F}$  ve  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 'ün birkaç güçlü çözeltisi  $^{137}\text{Cs}$ 'nin yaklaşık %10'nunu ayrıştırırken,  $\text{HCl}$  ve  $\text{HNO}_3$  yoğunluklu çözelti içinde  $^{137}\text{Cs}$ 'nin %38'i hareket eder.

Bugüne kadar açıkta yapılan nükleer silah denemelerinde serpinti (fallout) ile Kuzey Yarımkürede  $\text{m}^2$ 'ye 70 Ci kadar  $^{137}\text{Cs}$  düştüğü saptanmıştır (Myrick, 1983). Almanya'da yapılan bir araştırmada, 1984 yılına kadar nükleer silah denemelerinden serpinti ile toprağa ulaşan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ormanlık arazideki birikiminin meralardan dokuz kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. Meralar açık alanlar olduğu için gerek insan aktiviteleri ve gerekse atmosferik olaylar ve yağışlar toprağı yıkayarak sezyum birikmesini engellemektedir. Çernobil'den sonra  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin topraktaki dikey ilerleme hızlarının 0.2-0.3 cm/saat olduğu saptanmıştır (Taşkın, 2006).  $^{137}\text{Cs}$ 'nin Emilimi organik madde artışı ile azalır (Dumat vd., 1997; Nakamaru vd, 2007; Monna vd., 2009).

Çernobil kazası sonrasında en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi, orman ve dağlarda yetişen bitki ve hayvanlarda ölçülmüştür. Ormanlık alanlardaki yüksek aktivite seviyeleri, sezyumun orman ekosistemindeki kapalı döngünün sürekliliği ile açıklanmaktadır. Yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi özellikle mantar, çilek türleri ve av hayvanlarında tespit edilmiş ve yüksek seyrinin devam ettiği gözlenmiştir (TAEK, 2007).

$^{137}\text{Cs}$ 'nin gıda maddeleri yoluyla alınması en çok, radyoaktivite bulaşmış süt, et ve sebzelerin tüketilmesiyle olur. Gıda maddelerinin tüketimi bölgeden bölgeye değişiklik gösterir.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin fiziksel yarılanma ömrü 30,1 yıl olduğundan, topraktan gıda maddelerine geçen  $^{137}\text{Cs}$  derişimindeki azalma, hava koşullarına göre yıldan yıla değişmekle birlikte oldukça yavaştır.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin su ürünlerine geçişi sudaki büyük miktarda seyrelme nedeniyle oldukça düşük olduğundan bu tür ürünlerin tüketilmesi sonucu alınacak dozlar da düşüktür (TAEK, 2007).

## 5. RADYOAKTİF SERPİNTİ

Bir nükleer patlamadan sonra meydana gelen radyoçekirdeklerin çevredeki taş, toprak ve aerosol parçacıklarına tutunup rüzgârın etkisiyle dünya geneline yayılması ve yeryüzünde depolanmasıyla meydana gelen serpintidir. Serpinti içerisinde yer alan radyoçekirdeklerin davranışını ve yayılımını etkileyen birçok faktör vardır. Radyoçekirdeklerin çevresel davranışı; radyoaktif yağışlara, radyoçekirdeğin fiziksel ve kimyasal karakteristiğine, yüzey üzerindeki birikintinin kuru veya yaş olmasına, parçacıkların boyutuna ve şekli ile çevresel özelliklere bağlıdır (Külahcı ve Şen, 2008; TAEK, 2007).

### 5.1. Radyoaktif Serpentinin Yayılımı

Elektrik enerjisi üretimi için nükleer enerjinin kullanımı; endüstri, teknoloji, bilim ve sağlıkta radyoçekirdeklerin kullanımı ilaveten nükleer silah denemeleri çevreye çeşitli radyoaktif çekirdeklerin salınımına sebep olmuştur (Tykva ve Sabol, 1995). Hava ve su içinde radyoçekirdeklerin bu salınımlarının gerçek veya potansiyel sonuçlarının değerlendirilmesi karışık bir süreçtir. Çevreye yayılan radyoaktif materyallerin etkisini değerlendirmede önemli adımlar Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Buradaki oklar bireysel bölümler arasındaki bağlantıları gösterir. Bütün süreçler kaynak terimi ile başlar ve ilgili yollar aracılığıyla devam eder. Bu yolların tanımlanması prensipte uygun matematiksel modeller aracılığıyla mümkündür. Bu modeller radyoçekirdeklerin davranışlarını düzenleyen bütün temel faktörleri ve onların bir yerden başka bir yere hareketini göz önünde bulundurmak zorundadır. Matematiksel modeller taşınım, birikim ve kişiler tarafından çevre içinde salınan radyoaktif maddelerin alım tahmini içinde kullanılabilir (Tyka ve Sabol, 1995).

Salınım kaynakları ve kazanın meydana geldiği yerdeki şartlar, salınımın çevredeki kritik seyir tarzını belirler. Mevsimler, farklı besinlerin veya çevrenin kirlilik büyüklüğünü belirler. Radyoçekirdekler atmosferden direkt emisyon yolu ile, yağmurla veya toprağa gömülmüş radyoaktif atıkların salınımıyla çevreye girer. Radyoçekirdeklere maruz kalma

havadaki radyoçekirdeklerden direkt veya yüzeyde birikme ile ışınlama, havada taşınan radyoçekirdeklerin solunmasıyla, bitki, süt veya su gibi kirlenmiş besinlerin tüketilmesiyle meydana gelebilir. Bir kirli sudan direkt ışınlama ve kirli sudaki radyoçekirdeklerin solunması direkt radyoaktif çekirdeğe maruz kalma yollarıdır. Diğer yollar çevre bölümleri arasındaki birçok transfer yöntemini içerebilir. Böyle bir yola örnek karada otlayan hayvanlarda  $^{131}\text{I}$ 'in depolanmasıdır. Bu radyoçekirdek doğrudan bitkide tutulur veya topraktan bitkinin içine çekilir. Bu bitkinin hayvanlar tarafından alınmasıyla radyoaktif madde hayvanın sütüne geçer. Bu sütün insanlar tarafından tüketilmesiyle de insana geçmiş olur. Doğrudan ışınlama yüzey toprakları veya sedimentlerinde radyoçekirdeklerin birikmesiyle de meydana gelebilir. Su ve besin, çevre aracılığıyla çeşitli transfer yöntemlerinden dolayı kirlenebilir (Valkovic, 2000).

Salınan çekirdeklerin davranışını etkileyen çevrenin doğal özellikleri; iklim, topografya, toprak yapısı, jeoloji ve bitki örtüsüdür. Salınan çekirdeklerin davranışını etkileyen insan yapımı özellikler ise havzalar, düzenlenmiş akıntılar veya nehirlerdir.

Radyoaktif çekirdeklerin taşınım mekanizmasının bütün detaylarının tam olarak anlaşılması oldukça karışıktır. Genellikle, çevresel taşınım yollarında iki genel kategori göz önüne alınır. Bunlar;

- Yüzey suyu ve zemin (toprak) aracılığıyla besin maddeleri içine radyoçekirdeklerin girişini ve taşınımını içeren yol
- Atmosfer yolu ile çevre içine giren radyoçekirdekler arasındaki yoldur.

Başka yollarında olması mümkündür. Bu yollardan biri hayvanlar veya insanlar tarafından doğrudan beslenmeyi içerir ama bu yolların önemi biraz önce göz önüne aldığımız iki kategoriye göre daha azdır (Tykva ve Sabol, 1995).

Radyoaktif maddelerin taşınımının ilk ciddi çalışması çevreye büyük miktarda çeşitli radyoçekirdeklerin salındığı nükleer silah denemelerinin bir sonucu olarak başlatılmış daha sonra nükleer güç istasyonlarının sebep olduğu radyoaktif kirliliğin ekolojik bakışı ve radyasyon korunumu üzerinde yoğunlaşmıştır (Tykva ve Sabol, 1995).

Genelde, besin ve çevresel örneklerin kirlenmesinde en önemli radyoçekirdekler aşağıda verilmiştir.

Hava:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

Su:  $^3\text{H}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

Süt:  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

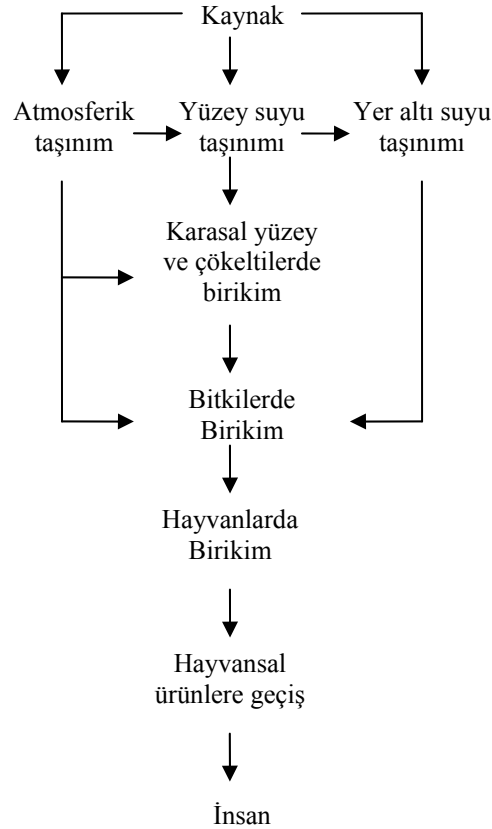
Et:  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

Diğer besinler:  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

Bitki:  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$

Toprak:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  dir (Valkovic, 2000).

Yapay radyoçekirdeklerin konsantrasyonu kirliliğin merkezinden mesafe artışı ile hızlıca azalır. Doğal çekirdeklerin yoğunluğu genellikle kara yüzeyinde okyanuslar üzerindeki daha fazladır (Israel, 1970). 30 km ötesindeki bölgeye radyoaktif maddelerin salınımı öncelikle rüzgâr yönü ve yağış tarafından belirlenir. Daha sonra radyoaktif maddenin zeminde depolanması artar. Bu durum düzensiz zemin birikmelerini meydana getirir (Frank ve Castronovo, 1999).



Şekil 5.1. Çevreye salınan radyoçekirdeklerin insana geçiş yolu

### 5.1.1. Radyoaktif Serpentinin Su ile Taşınımı

Su akışı, yüzey üzerinde depolanan radyoçekirdeklerin hem parçacık hem de çözünmüş formlarda göç etmesini sağlayan önemli süreçlerden biridir (IAEA, 1984; Matsunaga vd.,1991; Matsunaga vd., 1995). Çernobil kazasından sonra yüzey suyu çevresindeki

radioaktif kirliliği incelemek için Çernobil alanında birçok çalışma yapılmıştır (örneğin; Vakulovsky vd., 1994; Kryshev, 1995). Bu çalışmalar toprak yüzeyi üzerinde biriken radioaktif kirliliğin taşınımında nehirlerin önemini açıkça göstermiştir (Matsunaga vd., 2004). Nehirler bu parçacık ve çözünmüş formdaki materyalleri geniş alanlara taşır (Matsunaga vd., 1991). Yağış ve sel radyoçekirdeklerin biriktiği yüzey toprağını aşındırır. Böylece bu çözünmüş radyoçekirdekler nehir ve yer altı sularına erişir (Amano vd., 1999).

Yer altı suları, başlıca kolloid yapıda çözünmüş materyalleri taşır (McCarty vd., 1989). Radyoçekirdeklerin bu göç davranışı, onların yüzey toprağındaki kimyasal ve fiziksel formlarından güçlüce etkilenir (Gunten ve Benes, 1995; Amano vd., 1997). Çernobil kazasını izleyen yoğun çevresel radioaktif kirliliğin bir sonucu olarak kirlenmiş akış Dnieper ve Pripyt nehir sistemleri aracılığıyla akıntı yönünde taşınmıştır (EC Report, 1996). Akarsu bileşimindeki çözünmüş parçacıkların su akışı ile taşınan toplam radyoçekirdeklerin %90'ı olduğu tahmin edilmektedir (Voitsekhovitch vd., 1994).

Su altı çökeltileri nükleer güç faaliyetlerindeki radioaktif atıkların anlaşılması bakımından önemlidir. Çernobil kazasında salınan bu radioaktif atıklardan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ , su yüzeyinde ve derinlerdeki tortul tabakalarda birikmiştir (Kulahcı, 2005).

Yüzeydeki ve deniz suyu içeren yeraltı sularındaki radyoçekirdeklerin hareketinin belirlenmesi sadece suyun değil, deniz hayvanları, bitki örtüsü ve çökeltilerin analizini de kapsar. Deniz besin zinciri aracılığıyla uzun ömürlü radyoçekirdeklerin taşınımını Belot (1986), tarafından objektif bir örnek ile açıklamıştır; sedimentler de yoğunlaşmış radyoçekirdekler deniz kabukluları tarafından alınır. Daha sonra bununla beslenen balıklara ve insanların bu balıkları tüketmesiyle de insanlara geçtiğini bildirmiştir.

Yağmur suyu ve karda ayrıca radioaktif kirliliğin erken bildiricisidir (Al-Khashman, 2005). Serpinti parçacıklarının çoğu yağmur ve kar ile dünya yüzeyine yayılır (Itagaki ve Koenuma, 1962). Yağmursuyu atmosferde çözünmüş organik gaz kirliliklerini ve parçacıkları için en etkili temizleme faktörüdür. Atmosferik kirliliğin temizlenmesini yağmur suyunun pH ve kimyasal bileşimi etkiler (Al-Khashman, 2005). Yağmur ve kar ile yakalanan serpinti parçacıklarının iki anlamı vardır.

- a) Serpinti parçacıkları bulut damlaları tarafından Brownian hareketi, termal kuvvetler, elektrik kuvvetleri veya direkt çarpışma gibi mekanizmalar ile tutulur. Damlalar, yağmur veya kar halini alır.
- b) Serpinti parçacıkları, yağmur veya kar tarafından doğrudan yakalanır (Itagaki ve Koenuma, 1962).

Burada (a) mekanizması (b)'ye genişletilebilir. Serpinti parçacıkları ve yağmur veya kar arasındaki doğrudan çarpışmalar (b)'de baskın olabilir. Serpinti parçacıkları ve yağmur veya kar arasındaki düşüş hızı serpinti parçacıkları ve bulut damlacıkları arasındakinden büyük oranda farklı olmasından dolayı Greenfield (1957) damlacıklar ve parçacıkların birleşiminde Brownian hareketi ve elektrik alanının etkisi üzerinde hesaplamalar yapmıştır. Onun sonuçları elektrik alan etkisinin ihmal edilebilir olduğunu ama Brownian hareketinin bulut damlacıkları ile mikron altı parçacıkların birleşimi için en etkili olay olduğunu gösterdi (Itagaki ve Koenuma, 1962).

Bazı yerlerdeki içme suları ve yağmur suları radyoaktif iyot gibi kısa ömürlü radyoaktif çekirdeklerin seyir tarzı açısından önemlidir. Çernobil kazasından sonra yerel şartlar ile bir araya gelen sağanak yağış yüksek art alandan dolayı, yüksek yüzey radyoaktif seviye sonuçları oluşturdu (Valkovic, 2000). Çernobil kazası salınımı durduğu zaman radyoaktif bozunumdan sonuçlanan kirlilik ve çevresel faktörler, kirliliğin toprağa göç etmesine ve yüzey sularıyla toprağa yayılımına neden oldu. Yüzey üzerinde biriken radyonüklidler yeraltı suyunun taşıyıcılığıyla bitkilerin köklerine erişir. Bitkiler gelişim süreçleri boyunca bu radyoçekirdeklerin transferine maruz kalır. (Fuhrmann vd., 2002). Yapılan araştırmalar neticesinde radyoaktif bulutun geçişi süresince dünya yüzeyindeki radyoaktivite seviyesinin, yağmur alan bölgelerde yağmur almayan bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Çünkü yağmur buluttaki radyoaktif maddeyi yeryüzüne indirmiştir (Külahcı ve Şen, 2007).

### **5.1.2 Radyoaktif Serpentinin Toprak ile Taşınımı**

Toprak, radyoaktif konsantrasyonun belirlenmesinde önemli bir etkidir ve çevrede toplanan radyoaktivitenin belirleyicisidir. Atmosferden yeryüzüne gelen radyoçekirdekler dünya yüzeyi üzerinde depolanır ve bu radyoçekirdeklerin büyük bir kısmı toprağın üst tabakasına yerleşir. Toprak yüzeyine yerleşen radyoçekirdekler, atmosfer içinde tekrar askıya alınarak ve toprağın hareket etmesiyle çevreye taşınırlar. Topraktan bitki köklerinin bu radyoçekirdekleri alımıyla da bitkiye transfer olurlar (Tykva ve Sabol, 1995). Toprakta radyoçekirdeklerin taşınımını etkileyen faktörler arasında toprağın pH değeri, kil oranı, kil minerallerinin tipi, toprak nemlilik içeriği, çözülebilirlik miktarı ve topraktaki potasyum, kalsiyum ve amonyum değişimi gibi faktörler vardır (TAEK, 2007). Bitkideki taşınımı ise bitki çeşidi, büyüme ve gelişimi gibi faktörler etkilemektedir (Fuhrman, 2002).

Topraktaki radyoaktivitenin insanlara ulaşması iki yolla olur: Birincisi, yüzey toprağına karışmış olan radyoaktivitenin, toprak taneciklerinin havaya dağılması ve oradan solunum yoluyla insana ulaşmasıdır. İkinci yol, toprakta bulunan doğal ve yapay radyoizotopların toprak-bitki-hayvan gıda zinciri ile insana ulaşmasıdır (Alkan vd., 1987).

Toprağın organik madde içeriğı arttığında Cs'un taşınımı artarken Sr'un taşınımı azalır. Toprağın organik madde içeriğı bu iki elementin transferi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Toprağın pH değeri 3.9-8.4 arasında olduğunda Cs'un taşınım menzili değişmez ama toprak pH değeri 4.5'ten 7.4 değerine çıktığında Sr taşınımı 1.7 çarpanı kadar azalır. Bitkinin yaşlanması ve iklimsel şartlarda Cs ve Sr transferinde farklılık göstermesine neden olur (Noordijk vd., 1992). Yaşlanmış bitkilerde Cs taşınımının azaldığı görülmektedir (Fuhrman vd., 2002).

Bitkilerde radyoçekirdek birikintilerinin hareketi, bitkilerden bal ve polene <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I ve <sup>103</sup>Rn transferi çalışmasında araştırılmıştır (Bunzel vd., 1988). Sonuçlar radyoçekirdeklerin bitki yaprakları ile alındığını meyve ve polene taşındığını göstermektedir (Fuhrman vd., 2002). Çernobil kazasından sonra toplanan fındık, fındık yaprağı ve toprak örneklerinin radyoaktiviteleri arasındaki ilişkiler araştırıldığında fındık yaprağındaki radyoaktivitenin fındık ürünü ve topraktakinden fazla olduğu görülmüştür. Bu da radyoaktif yağışın bitkinin yaprakları üzerinde yüzeysel bir bulaşmaya neden olduğu ve bitkinin radyoaktiviteyi yapraklarından aldığını göstermiştir (TAEK, 2007).

Birikinti türlerinin orijinal dağılımı doğal meydana gelen bileşenler ile etkileşimden dolayı değişecektir. Hava hareketinden dolayı hareketsiz yakıt parçacıkları ile ilgili radyoaktif çekirdekler harekete geçebilirken LMM (düşük molekül kütleli iyonik türler) soğurma türleri, kil materyalleri veya organik molekül bileşiklerin hareketi azalabilmektedir (Valkovic, 2000).

### **5.1.3 Radyoaktif Serpentinin Hava ile Taşınımı**

Nükleer reaktör kazalarında salınan radyoçekirdekler hava akımı ve çevresel şartların etkisi ile geniş alanlara yayılabilirler. Hava radyoaktif çekirdekleri taşır ve bir kısım radyoaktif çekirdeğin seyir tarzı hakkında önemli bilgiler sağlar. Taşınan bu çekirdekler bitkiler üzerinde ve toprakta tortulaşır (Valkovic, 2000). Havadaki radyoaktivite yağış miktarı, toz ve parçacık büyüklüğüne göre değişir (Butler, 1979). Havadaki radyoaktivite ölçümleri, kirliliği yapan radyoaktif çekirdeklerin spektrumunun belirlenmesini sağlar.

Radyoaktif çekirdekler zemin seviyesindeki havada çok hızlıdır ve hava örnekleri doğal kirliliğin ilk bulgularını verir (Valkovic, 2000).

Radyoaktif parçacıklar, gaz ve radyoaktif çekirdekler içerir ve bunlar atmosferik sirkülasyon ile taşınarak dünya genelinde depolanır. Atmosferin en düşük seviyesi troposferde düzensiz hava hareketleri meydana gelir. Buna ek olarak yaygın horizontal rüzgârlar, sağanak yağış ve yağmur, bulutlar radyoçekirdeklerin hareketini etkileyecektir. Troposferin üzerindeki stratosfer daha kararlı hava tabakası içerir. Stratosfer ile troposfer arasındaki geçiş bölgesi tropopousedir. Tropopause'nin yüksekliği kutup ve ekvator bölgesinde farklıdır. Orta genişlik bölgesindeki boşluklar havanın aşağı doğru hareketini kolaylaştırır ve parçacıklar stratosferden troposfere hareket eder. Atmosferdeki radyoaktif parçacıkların içeri alınmasından sonraki yayılımı son olarak dünya yüzeyinde materyaller depolanır. Bu örnekler nükleer atık radyoaktif çekirdek davranışlarının ölçülmesinde ve meteorolojik çalışmalarda belirlenir. Troposferde içeri alınan parçacıklar sağanak yağış tarafından uzaklaşır ve su yüzeylerinde ve çevrede depolanır (Valkovic, 2000). Atmosferik kirlilik dağılımının açıkça atmosferik kararlılığa bağlı olduğu anlaşılır. Yayılan kirli su kümesi çevrede depolanan materyaller ile bağlantılıdır. Atmosferik iyonlaşma ve art alandaki değişiklik; bulutların elektriksel karakteristiğini ve elektriksel akımda oluşacak radyoaktif serpinin büyüklüğünü ve yayılımını etkileyecektir. Bulutlardaki bu iyonlaşma küresel anlamda zararlı iklimsel değişikliklere sebep olur (Butler, 1979).

Aerosol sistemleri gaz bileşenleri, gaz-katı, gaz-sıvı ve sıvı-sıvı arasındaki kimyasal dönüşümler neticesinde oluşabilmektedir. Parçacıklar birbirleri ile kaynaşp pıhtılaşarak büyürler ve kimyasal reaksiyon içermeyebilirler. Bu parçacıkların büyüklükleri ve ömürleri dağılımı etkilemektedir. Parçacık boyutları ölçümü, aerosol bileşenlerinin ömrü ve kökenini değerlendirmede yardımcı olur (Butler, 1979). Aerosoller genellikle oldukça farklı doğal ve yapay radyoaktif çekirdekler taşır (Valkovic, 2000). Atmosferde aerosol parçacıkların kalış süresi, dünya yüzeyine yakın troposferde birkaç günden 1 yıla kadar değişirken, stratosferde daha uzun süreye kadar değişir.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  ve  $^{240}\text{Pu}$  aerosol parçacıklarının boyut dağılımı 4-8  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir (Lujaniene vd., 2001). Radyoçekirdeklerin boyut dağılımı onların tekrar askıya alınması ve uzun mesafelere taşınmasını etkilemektedir. 5  $\mu\text{m}$ 'den küçük saf yakıt parçacıklarının Çernobil bölgesinin 10 km dışına taşınmadığı bildirilmiştir (Boulyga, 1999). Büyük parçacıklar yerçekiminin etkisiyle olayın meydana geldiği yer civarında depolanırken daha küçük

parçacıklar güçlü rüzgârların etkisiyle daha uzaklara taşınmıştır (Hatano vd., 1997; Fukuyama ve Fujiwara, 2008).

Çernobil kazasından sonra yaklaşık olarak 1 yıl havadan gelen aktivite konsantrasyonundaki başlıca dalgalanmalar, askıya alınmış parçacıkların taşınımı ve orman yangınları neticesinde meydana gelen aerosoller ile bağlantılıdır. Kirilenmiş 30 km'lik Çernobil bölgesinin yarısı ormanlar tarafından kaplanmıştır. Bu bölgede 1992-1994 yılları arasında meydana gelen iki yüz orman yangını ağaçlarda biriken radyoizotopların yangın neticesinde aerosoller ile taşınımı sonucunda bölgedeki <sup>137</sup>Cs konsantrasyonunun 5 kat artmasına neden olmuştur (Lujaniene vd., 2007).

Atmosferik aerosol parçacıkları solar radyasyonu absorblar ve yansıtır. Aerosollerin optik (ışınsal) özellikleri boyutlarına ve bileşenlerine bağlıdır. Mikronaltı sülfat aerosolleri solar radyasyonun saçılmasında etkilidir ve solar radyasyonu uzaya geri yansıtmalarından dolayı bir soğutma etkisine sahiptir (Charlson vd., 1992; Kiehl ve Briegleb, 1993). Karbonlu aerosol ve mineral tozu etkili şekilde solar radyasyonu absorblar (Penner vd., 1998). Kızılötesi spektrumda, aerosoller çoğunlukla radyasyonu absorblar ve davranışı sera gazına benzerdir. İklim üzerinde bu aerosollerin etkisi söz konusudur (Houghton vd., 1996). Mevsimsel ve iklimsel değişimler de serpinin yayılımını ve dünya genelinde birikimini etkileyecektir. Geçmiş çalışmaların sonuçlarına göre, stratosferik serpinti Kuzey Yarımküre'de baharda veya yaz başlarında maksimum değişim ve sonbaharda minimum değişim göstermektedir (Miyake vd., 1962; Ehhalt ve Haumache, 1970).

Nükleer kazanın takibinde radyoçekirdek birikintileri hareketli düşük molekül kütleli (LMM) iyonik türler, hareketsiz yüksek molekül kütleli (HMM) kolloid yapıdaki biçimler veya parçacıklar şeklinde farklı fiziko kimyasal biçimler gösterebilir. Hatta asıl mevkiden uzak alanlarda radyoaktif çekirdeklerin nisbi kesri HMM ile ilişkilidir. Yağmur suyu ile biçimlenmede, önemli bir sebep olabilir. Radyoçekirdek birikinti numunesinin dağılım genişliği, radyoaktif serpinti oluşumu, aktivite seviyesi ve aktivite oranları iklimsel veya mikroiklimsel şartlar ve rüzgâr yayılımı ile kaynaktan uzaklığa bağlıdır (Valkovic, 2000). Rüzgârın etkisinin azalmasıyla yayılan kirli su kümesinin yörüngesinin değiştiği görülür (Lauritzen ve Mikkelsen, 1999).

Çernobil kazasından sonra atmosfere salınan radyoaktif gaz ve maddeler, yüksek sıcaklıkları nedeniyle hızla yükselerek 1000-1500 metre yüksekliğe çıkarak troposfere ulaşmıştır. Salınan radyoaktif çekirdeklerin bir kısmı da stratosfere ulaşarak radyoaktif bulutlar oluştururken daha hafif çekirdekler 100'lerce kilometrelik uzaklıklara ulaşmıştır.

Bu radyoaktif bulutlar, meteorolojik koşullara bağılı hareket ederek Avrupa üzerinde yayılmaya başlamış ve sadece Avrupa'yı değıl, hemen hemen, tüm kuzey yarım küreyi etkilemiştir (Külahcı ve Doğru, 2005). İlk birkaç hafta boyunca yayılan kirli su kümesi birikintileri aerosoller ile askıya alınarak göç edip bölgenin havasını kirletmiştir (TAEK, 2007).

Stratosferden-trapofere geğış ve 11 yılda meydana gelen güneş lekeleri atmosferdeki bu radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonunu etkiler. Bu radyoaktif çekirdekler yağış, dış etkilerle aşınma, havadan gelen kirliliğın tortu numuneleri, atmosferik parçacıkların tortuları, aerosol tortuları ve bitkiler etrafındaki aerosoller gibi çeşitli atmosferik yöntemlerdeki izleyiciler ile tespit edilir (Papantefanous, 2006). Uzun menzilli atmosferik taşınmada depolanan aerosoller önemli bilgiler sağlamaktadır (Apsimon et al., 1989; Hass et al., 1990; Gudiksen et al., 1989; Persson et al., 1987; Lange et al., 1988; Klug et al., 1992).

## 6. NÜKLEER KAZALARDA RADYOAKTİVİTE

Atmosferdeki nükleer testlerin çoğunluğu 1963 yılından önce meydana geldi. 1963 yılından sonra nükleer patlamalar çoğunlukla yeraltında uygulandı. Atmosferik testler ile kıyaslandığında yeraltındaki patlamaların çevresel sonuçları nispeten daha küçüktür (Tykva ve Sabol, 1995).

Büyük atmosferik nükleer patlamalarda, radyoaktif maddelerin çoğu bir süre için radyoçekirdeklerin kaldığı stratosfer içine taşınır ve daha sonra dağılarak dünya genelinde depolanır. Radyoaktif maddelerin ortalama tutulma süreleri enlem ve boylama bağlı olarak 1 yıldan yaklaşık 5 yıla veya daha az bir süre olacak şekilde değişebilir. Daha küçük patlamalarda, radyoaktif maddeler yalnızca troposfere taşınır ve serpinti günler veya haftalar içinde meydana gelir (Unsear, 1988; Tykva ve Sabol, 1995).

Her bir nükleer patlama büyük miktarda farklı radyoçekirdek üretir. Gerçek aktivite ve türü, ilaveten salınan radyoçekirdek sayısı nükleer patlamanın üretim biçimine bağlıdır. Nükleer reaksiyonların iki türü çok kısa zaman aralıkları içinde enerjinin oldukça büyük miktarını içerir. Bunlar; fisyon ve füzyon reaksiyonudur (Tykva ve Sabol, 1995).

Fisyon reaksiyonları, ağır bir çekirdeğin iki veya üç nötron yayımı ve yaklaşık 200 MeV enerji salınımı ile birlikte daha hafif çekirdeğe bölünmesini ifade eder. Fisyon reaksiyonunun başlaması için iki şey mevcut olmalıdır; başlangıçta nötron kaynağı ve süperkritik kütleli  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  veya  $^{239}\text{Pu}$  gibi uygun fisyon yapabilir madde. Bu maddelerin yalnızca biri,  $^{235}\text{U}$ , doğada bulunabilir (doğal uranyumun %0.7'si). Diğer iki fisyon yapabilir çekirdek yapay olarak üretilmelidir  $^{232}\text{Th}$ 'den  $^{233}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  (doğal uranyumun %99.3) den  $^{239}\text{Pu}$  üretilir (Tykva ve Sabol, 1995).

Füzyon reaksiyonu fisyonun tersidir. İki hafif çekirdeğin bir araya gelerek daha ağır bir çekirdek oluşturması olayıdır. Oluşan kütle iki hafif çekirdeğinkinden biraz daha küçüktür. Aradaki kütle farkı enerjiye dönüşür ve salınır. Bununla birlikte eğer iki çekirdek yeterince birbirine yaklaşırsa çekici kuvvetler elektrostatik iticiliğe ulaştığında füzyon reaksiyonu meydana gelir. Bu hafif çekirdeğin oldukça yüksek sıcaklık yardımıyla elde edilen yeterli enerjiye sahip olmasını gerektirir (birkaç milyon derece). Bu sıcaklık füzyon reaksiyonuna dayanan termonükleer olarak isimlendirilen patlamayı tetiklemek için görev yapan bir fisyon aletinde kolaylıkla elde edilir (Tykva ve Sabol, 1995).

Fisyon reaksiyonu kullanımında nükleer patlamalar tarafından üretilen toplam radyoaktivite termonükleer aletlerin patlamasını izleyen radyoaktiviteden daha yüksektir. 1 kiloton TNT'ye eşdeğer olan fisyon patlaması yaklaşık  $6 \times 10^{23}$  Bq toplam aktivite ile radyoaktif madde salabilir. Fisyon patlaması boyunca 200 farklı radyoçekirdek üretilir. (Tykva ve Sabol, 1995).

Çevresel kirliliğe hem fisyon parçaları hem de onların bozunum ürünleri, ilaveten hava ve karada bazı elementler ile etkileştikten sonra nötronlar tarafından üretilen aktivasyon ürünlerinden gelen bir nükleer fisyon patlaması sebep olur. Fisyon patlamalarıyla ilişkili başlıca aktivasyon ürünleri  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  ve  $^{55}\text{Fe}$ 'dir (Tykva ve Sabol, 1995).

Yukarıda bahsedilen radyoçekirdeklere ilaveten, bir nükleer patlamayı izleyen serpinti uzun yarı ömürleri ile karakterize edilen transuranik radyoaktif elementlerin bir miktarını içerir (Tykva ve Sabol, 1995).

Radyolojik tehlikelerle ilgilenildiği kadarıyla, en önemli serpinti bileşenleri uzun yarı ömürlerinden ve nispeten biyosistemler tarafından yüksek alımlardan dolayı  $^{90}\text{Sr}$  ( $t_{1/2} = 29$  yıl) ve  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2} = 30,1$  yıl) dır. Stronsiyum kemik oluşumu için kullanılan kalsiyuma kimyasal olarak çok benzerdir. Bu nedenle  $^{90}\text{Sr}$  kemikte toplanır. Radyoaktif stronsiyum kalsiyuma benzerken, sezyumun davranışı en önemli biyojenik elementlerden biri olan potasyuma yakındır (Tykva ve Sabol, 1995).

Salınan radyoçekirdeklerin aktivitesi patlamadan sonra konum ve zamanda düzenli bir biçimde dağılmaz (Budnitz vd.,1983). Kara üzerinde dağılan  $^{90}\text{Sr}$ 'nin yaklaşık olarak yarısı toprağın ilk 4 cm derinliğinde bulunur (Tykva ve Sabol, 1995).

Diğer yaygınca çalışılan ve serpintide gözlenen radyoçekirdek 30,1 yıllık yarı ömrü ile  $^{137}\text{Cs}$ 'dir.  $^{137}\text{Cs}$  toprak ile sıkıca bağlıdır ve böylece bitki örtüsü içindeki metabolizmaya hızlıca katılamaz, yaprağın içine çekilmesiyle gıda maddesini kirletir (Eisenbud,1987). Günümüzde radyoaktif serpintiden dolayı dış radyasyon dozuna hemen hemen yalnızca  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu sebep olmaktadır (Tykva ve Sabol, 1995).

Nükleer patlamalarda radyasyon dozları değişen doz oranlarında uzun zaman periyotlarında dağılır, bu radyoaktif serpintinin doğası ve patlamanın zamanı gibi faktörlere bağlıdır. Serpintiden toplam yıllık dozların hassas olarak değerlendirilmesi ihtiyaç duyulan bütün bilgiye sahip olmadığımızdan mümkün değildir. Yaşam dozu denilen doz bağımlılığı birçok belirsizliği konu alan modeller ve yaklaşım serileri kullanımıyla tahmin edilir (Tykva ve Sabol, 1995).

## 7. ÇERNOBİL KAZASI

26 Nisan 1986 günü erken saatlerde Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği'nde, Kiev kentinin 100 km kadar kuzeyindeki Çernobil Güç Santrali'nin 3200 MWth gücündeki 4. ünitesinde büyük bir nükleer kaza meydana gelmiştir. Çernobil nükleer santralindeki kaza, reaktörün programlanmış olan durdurulmasından önce yapılan bir test sırasında meydana gelmiştir. Söz konusu test, bir elektrik kesilmesi hâlinde turbo jeneratörlerden birinin reaktörün elektrik gücü gereksinimini sağlayıp sağlayamayacağını saptamak üzere planlanmıştı. Kaza meydana geldiği zaman reaktör, 200 MWth alçak güçle çalışıyordu. Kazadan sonra yapılan soruşturmalar, kazanın, reaktör tasarımındaki hatalar ile güvenlik sistemlerinin devreden çıkarılması, işletme kurallarının hiçe sayılması ve reaktörün kararsız bir duruma getirilmesi gibi bir dizi insan hatası sonucu meydana geldiğini göstermiştir. Böylece meydana gelen hızlı bir güç yükselmesini izleyen buhar patlaması reaktörü ve reaktör binasını tahrip etmiş, reaktörün üst kapağını yerinden fırlatarak reaktörün üstünü açık bırakmıştır. Birkaç saniye sonra meydana gelen ikinci bir patlama ile üstü açık kalan reaktörün kızgın parçaları büyük bir hızla dışarı fırlamış ve bu sırada reaktörden salınan radyoaktif gazlar ve radyoaktif maddeler karışımı 1200 metreyi aşan yüksekliklere çıkmıştır (TAEK, 2007).

Atmosfere radyoaktif maddelerin salınması, yaklaşık 10 günlük bir süre boyunca devam etmiş bu süre içinde, birincisi kazanın meydana geldiği gün (26 Nisan) ikincisi kazadan sonraki 9. gün (5 Mayıs) olmak üzere iki büyük radyoaktif madde salınması meydana gelmiştir. Reaktör kalbi envanterindeki radyoaktif asal gazların %100'nün diğer radyoaktif maddelerin ise %3-4 kadarının (yaklaşık  $2 \times 10^{18}$  Bq) atmosfere salındığı tahmin edilmektedir. Reaktörden salınan radyoaktif maddeler, sezyum, iyot ve tellür envanterinin yaklaşık %10-20'sini, geri kalan radyonüklidlerin ise, yine yaklaşık %3-6'sını içermektedir (TAEK, 2007).

Atmosfere salınan bu radyoaktif gaz ve maddeler, yüksek sıcaklıkları nedeniyle hızla yükselerek 1000-1500 metre yüksekliğe ulaşmış ve radyoaktif bulutları oluşturmuştur. Bu radyoaktif bulutlar, meteorolojik koşullara bağlı hareket ederek Avrupa üzerinde yayılmaya başlamış ve sadece Avrupa'yı değil, hemen hemen tüm kuzey yarım küreyi etkilemiştir (TAEK, 2007).

Kazaya uğrayan Çernobil reaktöründen havaya salınan radyoçekirdekler içinde en önemlileri I-131, Cs-134 ve Cs-137 ise de radyoaktif buluttan etkilenen ülkelerde hava partikülleri veya radyoaktif yağışlar olarak daha birçok radyonüklid tespit edilmiş olup, bunlar arasında rutenyum-103, rutenyum-106, lantan-140, baryum-140 ve tellür-132 oldukça yüksek miktarlarda bulunmuş, ayrıca niobyum-95, zirkonyum-95, seryum-141 ve seryum-144 radyoçekirdek tespit edilmiştir. Aktinidler ise ancak çok alçak düzeylerde tespit edilmiştir (TAEK, 2007).

### **7.1. Çernobil Kazasındaki Radyoaktif KirliliğinYayılımı**

Kazaya uğrayan reaktörden ilk salınan radyoaktif maddelerden oluşan bulut, güneyden kuzeybatı yönünde esen rüzgârlarla Çernobil'den kuzeye doğru hareket ederek 28 Nisan'da İskandinavya'nın güney ve orta bölgelerine erişmiştir (TAEK, 2007).

30 Nisan günü rüzgâr yön değiştirerek Çernobil nükleer güç santralinden salınan radyoaktif maddelerden oluşan bulutu Avrupa'nın güneyi ve doğusuna sürüklemiştir. Bu sırada Avrupa üzerinde oluşan karmaşık bir cephe sistemi ve buna bağlı yüksek basınç kirlenmiş hava kütesinin ikiye ayrılmasına ve radyoaktivitenin Avrupa'nın diğer bölgelerine yayılmasına neden olmuştur. 2 Mayıs Cuma günü ilk kirlenme İngiltereye kadar yayılmışken Çernobil'den yeni salınan radyoaktif maddelerin oluşturduğu bulut Bulgaristan ve Yunanistan üzerinde güneye sarkmıştır. 3 Mayıs cumartesi günü kirlenmiş hava kütlesi Avrupa'nın kuzey batısından güneydoğu Avrupa'ya kadar yayılmış bulunuyordu. Türkiye'ye radyoaktif bulutun gelişi bu aşamada meydana gelmiş, Bulgaristan ve Yunanistan sınırları boyunca Trakya'yı etkisi altına almıştır. 5 Mayıs Pazartesi günü kirlenmiş hava kütesinin büyük bir kısmı Güney Almanya, İtalya, Yunanistan ve Doğu Avrupa üzerinde bulunurken ilk kirlenen hava kitlesinin kalıntıları Atlantik Okyanusu üzerinde dağılıyordu. 6 Mayıs Salı günü hasara uğrayan reaktörden radyoaktif maddelerin salınma hızı nispeten alçak düzeylere düşmüştür. Radyoaktif bulutun geçişi sırasında yağmur alan yerlerde, yeryüzündeki aktivite düzeyi, yağmur buluttan radyoaktif maddeleri yıkayarak yeryüzüne indirdiğinden, yağmur almayan komşu alanlara göre daha yüksek olmuştur. Böyle bir durum, özellikle İtalya'nın kuzeyi, Yunanistan, Federal Almanya ve İngiliz adalarında gözlenmiştir. Aynı şekilde radyoaktif bulutun Bulgaristan ve Yunanistan üzerinden güneye inişi sırasında Trakya'nın Edirne çevresinde yağan şiddetli yağmurlar sınır bölgesindeki köylerin arazi ve meralarında

kirlenmesine neden olmuştur. Ayrıca, Çernobil'den doğuya sürüklenerek Kırım yarımadasının kuzeyine gelen kirlenmiş hava kitlesi, 7-9 Mayıs tarihlerinde kuzeyden esen rüzgârlarla Karadeniz üzerinden geçerek Türkiye'nin kuzeydoğu kıyılarına gelmiş ve bu esnada yağın şiddetli yağmurlarla taşıdığı radyoaktif maddelerin büyük bir bölümünü bu kıyı şeridinde ve arkasında yükselen sıra dağların kuzeye bakan yamaçlarına bırakmıştır. Radyoaktif buluttan yağmurlarla yeryüzüne inen radyoaktif maddeler mevcut bitki örtüsünü ve özellikle çay ve fındık bahçelerini etkileyerek bunları kontamine etmiştir (TAEK, 2007).

Çernobil kazasından etkilenen ülkelerde insanlar başlıca 4 ayrı yoldan ışınlamaya maruz kalmıştır:

- Radyoaktif buluttan ışınlama,
- Buluttaki radyoaktif maddelerin solunum yoluyla vücuda girmesi sonucu meydana gelen iç ışınlama,
- Toprak üzerinde toplanan radyoaktif maddelerden dış ışınlama,
- Radyoaktif maddelerle kontamine besin maddelerinin sindirim sistemi yoluyla vücuda girmesi sonucu meydana gelen iç ışınlama.

Doz hesaplarının yapılmasında, çevredeki radyoaktivite için toplanan veriler ile her radyoçekerde çevre içinden insana transferini belirleyen matematik modeller kullanılmıştır (TAEK, 2007).

## **7.2. Kazada Atmosfere Yayılan Radyoçekerlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Kaza sonrasında atmosfere yayılan radyoaktif maddeler; gaz, aerosol ve küçük boyutlu nükleer yakıt parçacıklarından oluşmaktadır. Kaza sonrası yapılan ilk değerlendirmelerde kripton ve ksenon gibi asal gazların tamamının, iyot, tellüryum ve sezyum gibi uçucu elementlerin %10-20'sinin atmosfere dağıldığı tahmin edilmiş olup daha sonra yapılan çalışmalarda bu oranların daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. İyot salınımının gaz, parçacık ve organik bağlı formlarda olduğu saptanmıştır. Sezyum ve tellüryum gibi diğer uçucu element ve bileşenler aerosollere karışarak yakıt parçacıklarından ayrı olarak havaya taşınmıştır. Kazanın ilk günlerinde atmosfere yayılan radyoaktif parçacıkların aerodinamik boyutları ile ilgili çok az ölçüm mevcuttur (TAEK, 2007).

Büyük yakıt parçacıkları kaza yerine yakın bölgelerde birikmiş, küçük parçacıklar ise geniş bir alana dağılmıştır. Reaktöre yakın kirlenmiş alanlardaki (<100 km) radyonüklit dağılımı, yakıttaki radyonüklid içeriğini yansıtmakta ve uzak bölgelerdekinden (>100 km-200 km) farklılık göstermektedir. Yakın noktadaki büyük parçacıklar; U, Pu, Zr, Mo, Ce, Np, Ru, Ba ve Sr'dan meydana gelmektedir. Yoğunlaşma sonucu parçacık yapısı oluşturan uçucu elementler (I, Te ve Cs) çok uzak bölgelere kadar yaygın olarak dağılmıştır. Yoğuşma sonucu metalik forma geçen rutenyum gibi parçacıklar ile küçük yakıt parçacıkları “sıcak parçacıklar” olarak adlandırılmaktadır. Sıcak parçacıklar kaza yerinden çok uzaklarda bile tespit edilmiştir. Sıcak parçacık başına özgün aktivite miktarı yakıt parçacıklarında 0.1-1 kBq, rutenyum parçacıklarında ise 0.5-10 kBq'dir (TAEK, 2007).

### 7.3. Çernobil Kazasında Radyoçekirdeklerin Davranışı

Radyoçekirdeklerin çevresel davranışı; radyoaktif yağışın oluşumuna, radyonüklidlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yeryüzündeki birikimin ıslak veya kuru oluşuna, parçacıkların boyutu ve biçimi ile çevresel özelliklere bağlıdır (TAEK, 2007).

Kısa yarı ömürlü radyoçekirdeklerden insanların doza maruz kalması; birkaç gün içerisinde tüketilen yapraklı bitkiler ya da radyoaktif kirlenmenin olduğu meralarda otlanan inek ve keçi sütlerinin tüketilmesi sonucunda meydana gelir. Örneğin; I-131'in yarılanma ömrünün 8 gün olması nedeni ile uzun vadeli etkilenme söz konusu değildir.

Yerleşim bölgelerindeki park, sokak, meydan, çatı, duvar ve yollar gibi açık alanlar radyonüklidler ile en çok kirlenmiş alanlardır. Evlerin çevresindeki <sup>137</sup>Cs kirliliği artışının en önemli nedeninin çatılardan yağış nedeni ile taşınan radyoaktif maddeler olduğu görülmüştür (TAEK, 2007).

Toprakta biriken radyonüklidler zamanla toprağın alt katmanlarına geçiş yapmakta ve toprağın alt kısmına doğru sızarak, bitkilerin köklerine kadar ulaşmakta ve bitkilerin gelişimi sırasında bitkilere transferi söz konusu olmaktadır. Bu durum, özellikle <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr gibi uzun yarılanma ömürlü radyoçekirdeklerde dikkate alınmalıdır. Radyoçekirdeklerin topraktaki hareket yönü ve hızı; toprağın yapısı, içeriği, bitkinin cinsi, sulama koşulları, hava durumu gibi pek çok doğal sürece özellikle de birikimin olduğu dönemdeki şartlara bağlıdır (TAEK, 2007).

Ormandaki ağaç çileği, mantar ve av kuşlarının tüketimi ile orman ürünlerinin sanayi amaçlı kullanımı sonucunda yüksek dozda radyasyon alındığı görülmektedir. Avrupa'nın kuzeyindeki ormanlardan radyoaktif olarak kirlenmiş biyoyakıtlar kullanılarak üretilen enerji ve atık ürünler ya da küllerin kullanımı ile bunların ormana gübre olarak geri dönüşümünün radyolojik yönden önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu ormanlardaki podzolik toprakların mineral katmanlarında  $^{137}\text{Cs}$  birikiminin artabileceği belirtilmektedir. Çernobil kazasından sonra geçen süreye rağmen, kuzey ormanlarındaki çam ağaçlarında toplam  $^{137}\text{Cs}$  envanterinin hâlen artmaya devam etmesi bu şekilde açıklanmaktadır. Bölgede bataklık dışındaki alanlarda, su ile yıkanma sonucunda beklenen aktivite azalımı neredeyse hiç görülmemektedir. 2005 yılında Doğu Karadeniz Bölgesi toprak numunelerinde yapılan ölçüm sonuçları da; topraktaki radyoaktivite miktarının radyoaktif bozunma ve çevresel azalım faktörleri kullanılarak yapılan öngörülerden daha fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Su kütleleri üzerine çöken radyoaktif maddeler çok büyük su hacmi içerisinde seyredildiğinden,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'ın gıda yoluyla alınmasında su yolu ile geçiş genellikle çok az olmaktadır. Ancak İskandinav ülkeleri ve Rusya'nın bazı bölgelerinde göllerde, su yolu ile etkilenme nispeten daha fazla önem taşımaktadır. Dağların alçak kısımlarında radyoaktif kirlenmenin tekrar arttığı görülmektedir. Örneğin; Fransız Alplerinin Güney kısımlarında toprak numunelerinde 1992 yılındaki  $^{137}\text{Cs}$  kirliliği 1760 Bq/kg'dır. Bazı küçük bölgelerde (metre karenin kesri kadar) sıcak noktalar; 1992 yılında 55800 Bq/kg, 1995 yılında 314000 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu sıcak noktalar, dağın üst kısımlarında 1986 yılındaki kirlenmeden sonra yağın karın erimesi ve kar suyunun aşağılara inmesi sonucunda oluşmuştur. Bu noktalar ormanın alt kısımlarındaki küçük havzalar veya karın biriktiği karaçamalarda bulunmaktadır. Ancak küçük yüzeyli bu sıcak noktalar da yürüyüş yolu yer almamakta, dağa tırmananlar için çok az radyasyon riski taşımaktadır. Örneğin, bir dağcı bu gibi sıcak bir noktanın bulunduğu bir çevrede 4 saatliğine vereceği bir mola ile yaklaşık olarak 0.001 mSv doz alacaktır (TAEK, 2007).

Etkilenen bölgelerdeki içme suları çok az kirlenmiş olup  $^{137}\text{Cs}$  veya  $^{90}\text{Sr}$  aktivite değerleri 1 Bq/l'den azdır. Kazadan 1 yıl sonra, kazadan etkilenen bölgede meydana gelen bir fırtına, yeryüzünde biriken radyoaktif maddelerin tekrar havaya kalkarak dağılmasına ve Pridyat kentinde havadaki radyoaktivitenin 1000 kat artarak 300 Bq/m<sup>3</sup> değerine ulaşmasına neden olmuştur. Orman yangınları da radyoaktivitede artışa neden olmuştur. 1992 yılında, etkilenen bölgedeki orman yangınlarının yol açtığı radyoaktivite, beta

yayımlayıcı radyoçekirdeklerde 20 Bq/m<sup>3</sup>, plütonyum izotoplarında ise 70 mBq/m<sup>3</sup> değerine çıkmıştır (TAEK, 2007).

## 8.MATERYAL VE METOT

### 8.1. Alansal Modeller

Atmosferik değişkenler genellikle uzaysal ve zamansal değişimlere sahiptir. Yağış analizleri normalde zaman serileri analizi veya eşit aralıklı stokastik modellere dayanır. Toprak parametreleri tabiatta rastgele dağılmamıştır; onların büyüklüklerinin uzaysal dağılımını açıklayabilen bir uzaysal korelasyon vardır. Değişkenlerin bu uzaysal korelasyonunu ifade etmek için, isimlendirilen yapı, jeostatistik analizler için spesifik bir araç olan variogramdır (Al-Kashman, 2005).

Çernobil Kazasından sonra farklı araştırmacılar tarafından çalışılan birçok yapay radyoaktif çekirdek vardır. Yapay radyoaktif çekirdek modellemeleri için klasik teknikler ölçüm alanlarındaki zamansal değişkenliğin belirlenmesi için tek başına etkili değildir (Hakonsan ve Boulion, 2003; Harms, 1997). Atmosferik ortamdaki bir parçacığın taşınımı için oluşturulan modeller farklı alanlarda çalışan (yüzey bilimi, fizik, su kaynakları ve çevre mühendisliği) araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Uygun modeller bölgesel ve çevresel şartların çeşitliliği için geliştirilmiştir. Matheron (1963) mesafe ile uzaysal (konumsal) bağlılığı açığa çıkaran, bölgesel değişkenlere dayalı jeostatistik uzaysal modellemeyi önerdi. Onun modelindeki yaklaşım temeli yarı-variograma (YV) dayanır. Bu teknik, zaman göz önüne alınmaksızın madencilikte maden sınıflamasının uzaysal modellenmesi için önerildi. Georges Matheron tarafından geliştirilen istatistiksel uygulamanın özel bir branşı olan bu jeostatistik terimi istatistiksel davranışın soyut bir teorisi olduğundan, jeolojinin ve doğa bilimlerinin birçok farklı alanına da uygulanabilir. Bu yöntemden yola çıkarak geliştirilen çeşitli yarı-variogram teknikleri fizik alanında, radyoaktif çekirdeklerin konumsal ve zamansal değişimlerinin incelenmesinde ve belirli bir zamanda radyoçekirdek miktarının tayin edilmesinde ayrıca dağılım katsayısındaki belirsizliklerin ortadan kaldırılmasında kullanılmıştır.

Radyoaktif çekirdeklerin uzaysal modellenmesiyle ilgili çalışmalara literatürde sık rastlanmaktadır (Viswanathan vd., 2003; Severino vd., 2007). Buna rağmen, uzay zaman modelleme teknikleri çok nadirdir. Diğer bir taraftan radyoaktif çekirdeklerin taşınımı için

uzay-zaman modelleri hemen hemen yok denecek kadar azdır (Deutsch vd.,1981; Bilonick, 1985). Bununla beraber; Külahcı ve Şen (2009a) tarafından geliştirilen, literatürdeki ismiyle “Spatio-Temporal Point Cumulative Semivariogram (STPCSV) (Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram)” metodu, “radyo çekirdeklerin taşınıımı” için geliştirilen uzay-zaman modelidir (Külahcı ve Şen, 2009).

### 8.1.1. Yarı-Variogram

Jeoistatistikte önemli bir kabul; gerçek rastgele değişken ve tamamen deterministik olan bir veri arasındaki ara özelliklere sahip olan bölgesel değişkendir (regionalized variable) (BD). Bölgesel değişkenlerin uzaysal değişkenliği fiziksel bilimlerde ve doğa bilimlerinde oldukça önemlidir (Cressie, 1991). Geoistatistikteki temel düşünce birçok doğal olay için birbirine yakın alınan örneklerin, daha uzak kısımlardan alınan örneklerden daha büyük benzerlik olasılığına sahip olması durumudur. Bu, olaydaki uzaysal bağımlılığı ifade eder.

Klasik varyans teknikleri ve klasik otokorelasyon metotları bölgesel bağımlılığı doğrudan açıklamak için veya örnek konumların koşullarındaki değişkenliği açıklamak için yardımcı değildir (Luetkepohl vd., 2004). Başarısızlık ya verilerin normal olmayan dağılımlarından ya da örnek konumların d zensizliğindendir (Külahcı ve Şen, 2007) ama Matheron tarafından geliştirilmiş yarı-variogram tekniği birçok araştırmacı tarafından (Clark, 1977; Cooley, 1979; David, 1977; Myers ve diğerleri, 1982; Journel, 1986; Aboufirassi ve Marino, 1984; Hoeksema ve Kitanidis, 1984; Carr ve diğerleri, 1985) farklı alanlarda, örneğin jeoloji, madencilik, hidroloji, deprem tahmini gibi alanlarda uzaysal çeşitliliği karakterize edebilmede kullanılmıştır.

Bölgesel değişkenlerin farklı konumlardaki değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Matheron,1970; Journel, 1986). Bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu veya diğer ismi ile yarı-variogram fonksiyonu ile belirtilir.

Variogram ya da diğer ismiyle yarı-variogram; istatistiksel tabanlı, niceliksel, uzay sürekliliğini veya veri setinin değişkenliğini gösteren, örnek konumların karşılıklı bağımlılıklarını ölçen, örnekler arasındaki uzaysal bağımlılığı ve bir bölgesel değişkenin uzaysal değişkenliğini karakterize eden bir fonksiyondur.  rnek konumların karşılıklı bağımlılıklarını ölçen bir fonksiyon olması, birbirine yakın iki örnek konumun daha uzak mesafelerde ayrılmış iki örnek konumdan daha benzer olması anlamına gelir. İki veri seti

için sıradan bir boyutlu istatistik hemen hemen aynı iken, uzaysal süreklilik oldukça farklı olabilir. Bir variogram bir ayırım vektörünün fonksiyonudur. Bu hem uzaklık hem de yönü içerdiği anlamına gelir (Barnes, 2006).

Variogram veya yarı-variogramın hesaplama süreci, zaman serisi analizine benzer bir özellik taşımaktadır. Yarı-Variogram, düzgün dağılılı özel noktalar arasında mesafe ile alan bağımlılığının ölçüsünü ifade eder. Yarı-Variogram kavramında, çalışma alanı içerisindeki örnekleme konumlarının düzenli dağılmış olduğu ve bölgesel değişkenin durağan olduğu kabul edilir.

Variogram analizi veriden hesaplanılan deneysel variogram ve veriyi fit eden bir variogram modelden oluşur. Deneysel variogram, belirlenmiş ayırım mesafeleri ve yönü ile gözlemlerin bütün çiftleri üzerinde ölçülen değerlerin yarı kare farklarının ortalamasından hesaplanılır. Bu iki boyutlu bir grafik olarak çizilir.

Variogram model, uzaysal ilişkileri tanımlayan birkaç matematiksel fonksiyondan seçilir. Uygun model, matematiksel fonksiyon ile deneysel variogramın şeklinin birleştirilmesiyle seçilir.

Variogram fonksiyonu birbirinden  $h$  kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak da ifade edilir. Bir başka deyişle iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır (Deutsch ve Journel, 1992). Değişkenler arasındaki uzaklığın artması ile değişkenlerin değerleri arasında gözlenen farklılıklar artacaktır. Varyansın artması değişkenler arasındaki ilişkinin azalması anlamına gelir. Buna bağlı olarak variogram veya diğer ismiyle yarı-variogram

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] \quad (8.1)$$

eşitliği ile verilir.

Burada  $Z(x+h)$ ;  $x$  konumundan  $h$  kadar uzaktaki değişkenin değeri,  $Z(x)$ ;  $x$  konumundaki ilgili değişkenin değeri,  $\text{Var}[]$ ; varyans operatörüdür. Variogram beklenen değer cinsinden

$$2\gamma(s) = E[N(x) - N(x+s)]^2 \quad (8.2)$$

olarak ifade edilir (Clark, 2001).

$n$  tane düzensiz yerleştirilmiş nokta verilerini ardışık sıralayalım;  $\{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)\}$ , burada  $(x_i, y_i)$   $i$  noktasındaki gözlemin konumu ve  $z_i$  ölçülmüş bölgesel değerdir. Böylece,  $n$  nokta arasında  $n(n-1)/2$  farklı gözlem çifti vardır.

Variogram ayrılan mesafe ve yönün bir fonksiyonu olarak ölçülmesi nedeniyle yön değiştikçe variogram da değişir. Bu birçok fiziksel olayda bir yönden diğerine daha hızlı değişen parçacık boyut dağılımı için mümkündür.

Bölgesel değişkenin üzerinde değerler aldığı uzay, öklid uzayına (x-y-z koordinatları) ek olarak zaman, parametre ve özellik uzaylarını da içermektedir. Uzayda ölçülen değerler matematik fonksiyonlar ile ifade edilemeyen düzensiz bir yapı ortaya koymaktadır. BD teorisinin uygulanmasında, yapısal formları ortaya çıkaran teorik bir zemin hazırlanması (variogram ve kovaryans) ve tahmin problemini çözecek modelin (mesela Kriging gibi) kurulması gibi iki aşama vardır (Özger ve Şen, 2008). Tipik bölgesel değişkenler, zemin yüzeyinin yüksekliği, maden içindeki cevher değişimleri gibi coğrafik dağılımlara sahip doğal olayları tanımlayan fonksiyonlardır. Rasgele değişkenlere benzer olarak bölgesel değişkenler noktadan noktaya süreklidir ama değişken değişimleri herhangi kolay işlenebilir bir fonksiyon tarafından tanımlanamadığından oldukça komplekstir.

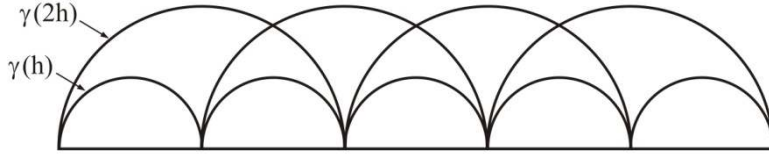
Bölgesel bir değişken uzaysal (konumsal) sürekli olmasına rağmen, herhangi bir yerde değerini bilmek genellikle mümkün değildir. Bunun yerine kendi değerleri yalnızca belirli konumlarda alınmış olan gözlemlerin aracılığıyla bilinir. Boyut, şekil, yönelme ve bu gözlemlerin uzaysal düzenlemesinde meydana gelen değişim bölgesel değişkenin farklı karakter göstermesine sebep olur. Böylece bölgesel değişkenin uzaysal sürekliliğinin derecesi, yarı-variogram veya uzaysal kovaryans fonksiyonuyla ifade edilir (Davis, 2002).

Yarı-variogram fonksiyonu genel denklemi (8.3) eşitliği ile verilir (Clark, 1979).

$$\gamma_h = \frac{1}{2N_d} \sum_{i=1}^{N_d} (X_i - X_{i+d})^2 \quad (8.3)$$

Burada,  $\gamma_h$ ,  $h$  uzaklığındaki yarı-variogram değeri;  $X_i$ ,  $i$  konumundaki bölgesel değişkenin değeri;  $X_{i+d}$ ,  $i$  konumundan  $d$  mesafe sonra ölçülen bölgesel değişkenin değeri;  $N_d$ , örnek uzaklıkların toplam sayısını ifade eder.

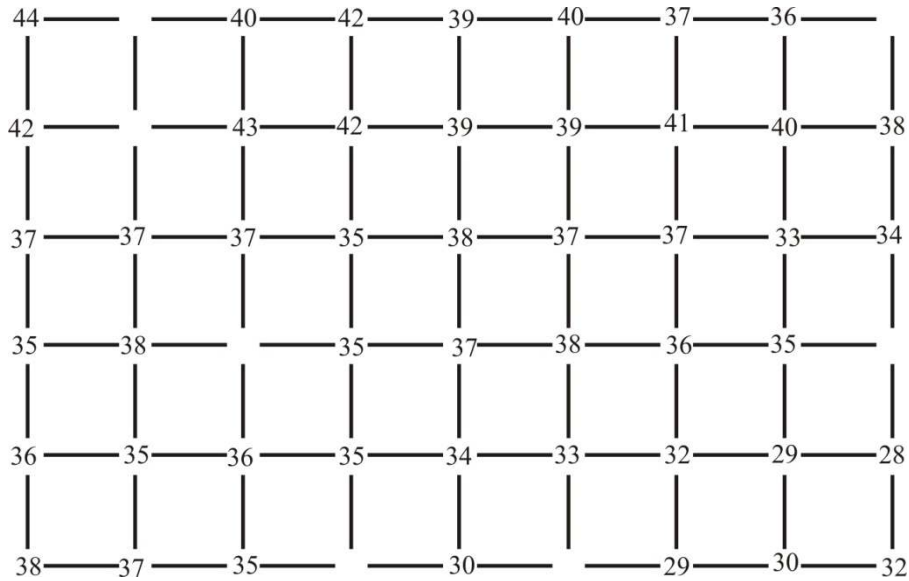
Belirli uzaklık için variogram hesaplaması gösterimi Şekil 8.1’de gösterildiği gibidir (Ak, 1998).



**Şekil 8.1.** Belirli bir uzaklık aralığındaki numuneleri kullanarak yapılan variogram hesaplamasının gösterimi

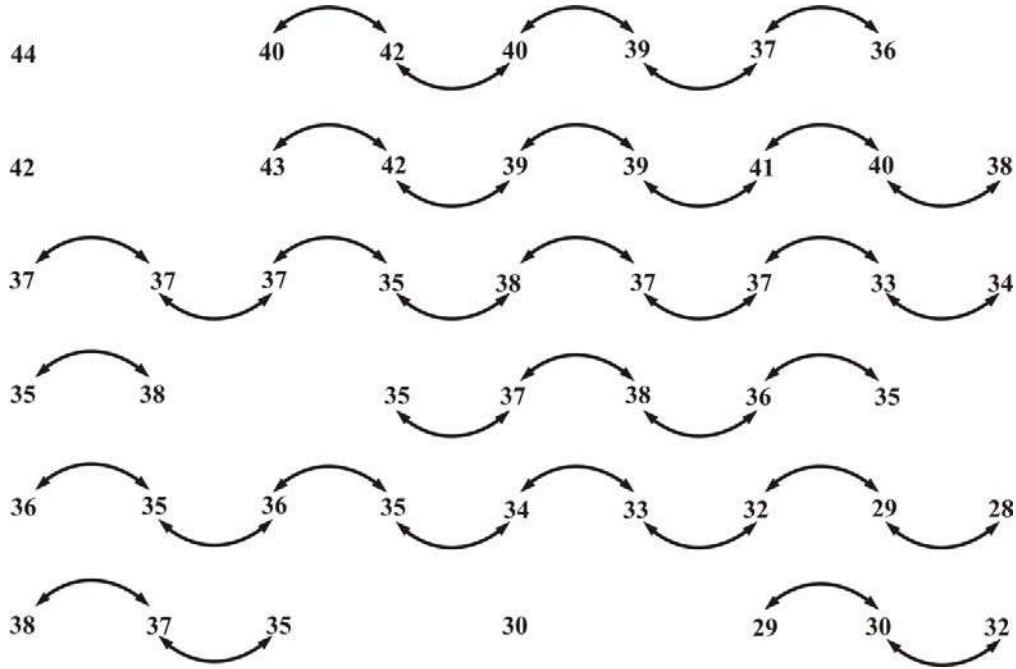
Yarı-Variogram, bölgesel değişkenin durağan olması ve düzenli dağılması durumunda uygulanabilir. Mesafe artarken yarı-variogramın hesaplanması için veri çiftlerinin sayısı azalır. Bu geniş mesafelerde daha az güvenilir tahmin yapma anlamına gelir. Dolayısıyla yarı-variogram çalışma alanındaki örnek noktalar arasında yakın mesafeler için güvenilir sonuçlar verir ama mesafe artarken yarı-variogramın güvenilirliği azalır. Yarı-Variogramlar, Kriging yöntemlerindeki temel unsurlardır. Çünkü onlar ilgili olayın uzaysal (konumsal) korelasyon yapısını ifade eder. Bununla birlikte mevcut veriden yarı-variogramların belirlenmesinde pratik zorluklar vardır (Şen, 1989).

Şekil 8.2 düzenli dağılmış ve 100'er birimlik mesafelerle ayrılmış noktalardaki demir cevher kütlesini göstermektedir (Clark, 2001).



**Şekil 8.2.** Deneysel variogramın hesaplanması için oluşturulan veri değerleri

Dağılan bu noktalar arasında 100 birimlik mesafe için hesaplamaya katılacak olan nokta çiftlerin gösterimi ise Şekil 8.3 ile verilmiştir (Clark, 2001)



Şekil 8.3. 100 Birim uzaklık için hesaplamaya katılacak nokta çiftleri

Buna göre  $h = 100$  birim için yarıvariogram denklemi;

$$\gamma^*(100) = [(40 - 42)^2 + (42 - 40)^2 + (40 - 39)^2 + (39 - 37)^2 + (37 - 36)^2 + (43 - 42)^2 + (42 - 39)^2 + (39 - 39)^2 + (39 - 41)^2 + (41 - 40)^2 + (40 - 38)^2 + (37 - 37)^2 + (37 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (35 - 38)^2 + (38 - 37)^2 + (37 - 37)^2 + (37 - 33)^2 + (33 - 34)^2 + (35 - 38)^2 + (35 - 37)^2 + (37 - 38)^2 + (38 - 36)^2 + (36 - 35)^2 + (36 - 35)^2 + (35 - 36)^2 + (36 - 35)^2 + (35 - 34)^2 + (34 - 33)^2 + (33 - 32)^2 + (32 - 29)^2 + (29 - 28)^2 + (38 - 37)^2 + (37 - 35)^2 + (29 - 30)^2 + (30 - 32)^2] \div (2 \times 36)$$

$$\gamma^*(100) = 1.46 (\%)^2$$

$h = 200$  birim uzunluk için yarıvariogram denklemi;

$$\begin{aligned}\gamma^*(200) = & [(44-40)^2 + (40-40)^2 + (42-39)^2 + (40-37)^2 + (39-36)^2 + (42-43)^2 + (43-39)^2 + \\ & (42-39)^2 + (39-41)^2 + (39-40)^2 + (41-38)^2 + (37-37)^2 + (37-35)^2 + (37-38)^2 + (35-37)^2 + \\ & (38-37)^2 + (37-33)^2 + (37-34)^2 + (38-35)^2 + (35-36)^2 + (37-36)^2 + (36-35)^2 + (36-36)^2 + \\ & (35-35)^2 + (36-34)^2 + (35-33)^2 + (34-32)^2 + (33-29)^2 + (32-28)^2 + (38-35)^2 + (35-30)^2 + \\ & (30-29)^2 + (29-32)^2] \div (2 \times 33)\end{aligned}$$

$$\gamma^*(200) = 3.30 (\%)^2$$

İki hesaplama birbiriyle kıyaslandığında mesafenin artmasıyla yarı-variogram değerinin de arttığı görülmektedir. Yarı-Variogramda bu işlem en az 7 çift istasyona sahip olunana kadar devam edilir.

#### 8.1.1.1. Yarı-Variogramın Pratik Zorlukları

Klasik YV, herhangi  $h$  mesafesi için, bu mesafe ile ayrılan iki ölçümün yarı kare farkı olarak tanımlanır.  $h$ , çalışma alanı içinde sıfırdan maksimum olası uzaklığa kadar değişirken, aralık mesafesi için yarı-kare farkı ilişkisi yarı-variogram olarak adlandırılan teorik bir fonksiyon olarak ortaya çıkar. Model YV, örneklerin  $n$  sınırlı sayısından hesaplanan bu teorik fonksiyonun bir tahminidir. Model YV bölge içindeki örnek noktaların dağılımı düzenli olduğu zaman küçük mesafeler için güvenilir tahminler yapabilir. Mesafe artarken, YV'nin hesaplanması için veri çiftlerinin sayısı azalır, bu daha geniş mesafelerde daha az güvenilir tahmin yapma anlamına gelir (Şen 1998).

Yarı-Variogram, bölgesel değişkenin durağan olduğunu ve örnek konumların düzenli bir şekilde dağıldığını kabul eder. Oysa doğal olayların birçoğunda, örnek konumlar bölgede düzensiz dağılmıştır ve böylece YV'nin objektif tahmini mümkün değildir. Bazı mesafeler diğerlerinden daha yakındır ve buna göre bu noktaların YV tahminleri diğerlerinden daha güvenilirdir. Böylece, yarı-variogramda heterojen güvenilirlik baskındır. Sonuç olarak, yarı-variogram modelinin güvenilirliği mesafeye göre değişir. Böyle bir durum modellemede uyumsuzluklara ve deneysel dalgalanmalara sebep olur. Yarı-variogram modeline tutarlı bir biçim vermek için, farklı araştırmacılar farklı kişisel yöntemler kullandı.

Bunlar;

- 1) Journel ve Huijbregts (1978) bir yarı-variogram modeli düzenlemek için eşit uzunluktaki mesafe sınıfları içindeki verinin gruplandırılmasını tavsiye etti.

Bununla birlikte, sınıflar içerisindeki veri çiftlerinin gruplanması temel teorik yarı-variogramla ilgili model yarı-variogramın düzgünleştirilmesine neden olur. Eğer mesafelerin sayısı belirli bir sınıf içine düşerse, bu sınıf içerisinde yarı kare farkların ortalaması orta nokta (midclass) için karakteristik yarı kare farkı olarak alınır. Böylece aykırı değerlerin etkisi kısmen azaltılmış ama ortalama alma işlemi ile tam olarak düzeltilememiştir (Şen, 1989).

- 2) Yarı-Variogram da ki değişkenliği azaltmak için, Myers ve diğerleri (1982) değişken uzunluk sınıfları içindeki örnekler arasında gözlenen uzaklıkları sınıflandırdı. Bu kabul de sınıf büyüklüğü, örnek çiftinin sabit sayısının her bir sınıfta düşmesiyle belirlendi. Mesafe ve yarı kare farkların ortalama değeri örnek yarı-variogramın temsili bir noktası olarak sınıflamalar için kullanıldı. Buna rağmen bu yöntem her bir sınıf içine düşen  $m$  çift sayısının seçimi için örnek yarı-variogram modellemesinde uyumsuzlukla sonuçlandı (Myers vd., 1982). Bununla birlikte Myers ve diğerleri,  $m = 1000$  seçimiyle verinin ayırt edilebilir bir şekil verdiğini gözlemledi. Çiftlerin sabit sayılarının seçimi kişiseldir ve ilaveten ortalama işlemler deneysel yarı-variogram içindeki değişkenlikleri düzeltmektedir. Sonuç olarak, yarı-variogram geniş frekanslı değişimler sağlayamadığından doğru bir değişken incelemesi sağlayamaz (Şen, 1989).

Yukarıdaki yöntemler temelde 2 genel özelliğe sahiptir; çiftlerin sabit sayısının önceden belirlenmesi veya sınıf uzunlukları farkı ve mesafelere ek olarak yarı kare farkları için aritmetik ortalama yöntemidir. Model daha genel durumlarda kişisel bir karara ihtiyaç duyar, aksi takdirde daha sonra temsil edilmeyen yarı-variogram değerlerine neden olabilir. Klasik istatistikte, yalnızca simetrik dağılım verisi durumunda, ortalama değer en iyi tahmin edilir, aksi takdirde ortalama ilgisiz olur. Ayrıca, ortalama değer aykırı hassasiyette olur (Şen, 1989).

Adı geçen bu dezavantajların üstesinden gelmek için Şen (1989) tarafından Toplam Yarı-Variogram kavramı (Toplam Yarı-Variogram) (TYV) geliştirilmiştir. Daha sonrada Şen (1998) herhangi bir bölgedeki çeşitliliğinin noktasal özelliklerini ölçebilmek için Noktasal Toplam Yarı-Variogram (NTYV) tekniğini geliştirmiştir. Şahin (2001) NTYV tekniğinde bir bölgedeki çeşitliliğin noktasal özelliklerini ölçerken iki istasyon arasındaki fark karelerinin çok büyük olması durumunda mesafe olarak ondan sonra gelen istasyonun etkisinin göz ardı edilmesi gerektiğini ve bu noktalar arasındaki ilişkinin aralarındaki

açıların kosinüsü ile ilişkili olduğunu belirtmiş ve sonuç olarak Trigonometrik Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemini geliştirmiştir. Ancak bu yaklaşımların hiç biri zaman değişimini göz önünde bulundurmamaktadır. Yani incelenen değişkenin hangi zamanda nasıl bir değişim gösterdiğini ifade etmemektedir. Bu değişimi göz önüne almak için Külahcı ve Şen tarafından (2009a) Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi geliştirilmiştir.

### **8.1.2. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram**

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 vd., 2006). Konum ve zaman üzerinde gelişen olayın istatistiksel modellemesi, bölgesel değişkenin çevresel değişimini izlemek ve zamanla değişiminin belirlenmesini sağlamak için önemlidir (Ma, 2000). Jeostatistiksel analizde ilk basamak uzaysal bağımlılığı belirlemek ve buna bağlı olarak bölgesel değişkenin etkinliğinin değerlendirilmesini sağlamaktır (Arroyo ve Mateu, 2004). Jeostatistik, 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 değer tahminini yapar. Prensip olarak zorluk, geçerli ve gerçek uzay-zaman modelleri bulmak ve onların parametrelerini tahmin etmektir (Jost vd., 2005).

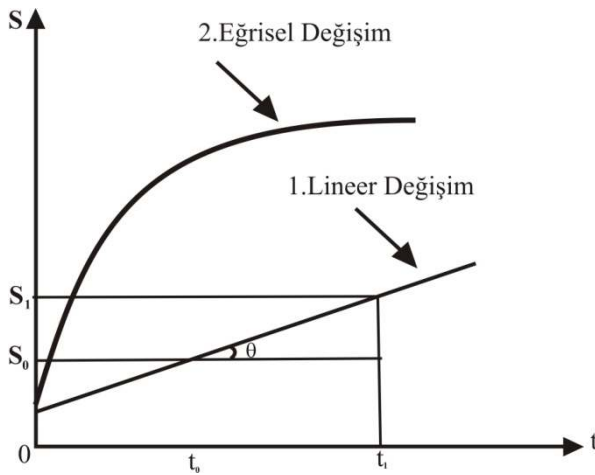
Değişkenin uzaysal dağılımı, uzaysal durağanlık varsayımı, uzaysal korelasyon veya bağıllığı; kümeleme, rastgelelik, değişmezlik ve uzaysal eğilim gibi dağılımları karakterize edebilen ve belirleyebilen yarı-variogram gibi variogram teknikleri ile belirlenebilir. Son zamanlarda birkaç uzay-zaman modeli geliştirildi (Cressie ve Huang, 1999; De Cesare vd., 2001; De Iaco vd., 2001; Myers vd., 2002 ). De Cesare vd. (2002), uzay zaman parametrelerinin nasıl fit edileceğini ve uzay-zaman variogramını modellemeyi gösterdi. Bu, variogram tahmininin genel bir kullanımıyla yapılabilir. Jeostatistiksel 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 jeostatistiğini 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 Yarı-Variogram, ‘‘radyo çekirdeklerin taşınımı’’ için geliştirilen bir uzay-zaman modelidir.

Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram modeli daha önce geliştirilen zaman çeşitliliğinin göz önünde bulundurulmadığı Yarı-Variogram (YV), Toplam Yarı Variogram (TYV) ve Noktasal Toplam Yarı-Variogram (NTYV) yaklaşımlarına benzerdir. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi bütün bu yarı-variogramlardan farklı olarak zaman değişimini göz önünde bulundurmaktadır. Bu yaklaşım istenilen herhangi bir zamanda bütün istasyonlardan gelen katkının değişimini inceler (Külahcı ve Şen, 2009a).

Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram modelinin temeli NTYV modeline dayanır. Buna bağlı olarak örneklem noktalarının düzensiz dağıldığı ve bölgesel değişkenin durağan olmadığı kabul  burada da geçerlidir.

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. Bir parçacık Şekil 8.4’de görüldüğü gibi uzay-zamanda doğrusal veya doğrusal olmayan bir hareket gösterir (Külahcı ve Şen, 2009a).

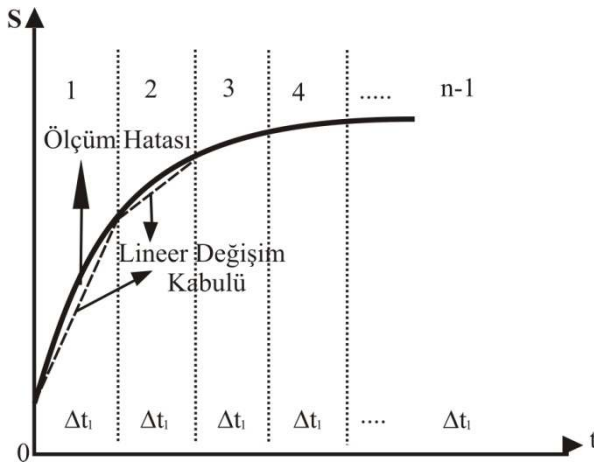


Şekil 8.4. Parçacık hareketinin gösterimi (Külahcı ve Şen, 2009a)

Doğrusal değişim eğimi  $\theta$  tüm  $t$  değerleri için aynıdır ve eğim sabit hıza karşılık gelir.

$$\tan \theta = \frac{S_1 - S_0}{t_1 - t_0} \quad (8.4)$$

Burada  $S$  mesafedir. Doğrusal olmayan durumda eğim, zamanla aniden değişir. Dolayısıyla birinci hareketteki yaklaşımla hızı bulmak mümkün değildir. Çünkü herhangi bir an için bulunmuş olan eğim diğer zaman dilimleri için yanlış olacaktır. Bu nedenle, ikinci hareket için bu noktada bir çözümsüzlük mevcuttur. Çözmek için hareket daha kısa süreli hareketlere bölünmelidir. Burada zamana bağlı uzay değişkenliği  $S = S(t)$  olarak bir fonksiyon biçiminde ifade edilebilir. Şekil 8.4’de eğri çizgi  $n$  istasyon varsa  $(n - 1)$  tane doğrusal parçaya ayrılarak her bir istasyondaki hız bulunur ama elbette  $\phi$  kadar bir hata payı oluşur. Daha küçük kısımlara bölmek daha az hata meydana getirir. Bu durum Şekil 8.5’de gösterilmiştir (Külahcı ve Şen, 2009a).



Şekil 8.5 Doğrusal yaklaşım gösterimi (Külahcı ve Şen, 2009a)

Bu şekil klasik NTYV’a benzerdir. Burada yatay eksen mesafe yerine zaman sürekliliğini almıştır. Örneğin; eğer bir bölgede  $n$  tane ölçüm istasyonu varsa, o zaman  $(n - 1)$  tane istasyona olan uzaklık vardır. Alınan herhangi bir istasyon “referans istasyonu” olarak adlandırılacaktır. Böylece her bir zaman sabiti için NTYV’nin sayısı  $n$  olacaktır.

$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n-1} (S_i - S_j)^2 \quad (8.5)$$

Parçacığın hızının  $V$  olması durumunda,

$$\Delta \vec{S} = \vec{V} \times \Delta t \quad (8.6)$$

$j$  gibi bir istasyonda bölgesel değişkenin değeri  $C_j$ , zamanla  $C \times V \times t$  olarak değişir. Buna bağlı olarak Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram ifadesinin genel denklemi (8.7) ile verilir.

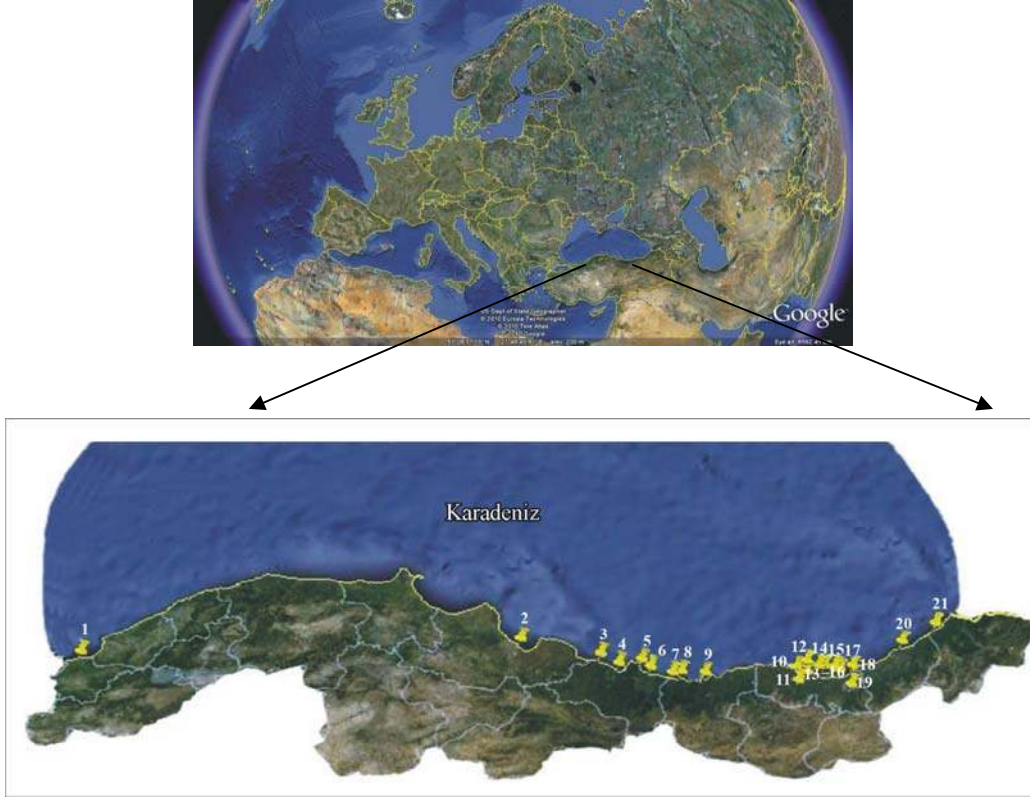
$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n ((C \times V \times t)_j - (C \times V \times t)_{j-1})^2 \quad (8.7)$$

Buna göre bu model yardımıyla bir parçacığın saat, gün veya daha kısa zaman dilimlerine göre değişimini simüle etmek ve modellemek mümkün olacaktır (Külahcı ve Şen, 2009a).

Radyoaktif çekirdeğin hem konuma hem de zamana bağlı olarak değişimini gösteren Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram metodunun ilk uygulaması Külahcı (2009) tarafından Keban Baraj Gölü içerisindeki  $^{210}\text{Pb}$  radyoaktif izotopu için yapılmıştır. Bu modele bağlı olarak etki yarıçapı haritaları çizimiyle  $^{210}\text{Pb}$  izotopunun Keban Baraj Gölü'ndeki uzaysal dağılımının saatlik değişimleri incelenmiştir.

## 9. ARAŞTIRMA ALANI

Çernobil kazasından Türkiye'nin en çok Karadeniz Bölgesi etkilenmiştir. Bu nedenle çalışma alanı olarak Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi ele alınmış Artvin, Düzce, Giresun, Ordu, Rize, Samsun ve Trabzon illerinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) 1986 yılında yapmış olduğu  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ölçüm verilerinden faydalanılmıştır. Çalışmamızda bu il merkezleri ve bazı ilçeleri ile birlikte toplam 21 istasyon ele alınmıştır. Bazı istasyonlarda  $^{134}\text{Cs}$  ölçümü mevcut olmadığından  $^{134}\text{Cs}$  değerlendirmesi için aldığımız istasyon sayısı 19 olmuştur. Alınan istasyonların haritadaki gösterimi Şekil 9.1'de verilmiştir. Alınan bu istasyonların birbirlerine olan uzaklıkları hesaplanmış ve ölçülen mesafe değerlerinden  $r=82$  km ve  $r=438$  km değerleri için iso-radyoaktivite haritaları çizilmiştir. Çizilen bu iso-radyoaktivite haritaları Ek 3 ve Ek 4'de verilmiştir. Iso-radyoaktivite çizimlerinde bu iki yapay radyoçekirdeğin hem aylık hem de saatlik değişimleri incelenmiştir. Alınan istasyonların haritadaki numara sırasına göre isimleri, konumları ve ölçülen Cs izotopları değerleri Tablo 9.1'de görülmektedir. Iso-radyoaktivite haritaları değerlendirilmesinde  $r=82$  km uzaklık için yapılan iso-radyoaktivite çizimlerinde istasyon sayısı 1 azalmakta  $^{134}\text{Cs}$  için 18 istasyon,  $^{137}\text{Cs}$  için 20 istasyon elde edilmektedir. Bu uzaklık için çizimlerde artık ilk istasyon Tablo 9.1'de verildiği gibi Düzce-Akçakoca olmayıp Samsun ili olmaktadır. Dolayısıyla harita yorumlamalarında istasyon numaraları dikkatle incelenmelidir. Çizimlerimizi 7 Mayıs'dan itibaren başlatıp ilk üç günü aralıksız almamızın sebebi Çernobil kazasında oluşan serpentinin Karadeniz kıyılarına bu tarih itibarıyla ulaşması ve etkilerini bu tarih itibarıyla göstermesinden dolayıdır.



Şekil 9.1. Örnekleme istasyonları

Tablo 9.1. İstasyonlar ve veriler

| İstasyon No | İstasyon Adı             | Enlem<br>( $x^{\circ} x' x''$ ) | Boylam<br>( $x^{\circ} x' x''$ ) | Cs-134<br>(Bq/kg) | Cs-137<br>(Bq/kg) | Rüzgâr Hızı<br>(m/sn) |
|-------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1           | DÜZCE-Akçakoca           | 41.0515                         | 31.0725                          | 1,7               | 13                | 1,3428                |
| 2           | SAMSUN                   | 41.1722                         | 36.2016                          | 88,89             | 94,44             | 0,9428                |
| 3           | ORDU-Ünye                | 41.0741                         | 37.1714                          | 18,2              | 78,7              | 0,5142                |
| 4           | ORDU-Fatsa               | 41.015                          | 37.3001                          | 48,6              | 120               | 0,8                   |
| 5           | ORDU-Perşembe            | 41.0402                         | 37.4614                          | 11,7              | 14,6              | 1,0285                |
| 6           | ORDU                     | 40.5917                         | 37.5226                          | 11,5              | 52,1              | 1,6571                |
| 7           | GİRESUN-Piraziz          | 40.5529                         | 38.0737                          | -                 | 56,1              | 2,0571                |
| 8           | GİRESUN-Bulancak         | 40.561                          | 38.1356                          | 2,5               | 7,4               | 2,8285                |
| 9           | GİRESUN-Keşap            | 40.5459                         | 38.3033                          | 3,8               | 4,8               | 3,1                   |
| 10          | TRABZON-Akçaabat-Derecik | 40.5649                         | 39.3607                          | 4                 | 13,3              | 1,6428                |
| 11          | TRABZON-Maçka            | 40.4855                         | 39.3648                          | 17                | 45,5              | 1,8285                |
| 12          | TRABZON                  | 41.0021                         | 39.4308                          | 6,6               | 16,3              | 2,3                   |
| 13          | TRABZON-Maçka-Çağlayan   | 40.541                          | 39.4248                          | -                 | 12,9              | 2,0857                |
| 14          | TRABZON-Yomra            | 40.5716                         | 39.5157                          | 15,9              | 74,8              | 1,8                   |
| 15          | TRABZON-Arsin            | 40.5713                         | 39.5533                          | 35,6              | 48,2              | 1,3                   |
| 16          | TRABZON-Araklı           | 40.5621                         | 40.0316                          | 4                 | 9,1               | 1,2857                |
| 17          | TRABZON-Sürmene          | 40.5445                         | 40.0641                          | 6,7               | 22,9              | 1,4                   |
| 18          | TRABZON-Çaykara          | 40.4506                         | 40.1431                          | 20,4              | 40                | 1,2428                |
| 19          | TRABZON-Of               | 40.5644                         | 40.1606                          | 50,5              | 102,7             | 1,0142                |
| 20          | RİZE-Pazar               | 41.1044                         | 40.5303                          | 46,3              | 71,9              | 1,0285                |
| 21          | ARTVİN-Arhavi            | 41.2111                         | 41.1836                          | 63                | 125,2             | 1,4                   |

### 9.1. Karadeniz Bölgesinin Coğrafik Özellikleri

Akarsu açısından Türkiye'nin en zengin bölgelerinden birisi olup, Karadeniz Bölgesi'nden çıkan sular Karadeniz'e dökülmektedir. Türkiye'nin en uzun nehri Kızılırmak bölgenin Orta Karadeniz bölümü kıyısında denize dökülmektedir. Orta Karadeniz bölümünün bir diğer önemli akarsuyu da Samsun ilinin Çarşamba ilçesinden Karadeniz'e dökülen Yeşilirmak'tır. Sakarya Nehri de Marmara Bölgesi sınırları içinde denize dökülmektedir. Çoruh Nehri, dünyanın en hızlı akan nehirlerinden biri ve en derin nehridir. Artvin ilinin en büyük akarsuyudur. Bu illerdeki hemen hemen bütün çay ve dereler Çoruh'un kollarını oluştururlar. Karadeniz Bölgesi sınırları içinde birçok doğal ve yapay göl vardır. 51,400 hektarlık bir alanı kaplayan Kaçkar Dağları da bu bölgededir.

Karadeniz Bölgesi'nde kıyıda yıl boyu yağışlı ve ılıman Karadeniz İklimi görülür. Bu iklimin oluşmasının sebebi; Karadeniz'den gelen nemli hava kütlelerinin kıyıya paralel uzanan Kuzey Anadolu dağ yamaçlarına bol yağış bırakmasıdır. Türkiye'nin en yağışlı bölgesi olan Karadeniz'de yağışlar bir mevsimde yoğunlaşmamış, yıl geneline yayılmıştır. Karadeniz bölgesi'nde yaz kuraklığı ve orman yangınları yaşanmaz. Nemlilik ve bulutlanmanın fazla olması nedeniyle yıllık ve günlük sıcaklık farkları en az bu bölgededir. Dağlar kıyıya paralel uzandığından, dağların gerisinde kalan iç kesimleri deniz etkisi altına alamamış ve iklim karasallaşmıştır ve kuraklaşmıştır.

Bölgenin doğal bitki örtüsü, kıyılarda nemlilik ve yağışın fazla olması sebebi ile geniş yapraklı gür ormanlardan oluşur. Türkiye ormanlarının %25'ini barındırır ve sahip olduğu ormanlar bakımından Türkiye'nin en çok orman olan bölgesidir (URL-2).

### 9.2. Karadeniz Bölgesinin Jeolojik Yapısı

Bölgede bütün jeolojik zamanlarda oluşmuş arazileri ve bunlara ait çeşitli kaya gruplarını görmek mümkündür. 1. Jeolojik zamanda (Paleozoyik) oluşmuş alanlar, Zonguldak çevresinde Ilgaz Dağı ile Çoruh vadisi boyunca yer yer görülür. Burada yeşilimsi ve mika pullu şistler yaygındır (Yalçınlar, 1976; Ketin, 1983; Atalay ve Mortan, 2003).

Taş kömürünün çıkarıldığı Zonguldak –Amasra havzasında ise karasal ortamda oluşmuş karbonifer arazileri yer alır. Bu araziler, genellikle kömür damarları içeren kumlu-killi ve

kömürlü şistlerden ibarettir. Kuzey Anadolu dağ kuşağının büyük bir bölümünü 2. Jeolojik zamanda (Mesozoyik) oluşmuş araziler oluşturmaktadır. Bu kuşağın büyük bir bölümünde çökelmiş tortullar ile çeşitli volkanik taşlar, özellikle bazik kaya toplulukları bulunur. Tosya ile Bayburt dolaylarında denizsel ortam koşullarında çökelmiş killi-kireçli-kumlu kaya toplulukları ve karbonatlı çökeller, kireçtaşları yer alır. Batıda Samsun dolaylarından başlayarak doğuda Gürcistan sınırına kadar devam eden sahada volkano-sedimanter topluluklar yaygındır. Burada kumtaşı, mil taşı, kireçtaşı tabakaları ile bunlarla ara katkılı ve tortulların içerisine sokulmuş kocaman kütleler halinde volkanikler görülür. Bu alanın bazı kısımlarında tamamen volkanikler hâkimken bazı kısımlarda da tortul kütleler baskındır (Atalay ve Mortan, 2003).

Karadeniz Bölgesi'nde aynı zamanda kumtaşı, miltaşı, kil taşı, nadiren çakıl taşı, çamur taşı ve kumlu kireçtaşı tabakalarının istiflenmesinden meydana gelmiş bir kaya topluluğu olan fliş toplulukları da mevcuttur. Bu kaya topluluğu, çoğunlukla ince malzemelerin sığ olan kıta sahanlıkları üzerinde tortulaşması veya bunların kıta sahanlıklarının ilerisindeki deniz tabanlarına doğru taşınarak birikmesi ile oluşmuştur. Bu arazi, Samsun'un batısından başlayarak batıda Akçakoca'ya kadar uzanır. Kıyı boyunca denize ve veya kuzeye doğru eğimli tabakaların bulunduğu bu kesimlerde heyelan olayları görülür. Yamacın doğal denge açısının kaybolması, killi tabakaların bünyelerine su alıp şişmesi heyelanları kolaylaştırır (Atalay ve Mortan, 2003).

3. Jeolojik zamanda (Tersiyer) arazileri, Kuzey Anadolu dağ kuşağının kuzey ve güneyindeki çukur alanlarda görülür. Trabzon, Kastamonu, Merzifon, Kelkit-Çoruh gibi araziler kireçtaşı, fliş, tuzlu-alkali tortul ve volkano-sedimanter olmak üzere dört farklı kaya topluluğundan oluşur (Atalay ve Mortan, 2003).

Alüvyonlardan oluşan 4. jeolojik zamana (Kuvaterner) ait araziler; Erbaa-Niksar, Taşova, Bolu-Gerede oluşuyla Düzce, Adapazarı ovaları, Bafra, Çarşamba ve Sakarya deltalarında yer alır (Atalay ve Mortan, 2003).

Kuzey Anadolu dağ kuşağı farklı karakterde iç ve dış volkanizma olaylarına uğramıştır. Bu volkanizma olayları ve bunun sonucu oluşan başlıca kaya toplulukları, asit volkanikler ve dış volkaniklerdir (Atalay ve Mortan, 2003).

### **9.3. Karadeniz Bölgesinin Toprak Yapısı**

Bölgede çok sayıda toprak grupları vardır. Bu durum bölgede çeşitli iklim şartlarının görülmesi, farklı ana kaya ve değişik eğim şartlarından ileri gelir.

#### **9.3.1. Zonal Topraklar**

Bölgenin iklim ve bitki örtüsüne göre oluşan başlıca topraklar şunlardır.

##### **9.3.1.1. Kırmızı-Sarımsı Podzolik Topraklar**

Karadeniz sahil şeridinde nemli-ılıman iklimin etkili olduğu alanlarda yaygın olarak görülür. Üst toprak, genellikle organik madde bakımından zengin olup toprağa karışmış durumdadır. Alt toprak ise kil birikmelerinin görüldüğü esmer-sarımsı renklidir. Yıkanmaya uğradığı için karbonatlar taşınmış olan bu topraklarda hidrojen iyon birikimini yükseltmiştir. Bundan dolayı bu topraklar genelde asit tepkime gösterir. Bu topraklar çoğunlukla Batı Karadeniz bölümü ile Trabzon dolaylarında yaygındır (Atalay ve Mortan, 2003).

##### **9.3.1.2. Asit Kahverengi Orman Toprakları (Podzolik Topraklar)**

Genellikle Karadeniz kıyı kuşağı boyunca organik madde bakımından zengin koyu esmer renkli topraklara geçilir. Hatta yüksek yerlere doğru toprağın üst kısmı birkaç cm kalınlığında ayrışmamış ve yarı ayrışmış organik örtü ile kaplıdır ve organik madde ile mineral toprak arasında yer yer kesin sınırlar mevcuttur. Genellikle asit reaksiyon gösteren bu toprakların pH'ı 5'e kadar iner. Bolu Taşkesti, Aladağ ve Kuzeydoğu Anadolu'nun yüksek platolarında B horizonunda soluk renklerin oluşumu toprağın aşırı şekilde yıkandığını kanıtlamaktadır. Toprakların bünye durumu ana materyalin etkisine bağlı olarak killi ve kumlu bünye arasında değişmektedir. Genel olarak kuvarsitler üzerinde kumlu balçık bünyede; flişler üzerinde fliş topluluğunu oluşturan killi, milli, marnlı tabaka veya deponun mevcudiyetine bağlı olarak killi ve killi balçık ve kumlu özellikte toprakların egemen olduğu görülür. Toprağın yapı durumu ise bünye ve organik maddeye

bağlı olarak değişir. Genel bir ifade ile üst toprak, organik maddeden dolayı çoğu kez taneli yapı gösterir. Olgun toprak profillerinde alt horizonlara doğru kil artmaktadır (Atalay ve Mortan, 2003).

Karadeniz Bölgesi'ndeki toprakların organik madde miktarları %1-10 arasında değişir. Orman altındaki topraklar organik madde yönünden zengindir. Topraktaki organik madde miktarını, toprak yüzeyindeki bitki ve sıcaklık tayin eder. Genel olarak, Karadeniz Bölgesi'nde geniş yapraklı orman örtüsü altında topraktaki organik madde miktarı %5 civarındadır. Sahil kuşağında organik madde miktarı %5'in altına düşer. Yüksek kısımlara doğru ise sıcaklığın azalması ve mikroorganizma faaliyetlerinin yavaşlaması ile üst toprak organik madde yönünden zenginleşmektedir (Atalay ve Mortan, 2003).

Toprakların pH durumuna gelince, geniş yapraklı orman kuşağındaki tüm topraklar çeşitli derecede asit reaksiyon gösterir. Toprağın pH değeri 4,5-6,6 arasında değişir. Kayın ormanlarının bulunduğu alanlarda toprağın pH'ı 5-5,5 dolayında olup şiddetli asit reaksiyon gösterir. Bu durum bölgenin fazla yağış almasından dolayı toprakların yıkandığını, topraktaki katyonların katyonların yerine  $H^+$  katyonunun geçtiğini ifade eder (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.1.3. Kireçli Kahverengi Orman Toprakları**

Bu topraklar, yıllık ortalama yağış miktarının 500 mm civarında olduğu Karadeniz ardında, karaçam ve meşelerin ve yer yer de kızılçam topluluklarının yoğun olduğu kuru orman alanlarında yaygındır (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.1.4. Kahve ve Kestane Renkli Topraklar**

Bu topraklarda bol miktarda karbonat birikimi mevcuttur. Nitekim burada açılan toprak profilinde, toprağın killi bünyede olduğu, ancak kil miktarının taşınmadan dolayı alt toprak katında daha da arttığı (kil miktarı üst toprağa göre %12 kadar fazla) tespit edilmiştir. Ayrıca hafif alkali reaksiyon gösteren toprağın üst katında  $CaCO_3$  %14 iken, alt toprakta %45'e kadar çıktığı saptanmıştır (Atalay ve Mortan, 2003).

### **9.3.2. İntrazonal Topraklar**

Bu kategoriye giren topraklar, Karadeniz ardında bitki örtüsünden yoksun veya bitki örtüsü son derece dejenere edilmiş eğimli yamaçlarda, taban suyu seviyesinin yüksek olduğu delta alanlarında yaygındır. Bu gruba giren topraklar şunlardır (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.2.1. Flişler Üzerindeki Kumlu Topraklar**

Killi, kumlu-milli ve çakıllı tabakların ardalanmalı olarak uzandığı fliş topluluğun – tabakaların yüzeyindeki durumuna göre toprağın bünyesi de değişir. Eğimli alanlarda yüzeyde 10-15 cm kalınlığında bir üst toprak katı yer alır. Toprağın veya ana materyalin bünyesini ve geçirgenliğini tabaka durumu belirler. Mesela, toprağın bünyesi kumlu tabakaların yüzeyde olduğu alanlarda kumlu, killi tabakaların bulunduğu kısımlarda ise killidir. Kumlu tabaklarda geçirgenlik ve hava dolaşımı killi olanlara göre son derece yüksektir (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.2.2. Şistler Üzerindeki Topraklar**

Ilgaz Dağı kloritli-serizitli, grafitli şistlerin yüzeye çıktığı alanlarda genellikle ağır bünyeli topraklar görülür (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.2.3. Granitler ve Kristalen Şistler Üzerindeki Kumlu Topraklar**

Bu topraklara, granitlerin ayrıştığı Kaçkar Dağlarında ve batıda sınırlı alanlarda Bafra göneyinde kuvarsit şistler üzerinde rastlanılır. Toprak örtüsünün tamamen aşındığı yerlerde kuvarsit ve granitler sarp kayalıklar halindedir. Buna karşılık ayrışmanın derinlere kadar ilerlediği kısımlarda ise fizyolojik derinliği birkaç metreyi bulan kumlu topraklar bulunur.

#### **9.3.2.4.Volcano-Sedimanter Kütleler   zerindeki Ağır Bünyeli Topraklar**

Samsun'un doğusundan itibaren yaygın bir durum alan volkano-sedimanter kütleler (bazalt, fliş, volkan k  l   vs. karışımı)   zerinde genel olarak killi koyu renkli topraklar bulunur. Bu topraklar genel olarak besin maddeleri yönünden zengindir (Atalay ve Mortan, 2003).

#### **9.3.2.5. Azonal Topraklar**

Bu kategoriye giren toprakları, eğimli yamaçlardaki taşlı, yama   eteklerindeki kolüvyal, Kızılırmak ve Yeşilirmak deltalarındaki alüvyal toprakları kapsar. Hemen hemen bitki örtüsünden yoksun veya bitki örtüsü tahrip edilmiş eğimli alanlarda ince malzemenin yağmur damlası erozyonu ve y  zeyssel akıma geçen sular tarafından taşınması ile geriye kalan iri kum ve çakıl boyutunda malzeme baskın duruma geçer. Buralarda iri kum ve   alkılardan oluşan topraklar görülür (Atalay ve Mortan, 2003).

Yamaçların eteklerinde ise yukarıdan taşınan malzemenin birikmesi ile oluşmuş genellikle çakıllı depolar ve bunların üzerinde gelişmiş topraklara geçilir. Bilhassa Kuzey Anadolu fayının geçtiği Gerede-Kurşunlu-Ilgaz-Tosya-Ladik-Taşova-Erbaa-Niksar oluklarının kenarlarında yama   depoları ve Yeşilirmak ile Kızılırmak vadileri boyunca çok kalın olan etek birikintileri yaygındır. Fizyolojik derinliği çok fazla olan bu depoların su tutma kapasitesi çok düşüktür (Atalay ve Mortan, 2003).

## 10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

21 istasyonun her biri için  $^{137}\text{Cs}$  ve 19 istasyonun her biri için  $^{134}\text{Cs}$  radyoizotoplarının saatlik değişimlere göre Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram (UZNTYV) grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerin elde edilebilmesi için temel Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram denkleminin bilgisayar programı yazılmış oluşan hesaplamalar neticesinde grafikler elde edilmiştir. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogramın temel matematiksel denklemi bölüm 8.2’de önceden 8.7 denklemi ile verilmiştir. Programa verilerin girilmesi esnasında yapılan işlemler aşağıda belirtildiği gibidir.

UZNTYV denkleminde hız parametresi mevcuttur.  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoçekirdeklerinin hızını belirlemek için Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nun 1986 yılında her bir istasyonda ölçmüş olduğu rüzgâr hızı verilerinden yararlanılmış ve hızların ortalamaları alınarak radyoçekirdeklerin hızları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların ardından konsantrasyon değerleri, hız değerleri ve zaman Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi için yazılan programa girilerek  $^{134}\text{Cs}$  izotopunun 19 istasyon ve  $^{137}\text{Cs}$  izotopunun 21 istasyon için saatlik değişim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen bu grafikler Ek 1 ve Ek 2 de görülmektedir. Yine bu program neticesinde elde edilen hesaplamalar neticesinde her bir istasyon ve her bir zaman dilimi için benzerlik değerleri elde edilmiş bu benzerlik değerlerinden faydalanarak saatlik ve aylık değişimleri incelediğimiz iso-radyoaktivite haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar Ek 3 ve Ek 4’de gösterilmiştir.  $^{134}\text{Cs}$  izotopu için 2. istasyonun 7 Mayıs’a ait benzerlik değerleri Tablo 10.1’de,  $^{137}\text{Cs}$  izotopu için aynı döneme ait benzerlik değerleri de Tablo 10.2’de verilmiştir. Daha öncede belirttiğimiz gibi bu değerler bütün aylar ve saatler için ve her iki radyoçekirdek için elde edilip Ek 3 ve Ek 4’de yer alan iso-radyoaktivite haritaları çizilmiştir.

**Tablo 10.1.**  $^{134}\text{Cs}$  için 2. istasyona ait benzerlik değerleri

| Uzaklık<br>(km) | 1 saat   | 4 saat   | 7 saat   | 10 saat  | 13 saat  | 16 saat  | 19 saat  | 22 saat  |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| r=82            | 29530.88 | 15940.03 | 3985.008 | 41375.2  | 144791.7 | 62877.64 | 50378.36 | 48816.34 |
| r=438           | 92766.16 | 50072.86 | 12518.22 | 129973.1 | 454838.2 | 197519.3 | 158255   | 438.67   |

**Tablo 10.2.**  $^{137}\text{Cs}$  için 2. istasyona ait benzerlik değerleri

| Uzaklık<br>(km) | 1 saat   | 4 saat   | 7 saat   | 10 saat  | 13 saat  | 16 saat  | 19 saat  | 22 saat  |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| r=82            | 84333.91 | 45521.34 | 11380.33 | 118158.8 | 413494.3 | 179565.2 | 143869.9 | 139409.1 |
| r=438           | 137255.6 | 74087.14 | 18521.79 | 192306.4 | 672972.6 | 292246.9 | 234152   | 226891.9 |

$^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  çekirdekleri, çevrede doğal olarak mevcut olmayan nükleer silah denemeleri ya da nükleer reaktör kazaları neticesinde oluşan yapay radyoçekirdeklerdir. Bu radyoçekirdekler doğal olarak oluşmadıklarından nükleer silah denemelerinin yapılmadığı ya da nükleer kazaların meydana gelmediği alanlarda bulunmaması gerektiği düşünülebilir. Oysa bu radyoçekirdeklerin oluşum mekanizması bu olaylardır. Ancak, yayılım mekanizmasının büyük bir kısmı çevresel şart ve olaylara bağlıdır. Rüzgâr yönü, yağışlar, nem miktarı, toprak yapısı, bitki örtüsü, toprağın pH değeri gibi etkenler bu çekirdeklerin yayılımını etkilemektedir. Çernobil kazasından sonra oluşan yapay radyoçekirdeklerin kaza yerinden binlerce kilometre uzaklıkta ki yerleşim yerlerinde saptanması bu yapay radyoçekirdeklerin yayılımında rüzgâr ve yağış gibi çevresel etkenlerin etkili olduğunun bir kanıtıdır. Atmosfer değişkenleri içerisinde konum ve zamana göre en fazla değişkenliği rüzgâr göstermektedir (Şahin, 2001). Buna göre bu radyoçekirdeklerin uzak mesafelere yayılımında en büyük etkinin rüzgâr olduğu söylenebilir. Bu radyoçekirdekler rüzgârlarla uzak mesafelere taşınıp yüzey üzerinde depolandıktan sonra diğer çevresel faktörler etkili olmaktadır. Bu faktörler arasında toprağın nem miktarı, pH değeri, toprağın cinsi, bu radyoçekirdeklerin depolandığı yerin bitki örtüsü vb. etkenler yer alır. Bu etkenlerin hepsi aynı zamanda kirliliğin büyüklüğünü de etkilemektedir. Örneğin; kazanın meydana gelmesinin ardından bir rüzgâr meydana geldiğinde bu parçacıkların hepsi rüzgâr yönünde taşınacaktır. Bunun dışında meydana gelen yağmurlar, havadaki partikülleri yeryüzüne indirerek zeminin kirlenmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar yağmur alan bölgelerin yağmur almayan bölgelere göre daha çok kirlendiğini göstermiştir. Bütün bu çevresel faktörlere ek olarak toprağın yapısı, toprağın su geçirgenlik özelliği o bölgede bu yapay çekirdeklerin dağılımını etkileyecektir.

Çünkü radyoaktif maddelerin taşınımını etkileyen diğer bir faktörde sudur. Killi topraklar, suyu az geçiren bir toprak türü olması nedeniyle daha çok radyoaktif madde tutacaktır. Buna göre killi toprağa sahip bölgelerde ölçülen radyoaktivite miktarları daha yüksek olacaktır. Toprak ve kayalarda radyoaktif izotopların birikme eğiliminin ortamın jeolojik yapılarıyla doğrudan ilgili olması, suların içerdiği radyoaktif elementlerin bölgenin jeolojik formasyonu ile yakından alakalı olduğunu açıkça gözler önüne serer. Bütün bu etkenler bir bölge içerisinde radyoçekirdeklerin dağılımının farklı olmasına sebep olacaktır. Çalışma alanımız olan Karadeniz Bölgesi'nin jeolojik yapısı ve toprak özellikleri incelendiğinde bölge genelinde killi ve kumlu yapıların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bölüm 9.3 dikkatlice incelendiğinde bu bölgeye ait hemen hemen her toprak çeşidinin kil ve kum içerdiği görülmektedir.

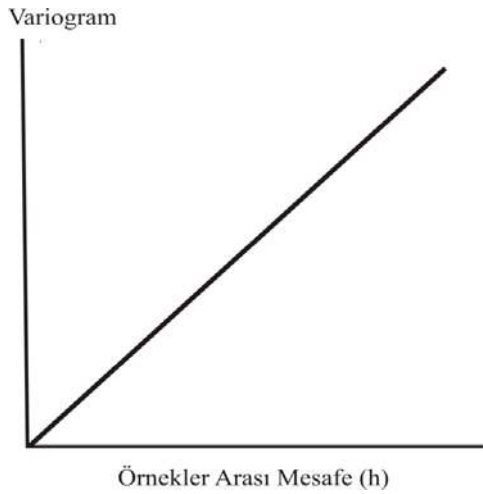
Sezyum toprağa oldukça güçlü şekilde tutunur. Kumlu toprak parçacıklarındaki konsantrasyonun sıkı bağlı topraklardan 280 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Sezyum konsantrasyon oranları kil ve kil-kum-çürümüş maddelerden oluşan toprakta daha fazladır (Peterson vd., 2007). Bölge genelinde killi toprak mevcudiyetinin fazla olması nedeniyle bölge genelinde radyoaktif madde tutulma miktarının fazla olacağı yorumu yapılabilir. Alınan istasyonlarda Cs değerlerinin genel olarak yüksek olması bu durumun açık göstergesidir denilebilir. Ayrıca  $^{137}\text{Cs}$  çökeltisi kil dışında organik madde gibi katı parçacıklar üzerinde de güçlüce tutulur (Ritchie ve McHenry, 1990; Bernard vd., 1998; Zapata, 2003; Mabit ve Bernard, 2007). Buna göre bir topraktaki organik madde miktarı ne kadar artarsa  $^{137}\text{Cs}$  izotopunu tutma oranının da o kadar artabileceği yorumu yapılabilir. Yine bölgenin genel toprak yapısı incelendiğinde kil ve kum dışında hemen hemen her toprak türünün organik madde bakımından zengin olduğu görülmektedir. Bu durumun Tablo 9.1'de görüldüğü gibi alınan istasyonlar genelinde yüksek değerlerin elde edilmesine sebep olduğu söylenebilir.  $^{134}\text{Cs}$ 'de  $^{137}\text{Cs}$ 'ye benzer davranışlar göstermektedir. Aralarındaki fark toprakta ilerleme hızlarının farklı olması ve yaşlı bitkiler de  $^{134}\text{Cs}$  miktarının daha fazla olmasıdır. Bu nedenle aynı değerlendirmeler  $^{134}\text{Cs}$  izotopu içinde geçerlidir. İncelenen bölgenin yoğun yağış alan bir bölge olması ve daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi yağış alan bölgelerin almayan bölgelere göre daha yüksek radyoaktivite seviyeleri göstermesi nedeniyle yüksek ölçüm sonuçlarının elde edilmesinin nedenleri arasında olduğu söylenebilir.

Küresel serpinti çalışmalarında  $^{137}\text{Cs}$  birikintisinin yaklaşık %90'nın ıslak çökelti olarak meydana geldiği görülmüştür (UNSCEAR, 2000). Çalışma alanımız olan Karadeniz

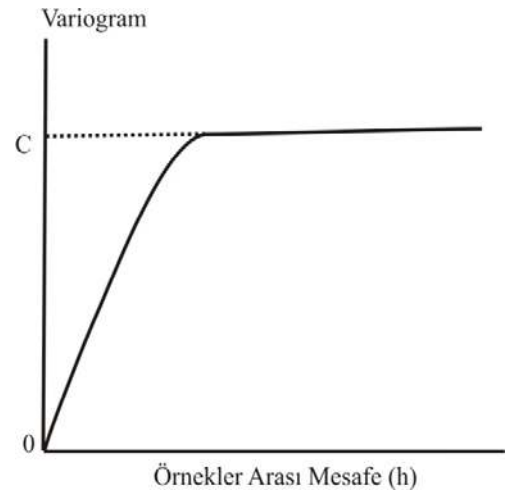
Bölgesi’nde sahil kuşağı, ülkemizin nisbi nem ve bulutluluk oranının en fazla olduğu sahasıdır. Özellikle Karadeniz sahil kuşağı ve dağların 1500-2000 m’ye kadar yükselen kuzey yamaçları boyunca yıl içinde bulutluluk ve bağıl nem yönünden önemli değişme olmamaktadır; ancak sıcaklık durumu dikkate alındığında bağıl nem, yazın en yüksek seviyeye çıkar. Karadeniz kıyı kesiminde yıllık ortalama %70’in üzerinde olan bağıl nem, Karadeniz güneyinde azalarak %70-60 dolayına iner (Atalay ve Mortan, 2003). Bu durumda nemin yükseltiye bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Buna göre yükseltiye bağlı olarak değişen nemin %90 oranında ıslak çökelti olarak meydana gelen  $^{137}\text{Cs}$  birikintisinin dağılımında da farklılıklara sebep olacağı, bu nedenle her istasyonda ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  değerinin değişebileceği yorumu yapılabilir. Ayrıca nem miktarının fazla olması da ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin yüksek olmasına sebep olabilir. Bu durum yine Tablo 9.1’de farklı değerlerin görülmesini açıklamaktadır.

Yukarıda bahsettiğimiz etkenler Cs birikimini veya dağılımını etkilemektedir. Bu etkenlerin dışında Cs dağılımının örnek alınan istasyonlar arasındaki uzaklığa bağlı olarak da farklılık gösterdiği görülmektedir. Cs izotopu gibi bir bölgede değişimi incelenen herhangi bir bölgesel değişkenin uzaklığa bağlı değişimleri yarı-variogram fonksiyonları ile belirtilir. Bölgesel değişkenin farklı konumlardaki değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Matheron,1970; Journel, 1986). Yarı-Variogram ayrılan mesafe ve yönün bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu nedenle yön değiştikçe yarı-variogram da değişir. Bu birçok olayda özellikle, bir yönden diğerine değişen parçacık boyut dağılımı gibi durumlarda mümkündür. Bu yöntem birbirine yakın konumda olan aynı değişkenin büyük bir benzerliğe sahip olacağı ve mesafe olarak uzaklaştıkça bu benzerliğin azalacağı ve sonunda biteceği fikrine dayanır. Bu temel düşünce Trigonometrik Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi hariç bütün yarı-variogram teknikleri için geçerlidir. Çünkü bu yöntem noktalar arasındaki ilişkinin aralarındaki açının kosünüsü ile ilişkili olduğunu ifade eder (Şahin, 2001). Tezimizde kullandığımız yöntem olan Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi de yarı-variogram yöntemi gibi birbirine yakın konumda olan aynı değişkenin büyük bir benzerliğe sahip olacağı ve mesafe ile uzaklaştıkça bu benzerliğin azalacağı ve sonunda biteceği fikrine dayanmaktadır. Bunun dışında bu yöntem yarı-variogramdan farklı olarak bölgesel değişkenin durağan olmadığını ve homojen dağılmadığını kabul etmekte aynı zamanda alınan bütün istasyonların birbirine olan katkısını da değerlendirmektedir. Bu nedenle bu yöntemle elde edilen Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafikleri

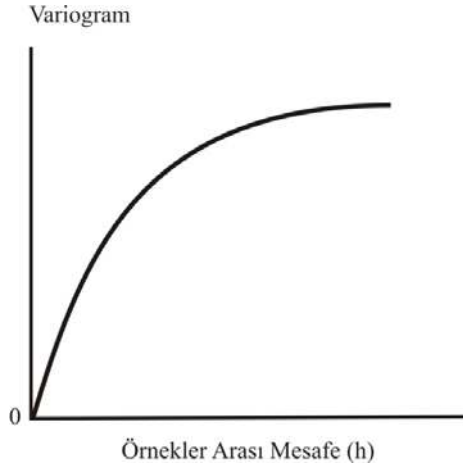
alınan istasyon sayısına eşit olacaktır. Dolayısıyla  $^{134}\text{Cs}$  için 19 istasyon alındığından 19 tane,  $^{137}\text{Cs}$  için 21 istasyon alındığından 21 tane Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafiği elde edilecektir. Çizilen bu grafikler örnek alınan her bir istasyonun diğer istasyonlar üzerindeki etkisini göstermektedir. Ayrıca istenilen herhangi bir zamandaki değişimde görülebilmektedir. Bu grafikler bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde yardımcı olmaktadır. Çünkü çizilen her grafiğin kendisine ait matematiksel bir denklemi vardır. Mevcut verilerin dağılımına uygun olarak grafiklerin çizilmesi ve buna uygun fonksiyonun uyarlanması variogramın modellenmesi denir. Bu modellerin her birinin belli bir anlamı vardır. En temel variogram modelleri aşağıda verildiği gibidir (Isaaks ve Srivastava, 1989).



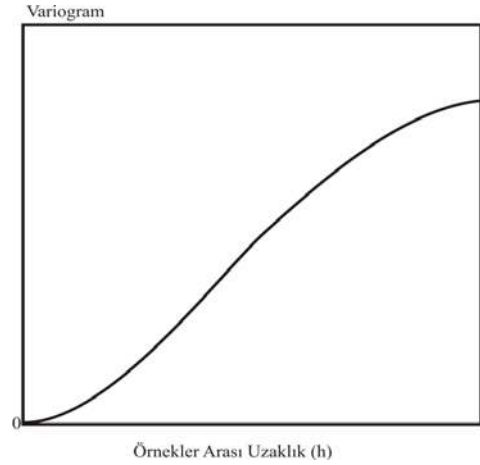
Şekil 10.1. Doğrusal model



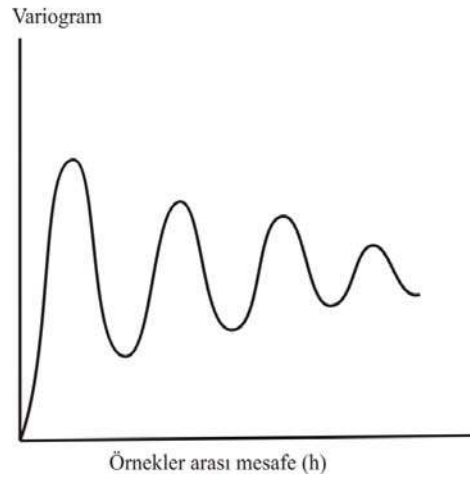
Şekil 10.2. Küresel model



**Şekil 10.3.** Üssel model



**Şekil 10.4.** Gauss model



**Şekil 10.5.** Hole etkili model

$^{134}\text{Cs}$  izotopu için çizilen Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafikleri incelendiğinde Ek 1 Şekil 1.4, Ek 1 Şekil 1.11, Ek 1 Şekil 1.12 ve Ek 1 Şekil 1.19'un benzer şekiller ve özellikler gösterdiği bu grafiklerin küresel modele benzer şekiller gösterdiği, aynı şekilde Ek 1 Şekil 1.9, Ek 1 Şekil 1.10, Ek 1 Şekil 1.13, Ek 1 Şekil 1.14, Ek 1 Şekil 1.15, Ek 1 Şekil 1.16, Ek 1 Şekil 1.17 ile Ek 1 Şekil 1.18'in benzer şekiller ve özellikler gösterdiği bu şekillerin üssel model değişimine benzediği söylenebilir. Ek 1 Şekil 1.3, Ek 1 Şekil 1.5, Ek 1 Şekil 1.6, Ek 1 Şekil 1.7, Ek 1 Şekil 1.8'e ait grafiklerde birbirine benzer özellikler göstermekte olup konveks bir eğri çizerek menzil değerine ulaşmaktadır. Geri kalan şekillerden Ek1 Şekil 1.1 logaritmik bir değişim gösterirken Ek1 Şekil 1.2 Gaussyen modeline uygun bir davranış sergilemektedir. Bu sınıflandırmalar ışığında bölgenin  $^{134}\text{Cs}$  için 5 farklı dağılım örneği gösterdiği söylenebilir. Mevcut

modeller  $h=0$  uzaklığında variogram ekseninde bir kesişime sahip ise bu kesişim nugget etkisi olarak isimlendirilir. Nugget etkisi ölçülmüş olan parametrelerin fiziksel doğasının meydana getirdiği durum olarak tanımlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Birbirine yakın olan ama tam olarak aynı pozisyonda olmayan örnekler arasındaki farkı yansıtır. Dolayısıyla bu açıklama kapsamında kümeleşmelerin çoğunlukta olduğu istasyon bölgelerine ait grafiklerde nugget etkisinin olması beklenir. Şekil 9.1 incelendiğinde kümeleşmelerin 3. istasyondan itibaren başladığı açıkça görülmektedir. Dolayısıyla özellikle bu noktadan itibaren elde edilen Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafiklerinin nugget etkisine sahip olması beklenir. Elde edilen grafikler incelendiğinde Ek 1 Şekil 1.1'in dışındaki tüm grafiklerin nugget etkisine sahip olduğu görülmektedir. Ek 1 Şekil 1.1'e ait grafik 1. istasyona diğer istasyonların katkısını gösteren grafiklerdir. Şekil 9.1 incelendiğinde 1. istasyonun diğer istasyona göre daha uzakta olduğu ve kendisini etkileyecek yakın istasyonların olmadığı görülmektedir. Nugget etkisi de yakın konumlar arasında olduğundan bu istasyona ait grafikte nugget etkisi oluşmamış ve bu durum biraz önce yapılan açıklamaların ispatı niteliğinde olmuştur. 1. istasyon dışında diğer istasyonlara ait konumlarda yani yakın konumlarda nugget etkisinin görülme sebebi şöyle açıklanır. Uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği bir sınır değeri vardır. Bu sınır değeri birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıktır. Uygulamada bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez ve bu durum variogram orijininde bir süreksizliğe yol açar. Bu durum nugget etkisi olarak kendini gösterir (Mert, 2005). Nugget oluşumunun diğer sebepleri örnekleme hatalarından (yani aynı konumda tekrarlanan ölçümler farklı değerler sağlayabilir) ya da incelenen değişkenin doğasından kaynaklanır.

Ek 1 Şekil 1.1'in logaritmik bir değişim göstermesi bu istasyona diğer istasyonlardan gelen katkının değişken olduğu yani homojen bir katkının olmadığı anlamına gelir. Yarı-Variogram temeline göre mesafe arttıkça noktalar arasındaki ilişki azalmaktadır. Bu açıklama kapsamında grafik tekrar incelendiğinde gerçekten mesafe artışıyla variogram değerinin başlangıçtaki kadar fazla artmayıp uzak mesafelerde artışının azaldığı görülmektedir. Yani artan mesafeyle birlikte azalan bir katkı söz konusudur. Grafiğin orijinden başlaması yani  $h=0$  mesafesinde UZNTYV değerinin sıfır olması ise bölgesel bağlılığın söz konusu olduğunu ifade etmektedir.

Ek 1 Şekil 1.2 Gauss modeline uygun değişim göstermektedir. Gauss modeli aşırı sürekli veya kısa mesafelerde benzer olan olayları ifade eder (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Ek 1 Şekil 1.2’de ki grafik 2. istasyona diğer istasyonların katkısını göstermektedir. Şekil 9.1 incelendiğinde 2. istasyon çevresinde 1 nolu istasyon hariç diğer istasyonların birbirine oldukça yakın olduğu ve kısa mesafelerde dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla 2. istasyon çevresindeki istasyonların birbirine oldukça yakın ve kısa mesafeli dağılmalarından dolayı bunların 2. istasyona etkisinin Gauss modeli şeklinde olabileceği yorumu yapılabilir. Gauss modeli aynı zamanda ilişkinin yakın mesafede güçlü, uzak mesafelerde zayıf kaldığı bir yöntemdir (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Ek 1 Şekil 1.9, Ek 1 Şekil 1.10, Ek 1 Şekil 1.13, Ek 1 Şekil 1.15, Ek 1 Şekil 1.16, Ek 1 Şekil 1.17, Ek 1 Şekil 1.18 incelendiğinde bu grafiklere ait şekillerin Üssel Model’e benzediği ve belirli bir mesafeden sonra eğrinin hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram değerinin sabit kaldığı bu değere sill denir. Sill, bölgesel değişkenin zengin ve yoksul bölgeler şeklinde geçişli bir yapı sergilemesi durumunda meydana gelir (Uyar, 2005). Dolayısıyla adı geçen şekillerdeki istasyonlara ait <sup>134</sup>Cs değerleri birbirine yakın olsa da bu istasyonlara etki eden diğer istasyonlardaki Cs değerlerinde çok büyük farkların olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu şekillere ait grafiklerde sill değerlerinin görüldüğü söylenebilir. Variogramın sill değerine ulaştığı uzaklık etki uzaklığı olarak tanımlanır. Bu uzaklık kovaryansın sıfır olduğunu yani bu uzaklıktan sonra verilerin artık birbirleri ile ilişkili olmadığını ifade eder. Dolayısıyla bu grafikler incelendiğinde her bir grafiğin sill değerine ulaştığı uzaklık değerinin farklı olduğu görülmektedir. Şekiller incelendiğinde Ek 1 Şekil 1.9 ve Ek 1 Şekil 1.10’un 500 km civarında, Ek 1 Şekil 1.13, Ek 1 Şekil 1.15 ve Ek 1 Şekil 1.15’in 300 km’den sonra, Ek 1 Şekil 1.14’ün 300 km’de, Ek 1 Şekil 1.16’da 400 km’de ve Ek 1 Şekil 1.17’nin 400 km’den sonra sill değerine ulaştığı görülmektedir. Bu farklılık her bir istasyonun diğer istasyonlara olan uzaklık farklılığından ve çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Ek 1 Şekil 1.4, Ek 1 Şekil 1.11, Ek 1 Şekil 1.12 ve Ek 1 Şekil 1.19’un Küresel Modele benzediği ve bu istasyonlara ait Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafiğinde de belirli bir mesafeden sonra eğrinin sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bir önceki adımda Ek 1 Şekil 1.9, Ek 1 Şekil 1.10, Ek 1 Şekil 1.13, Ek 1 Şekil 1.15, Ek 1 Şekil 1.16, Ek 1 Şekil 1.17, Ek 1 Şekil 1.18 için yapılan açıklamaların hepsi bunlar içinde yapılabilir. Küresel modelin üssel moelden farkı daha belirgin bir sill değerine sahip olmasıdır. Bunun dışında Küresel Model dikkatle incelendiğinde belli bir uzaklığa kadar doğrusal bir değişim gösterip daha sonra sabitlendiği görülmektedir. Bu şekil numaralarındaki istasyonlara bakıldığında bunların birbirlerine oldukça yakın konumlar olduğu dolayısı ile

birbirleri üzerindeki etkinin oldukça güçlü olabileceği ve sıkı bir bağ oluşturabileceği bu nedenle belirli bir değere kadar doğrusal olarak değişeceği ancak çevredeki diğer istasyonlarda bölgesel değişken değerlerinin zengin ve fakir bölgeler olarak farklılık göstermesi nedeniyle sabit kalacağı yorumu yapılabilir.

Ek 1 Şekil 1.3, Ek 1 Şekil 1.5, Ek 1 Şekil 1.6, Ek 1 Şekil 1.7, Ek 1 Şekil 1.8'e ait grafikler incelendiğinde ise bu grafiklerin konveks bir eğri çizip sill değerine ulaştığı görülmektedir. Bu istasyonlar konum itibarıyla incelendiğinde kümeleşmenin az olduğu bir alan içerisinde bölgenin orta kısımlarında yer almaktadır. Dolayısıyla çevreden bu istasyonlara gelecek katkılar göz önüne alındığında 1. ve 2. istasyonlardan gelen katkı diğer kümeleşmenin bol olduğu istasyonlara göre daha uzak olduğundan az etkiyecek ama kümeleşmenin fazla olduğu bölümden gelen katkı daha güçlü olacaktır. Dolayısıyla bu iki zıt durum bu istasyonlar üzerinde ani değişen durumlar oluşturabilir. Grafikler incelendiğinde keskin bir biçimde aniden sill değerine ulaşılması böyle açıklanabilir.

<sup>137</sup>Cs için çizilen Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafiklerine bakıldığında ise Ek 2 Şekil 1.4, Ek 2 Şekil 1.7, Ek 2 Şekil 1.11, Ek 2 Şekil 1.14, Ek 2 Şekil 1.16, Ek 2 Şekil 1.17, Ek 2 Şekil 1.19, Ek 2 Şekil 1.20, Ek 2 Şekil 1.21'in üssel modele uygun, Ek 2 Şekil 1.6, Ek 2 Şekil 1.9, Ek 2 Şekil 1.10, Ek 2 Şekil 1.12, Ek 2 Şekil 1.13, Ek 2 Şekil 1.15 ve Ek 2 Şekil 1.18'in küresel modele uygun değişim gösterdiği söylenebilir. Ek 2 Şekil 1.1 logaritmik bir değişim gösterirken, Ek 2 Şekil 1.2'e Gaussyen davranış sergilemektedir. Bunun dışında kalan Ek 2 Şekil 1.3, Ek 2 Şekil 1.5 ve Ek 2 Şekil 1.8 ise konveks bir eğri çizerek sill değerine ulaşmaktadır. Genel olarak bakıldığında <sup>137</sup>Cs'nin de 5 farklı dağılım örneği gösterdiğini söylemek mümkündür. Hem <sup>134</sup>Cs hem de <sup>137</sup>Cs'nin 5 farklı dağılım örneği göstermesi bu iki yapay radyoçekerdeğin bölge genelinde benzer davranışlar sergilediğini, istasyonların birbirine katkılarının ve çevresel etkenlerin bu iki çekirdeğin davranışına aynı oranda etkidiğini söylemek mümkündür. Genel olarak grafikler incelendiğinde aynı istasyonlara ait grafiklerin bir ikisi dışında farklılık gösterdiği görülmektedir. Buda ancak bu radyoçekerdeğin bu istasyonlardaki çevresel faktörlerden farklı biçimde etkilenmesiyle ve bu istasyonlarda ölçülen <sup>134</sup>Cs ve <sup>137</sup>Cs değerleri arasındaki farkın büyük olmasından kaynaklanabilir. Bunun dışında <sup>137</sup>Cs için elde edilen model yorumları <sup>134</sup>Cs için yapılan model yorumları ile aynıdır.

Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variograma dayanan etki yarıçapı haritaları (iso-radyoaktivite haritaları) üzerindeki detaylarda <sup>134</sup>Cs ve <sup>137</sup>Cs'nin uzay-zaman dağılımını görmek mümkündür. Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi ile çizilen

bu iso-radyoaktivite haritaları sayesinde parçacığın istenilen herhangi bir zamandaki değişim ve davranışını görmek söz konusudur. Ekler kısmında sunulan bu şekiller Uzak-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram grafiklerinden elde edilen benzerlik haritalarıdır. Çalışmamızda  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  yapay radyoçekirdeklerinin hem saatlik hem de aylık değişimleri incelenmiştir. Saatlik ve aylık uzaysal değişimleri  $r=82$  km ve  $r=438$  km etki yarıçapları göz önüne alınarak çizilmiştir.

Ek 3’de  $^{134}\text{Cs}$  için çizilen iso-radyoaktivite haritalarına baktığımızda zamanın 1 saatten 22 saate kadarki zaman sürekliliği artışı boyunca benzer eğrilerin sıklığının azaldığı görülmektedir. Mesafe ile değişime bakıldığında ise yani  $r=82$  km’den 438 km’e kadar hareket ettiğinde oluşan benzer eğrilerin sıklığının arttığı görülmektedir. Aynı durumun  $^{137}\text{Cs}$  izotopu içinde geçerli olduğu Ek 4’deki iso-radyoaktivite haritaları neticesinde görülmektedir. Uzaklıklar arasında ki bu değişimin istasyonların birbirine olan katkısı dışında çevresel etkenlerden kaynaklanabileceği yorumu yapılabilir. Bu nedenle bütün  $r=82$  km uzaklıkları kendi arasında bütün  $r=438$  km uzaklıklarındaki değişimlerde kendi aralarında kıyaslanmıştır.

$^{134}\text{Cs}$  için çizilen 7 Mayıs iso-radyoaktivite haritaları (Ek 3A) incelendiğinde yukarıda da bahsettiğimiz gibi zaman artışıyla birlikte benzer eğrilerin sıklığının azaldığı görülmektedir. Ta ki  $r=438$  km 4 saatteki iso-radyoaktivite haritasına kadar. Çünkü şekil dikkatlice incelendiğinde benzer çizgilerin yani konsantrasyonun burada arttığı görülmektedir. Aynı durum aynı saatte  $r=82$  km içinde geçerlidir. Bu durumun oluşmasına bu andan itibaren çevresel şartların daha etkili olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir ve bu çevresel şartların her iki uzaklık içinde aynı oranda etkimesi nedeniyle iki uzaklık durumu içinde aynı anda görüldüğü söylenebilir. 1986 yılına ait meteorolojik veriler incelendiğinde 7 Mayıs’ta en şiddetli rüzgâr yönünün Ordu’da Kuzeydoğu, Rize’de Kuzey-Kuzeybatı, Artvin’de Batı-Kuzeybatı ve Giresun’da Kuzeydoğu yönünde olduğu görülmektedir. Bu ismi geçen iller Şekil 9.1’deki 3, 4, 5, 7, 20 ve 21 nolu istasyonlara denk gelmektedir. Dolayısıyla bu istasyonların konumu ile rüzgârın esiş yönü karşılaştırıldığında  $r=82$  km için 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21 ve 22 nolu istasyonlar bölgesinde ve  $r=438$  km için 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 nolu istasyonlar bölgesinde konsantrasyon yoğunluğunun artması beklenmektedir. Çünkü rüzgârın esiş yönü incelendiğinde bu istasyonların orta kısımlarına doğru yoğun bir hava akımının olması beklenir. İncelenen haritada da bu istasyonlarda benzer çizgilerin yoğunlaştığı yani konsantrasyonun arttığı görülmektedir.

8 Mayıs iso-radyoaktivite haritaları incelendiğinde (Ek 3B) benzer çizgilerin yoğunluğunun 7. saat  $r=82$  km ve  $r=438$  km ait verilere kadar azaldığı ancak bu andan itibaren artış olduğu ve daha sonraki zaman diliminde azalmanın tekrar başladığı görülmektedir. Bu ana kadar herhangi bir farklılığın yaşanmayıp bu andan itibaren yaşanması bu süre dilimi içinde bir dış müdahalenin meydana geldiğini düşündürmektedir. Dolayısıyla bu andan itibaren çevresel bir faktörün ki bu yağış, rüzgâr ya da erozyon vb. etmenlerin etkidiği söylenebilir.

9 Mayıs iso-radyoaktivite haritalarında (Ek 3C) ise 13. saatte hem 438. km yoğunluğun arttığı 82 km uzaklık içinse durumun pek değişken olmadığı daha sonra 438 km uzaklık için 10. saatte 8. ve 9. istasyonlarda tepe değerlerinin olduğu dolayısı ile buralarda konsantrasyon değerlerinin arttığı maksimuma ulaştığı söylenebilir. Sadece bu uzaklık için iki farklı durumun yaşanmasının çevresel etkenlerin ve meteorolojik olayların bu zaman dilimi arasında sıklıkla değişmesi nedeniyle oluşabileceği söylenebilir.

Gerek Mayıs ayındaki saatlik değişimlere gerekse diğer aylardaki değişimlere bakılınca büyük bir çoğunlukla benzer çizgilerin  $r=82$  km için 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 nolu istasyonlarda;  $r=438$  km için 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, ve 19 nolu istasyonlarda yoğunluğunu arttırdığı görülmektedir. 10 Mayıs 7. saat 438 km grafiğine (Ek 3D Şekil 1.6 ) bakıldığında ise hemen hemen bütün istasyonlardaki yoğunluğun ortadan kalktığı sadece 10, 12, 13, 14 nolu istasyonlarda yoğunluğun arttığı görülmektedir. Bu durum ise ancak bu esnada oluşan bütün etkilerin gerek istasyonların birbirine etkisi, gerekse çevresel faktör etkisi olsun tamamının bu istasyonları güçlendirici şekilde katkı yaptığı söylenebilir.

Diğer aylık değişimler incelenip kıyaslama yapıldığında ise en fazla yoğunluğun  $r=82$  km için Kasım, Haziran ve Ağustos aylarında daha öncede belirtildiği gibi 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 nolu istasyonlarda meydana geldiği;  $r=438$  km için Kasım ve Temmuz ayında 10, 11, 12, 13, 14 nolu istasyonlarda, aynı uzaklık için Haziran ayında 3, 4 ve 5 nolu istasyonlarda meydana geldiği görülmektedir.

$^{137}\text{Cs}$  için çizilen iso-radyoaktivite haritalarına (Ek 4) bakıldığında  $^{134}\text{Cs}$  olduğu gibi mesafe artarken yani  $r=82$  km den 438 km ye değişirken benzer çizgilerin yoğunluğunun arttığı ama zaman açısından bakıldığında genel olarak artan zamanla yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Yalnız bu durum yani artan zamanla yoğunluğun azalması 7 Mayıs 1. saat  $r=82$  km için geçerli değildir. Bu veriye ait grafik incelendiğinde 13, 16, 19. saat  $r=82$  km'deki değer 1 saattekinden daha yoğun olduğu ama 1. saat  $r=438$  km ye ait verinin de

bu. saattekilerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca 1. saatte  $r=82$  km'de 9, 10, 12, 13 ve 14. istasyonlarda bir tepenin oluştuğu görülmektedir. 4. saat  $r=82$  km verisinden sonra 19. saat  $r=82$  km değerine kadar benzer çizgiler artan süreyle birlikte azalmıştır. Ancak 19. saat  $r=82$  km verisine bakıldığında benzer çizgi yoğunluklarının tekrar arttığı görülmektedir. Bütün bunlar 7 Mayıs günü için meydana gelen olayların heterojen dağılım gösterdiği ve bu nedenle bu kadar çeşitliliğin oluştuğu yorumunu yapmamıza neden olur.

8 (Ek 4B) Mayıs iso-radyoaktivite haritalarına bakıldığında 4. saat  $r=82$  km de yoğunluğun artmaya başladığı 10. saatte yoğunluğun tekrar azalmaya başladığı görülmektedir. 10 saat  $r=438$  km için 7, 8 ve 9 nolu istasyonlarda bir tepenin oluştuğu ancak bu andan itibaren yoğunluğun azalmaya başladığı görülmektedir. Bu tepe değerinin  $r=438$  km için 19. saatte 10, 11, 13, 14 ve 15. istasyonlara kaydığına dikkat edilmelidir. Bu şekilde iki tepe değeri oluşup ilerleyen zamanlarda bu tepenin başka bir istasyona kayması bu zaman dilimi içerisinde hava akımının konsantrasyon dağılımını oldukça etkilediği ve çevresel etkenlerin oldukça heterojen bir şekilde davrandığı yorumunu yapmamıza neden olur.

9 Mayıs iso-radyoaktivite haritalarında (Ek 4C) 4. saatteki her iki uzaklığa ait grafikte kendilerinden önceki zaman dilimine göre daha yoğun benzer çizgiler sergilemektedir. Buna göre bu zaman dilimi esnasında istasyonların ve çevrenin katkısının bundan önceki zaman dilimine göre daha fazla olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca grafikler dikkatlice incelendiğinde 7. saat  $r=438$  km ait grafik ile 19. saat  $r=438$  km ait grafiğin birbirleriyle hemen hemen aynı oldukları görülmektedir. Dolayısıyla farklı zaman dilimlerinde birbirine benzer durumların oluşmasının nedeni olarak çevresel etkenlerin değişmeyip bu istasyonlara diğer istasyonlardan gelen katkıların büyük bir oranda aynı olması ile açıklanabilir. Bu zaman diliminden sonra 22. saatte her iki uzaklık içinde yoğunluğun tekrar artış göstermiş olması ise çevresel etkenlerin artık değişip homojen durumun ortadan kalkması şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca 9 Mayıs 1 saat  $r=438$  km'ye ait şekilde 10, 11, 13, 14, 15 nolu istasyonlarda, 4 saat  $r=438$  km'ye ait şekilde 12 nolu istasyonda, ve 10 saat  $r=438$  km' ye ait şekilde 17, 18, 19 nolu istasyonlarda tepe oluşumu söz konusudur. Bu durumda bir önceki açıklamda olduğu gibi çevresel etkenlerin değişken bir durum sergilediğinin göstergesidir.

10 Mayıs'taki veriler incelendiğinde (Ek 4D) 22 saat  $r=82$  km uzaklığa kadar her şeyin beklenildiği gibi değiştiği yani artan zamanla yoğunluğun azaldığı görülürken bu andan itibaren yoğunluk artmaya başlamıştır. Benzer çizgilerin özellikle yoğunlaştığı istasyonlar

daima yoğunlaşmanın olduğu bölgeler olan 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 nolu istasyonlardır.

r=82 km de sürekli 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 nolu istasyonlarda, r=438 km de de sürekli 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 nolu istasyonlarda yoğunlaşmanın görülme nedeni olarak bu istasyonların birbirlerine oldukça yakın olması ve bu nedenle birbirleri üzerine oldukça güçlü etkide bulunabilmeleri nedeniyle benzerlik çizgilerinin bu istasyonlarda yoğunlaştığı söylenebilir.

<sup>137</sup>Cs çekirdeği için diğer aylardaki değişim incelendiğinde (Ek 4E) Kasım ayındaki r=82 km deki değişimin diğer aylara göre daha yoğun olduğu, r=438 km için ise Aralık ayında daha yoğun olduğu bu istasyonların biraz öncede belirttiğimiz gibi, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 nolu ve 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 nolu istasyonlar olduğu görülmektedir.

Bütün bu açıklamalar kapsamında Uzay-Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram yöntemi bir değişkenin ne zaman hangi konumda nasıl davrandığını açıklaması ve bu değişkenin yoğunluğunun nasıl değiştiğini göstermesi adına oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bunun dışında bu değişkenin dağılımını etkileyen faktörlere ait veriler elde edilerek konum zaman ve etkenin bir arada yer aldığı üç boyutlu değişim grafikleri de elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Aboufirassi, M., and Marino, M. A.,** 1984. A Geostatistically based approach to the identification of aquifer transmissivities in Yolo Basin, California, *Math. Geol.*, **16**, 125-137.
- Ahajjar, B.J., Stramer, S.L., Cliver, D.O., Harkin, J.M.,** 1998. Transport modelling of biological tracers from septic systems, *Water Res.*, **22**, 907-915.
- Ak, H.,** 1998. Etibank 100. Yıl gümüş madeni işletmesinde üretim tenör kontrolünün arama sondajlarıyla yapılabilirliğinin jeostatistiksel analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alkan, H., Yaşar, S., Göksel, S. A.,** 1987. Radioactive Mineral Waters of Turkey, XXII. International Congress of Hydrothermal Techniques, İstanbul.
- Al- Khashman, O.,** 2005. Study of chemical composition in wet atmospheric precipitation in Eshidiya area, Jordan, *Atmos. Environ.*, **39**, 6175-6183.
- Almgren, S., Nilsson, E., Erlandsson, B., Isaksson, M.,** 2006. GIS supported calculations of <sup>137</sup>Cs deposition in Sweden based on precipitation data, *Sci. Total Environ*, **368** (2-3), 804-813.
- Amano, H., Matsunaga, T., Nagao, S., Hanzawa, Y., Watanabe, M., Ueno, T., Onuma, Y.,** 1999. The transfer capability of long lived Chernobly radionuclides from surface to river water in dissolved forms, **30**, 437-442.
- Aoyoma, M.,** 1988. Evidence of stratospheric fallout of caesium isotopes from the Chernobly accident, *Geoph. Res. Lett.*, **15**, 327-330.
- Arroyo, J. A., and Mateu, J.,** 2004. Spatio-temporal modeling of benthic biological species, *Journal of Environ Manag.*, **71**, 67-77.
- Atalay, İ., ve Mortan, K.,** 2003. Türkiye Bölgesel Coğrafyası, İnkılâp Kitapevi, İstanbul.
- Baes, C.F., III, R.D. Sharp, A.L., Sjoreen, and R.W., Shaw,** 1984. A review and analysis of parameters for assessing transport of environmentally released radionuclides through agriculture, ORNL-5786. Oak Ridge Natl., Oak Ridge, TN.
- Barnes, R.,** 2006. Variogram Tutorial, Golden Software Inc.
- Belot, Y.,** 1986. Transfer of long-lived radionuclides through marine food chains: a review of transfer data, *J. Environ. Radioactivity*, **4**, 83-90.
- Bernard, C., Mabit, L., Laverdière, M.R., Wicherek, S.,** 1998. Césium-137 et érosion des sols, *Chaiers Agricultures* 7, 179-186.

**Bilonick, R.A.**, 1985. The space-time distribution of sulfate deposition in the north-eastern United States, *Atmos. Environ.*, **19**, 1829-1845

**Bourdon, B., Henderson, G.M., Lundstrom, C.C., Turner, S.P.**, 2003, U Series Geochemistry, **Vol 52**, USA.

**Budnitz, R.J.**, 1983. Instrumentation for Environmental Monitoring, Vol. 1., New York, John Wiley and Sons.

**Bunzel, K., Kracke, W., and Vorwohl, G.**, 1988. Transfer of Chernobly-Derived  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  and  $^{103}\text{Ru}$  from flowers to honey and pollen, *J. Environ. Radioact.*, **6**, 261-269.

**Butler, J.D.**, 1979. Air Polution Chemistry, Academic Pres, London, New York, San Francisco.

**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.

**Caroll J., and Harms I. H.**, 1999. Uncertainty analysis of partition coefficients in a radionuclide transport model, *Water Res.*, **33**, 2617-2626.

**Carr, J. R., Bailey, R. E. and Denge, E. D.**, 1985. Use of indicator variograms for enhanced spatial analysis, *Math. Geol.*, **17**, 797-812.

**Clark, I.**, 1979. Practical Geostatistics, Applied Science Publishers, London.

**Cochran, J.K.**, 1992. The oceanic chemistry of the U and Th series nuclides, In Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-series disequilibrium: Applications to environmental problems, Oxford Univ. Pres, Oxford, 181-201.

**Clark, I.**, 1977, Regularization of semivariogram, *Comput. Geosci.*, v.3.

**Clark, I.**, 2001. Practical Geostatistic, Alloa Business Centre, England.

**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 Resour. Res.*, **15**, 603-617.

**Cowart, J.B. and Burnett, W.C.**, 1994, The distribution of U and Th decay-series radionuclides in the environment- A Review, *J. Environ. Qual.*, **23**, 651-662.

**Cressie, N.**, 1991. Statistics for Spatial Data, Wiley, New York, 900pp.

**Cressie, N., Huang, H.**, 1999. Classes of nonseparable, spatiotemporal stationary covariance functions., *Journal of the American Statistical Association*, **94**, 1330–1340.

**David, M.**, 1977. Geostatistical ore reserve estimation, Elsevier, New York.

- Davis, J.C.**, 2002. Statistics and Data Analysis in Geology, New York, 638pp.
- De Cesare, L., Myers, D., Posa, D.**, 2001. Estimating and modeling space-time correlation structures,. *Stat. Probab. Lett.*, **51** (1), 9 –14.
- De Cesare, L., Myers, D., Posa, D.**, 2002. FORTRAN programs for space-time modeling. *Comput. Geosci.*, **28**, 205– 212.
- Değerlier, M.**, 2007. Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- De Iaco, S., Myers, D.E., Posa, D.**, 2001. Space-time analysis using a general product-sum model, *Statistics and Probability Letters*, **52**, 21– 28.
- De Iaco, S., Myers, D.E., Posa, D.**, 2002. Space-time variograms and a functional form for total air pollution measurements, *Computational Statistics and Data Analysis*, **41** (2), 311 – 328.
- Deutsch S. J., and Preiffer P.E.**, 1981. Space-time ARMA modelling with contemporaneously correlated innovations, *Technometrics*, **23**, 401-409.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G.**, 1992, 1998, Geostatistical software library and user's guide, Oxford University Press, New York, 3, 4, 9,10p, pp. 11–15,17, 18, 20, 23, 36, 37p, pp. 39–43, 56p, pp. 61–67, 91p, pp. 117–119, 120, 123, 136, 137, 141, 142p.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Gonzalez, J.A., Carretero, J. ve Perez, M.**, 1983.<sup>226</sup>Ra and <sup>224</sup>Ra in Waters in Spain, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 39, 71-79.
- Dumat, C., Fajula, F., Staunton, S.**, 1997. Action of the humic substances on clays sorption properties: case of caesium, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences IIB*, **325**, 363-368.
- Eisenbud, C.W., Petrow**, 1964 Radioactivity in The Atmosferic Effluents of Power Plants That Use Fossil Fuels, *Science*, **144**, 288.
- Eisenbud, M.**, 1987. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources, Orlando, FL, Academic Pres, Inc.
- Ehhalt, D.H., and Haumacher, G.**, 1970. The seasonal variation in the concentration of strontium 90 in rain and its dependence on latitude, *J. Geophys. Res.*, **75**, 3027-3031.
- Ericson, E**, 1962, Radioactivity in Hydrology, Academic Press inc., New York.
- Fisher, R.A.**, 1935. The Design of Experiments, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1935.
- Frank, P., and Castronovo, J.R.**, 1999. Teratogen update: Radiation and Chernobly, *Teratology*, **60**, 100-106.

**Fuhrman, M., Lasat, M.M., Ebbs, S.D., Kochian, L.V. and Cornish, J., 2002.** Plant and environment interactions, *J. Environ. Qual.*, **31**, 904-909.

**Fujiwara, H., Fukuyama, T., Shirato, Y., Ohkuro, T., Taniyama, I., Z., 2002.** Deposition of atmospheric  $^{137}\text{Cs}$  in Japan associated with the Asian dust event of March 2002. *Science of the Total Environment*, **384**, 306-315.

**Fukuyama, T., Fujiwara, H., 2008.** Contributipn of Asian dust to atmospheric deposition of radioactive cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ), *Sci. of the Total Environ.*, **405**, 389-395.

**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.

**Greenfield, S. M., 1957.** Rain scavenging of radioactive particulate matter from the atmosphere, *J. Meteorol.*, **14(2)**, 115-125.

**Güler, Ç., ve Çobanoğlu, Z., 1997.** Radon kirliliği, *Çevre Sağlığı Kaynak Dizisi*, No:44.

**Hacıyakupoğlu, S., Ertek, T.A., Çelebi, N., Karahan, G., Öztürk F., Erginal, A:E., Kaya, H., 2003,** Büyük Çekmece Gölü havzasındaki Cs-137 kullanımına dayalı erozyon araştırmalarına ait ilk not, *İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü*, 151-157.

**Hakanson, L., and Boulion, V.V., 2003.** A model to predict how individual factors influence secchi depth variations among and within Lakes, *Inter. Rev. Hydrobio.*, **88**, 212-232.

**Harms, I.H., 1997.** Modelling the dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239}\text{Pu}$  released from dumped waste in the Kara Sea, *J. Marine Syst.*, **13**, 1-19.

**Hasslett, J., Raftery, P.E., 1989.** Space time modelling with long memory dependence: Assessing Ireland's wind power resources, *Appl. Statis.*, **38**, 1-50.

**Hatano, Y., Hatano, Y., Amano, H., Ueno, T., Sukhoruchkin, A.K., and Kazakov, S.V., 1997.** Aerosol migration near Chernobly: long-term data and modeling, *Atmospheric Environ.*, **32**, 2587-2594.

**Hoeksema, R. J., and Kitandis, P. K., 1984.** An application of the geostatistical approach to the inverse problem in two-dimensional groundwater modeling, *Water Resour. Res.*, **20**, 1003-1020.

**Houghton, J.T., Meria Filho, L.G., Callander, B.A., Haris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., 1995.** Climate Change: The Science of Climate Change, Cambridge Univ. Press, New York.

**IAEA (International Atomic Energy Agency), 1989.** Measurement of Radionuclides in Food and The Environmental, Viena.

**Igarashi, Y., Aoyama, M., Hirose, K., Miyao, T., Yabuki, S.**, 2001. Is it possible to use  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  as tracers for the aeolian dust transport?, *Water Air Soil Pollut*, **130**, 349-54.

**International Atomic Energy Agency**, 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.

**International Commission of Radiological Protection**, ICRP Publication., **No.26** Oxford Pergamon Press, 1977

**Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M.**, 1989. Applied Geostatistic, Oxford University Press, New York.

**Israël, H.**, 1970. Fundamentals Conductivity, Ions, 317 pp, *Atmospheric Electricity*, vol. 1, National Science Foundation, Washington D.C.

**Itagaki, K., and Koenuma, S.**, 1962. Altitude distribution of fallout contained in rain and snow, *J. Geophys. Res.*, **67**, 3927-3933.

**Jardine, P.M., Mehlhorn, T.L., Larsen, I.L., Bailey, W.B., Brooks, S.C. Roh, Y., Gwo, J.P.**, 2002. Influence of hydrological and geochemical processes on the transport of chelated metals and chromate in fractured shale bedrock, *J. Contam. Hydrol.*, **55**, 137-159.

**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.**, 1986, Geostatistics Models and tools for the earth – Sciences, Math. Geol., **18**, 119-140.

**Journal, A., and Huijbregts, C. J.**, 1978. Mining Geostatistics, Academic Press, New York.

**Kennedy, W.E., Jr., and D.L., Strange**, 1992. Residual radioactive contamination from decommissioning, Vol. 1., Technical basis for translating contamination levels to annual total effective dose equivalent. NUREG/CR-5512. Pacific Northwest Lab., Richland, W.A.

**Ketin, İ.**, 1983. Türkiye Jeolojisiine Genel Bir Bakış, İst. Teknik Üniv. Kütüphanesi No. 1259, İstanbul.

**Killen, P. and Heiger, G.**, 1975, Th, U, K and heat production measurements in ten Precambrian granites of the Telemark area, Norway, *Nor. Geol. Unders*, **319**, 59-83.

**Kobyas, Y.**, 2009. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki doğal maden ve kaynak sularında radyoaktivite tayini, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst.tüsü, Trabzon.

**Köksal, E. M., Göksel, S. A.**, Mayıs-1999 Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri, Boğaziçi Üniversitesi, 251.

- Krey, P.W., Krajewsky, B.,** 1970. Comparison of atmospheric transport model calculations with observations of radioactive debris, *J. Geophys. Res.*, **75**: 2901-8.
- Kryshev, I.I.,** 1995. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobly accident, *J. Environ. Radiact.*, **27**, 207-219.
- Külahcı, F.,** 2000. Hazar Gölü (Elazığ) suyunun radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Külahcı, F.,** 2005. Keban baraj gölü uluova kesiminin doğal radyoaktivitesinin belirlenmesi, *Doktora tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Külahcı, F., Şen, Z.,** 2007. Spatial dispersion modeling of  $^{90}\text{Sr}$  by point cumulative semivariogram at Keban Dam Lake, Turkey, *Appl. Radiat. Isotop.*, **65**, 1070-1077.
- Külahcı, F., Şen, Z., and 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  $^{210}\text{Pb}$  transportation in lake environments, *J. of Hazard Mat.*, **65**, 525-532.
- Külahcı, F., Şen, Z.,** 2009. Risk assessment of distribution coefficient from  $^{137}\text{Cs}$  measurements, *Environ. Monitor. Ases.*, **149**, 363-370.
- Lasat, M.M., Fuhrmann M., Ebbs, S., Cornish, J., and Kochian, J.,** 1998. Phytoremediation of a radiocesium-contaminated soil: Evaluation of cesium-137 bioaccumulation in the shoots of three plant species, *J. Environ. Qual.*, **27**, 165-169.
- Lucas, H.F.,** 1991. Radium-226 Whole-Body Gama Counting and Radon-222 Breath Analysis, *Health Phys.*, **60**, 163-167.
- Luetkepohl, H., Kraetzing, M., and Philips, P. C. B.,** 2004. *Appl. Time Ser. Econ.*, Cambridge University Press, West Nyack, NY.
- Ma, C.,** 2003. Spatio-temporal stationary covariance models, *J. Multivar. Analy.*, **86**, 97-107.
- Mabit, L., and Bernard, C.,** 2007. Assessment of spatial distribution of fallout radionuclides through geostatistics concept, *J. Environ. Radioact.*, **97**, 206-219.
- Matheron, G.,** 1962. *Traite de geostatistique appliquee*, tome I. Memories du bureau de recherche geologiques et minieres, No. 14. Editions Technip, Paris.
- Matheron G.,** 1963. Principle of geostatistics, *Econ. Geol.*, **58**, 1246-1266.
- Matheron, G.,** 1970, Random Structures and Mathematical Geology, *Revue De L Institut International De Statistique-Review of The International Statistical Institute* 38, (1).

- Matsunaga, T., Amano, H., Yanase, N.,** 1991. Discharge of dissolved and particulate  $^{137}\text{Cs}$  in the Kuji river, Japon, *Appl. Geochem.*, **6(2)**, 159-167.
- Matsunaga, T., Nagao, S., Ueno, T., Takeda, S., Amano, H., Tkachenko, Y.,** 2004. Association of dissolved radionuclides released by the Chernobly accident with colloidal materials in surface water, *Applied Geochemistry*, **19**, 1581-1599.
- Menzel, R.G.,** 1965. Soil-plant relationships of radioactive elements, *Health Phys.*, **11**, 1325-1332.
- Mert, B. A.,** 2005. Jeoistatistiksel analiz için bir bilgisayar programının geliştirilmesi ve Antalya-Akseki-Kızıldaş boksit yatağına uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Mitchell, P.I., Sanchez-Cabeza, J.A., Ryan, T.P., Mcgarry, A.T.,** 1990. Preliminary estimates of cumulative caesium and plutonium deposition in the Irish terrestrial environment, *J. Radioanal Nucl. Chem.*, **138 (2)**, 241-256.
- Miyake, Y., Saruhashi, K., Katsuragi, Y., and Kanazawa, T.,** 1962. Seasonal variation of radioactive fallout, *J. Geophys. Res.*, **67**, 189-193.
- Monna, F., Oort, F.V., Hubert, P., Dominik, J., Bolte, J., Loizeau, J.-L., Labanowski, J., Lamri, J., Petit, C., roux, G.L., Chateau, C.,** 2009. Modelling of  $^{137}\text{Cs}$  migration in soils using an 80-year soil archive: role of fertilizers and agricultural amendments, **100**, 9-16.
- Myers, D. E., Begovich, C. L., Butz, T. R., and Kane, V. E.,** 1982. Variogram models for regional groyndwater geochemical data, *Math. Geol.*, **14**, 629-644.
- Myers, D.E., De Iaco, S., Posa, D., De Cesare, L.,** 2002. Space–time radial basis functions. *Comput. Math. Appl.*, **43**, 539– 549.
- Myrick, T. E., Berven, B. A., Haywood, F. F.,** 1983. Determination of Concentration of Selected Radionuclides in Surface Soil in the U.S, *Health Phys.*, **45**, 631-642.
- Nakamaru, Y., Ishikawa, N., Tagami, K., Uchida, S.,** 2007. Role of organic matter in the mobility of radiocesium in agricultural soils common in Japan. *Coll. and Surf.*, **A306**, 111-117.
- Napier, B.A., Peloquin, R.A. , Strange, D.L.,** 1988. GENII-The Hanford environmental dosimetry software system, Volume 2. User's manual, PNL-6584. Pacific Northwest Lab., Richland, WA.
- Ng, Y.C., Colsher, C.S., and Thompson, S.E.,** 1982. Soil-to-plant concentration factors for radiological assessments, NUREG/CR-2975 (ucid-19463). Lawrence Livermore Natl. Lab., Livermore, CA, fort he U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Ng, B., Turner, A., Tyler A.O., Falconer R.A., and Millward G.E.,** 1996. Modelling contaminant geochemistry in estuaries, *Water Res.*, **30**, 63-74.

**Noordijk, H.**, 1992. Impact of ageing and weather conditions on soil-to-plant transfer of radiocesium and radiostrontium, *J. Environ. Radioact.*, **15**, 277-286.

**Özger, M., ve Şen, Z.**, 2008. Üçlü diyagram yöntemi ile dalga karakteristiklerinin tahmini, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, cilt:7, sayı:3.

**Papastefanou, C.**, 2008. Radioactive Aerosols, The Netherlands The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.

**Penner, J.E., Chuang, C.C., and Grant, K.**, 1998. Climate forcing by carbonaceous and sulfate aerosols, *Clim.Dyn.*, **14**, 839-851.

**Peterson, J., MacDonell, M., Haroun, L., and Monette, F.**, 2007. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas.

**Polar, E., Bayülgen, N.**, 1989. Çernobil yağmuru ile kirlenilmiş bir toprağın içerdiği radyonüklidlerin su ve kara bitkilerindeki konsantrasyon faktörleri arasındaki farklar, *Radyoaktif atıklar, Çevre ve Sağlık Semp.*, Boğaziçi Ü. Mat., İst., 191-201.

**Renaud, P., Métivier, J.M., Castelier, L., Pourcelot, L., Louvat, D.**, 2004. Cartographie des dépôts de <sup>137</sup>Cs en mai 1986 sur l'ensemble du territoire français métropolitain. *Radioprotection*, **39**, 23-88.

**Ritchie, J.C., McHenry, J.R.**, 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review, *Journal of Environ. Qual.*, **19**, 215-233.

**Rogers, A.S.**, 1958. Physical behavior and geologic control of radon in mountain streams, *U.S. Geol. Bull.*, 1052-E.

**Roux, G.L., Duffa, C., Vray, F., Renaud, P.**, 2009. Deposition of artificial radionuclides from atmospheric nuclear weapon tests estimated by soil inventories in French areas low-impacted by Chernobyl, *J. Environ. Radioact.*, 1-8.

**Scott, M.R.**, 1982. The Chemistry of U-and Th Series Nuclides, in Rivers, In Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) U-Series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences, 2 nd ed., Clarendon Pres, Oxford, 334-395.

**Shaw, G., and Bell, J.N.B.**, 1991. Competitive effects of potassium and ammonium on caesium uptake kinetics in wheat, *J. Environ. Radioact*, **13**, 468-474.

**Student**, 1907. On the error of counting with a hemacytometer, *Biometrika*, **5**, 351-360.

**Severino G., Cvetkovic V., and Coppola A.**, 2007. Spatial moments for colloid-enhanced radionuclide transport in heterogeneous aquifers, *Adv. Water Resour.*, **30**, 101-112.

**Şahin, A. D.**, 2001. Türkiye rüzgârlarının alan-zaman modellemesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Şen, Z.**, 1998. An application of a regional air pollution estimation model over Istanbul urban area, *Atmos. Environ.*, **32**, 3425-3433.

**Şen, Z.**, 1989. Cumulative semivariogram models of regionalized variables, *Math. Geol.*, **21**, 891-903.

**Taşkın, H.**, 2006. İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

**TAEK**, 2007. Türkiye’de Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri.

**TAEK**, 2007. Çernobil Kazasının Ükeler Üzerindeki Etkileri.

**Tercan, A.E. ve Saraç, C.**, 1998, Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No 48, Ankara, 137s.

**UNSCEAR**, 1988. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, New York, NY: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

**UNSCEAR**, 1993 Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.

**United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)**, 2000. Sources and effects of ionizing radiation, Vol. 1.

URL-1 [www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/Radyasyon\\_olcum\\_sunum.pdf](http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/Radyasyon_olcum_sunum.pdf)

URL-2 [http://tr.wikipedia.org/wiki/Karadeniz\\_B%C3%B6lgesi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Karadeniz_B%C3%B6lgesi). Karadeniz Bölgesi. 6 Haziran 2010.

**Uyar, H.**, 2005. Jeovar3: Jeostatistiksel variogram analizleri ve kriging teknikleri bilgisayar yazılımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Valkovic, V.**, 2000. Environmental Radioactivity, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

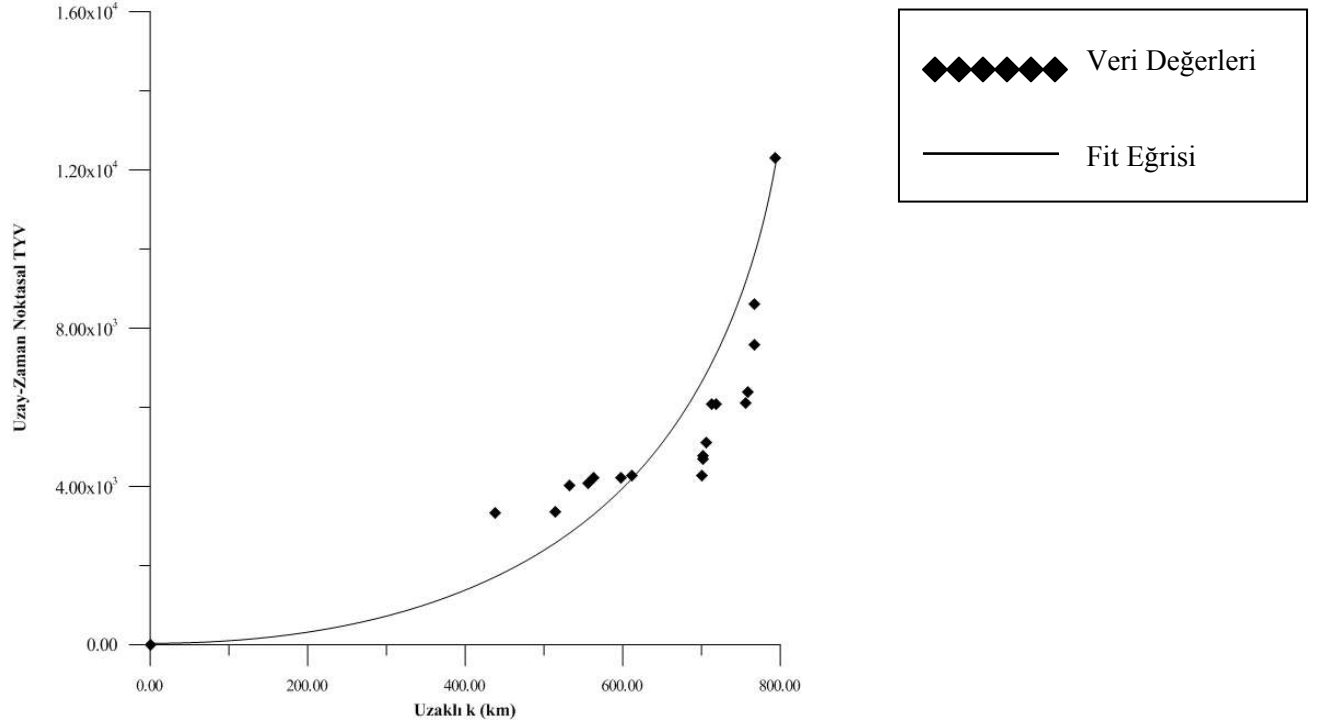
**Vakulovsky, S.M., Nitikin, A.I., Chumichev, V.B., Katrich, I.Y., Voitsekhovitch, O.A., Medinets, V.I., Pisarev, V.V., Bovkum, L.A.**, 1994. Caesium-137 and Strontium-90 contamination of water bodies in the areas affected by releases from the Chernobyl Nuclear Power Plant accident: an overview, *J. Environ. Radioact.*, **23**, 103-122.

- Viswanathan H.S., Robinson B.A., Gable C.W., and Carey J.W.,** 2003. A geostatistical modeling study of the effect of heterogeneity on radionuclide transport in the unsaturated zone, Yucca Mountain, J. Contam. Hydrol., **62**, 319-336.
- Walling, D.E., Quine, T.A.,** 1991. Use of  $^{137}\text{Cs}$  measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitatipns, *J. Soil Sci.*, **42**, 147-165.
- Xu, K., Wikle C. K.,** 2007. Estimation of parameterized spatio-temporal dynamic models, Journal of statistical planning and inference, **137**, 567-588.
- Wang, Y.Y., Biewer, B.W., and Yu, C.,** 1993. A complication of radionuclide transfer factors fort he plant, meat, milk, and aquatic food pathways and the suggested default values fort he RESRAD code, ANL/EAIS/TM-103. Argonne Natl. Lab., Argonne, IL.
- Yalçınlar, İ.,** 1976. Türkiye Jeolojisine Giriş, İ.Ü. Coğrafya Enst. Yay.,7, İstanbul.
- Yates F.,** 1938. The comparative advantages of sistematic and randomized arrangements in the design of agricultural and biological experiments, *Biometrica*, **30**, 444-466.
- Zapata, F. (Ed.),** 2003. Field application of the  $^{137}\text{Cs}$  technique in soil erosion and sedimentation studies, *Soiland Tillage Research*, **69 (1-2)**, 188 pp.
- Zhang, X., Higgitt, D.L., Walling, D.E.,** 1990. A preliminary assessment of the potential for use caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China, *Hydrol. Sci. J.*, **35(3)**, 243-252.
- Zhang, C., Zou, X., Dong, G., Zhang, X., Qin, Z.,** 2002. Characteristics of  $^{137}\text{Cs}$  deposition in stepe area, *Chin Sci Bull*, **47**, 848:53.
- Zhang, X., Long, Y., He, X., Fu, J., Zhang, Y.,** 2008. A simplified  $^{137}\text{Cs}$  transport model for estimating erosion rates in undisturbed soil, *J. Environ. Radioact.*, **99**, 1242-1246.

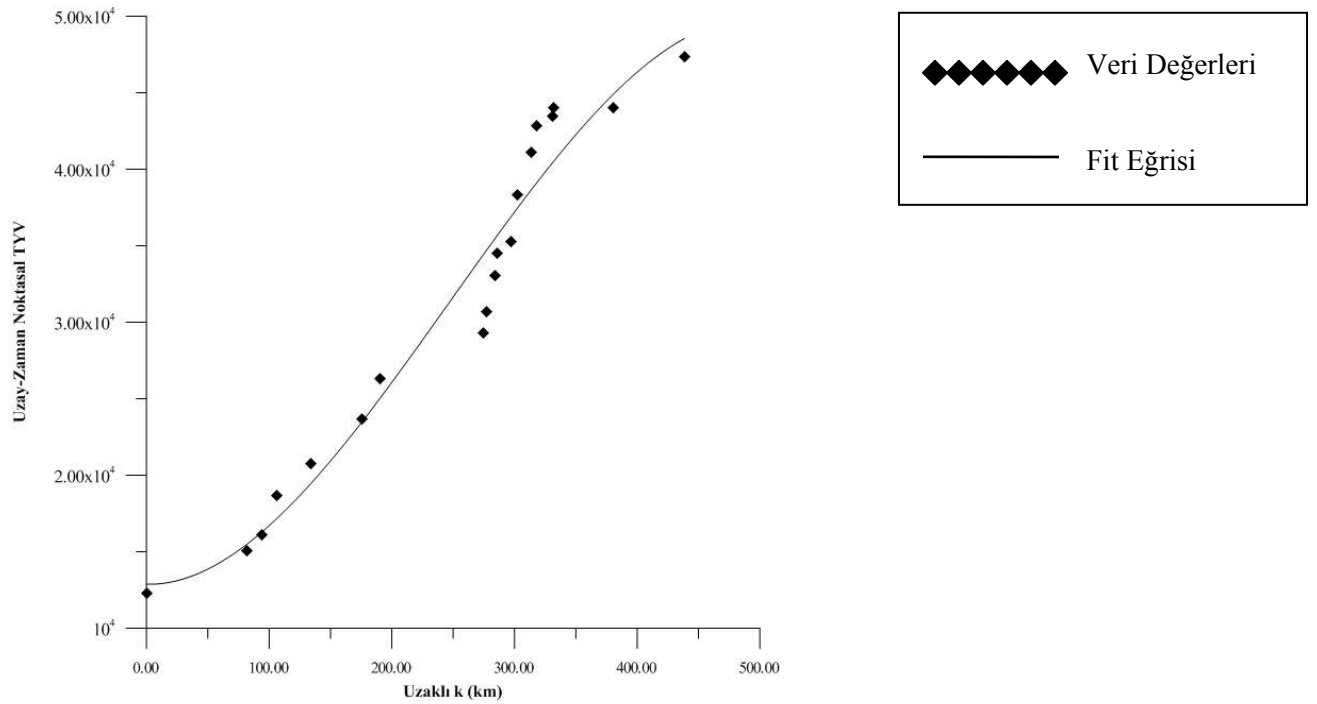
# **EKLER**

**EK 1**

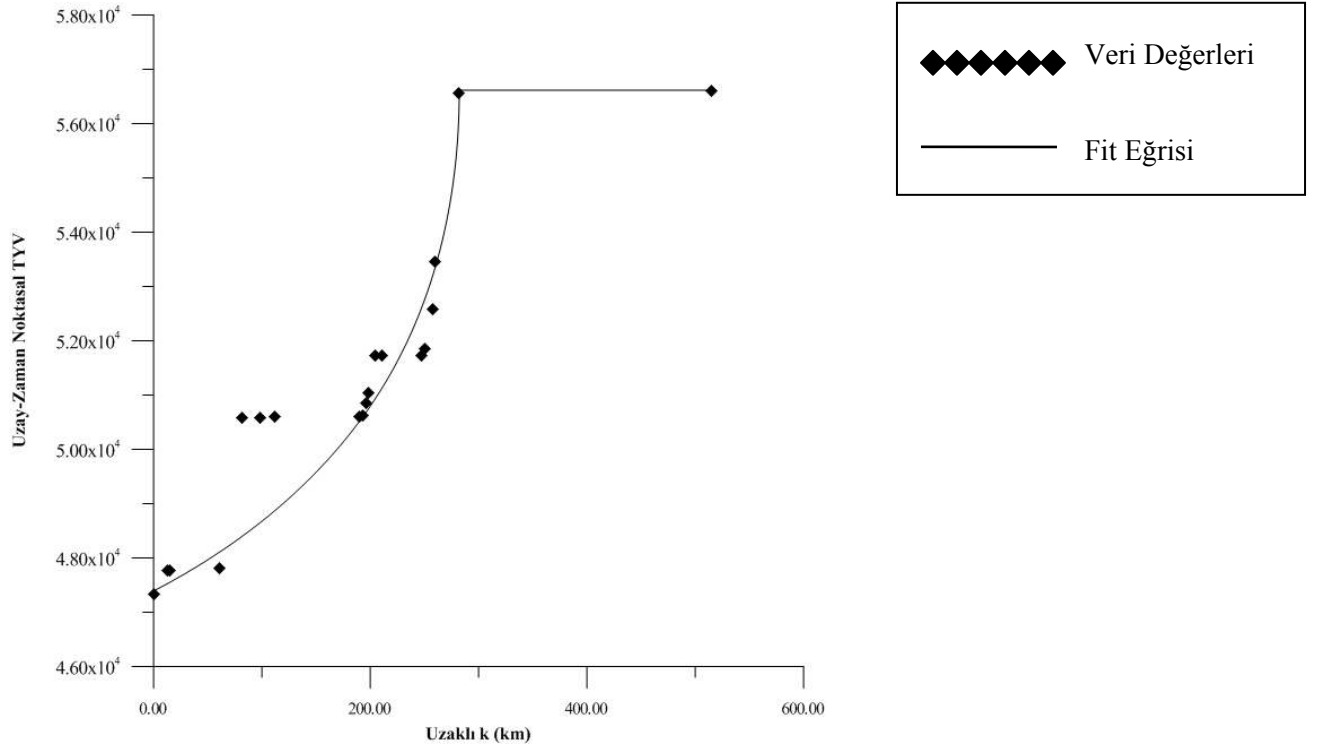
### <sup>134</sup>Cs İzotopu için Çizilen Uzak Zaman Noktasal Toplam Yarı-Variogram Grafikleri



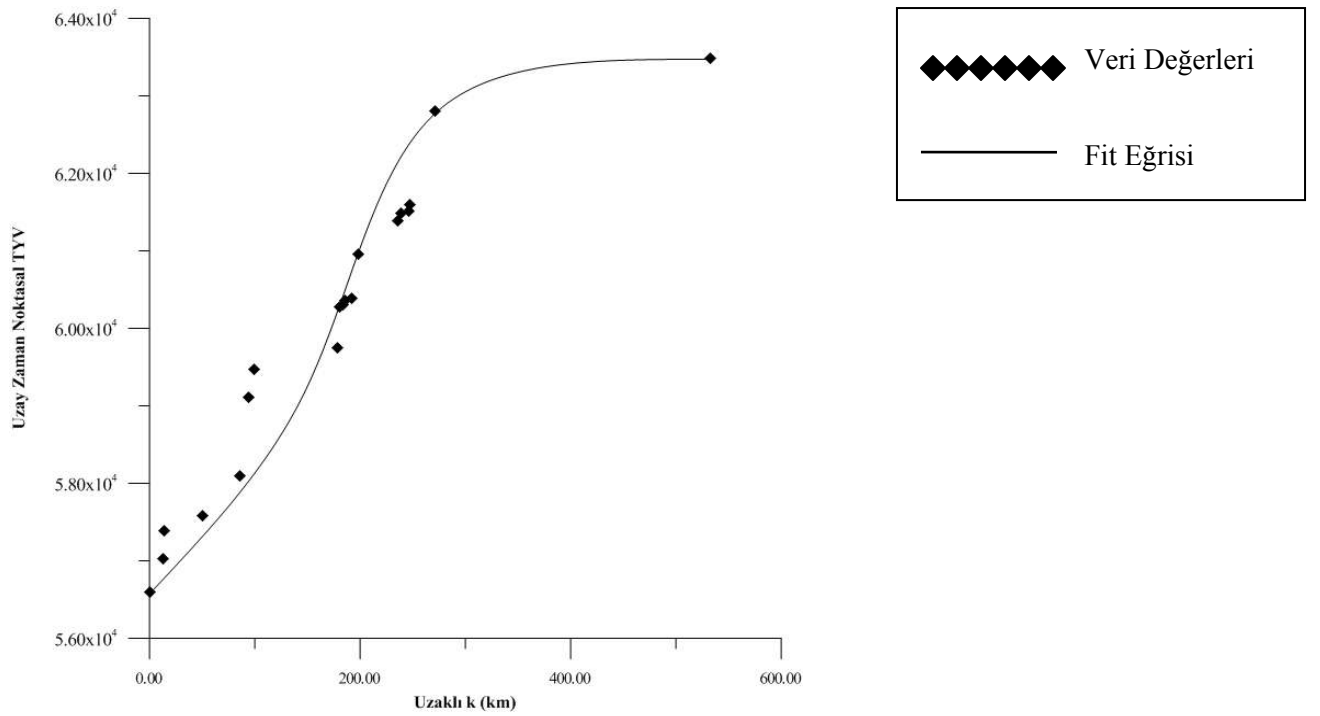
Ek 1 Şekil 1.1. 1 saatte 1. istasyon



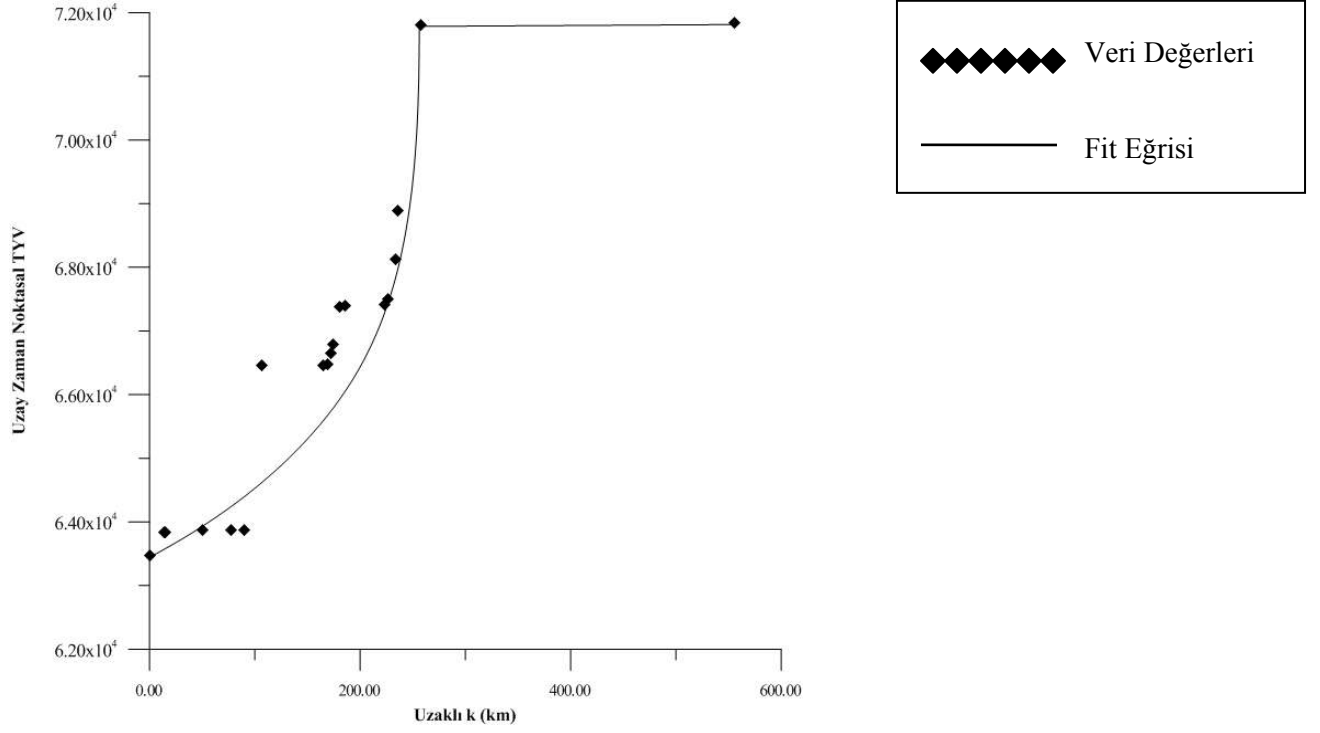
Ek 1 Şekil 1.2. 1 saatte 2. istasyon



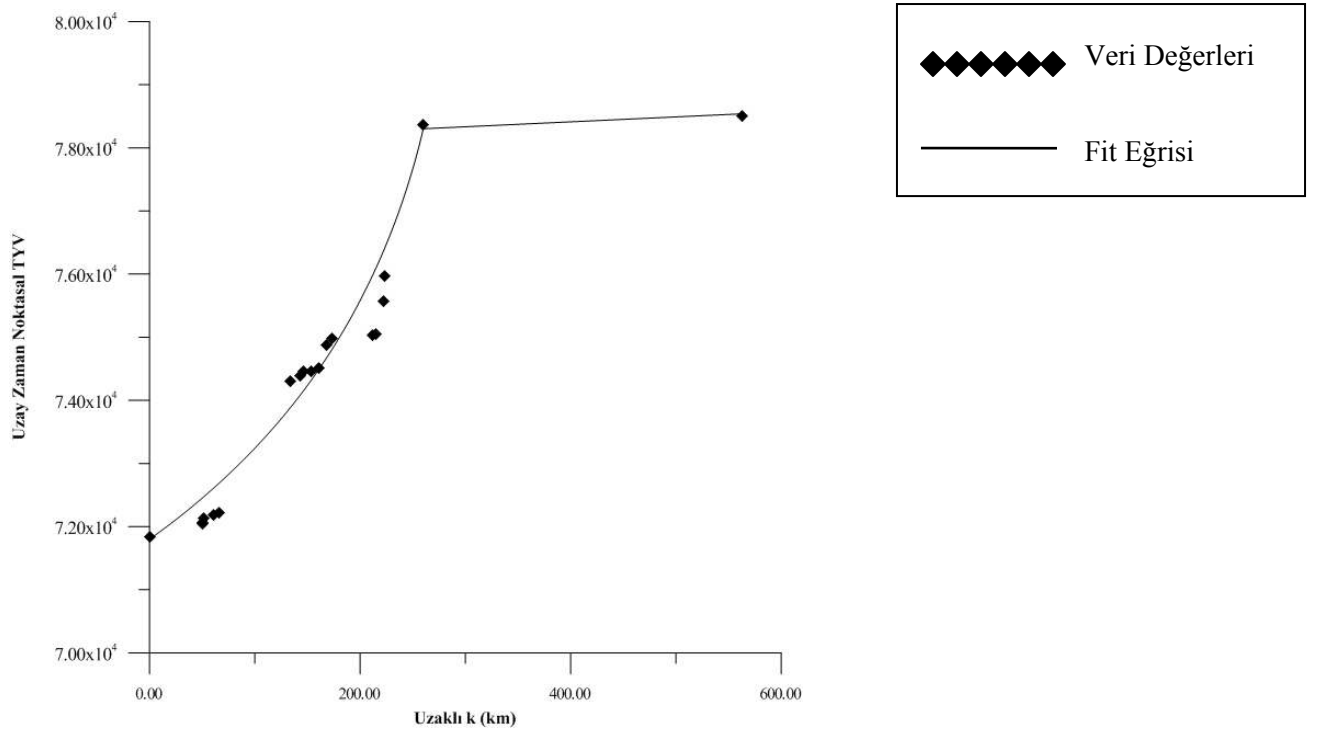
Ek 1 Şekil 1.3. 1 saatte 3. istasyon



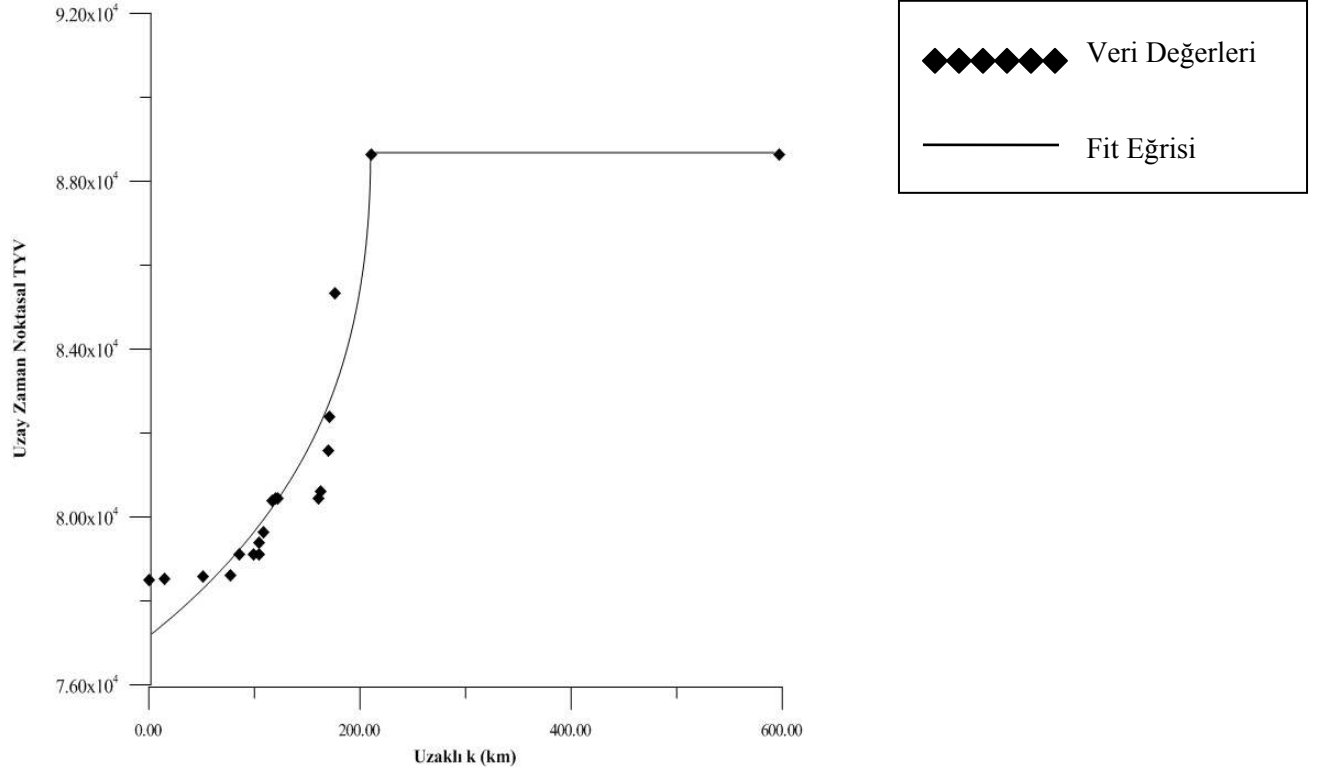
Ek 1 Şekil 1.4. 1 saatte 4. istasyon



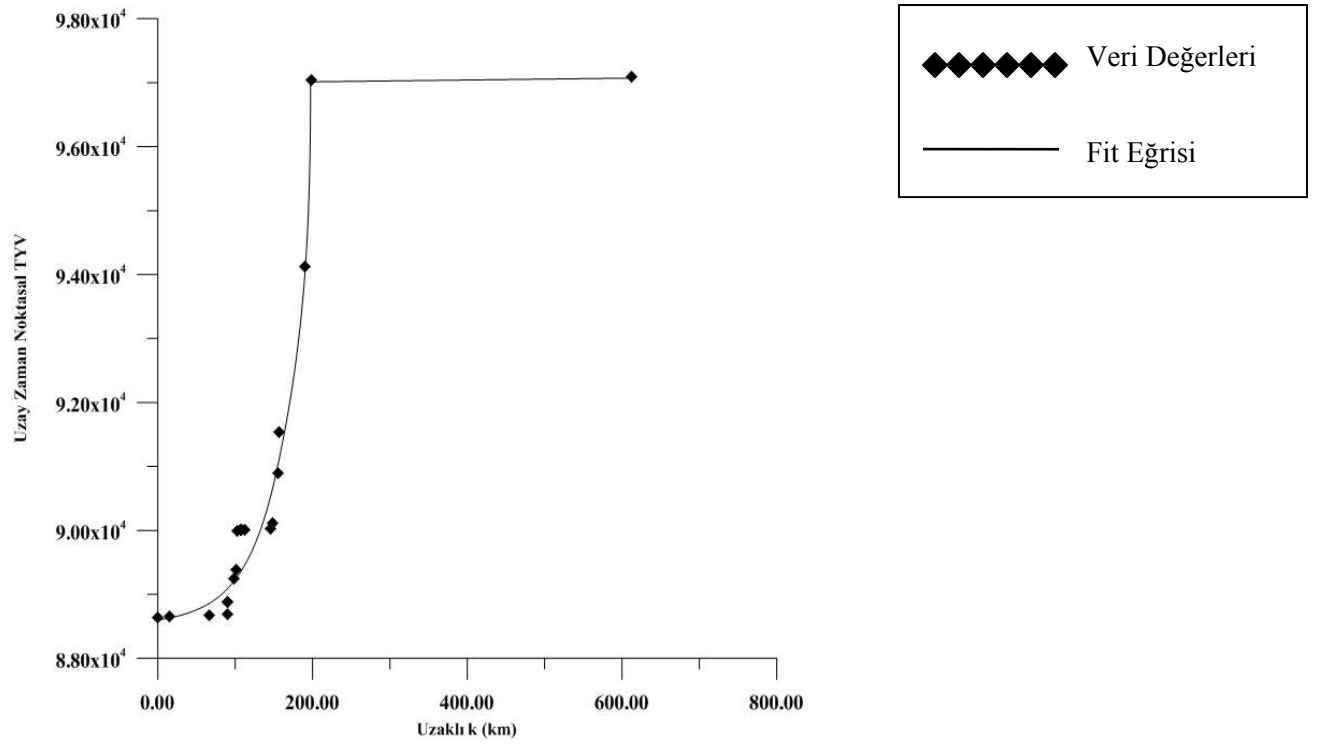
Ek 1 Şekil 1.5. 1 saatte 5. istasyon



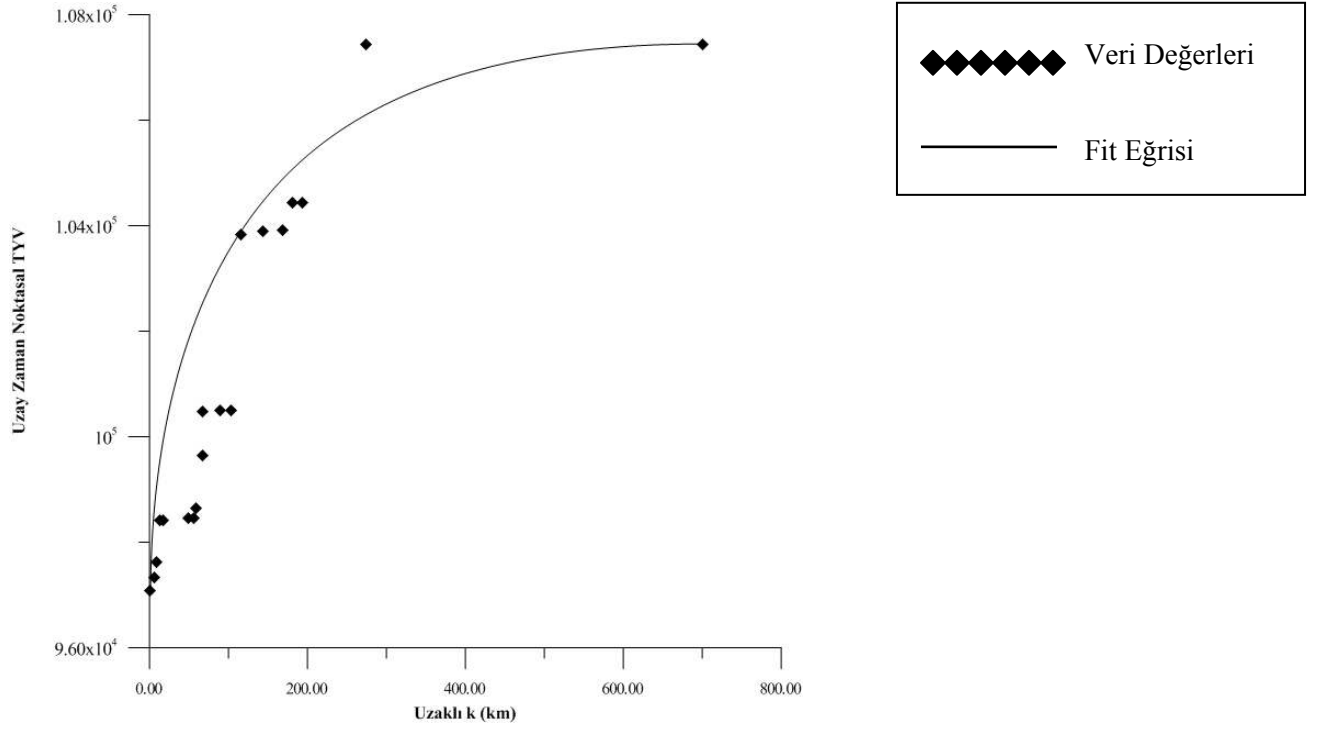
Ek 1 Şekil 1.6. 1 saatte 6. istasyon



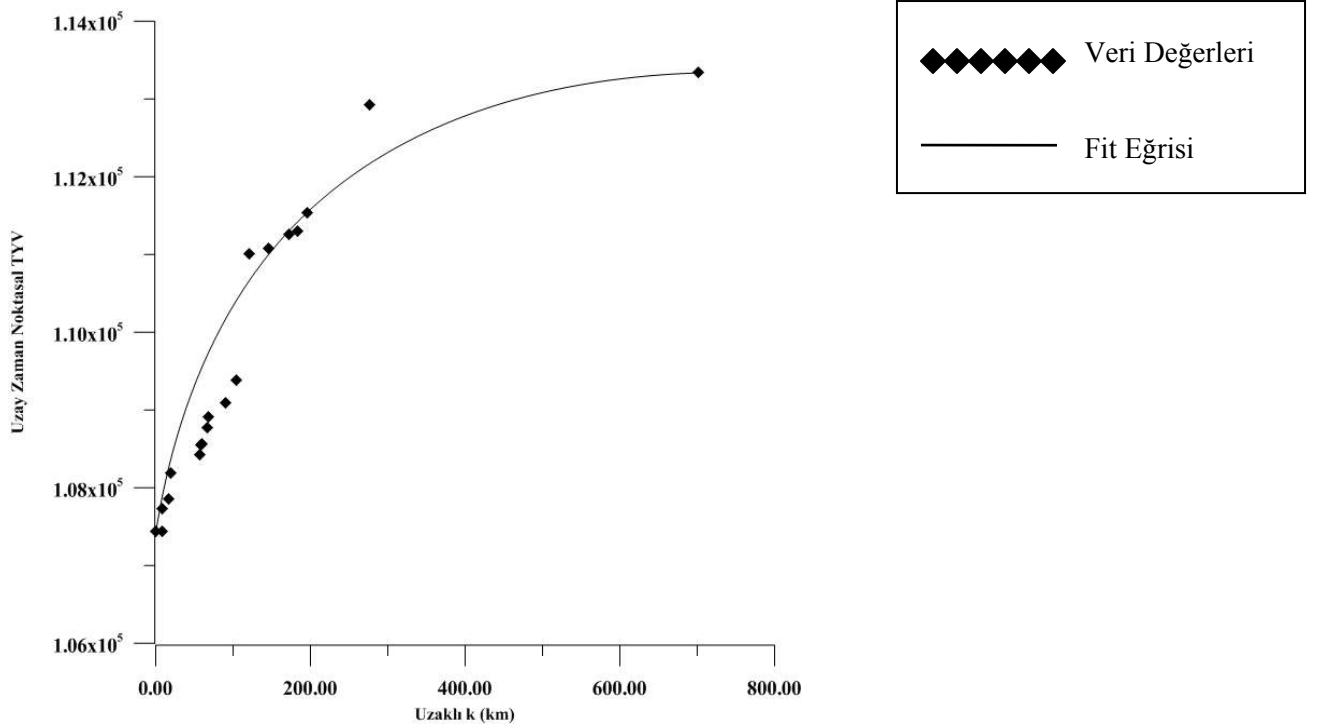
Ek 1 Şekil 1.7. 1 saatte 7. istasyon



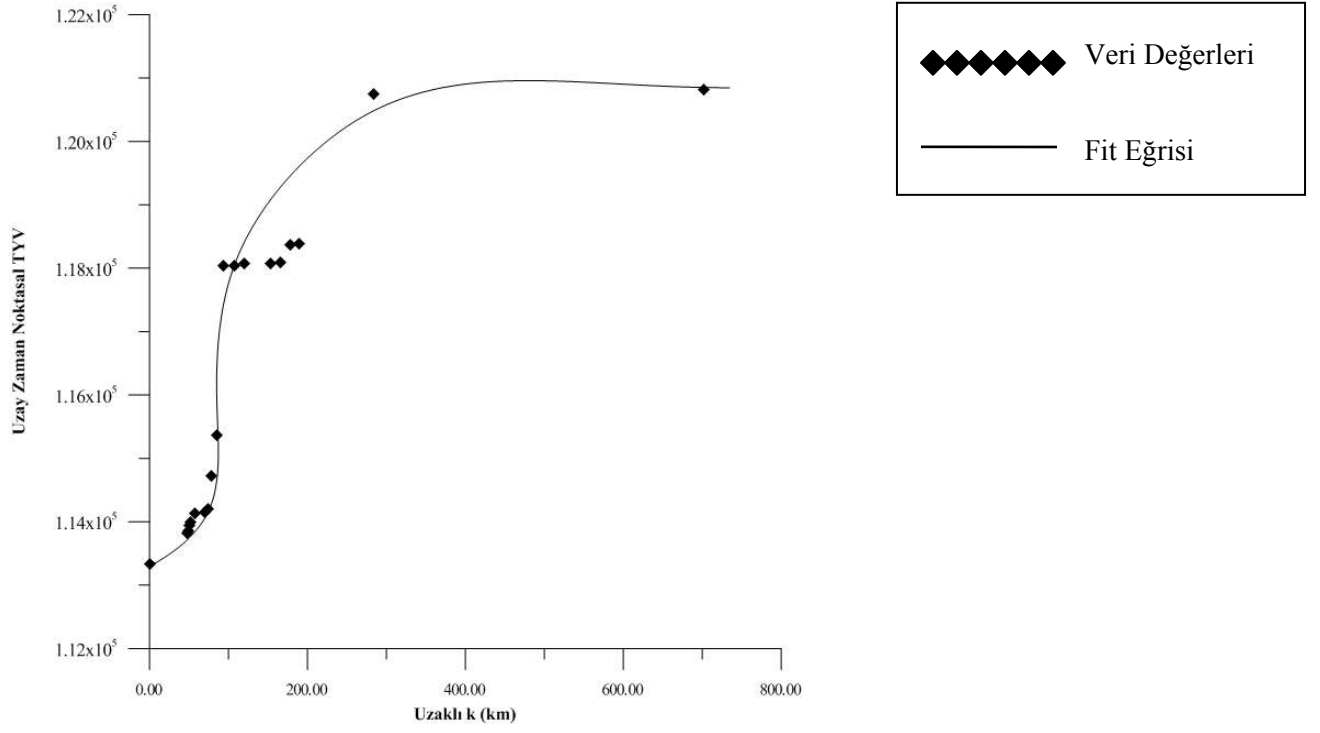
Ek 1 Şekil 1.8. 1 saatte 8. istasyon



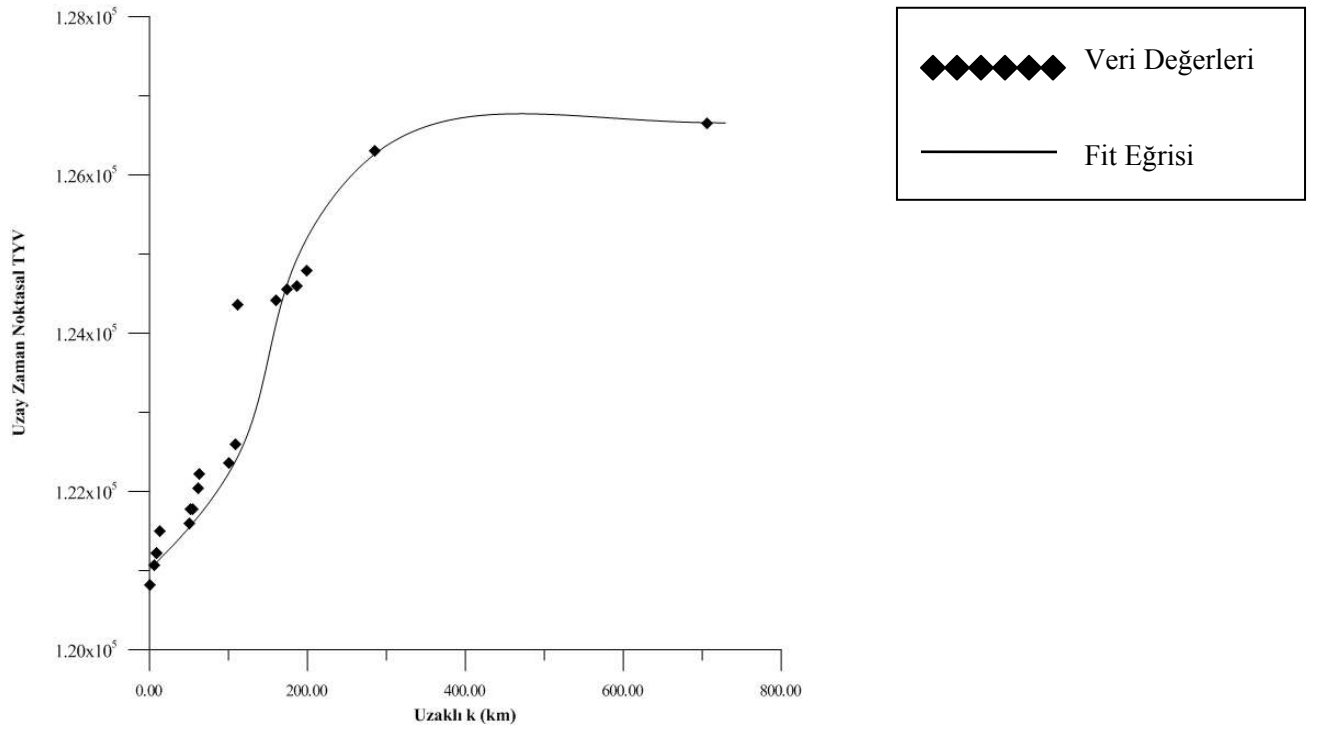
Ek 1 Şekil 1.9. 1 saatte 9. istasyon



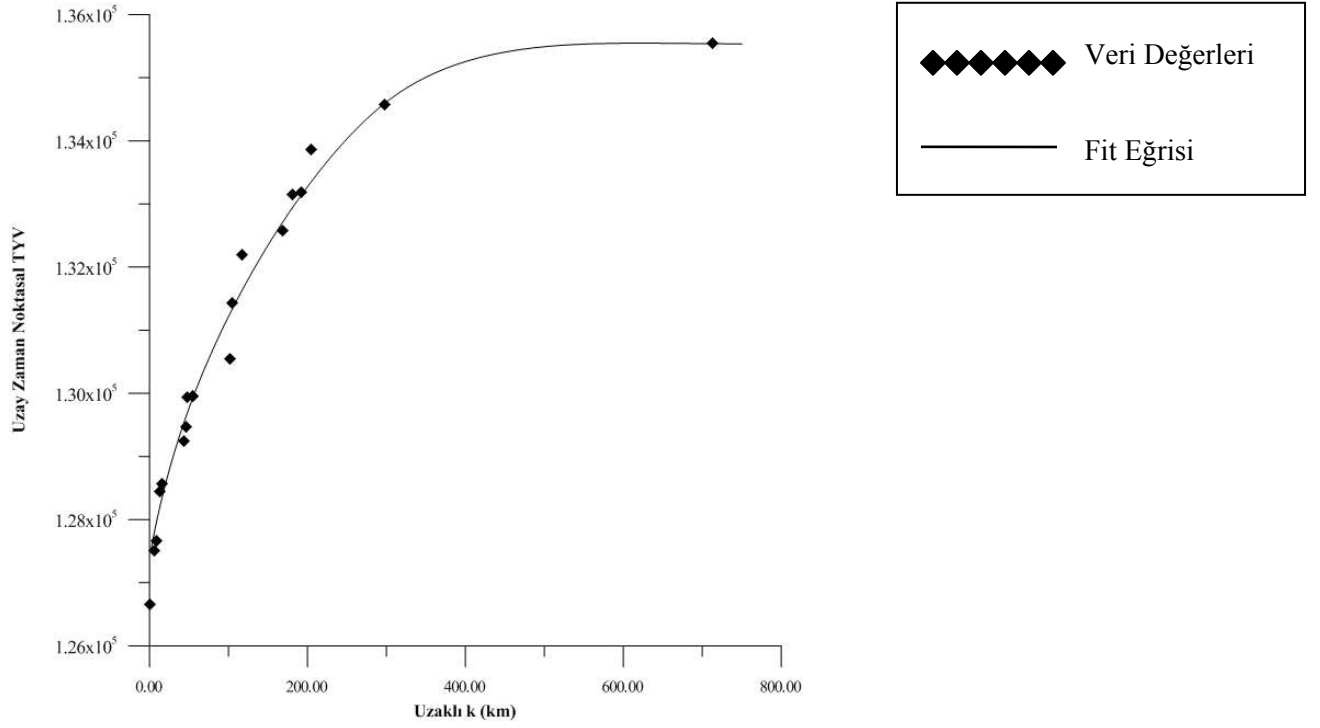
Ek 1 Şekil 1.10. 1 saatte 10. istasyon



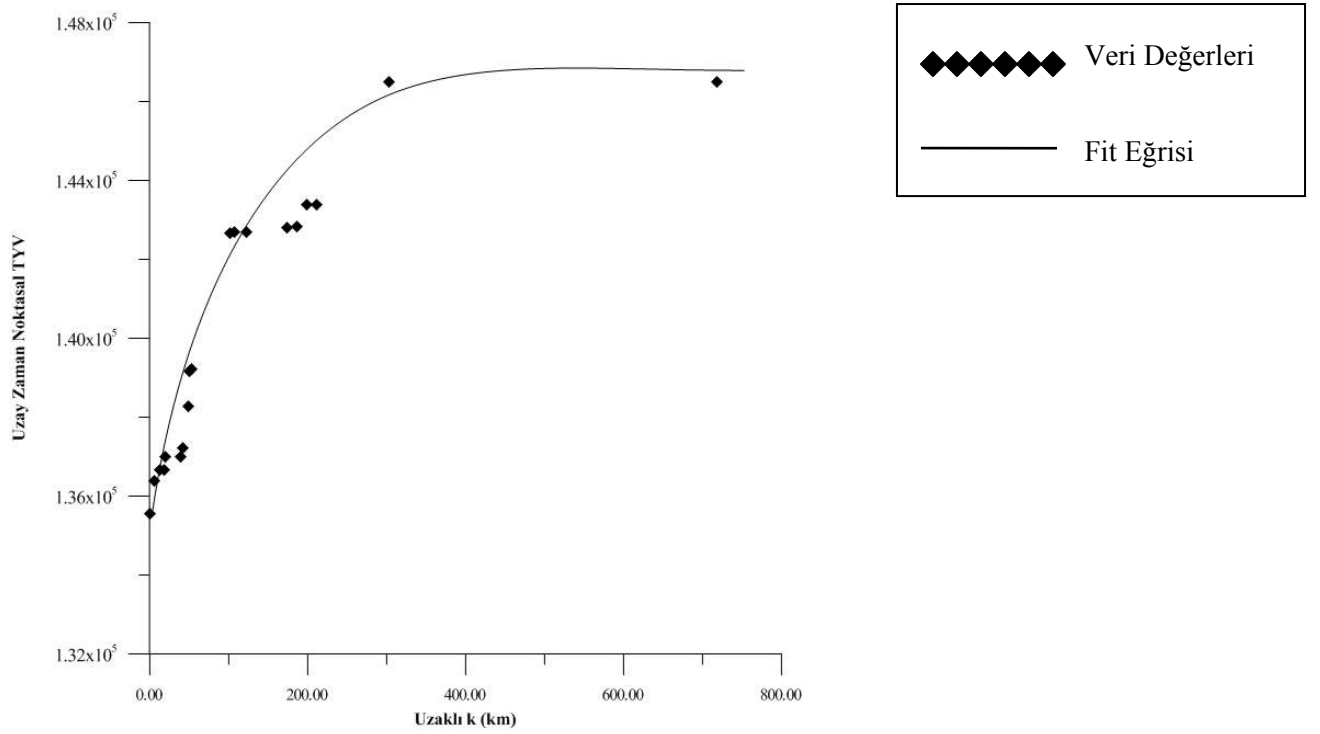
Ek 1 Şekil 1.11. 1 saatte 11. istasyon



Ek 1 Şekil 1.12. 1 saatte 12. istasyon

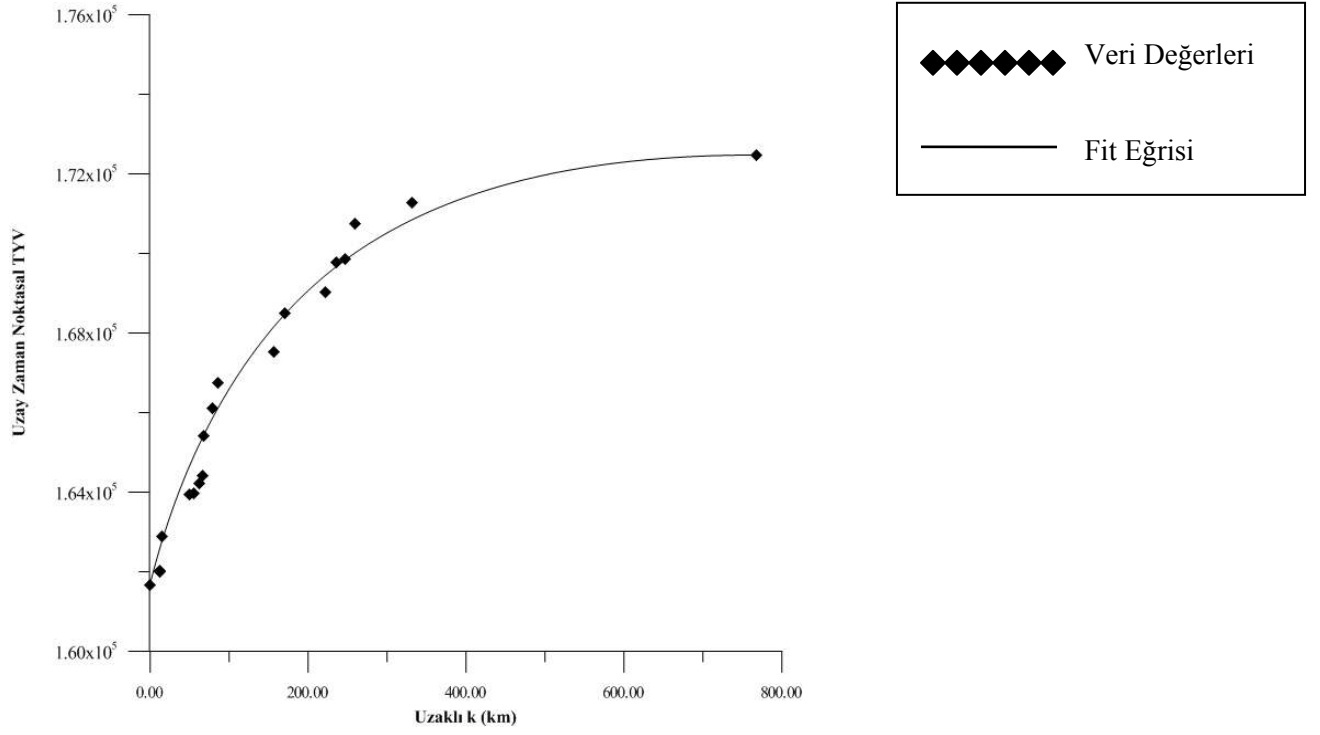


Ek 1 Şekil 1.13. 1 saatte 13. istasyon

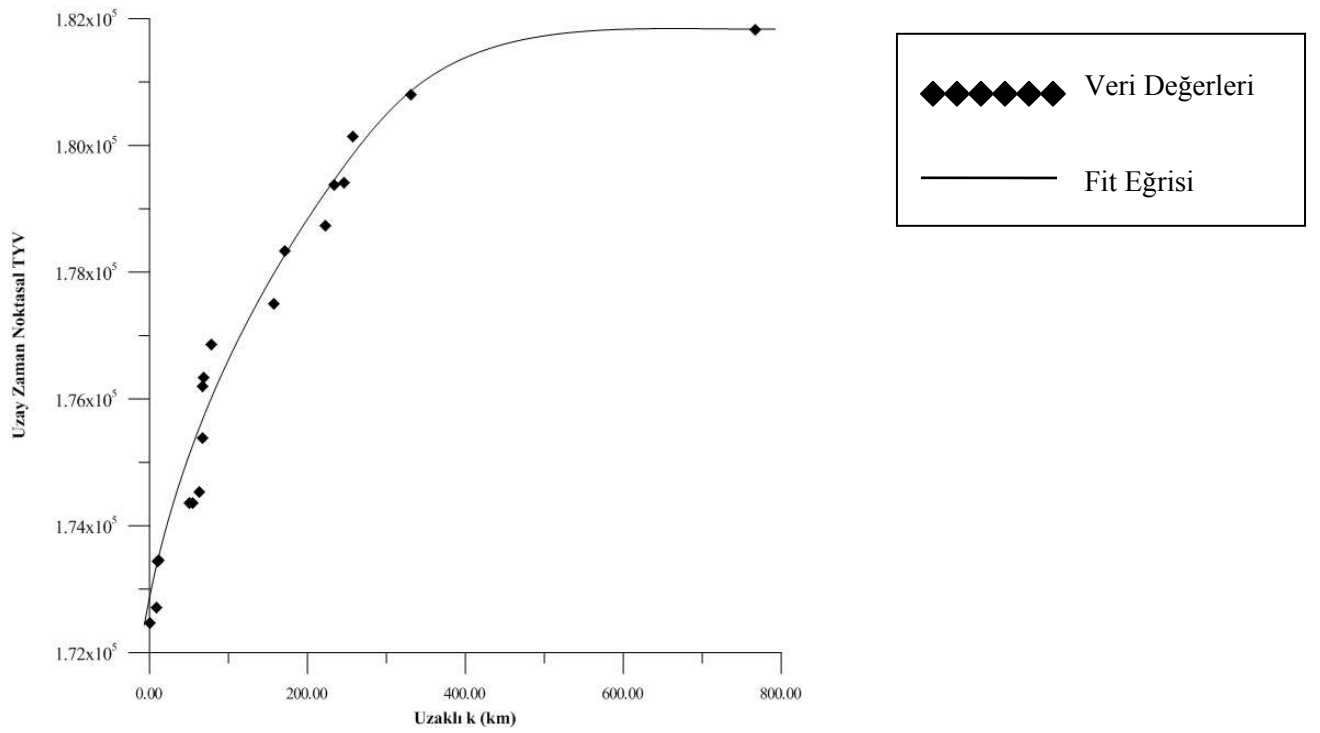


Ek 1 Şekil 1.14. 1 saatte 14. istasyon

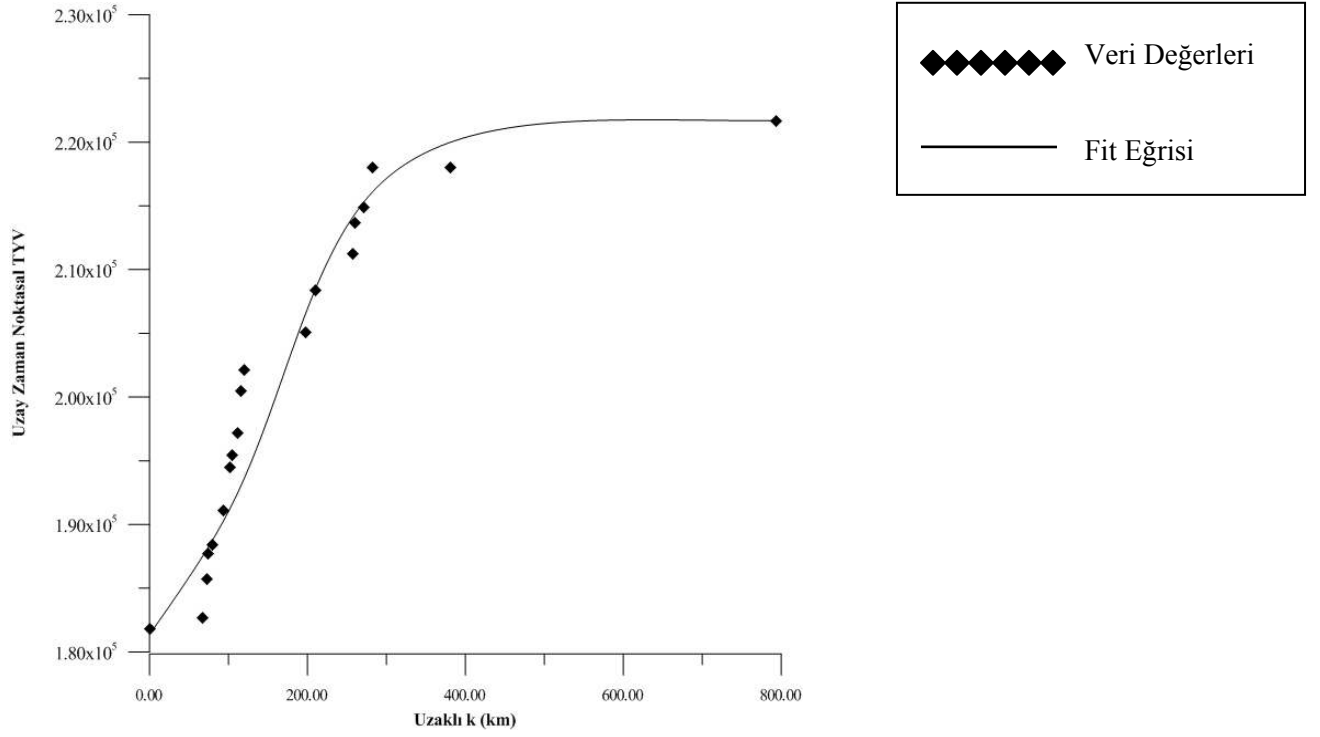




Ek 1 Şekil 1.17. 1 saatte 17. istasyon



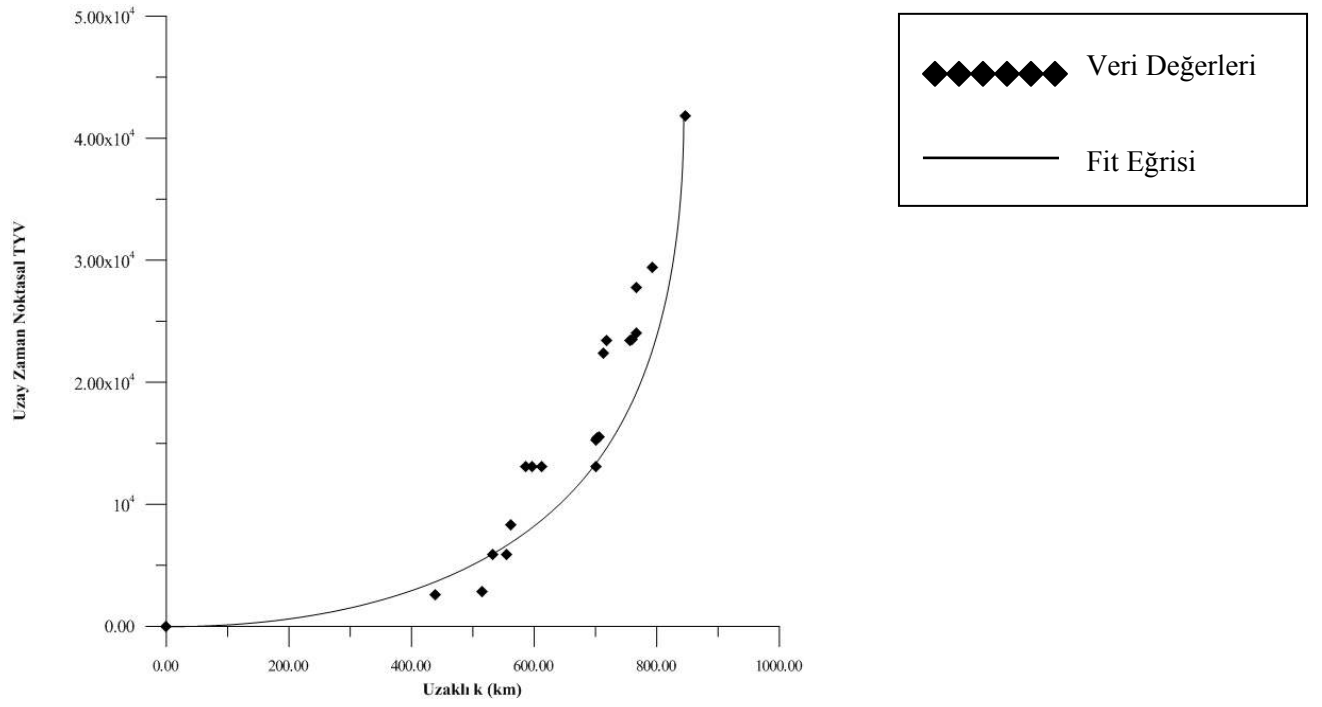
Ek 1 Şekil 1.18. 1 saatte 18. istasyon



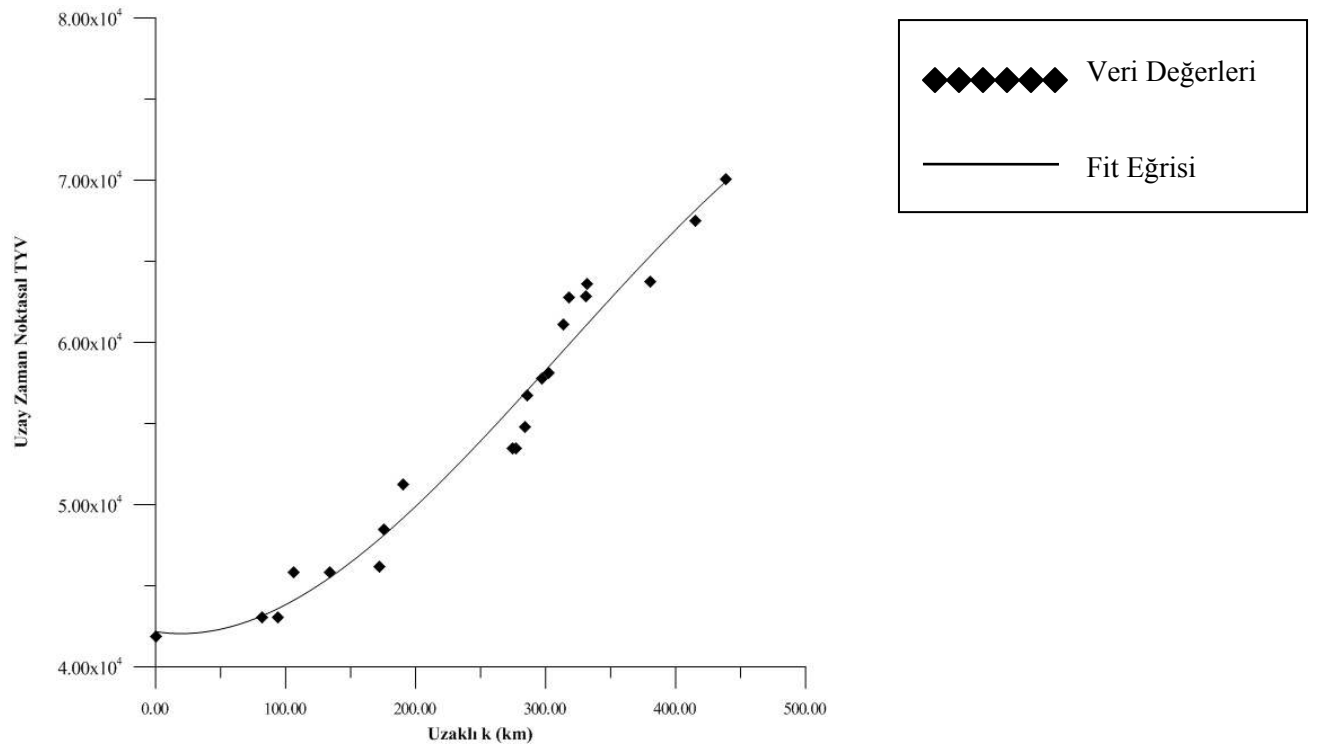
Ek 1 Şekil 1.19. 1 saatte 19. istasyon

**EK 2**

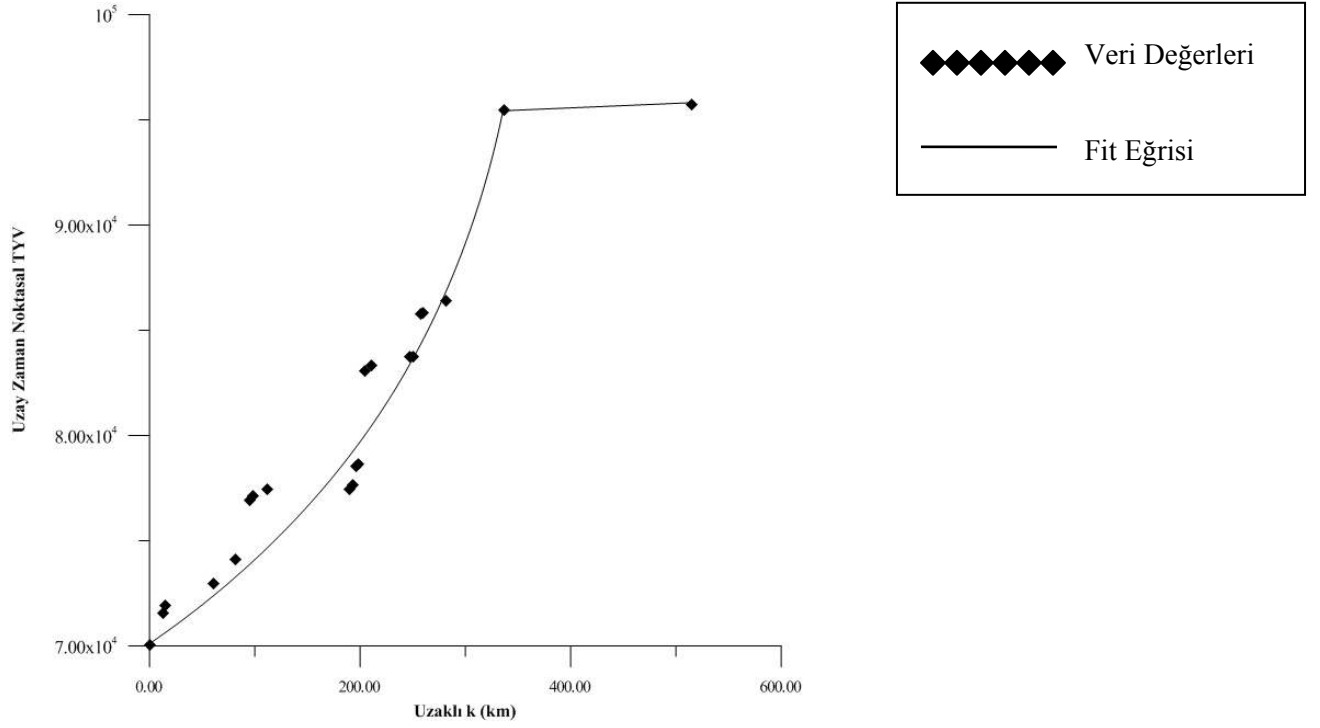
## <sup>137</sup>Cs İzotopu için Çizilen Saatlik Değişim Grafikleri



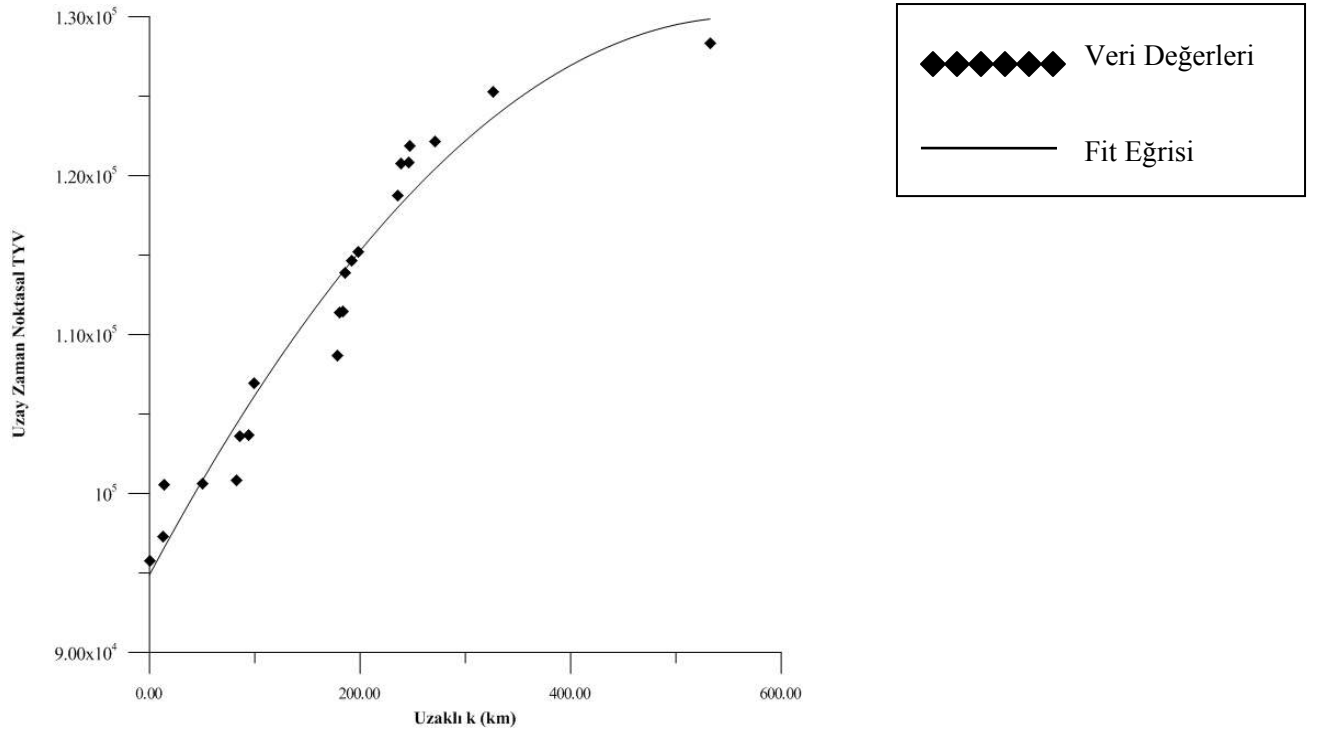
Ek 2 Şekil 1.1. 1 saatte 1. istasyon



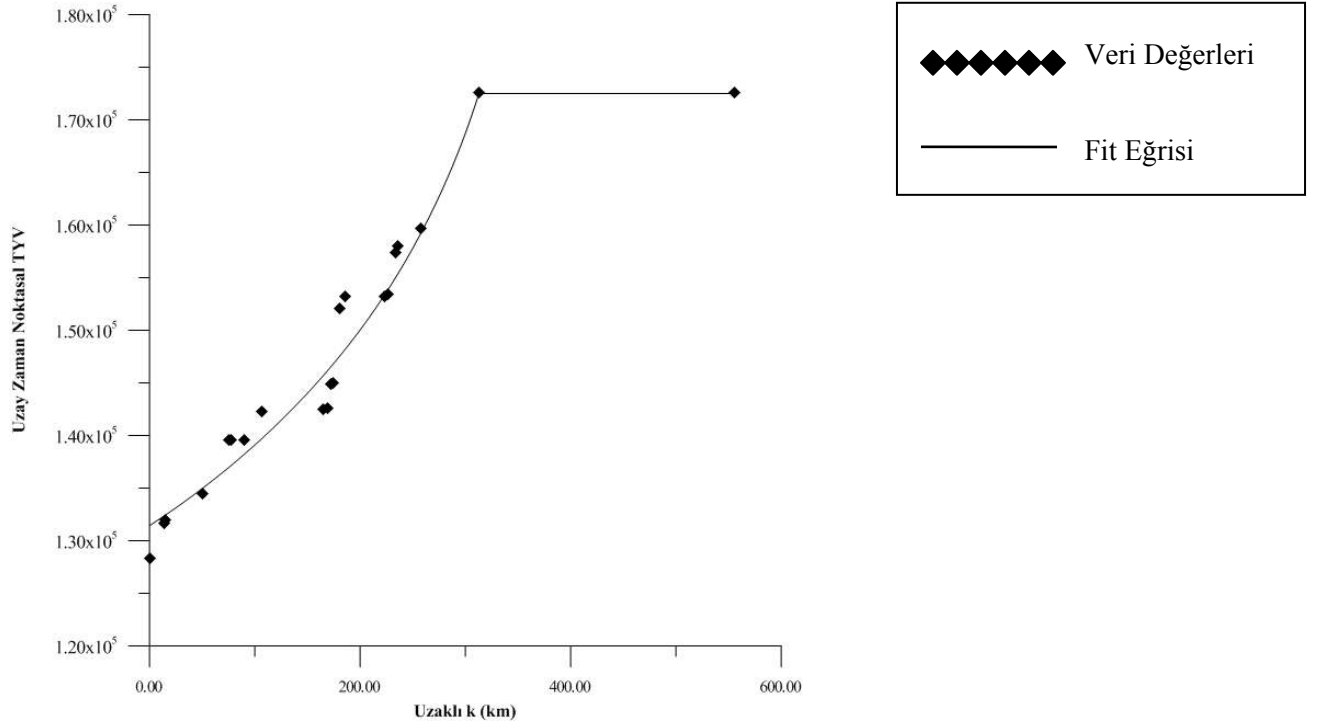
Ek 2 Şekil 1.2. 1 saatte 2. istasyon



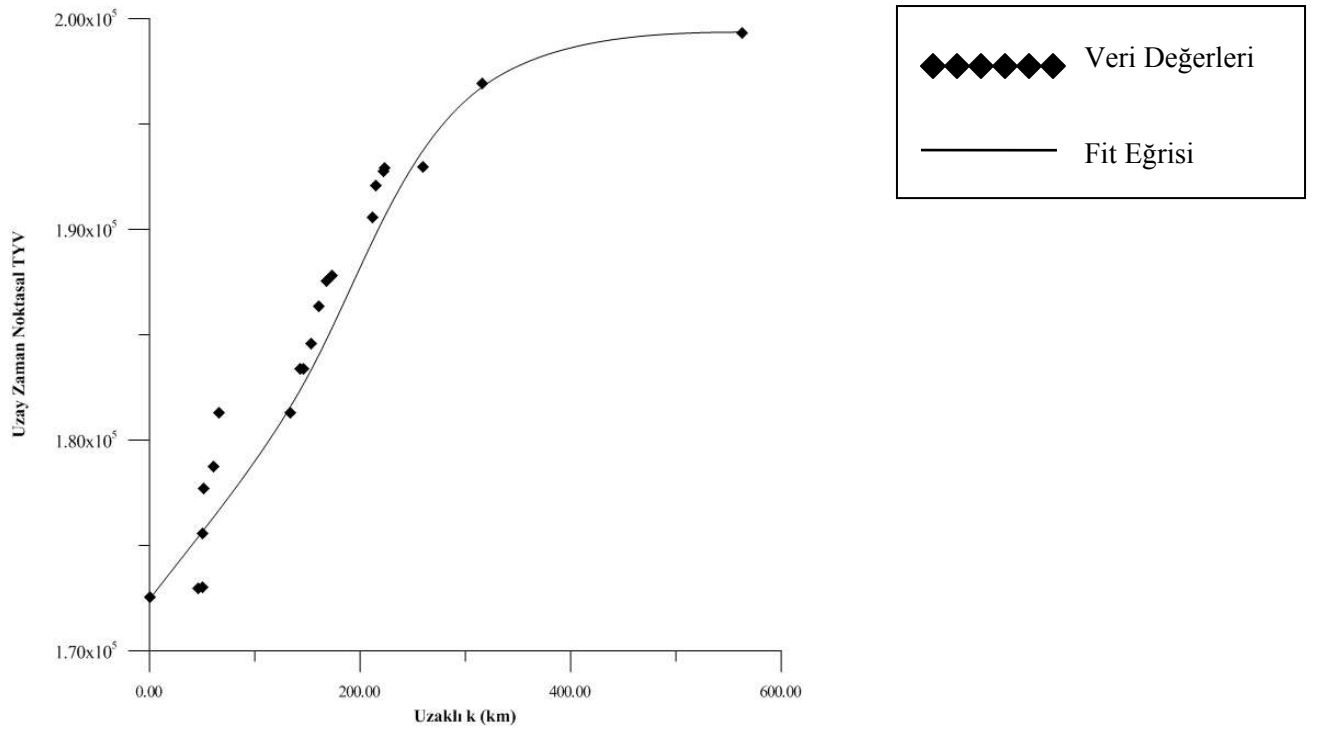
Ek 2 Şekil 1.3. 1 saatte 3. istasyon



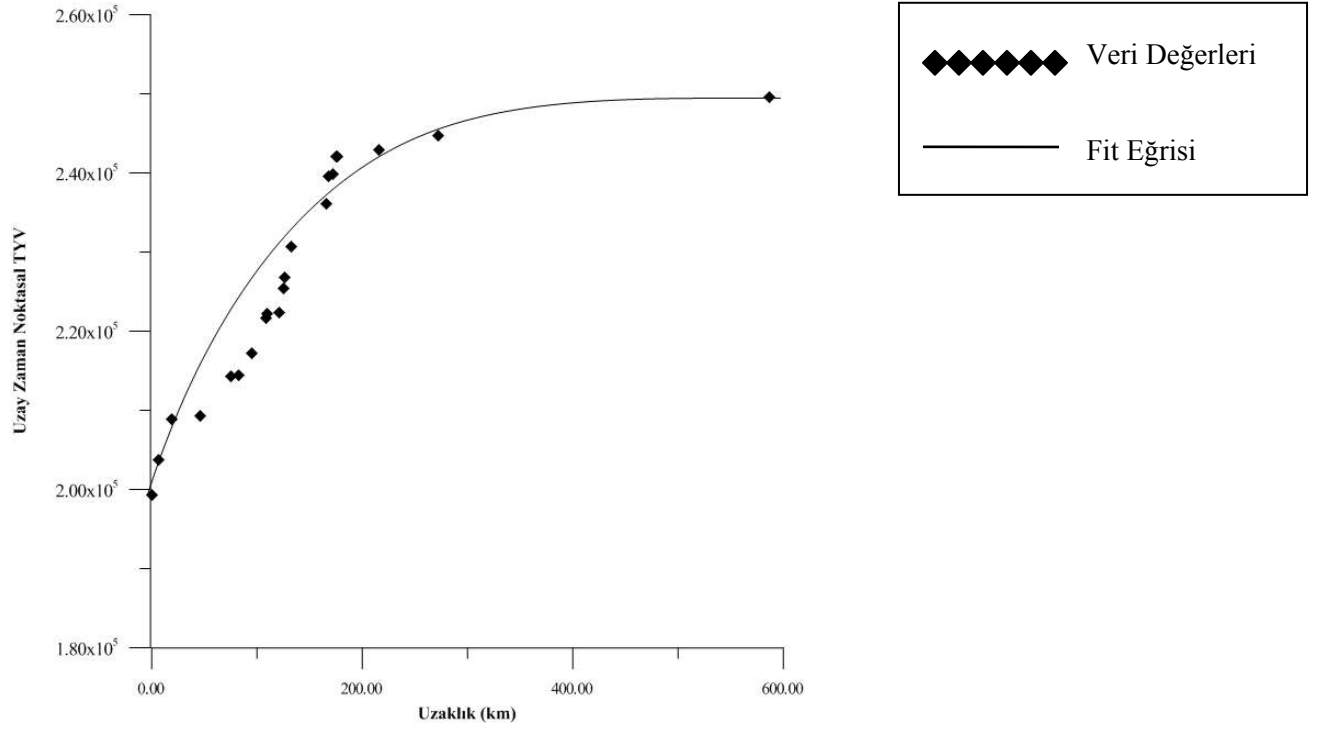
Ek 2 Şekil 1.4. 1 saatte 4. istasyon



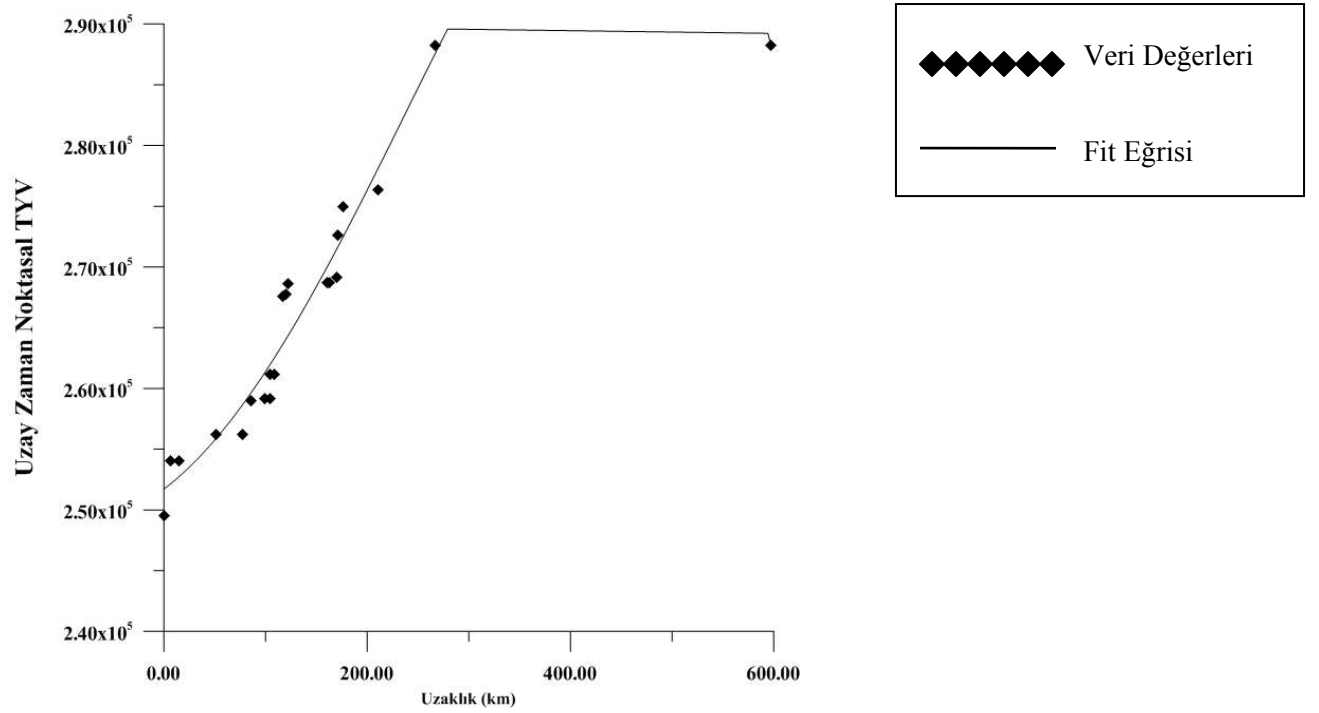
Ek 2 Şekil 1.5. 1 saatte 5. istasyon



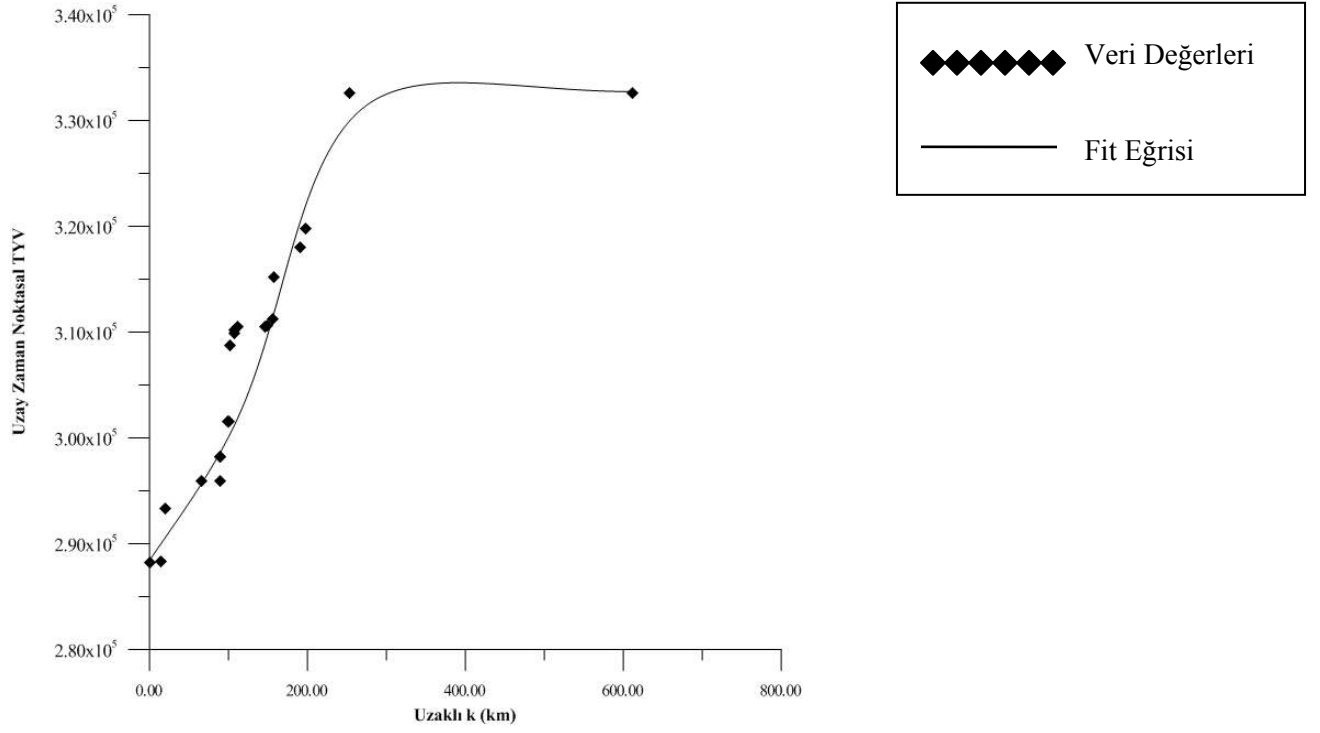
Ek 2 Şekil 1.6. 1 saatte 6. istasyon



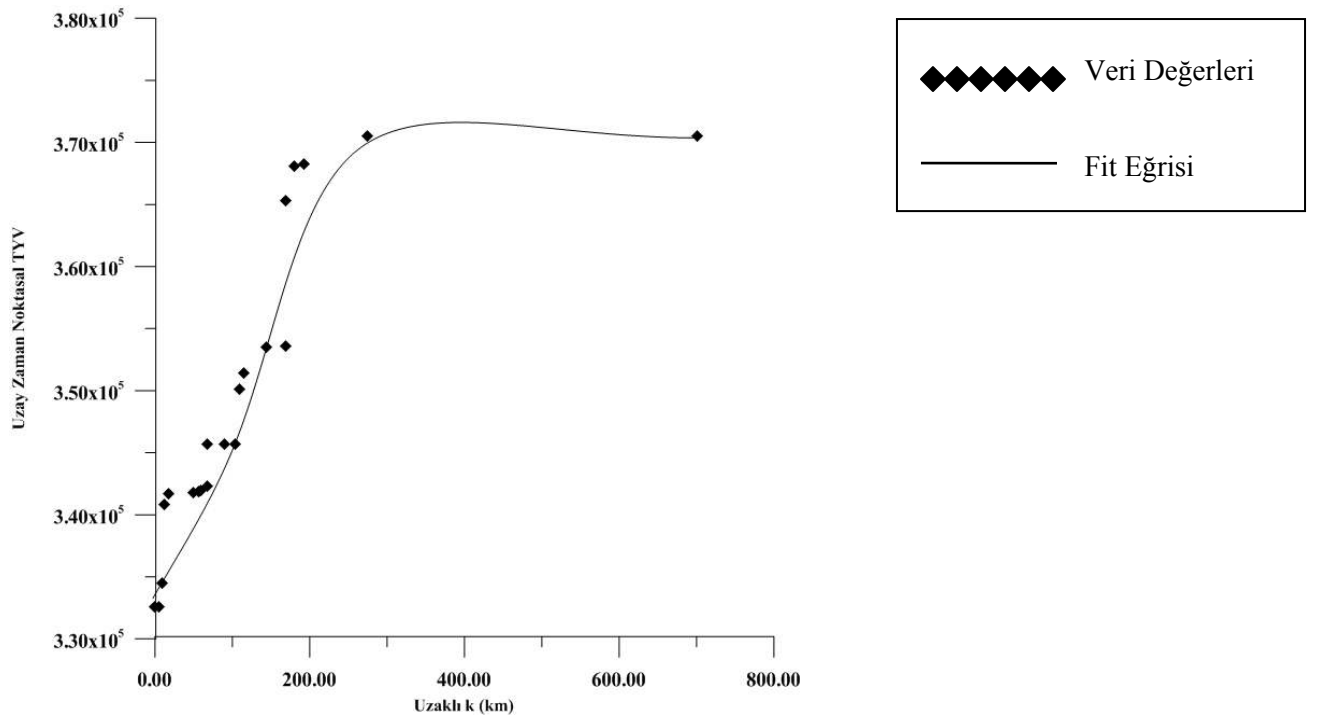
Ek 2 Şekil 1.7. 1 saatte 7. istasyon



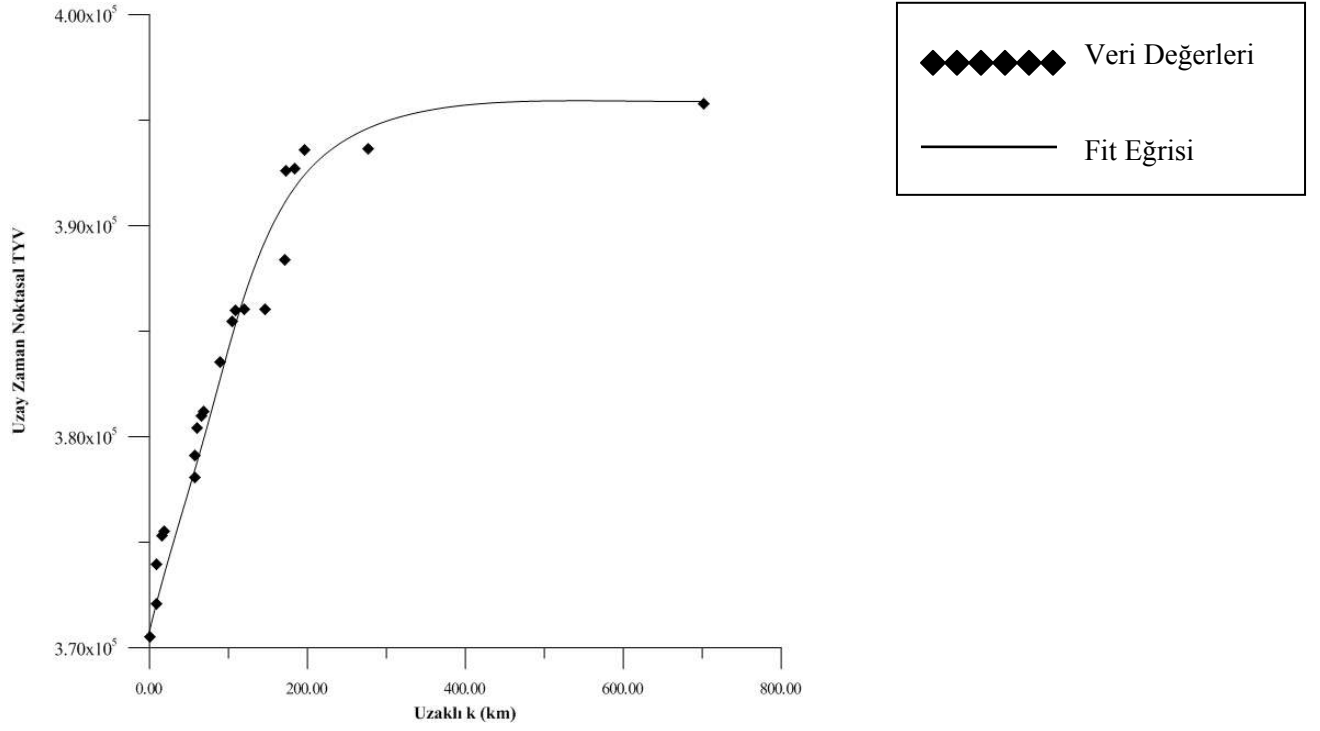
Ek 2 Şekil 1.8. 1 saatte 8. istasyon



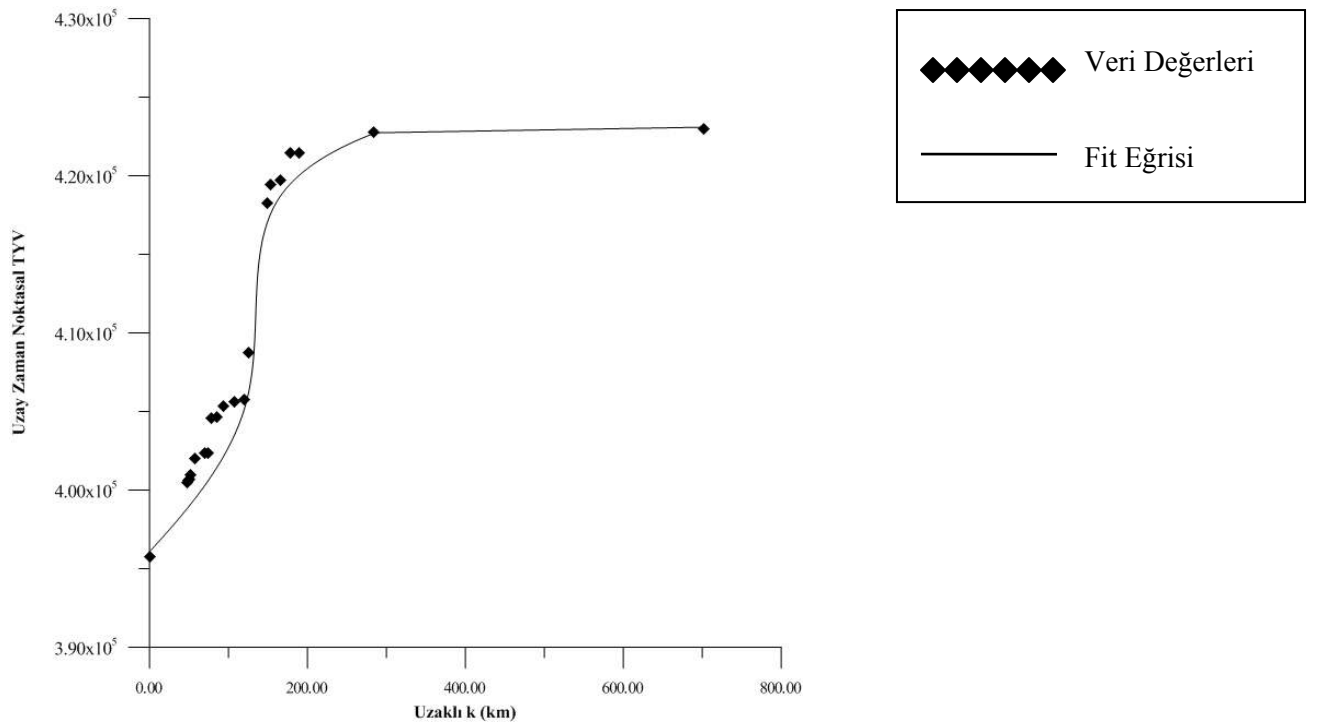
Ek 2 Şekil 1.9. 1 saatte 9. istasyon



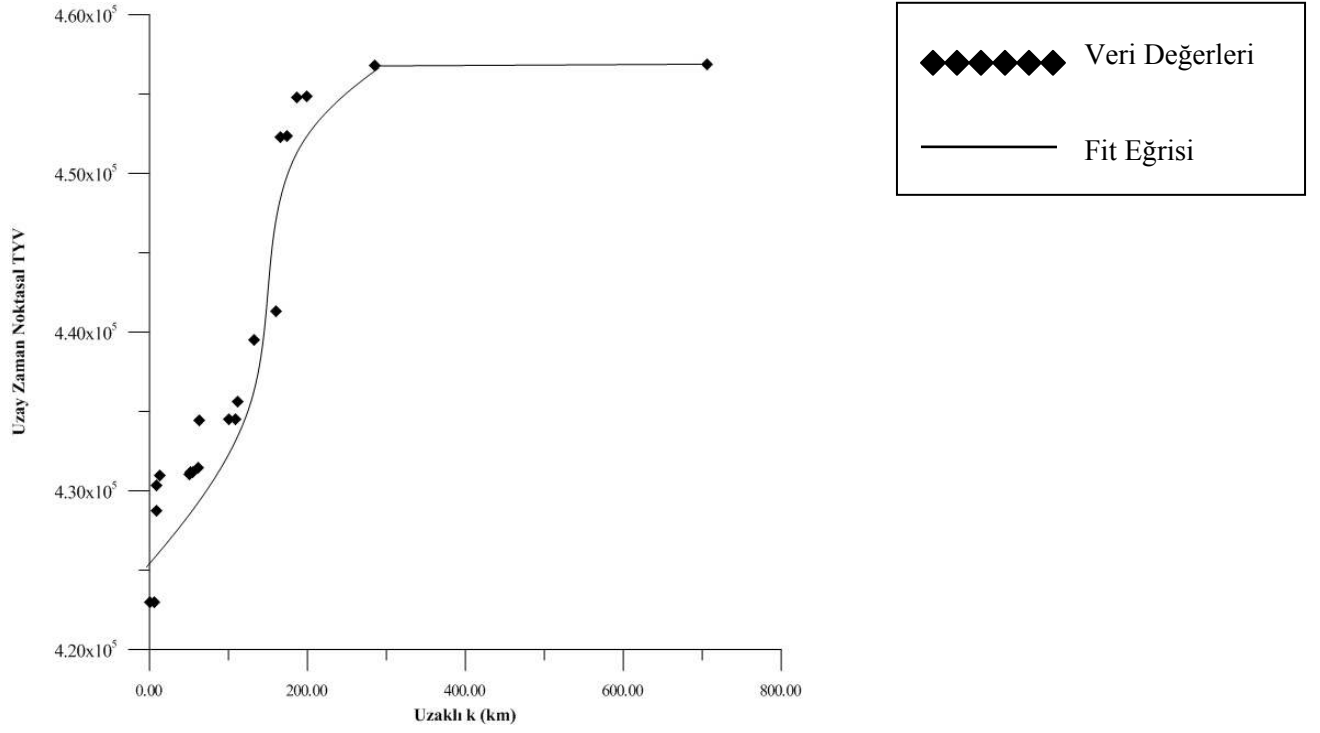
Ek 2 Şekil 1.10. 1 saatte 10. istasyon



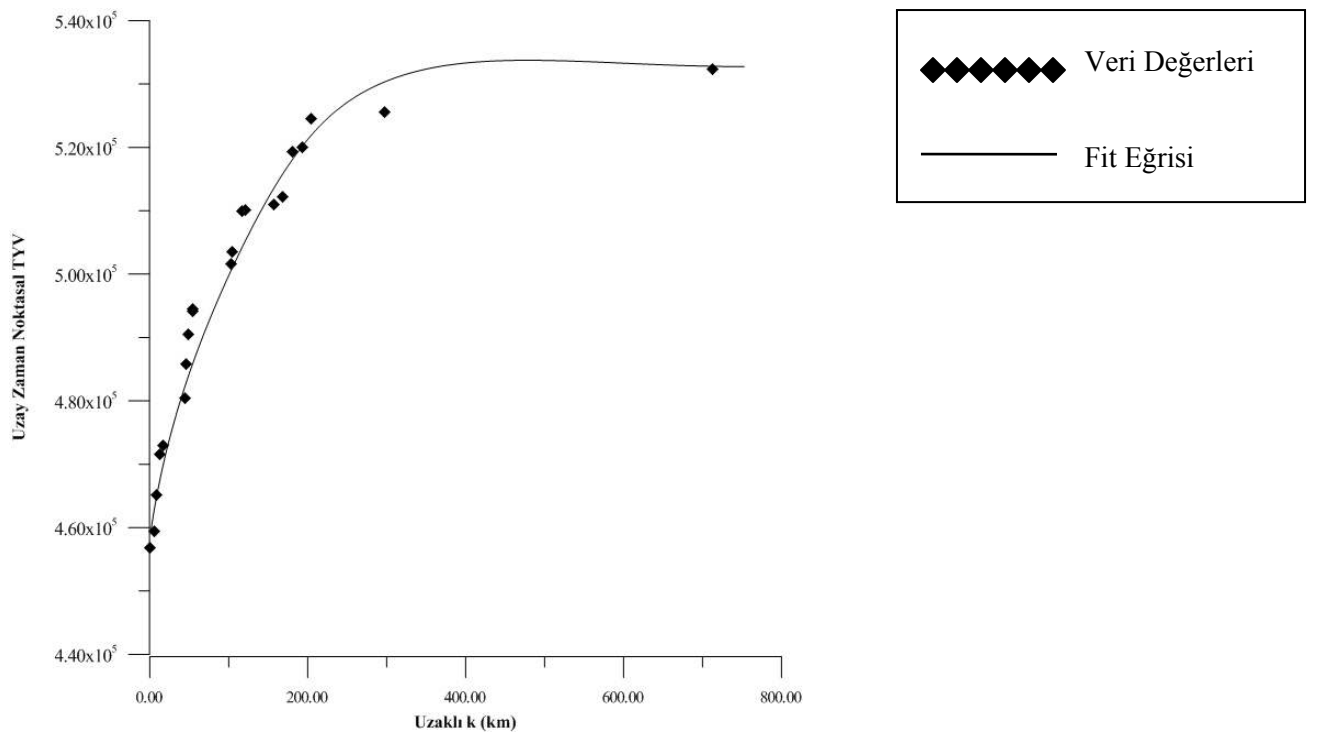
Ek 2 Şekil 1.11. 1 saatte 11. istasyon



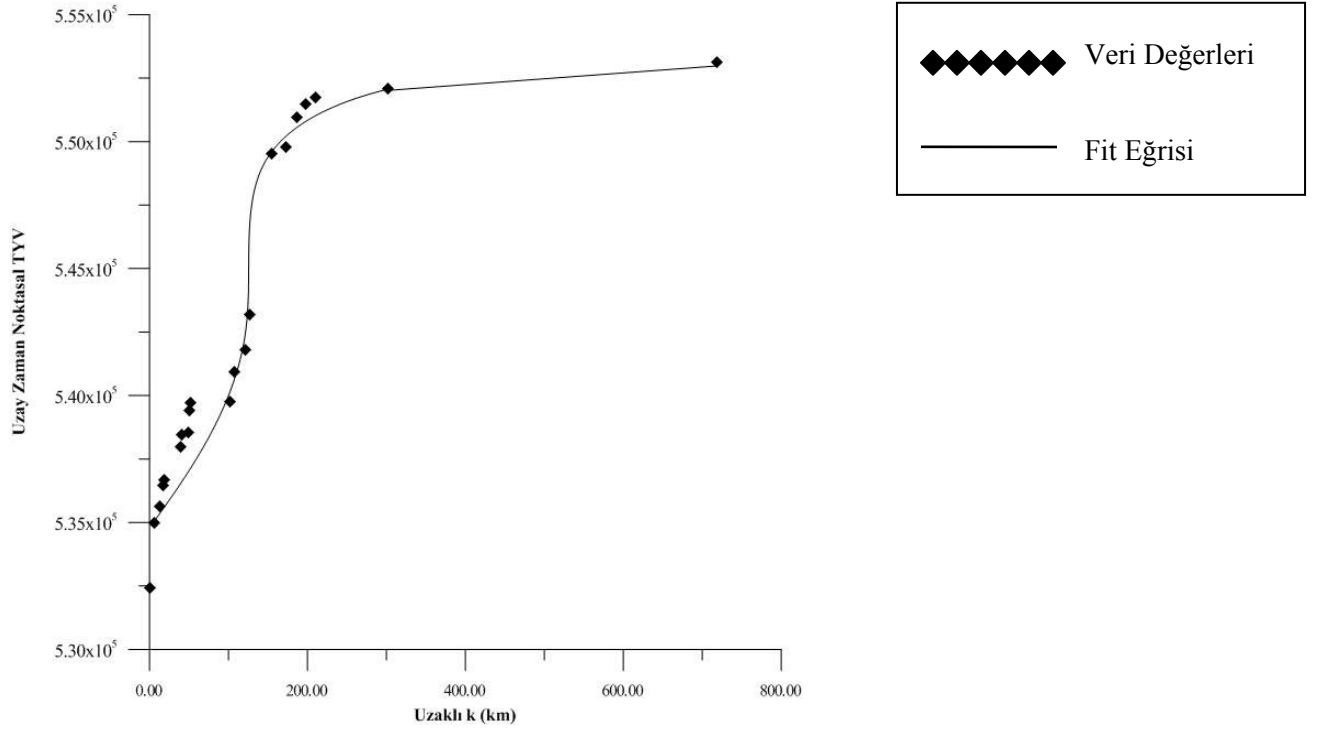
Ek 2 Şekil 1.12. 1 saatte 12. istasyon



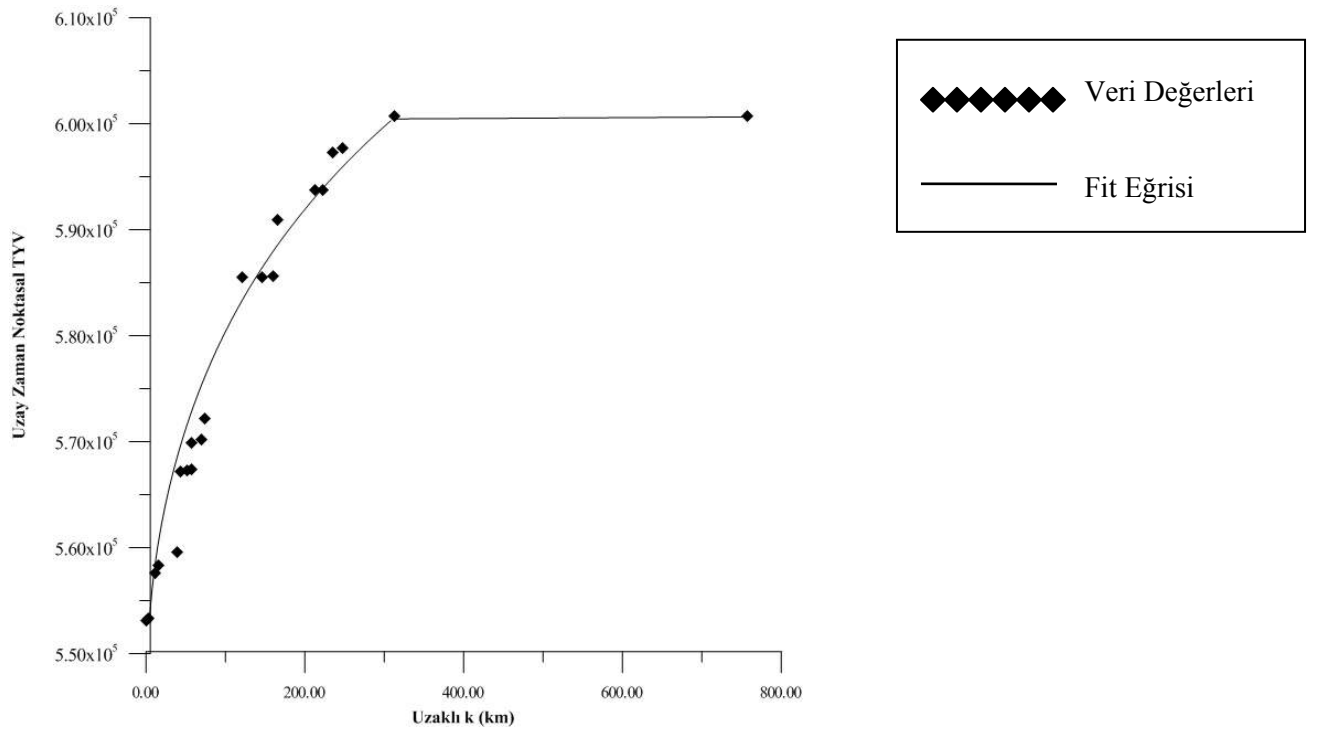
Ek 2 Şekil 1.13. 1 saatte 13. istasyon



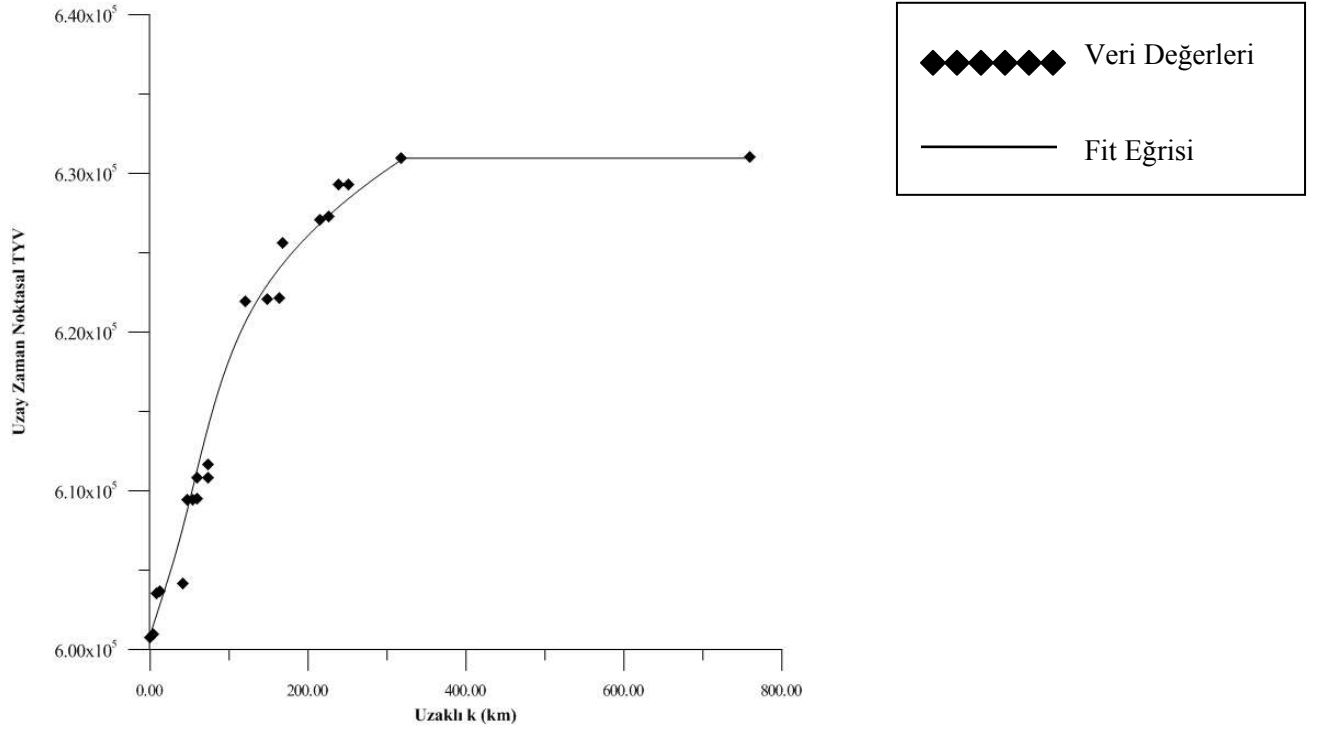
Ek 2 Şekil 1.14. 1 saatte 14. istasyon



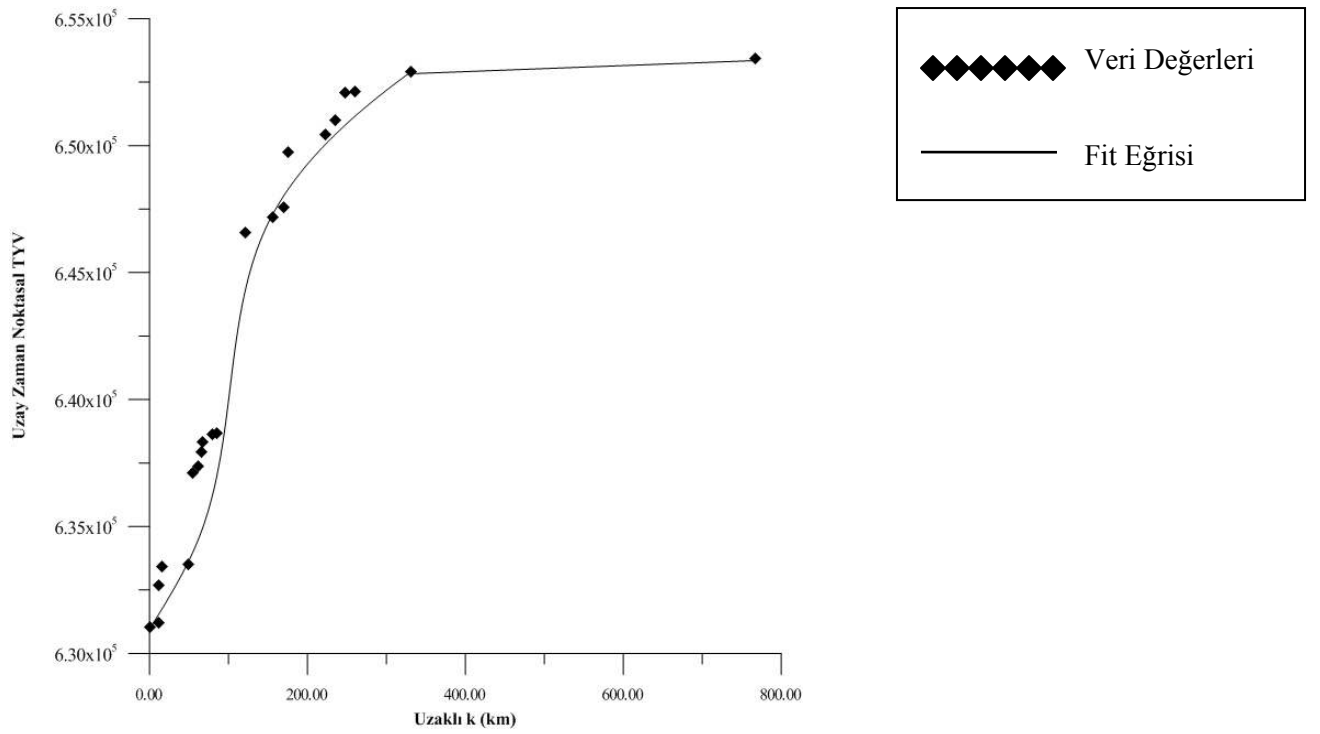
Ek 2 Şekil 1.15. 1 saatte 15. istasyon



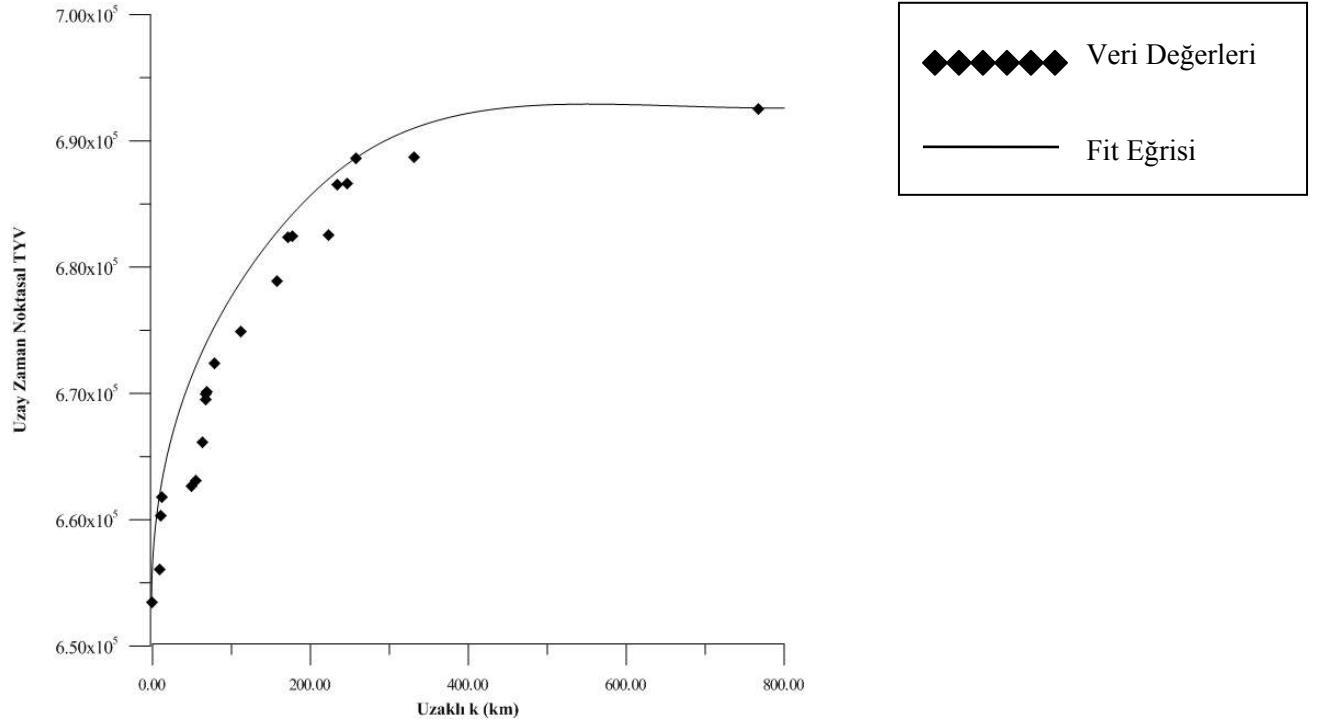
Ek 2 Şekil 1.16. 1 saatte 16. istasyon



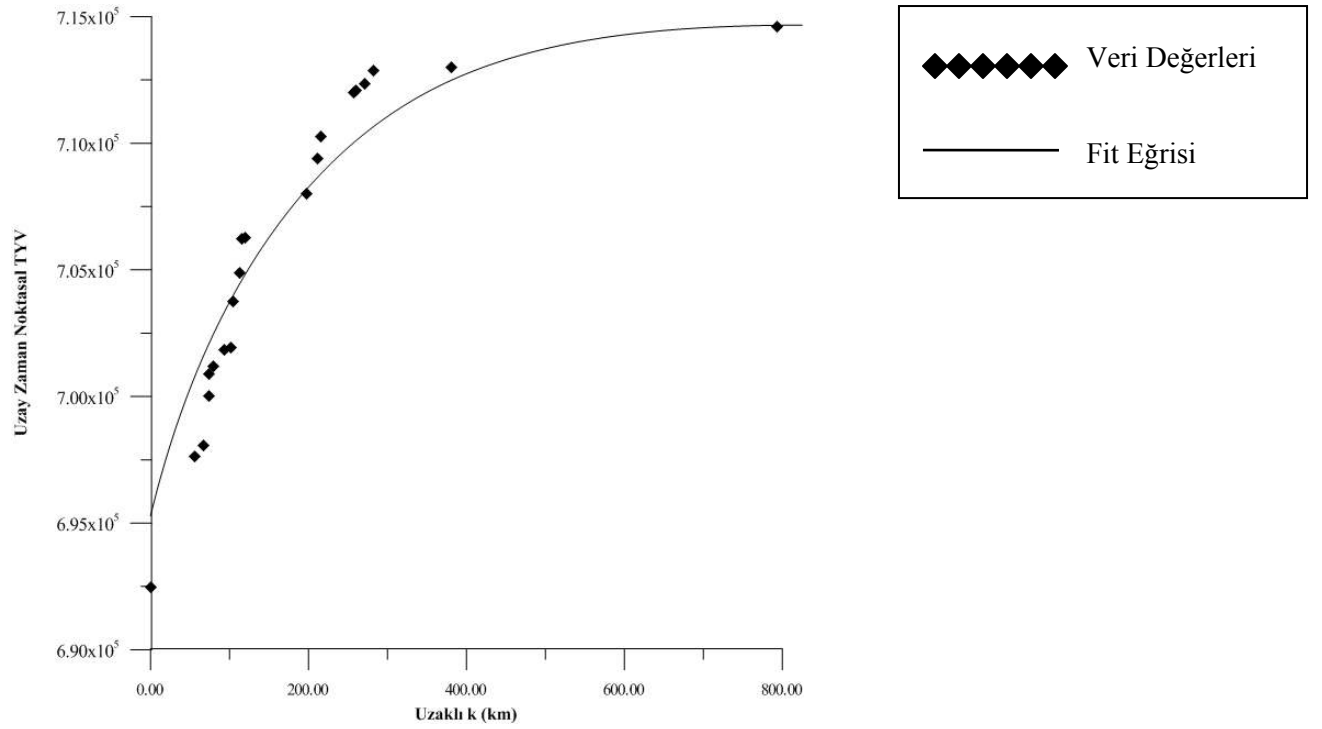
Ek 2 Şekil 1.17. 1 saatte 17. istasyon



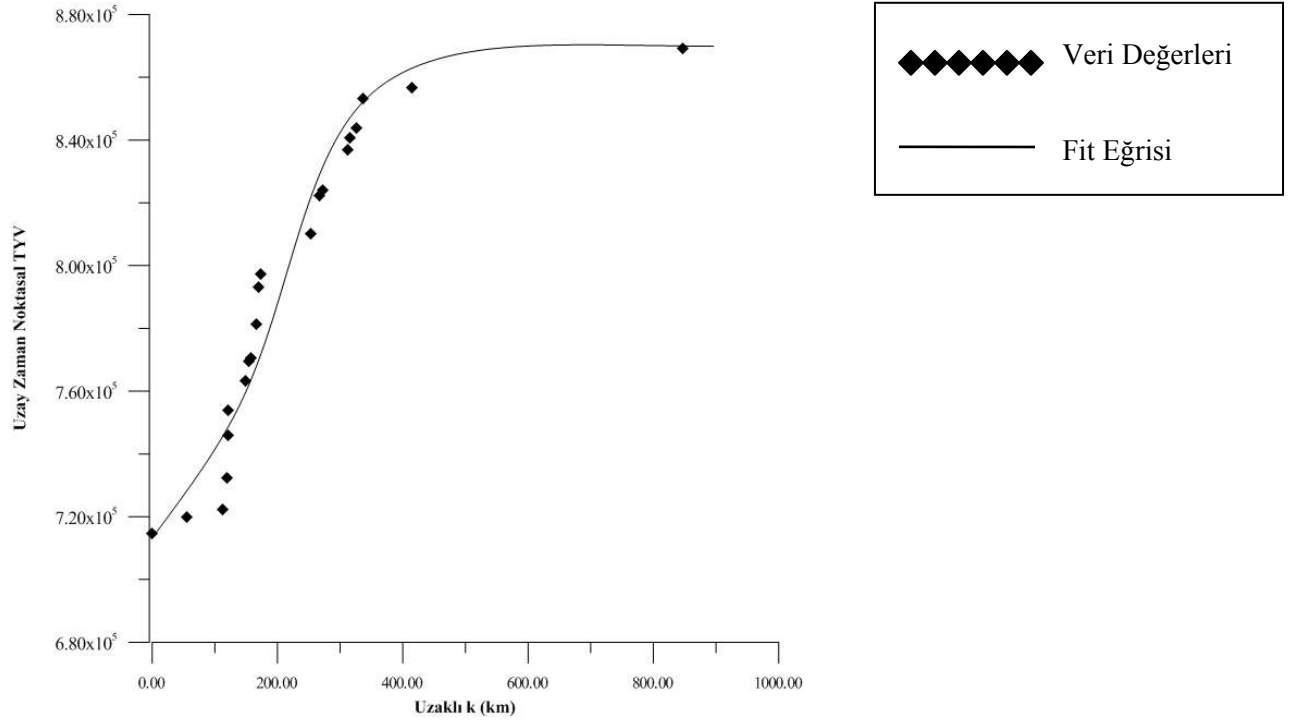
Ek 2 Şekil 1.18. 1 saatte 18. istasyon



Ek 2 Şekil 1.19. 1 saatte 19. istasyon



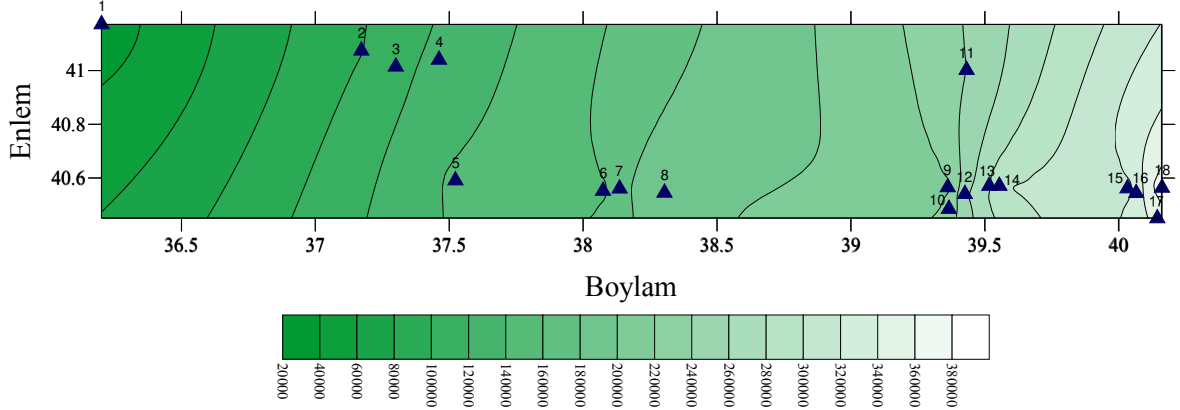
Ek 2 Şekil 1.20. 1 saatte 20. istasyon



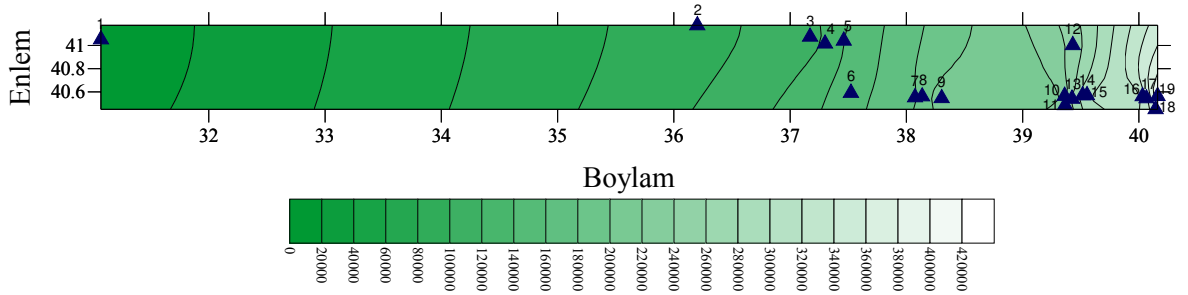
Ek 2 Şekil 1.21. 1 saatte 21. istasyon

**EK 3A**

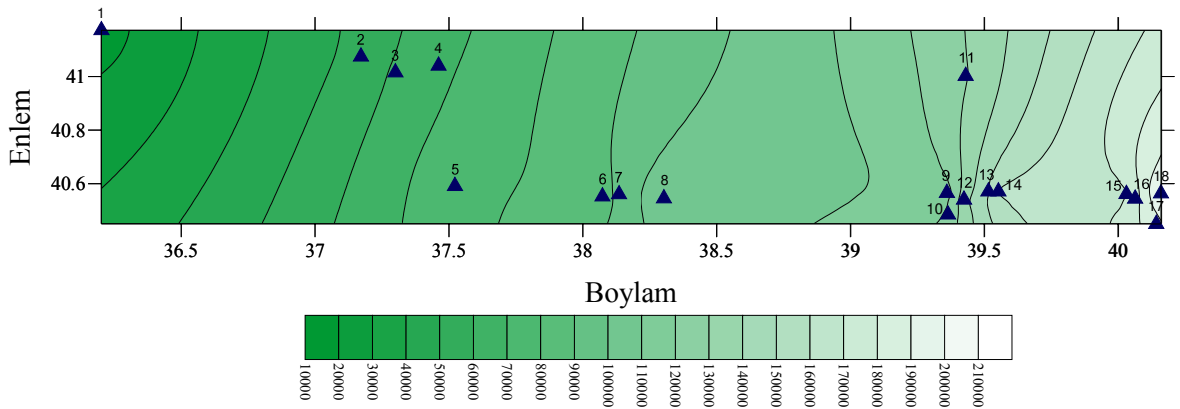
### $^{134}\text{Cs}$ 'ün 7 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



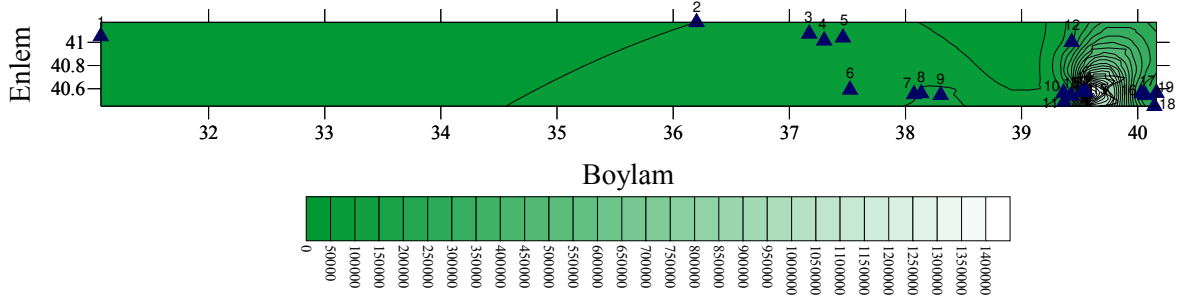
Ek 3A Şekil 1.1. 7 Mayıs 1 saat  $r=82$  km için iso-radyoaktivite haritası



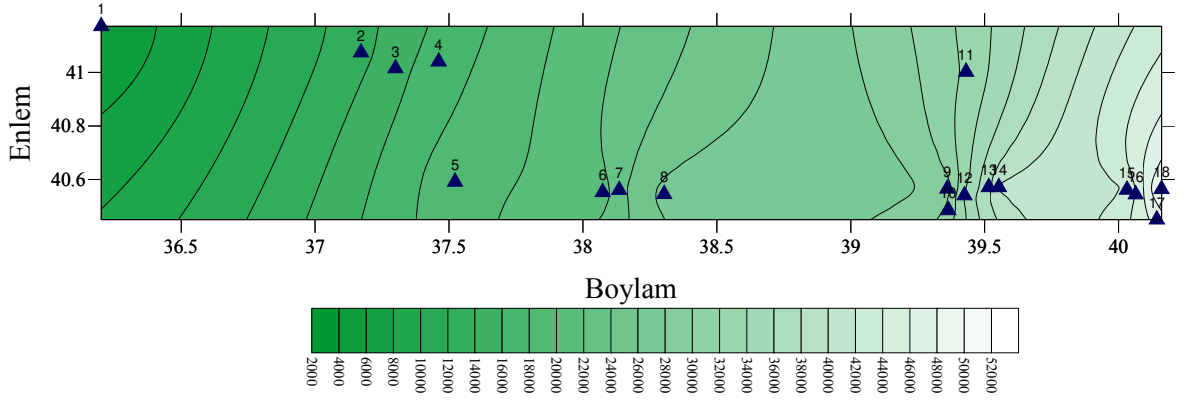
Ek 3A Şekil 1.2. 7 Mayıs 1 saat  $r=438$  km



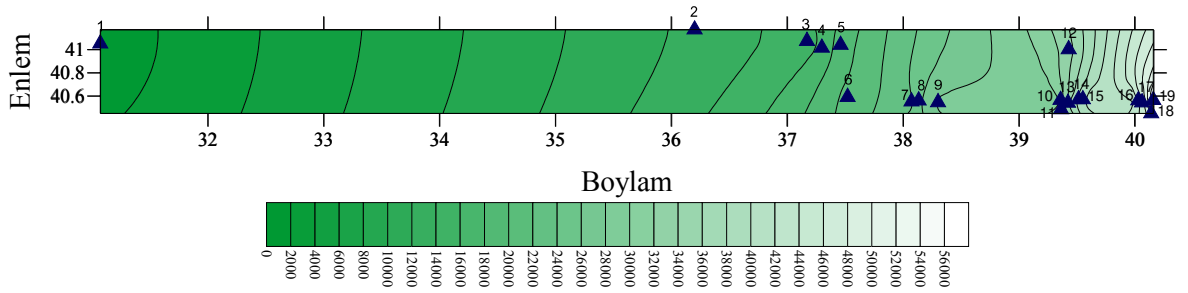
Ek 3A Şekil 1.3. 7 Mayıs 4 saat  $r=82$  km



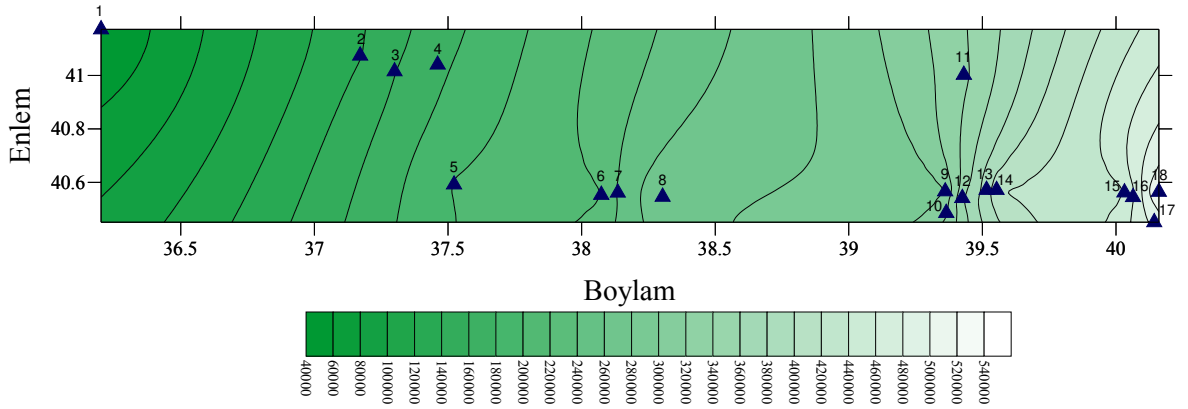
Ek 3A Şekil 1.4. 7 Mayıs 4 saat  $r=438$  km



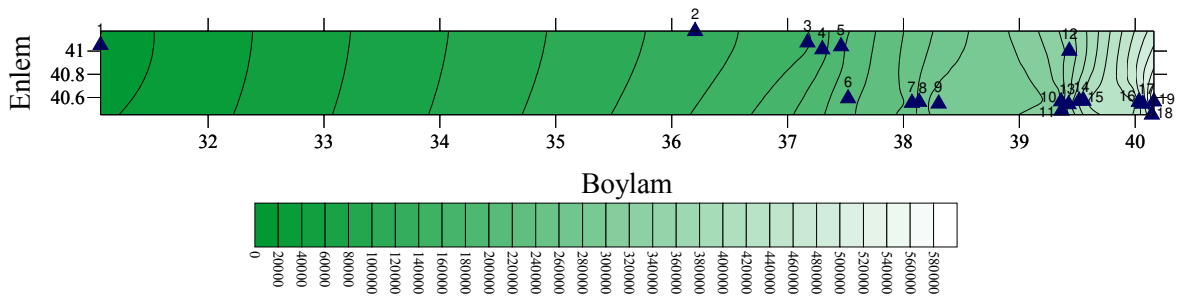
Ek 3A Şekil 1.5. 7 Mayıs 7 saat  $r=82$  km



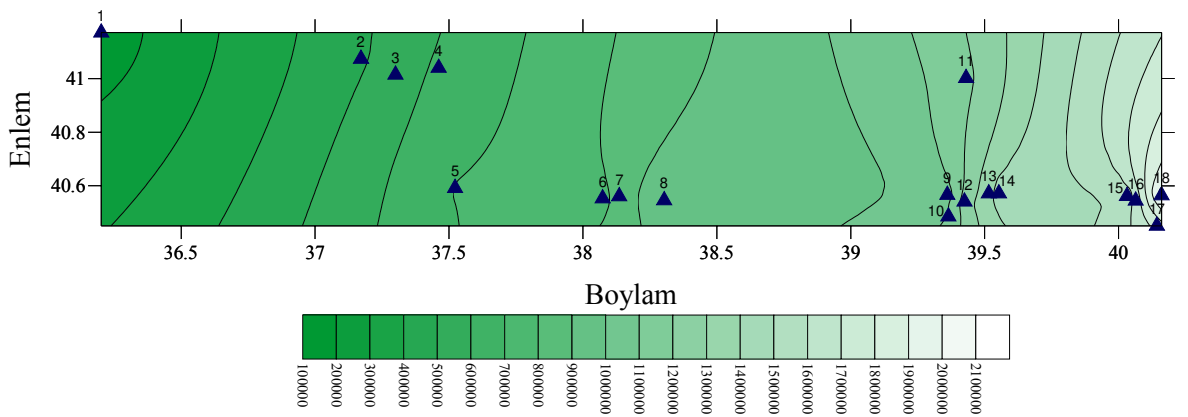
Ek 3A Şekil 1.6. 7 Mayıs 7 saat  $r=438$  km



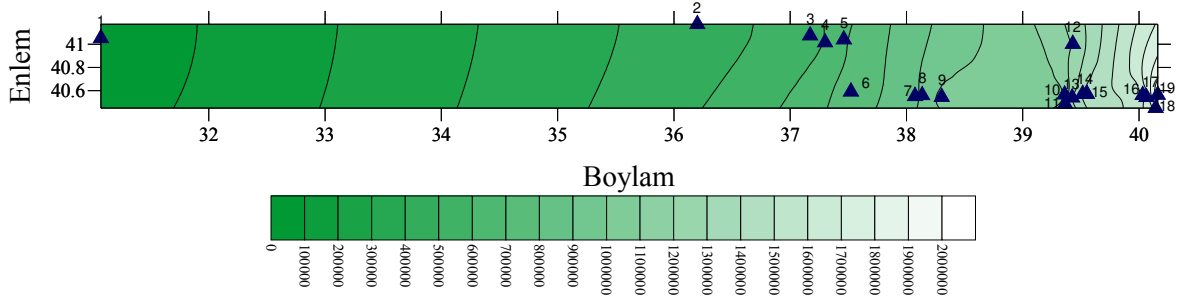
Ek 3A Şekil 1.7. 7 Mayıs 10 saat r=82 km



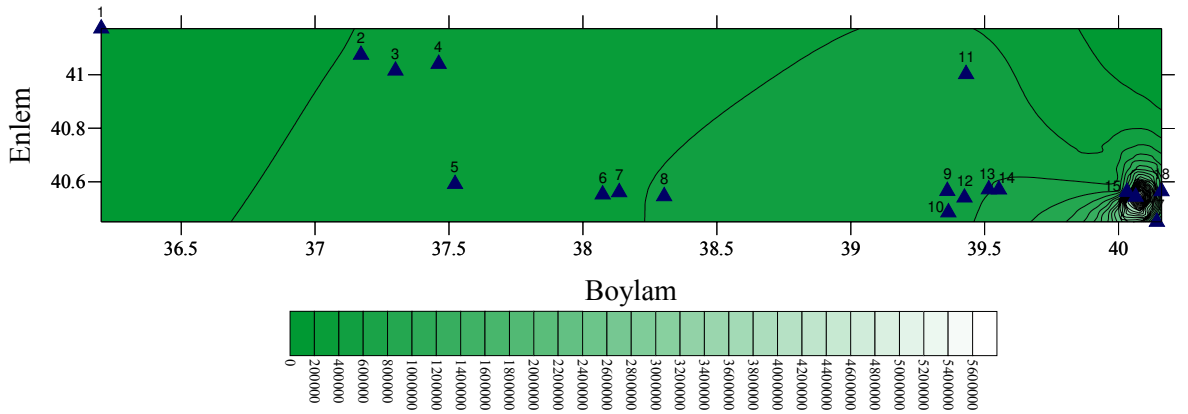
Ek 3A Şekil 1.8. 7 Mayıs 10 saat r=438 km



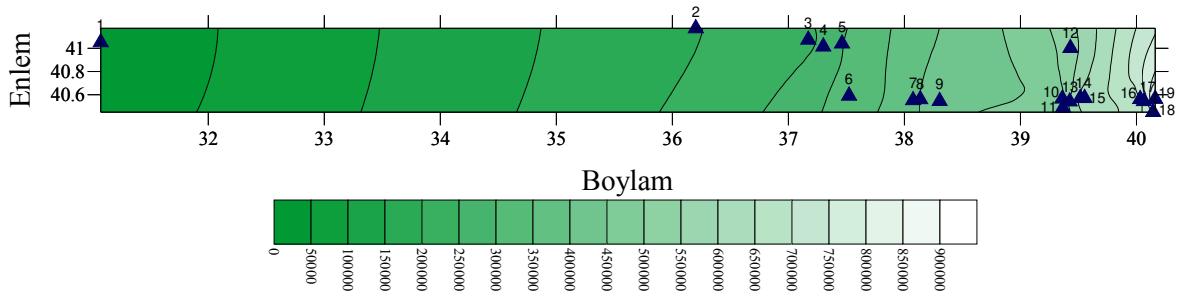
Ek 3A Şekil 1.9. 7 Mayıs 13 saat r=82 km



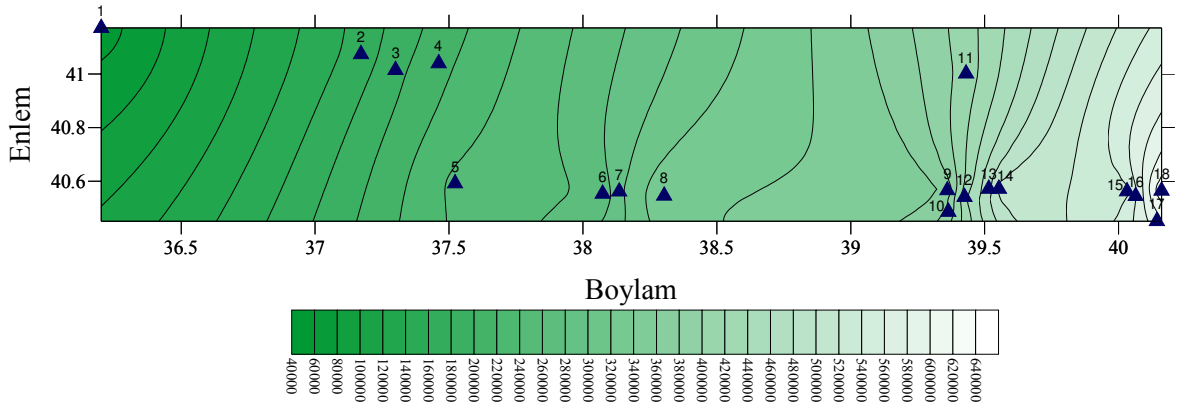
Ek 3A Şekil 1.10. 7 Mayıs 13 saat  $r=438$  km



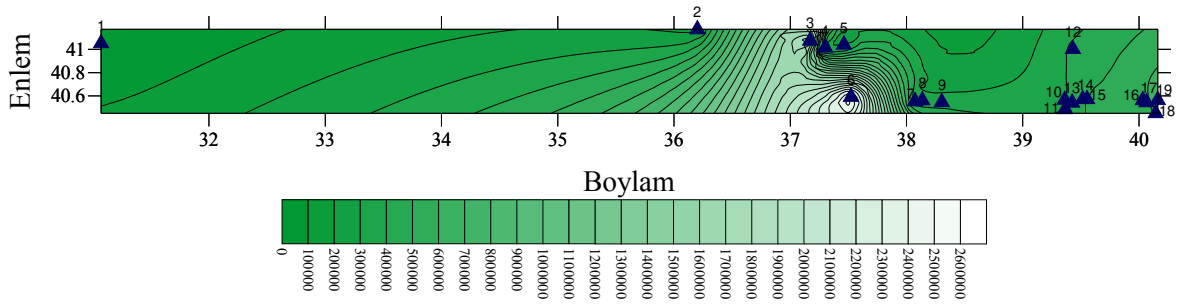
Ek 3A Şekil 1.11. 7 Mayıs 16 saat  $r=82$  km



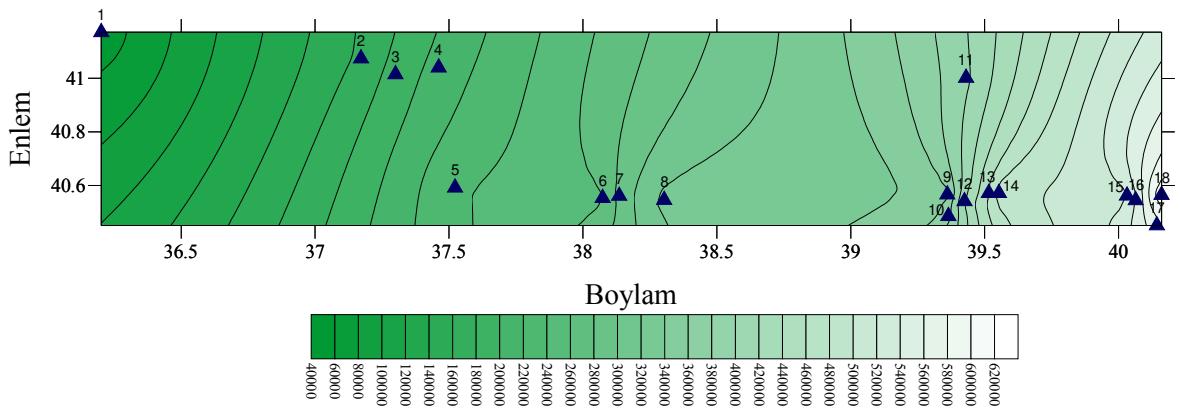
Ek 3A Şekil 1.12. 7 Mayıs 16 saat  $r=438$  km



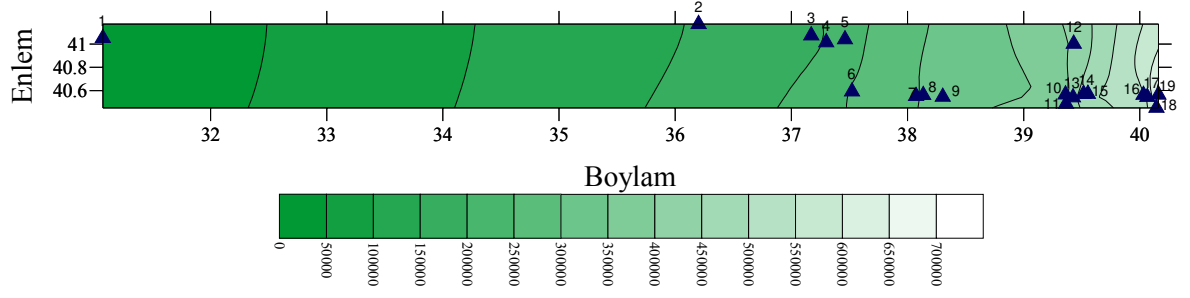
Ek 3A Şekil 1.13. 7 Mayıs 19 saat  $r=82$  km



Ek 3A Şekil 1.14. 7 Mayıs 19 saat  $r=438$  km



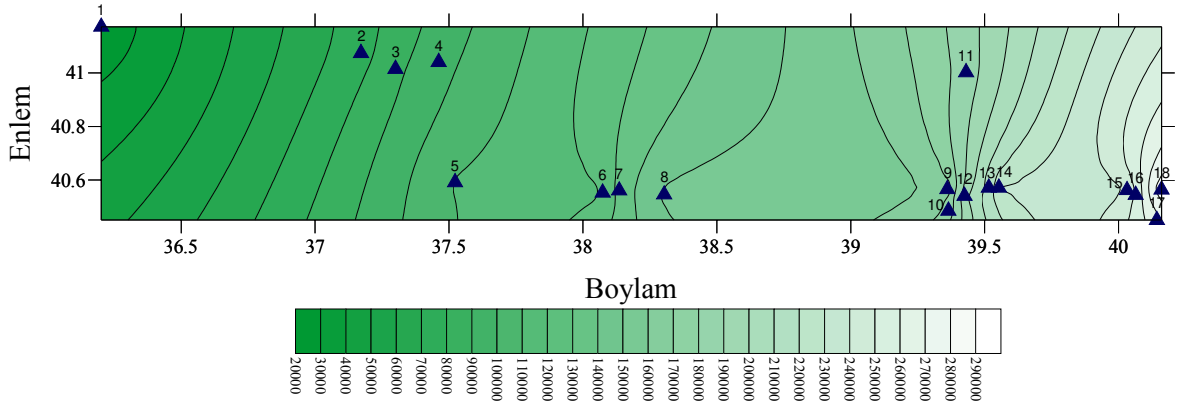
Ek 3A Şekil 1.15. 7 Mayıs 22 saat  $r=82$  km



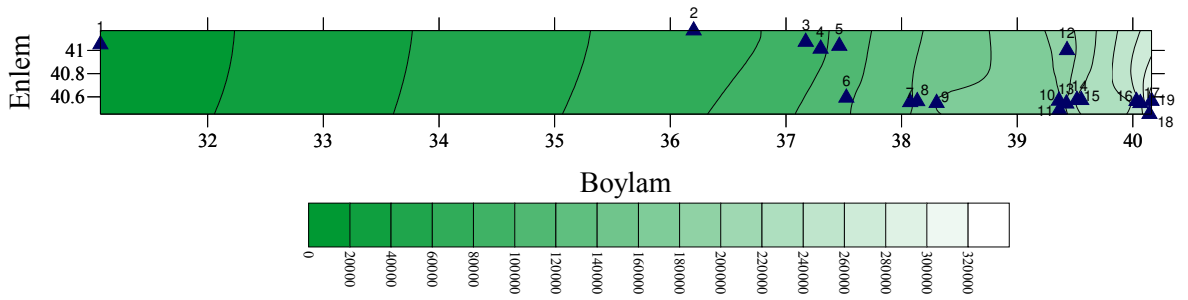
Ek 3A Şekil 1.16. 7 Mayıs 22 saat  $r=438$  km

**EK 3B**

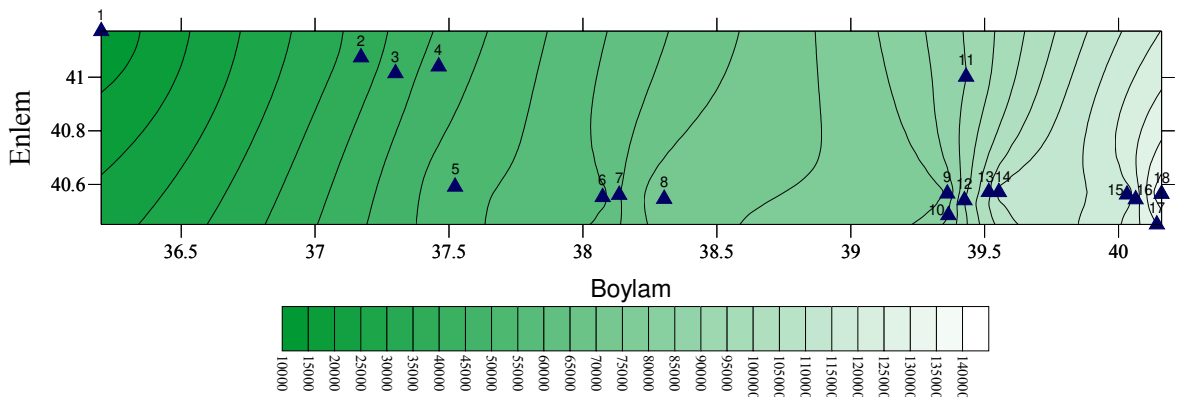
### <sup>134</sup>Cs'ün 8 Mayıs için Çizilen İzo-radioaktivite Haritaları



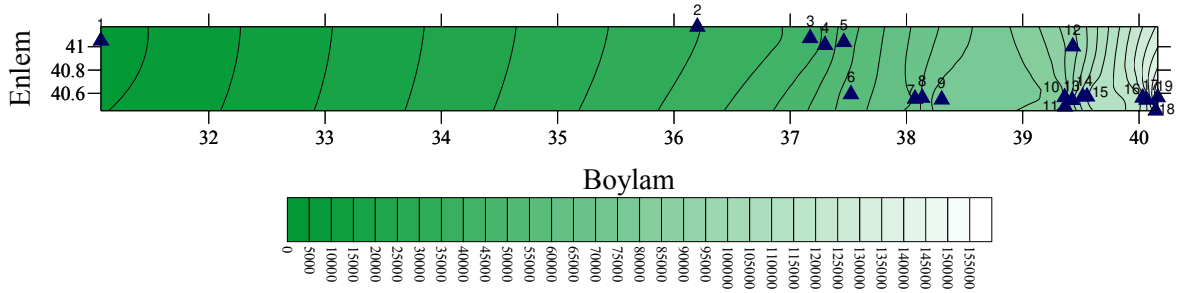
Ek 3B Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



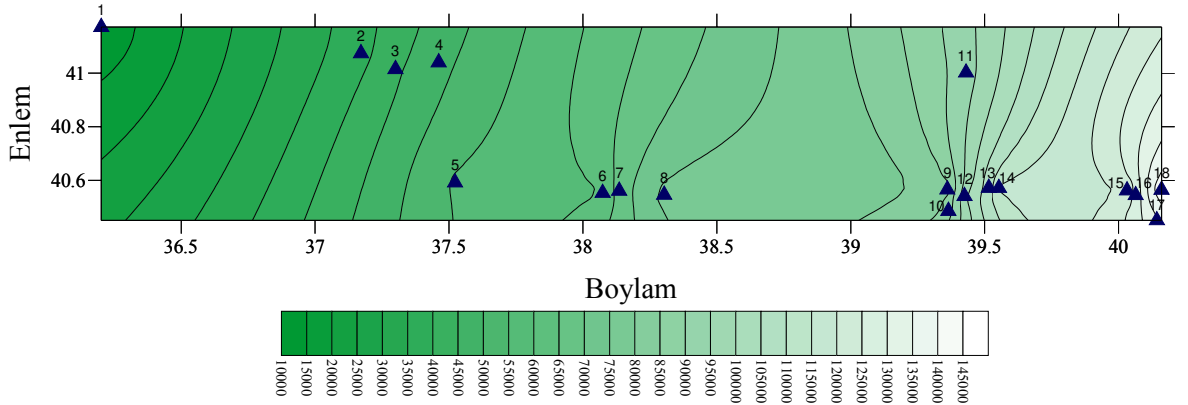
Ek 3B Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



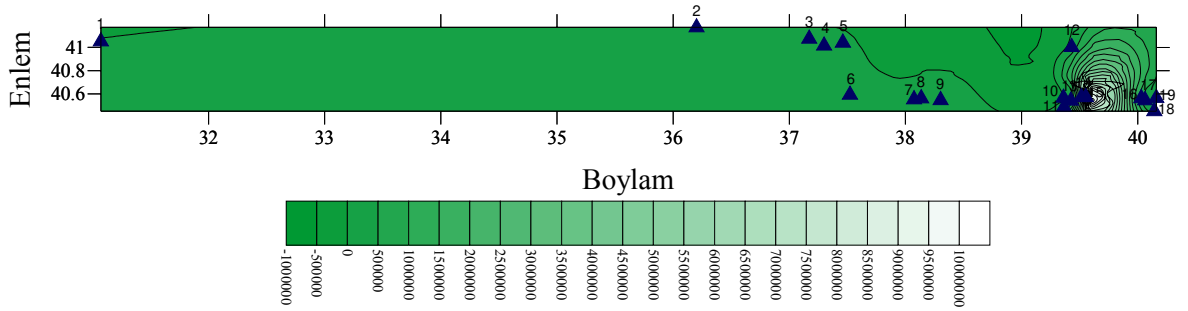
Ek 3B Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



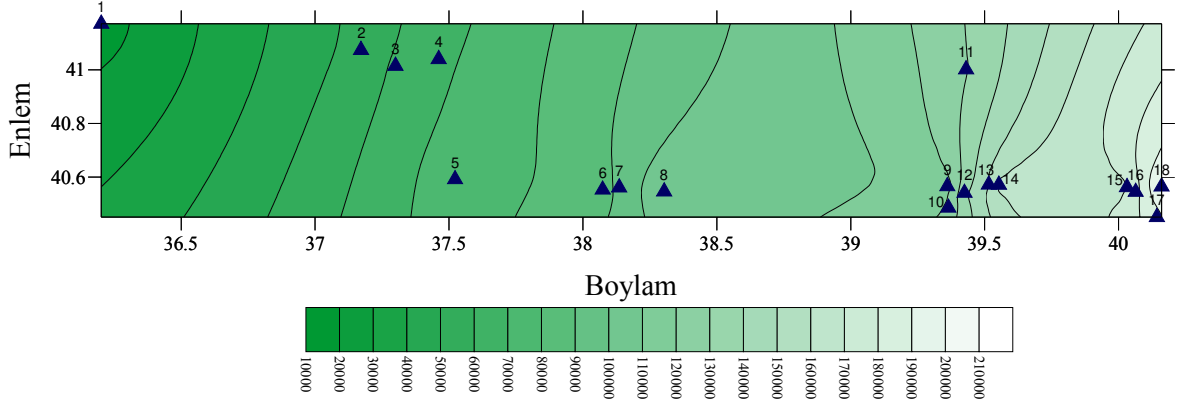
Ek 3B Şekil 1.4. 4 saat  $r=438$  km



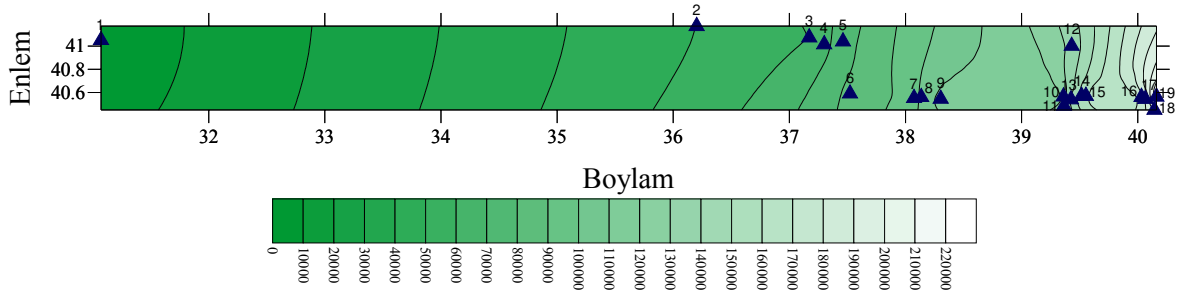
Ek 3B Şekil 1.5. 7 saat  $r=82$  km



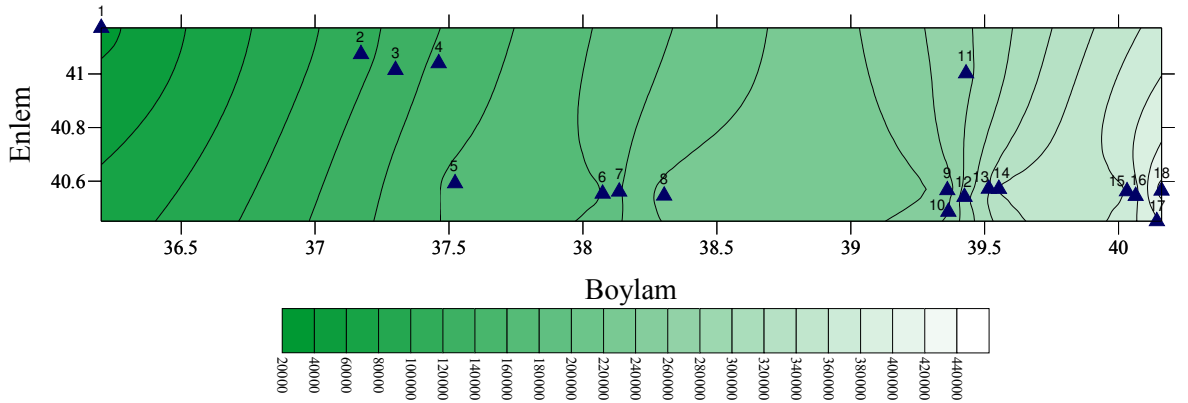
Ek 3B Şekil 1.6. 7 saat  $r=438$  km



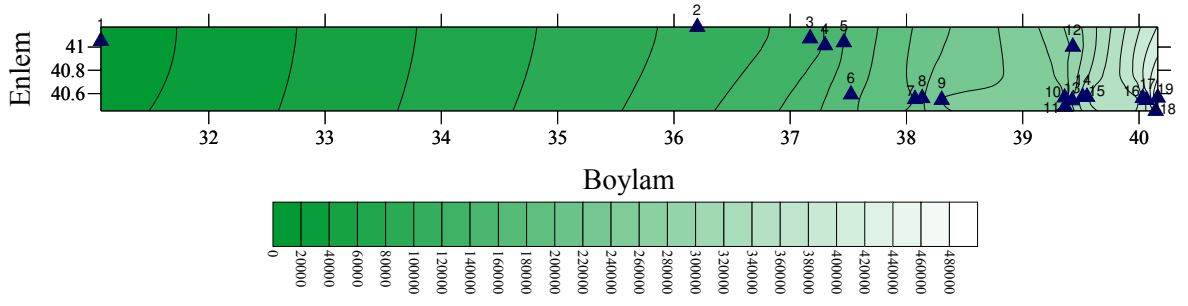
Ek 3B Şekil 1.7. 10 saat  $r=82$  km



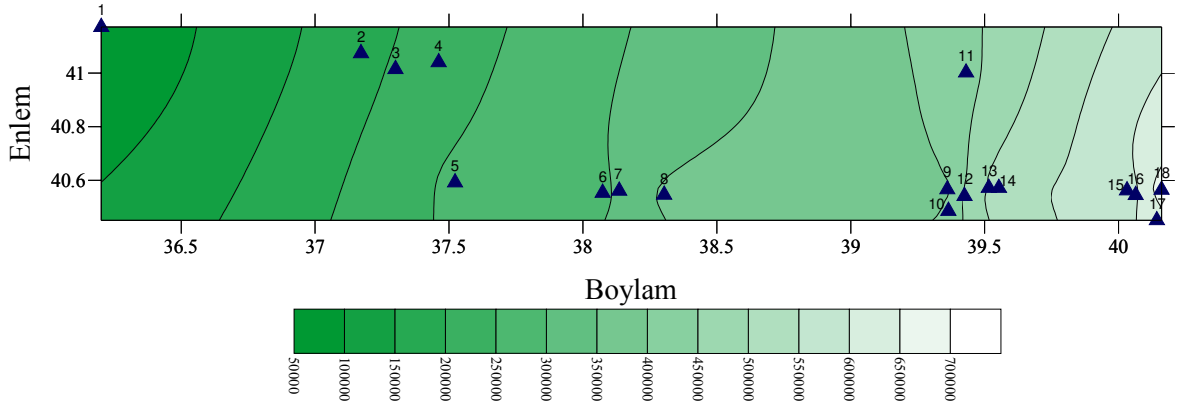
Ek 3B Şekil 1.8. 10 saat  $r=438$  km



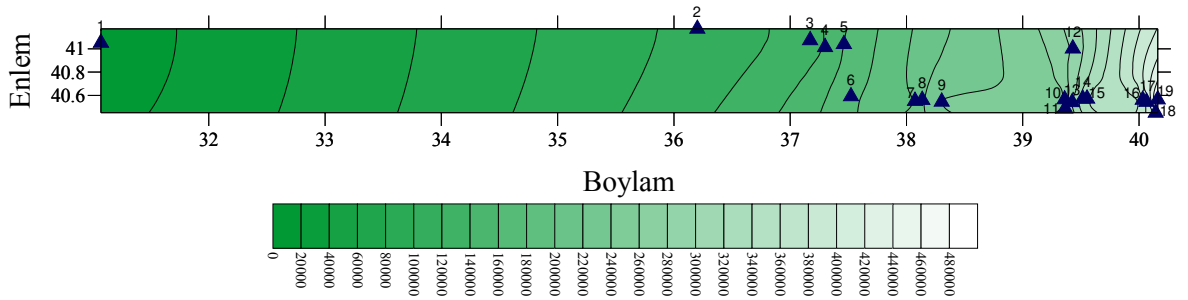
Ek 3B Şekil 1.9 13 saat  $r=82$  km



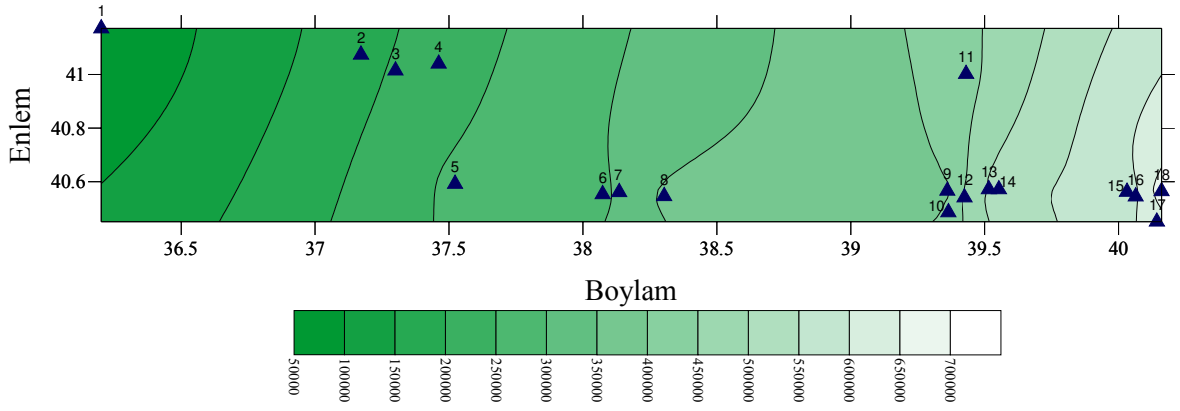
Ek 3B Şekil 1.10. 13 saat  $r=438$  km



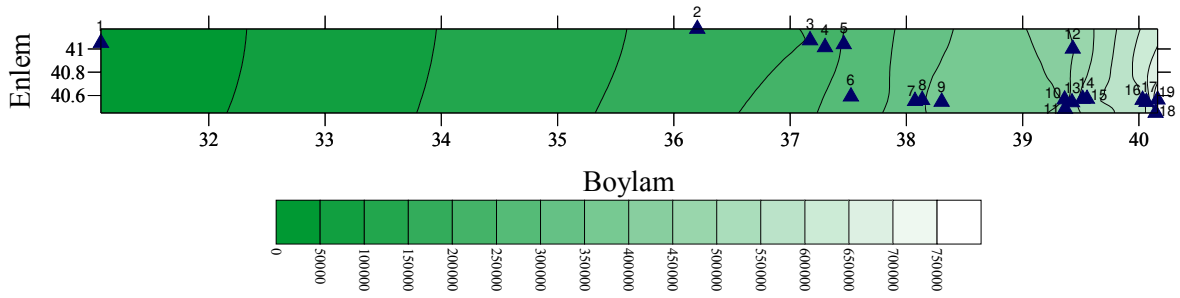
Ek 3B Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



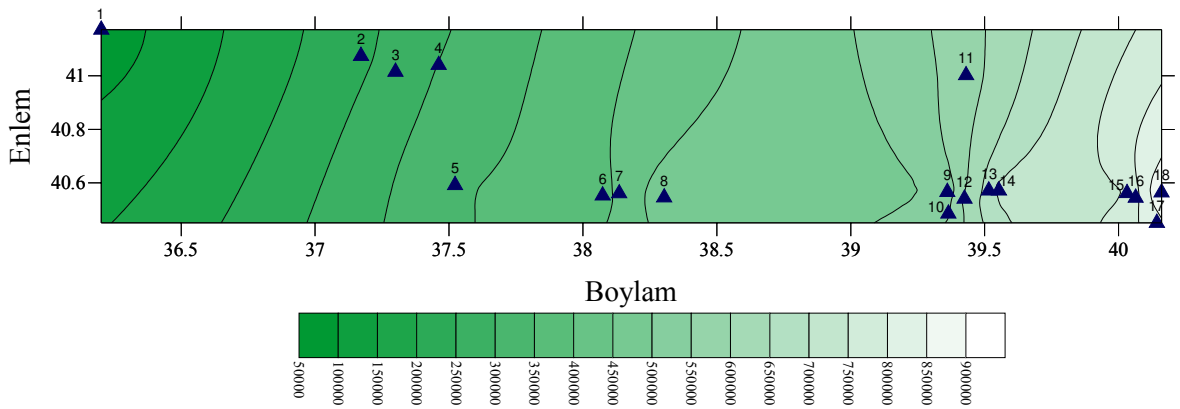
Ek 3B Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



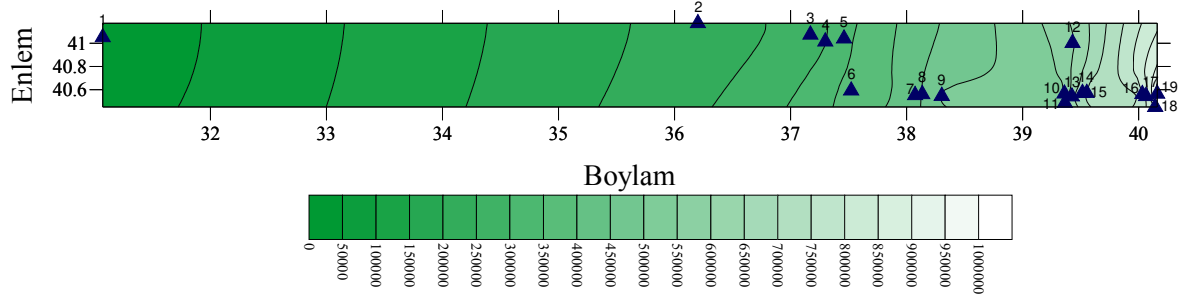
Ek 3B Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 3B Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



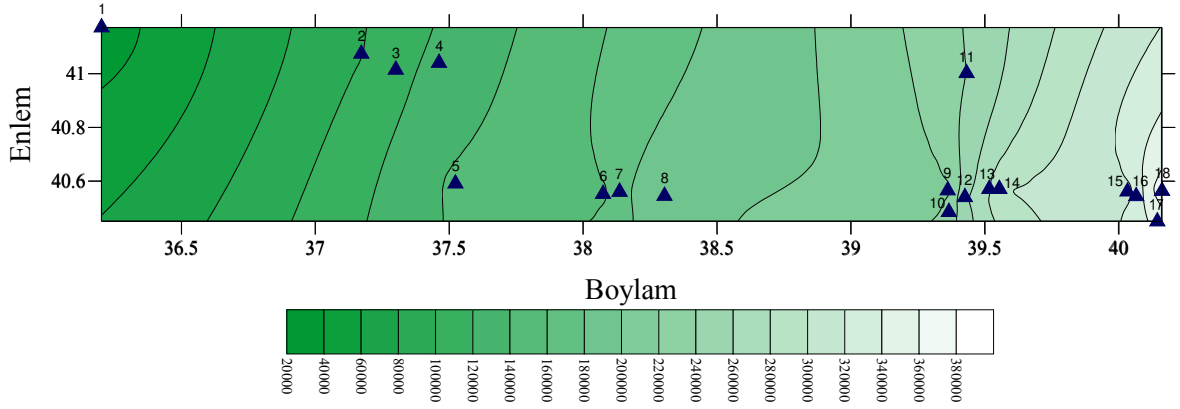
Ek 3B Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



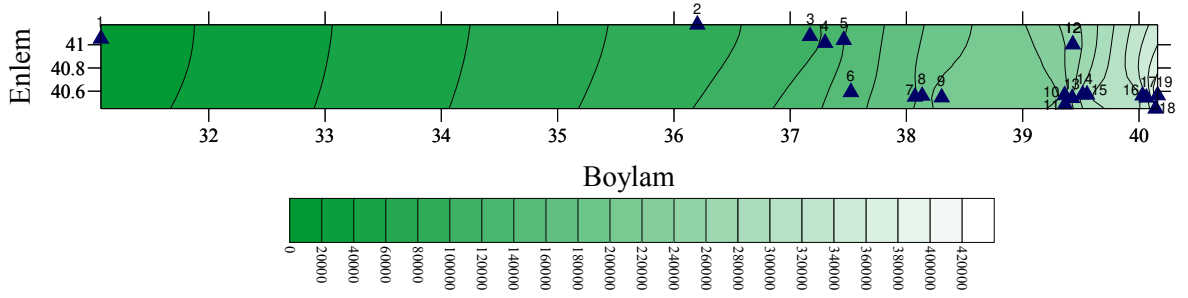
Ek 3B Şekil 1.16. 22 saat  $r=438$  km

**EK 3C**

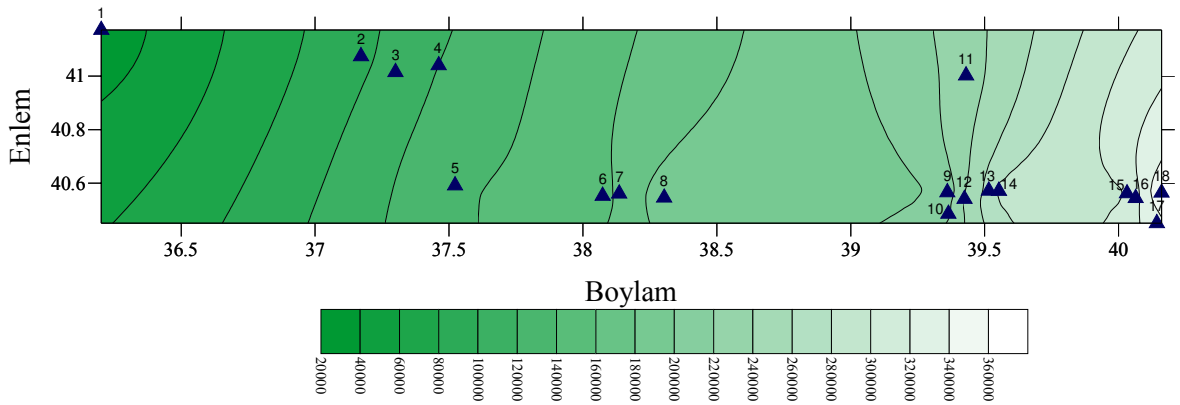
### $^{134}\text{Cs}$ 'ün 9 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



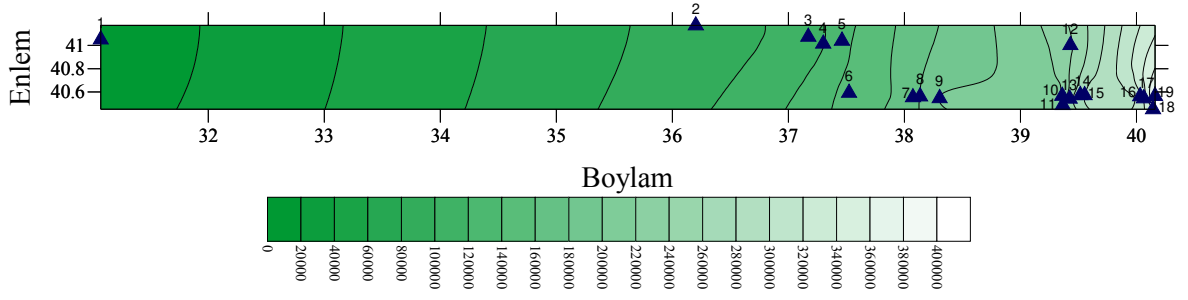
Ek 3C Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



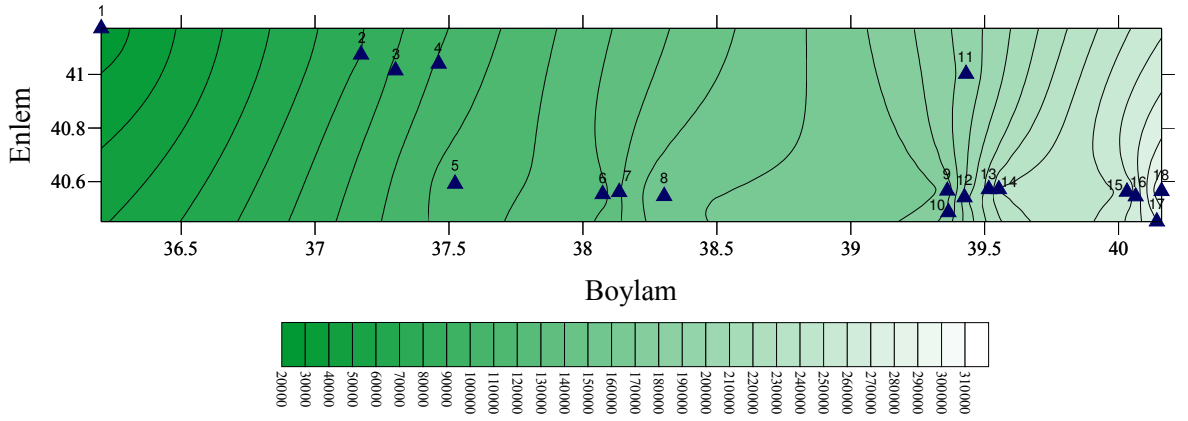
Ek 3C Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



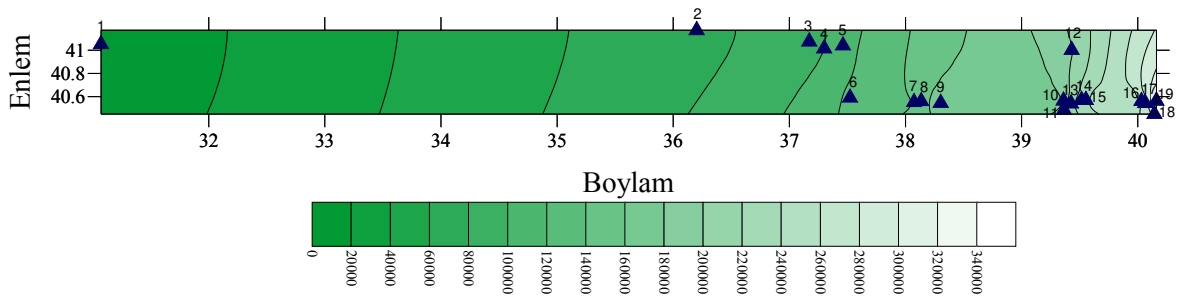
Ek 3C Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



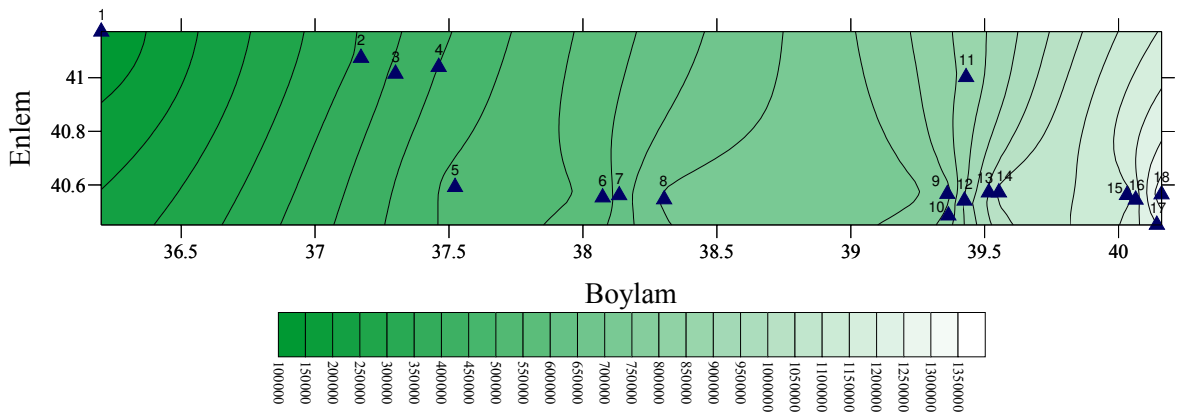
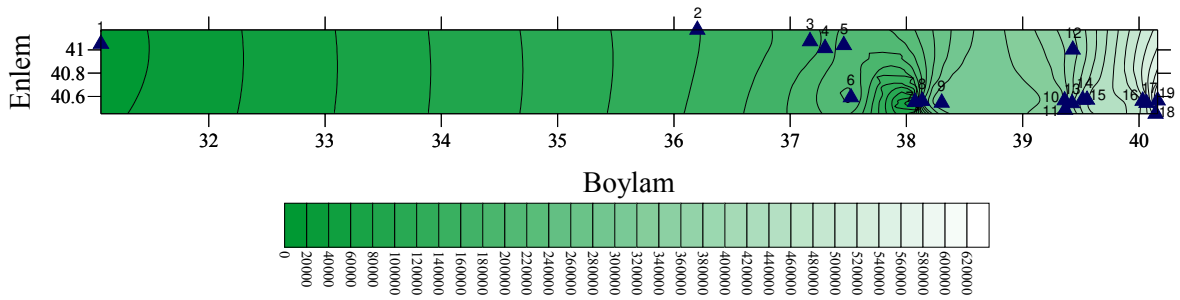
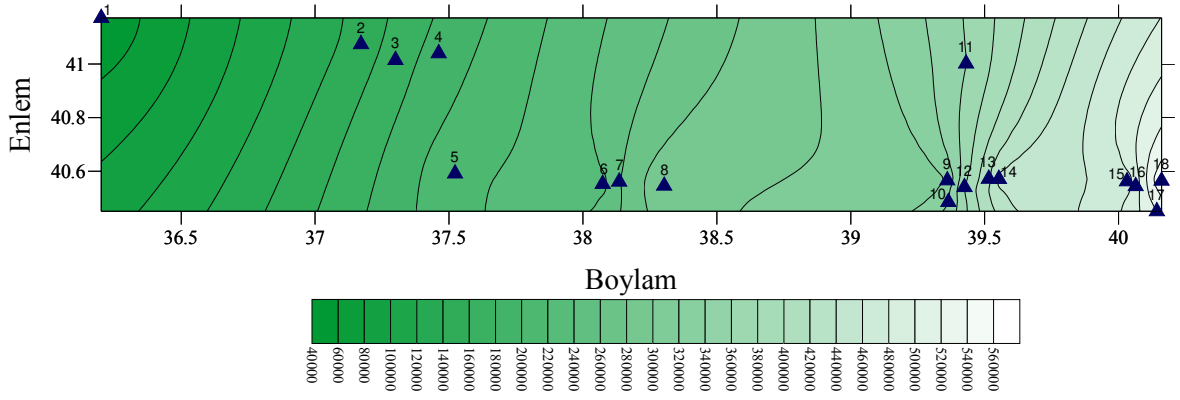
Ek 3C Şekil 1.4. 4 saat r=438 km

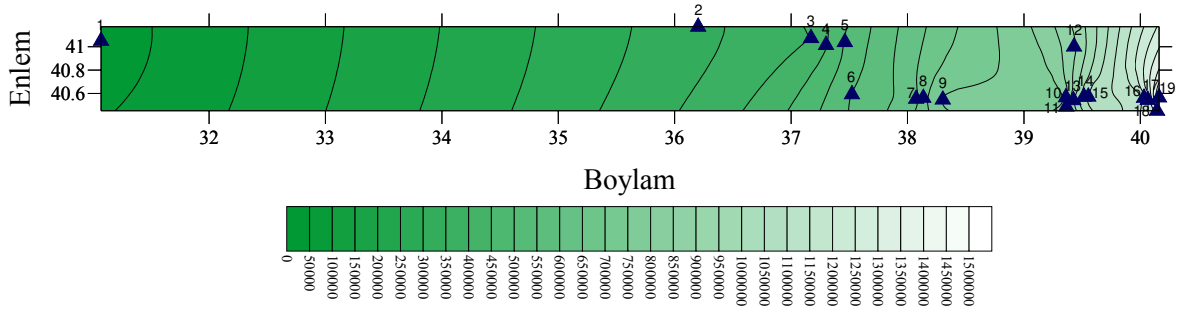


Ek 3C Şekil 1.5. 7 saat r=82 km

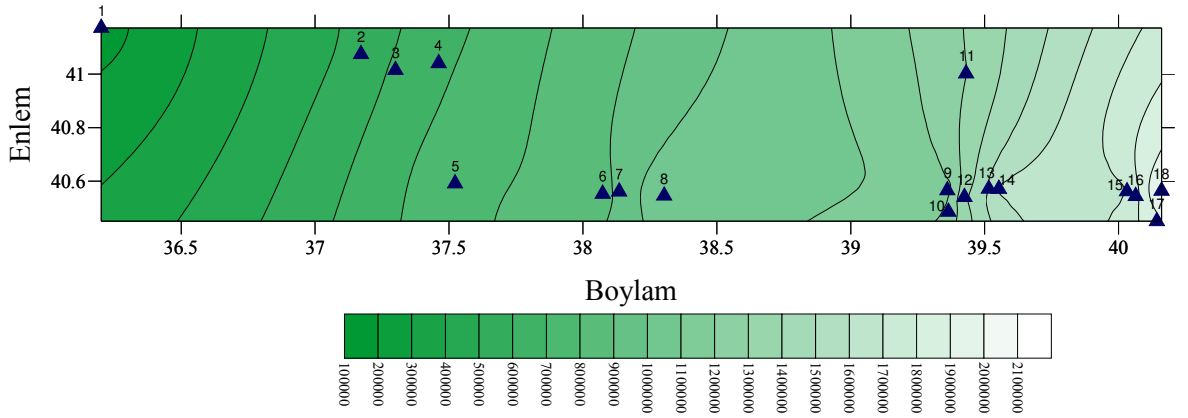


Ek 3C Şekil 1.6. 7 saat r=438 km

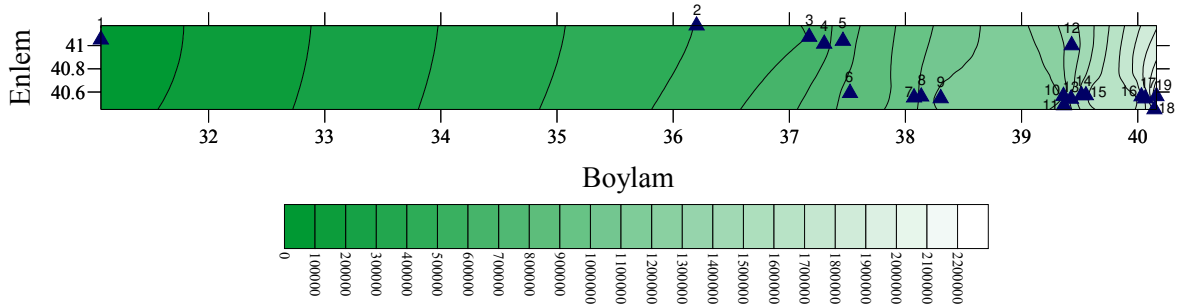




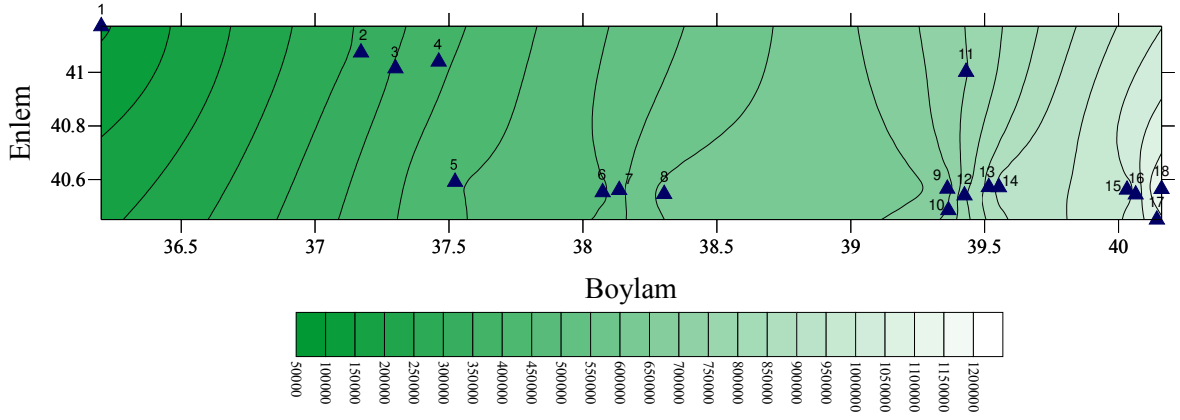
Ek 3C Şekil 1.10. 13 saat  $r=438$  km



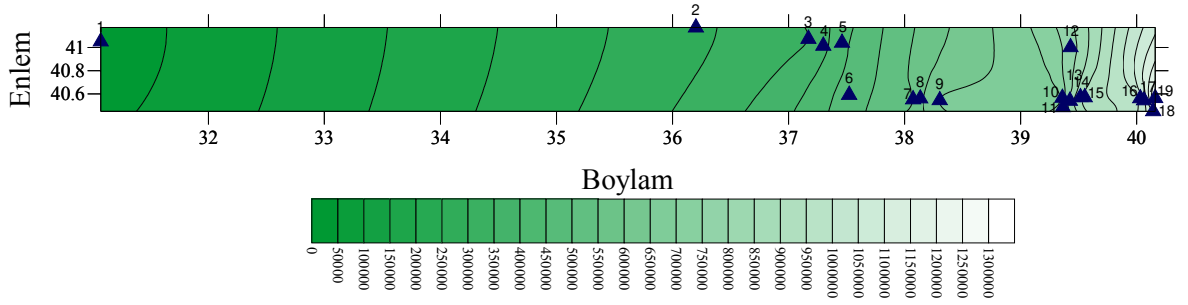
Ek 3C Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



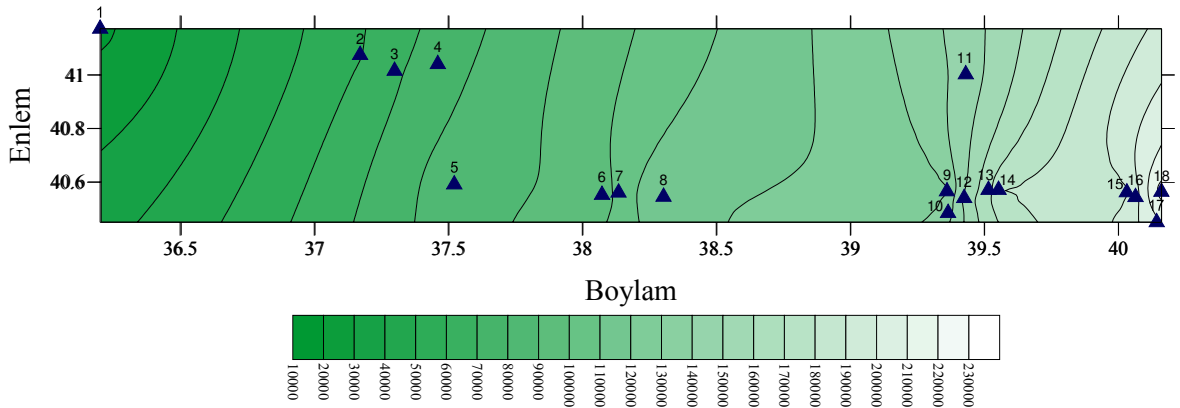
Ek 3C Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



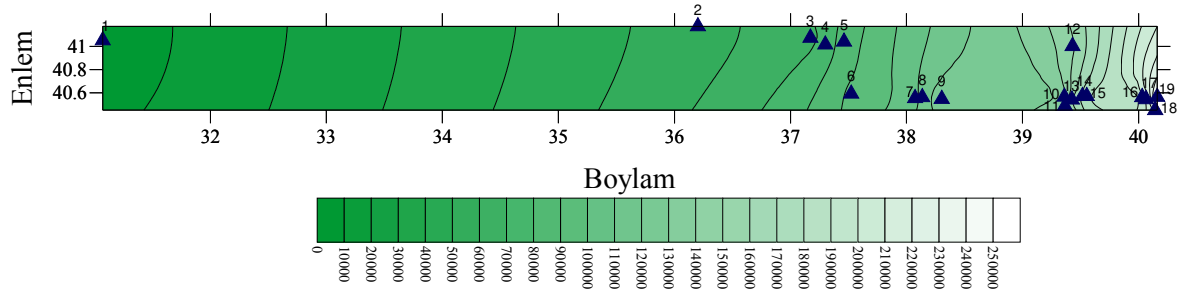
Ek 3C Şekil 1.13. 19 saat r=82 km



Ek 3C Şekil 1.14. 19 saat r=438 km



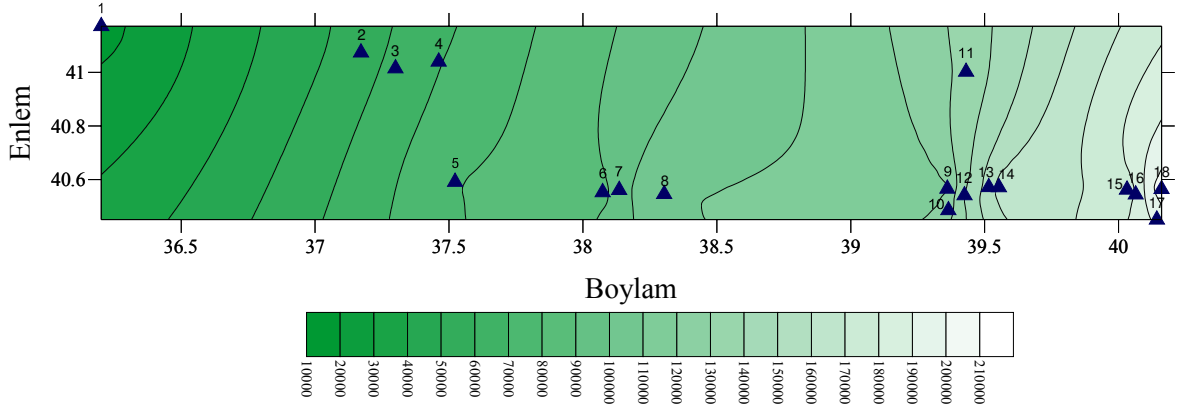
Ek 3C Şekil 1.15. 22 saat r=82 km



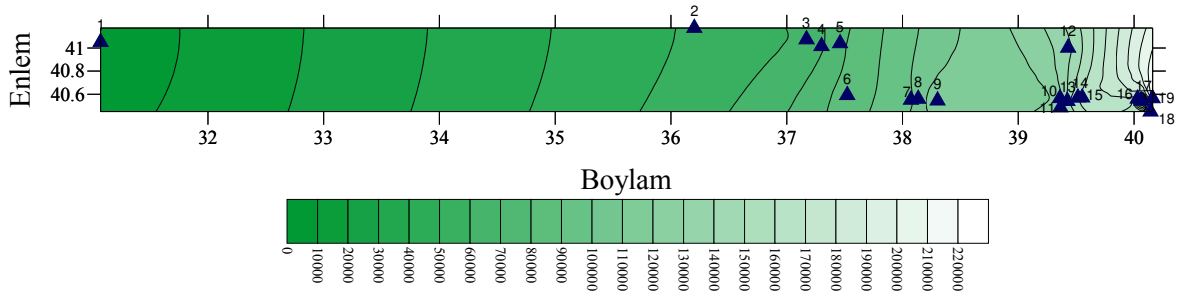
Ek 3C Şekil 1.16. 22 saat r=438 km

**EK 3D**

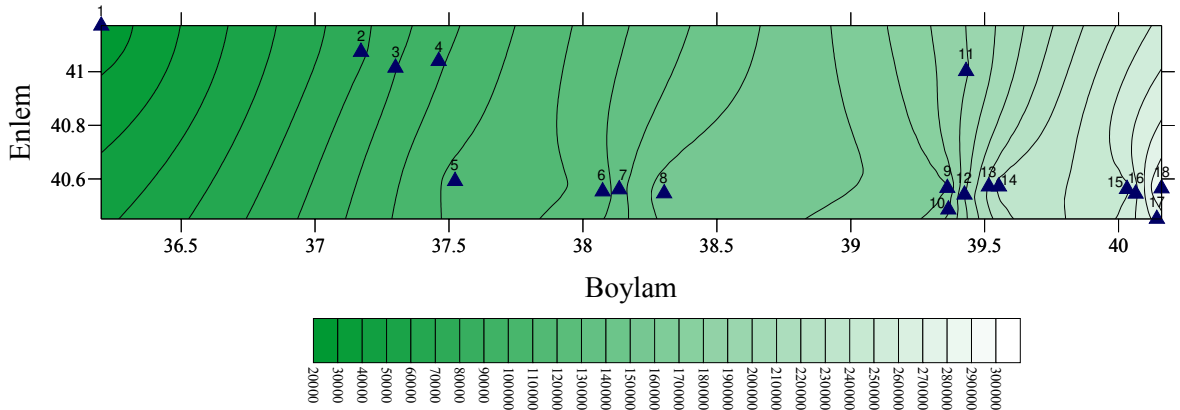
### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



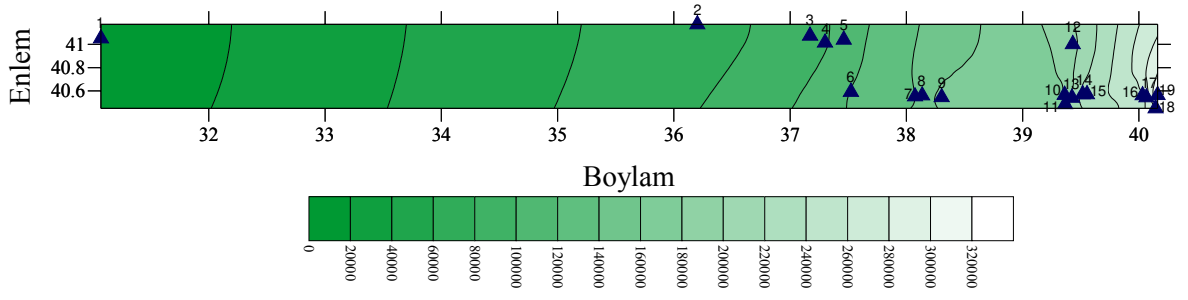
Ek 3D Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



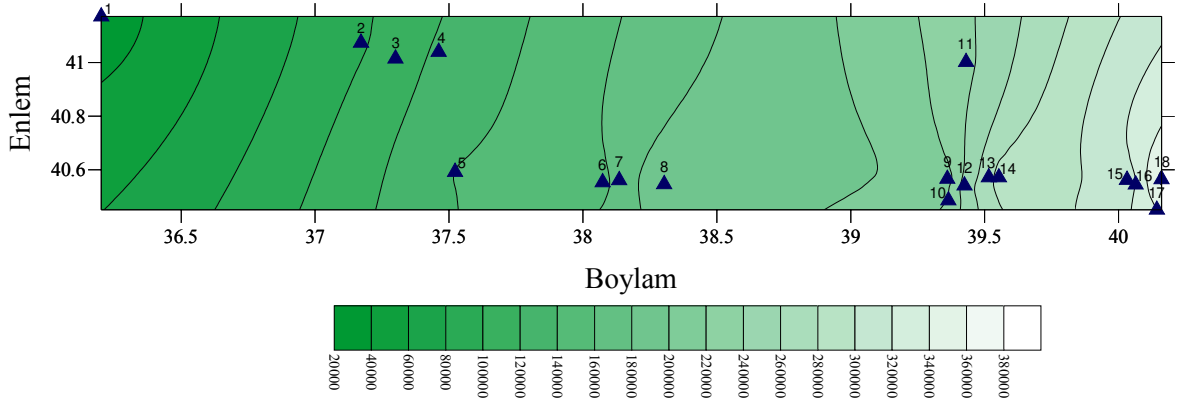
Ek 3D Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



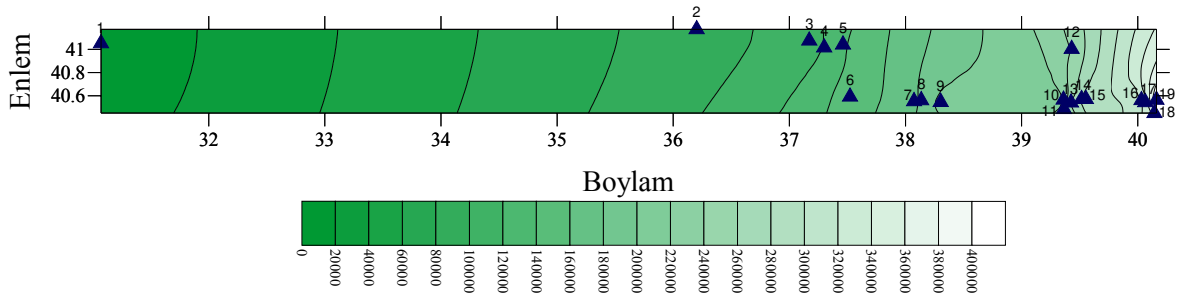
Ek 3D Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



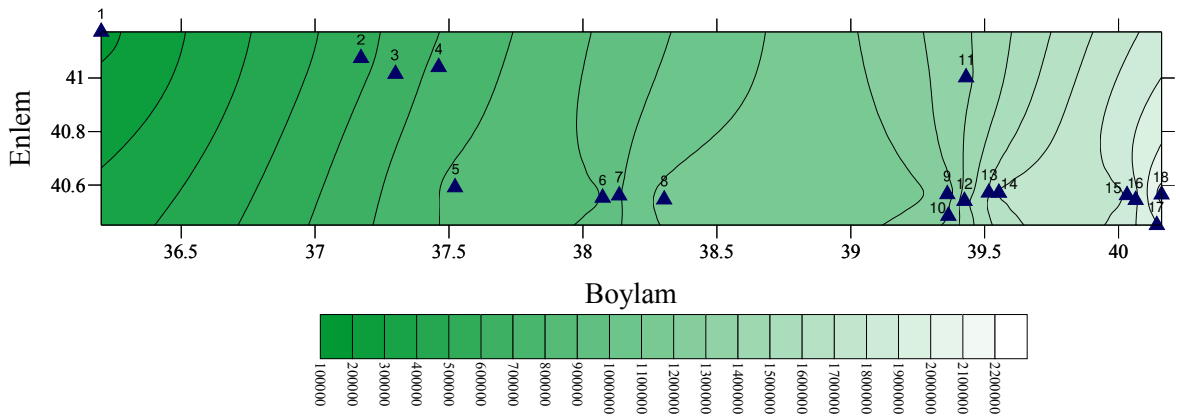
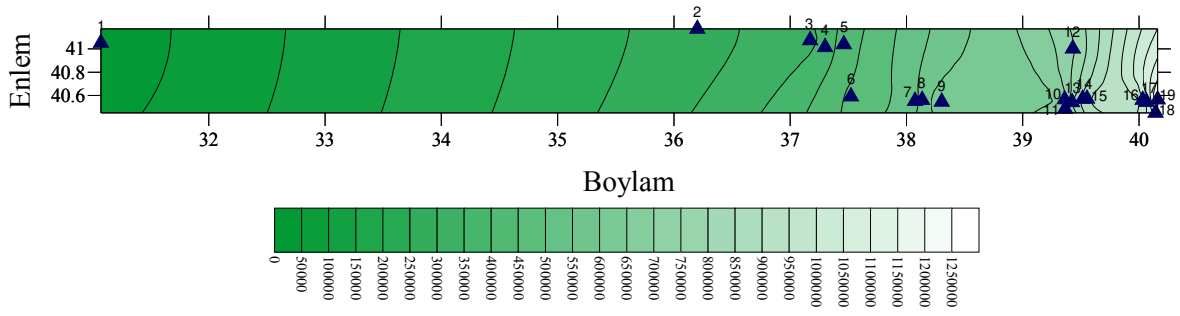
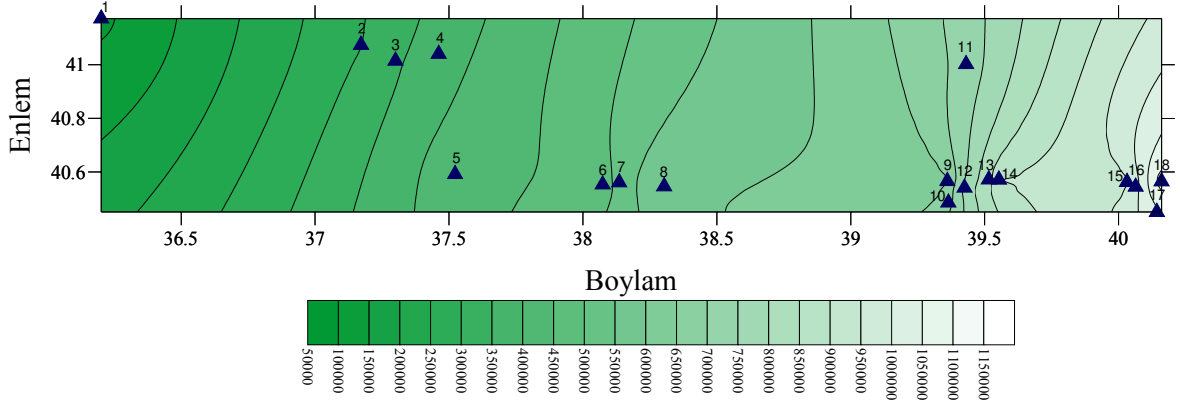
Ek 3D Şekil 1.4. 4 saat  $r=438$  km

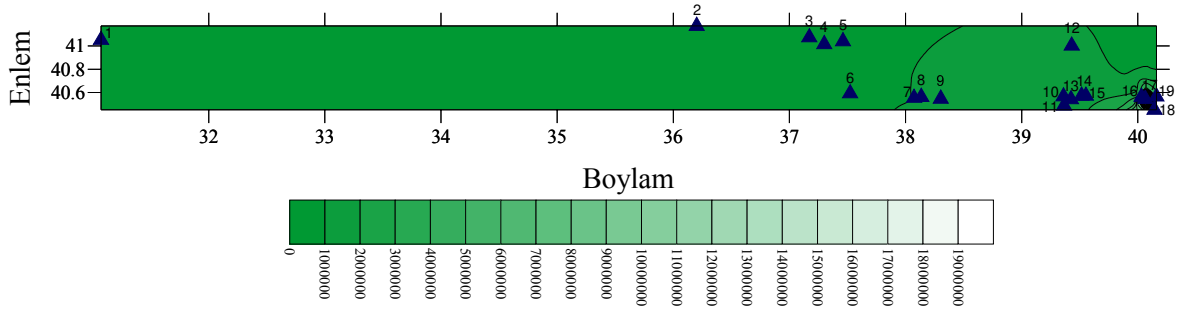


Ek 3D Şekil 1.5. 7 saat  $r=82$  km

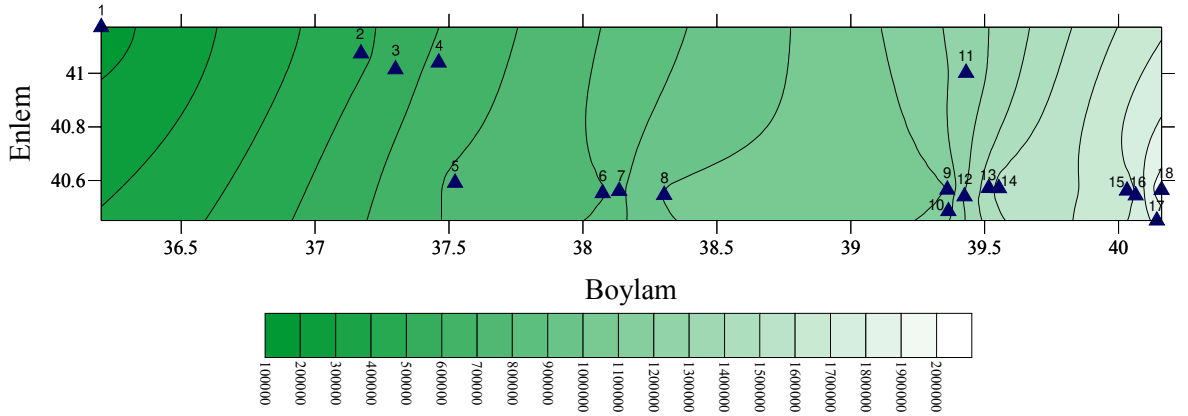


Ek 3D Şekil 1.6. 7 saat  $r=438$  km

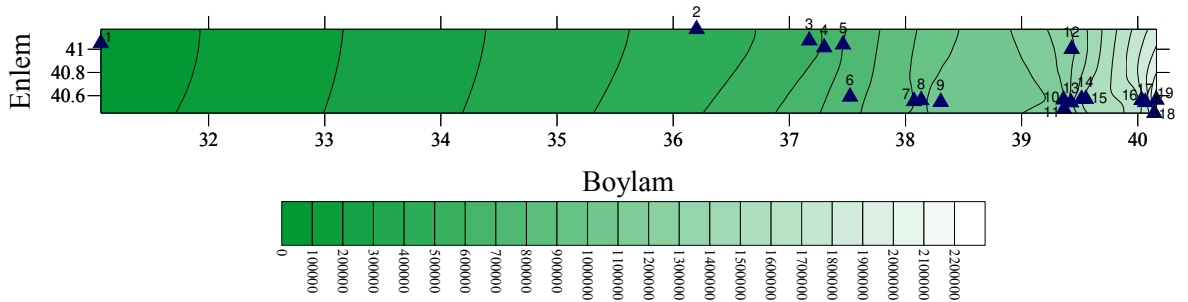




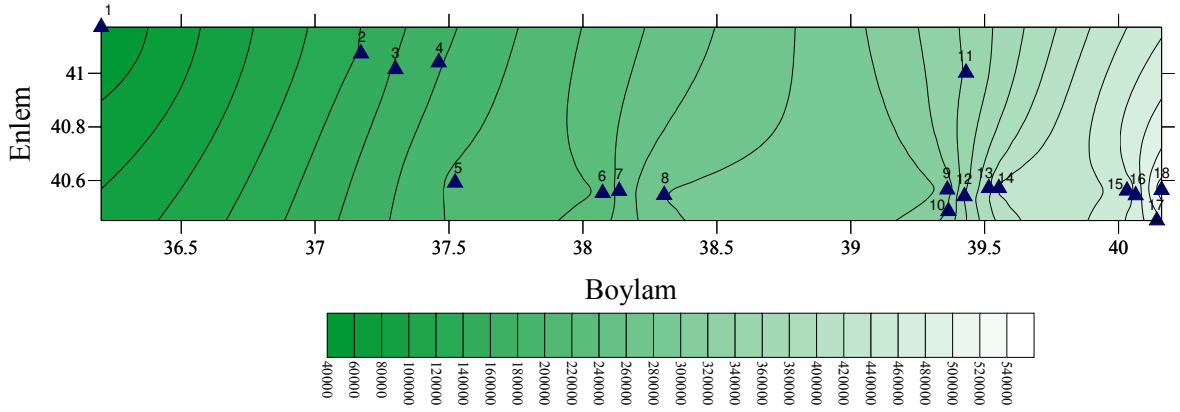
Ek 3D Şekil 1.10. 13 saat  $r=438$  km



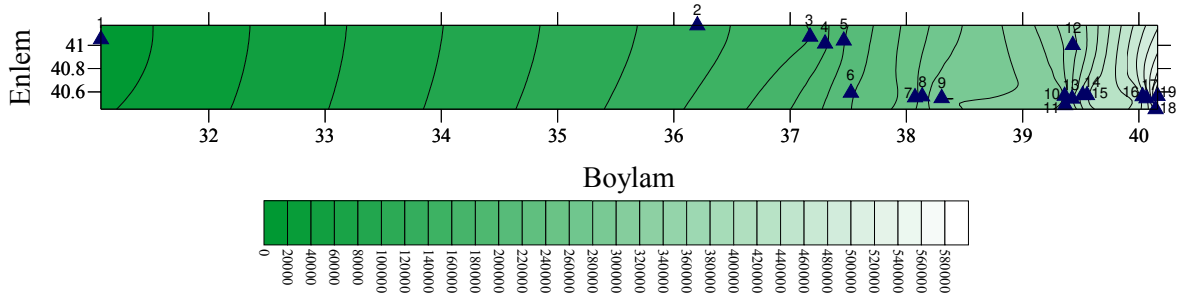
Ek 3D Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



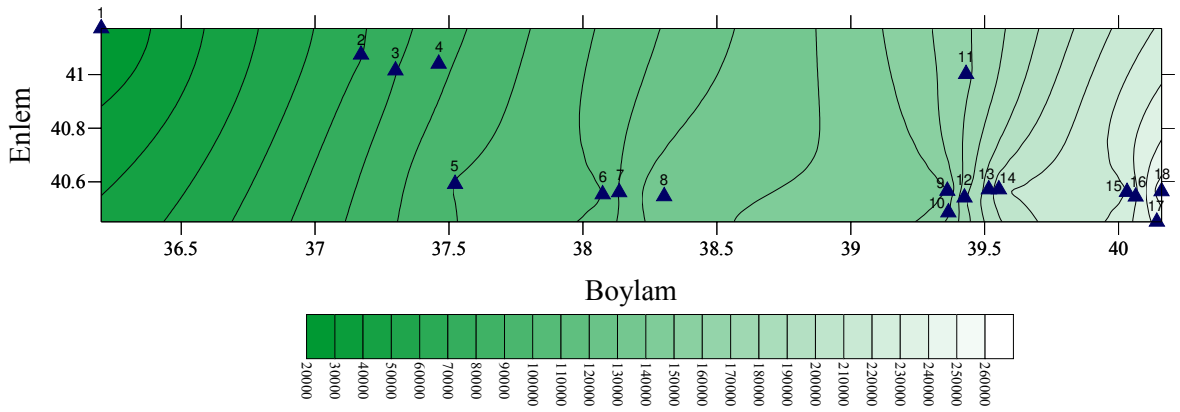
Ek 3D Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



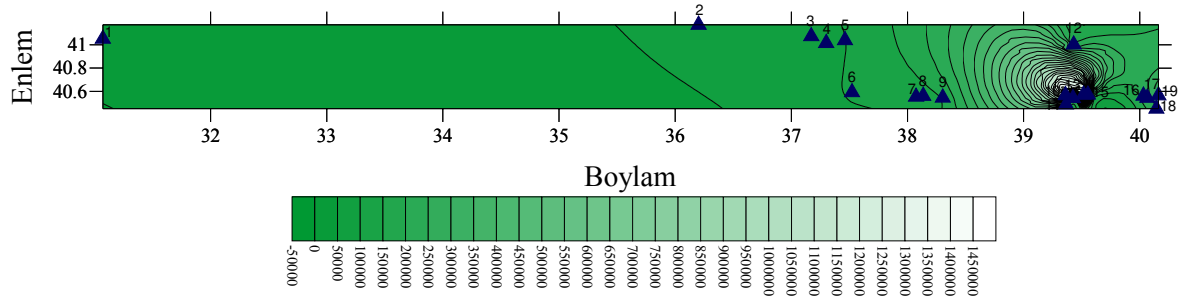
Ek 3D Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 3D Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



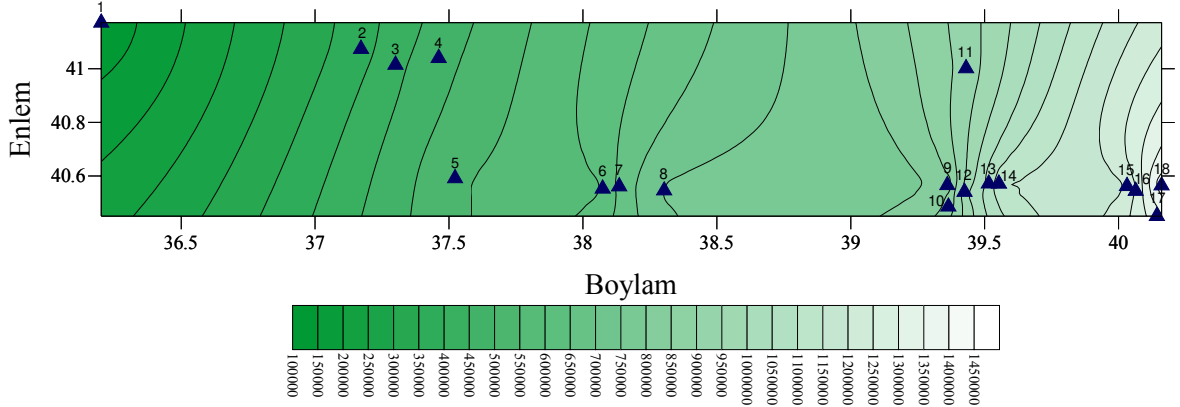
Ek 3D Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



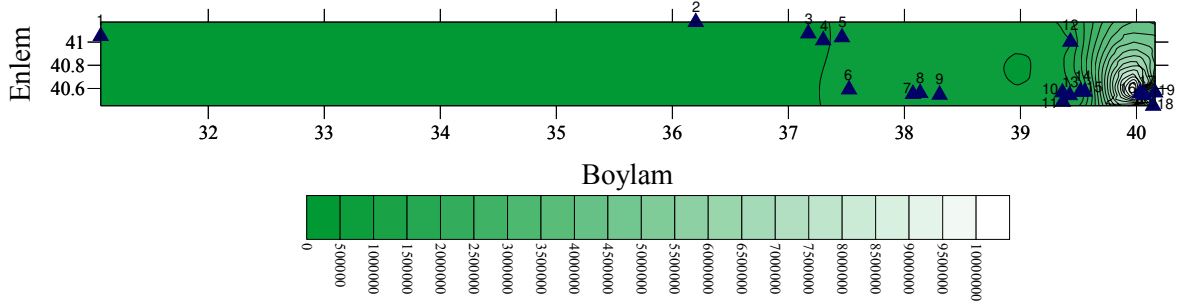
Ek 3D Şekil 1.16. 22 saat r=438 km

**EK 3E**

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Eylül için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

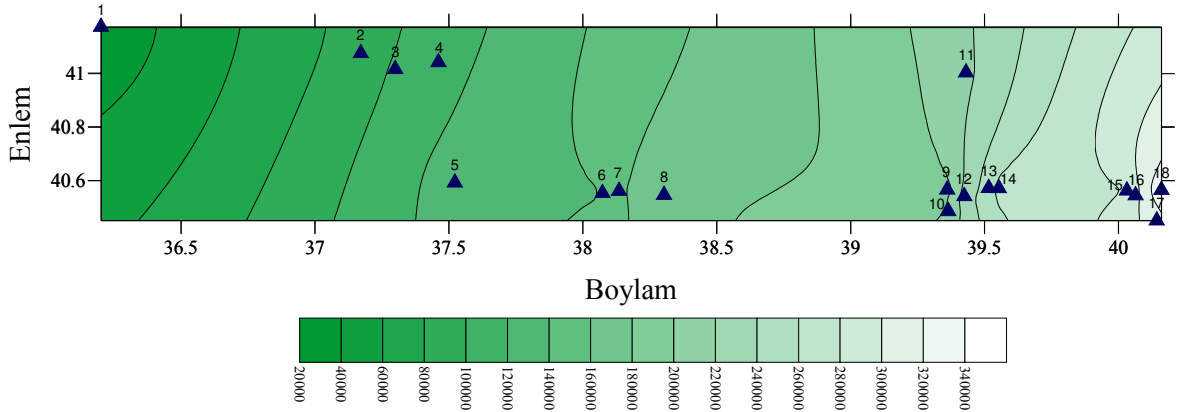


Ek 3E Şekil 1.1. 12 saat r=82 km

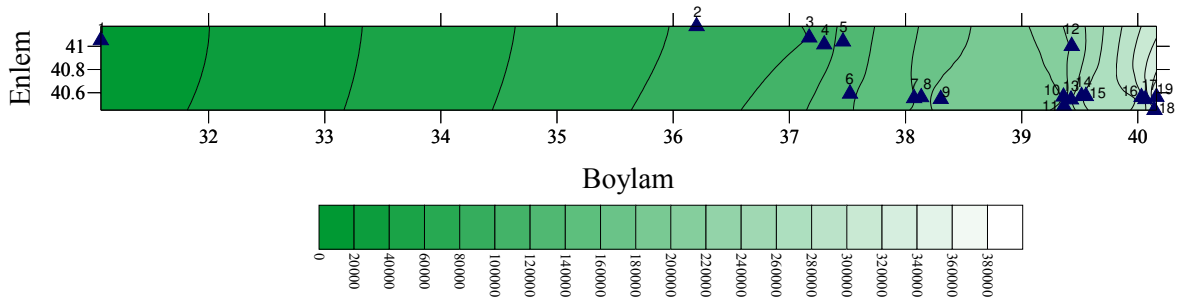


Ek 3E Şekil 1.2. 12 saat r=438 km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Ekim için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

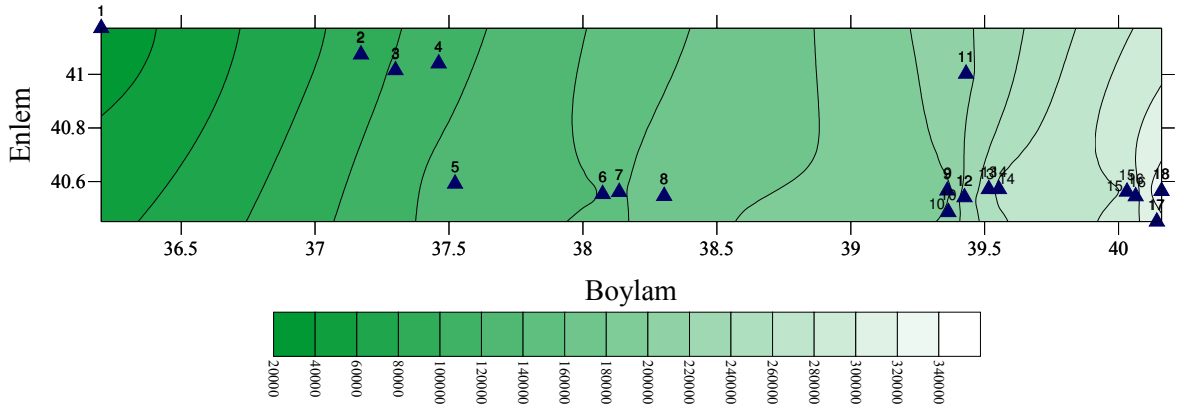


Ek 3E Şekil 1.3. 12 saat r=82 km

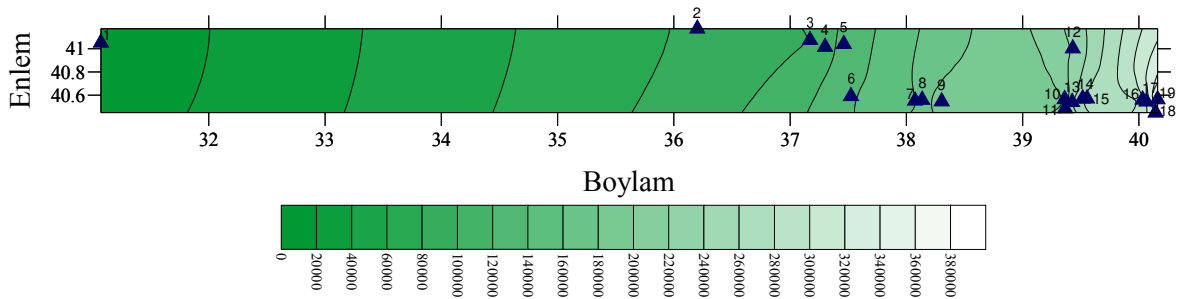


Ek 3E Şekil 1.4. 12 saat r=438 km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Kasım için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

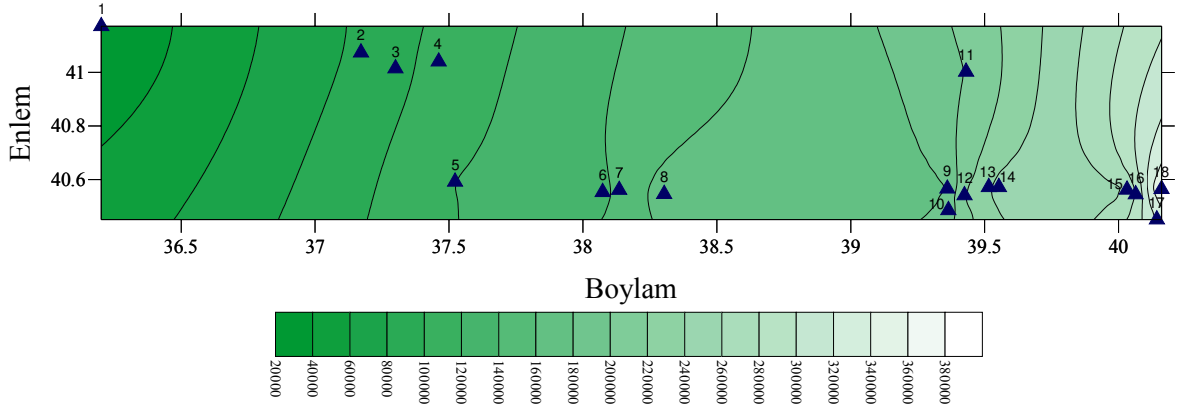


Ek 3E Şekil 1.5. 12 saat r=82 km

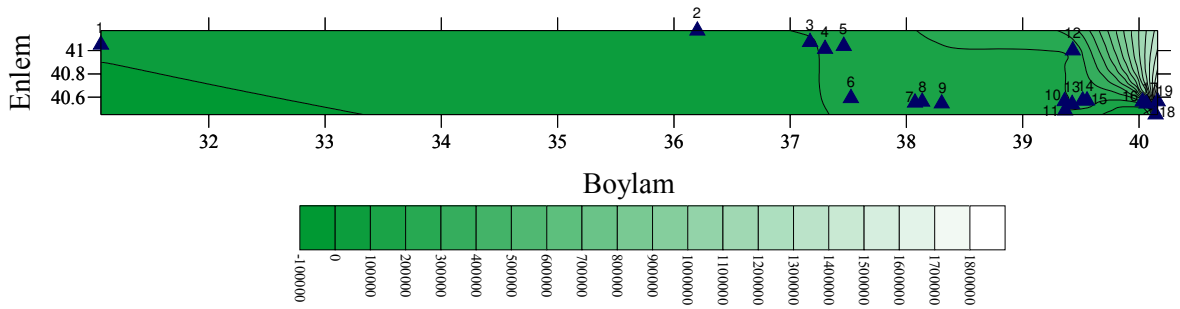


Ek 3E Şekil 1.6. 12 saat r=438 km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Aralık için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

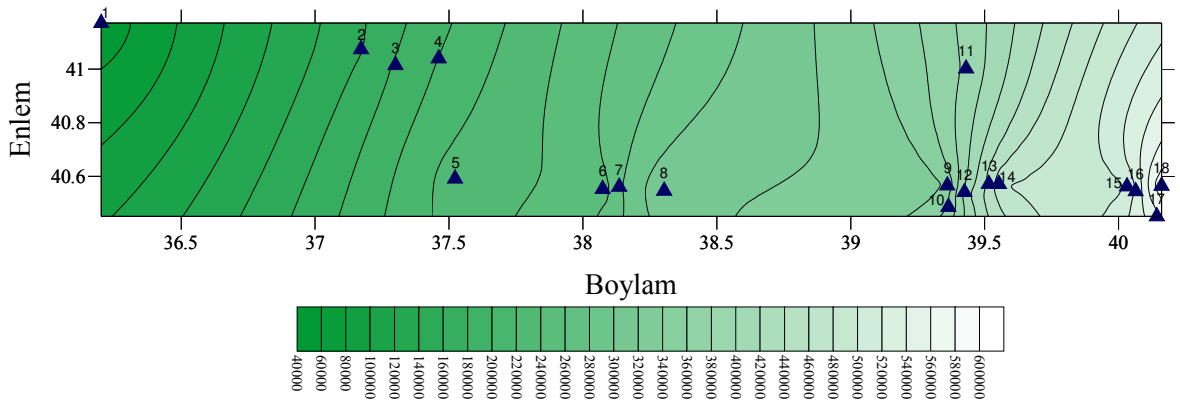


Ek 3E Şekil 1.7. 12 saat r=82 km

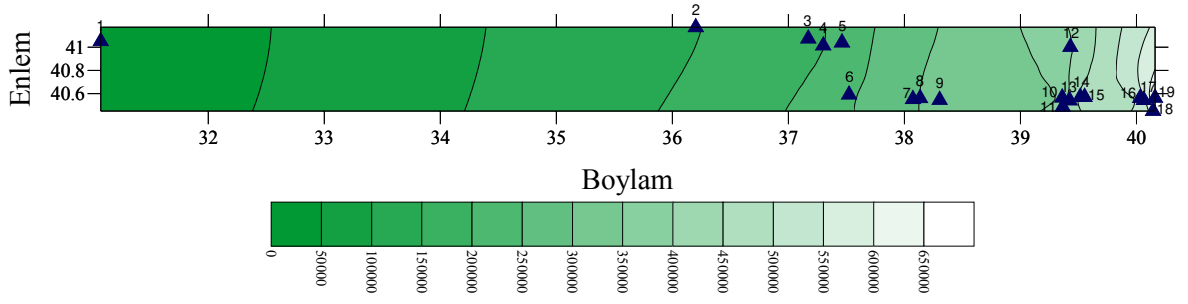


Ek 3E Şekil 1.8. 12 saat r=438 km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Haziran için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

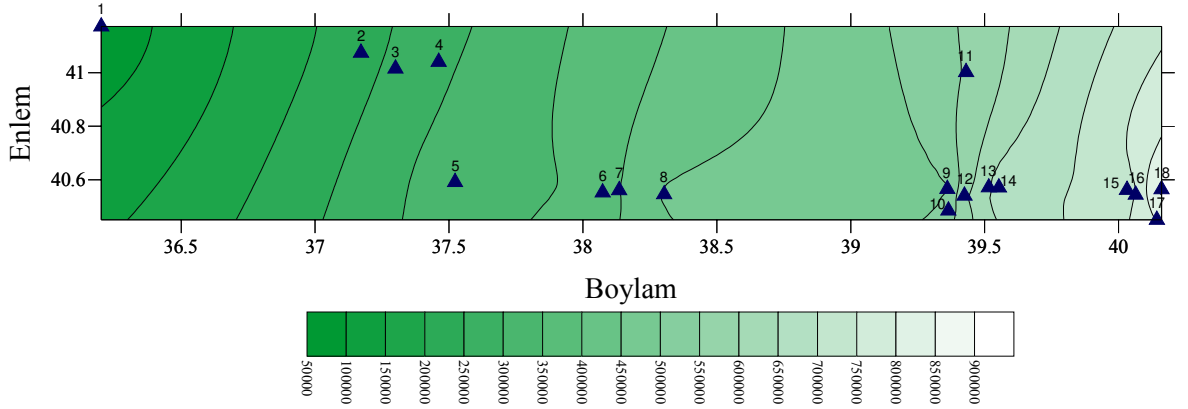


Ek 3E Şekil 1.9. 12 saat r=82 km

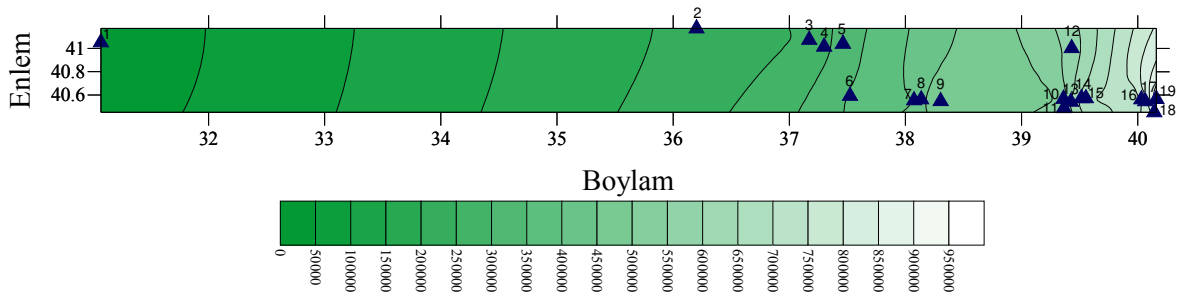


Ek 3E Şekil 1.10. 12 saat  $r=438$  km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Temmuz için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

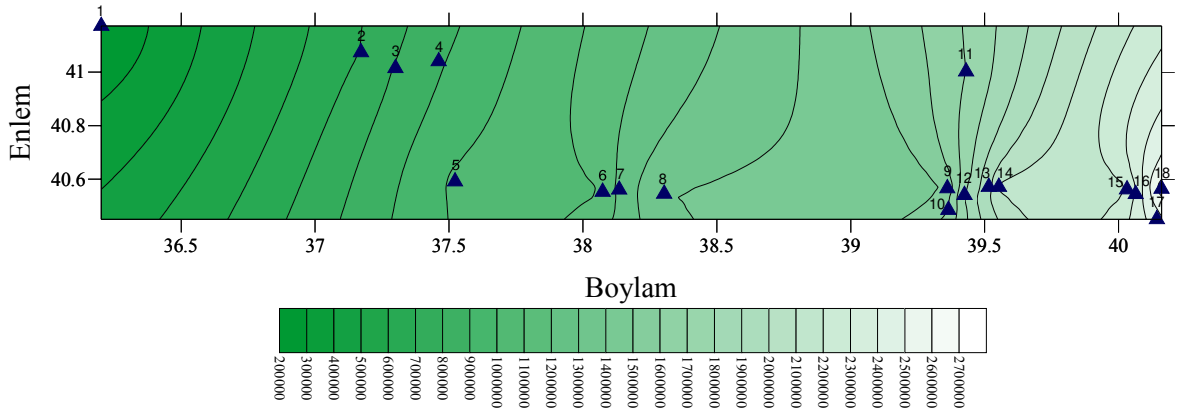


Ek 3E Şekil 1.11. 12 saat  $r=82$  km

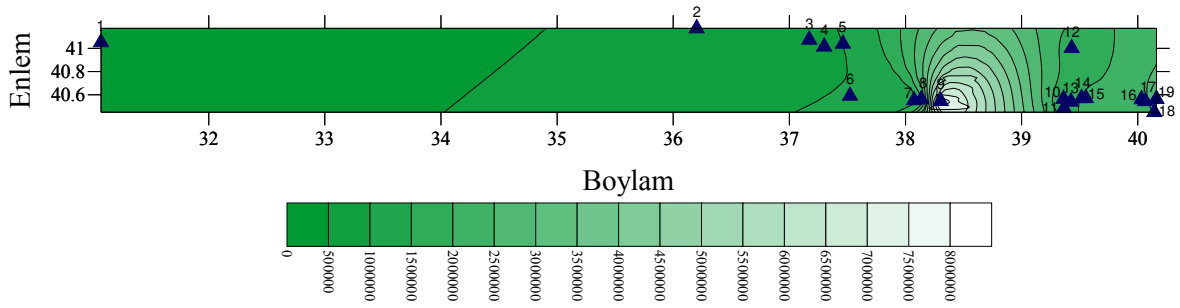


Ek 3E Şekil 1.12. 12 saat  $r=438$  km

### <sup>134</sup>Cs'ün 10 Ağustos için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



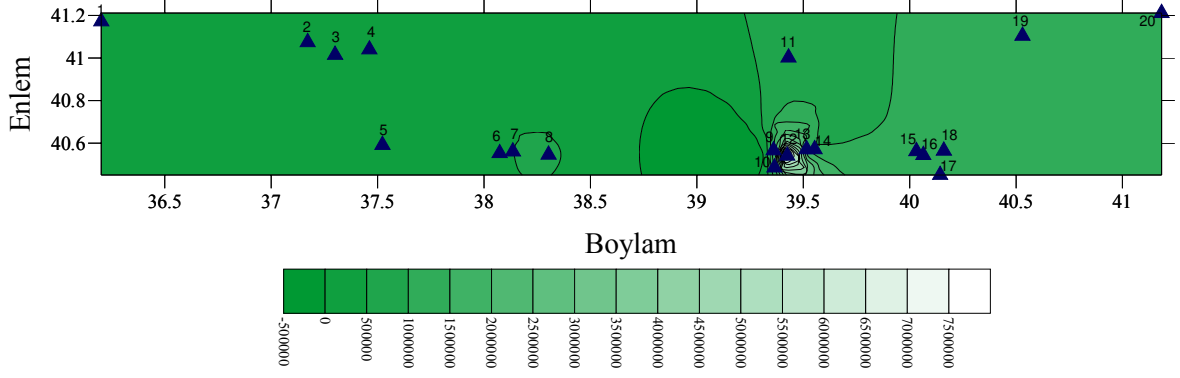
Ek 3E Şekil 1.13. 12 saat r=82 km



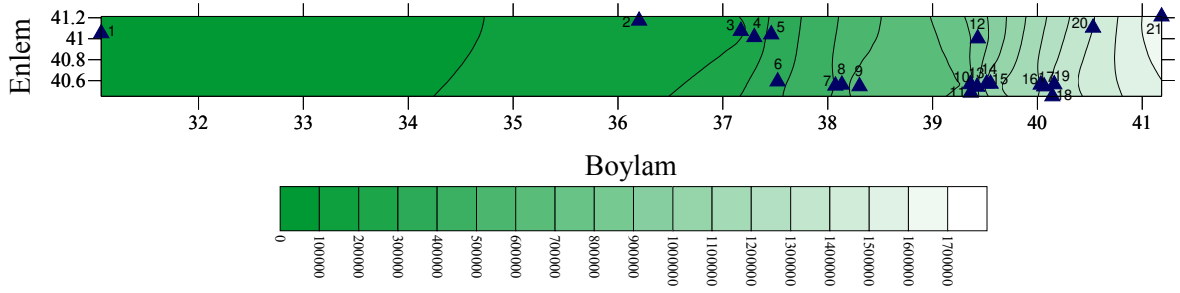
Ek 3E Şekil 1.14. 12 saat r=438 km

**EK 4A**

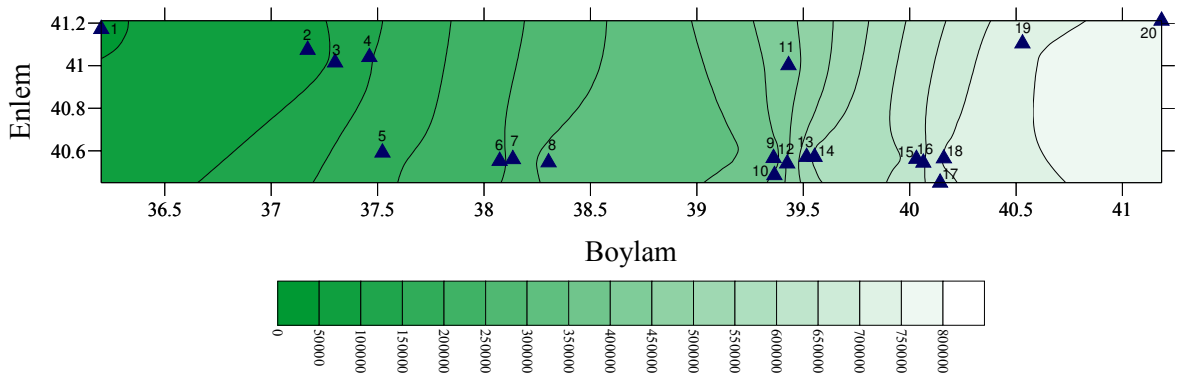
**<sup>137</sup>Cs'nin 7 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları**



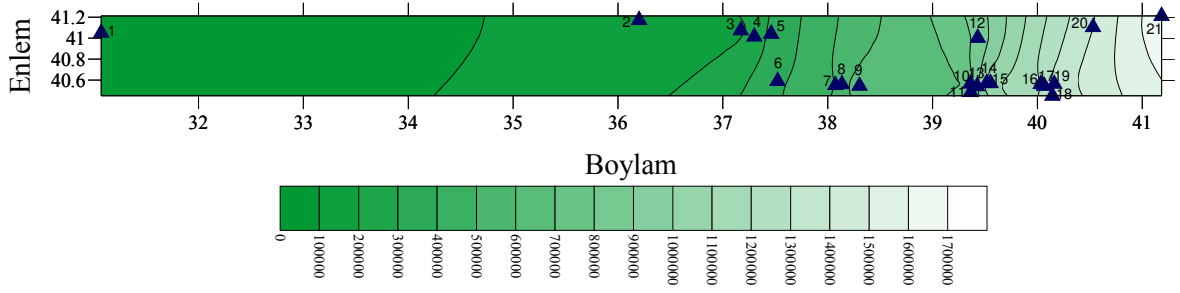
**Ek 4A Şekil 1.1. 1 saat r=82 km**



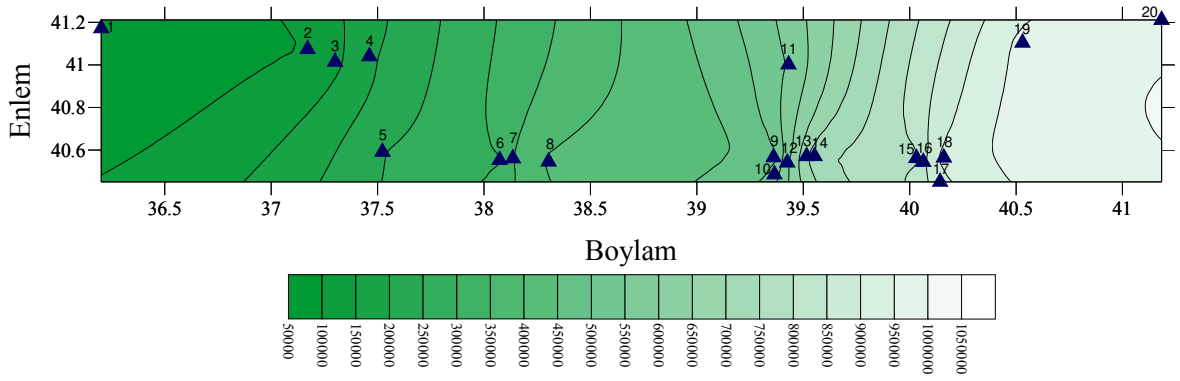
**Ek 4A Şekil 1.2. 1 saat r=438 km**



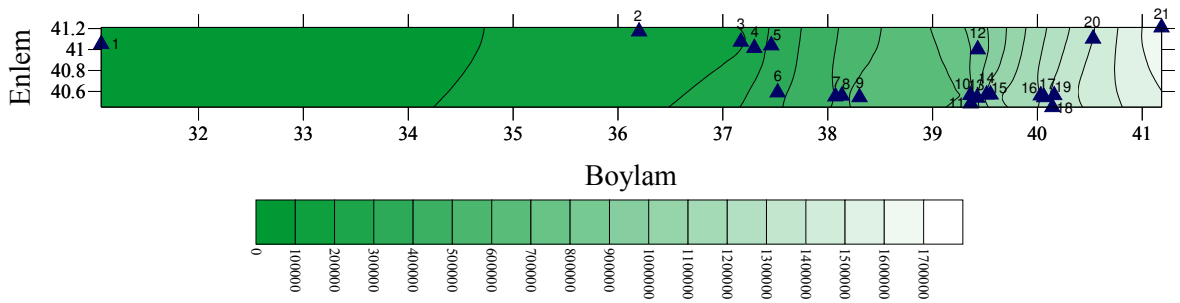
**Ek 4A Şekil 1.3. 4 saat r=82 km**



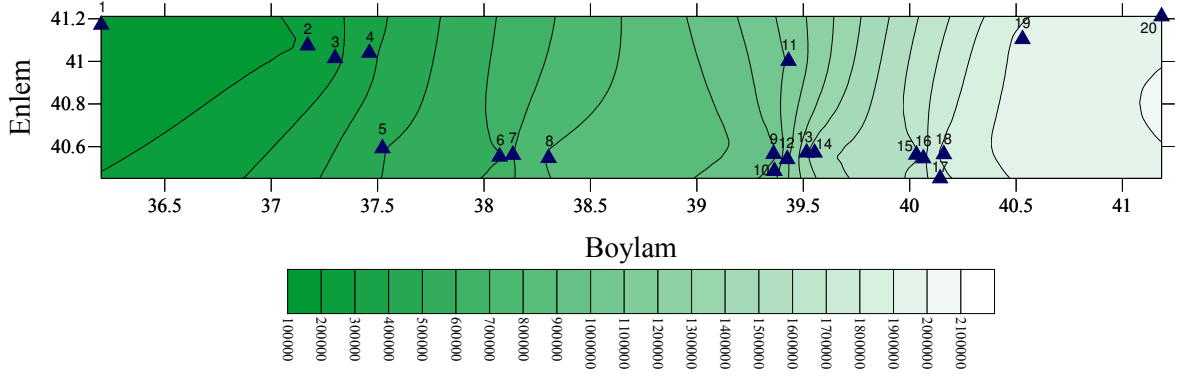
Ek 4A Şekil 1.4. 4 saat  $r=438$  km



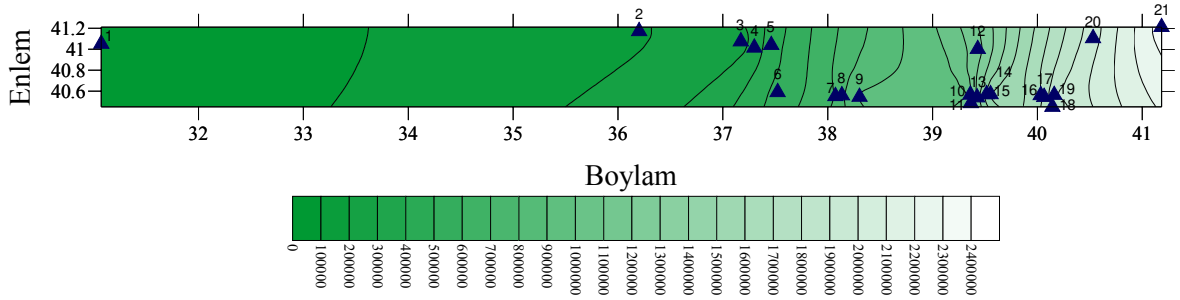
Ek 4A Şekil 1.5. 7 saat  $r=82$  km



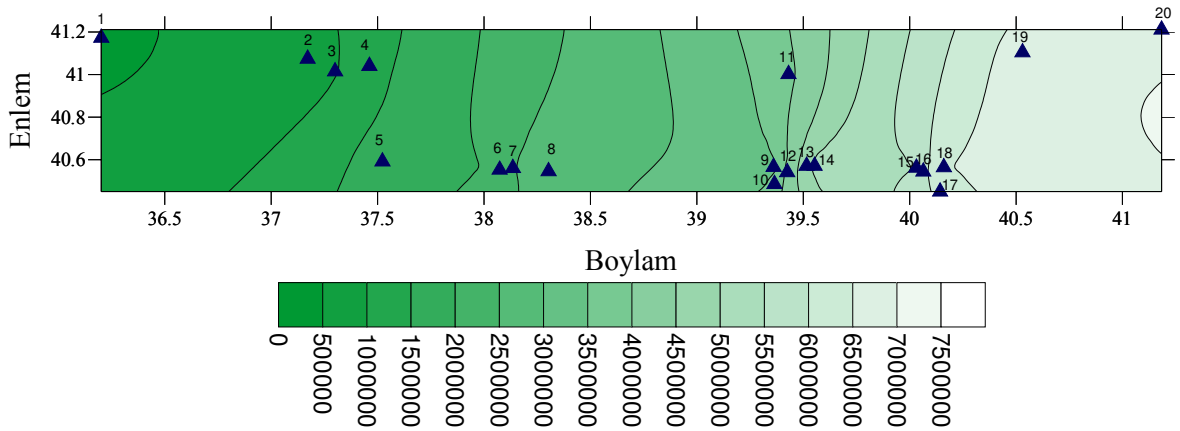
Ek 4A Şekil 1.6. 7 saat  $r=438$  km



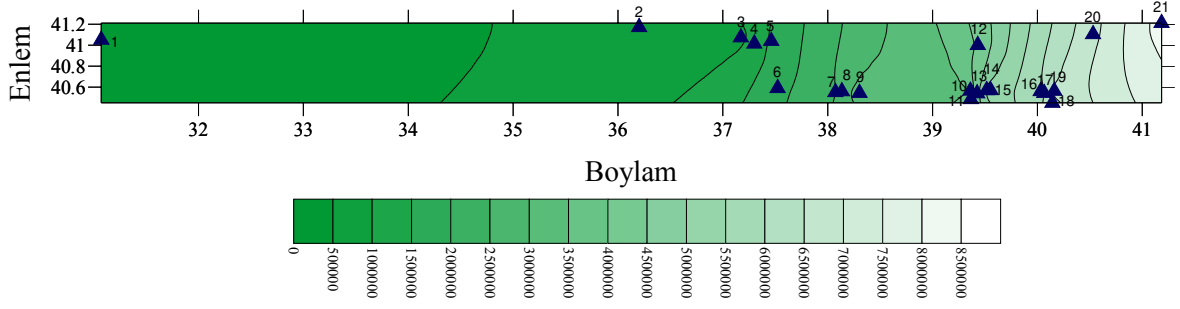
Ek 4A Şekil 1.7. 10 saat  $r=82$  km



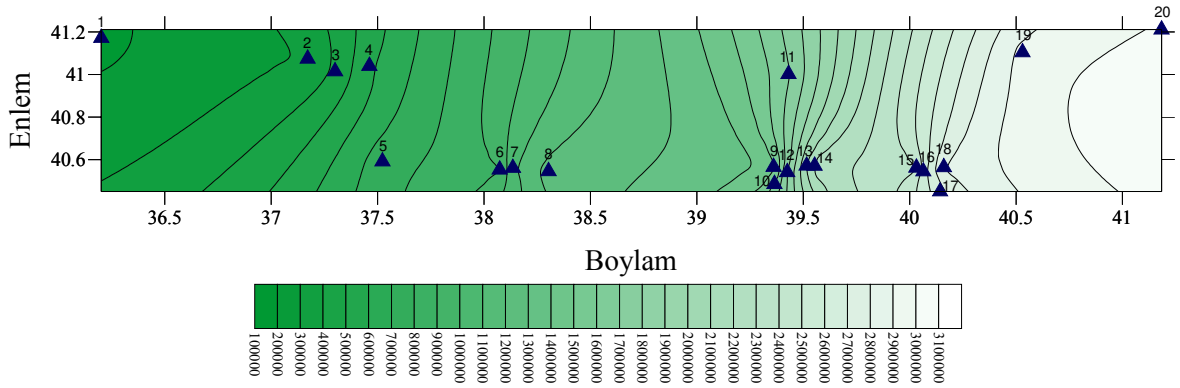
Ek 4A Şekil 1.8. 10 saat  $r=438$  km



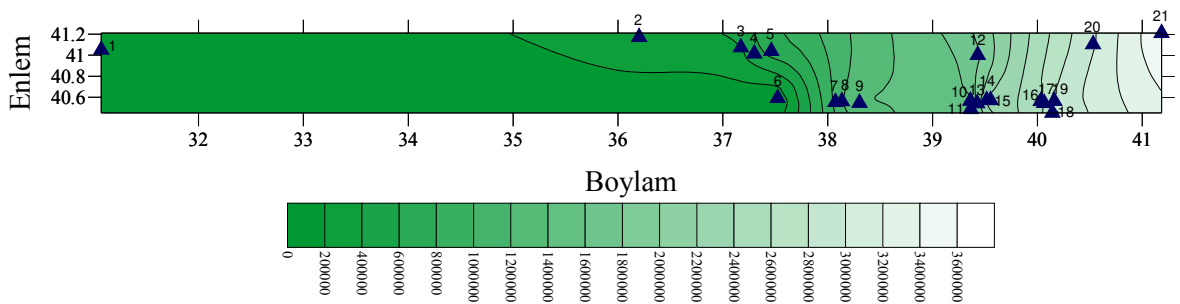
Ek 4A Şekil 1.9. 13 saat  $r=82$  km



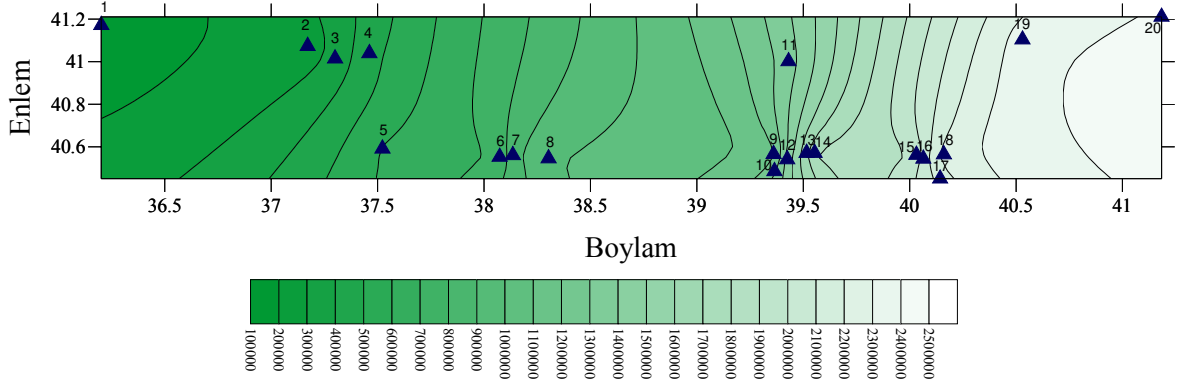
Ek 4A Şekil 1.10. 13 saat r=438 km



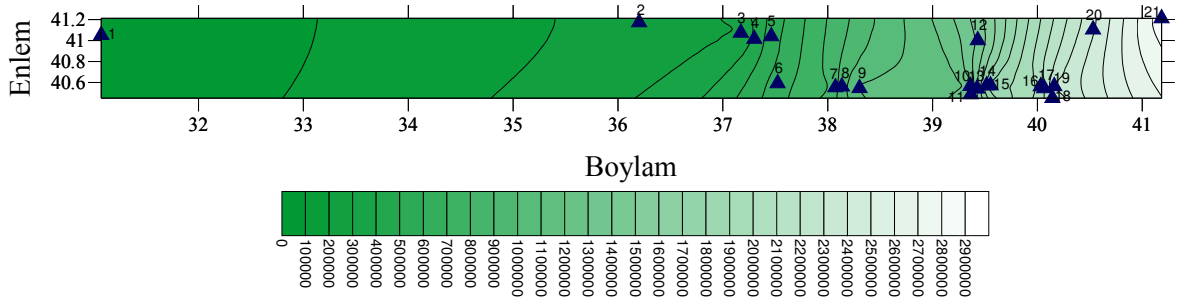
Ek 4A Şekil 1.11. 16 saat r=82 km



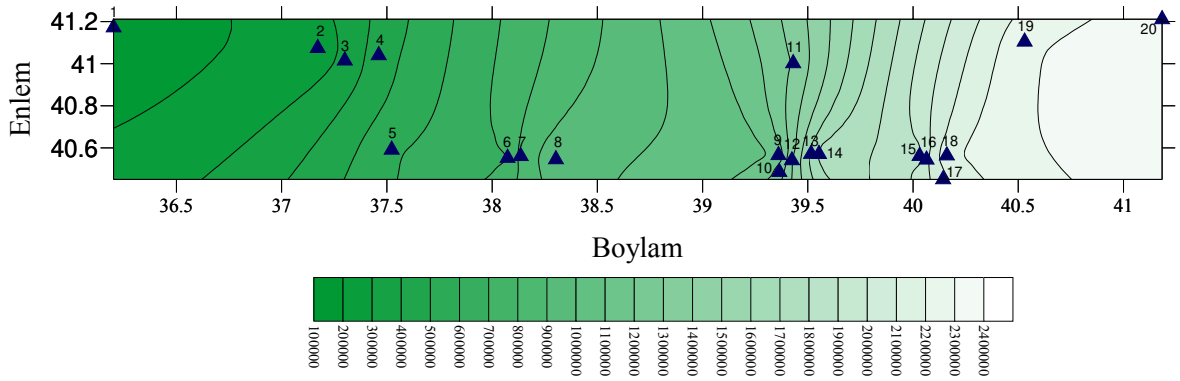
Ek 4A Şekil 1.12. 16 saat r=438 km



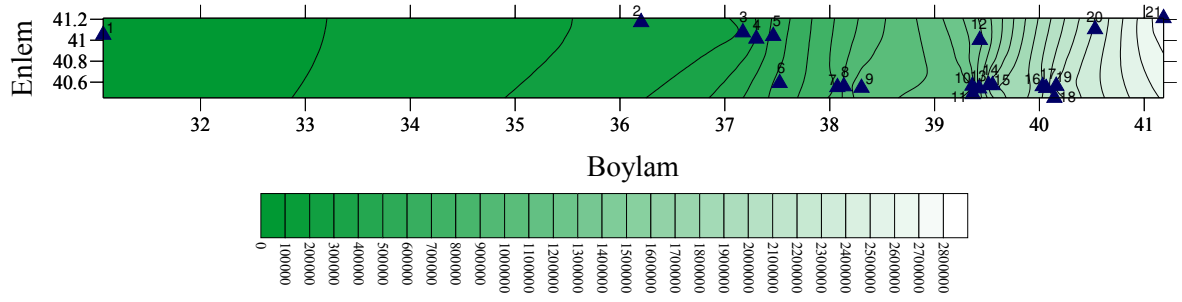
Ek 4A Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 4A Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



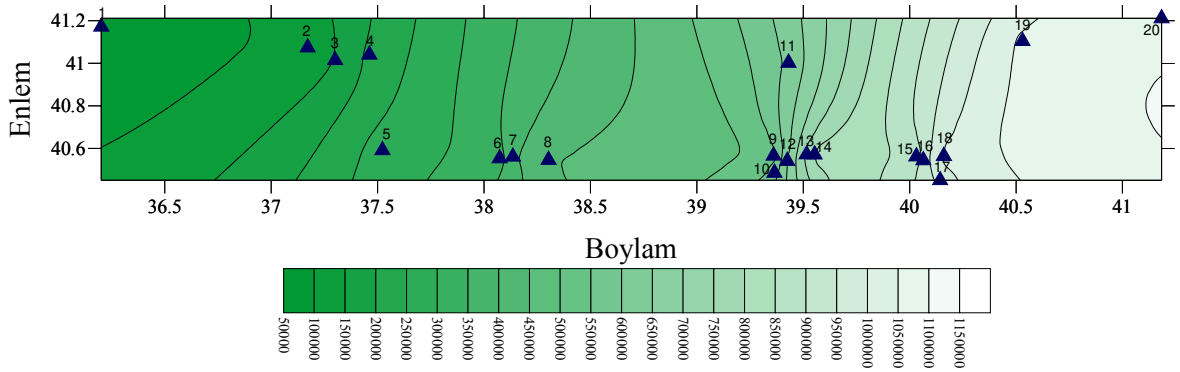
Ek 4A Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



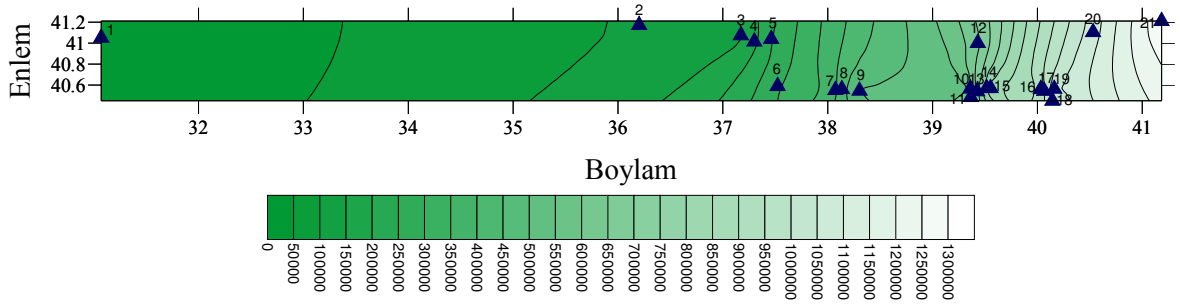
Ek 4A Şekil 1.16. 22 saat r=438 km

**EK 4B**

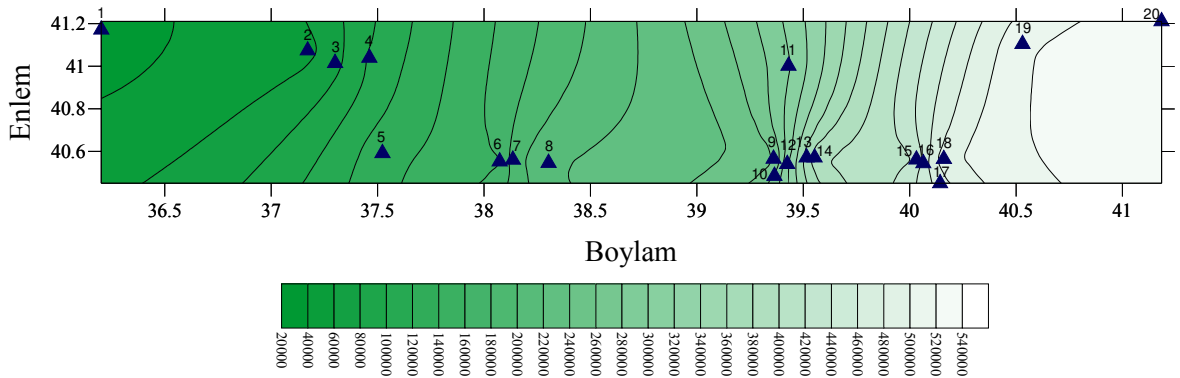
### <sup>137</sup>Cs'nin 8 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



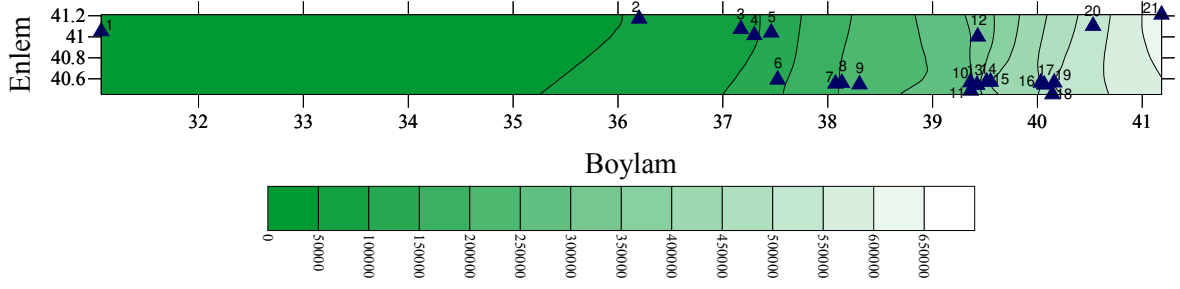
Ek 4B Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



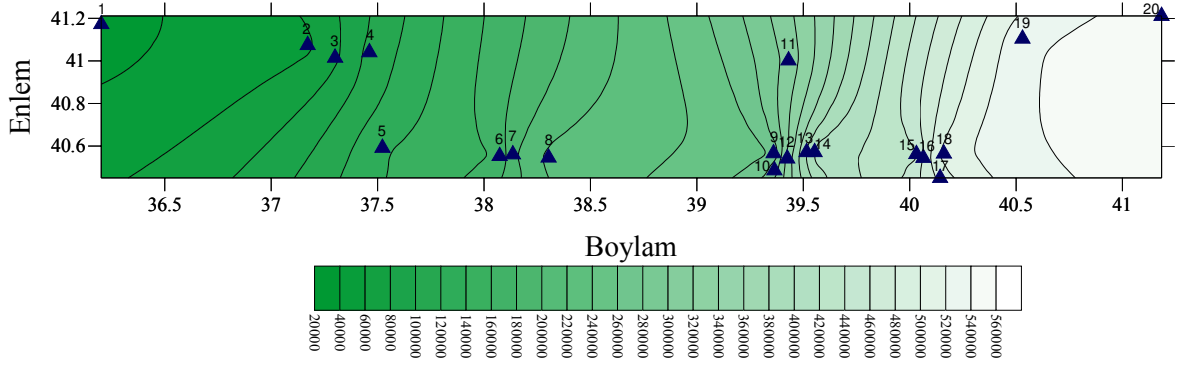
Ek 4B Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



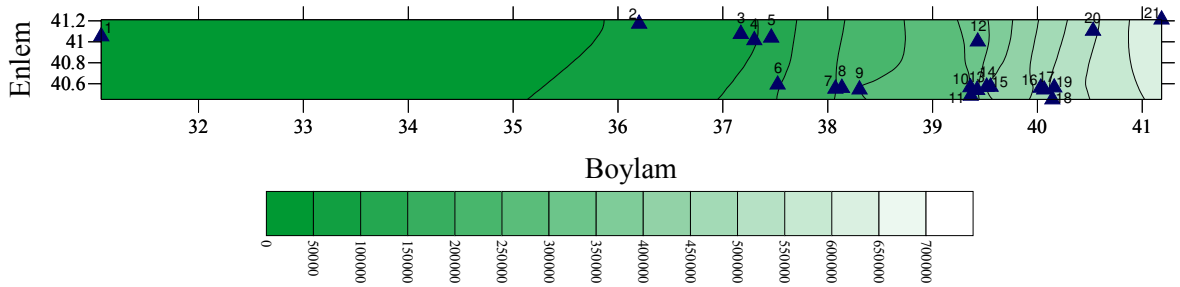
Ek 4B Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



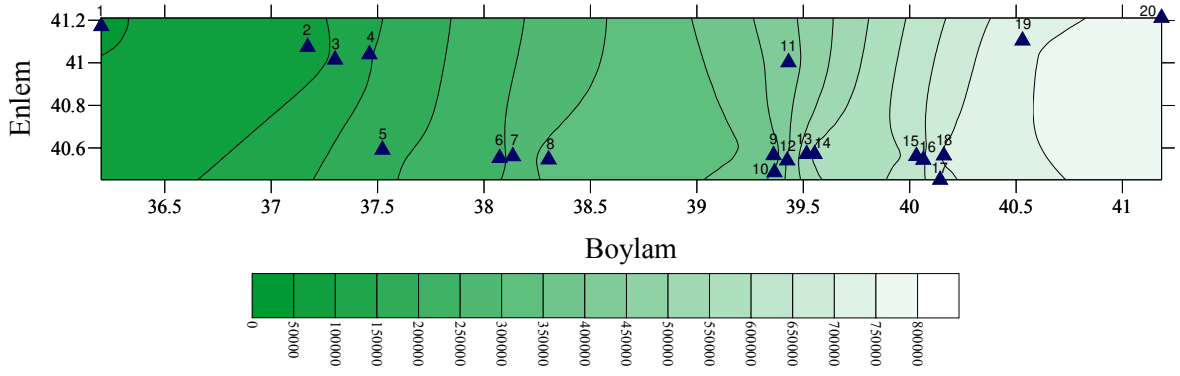
Ek 4B Şekil 1.4. 4 saat  $r=438$  km



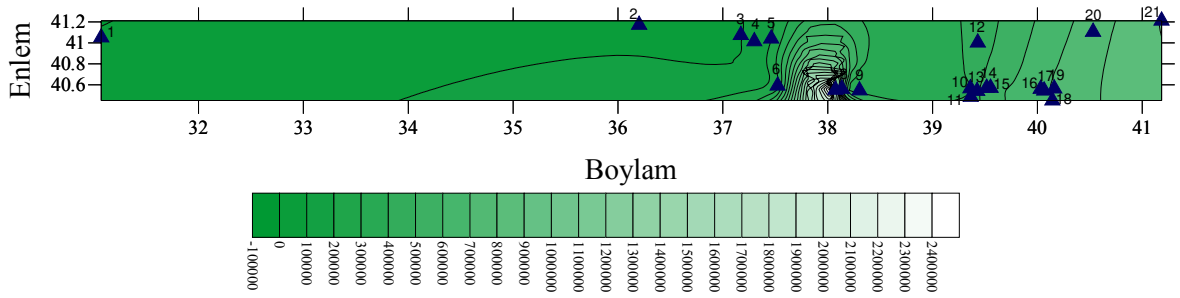
Ek 4B Şekil 1.5. 7 saat  $r=82$  km



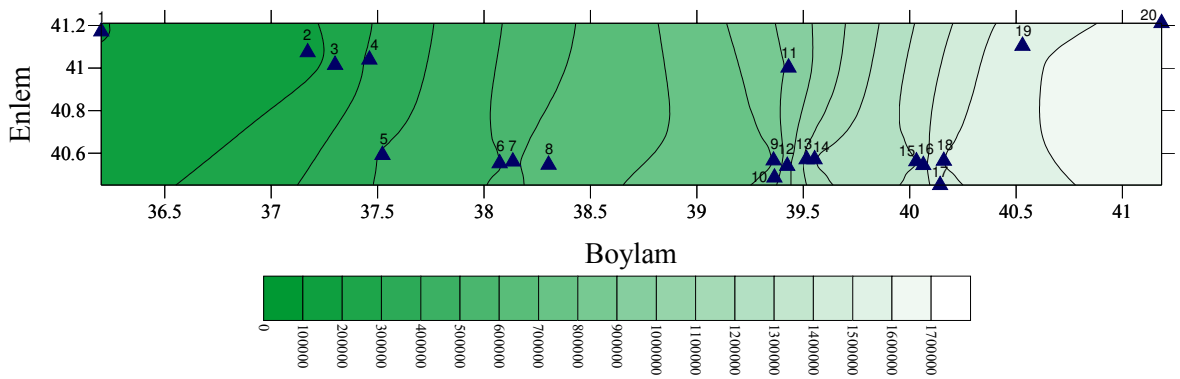
Ek 4B Şekil 1.6. 7 saat  $r=438$  km



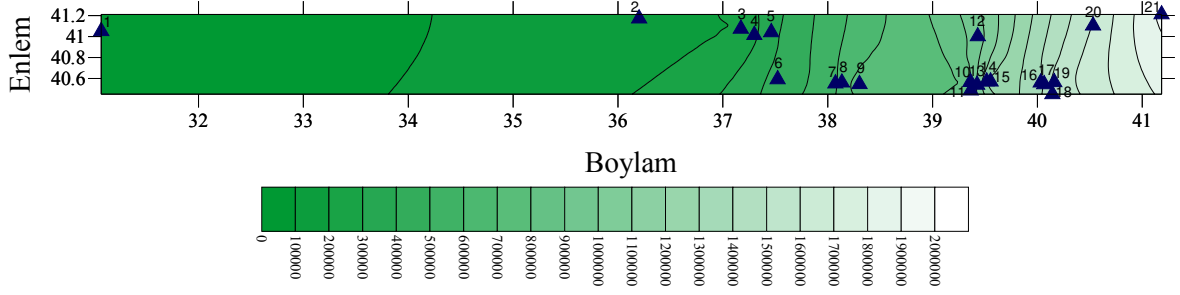
Ek 4B Şekil 1.7. 10 saat r=82 km



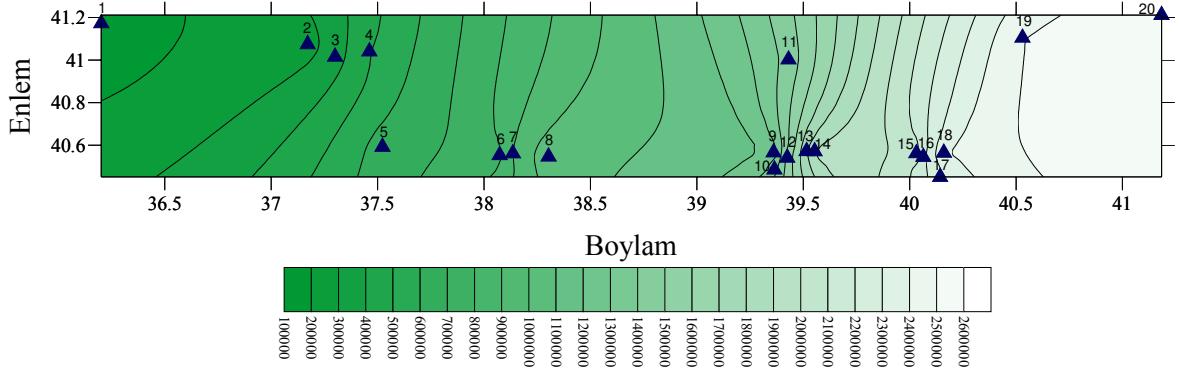
Ek 4B Şekil 1.8. 10 saat r=348 km



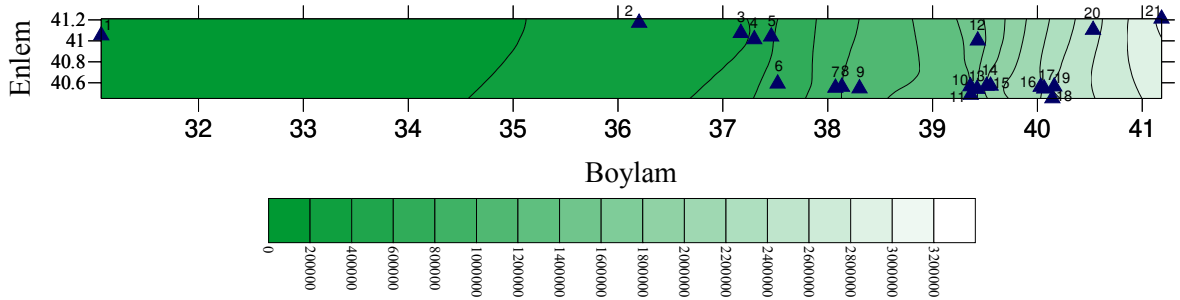
Ek 4B Şekil 1.9. 13 saat r=82 km



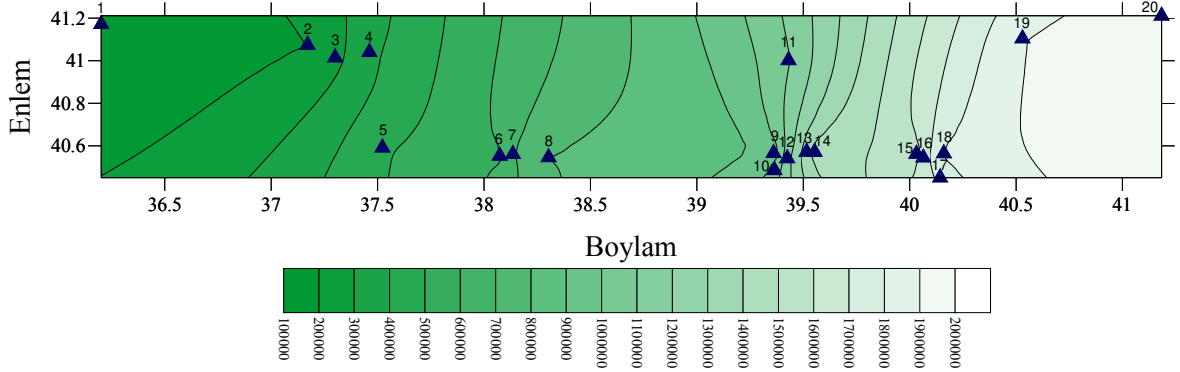
Ek 4B Şekil 1.10. 13 saat  $r=348$  km



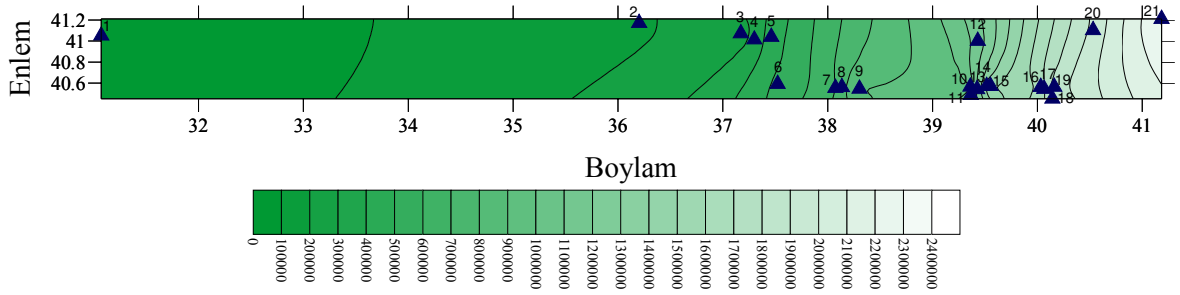
Ek 4B Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



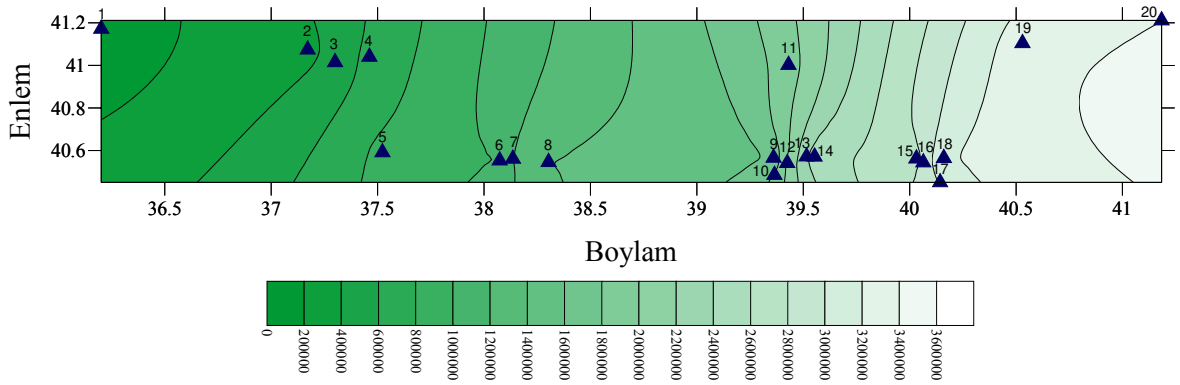
Ek 4B Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



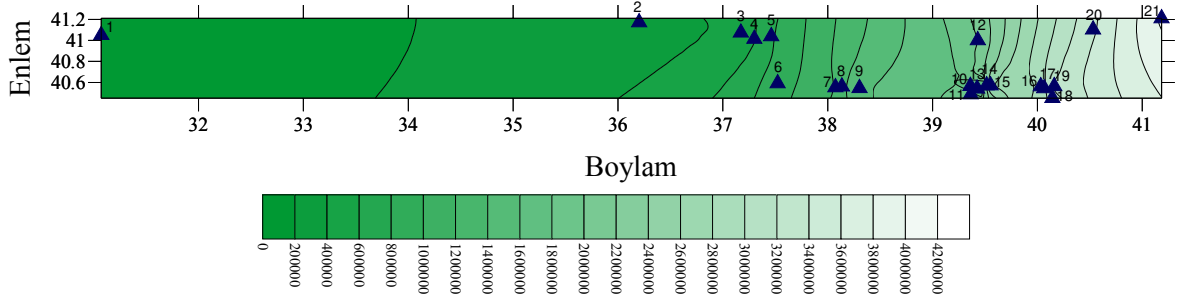
Ek 4B Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 4B Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



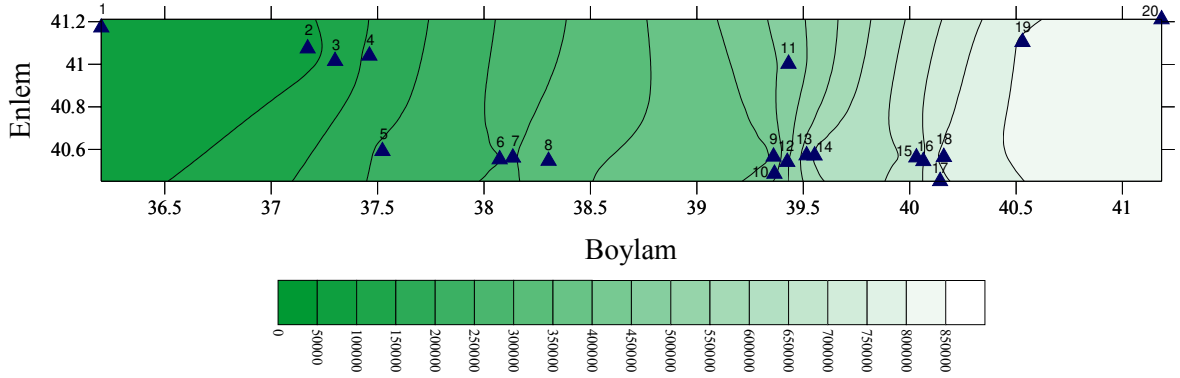
Ek 4B Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



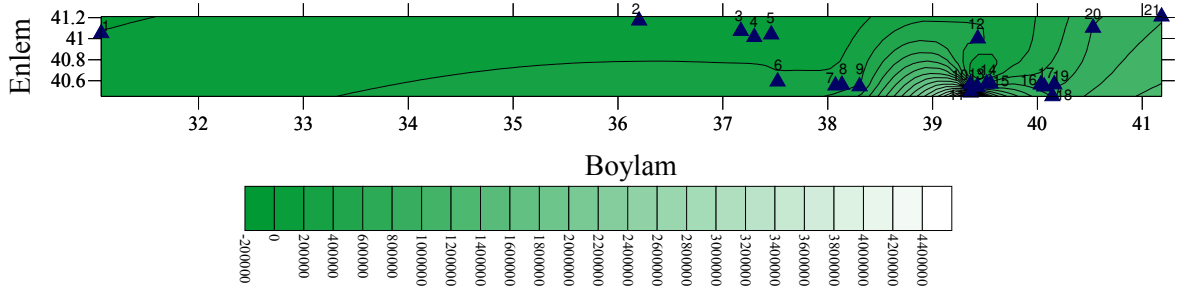
Ek 4B Şekil 1.16. 22 saat r=438 km

**EK 4C**

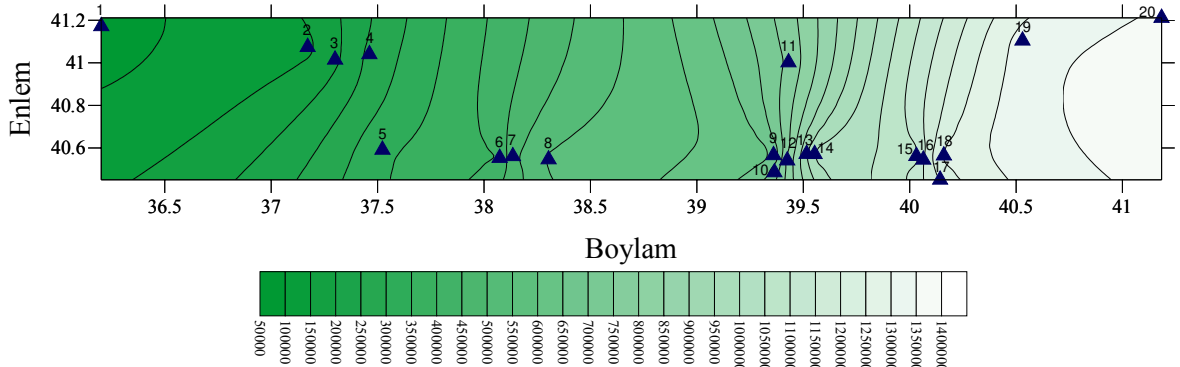
### <sup>137</sup>Cs'nin 9 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



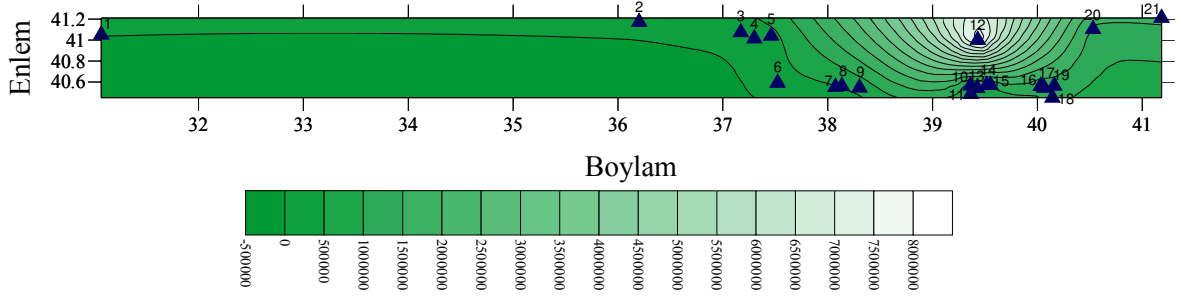
Ek 4C Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



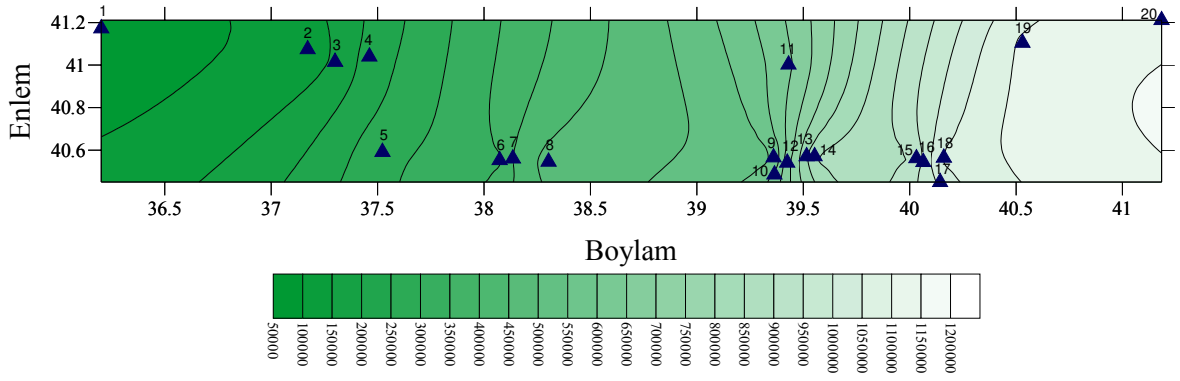
Ek 4C Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



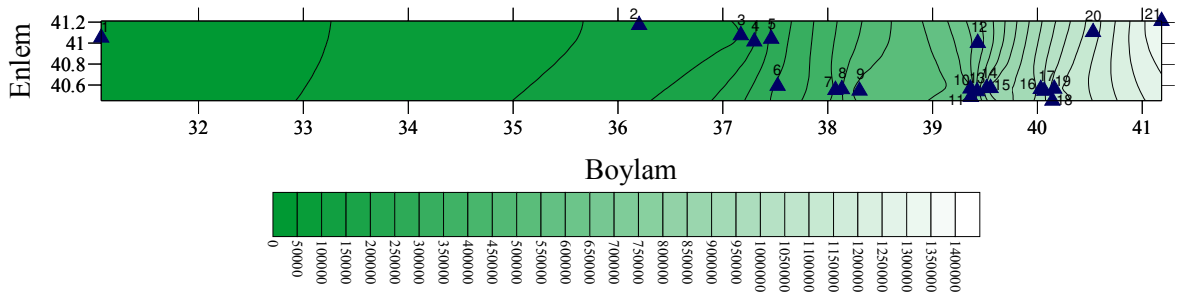
Ek 4C Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



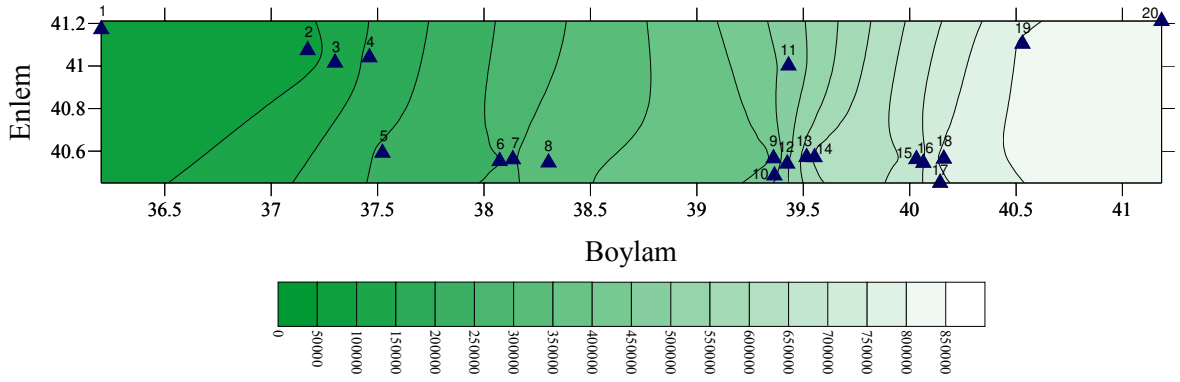
Ek 4C Şekil 1.4. 4 saat r=438 km



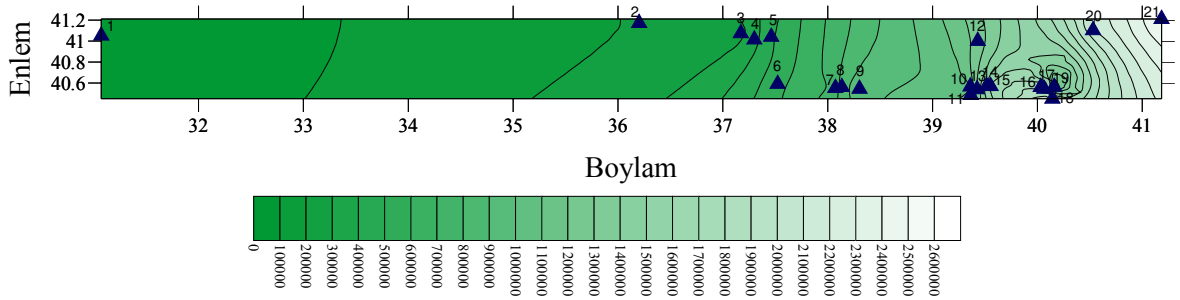
Ek 4C Şekil 1.5. 7 saat r=82 km



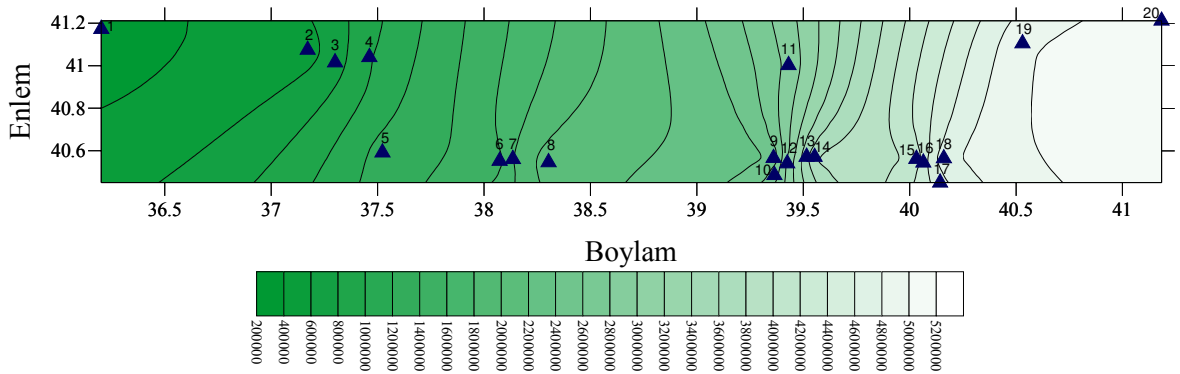
Ek 4C Şekil 1.6. 7 saat r=438 km



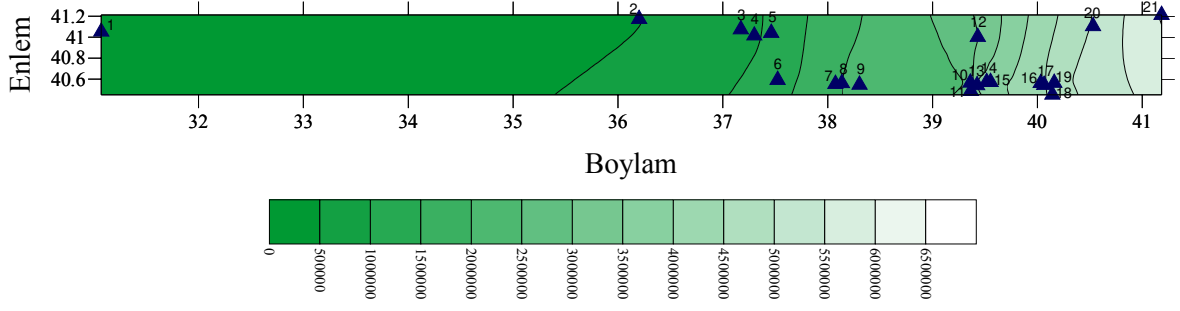
Ek 4C Şekil 1.7. 10 saat  $r=82$  km



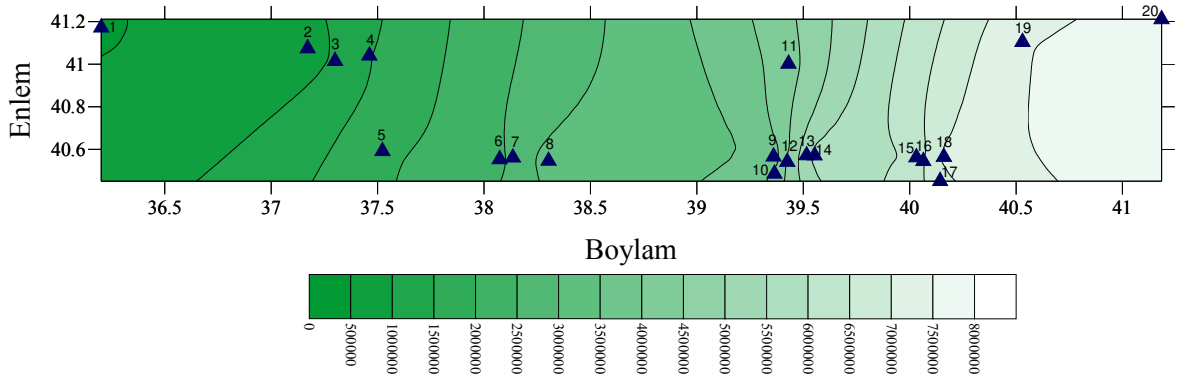
Ek 4C Şekil 1.8. 10 saat  $r=438$  km



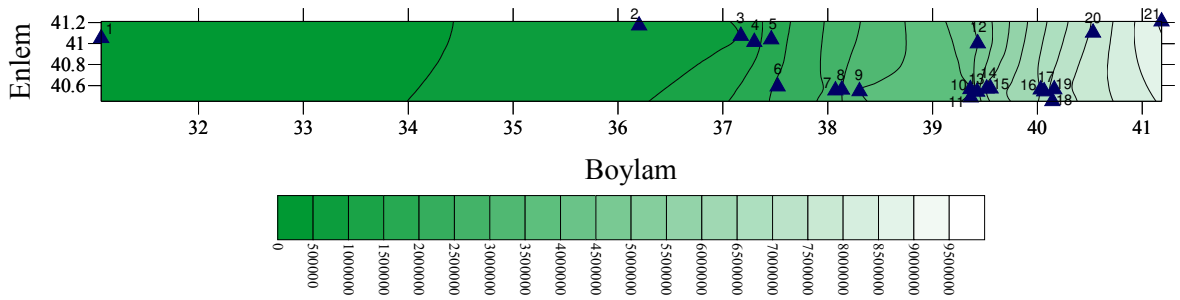
Ek 4C Şekil 1.9. 13 saat  $r=82$  km



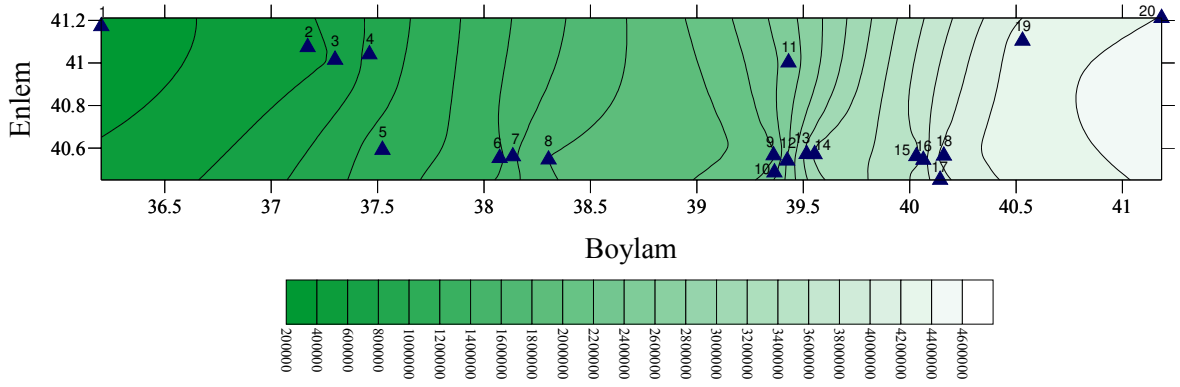
Ek 4C Şekil 1.10. 13 saat  $r=438$  km



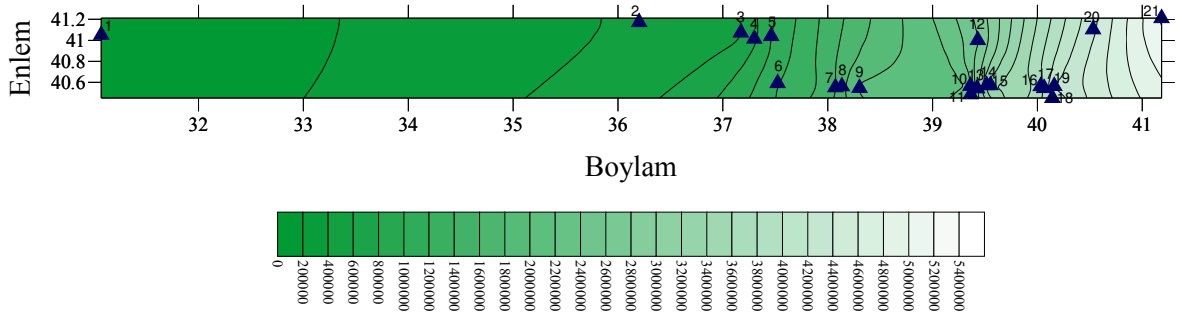
Ek 4C Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



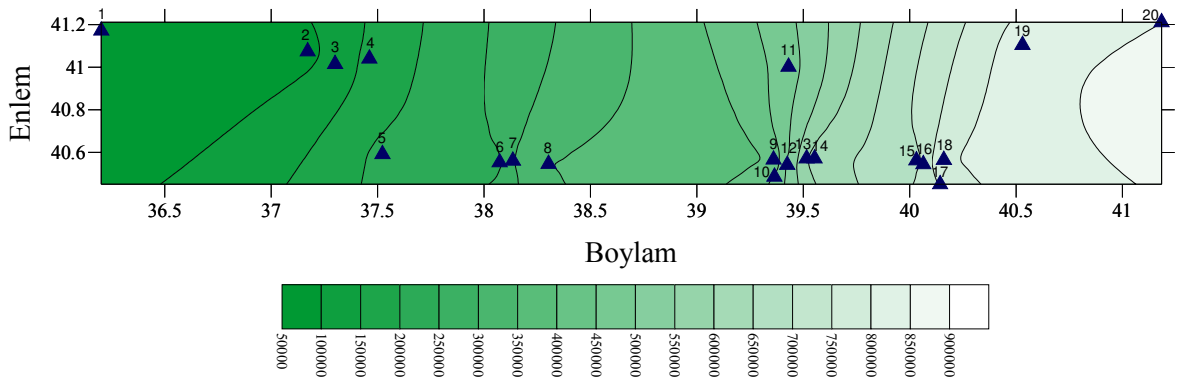
Ek 4C Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



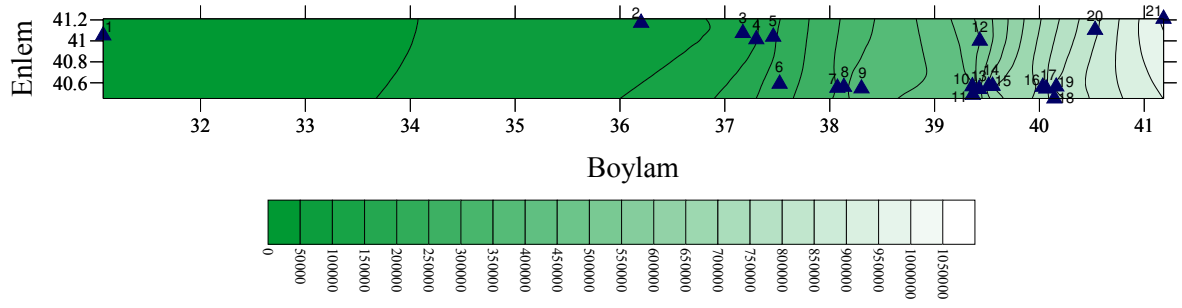
Ek 4C Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 4C Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



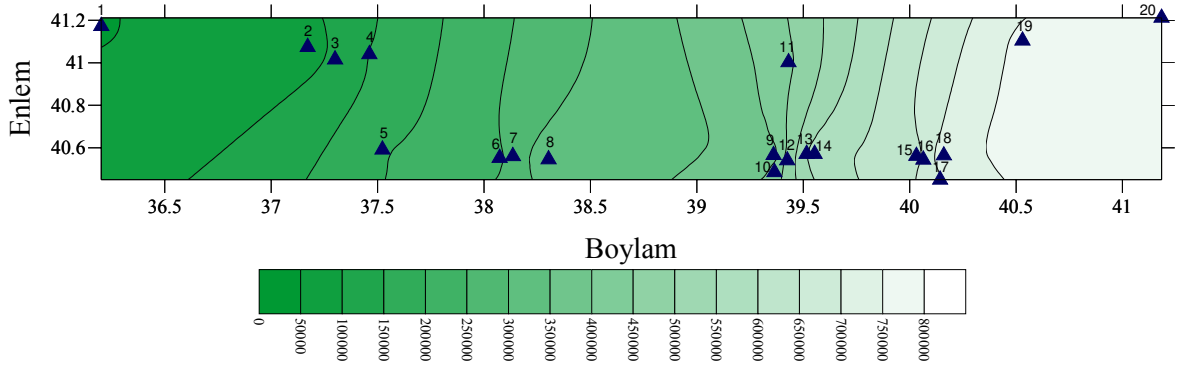
Ek 4C Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



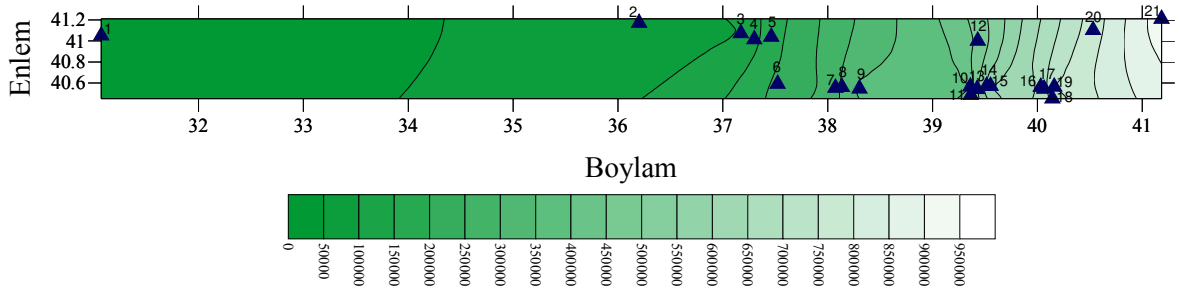
Ek 4C Şekil 1.16. 22 saat r=438 km

**EK 4D**

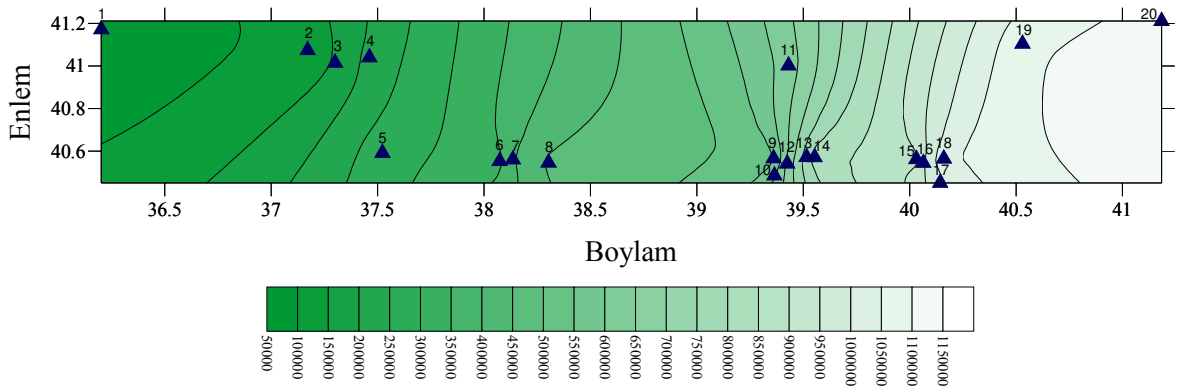
### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Mayıs için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



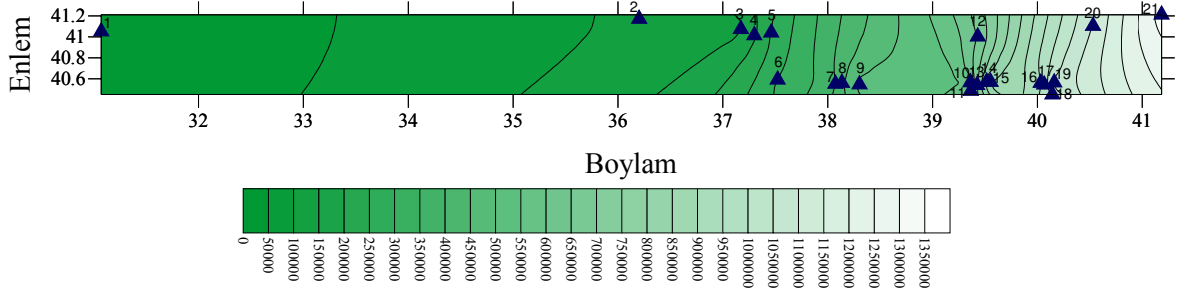
Ek 4D Şekil 1.1. 1 saat r=82 km



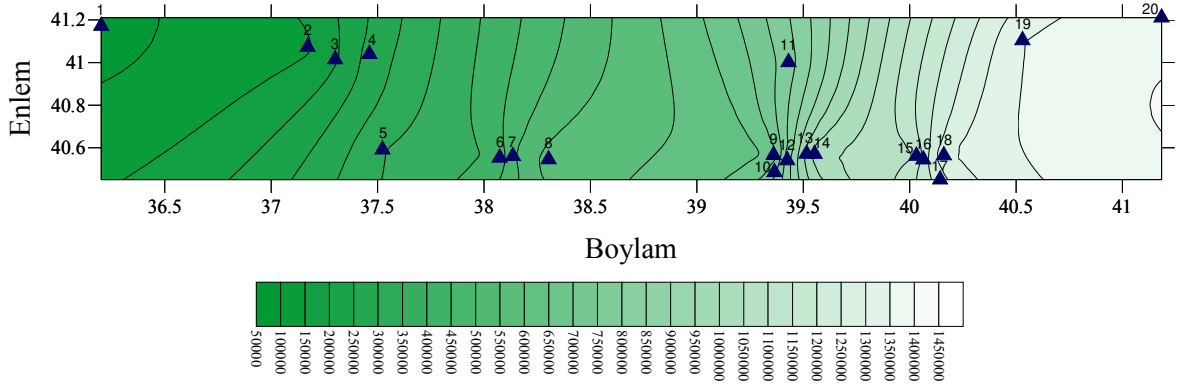
Ek 4D Şekil 1.2. 1 saat r=438 km



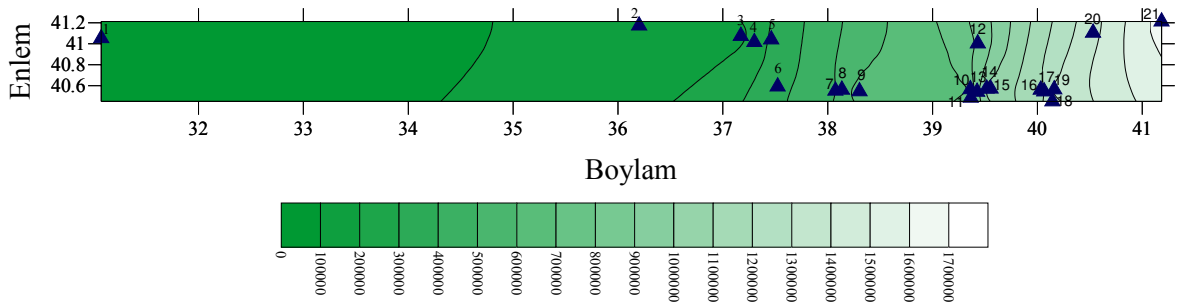
Ek 4D Şekil 1.3. 4 saat r=82 km



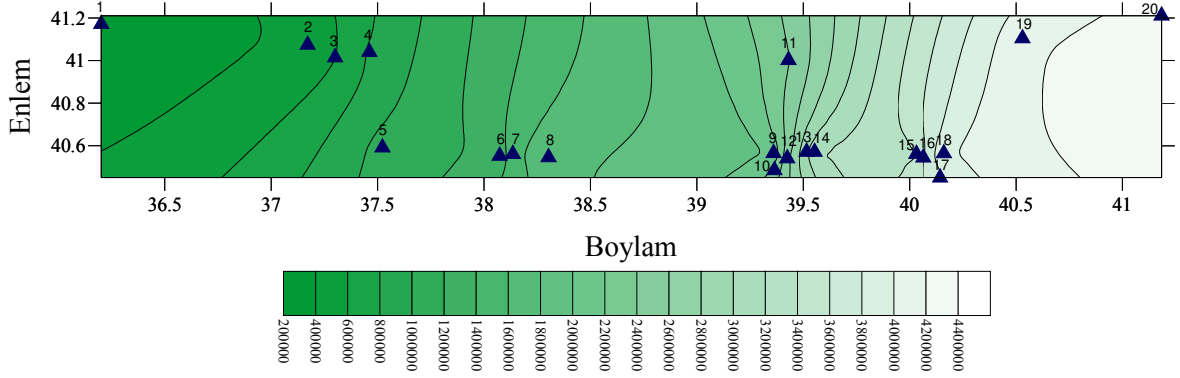
Ek 4D Şekil 1.4. 4 saat  $r=438$  km



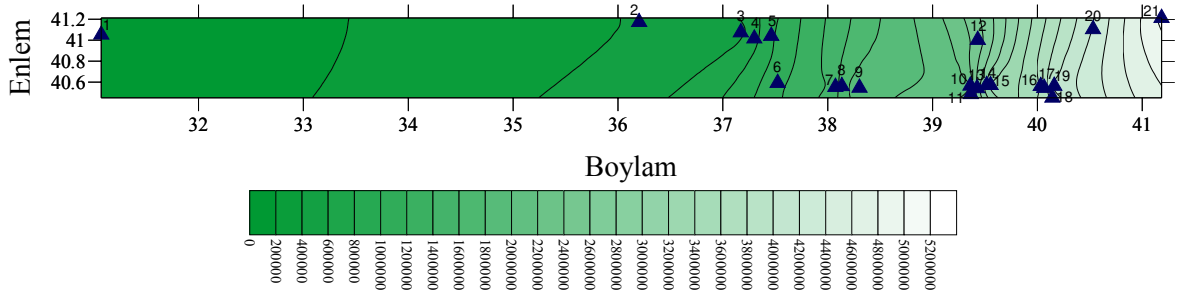
Ek 4D Şekil 1.5. 7 saat  $r=82$  km



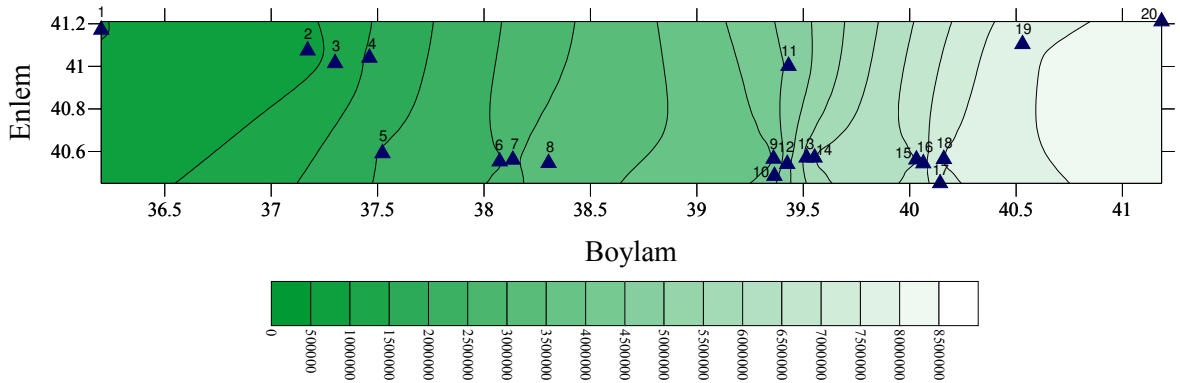
Ek 4D Şekil 1.6. 7 saat  $r=438$  km



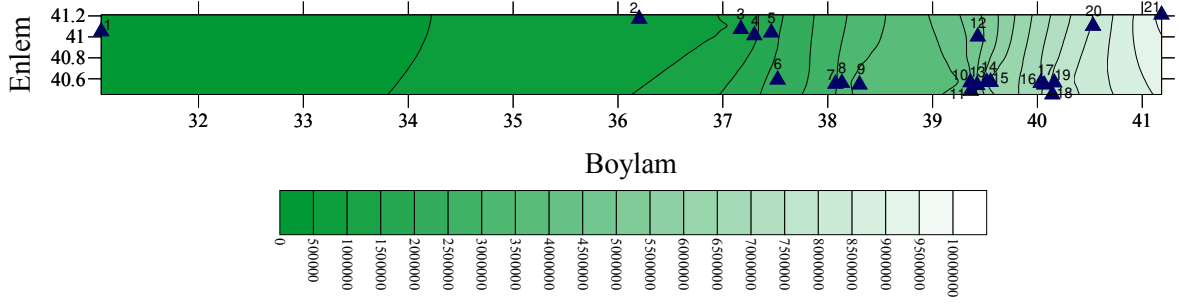
Ek 4D Şekil 1.7. 10 saat  $r=82$  km



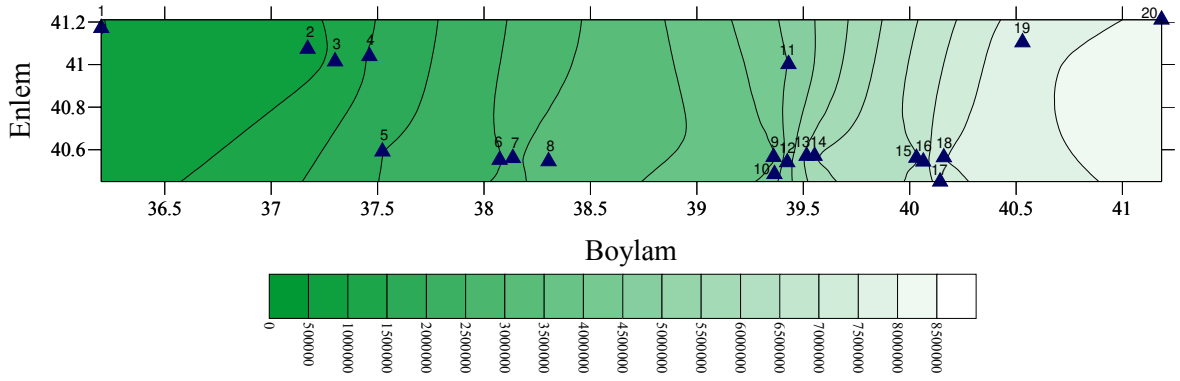
Ek 4D Şekil 1.8. 10 saat  $r=438$  km



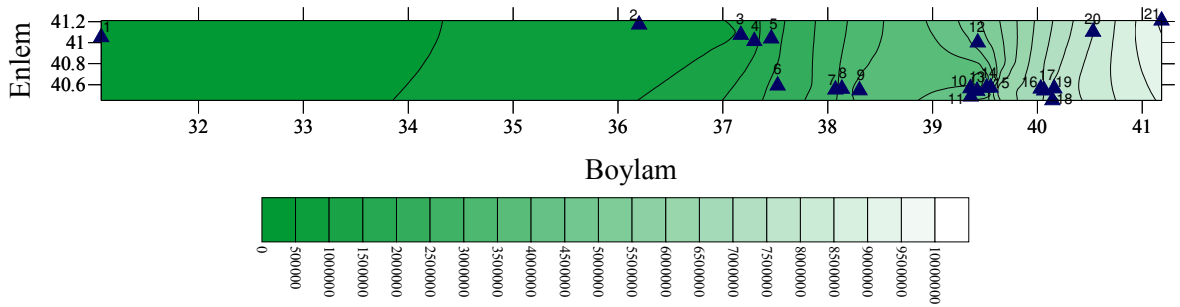
Ek 4D Şekil 1.9. 13 saat  $r=82$  km



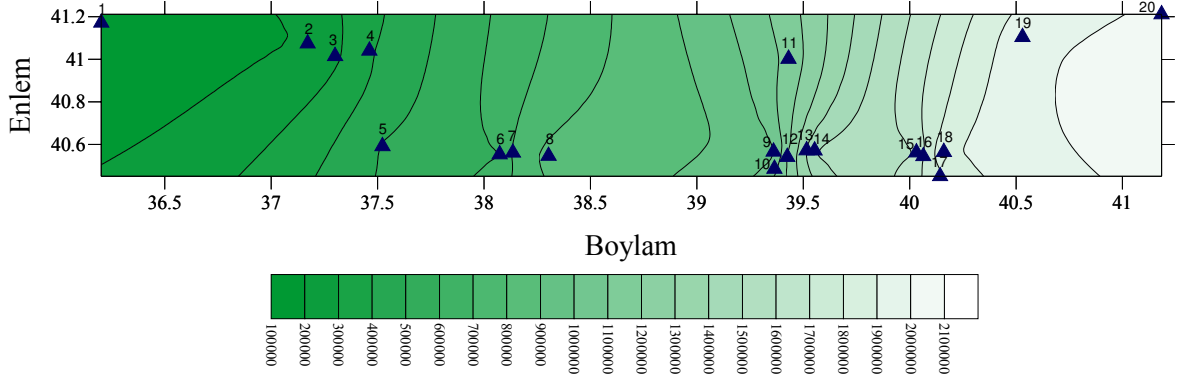
Ek 4D Şekil 1.10. 13 saat  $r=438$  km



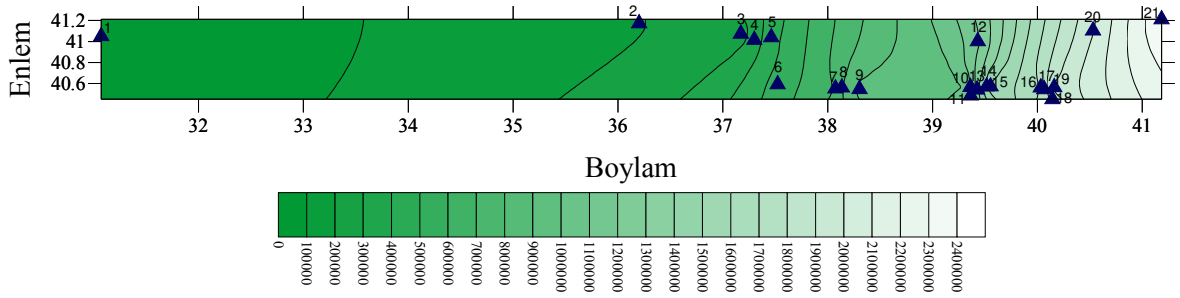
Ek 4D Şekil 1.11. 16 saat  $r=82$  km



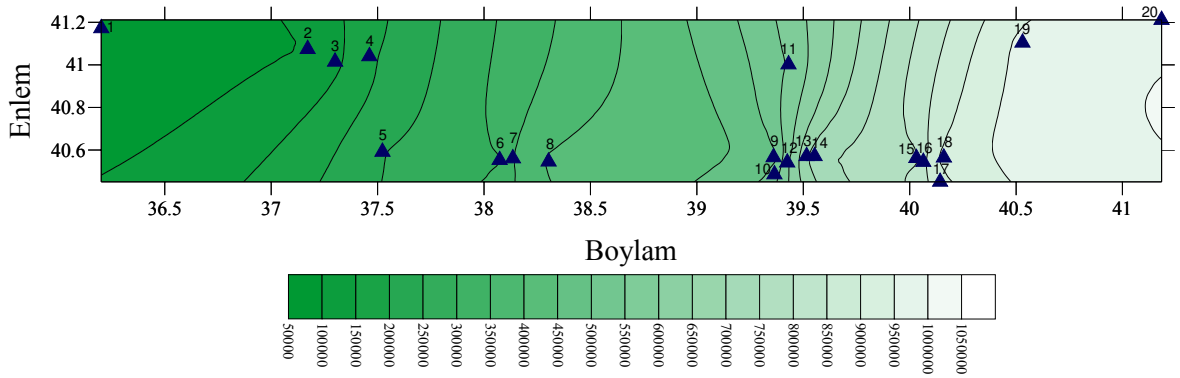
Ek 4D Şekil 1.12. 16 saat  $r=438$  km



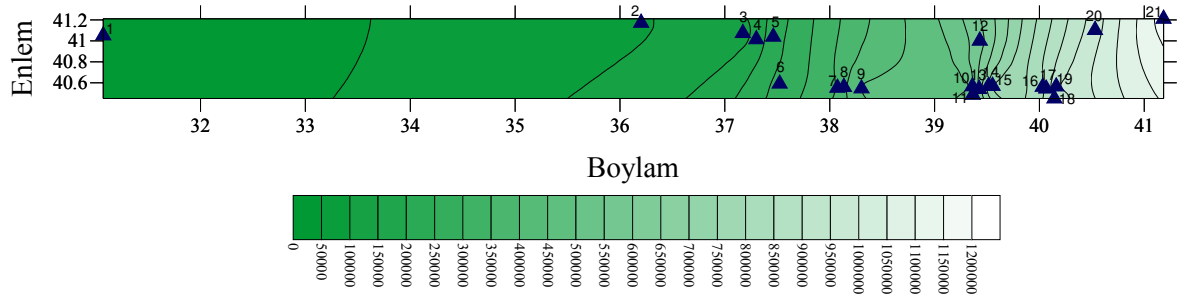
Ek 4D Şekil 1.13. 19 saat  $r=82$  km



Ek 4D Şekil 1.14. 19 saat  $r=438$  km



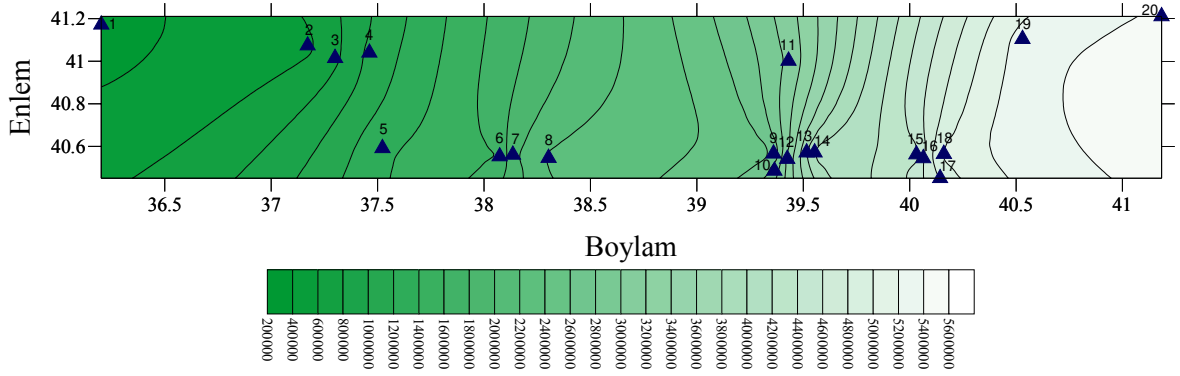
Ek 4D Şekil 1.15. 22 saat  $r=82$  km



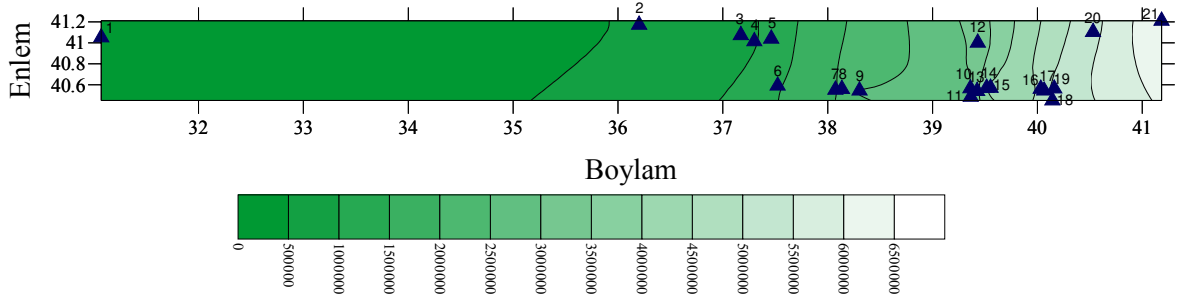
Ek 4D Şekil 1.16. 22 saat  $r=438$  km

**EK 4E**

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Eylül için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

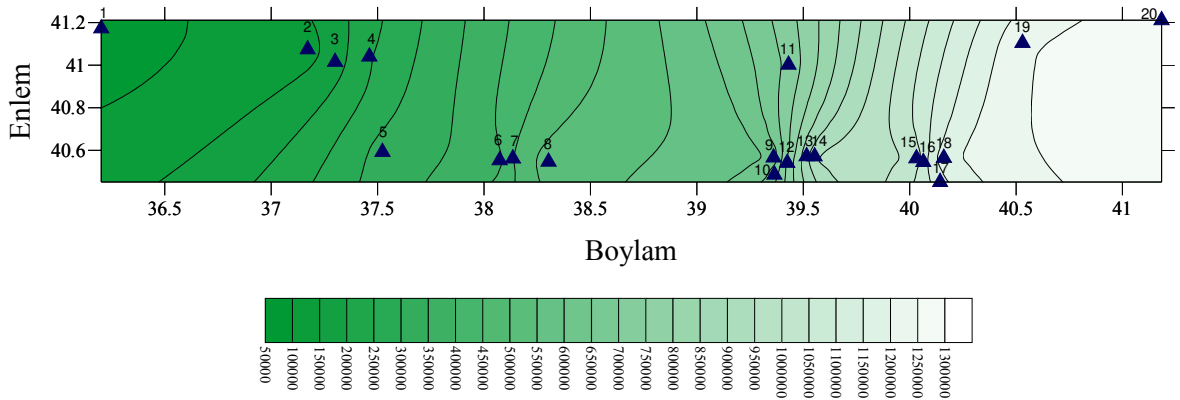


Ek 4E Şekil 1.1. 12 saat r=82 km

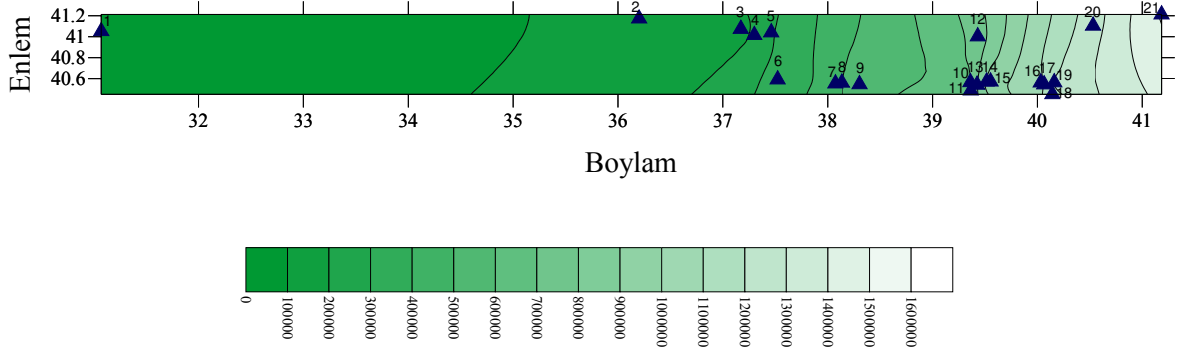


Ek 4E Şekil 1.2. 12 saat r=438 km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Ekim için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

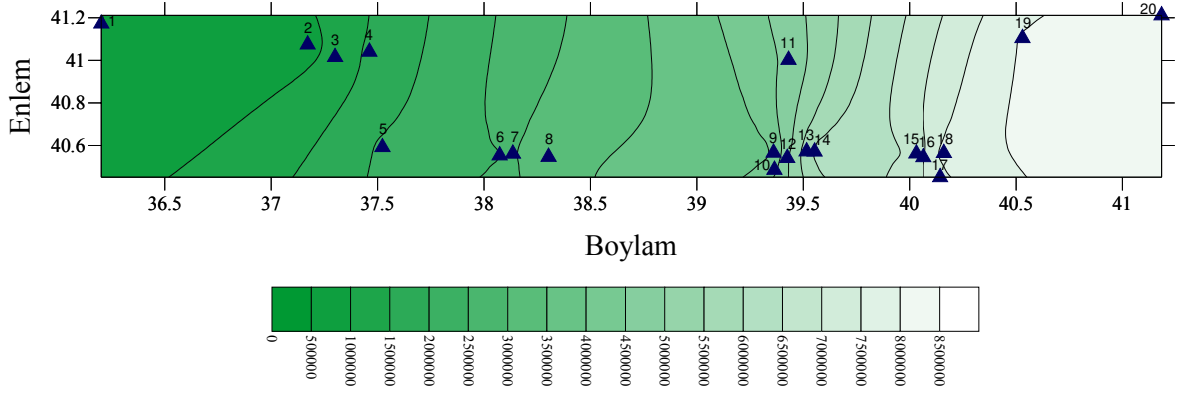


Ek 4E Şekil 1.3. 12 saat r=82 km

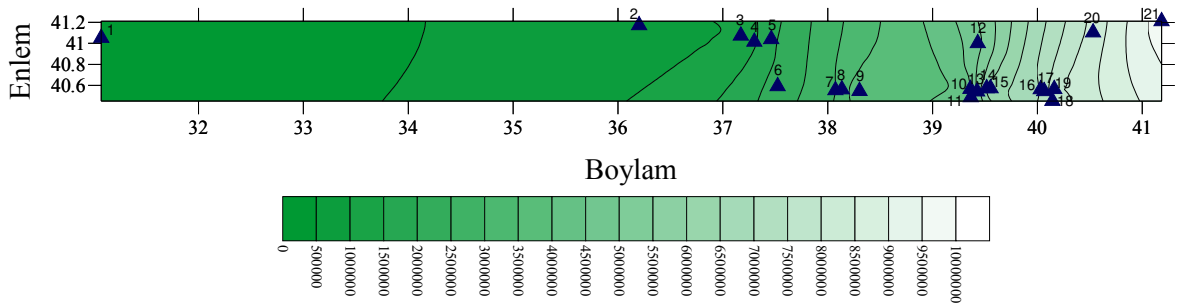


Ek 4E Şekil 1.4. 12 saat r=438 km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Kasım için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

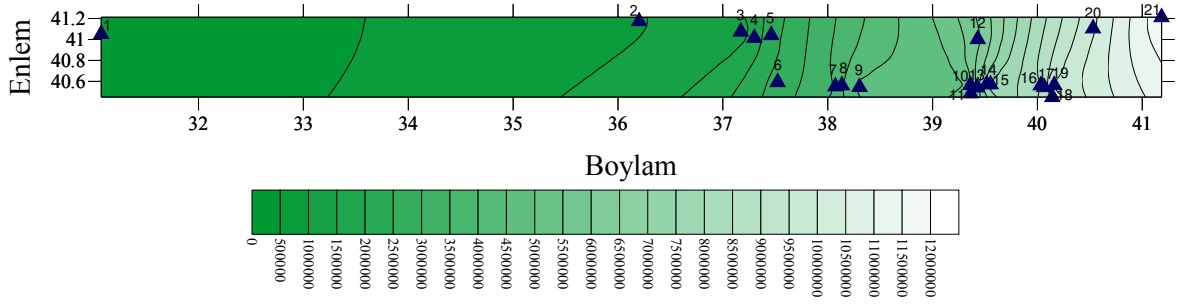


Ek 4E Şekil 1.5. 12 saat r=82 km

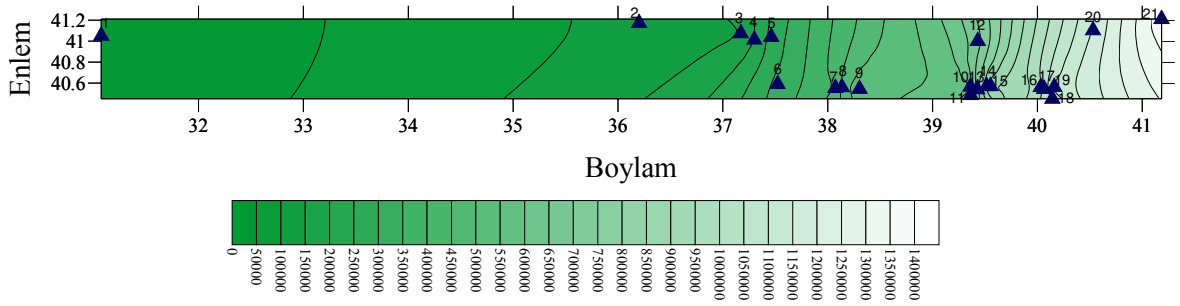


Ek 4E Şekil 1.6. 12 saat r=438 km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Aralık için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

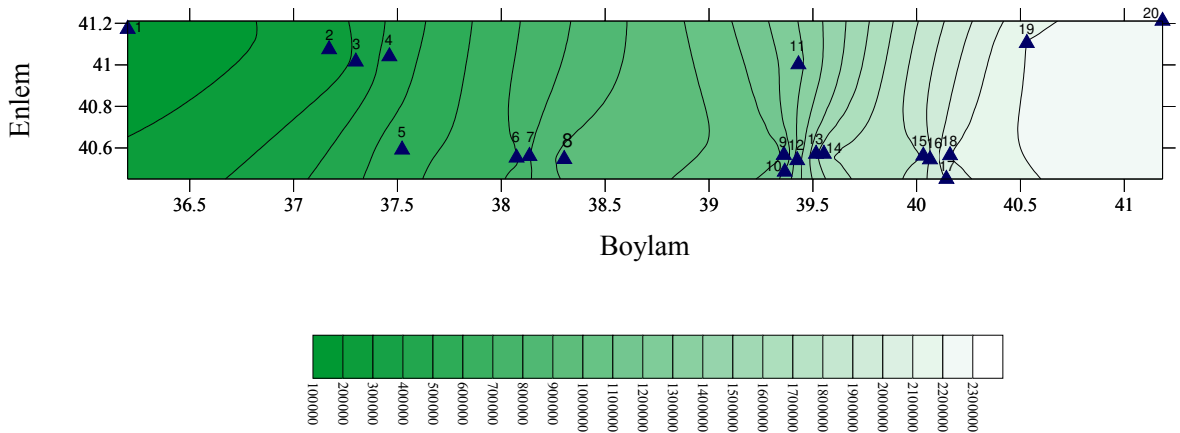


Ek 4E Şekil 1.7. 12 saat r=82 km

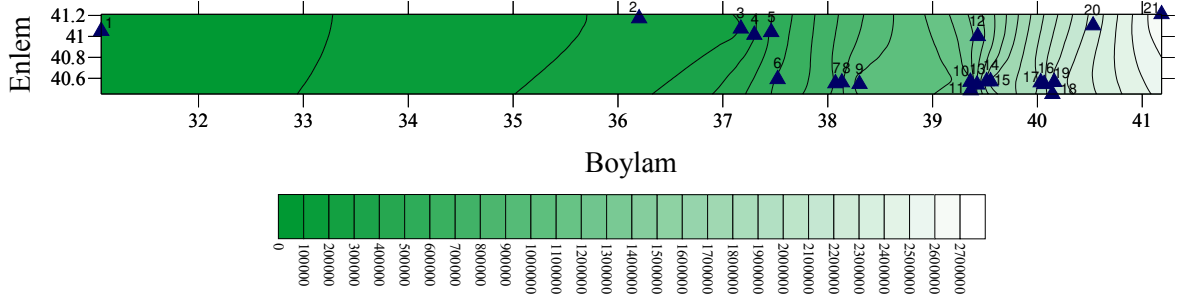


Ek 4E Şekil 1.8. 12 saat r=438 km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Haziran için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

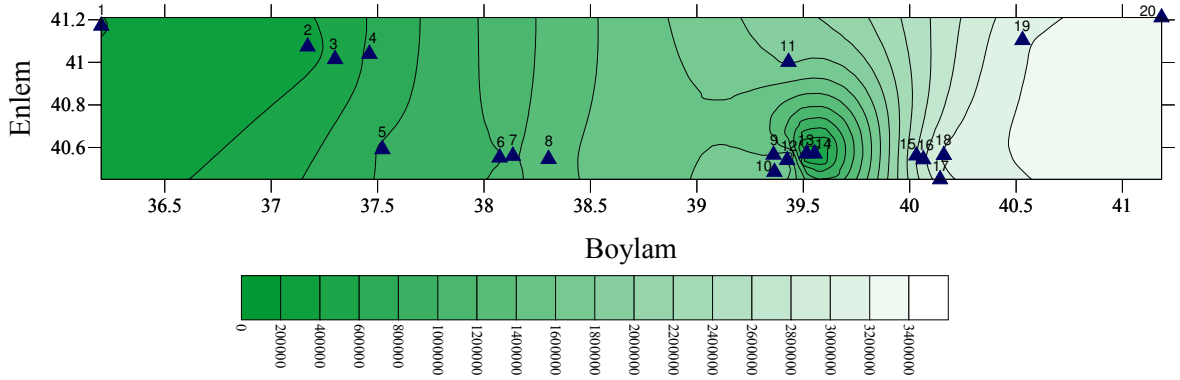


Ek 4E Şekil 1.9. 12 saat r=82 km

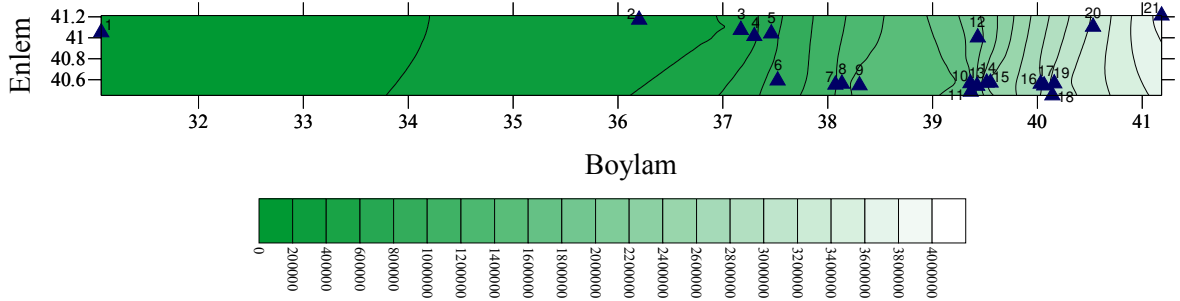


Ek 4E Şekil 1.10. 12 saat  $r=438$  km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Temmuz için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları

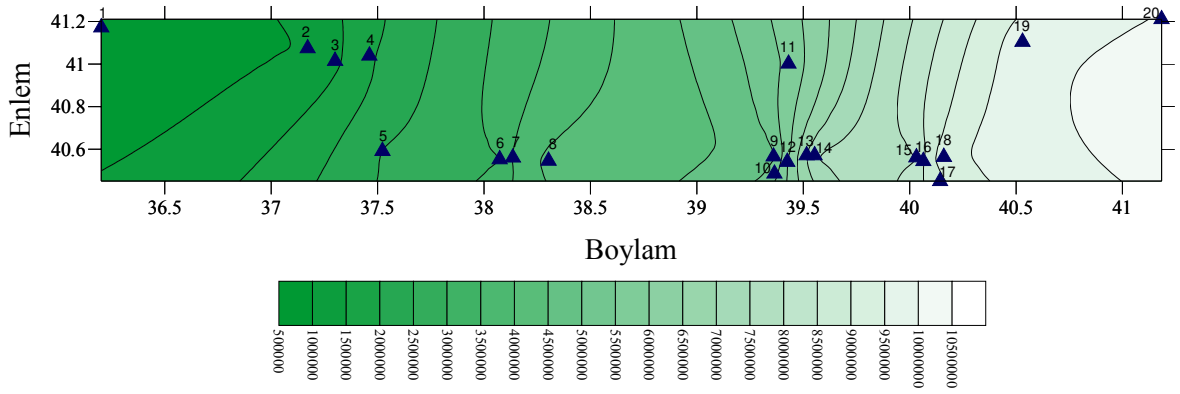


Ek 4E Şekil 1.11. 12 saat  $r=82$  km

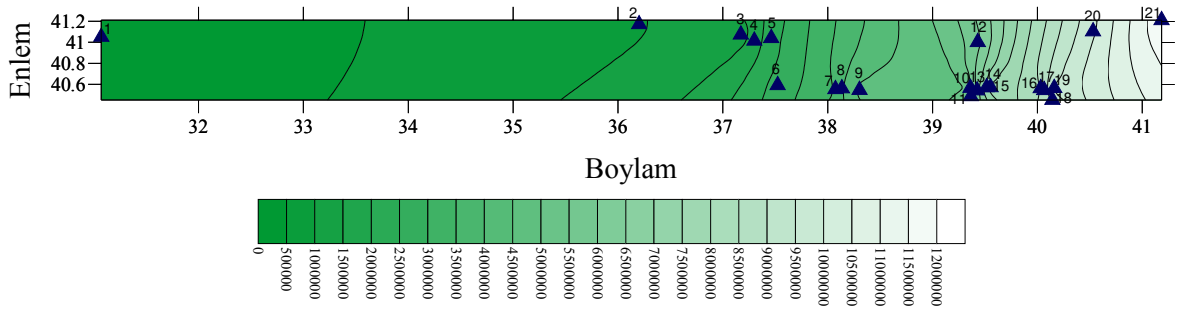


Ek 4E Şekil 1.12. 12 saat  $r=438$  km

### <sup>137</sup>Cs'nin 10 Ağustos için Çizilen İzo-radyoaktivite Haritaları



Ek 4E Şekil 1.13. 12 saat r=82 km



Ek 4E Şekil 1.14. 12 saat r=438 km

## 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.