

**RADYOAKTİF SERPİNTİNİN  
NOKTASAL TOPLAM YARIVARIÖGRAM  
METODU ile MODELLENMESİ**

**Sevim KARAMAN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI  
AĞUSTOS-2013**

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

**RADYOAKTİF SERPİNTİNİN**  
**NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM METODU ile**  
**MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Sevim KARAMAN

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

AĞUSTOS-2013

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

**RADYOAKTİF SERPİNTİNİN**  
**NOKTASAL TOPLAM YARIVARIĞRAM METODU ile**  
**MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Sevim KARAMAN

(111114104)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

AĞUSTOS-2013

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOAKTİF SERPİNTİNİN  
NOKTASAL TOPLAM YARIVARİOGRAM METODU ile  
MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Sevim KARAMAN**  
**(111114104)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13.08.2013**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 28.08.2013**

**Tez Danışmanı :**

**Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI (F.Ü.)**

**Diğer Jüri Üyeleri :**

**Doç. Dr. Sefa KAZANÇ (F.Ü.)**

**Yrd. Doç. Dr. Esat GÜZEL (F.Ü.)**

**AĞUSTOS-2013**

## ÖNSÖZ

**Bu çalışma, ülkemizde nükleer enerji konusunda son dönemlerde yapılan olumlu gelişmeler düşünülerek, bu konudaki açığımızı bir derece olsun gidermek amacıyla yapıldı. Geçmiş yıllarda gerçekleşen ve neredeyse hepsi insan kaynaklı olan nükleer kazalar, nükleer enerjinin elde edilmesi konusunda yapılacak olan çalışmaları engellememelidir. Bunun aksine, bu tip bilimsel çalışmalara desteğimiz artarak devam etmelidir.**

Bu çalışmada, Fukushima Daiichi radyoaktif serpintisi kaynaklı  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoaktif çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları, çalışma alanı olarak seçilen Hazar Gölü'nde, gölün farklı derinliklerine göre belirlendi ve Noktasal Toplam Yarı-Variogram metodu ile modellendi. Daha sonra aktivite dağılımı açısından gölün karakteristiği hakkında faydalı bilgiler sağlayan eş-radyoaktivite haritaları çizilmiştir.

Öncelikle, çalışmamın her aşamasında göstermiş olduğu yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösteren, her konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI'ya en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Modelin uygulanması için gerekli hesaplamaların sağlanmasına yardımcı olan arkadaşım Ahmet Bilici ve Arş. Gör. Seçil Niksarlıoğlu'na, numune sayımları esnasındaki yardımlarından dolayı arkadaşlarım Miraç Kamışlıoğlu ve Şerif Çiçek'e teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca verdiğim kararlarda daima yanımda olan, benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, emekleri hiçbir zaman unutulmayacak olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Sevim KARAMAN**

**ELAZIĞ-2013**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>I</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>V</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>XII</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>XIII</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. RADYOAKTİVİTE</b> .....	<b>4</b>
<b>3. RADYASYON ve KAYNAKLARI</b> .....	<b>5</b>
3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	6
3.1.1. Kozmik Radyasyon .....	6
3.1.2. Karasal Radyasyon.....	7
3.1.2.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite .....	7
3.1.2.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite.....	8
3.1.2.3. Sudaki Doğal Radyoaktivite.....	8
3.1.2.4. İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite .....	10
3.1.3. Yapay Radyasyon Kaynakları .....	10
<b>4. RADYOAKTİF SERPİNTİ</b> .....	<b>11</b>
4.1. Nükleer Kazalar.....	11
4.1.1. Cs-137 .....	13
4.1.2. Sr-90 .....	14
4.2. Radyoaktif Serpentinin Hava ile Taşınımı.....	15
4.3. Radyoaktif Serpentinin Toprak ile Taşınımı.....	15
4.4. Radyoaktif Serpentinin Su ile Taşınımı .....	16
<b>5. NÜKLEER RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ</b> .....	<b>17</b>
5.1. Gaz Dolgulu Dedektörler .....	17

	<b><u>Sayfa No</u></b>
5.2. Sintilasyon Dedektörleri.....	18
5.3. Yarı İletken Dedektörler.....	20
<b>6. MATERYAL ve METOT .....</b>	<b>21</b>
6.1. Deneysel Çalışmalar.....	21
6.1.1. Örneklerin toplanması .....	21
6.1.2. Su Örneklerinin Gama ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması .....	21
6.1.3. Dip çamuru Örneklerinin Gama ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması .....	22
6.2. Alansal Modeller .....	23
6.2.1. Bölgesel Değişkenlik.....	23
6.2.2. Objektif Analiz.....	23
6.2.3. Yarı-Variogram .....	24
6.2.3.1. Yarı-Variogram Parametreleri.....	25
6.2.3.2. Yarı-Variogram Modelleri .....	26
6.2.4. Noktasal Toplam Yarı-Variogram .....	28
<b>7. ARAŞTIRMA ALANI .....</b>	<b>30</b>
7.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı .....	32
7.2. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı.....	33
7.3. Çalışma Alanının Toprak Yapısı.....	33
7.4. Çalışma Alanının İklimi .....	34
<b>8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>35</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>50</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## ÖZET

Bu çalışmada, Hazar Gölü (Elazığ)'nden alınan su ve dip çamuru örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoçekirdek konsantrasyonları belirlendi ve Noktasal Toplam Yarı-Variogram (NTYV) metodu ile modellendi. NTYV metodu, istasyonlar arasındaki uzaysal bağımlılığı ifade eden klasik Yarı-Variogram (YV)'in eksikliklerini giderir.  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'in göl içerisindeki dağılımlarını ve taşınım karakteristiklerini görebilmek için 10 tane NTYV modeli elde edildi. Bunlara ilave olarak  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'in eş radyoaktivite haritaları çizildi ve yorumlandı.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaysal Analiz; Radyoaktif Serpinti; Taşınım; Dağılım;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{90}\text{Sr}$ ; Yarı-Variogram; Noktasal Toplam Yarı-Variogram.

## SUMMARY

### **Modelling with Point Cumulative Semivariogram Method of Radioactive Fallout**

In this study,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclide concentrations of water and bottom mud samples, which taken from Hazar Lake (Elazığ) have been determined and have been modeled by Point Cumulative Semi-Variogram (PCSV) method. Semi-Variogram (SV) expresses the spatial dependence between the stations. PCSV method eliminates deficiencies of the classic SV. 10 PCSV model have been obtained for determination the transport characteristics and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  in the lake. In addition to these,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  iso-radioactivity maps have been drawn and interpreted.

**Key Words:** Spatial Analysis; Radioactive Fallout; Transport; Distribution;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{90}\text{Sr}$ ; Semi-Variogram; Point Cumulative Semi-Variogram.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 5.1. Gaz dolgulu dedektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri.....	18
Şekil 5.2. Sintilasyon Sayacı .....	19
Şekil 6.1. (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi .....	21
Şekil 6.2. Belirli bir uzaklık aralığındaki numuneler kullanarak YV hesaplamasının gösterimi .....	24
Şekil 6.3. Yarı-variogram Parametreleri.....	25
Şekil 6.4. Küresel model.....	26
Şekil 6.5. Gauss model .....	26
Şekil 6.6. Üstel model.....	26
Şekil 6.7. Power model.....	26
Şekil 7.1. Numunelerin toplandığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi.....	30
Şekil 8.1. Su örnekleri $^{137}\text{Cs}$ aktivite konsantrasyonları.....	36
Şekil 8.2. Su örnekleri $^{90}\text{Sr}$ aktivite konsantrasyonları.....	36
Şekil 8.3. Dip çamuru örnekleri $^{137}\text{Cs}$ ve $^{90}\text{Sr}$ aktivite konsantrasyonları .....	37
Şekil 8.4. Yüzey suları $^{137}\text{Cs}$ eş-radyoaktivite haritası .....	38
Şekil 8.5. Yüzey suları $^{90}\text{Sr}$ eş-radyoaktivite haritası .....	39
Şekil 8.6. Orta derinlik suları $^{137}\text{Cs}$ eş-radyoaktivite haritası .....	39
Şekil 8.7. Orta derinlik suları $^{90}\text{Sr}$ eş-radyoaktivite haritası .....	40
Şekil 8.8. Dip derinlik suları $^{137}\text{Cs}$ eş-radyoaktivite haritası .....	40
Şekil 8.9. Dip derinlik suları $^{90}\text{Sr}$ eş-radyoaktivite haritası .....	41
Şekil 8.10. Dip çamuru $^{137}\text{Cs}$ eş-radyoaktivite haritası .....	41
Şekil 8.11. Dip çamuru $^{90}\text{Sr}$ eş-radyoaktivite haritası .....	42
Şekil 8.12. NTYV modelleri.....	44
Ek 1 Şekil 1.1. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 1a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	60
Ek 1 Şekil 1.2. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 1b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	60

Ek 1 Şekil 1.3. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 1c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	60
Ek 1 Şekil 1.4. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 2a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	61
Ek 1 Şekil 1.5. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 2b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	61
Ek 1 Şekil 1.6. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 2c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	61
Ek 1 Şekil 1.7. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 3a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	62
Ek 1 Şekil 1.8. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 3b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	62
Ek 1 Şekil 1.9. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 3c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	62
Ek 1 Şekil 1.10. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 4a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	63
Ek 1 Şekil 1.11. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 4b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	63
Ek 1 Şekil 1.12. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 4c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	63
Ek 1 Şekil 1.13. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 5a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	64
Ek 1 Şekil 1.14. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 5b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	64
Ek 1 Şekil 1.15. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 5c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	64
Ek 1 Şekil 1.16. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 6a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	65
Ek 1 Şekil 1.17. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 6b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	65

Ek 1 Şekil 1.18. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 6c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	65
Ek 1 Şekil 1.19. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 7a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	66
Ek 1 Şekil 1.20. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 7b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	66
Ek 1 Şekil 1.21. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 7c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	66
Ek 1 Şekil 1.22. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 8a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	67
Ek 1 Şekil 1.23. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 8b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	67
Ek 1 Şekil 1.24. $^{137}\text{Cs}$ su örnekleri 8c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	67
Ek 2 Şekil 1.1. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 1a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	69
Ek 2 Şekil 1.2. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 1b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	69
Ek 2 Şekil 1.3. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 1c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	69
Ek 2 Şekil 1.4. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 2a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	70
Ek 2 Şekil 1.5. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 2b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	70
Ek 2 Şekil 1.6. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 2c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	70
Ek 2 Şekil 1.7. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 3a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	71
Ek 2 Şekil 1.8. $^{90}\text{Sr}$ su örnekleri 3b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	71

Ek 2 Şekil 1.9. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 3c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	71
Ek 2 Şekil 1.10. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 4a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	72
Ek 2 Şekil 1.11. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 4b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	72
Ek 2 Şekil 1.12. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 4c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	72
Ek 2 Şekil 1.13. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 5a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	73
Ek 2 Şekil 1.14. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 5b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	73
Ek 2 Şekil 1.15. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 5c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	73
Ek 2 Şekil 1.16. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 6a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	74
Ek 2 Şekil 1.17. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 6b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	74
Ek 2 Şekil 1.18. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 6c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	74
Ek 2 Şekil 1.19. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 7a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	75
Ek 2 Şekil 1.20. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 7b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	75
Ek 2 Şekil 1.21. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 7c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	75
Ek 2 Şekil 1.22. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 8a nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	76
Ek 2 Şekil 1.23. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 8b nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	76

Ek 2 Şekil 1.24. <sup>90</sup> Sr su örnekleri 8c nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği .....	76
Ek 3 Şekil 1.1. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 1 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	78
Ek 3 Şekil 1.2. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 2 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	78
Ek 3 Şekil 1.3. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 3 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	78
Ek 3 Şekil 1.4. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 4 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	79
Ek 3 Şekil 1.5. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 5 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	79
Ek 3 Şekil 1.6. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 6 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	79
Ek 3 Şekil 1.7. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 7 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	80
Ek 3 Şekil 1.8. <sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri 8 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	80
Ek 4 Şekil 1.1. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 1 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	82
Ek 4 Şekil 1.2. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 2 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	82
Ek 4 Şekil 1.3. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 3 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	82
Ek 4 Şekil 1.4. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 4 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	83
Ek 4 Şekil 1.5. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 5 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	83
Ek 4 Şekil 1.6. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 6 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı-variogram grafiği.....	83

Ek 4 Şekil 1.7. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 7 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı- variogram grafiği.....	84
Ek 4 Şekil 1.8. <sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri 8 nolu istasyon Noktasal Toplam Yarı- variogram grafiği.....	84

## TABLULAR LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 7.1. İstasyonlar ve su örneklerine ait veriler .....	31
Tablo 7.2. Radyoçekirdeklere ait enerji değerleri .....	31
Tablo 7.3. İstasyonlar ve dip çamuru örneklerine ait veriler .....	32
Tablo 8.1. NTYV grafiklerinin modellere göre dağılımı .....	45
Tablo 8.2. EPA içme suyu değerleri ve Elde edilen sonuçlar .....	49

## KISALTMALAR LİSTESİ

BD	: Bölgesel Değişken
YV	: Yarı-Variogram
NTYV	: Noktasal Toplam Yarı-Variogram
EPA	: Uluslar arası Çevre Koruma Ajansı

## SEMBOLLER LİSTESİ

$A$	: Aktivite
$\varepsilon$	: dedektör verimi
$P$	: karakteristik ışın yayınlanma olasılığı
$M_s$	: Numune miktarı
$V_s$	: Numune hacmi
$h$	: ilgili iki nokta arasındaki mesafe
$\gamma_h, \gamma(h)$	: $h$ uzaklığındaki YV değeri
$X_i, Z_i$	: $i$ konumundaki bölgesel değişkenin değeri
$X_{i+d}$	: $i$ konumundan $d$ mesafe sonra bölgesel değişkenin değeri
$m$	: mesafe çifti sayısı
$\gamma(d_i)$	: $d_i$ mesafesindeki NTYV değeri
$N_d, n$	: istasyon sayısı
$a$	: YV'in etki alanı
$C_0$	: Nugget etkisi

## 1. GİRİŞ

Nükleer güç kullanımının gelişimiyle birlikte, irili ufaklı pek çok reaktör kazası oluşmuştur. Bunlardan en önemlileri; Three Mile Island (1979) kazası, Chernobyl (1986) ve Fukushima (2011) nükleer kazasıdır (TAEK, 2007; Devolpi, 2012). Uzmanlar Fukushima Daiichi nükleer santral kazasını Chernobyl nükleer santral kazasından sonra en büyük nükleer kaza olarak tanımlamaktadır. Chernobyl nükleer santral kazasında reaktörün kendisi patlamış ve çevreye muazzam bir radyoaktivite salınmasına neden olmuştur. Fukushima Daiichi nükleer santral kazasında ise 9 şiddetindeki deprem ve onu takip eden tsunami ile reaktörün soğutma sistemleri zarar görmüş, reaktör korunda kısmi erime meydana gelmiştir (Çetiner, 2011). Temel güvenlik sistemlerinin başarısızlığı, reaktör çekirdeğinin ciddi hasar görmesine ve çevreye radyoaktivite salınımına yol açmıştır (IAEA, 2012).

Nükleer reaktör kazalarındaki artış, araştırmacıları, atmosfere yayılan radyoaktif parçacıkların araştırılması ve modellenmesine yöneltmiştir (Styro vd., 2001; Putyrskaya vd., 2007; Külahcı ve Şen, 2007; Sasina vd., 2007; Külahcı ve Şen, 2008;). Nükleer reaktör kazası sonucu yüzeye yakın atmosferde biriken radyoaktif maddeler, zamanla yer altı ve yer üstü sularını da kısmen etkilemiştir (Putyrskaya vd., 2007).

Nükleer reaktör kazaları sonucunda, çevreye yayılan radyoçekirdeklerin biyolojik etkileri bakımından en önemlileri, uzun yarı ömürlü  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  izotopları olmuştur. Bu yapay radyoçekirdeklerin havada, toprakta ve sudaki aktivite seviyeleri inceleme konusu olmuştur (Chiu vd., 1999; Isaksson vd., 2001; Fukuyama ve Fujiwara, 2008). Radyoaktif çekirdeklerin toprakta veya suda Bq cinsinden ölçülen aktivite konsantrasyonlarının hesaplanmasında aktivitenin ulaştığı derinliğin bilinmesi ve zaman içinde değişimi adına örneklerin alındıkları derinliklerin de bilinmesi önemlidir (TAEK, 2007). Yer yüzeyinin jeolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı farklılık gösterir (Arıkan, 2007).

Bir bölgedeki radyoçekirdeklerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi bölgede yaşayan insanların sağlığı açısından önemli olmakla birlikte bu konuda yapılacak çalışmalar içerisinde en önemli adımlardan biri de bölgedeki radyoçekirdek

konsantrasyonlarının bir model içerisinde değerlendirilmesidir. Geliştirilen modelin geçerliliği sağlandıktan sonra değişik tipteki radyoçekirdeklerin aktivite konsantrasyonlarının miktarı ve taşınımı gibi uygun bilgilerin alınabilmesi mümkün kılınır. Bu konuda birçok araştırmacı radyoaktif çekirdeklerin su veya atmosferik ortamlardaki taşınımı için çeşitli matematiksel modeller geliştirmiştir (Ahajjar vd., 1998; Ng vd., 1996; Carroll ve Harms, 1999; Monte vd., 2004; Külahcı ve Şen 2009).

Bu çalışmada uzaysal (konumsal) modelleme tekniklerinden biri olan ve hesaplamaları matematiksel fonksiyonlara dayanan bir teknik kullanılmıştır. Bilinen ilk uzaysal model örneklerinden biri Student (1907) tarafından yapılmıştır. Student bir sıvı içerisindeki parçacığın uzaysal konumlarının analizi yerine, birim alan başına parçacık sayısını toplamıştır. Daha sonra Fisher (1935) tarım alanında kullanmış ve Yates (1938) uzaysal korelasyonu incelemiştir.

Uzaysal analiz kapsamında yer alan ve literatürde kullanımına sıklıkla rastlanılan klasik varyans ve kovaryans teknikleri normal dağılım fonksiyonları ya da örnek konumların düzenli dağılmış olması durumunda geçerliliğini korumuştur. Oysa pratik çalışmalarda konumlar sık ve düzensiz aralıklanmıştır. Matheron (1963) Yarı-Variogram (YV) tekniğini önererek bu eksikliklerin kısmen üstesinden gelmiştir. Ancak bölgesel değişken (BD) değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimlerini ifade eden ve oldukça kullanışlı olan YV tekniği de beraberinde bir takım eksiklikleri getirmiştir. Şen (1998) tarafından klasik YV'nin amaçlanan tüm özelliklerine sahip olan ve aynı zamanda klasik YV'nin beraberinde getirdiği eksiklikleri de ortadan kaldıracak olan Noktasal Toplam Yarı-Variogram (NTYV) yöntemi öne sürülmüştür. NTYV yöntemi, örnekleme noktalarının düzensiz olarak dağılması durumunda kullanılır ayrıca bu yöntem özel bir konum üzerinde, çalışma alanı içindeki diğer bütün konumların bölgesel etkisini de dikkate alır.

Bu çalışmadaki temel amaç; Fukushima Daiichi radyoaktif serpintisi kaynaklı  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoaktif çekirdeklerinin aktivite dağılımlarını Elazığ'ın il sınırları içerisinde bulunan Hazar Gölü'nün farklı derinliklerinde belirlemek ve bu radyoaktif çekirdeklerin taşınımı için hesaplamaları YV temeline dayanan NTYV metodu ile uzaysal modellemesini yapmaktır. Bu çalışmada radyoçekirdeklerin uzaysal modellenmesi ile ilgili yapılan çalışmalardan farklı olarak uygulanan NTYV tekniğine, radyoaktif

Çekirdeğin aktivite konsantrasyonunun belirlenmesinde önemli bir etkisi olan derinlik mesafesi de eklenmiş ve byolece radyoaktif parçacıkların üç boyutlu uzaysal analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak yapılan bu analizler sonucunda radyoaktif serpinti ürünleri olan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoekirdeklerinin ilgili radyoaktivite konsantrasyonlarının eř-radyoaktivite haritaları çizildi ve yorumlandı.

## 2. RADYOAKTİVİTE

Radyoaktif kelimesi, yayma anlamına gelen radyo ile sürekli anlamına gelen aktif kelimelerinden oluşur. Radyoaktiflik, 1896 yılında Henry Becquerel tarafından önerildi. Becquerel, belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. Kalın bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan oluşan numuneyi, karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanına bırakmıştı. Daha sonra uranyum bileşikleri yakınına bıraktığı fotoğraf plâkalarının kararmış olduklarını gördü. X-ışınları ile floresans arasındaki ilişkiyi araştıran Becquerel, önceleri bu etkinin floresans maddeden kaynaklandığını düşünmüş fakat diğer floresans maddelerin aynı olayı oluşturmadıklarını gözlemlemiştir. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel, fotoğraf plâkalarının kararma nedeninin floresans veya X-ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu gösterdi (Bayata, 2007).

Becquerel'in keşfinden sonra Marie Curie ve eşi Pierre Curie önceden bilinmeyen yüksek derecede radyoaktif iki element daha tespit ettiler ve bunlara polonyum ve radyum adını veriler. Daha sonra diğer radyoaktif elementler keşfedilmiştir ve bu elementlerin yayınladığı parçacıklar üzerinde durulmuştur.

Doğada bulunan elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı çekirdeklere sahip iken diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptir. Kararlı bir çekirdekte, nötron sayısı (N), proton sayısından (Z) daha fazladır ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır. Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle sıkı bağlıdır. Dolayısıyla hiçbir parçacık çekirdek dışına kaçamaz ve böylece çekirdek dengede kalır. Ancak çekirdek kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada tutamayacaktır. Belli bir süre sonra bu enerjisini boşaltacaktır (Taşkın, 2006; Bayata, 2007; Kobya, 2009). Radyoaktif çekirdeklerin fazla enerjilerinden kurtulmak için enerji yayarak kararlı hale dönüşmesine radyoaktivite denir (Külahcı, 2005). Bu dönüşüm eylemine bozunum, değişen ve radyasyon yayan atom çekirdeğine ise radyoçekirdek denir (TAEK, 2009).

### 3. RADYASYON ve KAYNAKLARI

Radyasyon, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarıya saldıkları parçacık veya elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerji olarak adlandırılır (Walhstrom, 1996).

Radyasyon, ortamda yol alan enerji olarak da ifade edilir ve temel anlamda parçacık ve dalga tipi radyasyon olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. Parçacık tipi radyasyon, belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Alfa ve beta radyasyonları parçacık tipi radyasyonun bir çeşididir. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip olup kütsüz radyasyondur.  $\gamma$ -ışınları dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Parçacık ve dalga tipi radyasyon da kendi içerisinde madde üzerinde oluşturduğu etkiye göre iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyon, maddeden geçerken onun atomlarını iyonlaştıran ışınlardır. Alfa parçacıkları, beta parçacıkları, gama ışınları, X-ışınları ve nötronlar iyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerindedir (TAEK, 2007). İyonlaştırıcı radyasyonların duyu organlarıyla doğrudan algılanması mümkün olamadığından, farkında olmadan ışınlanan insanlarda ciddi biyolojik hasarlara yol açabilirler (Knoll, 2000). İyonlaştırıcı olmayan radyasyon dalga tipi olup elektromanyetik radyasyondur. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızılötesi dalgalar ve görülebilir ışık bu tip radyasyon çeşidi olup tüm dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket eder (TAEK, 2007).

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). Doğal radyoaktiviteye ek olarak, 1945'den 1980'e kadar yeryüzünde yapılan nükleer silah denemeleri ve nükleer reaktör kazaları çevreye radyoaktif elementlerin yayılmasına sebep olmuştur.

Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Dünyada en fazla nükleer santrale sahip olan ABD'nde, nükleer santralin sınırında yaşayan bir kişi doğal yollardan aldığı radyasyon miktarının 0,01 mSv'den az radyasyon

almaktadır. Sonuç olarak nükleer santral yakınında yaşayan bir kişinin alacağı ek radyasyon miktarı, doğadan radyasyon miktarının 1/300'ü kadardır (URL-1, 2013). Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır (Koby, 2009).

### **3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları**

#### **3.1.1. Kozmik Radyasyon**

Dünya yüzeyi varoluşundan beri sürekli kozmik ışınların etkisi altında olup, bu ışınların yoğunluğu atmosferin üst tabakasından deniz seviyesine doğru inildikçe azalmaktadır (NCRP 98, 1989). Atmosferin üst tabakalarına ulaşan kozmik radyasyonun yoğunluğu dünyanın manyetik alanının etkisiyle azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla en fazla ışın yoğunluğu ve doz hızı jeomanyetik kutuplarda, en düşük ışın yoğunluğu ve doz hızı ise ekvator bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, dünyanın manyetik alanı kozmik radyasyona karşı kısmen bir kalkan görevi yapmaktadır (Arıkan, 2007).

Kozmik ışınlar, tuzaklanmış parçacık radyasyonları, galaktik radyasyonlar ve solar radyasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır (NCRP 98, 1989). Tuzaklanmış parçacık radyasyonları, elektronlar ve protonlardan oluşmuştur. Galaktik ve solar radyasyonlar ise büyük oranda proton, az miktarda helyum ve ağır iyonları içermektedir.

Galaktik kozmik ışınlar, güneş sistemi dışındaki yıldızlararası ortamlardan, süper novalardan, pulsarlardan veya galaktik çekirdeklerden gelmektedir. Solar radyasyonlar ise güneş kaynaklı olup enerjileri birkaç keV ile birkaç MeV arasında değişen düşük enerjili parçacıklardır (Özger, 2005). Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine girdiklerinde atmosferde bulunan bazı elementlerin çekirdekleriyle nükleer reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar sonucu başka ışınlar üretirler. Kozmik ışınlar birincil ve ikincil radyasyonlar olarak sınıflandırılabilir.

Birincil (primer) kozmik radyasyonlar, galaktik sistemlerden ve güneş patlamaları sonucu oluşan ışınlardan meydana gelmektedir. Birincil kozmik ışınların atom çekirdekleriyle reaksiyona girmeleri sonucunda yüksek enerjili nötronlar, protonlar, pionlar, müonlar ve düşük atom numaralı çekirdekler ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{12}\text{Na}$ ,  $^{14}\text{C}$  ve  $^{24}\text{Na}$ )

oluşur. Bunlar ise ikincil (sekonder) radyasyonları oluşturmaktadır (Ginzburg, 1964; Arıkan, 2007). Atmosferdeki ikincil kozmik ışınların oluşturduğu doz hızının deniz seviyesindeki en önemli bileşenini müonlar, uçakların uçuş yüksekliğinde nötronlar, elektronlar, fotonlar, pozitronlar ve protonlar, daha yükseklerde ise ağır çekirdekler oluşturmaktadır (Arıkan, 2007).

### 3.1.2. Karasal Radyasyon

Karasal radyoçekirdekler birkaç milyar yıl önce yeryüzünün oluşumundan beri dünyada yerini almıştır. 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 olan  $^{40}\text{K}$ , buna ilaveten  $^{87}\text{Rb}$ 'dir (Tykva ve Sabol, 1995). Bu radyoçekirdekler ve bunların bozunma ürünleri toprak, kayalar, gıda maddeleri, su ve hava gibi çevresel ortamlarda bulunmakta ve sürekli olarak alfa, beta ve gama radyasyonları ile organizmaları ışınlamaktadır. Karasal radyoçekirdekler çevresel ortamlarda homojen bir dağılım göstermez. Bu kaynaklardan iç ve dış ışınlanmalar sonucu alınan dozlar ise insan faaliyetine ve alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (Arıkan, 2007; Mızrak, 2010).

#### 3.1.2.1. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Toprakta bulunan ve çok uzun yarı ömürlü olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyasyon kaynakları, milyarlarca yıldır yeryüzünde mevcut olmakta ve toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadır (El-Shershaby, 2002).

Toprak ve sedimentlerin doğal radyoaktivitesi, toprak ve sedimentlerin oluşum ve taşınma süreçlerine, uranyum, toryum ve bozunma ürünlerinin kimyasal ve biyolojik etkileşmelerine bağlıdır (Kurnaz vd., 2007). U, Th ve bunların bozunma ürünleri daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Granit kayalar önemli miktarlarda toryum içermektedir. Bu kayalar doğa şartlarında zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışmakta ve toprağın doğal radyoaktiflik seviyesini arttırmaktadırlar (NCRP, 1975).

Topraktaki çözülmüş uranyumun hareketliliği, toprak ve suyun pH'ı, toprağın organik karbon içeriği, toprağın yeraltı suyuna yakınlığıyla güçlü bir şekilde ilişkilidir. Kurşun gibi pek çok ağır metal, uranyumun hareketini nötral ve alkali şartlar altında

arttırır (Valkovic, 2000). Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtası ile radyoçekerdeklerin tutulmasını engeller. Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyoçekerdek konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır (Külahcı, 2000; Değerlier, 2007).

### **3.1.2.2. Yüzeğe Yakın Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite**

Atmosferin yüzeğe yakın kısmında, hem doğal kaynaklardan çıkan toz ve parçacıklar, hem de insan yapımı suni radyoaktif maddeler bulunmaktadır. İnsan aktiviteleri sonucu ortaya çıkan hava kirlilikleri, volkanik patlamalar, toz fırtınaları ve orman yangınlarıyla atmosfere bırakılan toz ve küller atmosferde bulunan toz ve parçacık konsantrasyonlarını sürekli arttırmaktadır. Bu toz ve parçacıklar genellikle havada asılı kalıp hava akımlarıyla dolanmaktadır. Yoğunlukları havanın yoğunluğundan daha ağır olanlar çekim kuvveti etkisiyle yere inerler (Özger, 2005; Külahcı, 2005).

Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler, atmosferde bulunan kozmojenik radyoçekerdek konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Kozmik ışınların dünya atmosferindeki atom çekirdekleriyle reaksiyona girmeleri sonucu üretilen nötronlar, elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederek yavaşlar ve  $^{14}\text{C}$  ile  $^{14}\text{N}$  atomları tarafından yakalanırlar. Proton ise yer seviyesine ulaşmadan bozunuma uğramaktadır. Ayrıca bunların yarı ömürleri çok kısadır. Bunlar yüzeğe yakın atmosferdeki en önemli iyonizasyon kaynaklarını oluşturmaktadır (Özger, 2005).

### **3.1.2.3. Sudaki Doğal Radyoaktivite**

Sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirlenilebilirler. Su, potasyum ile birlikte uranyum, toryum ve onların kız çekirdeklerinin bozunumundan oluşan doğal radyoaktivitenin farklı miktarlarını içermektedir. Su, uranyum serisi çekirdeklerinin temel taşınım ortamı olarak görev yapar (Valkovic, 2000).

Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir. Bu oluşumların içinde bulunan kimyasal bileşikler, suda çözünme derecelerine göre yeraltı sularına az ya da çok oranda karışır. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik oluşumlarda değişik oranlarda radyoaktif maddeler de bulunmaktadır. Bu maddeler magmatik

oluşumlarda en fazladır. Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum, çakıl, kumtaşı, kalker gibi tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yerkabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan sular radyoaktivite içerir. Yerkabuğu içindeki doğal radyoaktif maddeler; uranyum ( $^{238}\text{U}$ ), toryum ( $^{232}\text{Th}$ ), aktinyum serisi radyoçekirdekler veya onların bozunma ürünlerinden oluşur. Toryum, nehir ve okyanus sularında oldukça düşük yoğunlukta bulunmaktadır ancak deniz tabanında biriken ve nehirler tarafından taşınan tanecikler üzerine absorbe olarak taşınır. Okyanuslarda çözünmüş uranyumun oluşturduğu toryum, dipteki partiküller üzerine yapışır ve hidroliz olarak dibe ulaşır (Valkovic, 2000).

Uranyum, toryum ve aktinyum serilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklıdır. Bu serilerde bulunan radyoçekirdeklerin, sularındaki doğal radyoaktivite değerlerinden, uranyum ve aktinyum serilerindeki radyoçekirdeklerin topraktan suya geçerken farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Örneğin yer altı sularında çok yavaş hareket eden, yarı ömrü 3,8 gün olan ve konsantrasyonu 2-40 Bq/L arasında değişen  $^{222}\text{Rn}$ 'nin atmosfere kaçması sınırlıdır.  $^{222}\text{Rn}$ 'nin yeraltı sularındaki konsantrasyonu  $^{226}\text{Ra}$ 'dan daha fazladır. Bu nedenle bu radyoçekirdekler toprak ve kaya diplerinde radyoaktif dengeye daha kolay gelmektedir (Samuel, 1964).

$^{238}\text{U}$ 'in bozunması sonucu ortaya çıkan  $^{226}\text{Ra}$ , sular içerisinde bulunan en önemli doğal radyoaktif maddedir. Bunun kaynağını suların içinden geçtiği kütleler içerisindeki radyoaktif maddeler oluşturmaktadır. Genel olarak, volkanik kütleler, tortul kütlelerden daha fazla radyoaktivite ihtiva ettiklerinden, volkanik kayalar ile etkileşen suların radyum yoğunluğu, tortul kütleler ile etkileşen sularinkinden daha yüksektir (Külahcı, 2005). Ra, genellikle nehir üzerinde taşınan maddelerce emilir, parçacıklar tuzluluk oranı yüksek bölgelerde desorbe olurlar yani radyumu atarlar. Tuz içermeyen yer altı sularında Ra, genellikle olduğu yerden pek uzağa taşınamaz çünkü emilme ihtimali yüksektir (Valkovic, 2000).

Sularda bulunan ve insanların içsel kirlenmesinde (kontaminasyonunda) oldukça önemli yer tutan radyum, kimyasal bakımdan kalsiyuma benzer. Sindirim yoluyla alınan radyumun % 70-90'ı kemiklerde, geriye kalanı ise yumuşak dokuda toplanır (UNSCEAR, 1993).

Doğal radyoaktif maddelerin dışında, yapay olarak ortaya çıkan birçok radyoçekirdek, radyoaktif yağışlarla yeryüzüne iner ve radyoaktif kirlenmeye sebep olurlar. Nükleer silah denemeleri sonucunda atmosfere yayılan  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  gibi radyoaktif çekirdekler yağmur suları içerisinde yeryüzüne inerek çevrenin ve yüzey sularının kirlenmesine yol açmaktadır (Fry ve Britcher, 1987).

#### **3.1.2.4. İnsan Vücudundaki Doğal Radyoaktivite**

Radyoaktif parçacıkların hava, toprak ve bitkilere geçmesi sonucunda vücudumuz dıştan ışınlanır. Solunum ve sindirim yoluyla vücut içine taşınması sonucunda ise içten ışımaya yaparlar. İnsanlar, milyonlarca yıldan beri çevresinde ve vücudunda bulunan doğal radyoaktif maddelerden saçılan radyasyonlarla birlikte yaşamaktadır. Örneğin, besinler yoluyla vücudumuza yerleşen doğal potasyumdaki  $^{40}\text{K}$  radyoizotopu, her insanda ortalama 4400 Bq'lık bir radyoaktivite göstermektedir. Doğal radyoçekirdekler olan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{238}\text{U}$ 'in bozunma ürünleri, insan vücudunda bulunmakta ve bunlara ilave olarak az miktarda  $^{14}\text{C}$  ve  $^3\text{H}$ 'de insan vücudunda bulunmaktadır. Bu radyoçekirdekler sindirim ve solunum yoluyla vücuda alınmaktadır (Karahan, 1997).

#### **3.1.3. Yapay Radyasyon Kaynakları**

Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar, yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hâle getirilebilirler. Radyoaktif hâle gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır (Togay, 2002; Kobya, 2009).

Yapay radyoaktif maddeler, atmosferde ve yeraltında yapılan nükleer silah denemeleri, nükleer silah üretimi, nükleer güç üretimi, nükleer yakıt çevrimi, radyoizotop üretimi ve kullanımı ile nükleer kazalardan çevreye verilen radyoçekirdekler çevresel radyoaktivite seviyesinde artışa neden olan yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Yapay radyasyon kaynakları, doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Bu doz miktarı, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür (Esmeray, 2005).

## 4. RADYOAKTİF SERPİNTİ

Radyoaktif serpinti, bir nükleer kazadan 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 yağışın oluşumuna, radyoçekirdeklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yeryüzündeki birikimin kuru veya yaş oluşuna, parçacıkların boyutu, şekli ve çevresel özelliklerine bağlıdır (TAEK, 2007).

Büyük atmosferik nükleer kazalarda, radyoaktif maddelerin çoğu bir süre radyoçekirdeklerin yer aldığı stratosfer içine taşınır ve daha sonra dünya geneline dağılır. Radyoaktif maddelerin ortalama tutulma süreleri enlem ve boylama bağlı olarak 1-5 yıla yakın veya daha az bir süre olacak şekilde değişebilir. Daha küçük kazalarda ise, radyoaktif maddeler sadece troposfere taşınır ve serpinti günler veya haftalar içinde meydana gelir (Tykva ve Sabol, 1995).

### 4.1. Nükleer Kazalar

Nükleer enerjinin ve bilimin gelişmesi, çeşitli yeni radyasyon kaynaklarının (yapay radyasyon) üretimine imkân sağlamıştır. Başlangıçta yerüstünde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri, dünyanın en üst atmosfer tabakasında çok miktarda radyoaktif maddelerin birikmesi ile sonuçlanmıştır (IAEA, 2009). Three Mile Island kazası (1979), Chernobyl (1986) ve Fukushima nükleer kazası (2011) en önemli nükleer kazalardır (Devolpi, 2012).

Dünyadaki ilk ciddi kaza ve bugüne kadar Batı ülkelerindeki en kötü nükleer kaza olarak bilinen ve 1979'da gerçekleşen Three Mile Island kazasıdır. Three Mile Island kazası, 28 Mart 1979 tarihinde Middletown, Pensilvanya (ABD) yakınındaki Three Mile Island Ünite 2 (TMI-2) Nükleer Enerji Santralinde gerçekleşti. Tasarım ve operatör hataları, soğutucunun kademeli olarak kaybına ve kısmi erimeye neden oldu. Radyoaktif gazlar atmosfere dağıldı. Santral çalışanları veya yakındaki kişiler arasında hiçbir ölümle

sonuçlanmamakla beraber bu, ABD'nin ticari nükleer enerji santralleri işletme tarihindeki en ciddi kazaydı (IAEA 2009).

Chernobyl nükleer santral kazası, 26 Nisan 1986 da meydana geldi. Chernobyl nükleer santral kazası, İsveç'teki bir nükleer güç santralinde yapılan ölçümlerde çevresel radyasyon seviyesini etkilemiştir. Başlangıçta, radyasyon seviyesindeki yükselmenin İsveç'teki bir reaktörden kaynaklandığı düşünülmüştür. Daha sonra geriye dönük olarak çalıştırılan atmosferik dağılım modelleri kullanılarak kazanın yeri hakkında tahminler yapılmış ve kazanın Chernobyl reaktöründen kaynaklandığının açıklanmasından sonra, tüm dünyada yoğun çevresel ölçüm programları başlatılmıştır. Kaza tarihinde, rüzgârın kuzeybatı yönünde olması nedeni ile İskandinav ülkeleri, Hollanda, Belçika ve İngiltere'de birikimler saptanmıştır. Daha sonra rüzgâr yönünün güneye doğru değişmesi, Avrupa'nın orta ve güney bölgeleri, Akdeniz'in kuzeyi ve Balkanlar'ın bazı bölgelerinde de radyoaktif birikime neden olmuştur. Radyoaktif dağılımın etkileri, hemen tüm kuzey yarım kürede, hatta Japonya ve Kuzey Amerika'da saptanmış olmakla birlikte, Avrupa dışındaki ülkelerde çok az düzeyde görülmüştür. Güney yarım kürede, çevresel radyasyon ağı ile yapılan ölçümlerde radyoaktif birikim gözlenmemiştir. Birikim miktarı ise bulut yüksekliği, rüzgâr yönü ile hızı ve bulutun geçişi sırasındaki yağışa bağlı olarak değişiklikler göstermiştir. Radyoaktif bulutun Türkiye üzerinden geçişi sırasında en fazla yağış alan Edirne civarı ve Fındıklı-Hopa arasındaki bölgeler daha fazla radyoaktif kirlenmeye maruz kalmıştır (TAEK, 2007).

Chernobyl nükleer reaktör kazası sonucunda önemli fisyon ürünleri olan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'ın biyosferde yıllık birikim oranları artış göstermiştir (Wright vd., 1999). Bu reaktör kazasının sonucunda Ukrayna'nın birçok alanı ve Rusya  $^{137}\text{Cs}$  ile birlikte diğer yapay radyoçekirdeklere maruz kalmıştır. Bununla birlikte, Türkiye ve Avrupa'nın çeşitli bölgeleri de radyoaktif serpintiye maruz kalmıştır (Hacıyakupoğlu vd., 2005). Böylece kazadan sonra, bu bölgelerde topraktaki sezyum birikiminin yıllarca bitkiler tarafından tutulması nedeniyle çevrede devamlı olarak varlığı söz konusu olmuştur (Velasco ve Toso, 1997).

Radyoaktif bulutların Avrupa üzerinden geçişi sırasında, yağmur alan Avusturya, Doğu ve Güney İsviçre, Güney Almanya'nın bir bölümü ile İskandinav ülkelerinde, radyoaktif kirlenme diğer birçok ülkeye göre çok daha fazladır. En az düzeyde

etkilenenler ise İspanya ve Portekiz olmuştur.  $^{137}\text{Cs}$  birikiminin ortalama tahmini, Avusturya'da yukarı Avusturya, Salzburg ve Carinthia bölgelerinde sırası ile 59,46 ve 33  $\text{kBq/m}^2$  iken Portekiz'de  $0.02 \text{ kBq/m}^2$ 'dir (TAEK, 2007).

Fukushima Nükleer Kazası, 11 Mart 2011 tarihinde başlayan bir dizi olay neticesinde gerçekleşti. 2011 Tohoku depremi ve tsunamisinin neden olduğu yedek güç ve muhafaza sistemlerindeki büyük hasar, Fukushima Daiichi nükleer santralının bazı ünitelerini etkilemesi sonucunda nükleer kazanın gerçekleşmesine sebep oldu. Kazadan sonra nükleer reaktörlerden atmosfere radyoaktif elementlerin salınımı başlamıştır. Atmosfere salınan radyoaktif maddeler ya da radyoizotoplar nükleer fisyon ürünleri içinde çoğunlukla tespit edilen  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'dir. Bu radyoizotoplar küresel düzeyde atmosfere dağılmıştır. Bu dağılım sürecinde doz hızları azalmış ve çevresel şartlarla çok uzun mesafelere dağılmışlardır. Radyoaktif bulutlar içinde yağmur suyu ile birlikte radyoaktif serpinti şeklinde yeryüzüne inerler (Taner, 2011).

Radyoaktif serpentinin yüksek seviyelere ulaşması sebebiyle bu kaza INES ölçeğinde 7. seviye olarak sınıflandırılmıştır. Fukushima Daiichi nükleer santral kazasının ardından çevreye radyoaktivite salınımı  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{131}\text{I}$  izotopları için yaklaşık olarak sırasıyla  $1.5 \times 10^{17} \text{ Bq}$ ,  $1.3 \times 10^{16} \text{ Bq}$  olduğu belirlenmiştir (Kato, 2011).

#### 4.1.1. $^{137}\text{Cs}$

Sezyumun radyoaktif izotoplarından olan  $^{137}\text{Cs}$ , fisyon ürünü radyoçekerdekler arasındaki bolluğu ve potasyuma benzer özellikleri nedeniyle nükleer fisyonun önemli ürünlerinden biridir. Yarılanma ömrü yaklaşık olarak 30,2 yıldır.  $^{137}\text{Cs}$ , iç ve dış etkiye sahip, yüksek düzeyde reaktif ve canlılardan atılımı yavaş olan bir radyoçekerdektir. Bozunması beta parçacıklarının yanı sıra, gama ışınları yayımlaması ile olur.

$^{137}\text{Cs}$  nükleer bir kaza durumunda çevreye yayılan, meteorolojik olaylarla uzak mesafelere taşınan ve toprakta uzun süre kalabilen bir radyoçekerdektir (Rigol vd., 2002).  $^{137}\text{Cs}$ 'nin toprakta tutulması, toprağın kil yapısına ve miktarına, topraktaki organik madde miktarına, toprağın pH değerine, nem oranına, radyoçekerdeğin çözünme miktarına, kation değişim kapasitesine, ve potasyum miktarına bağlıdır (Van Bergeijk vd., 1992). Bunun yanı sıra meteorolojik faktörler de  $^{137}\text{Cs}$ 'nin değişik ekosistemlerde dağılım ve

davranışında önemli rol oynamaktadır (Chiu vd., 1999).  $^{137}\text{Cs}$  toprağın yüzeyinde biriktikten sonra, bitkisel aktivite ve toprak parametrelerine bağlı olarak toprağın alt katmanlarına doğru göç etmektedir (Isaksson vd., 2001). Toprak yüzeyinde organik maddenin miktarı, birikimin dikey dağılımını etkileyen temel faktördür (Guilliitte vd., 1989). Toprakta radyoçekerdeğın dikey göçü, kök alanına doğru olduğu zaman bitki dokularına alımının kolaylaşması bakımından önem kazanmaktadır (Velasco ve Toso, 1997; TAEK, 2007).

Atmosferik nükleer denemeler sonucunda uzun yarı-ömürlü radyoçekerdeklar  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  atmosfere yayılır. Bununla birlikte, geçmişte yapılan atmosferik nükleer silah denemeleri sonucunda çevreye yayılan radyoçekerdekların biyolojik bakımdan en önemlileri  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  olmuştur. 1960'lı yılların ortalarına kadar ise nükleer denemeler sonucu oluşan toplam  $^{137}\text{Cs}$ 'nin % 90'ı yer yüzünde birikmiştir (Tyler vd., 2001). Bu iki radyoçekerdek karşılaştırıldığında iç ışınlamada en etkili olanın  $^{137}\text{Cs}$  olduğu saptanmıştır (Wright vd., 1999).

#### 4.1.2. $^{90}\text{Sr}$

Radyolojik tehlike açısından, en önemli serpinti bileşenlerinden biri de uzun yarı ömüründen ve nispeten biyosistemler tarafından yüksek alımlardan dolayı  $^{90}\text{Sr}$ 'dir.  $^{90}\text{Sr}$ 'ın fisyon reaksiyonları sonucu meydana gelme verimi yüksek olduğu gibi biyolojik yarılanma süresi de oldukça uzun olup 29 yıldır (Tykva ve Sabol, 1995; Acar, 2003).

$^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  yüksek düzey radyoaktif atıkların aktivitesinin önemli bir kesrini oluşturur. Nükleer atık yönetiminde, nispeten uzun yarı ömürleri ve yüksek aktivitelerinden dolayı, stronsiyum ve sezyumun geniş hacimli atıklardan ayrılması ve sabitlenmesi önemlidir. Özellikle  $^{90}\text{Sr}$  vücuda alındığında kalsiyum gibi davranarak kemiklerde birikir. Kemikte, kemik iliğında ve kemik çevresindeki yumuşak dokularda kansere neden olur (Tykva ve Sabol, 1995; IAEA, 2002; IAEA, 2003).

## 4.2. Radyoaktif Serpentinin Hava ile Taşınımı

Nükleer reaktör kazaları sonucunda salınan radyoaktif çekirdekler hava akımı ve çevresel şartların etkisi ile geniş alanlara yayılır. Hava, radyoaktif çekirdekleri taşır ve bir kısım radyoaktif çekirdeğin seyir tarzı hakkında önemli bilgiler sunar. Radyoaktif çekirdekler zemin seviyesindeki havada çok hızlıdır ve hava örnekleri doğal kirliliğin ilk bulgularını verir. Taşınan radyoaktif çekirdekler zamanla bitkiler üzerinde ve toprakta tortulaşır. (Valkovic, 2000).

Atmosferik aerosol parçacıklarının atmosferde 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 değişmekte ve radyoçekirdeklerin tekrar askıya alınması ve uzun mesafelere taşınmasını etkilemektedir. Büyük parçacıklar yerçekiminin etkisiyle olayın meydana geldiği yer civarında depolanırken daha küçük parçacıklar güçlü rüzgârların etkisiyle daha uzaklara taşınır (TAEK, 2007; Fukuyama ve Fujiwara, 2008).

## 4.3. Radyoaktif Serpentinin Toprak ile Taşınımı

Radyoaktivitenin toprakta kalma ve toprak içinde diplere doğru ilerleme süreleri; radyoçekirdeğin fiziksel ve kimyasal formuna bağlı olduğu kadar toprağın jeolojik, fiziksel ve kimyasal yapısına ve yörenin meteorolojik koşullarına da bağlıdır.

Toprakta biriken radyoçekirdekler zamanla toprağın alt katmanlarına doğru sızarak, bitkilerin köklerine kadar ulaşır ve bitkilerin gelişimi sırasında, bitkilere transferi söz konusudur. Bu durum, özellikle  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  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 süreçten özellikle de birikimin olduğu dönemdeki şartlara bağlıdır (TAEK, 2007).

$^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoçekirdekleri rüzgâr ile uzak mesafelere taşınarak, özellikle yağış alan yerlerde radyoaktif birikime neden olur. Radyoçekirdek salınımının içeriği ve

çevresel birikim miktarı, sıcaklık ve diğer parametrelere bağlı olarak değişiklikler gösterir. Nükleer kazadan sonraki ilk bir hafta içerisinde, topraktaki birikimin önemli bir kısmı, kısa yarılanma ömürlü radyoçekirdeklerden oluşur. Yerdeki radyoaktif birikimin büyüklüğünü karakterize etmek için ölçüm kolaylığı ve uzun yarılanma ömrü nedeni ile <sup>137</sup>Cs radyoçekirdeği esas alınır (TAEK, 2007).

#### **4.4. Radyoaktif Serpentinin Su ile Taşınımı**

Su akışı, yüzey üzerinde depolanan radyoçekirdeklerin hem parçacık hem de çözünmüş formlarda göç etmesini sağlayan önemli süreçlerden biridir. Yağış ve sel, radyoçekirdeklerin biriktiği yüzey toprağını aşındırır. Böylece bu çözünmüş radyoçekirdekler nehir ve yer altı sularına erişir. Su altı çökeltileri nükleer güç faaliyetlerindeki radyoaktif atıkların anlaşılması bakımından önemlidir (Külahcı, 2005; Niksarlıoğlu, 2010).

Suyun çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoçekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özelliklerinin yanı sıra akış hızlarının güçlü olması, içinde asılı bulunan parçacıklardaki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve yapay radyoçekirdekleri barındıran kil minerallerinin kolayca taşınmasına neden olmaktadır (Rogers, 1958; Sayre vd, 1963).

Külahcı ve Şen (2007) tarafından yapılan araştırma, yağmurun buluttaki radyoaktif maddeyi yeryüzüne indirmesi nedeniyle radyoaktif bulutun geçişi süresince radyoaktivite seviyesinin yağmur alan bölgelerde yağmur almayan bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

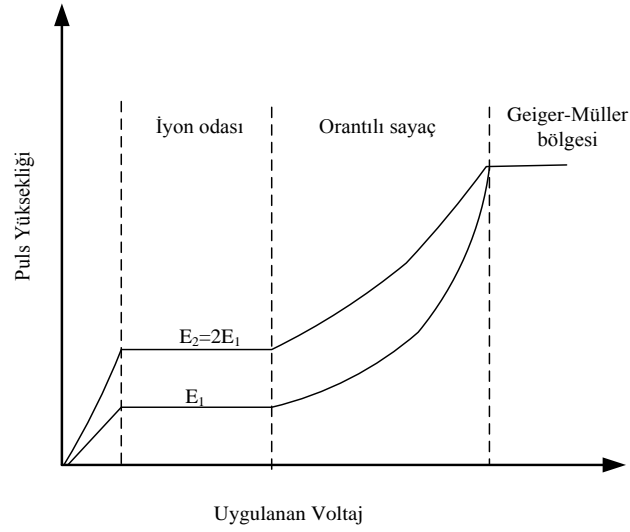
## 5. NÜKLEER RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Nükleer radyasyonları tespit etmek için kullanılan tüm dedektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahip olmakla birlikte dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır. Nükleer radyasyonların ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektör türleri arasında; gaz dolgulu, sintilasyon ve yarı-iletken dedektörler sayılabilir.

### 5.1. Gaz Dalgulu Dedektörler

Gaz dolgulu bir dedektör, pozitif olarak yüklenmiş bir anot tel içeren ve gazla doldurulmuş metal bir odadır. Gaz dolu dedektörler; İyonlaşma odası, Orantılı sayaçlar ve Geiger Müeller (G-M) dedektörleri olmak üzere üç farklı yapıdadırlar.

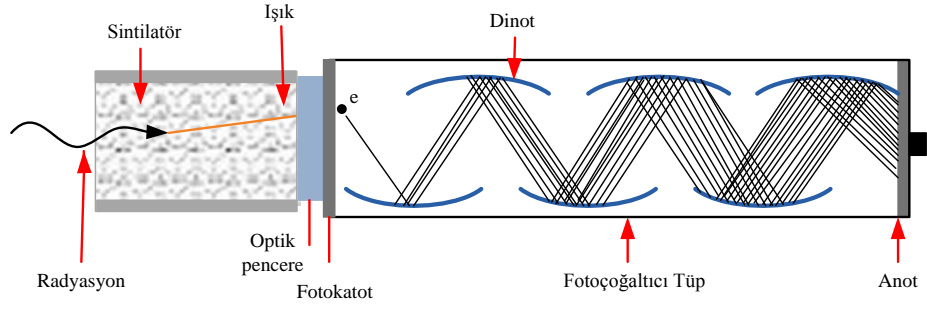
Gaz dolgulu dedektörler, ölçülecek parçacığın gaz molekülleriyle etkileşmesiyle, gaz moleküllerinin iyonlaşması esasına dayanmaktadır. Radyasyonun geçmesi sonucunda odada oluşan iyonlar, merkezi elektrotta bir voltaj değişikliğine neden olurlar. Yeterli derecede yüksek bir voltajda, hemen hemen bütün elektronlar toplanır. Bu durumda dedektör iyonlaşma odası adını alır. Voltajın artırılmasıyla iyonlaştırma işlemi sonucunda çıkan elektronlar daha çok hızlanır ve diğer atomları iyonlaştırarak çok sayıda elektronlar oluşur. Bu durumda sayaç daima elektron-iyon çiftlerinin sayısı ile doğru orantılı bir akım meydana getirir bu yüzden dedektör orantılı sayaç olarak adlandırılır. Voltajın daha da artırılması ile elektron çoğalması daha fazla artar ve toplanan elektronların sayısı başlangıç iyonlaşma miktarına bağlı değildir. Bu durumda ise dedektör Geiger- Müller sayıcısı adını alır. Daha fazla voltaj uygulaması durumunda ise tüpte sürekli olarak bir boşalım meydana gelir.



Şekil 5.1. Gaz dolgulu dedektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri

## 5.2. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri sodyum iyodür, sezyum iyodür, naftalin gibi bazı sintilatör olarak bilinen maddelerin kullanımına dayanır. Sintilasyon dedektörü kristaline gelen radyasyon, atomları uyarılmış düzeylere çıkaran çok sayıda etkileşim yapar. Uyarılmış durumlar görünür dalga boyunda veya görünür dalga boyuna yakın ışık yayınlar. Işık foto duyarlı yüzeye (fotokatot) çarparak foton başına bir elektron salınmasına neden olur. Fotoelektron olarak bilinen bu elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve elektrik pulslarına dönüştürülür. Fotoçoğaltıcı tüp; bir fotokatot, bir elektron odaklayıcısı ve 10 tane veya daha fazla dinottan meydana gelmiştir. Fotoelektronlar elektrik alan sayesinde dinota doğru hızlanır ve dinota çarpan elektronlar birçok elektronun serbest bırakılmasını sağlar. Elektrik alan sayesinde ilk dinottan ikinci dinota hareket eder ve bu şekilde devam eden elektronların sayıları her çarpma sonucunda çoğaltılır, hızlandırılır. Her dinot bir öncekinden daha yüksek potansiyeldedir. Elektron çoğalmasında elde edilen pulsun büyüklüğü gelen foton ile orantılıdır.



**Şekil 5.2.** Sintilasyon Sayacı

Temel olarak iki tip sintilasyon dedektörü vardır; biri organik ve diğeri inorganik materyaller içerir. Organik sıvı sintilatörler genellikle beta sayımı için kullanılırlar. İnorganik sintilasyon dedektörleri genellikle gama sayımı için kullanılır. Dedektöre gönderilen fotonlar yönlendirici tarafından pozisyonlanarak inorganik kristale gönderilir. Sintilasyon kristalinin dedektör materyali genellikle talyum ile aktive edilmiş sodyum iyodür NaI(Tl)'dür. Kristaldeki foton yayınlama olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğrulmasını azaltmak için kristale, aktivatör denen küçük miktarlarda safsızlık ilave edilir. En çok kullanılan aktivatörde Tl ve Na'dur. Aktivatörler yeni enerji durumları oluştururlar ve aktivatör durumları arasında ışık yayınımları olur. Genellikle gamalar için, NaI(Tl) kristali kullanılmaktadır.

Sintilasyon sayaçlarının gaz dolgulu sayaçlara göre sahip olduğu avantajlar vardır:

1. Hassas hacim genellikle katı halde olduğundan, X-ışınları veya  $\gamma$ -ışınları dedeksiyonundaki verim Geiger sayaçlarının % 1'lik verimine kıyasla oldukça yüksektir.
2. Sayacın çözme zamanı  $10^{-6}$  saniyeden  $10^{-9}$  saniyeye kadar değişir. Böyle kısa çözme zamanı, yüksek-hızlı saymaları kayıpsız olarak mümkün kılar.
3. Sintilasyon sayacının çıkış pulsunun büyüklüğü gelen gama ışınlarının enerjileriyle doğru orantılı yapılabilir.
4. Radyasyon kaynağı, katı sintilatörün çok yakınında, bazen içinde bile, tutulabileceğinden ince pencerelerin kullanılmasına gerek yoktur (Olçay, 2007).

### 5.3. Yarı İletken Dedektörler

Yarıiletken dedektörlerin işlevleri genelde iyon odalarına benzer ancak yük taşıyıcıları elektron ve pozitif iyonlar değil, elektron ve deşiklerdir. En yaygın olarak kullanılan yarıiletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Bu dedektörlerin diğerlerine göre en önemli üstünlükleri enerji ayırma güçlerinin son derece yüksek olmasıdır.

Diğer önemli özellikleri ise aşağıda sıralandığı gibidir:

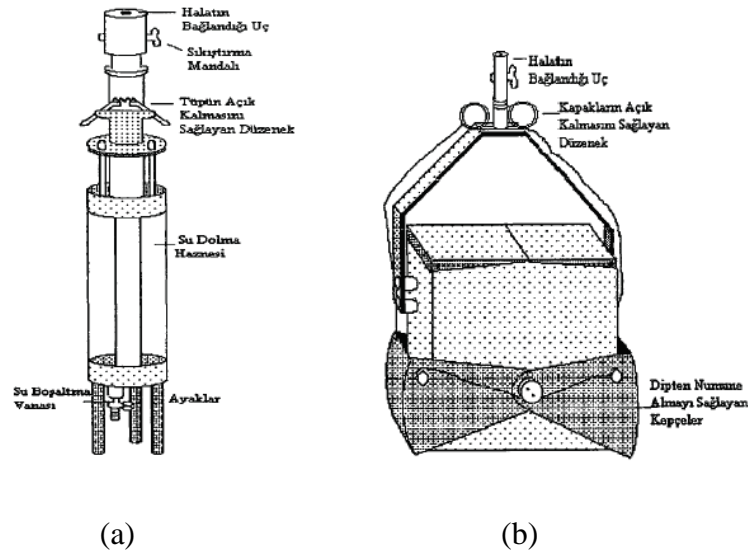
1. Geniş enerji aralığında radyasyona karşı yanıtları (parçacık enerjisine karşı puls yüksekliği) doğrusaldır.
2. Belirli bir boyut için etkinlikleri yüksektir. Zira yapılarında yüksek yoğunlukta sert madde kullanılmaktadır.
3. Farklı geometrik tasarımlarda yapılmaları mümkündür.
4. Puls oluşma zamanları hızlıdır (gaz dedektörlerine göre).
5. Vakum altında çalışırlar.
6. Manyetik alandan etkilenmezler (Olçay, 2007).

## 6. MATERYAL ve METOT

### 6.1. Deneysel Çalışmalar

#### 6.1.1. Örneklerin toplanması

Radyoaktivite analizi yapılan su örneklerinin alınmasında kullanılan Hydro-Bios Apparatebau GmbH firmasının üretimi olup net hacmi 1L olan standart su örneği alma cihazı ve dip çamuru almakta kullanılan dip kepçesi Şekil 6.1’de görülmektedir. Örneklerin alındığı istasyonları gösteren harita ise Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. (a) Su alma cihazı, (b) Toprak kepçesi

#### 6.1.2. Su Örneklerinin Gama ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması

Su örneklerinin radyoaktivite analizi için sterilize edilmiş 1 L’lik cam şişeler kullanılmıştır. Saf suyla temizlenen 100 mL’lik beherler yardımıyla aynı şişeden 3 örnek hazırlanmıştır. Beherlere alınan su örneklerini ısıtıcı yardımıyla buharlaştırdıktan sonra, beherde kalan tortular, spatulalar yardımıyla, darası alınmış yüzey alanı 11,34 cm<sup>2</sup> derinliği yaklaşık 4-5 mm olan alüminyum tablalar içerisine saf su yardımıyla konulmuştur. Tablalar içerisindeki sıvı fazdaki tortu kurutulduktan sonra, örneklerin

gama/beta radyoaktivite analizlerini yapmak için aktivite konsantrasyonu sayımları gama/beta algılayıcı sayım sistemi (ST7 sintilasyon sayacı) ile gerçekleştirilmiştir. Her örneğin 3 tekrarından alınan sonuçların ortalaması alındı. Daha sonra (6.1) denklemi kullanılarak, örneklerin tamamının aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

$$A = \frac{C}{\varepsilon.P.V_s} \text{ Bq/L} \quad (6.1)$$

Burada  $C$  birim zamandaki sayım,  $\varepsilon$ , dedektör verimini,  $P$ , karakteristik gama/beta ışınının yayınlanma olasılığı,  $V_s$ , örnek alınan numunenin hacmi ve  $A$ , Bq cinsinden gama/beta aktivitesidir.

### 6.1.3. Dip çamuru Örneklerinin Gama ve Beta Aktivitesinin Hesaplanması

Bu çalışmanın bir amacı da Gölün dip çamuru örneklerinin radyoaktivite analizlerini yapmaktır. Sediment örneklerinin alınması su örnekleme ile birlikte yapıldı. Sediment örnekleri su örneklemesinin yapıldığı alan içerisinde alındı. Tortular, darası alınan planşetlere aktarılarak tartıldılar ve böylece her örnek için tortu miktarı hesaplandı (Tablo 7.3). Daha sonra bütün örnekler aktivite tayini için gama/beta algılayıcı sayım sistemiyle sayıldılar. Örneklerin aktivite konsantrasyonları denklem (6.2) kullanılarak hesaplandı.

$$A = \frac{C}{\varepsilon.P.M_s} \text{ Bq/kg} \quad (6.2)$$

Burada  $C$  birim zamandaki sayım,  $\varepsilon$ , dedektör verimini,  $P$ , karakteristik gama/beta ışınının yayınlanma olasılığı,  $M_s$ , örnek alınan numune miktarı ve  $A$ , Bq cinsinden gama/beta aktivitesidir.

## **6.2. Alansal Modeller**

### **6.2.1. Bölgesel Değişkenlik**

Bölgesel değişkenler teorisi Matheron (1963) tarafından ortaya atılmış, Journel and Huijbregts (1978), David (1988), Isaacs and Srivastava (1989), Cressie (1991), Wackernagel (1995), Goovaerts (1997), Kitanidis (1997), Armstrong (1998) ve daha birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Jeostatistikte, iki örneğin konumu ve uzaklığı önemli olup bu örnekler bölgesel değişken (BD) olarak ifade edilirler. Dolayısıyla bölgesel değişkenlik teorisi uzaysal bağımlılığı temel alır. Bölgesel değişkenlerin uzaysal değişkenliği fiziksel bilimlerde ve doğa bilimlerinde oldukça önemlidir (Cressie, 1991).

Jeostatistik bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimlerini istatistiksel kavramlar ışığında modeller. Jeostatistiğin temeli birbirine yakın konumda olan aynı değişkenin büyük bir benzerliğe sahip olduğu ve mesafe olarak uzaklaşıldıkça bu benzerliğin azaldığı ve sonunda biteceği fikrine dayanır. Bu durum olayların uzaysal korelasyona sahip olması olarak tarif edilir.

Bölgesel değişken, uzaysal olarak sürekli olmasına rağmen herhangi bir yerde nicelik olarak değerini bilmek genellikle mümkün değildir. Bu değer yalnızca belirli konumlarda alınmış olan gözlem örneklerinin analizi sonucundan kestirilebilir. Boyut, şekil, yönelme ve bu gözlemlerin uzaysal (konumsal) düzenlemesi bölgesel değişkende farklılıklar meydana getirir ve eğer bunların herhangi biri değiştirilirse, bölgesel değişken, farklı karakteristiklere sahip olacaktır. Bölgesel değişkenin uzaysal sürekliliğinin derecesi yarı-variogram veya uzaysal kovaryans fonksiyonuyla ifade edilir (Davis, 2002).

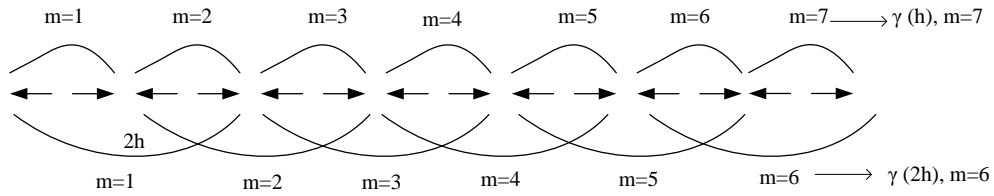
### **6.2.2. Objektif Analiz**

Düzgün noktalara dağılmış olan alansal verilerin interpolasyonu genelde objektif analiz başlığı altında toplanan yöntemler ile ele alınmaktadır. Bu analiz yöntemleri genellikle eksik verilerin tamamlanmasında, istasyonlar arasında mesafeye bağlı olarak değişimin incelenmesinde ve tesir yarıçaplarının bulunmasında önemli rol oynamaktadırlar. Mantık olarak, noktaların etki ağırlıkları mesafe ile ters orantılıdır.

Başka bir ifade ile bir noktaya olan mesafe küçüldükçe tesir artmakta, noktadan uzaklaştıkça bunun tersi olmaktadır (Şahin, 2001).

### 6.2.3. Yarı-Variogram

Bölgesel değişkenlerin farklı konumlardaki değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Matheron,1970). Jeostatistiksel yöntemlerde değişkenler arasında uzaklığa bağlı bu ilişki Variogram veya Yarı-Variogram (YV) fonksiyonu ile değerlendirilir.



Şekil 6.2. Belirli bir uzaklık aralığındaki numuneler kullanarak yapılan YV hesaplamasının gösterimi

Yarı-Variogram, bölgesel değişkenin durağan olması ve düzenli dağılması durumunda uygulanabilir. Mesafe artarken YV'ın hesaplanması için veri çiftlerinin sayısı Şekil 6.2'den de anlaşılacağı gibi azalmaktadır. Bu geniş mesafelerde daha az güvenilir tahmin yapma anlamına gelir. Dolayısıyla YV, çalışma alanındaki örnek noktalar arasında yakın mesafeler için güvenilir sonuçlar verir ama mesafe artarken YV'ın güvenilirliği azalır.

YV, herhangi iki ölçüm alanı arasındaki ölçümlerin ardışık kare farkıdır ve genel denklemi (6.3) aşağıdaki gibidir (Clark, 1979).

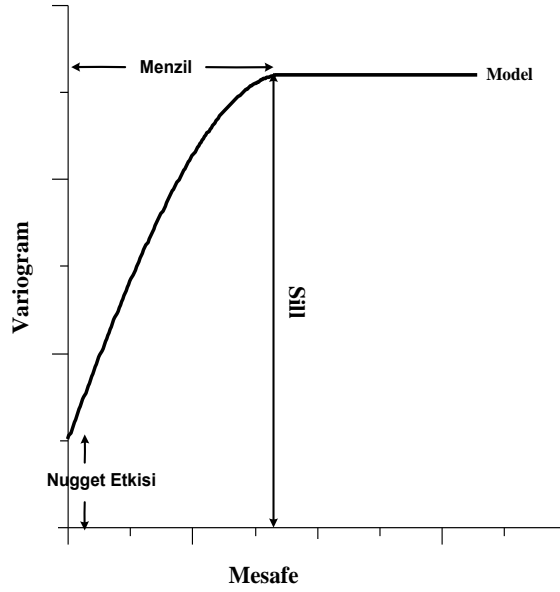
$$\gamma_h = \frac{1}{2N_d} \sum_{i=1}^{N_d} (X_i - X_{i+d})^2 \quad (6.3)$$

Burada,  $\gamma_h$ ,  $h$  uzaklığındaki YV 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.  $h$ 'nin küçük mesafeleri temsil etmesi durumunda, karşılaştırılan noktalar birbirlerine yakın değerde başlayacak ve böylece YV değerleri de küçük olacaktır. Bu mesafenin artması durumunda ise karşılaştırılan noktalar

birbirleriyle daha az ilişkili olacak, farklar artmaya başlayacak ve dolayısıyla büyük YV değerleri elde edilecektir.

### 6.2.3.1. Yarı-Variogram Parametreleri

Bir YV modeli genelde üç parametre ile tanımlanır: Etki uzaklığı (menzil), Nugget etkisi ve Sill. Bu parametrelerin bir YV model üzerinde gösterimi Şekil 6.3’de verilmiştir.



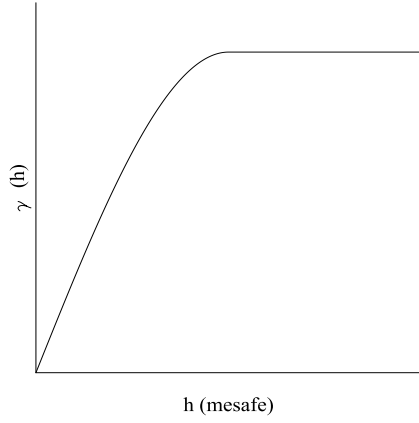
Şekil 6.3. Yarı-Variogram Parametreleri

Etki uzaklık aralığı, bir bölge içinde kalan ve belirtilen bir nokta ile o noktanın değerini etkileyen diğer noktalara olan uzaklık değeridir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların ise belirtilen bir noktadaki değere etkileri yoktur. Sill YV fonksiyonunun sabitleştiği noktadır. YV’ın orijine yakın davranışı bölgesel değişkenin sürekliliği ile ilgili bilgi verir. Parabolik şekil düzenli değişen bir özelliği, doğrusal şekil bölgesel değişkenin sürekli artması veya azalmasını gösterirken orjindeki süreksizlik ise ölçüm hataları veya küçük ölçekli değişimleri belirler (Kevin vd., 2003). Örnekleme noktaları arasında birbirine en yakın iki örneğin uzaklığı, değişimin belirlenebileceği en küçük uzaklıktır. Bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez. Bu durum YV’ın orijinde sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına neden olur. YV da bu durum Nugget etkisi olarak bilinir.

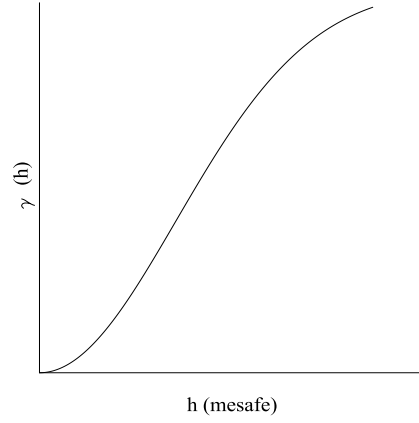
### 6.2.3.2. Yarı-Variogram Modelleri

Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde YV'ı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir. Bu ise, YV'ı modellemeyi yani YV değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir. YV her zaman pozitif değerler aldığından seçilecek fonksiyonunda pozitif tanımlı bir fonksiyon olması gerekir. Birçok YV modeli olup bunlardan bazıları: küresel model, üstel model, power model ve gauss modelidir.

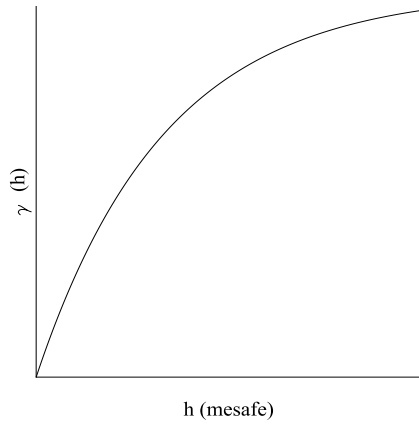
Modelde nugget etkisi bulunduğunda, ham modele  $C_0$  sayısı eklenerek model  $C_0$  birim yukarı kaydırılmış olur. Böylece, nugget etkili model elde edilir.



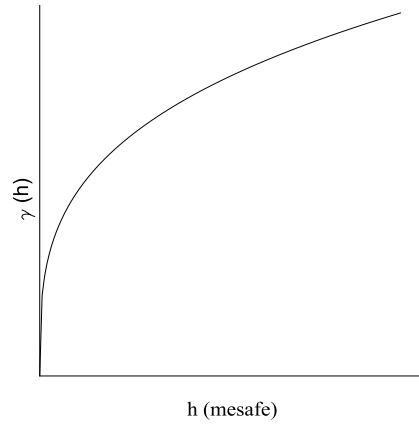
Şekil 6.4. Küresel model



Şekil 6.5. Gauss model



Şekil 6.6. Üstel model



Şekil 6.7. Power model

$\gamma$ , YV değerini,  $h$ , ilgili iki nokta arasındaki mesafeyi,  $C$ , parametresi YV'nin en yüksek olduğu değeri ve  $a$  parametresi YV'nin etki alanını ifade etmek üzere;

Şekil 6.4'de gösterilen Küresel model, tüm YV modelleri içinde en yaygın şekilde kullanılan YV modelidir. Bu modele ait denklemler (6.4) ve (6.5) denklemleri ile ifade edilir.

$$\gamma_h = C \left[ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right] \quad 0 < h \leq a \quad (6.4)$$

$$\gamma_h = C \quad h > a \quad (6.5)$$

Küresel model orijinden başlayarak artan  $h$  uzaklığı ile artar. Etki alanına ulaşıldığında artışı durur ve bu uzaklıkta, YV'nin değeri en yüksek değere ulaşır (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Gauss modeline ait grafik Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Modele ait YV fonksiyonu denklem (6.6)'da verilmiştir.

$$\gamma_h = C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right] \quad h > 0 \quad (6.6)$$

Gauss modeli, ilişkinin yakın mesafelerde güçlü, uzak mesafelerde zayıf kaldığı bir yöntemdir. Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek YV modelidir (Clark, 1979). Uzaklık arttıkça eşik değere asimptotik olarak ulaşır. Bu model bölgesel değişkenin kısa mesafelerin üstünde süreklilik ve düzgünlüğünün nadir olduğunu ifade eder (Isaaks ve Srivastava, 1989).

Şekil 6.6'de gösterilen Üstel modele ait YV fonksiyonu denklem (6.7)'de verilmiştir.

$$\gamma_h = C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad h > 0 \quad (6.7)$$

Üstel model ilk başta doğrusal iken tepe değerine teğetsel olarak ulaşır. Model, tepe değerine dereceli ulaştığı için gerçek etki alanı, teorik etki alanının yaklaşık 1/3'ü

kadardır (Clark, 1979). Pratikte YV'ın tepe değerine yaklaştığı uzaklık, etki alanıdır. Üstel model, bu dört model içerisinde tepe değerine en yavaş yaklaşan modeldir.

Şekil 6.7'de gösterilen Power model ise bu dört model içerisinde tepe değerine en hızlı yaklaşan modeldir. Bu model ait YV fonksiyonu eşitliği (6.8) ile verilir.

$$\gamma_h = k.h^a \quad 0 < a < 2 \quad (6.8)$$

#### 6.2.4. Noktasal Toplam Yarı-Variogram

Bölgesel değişkenlerin derecesini ölçmek için, varyans ve korelasyon tekniği literatürde sıklıkla kullanılmıştır. Ancak, bu metotlar normal olmayan dağılım fonksiyonlarını veya örnek konumların düzensizliğinden dolayı bölgesel bağımlılığı tam olarak ifade edemezler (Külahcı ve Şen, 2009).

Klasik YV, bölge içindeki örnek noktaların dağılımı düzenli olduğu zaman küçük mesafeler için güvenilir tahminler yapabilir. Mesafe artarken, YV'ın hesaplanması için veri çiftlerinin sayısı azalır, bu daha geniş mesafelerde daha az güvenilir tahmin yapma anlamına gelir (Şen 1998). YV hesaplama süreci zaman serisi analizine benzer bir özellik taşımaktadır ve düzgün dağılmış özel noktalar arasında, mesafe ile alan bağımlılığının ölçüsünün derecesidir. YV kabullerinin başında durağanlık ve eşit mesafelere bağlı olarak alan ilişkisi bulunmaktadır. Noktasal bir ilişkiden daha çok düzgün dağılı alan ilişkisine bakılmaktadır (Davis,1973). Durağanlığın bulunmaması durumunda rastgele dağılı noktalar arasındaki ilişkiye YV yaklaşımı ile bakılamamaktadır (Tarawneh ve Şen, 2003). Bu eksikliklerden arınmak için Şen (1989) tarafından Noktasal Toplam Yarı-Variogram (NTYV) yöntemi geliştirilmiş olup bu yöntem, durağanlığın bulunmaması ve noktaların rastgele dağılımına göre nokta ile alan arasındaki ilişkiye dayanmaktadır.

NTYV yöntemi özel bir konum üzerinde, çalışma alanı içindeki diğer bütün konumların bölgesel etkisini ifade eder. Böylece NTYV'ların sayısı istasyon sayısına eşittir (Şen, 1998; Külahcı vd., 2008 ). NTYV, mesafe bakımından küçükten büyüğe doğru sıralanan farklar karesinin yarısının toplamı şeklinde tanımlanabilir. Bu yöntem ilgili konumdaki NTYV örneğinin azalmayan bir fonksiyonunu verir. Matematiksel ifade (6.9) denklemi ile verilir (Şen, 1998).

$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (Z_c - Z_i)^2 \quad (6.9)$$

Burada  $\gamma(d_i)$ , ilgili istasyonun  $d_i$  mesafesindeki NTYV değeri,  $Z_c$ , referans alınan noktadaki bölgesel değişken değeri,  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ) ise diğer civar istasyonlardaki bölgesel değişkenin değerini gösterir. Toplam istasyon sayısı  $n$ 'dir.

NTYV yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

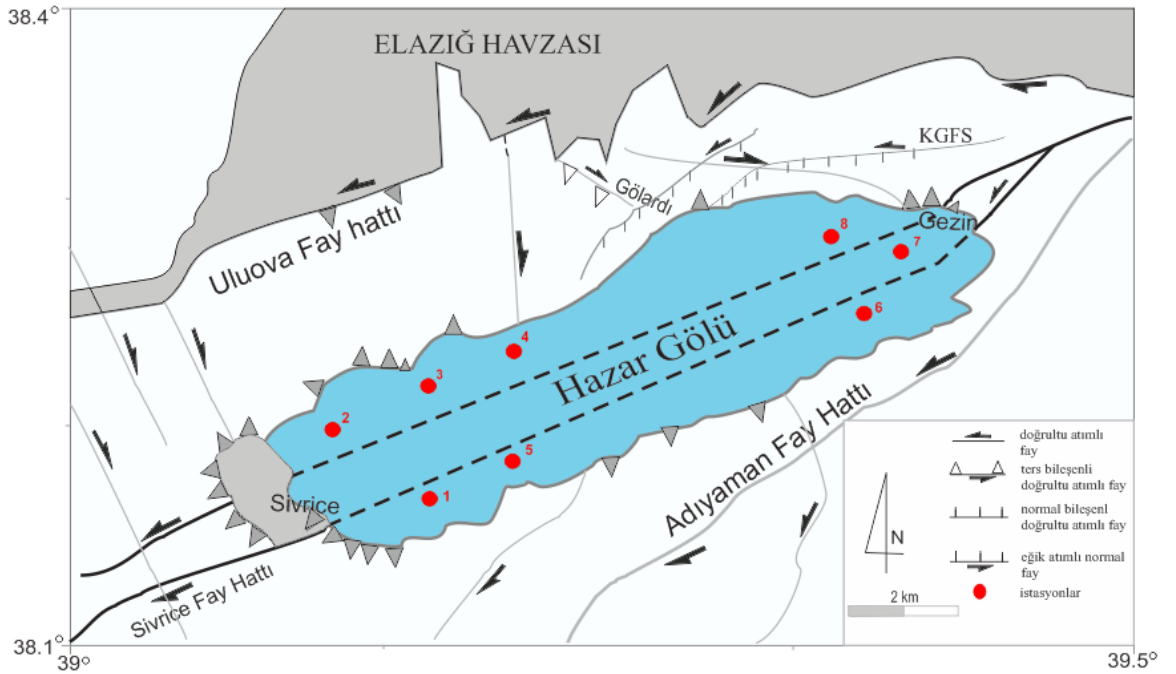
1. Referans konum seçilir,  $c$ , seçilen bu nokta ile diğer istasyonlar ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ) arasındaki mesafeler hesaplanır. Eğer  $n$  tane konum varsa,  $n-1$  tane fark uzaklığı olur.
2. Her bir çift için, veri değerleri arasındaki yarı kare farkları bulunur. Bu yolla, her bir mesafe kendi yarı kare değerine  $\frac{1}{2}(Z_c - Z_i)^2$  sahip olacaktır. Burada  $Z_c$  ve  $Z_i$  sırasıyla ilgili bölgedeki ve  $i$  konumundaki bölgesel değişkenin değerleridir.
3. Mesafeler küçükten büyüğe doğru sıralanarak mesafe karşı ardışık yarı kare fark toplamı hesaplanır. Bu yöntem ilgili konumdaki NTYV örneğinin azalmayan bir fonksiyonunu verir. Matematiksel ifade (6.10) denklemi ile verilir.

$$\gamma(d_i) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (Z_c - Z_i)^2 \quad (6.10)$$

4. Verilen  $n$  örnekli NTYV için, önceki basamaklar farklı ilgili alanlar göz önünde bulundurularak uygulanır.
5. Her bir noktanın mesafe değerlerine karşılık gelen NTYV değerleri  $y$ -ekseninde işaretlenir ve böylece NTYV saçılma diyagramı elde edilir.
6. Bu saçılma diyagramını temsil edecek bir eğrinin bulunması sonucunda teorik NTYV modeli yani bölgesel değişkenin mesafe ile değişimini gösteren fonksiyon elde edilir.

## 7. ARAŞTIRMA ALANI

Elazığ, doğal baraj gölleri ve irili ufaklı akarsuları ile zengin su potansiyeline sahip illerimiz arasında yer almaktadır. Hazar Gölü de bu kaynaklardan bir tanesi olup, yalnızca ilimizin değil aynı zamanda ülkemizin de önemli yüzey su kaynaklarından (Şen vd., 2003). Bu çalışmada, su ve dip çamuru örnekleri Hazar Gölü'nün çevresinde bulunan, Askeri Kamp Açıkları (1), Orman ve Belediye Kamp Açıkları (2), Turpol Tesisleri Açıkları (3), Doktor Evleri Açıkları (4), TPAO Kamp Açıkları (5), Hazar Gölü Güneydoğu Kesimi (6), Hazar Gölü Doğu Kesimi (7) ve Hazar Gölü Kuzey Kesimi (8) olmak üzere, 8 farklı örnekleme noktasından alınmıştır. Bu örnekleme noktalarından alınan su örnekleri, yüzey, orta ve dip derinlik mesafelerinden alınmıştır. İstasyonların haritadaki gösterimi Şekil 7.1'de verilmiştir. Bu istasyonlardan alınan örneklere ait  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  yapay radyoçekirdeklerinin eş-radyoaktivite haritaları çizildi ve yorumlandı. Örnekleme noktalarının haritadaki numara sırasına göre isimleri, konumları ve ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'un su örneklerine ait değerleri Tablo 7.1'de, dip çamuru örneklerine ait değerleri ise Tablo 7.3'de görülmektedir.



Şekil 7.1. Numunelerin toplandığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi

**Tablo 7.1.** İstasyonlar ve su örneklerine ait veriler

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem (K)	Boylam (D)	İstasyon No	Derinlik (m)	Aktivite konsantrasyonları (Bq/L)	
						<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Askeri Kamp Açıkları	1	38,448991	39,33224	1a	0,15	0,705	0,451
				1b	4	1,032	0,542
				1c	8	0,872	0,662
Orman ve Belediye Kamp Açıkları	2	38,472593	39,31676	2a	0,15	0,803	0,451
				2b	4	0,774	0,480
				2c	8	0,516	0,840
Turpol Tesisleri Açıkları	3	38,482867	39,34487	3a	0,15	0,479	0,961
				3b	5,5	0,631	0,331
				3c	11	0,946	0,660
Doktor Evleri Açıkları	4	38,490724	39,36879	4a	0,15	0,654	0,930
				4b	12	0,639	0,631
				4c	24	0,602	0,585
TPAO Kamp Açıkları	5	38,458557	39,36587	5a	0,15	0,896	0,435
				5b	32	0,533	0,391
				5c	64	0,413	0,731
Hazar Gölü Güneydoğu Kesimi	6	38,482254	39,43885	6a	0,15	0,912	0,750
				6b	3	0,396	0,811
				6c	6	0,586	0,451
Hazar Gölü Doğu Kesimi	7	38,512053	39,49072	7a	0,15	0,447	0,860
				7b	45	0,516	0,495
				7c	90	0,551	0,494
Hazar Gölü Kuzey Kesimi	8	38,512519	39,44386	8a	0,15	0,964	0,421
				8b	30	0,511	1,275
				8c	60	0,696	0,885

Tablo 7.1’de a, b, c harfleri sırasıyla ilgili istasyona ait yüzey, orta ve dip derinlik mesafelerini temsil etmektedir.

Ölçümü yapılan radyoçekirdeklerin karakteristik enerjisi Tablo 7.2’de verilmiştir.

**Tablo 7.2.** Radyoçekirdeklere ait enerji değerleri

Radyoçekirdek	Enerji (MeV)
<sup>137</sup> Cs ( <sup>137</sup> Ba)	0,6616
<sup>90</sup> Sr	0,546

**Tablo 7.3.** İstasyonlar ve dip çamuru örneklerine ait veriler

İstasyonlar	Enlem (K)	Boylam (D)	İstasyon No	Derinlik (m)	Boş planşet (kg)	Dolu planşet (kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	<sup>90</sup> Sr (Bq/kg)
Askeri Kamp Açıkları	38,448991	39,33224	1	9	0,000383	0,000718	0,0006	0,0001
Orman ve Belediye Kamp Açıkları	38,472593	39,31676	2	9	0,000382	0,000727	0,0002	0,0002
Turpol Tesisleri Açıkları	38,482867	39,34487	3	12	0,000371	0,000388	0,002	0,003
Doktor Evleri Açıkları	38,490724	39,36879	4	25	0,000384	0,000542	0,0006	0,0007
TPAO Kamp Açıkları	38,458557	39,36587	5	65	0,000386	0,000562	0,0001	0,0001
Hazar Gölü Güneydoğu Kesimi	38,482254	39,43885	6	7	0,000381	0,000548	0,0006	0,0006
Hazar Gölü Doğu Kesimi	38,512053	39,49072	7	91	0,000459	0,000693	0,0002	0,0004
Hazar Gölü Kuzey Kesimi	38,512519	39,44386	8	61	0,000477	0,000727	0,0003	0,0001

### 7.1. Çalışma Alanının Coğrafi Yapısı

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde, Elazığ il sınırı içerisinde bulunmaktadır. Elazığ'ın 22 km güneydoğusunda yer alan Hazar Gölü, Güneydoğu Toros Dağları arasındaki bir çöküntüyü işgal etmiştir. Göl, 274,9 km<sup>2</sup> lik göl havzası ve 78,8 km<sup>2</sup> lik su yüzeyine sahiptir. Güneybatı-kuzeydoğu istikametinde ortalama 20 km uzunluğunda, güneydoğu-kuzeybatı istikametinde ortalama 4,5 km genişliğindedir. Havzanın en düşük noktası; göl kod'unda 1237 m, en yüksek noktası; Gökçen Tepe zirvesinde 2347 m dir. Belli başlı dağ ve tepeler; gölün güneyinde Hazarbaba Dağı (2347 m), kuzeydoğusunda Mastar Dağı (2171 m), güneybatısında Kamışlık Dağı (2016 m), batısında Kuşakçı Dağları (1908 m), kuzeyinde Çelemlik Dağı (1658 m) bulunmaktadır. Ayrıca Çataltaş Tepe (2070 m), Baklaya Tepe (1747 m), Acevsüzağa Tepe (1404 m), Koyunluk Ziyareti Tepe (1658 m), Yıldırım Taşı Tepe (1470 m), Cevrani Tepe (1647 m), Kuresevi Tepe (1681 m), Siselek Tepe (1544 m), Beyaztaş Tepe (1599 m), Meteris Tepe (1497 m), Hılvari Tepe (1966 m), Kırdım Tepe (1499 m), Hoştoziyaret Tepe (2097 m) ve Ziyaret Tepe (1824 m) ile kuşatılmıştır. Göl havzası, doğudan göle dökülen Zıkkım Deresi ile Keban Baraj Gölüne (baraj yapılmadan önce Fırat Nehrinin büyük kollarından biri olan Murat Nehrine) dökülen Kumyazı Deresi arasındaki plato eşiği ile sınırlanmaktadır. Gölün batı bölümünde yer alan üç önemli eşik, göl ile diğer havzalar arasındaki sınırı belirler. Bunlar; Uluova ile Sivrice arasındaki Kazgediği plato eşiği, batıdaki Kavak Ovası ile Gözeli Ovası arasındaki plato eşiği, Kürk Çayı ile Karakaya

Baraj Gölüne dökülen Bölük Dere arasındaki yüksek plato eşikleridir. Belirtilen eşikler günümüzde olduğu gibi, tarihi dönemlerde de havzayı çevredeki yerleşmelere bağlayan önemli yolların geçtiği gediklerdir (Duran ve Günek, 2007).

## **7.2. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı**

Hazar Gölü ve çevresinin kendine özgü bir tektonik yapısının olduğu kabul edilir. Hazar Gölünün genel olarak doğrultu atılımlı sol yönlü bir fay zonu olan Doğu Anadolu Fay (DAF) zonu üzerinde meydana gelmiş bir çek-ayır (pull-apart) havza olduğu görüşü benimsenmektedir. Gölün çevresindeki jeolojik yapıyı, gösel depolar, deltalar ve birikinti konilerinden oluşan Kuvaterner yaşlı genç çökeller ayrı tutulursa, 3 büyük birim meydana getirmektedir. Bunlardan Yüksekova karmaşığı, genellikle bazalt, diyabaz, granodiyorit ve tüfitlerle temsil edilmekte olup, kuzey ve kuzeybatı da geniş bir yayılım göstermektedir. Gölün doğu ve kuzeydoğusunu çevreleyen Hazar formasyonu bir fliş fasiyesinde olup, kireçtaşı-şeyl ve kumtaşı aralanmasıdır. Maden karmaşığı ise, gölün güneyinde mostra vermekte, batıdan doğuya doğru önce spilit, bazalt ve diyorit, daha sonra ise kireç taşı, kumtaşı ve şeyl'e geçmektedir. Ayrıca göl çevresinin dağlık karakteri nedeniyle, aşınım yüzeyleri, akarsular tarafından derin bir şekilde parçalanmış vadiler arasında birbirine yakın seviyelerde uzanan omuz düzlükleri, tepeler ve sırtlar yer alır (Duran ve Günek, 2007).

## **7.3. Çalışma Alanının Toprak Yapısı**

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu ve Hazar Gölü Havzası toprak özelliklerinin yer aldığı toprak haritasında, toprak özellikleri bakımından havzada dört farklı büyük toprak grubu yer almaktadır. Sahanın en yaygın toprak tipini kırmızı kahverengi topraklar oluşturmaktadır. Kalkersiz kahverengi topraklar, havzanın güneybatısındaki bölümde yer almaktadır. Gölün güneybatı ve kuzeydoğu kıyılarına yakın, Kürk Çayı ve Zıkkım Deresi vadi tabanı ile deltalar üzerinde alüvyal topraklar oluşmuştur. Kolüvyal topraklar ise havzanın farklı bölümlerinde dağınık halde bulunmaktadır. Toprağın mutlak derinliği genel olarak 0-30 cm ve 31-60 cm arasında değişmesine rağmen, fizyolojik derinliği kısıtlayan yatay bir tabakalaşma olmadığından

fizyolojik derinlik, 60-120 cm dir. Toprak tekstürü kumlu balçık olup, genel olarak geçirgenliği ve havalanması iyi, orta ve hafif bir bünyeye sahiptir. Toprak kireççe fakirdir. Toprağın pH'ı 7.12-7.94 arasında değişmekte olup, aktif kireç bulunmamaktadır (Duran ve Günek, 2007).

#### **7.4. Çalışma Alanının İklimi**

Hazar Gölü Havzası, Doğu Anadolu bölgesinin diğer kesimlerine oranla daha az karasal olan, Yukarı Fırat bölümünün batı yarısında hüküm süren iklim ile Akdeniz ve Doğu Anadolu karasal iklimleri arasında bir geçiş sahasında yer almaktadır. İnceleme alanının coğrafi konumu ve yer şekillerine bağlı olarak yöresel iklimi, yazları çevresine göre daha serin ve daha az kurak, kışları ise daha yağışlı ve biraz daha soğuktur. Diğer taraftan yağışın yıl içerisindeki dağılışına bakıldığında, en yağışlı mevsimin kış ve ilkbaharlara rastlaması (Sivrice'de yıllık yağışın yaklaşık %75'i, kış ve ilkbahar aylarında görülmektedir) özelliğinden dolayı Akdeniz yağış rejimine benzer bir özellik arz etmektedir (Duran ve Günek, 2007).

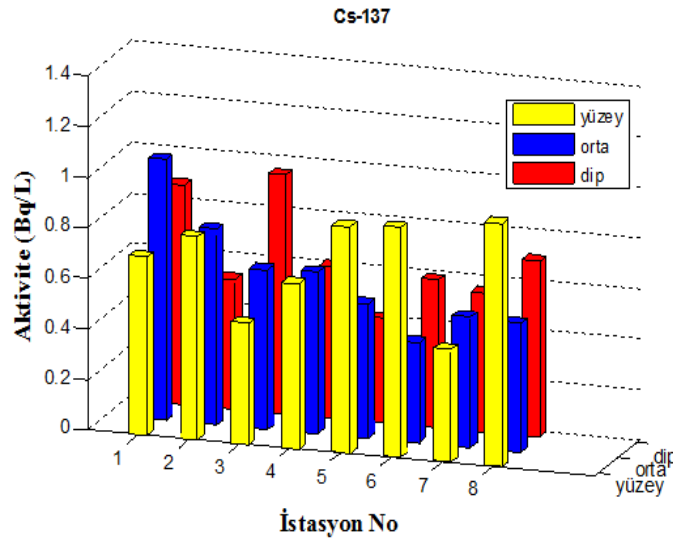
## 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Nükleer reaktörlerde tehlikeli bir durum olduğunda korkulan elementlerin başında  $^{137}\text{Cs}$  gelmektedir. Çünkü  $^{137}\text{Cs}$ , fisyon ürünü radyoçekirdekler arasındaki bolluğu ve potasyuma benzer özellikleri nedeniyle nükleer fisyonun önemli ürünlerinden biridir.  $^{137}\text{Cs}$  nükleer bir kaza durumunda çevreye yayılan, meteorolojik olaylarla uzak mesafelere taşınan ve toprakta uzun süre kalabilen radyoçekirdektir (Rigol vd., 2002). Bir nükleer kazadan sonra Dünya atmosferine dağılan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin yanı sıra  $^{90}\text{Sr}$  da,  $^{137}\text{Cs}$  gibi serpintiyle ya da yağmurla yeryüzüne inmektedir. Nükleer kazadan sonra meydana gelen bu radyoçekirdeklerin davranışını ve yayılımını etkileyen birçok faktör vardır. Radyoçekirdeklerin yayılımının büyük bir kısmı çevresel şartlara ve olaylara bağlıdır. Rüzgâr yönü, yağışlar, nem miktarı, toprak yapısı, bitki örtüsü, toprağın pH değeri gibi etkenler bu çekirdeklerin yayılımını etkilemektedir. Rüzgârlarla uzak mesafelere taşınan radyoçekirdekler yüzey üzerinde depolandıktan sonra radyoaktif yağışlarla yeryüzüne inerek radyoaktif kirlenmeye sebep olurlar. Yağış ve sel radyoçekirdeklerin biriktiği yüzey toprağını aşındırır. Böylece bu çözülmüş radyoçekirdekler nehir ve yer altı sularına erişir (Külahcı, 2005). Radyoaktif maddelerin taşınımını etkileyen diğer bir faktörde sudur. Bölüm 3.1.2' de bahsedildiği gibi suların sahip olduğu çözücülük, taşıyıcılık ve değişik radyoçekirdekleri çöktürme gibi farklı karakteristik özelliklerinden dolayı içerisinde bulundurduğu radyoaktiviteyi arttırmaktadır. Yüzey sularında akış hızlarının güçlü olması nedeniyle, içinde asılı bulunan parçacıklardaki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve yapay radyoçekirdekleri barındıran kil mineralleri kolayca taşınmaktadır (Rogers, 1958; Sayre vd, 1963).

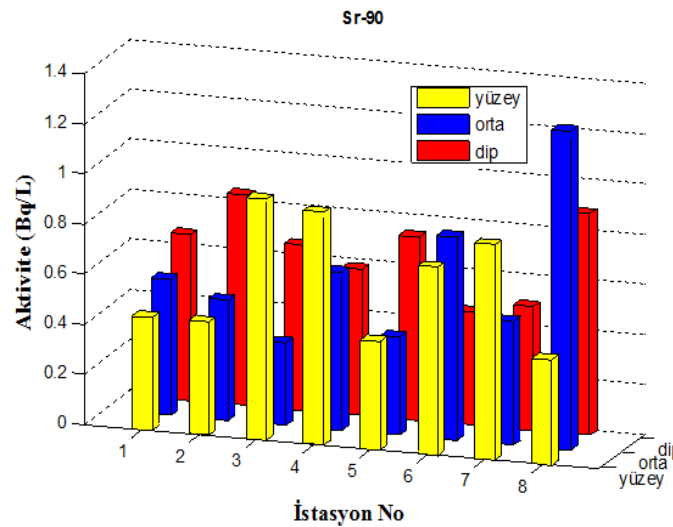
Yukarıda bahsedilen etkenler sezyum ve stronsyum birikimini ve dağılımını etkilemektedir. Bu etkenler beraberinde sezyum ve stronsyumun dağılımının örnek alınan istasyonlar arasındaki uzaklığa bağlı olarak da farklılık göstermesine neden olmaktadır. Örneğin, suların içerdiği radyoaktif elementler bölgenin jeolojik yapısıyla doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla toprak ve kayalarda radyoaktif izotopların birikme eğiliminin ortamın jeolojik yapılarıyla alakalıdır. Her bölgenin yağış alımı, toprak yapısı, bitki örtüsü gibi birçok çevresel şartı ve jeolojisi farklılık gösterir. Hatta bölge kendi içerisinde

bile farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı bir bölge içerisinde radyoçekirdeklerin dağılımı değişkenlik gösterir.

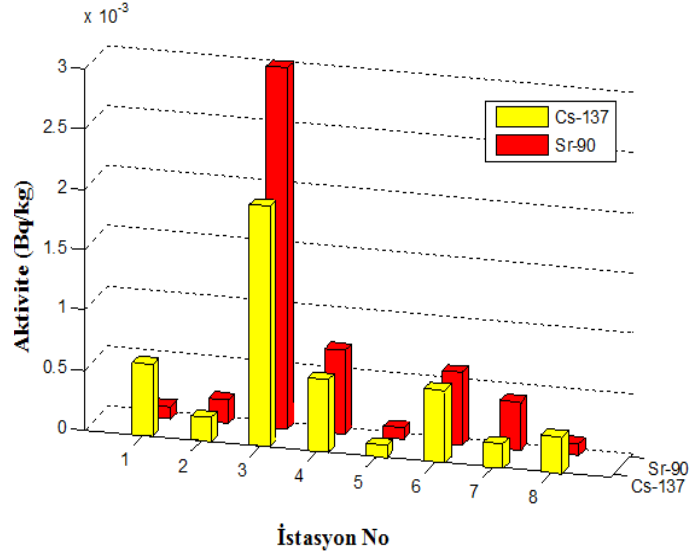
Bu çalışmada radyoaktif çekirdeğin aktivite konsantrasyonunun belirlenmesinde önemli bir etkisi olan derinlik mesafesi de dikkate alınmıştır. Göl'ün farklı kesimlerinden alınan örnekleme noktalarının yüzey, orta ve dip derinliklerine göre aktivite konsantrasyonlarının değişimi ilgili radyoçekirdekler için çizilmiştir (Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3).



Şekil 8.1. Su örnekleri <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları



Şekil 8.2. Su örnekleri <sup>90</sup>Sr aktivite konsantrasyonları



Şekil 8.3. Dip çamuru örnekleri <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr aktivite konsantrasyonları

Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Tablo 7.1 incelendiğinde, su örneklerinde gözlenen <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr izotoplarının yüzey, orta ve dip mesafesi için maksimum aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 0,964 Bq/L, 1,032 Bq/L ve 0,946 Bq/L; 0,961 Bq/L, 1,275 Bq/L ve 0,885 Bq/L olduğu görülmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla, 0,7325 Bq/L, 0,629 Bq/L ve 0,651 Bq/L; 0,657 Bq/L, 0,619 Bq/L ve 0,663 Bq/L dir.

<sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri aktivite konsantrasyonlarının belirtildiği Şekil 8.3'e bakıldığında, her iki yapay radyoçekerdeğin çok küçük farklar dışında eş radyoaktivite değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısı ile bu radyoçekerdeğin örneklem noktalarında benzer dağılım sergilediği söylenebilir. En yüksek aktivite değerlerinin 3 nolu istasyona yani Turpol Tesisleri açıklarına ait olduğu gözlemlenmektedir. Göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışverişin olması beraberinde yüzey ve yüzey altı akışları göle girip ve çıkmasına neden olmaktadır. Bu akışlar da çeşitli fiziksel, kimyasal bileşenleri, tortu ve diğer pek çok maddeyi beraberinde sürükler. Bu akışların hızı ise gölün coğrafik yapısı, iklimsel ve mevsimsel şartlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla, bu istasyonda <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr değerlerinin yüksek olması bu belirtilen etkilerin yanında göle dışardan atıksuların deşarjından kaynaklandığı söylenebilir.

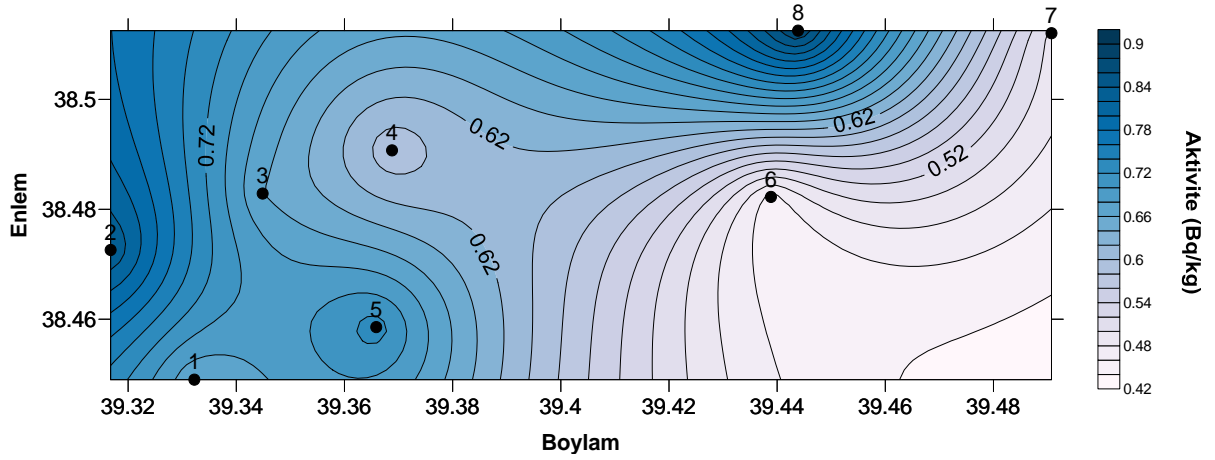
Örnekleme bölgesinde su ve dip çamuru örneklerinde gözlenen radyoçekerdeğin (<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr) aktivite konsantrasyonları, radyoaktif elementlerin akıntıyla taşınabildiği göz





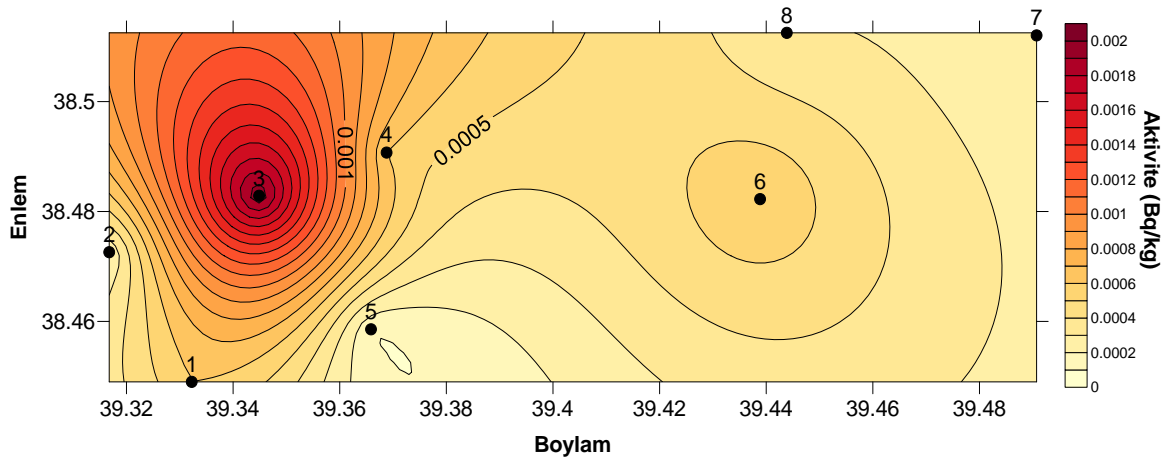


durum, bu bölgede göle giren toprak kayaç ve benzeri katkıların fazla olmasından kaynaklanabilir.



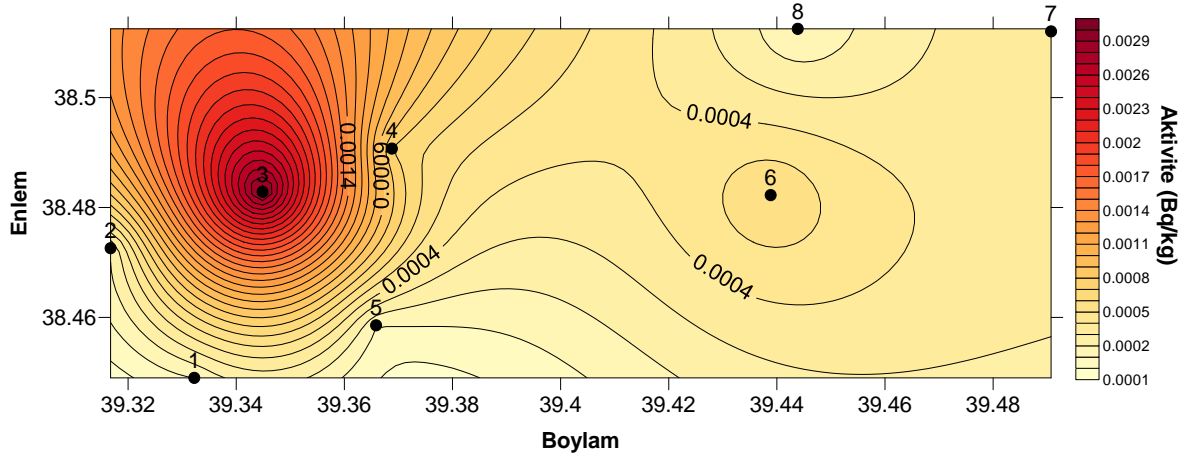
Şekil 8.9. Dip derinlik suları <sup>90</sup>Sr eş-radyoaktivite haritası

Şekil 8.10' da gösterilen dip çamuru örneklerinde gözlenen <sup>137</sup>Cs eş-radyoaktivite haritası incelendiğinde radyoaktivite değerleri Turpol tesisleri açıklarında en yüksek değerine ulaşmaktadır (0,002 Bq/kg). <sup>137</sup>Cs'nin toprakta tutulması, toprağın kil türüne ve miktarına, topraktaki organik madde miktarına, toprağın pH değerine, nem oranına, radyoçekerdeğin çözünme miktarına, katyon değişim kapasitesine, ve potasyum miktarına bağlıdır (Van Bergeijk vd., 1992). Radyoçekerdeklerin topraktaki hareket yönü ve hızı ise; toprağın yapısı, içeriği, bitkinin cinsi, sulama koşulları, hava durumu gibi pek çok doğal süreçten özellikle de birikimin olduğu dönemdeki şartlara bağlıdır (TAEK, 2007). Dolayısıyla bu bölgede killi toprakların hâkim olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 8.10. Dip çamuru <sup>137</sup>Cs eş-radyoaktivite haritası

Aynı bölgenin  $^{90}\text{Sr}$  için gösterilen dip çamuru örneklerinde (Şekil 8.11) aktivite değerinin de en yüksek değerine Turpol tesisleri açıklarında ulaştığı görülmektedir (0,003 Bq/kg). Bu durum bu bölgede killi toprakların hâkim olduğunu desteklemektedir.

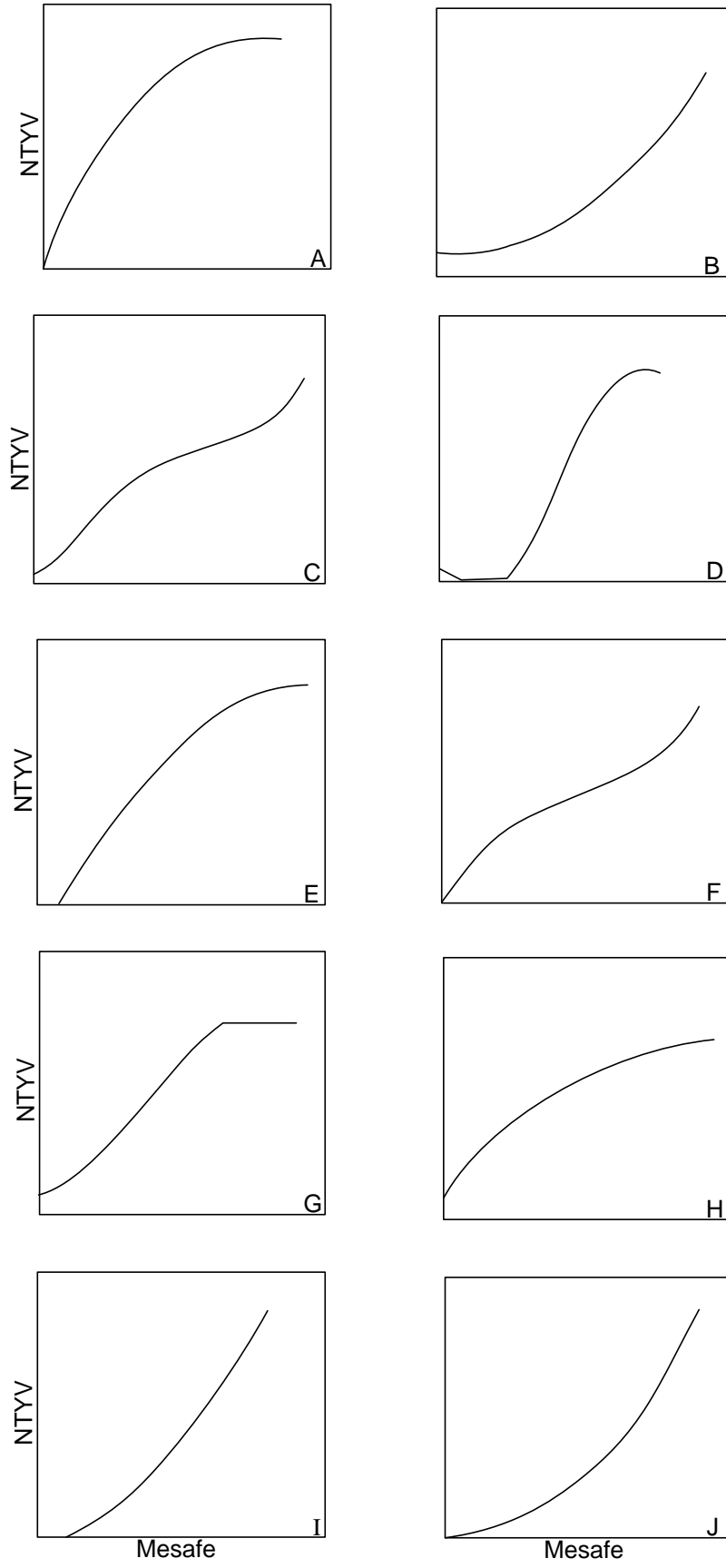


Şekil 8.11. Dip çamuru  $^{90}\text{Sr}$  eş-radyoaktivite haritası

Bütün bu çizilen eş-radyoaktivite haritalarına genel anlamda bakıldığında,  $^{137}\text{Cs}$ 'nin dağılımı ile  $^{90}\text{Sr}$ 'nin dağılımının yüksek olduğu kesimlerde, dip çamuru için çizilen eş-radyoaktivite haritalarının dışında çoğunlukla ters bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bu durum, bu radyoçekirdeklerin göl suyu içerisindeki hareket yönlerinin zıt olduğunu ortaya koymakla birlikte, mobilite kabiliyetlerinin su içerisinde kuvvetli olması ile açıklanabilir. Ayrıca,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'nin yüksek yoğunluğa sahip dip çamuru örneklerinde bu radyoçekirdeklerin mobilitelerinin zayıf olmakla birlikte benzer olduğu görülmektedir.

Bir bölgede değişimi incelenen herhangi bir bölgesel değişkenin örneğin Cs veya Sr izotopunun uzaklığa bağlı değişimleri yarı-variogram fonksiyonları ile belirtilir. Bölgesel değişkenin farklı konumlardaki değerleri arasındaki fark, bu değişkenler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur (Matheron,1970). Bu çalışmada kullanılan NTYV yöntemi klasik YV'dan farklı olarak bir bölgede alınan bütün istasyonların birbirine olan etkisini de dikkate aldığı için bu yöntemle elde edilen NTYV grafikleri alınan istasyon sayısına eşit olacaktır. Bu çalışmada araştırma sahası olarak seçilen Hazar Gölü'nden alınan su örneklerine ait toplamda 24 tane farklı konum bulunduğundan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  izotoplarından her biri için 24 tane NTYV grafiği, dip çamuru örneklerine ait 8 tane konum olduğundan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  izotoplarından her biri için 8 tane NTYV grafiği bilgisayar programı ile elde edildi. Elde edilen grafikler arasında benzer şekiller ve

zellikler sergileyen grafikler olduğu için  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoekirdeklerinin su ve dip çamuru örneklere için çizilen NTYV grafikleri Şekil 8.12'deki gibi modellendi. Bu modeller ile aynı kategoride yer alan Şekiller ise Tablo 8.1'de görülmektedir.



Şekil 8.12. NTYV modelleri

**Tablo 8.1.** NTYV grafiklerinin modellere göre dağılımı

NTYV Modelleri	<sup>137</sup> Cs su örnekleri	<sup>137</sup> Cs dip çamuru örnekleri	<sup>90</sup> Sr su örnekleri	<sup>90</sup> Sr dip çamuru örnekleri
A	1c		1c, 3c	
B	3b, 6a, 6c, 8a, 8c		3b, 5b, 5c, 6a, 8b, 8c	8
C	1a, 1b			
D	2a, 4c, 7b			
E	7a	1, 2, 3	1a, 2b, 5a, 6b, 7c	2, 3
F	3a, 4a, 5c, 6b, 8b		1b	
G	5a, 7c		2a	
H	2b, 3c, 4b	4, 5	4a, 4b, 4c, 6c, 7a, 7b	1, 4, 5
I	2c, 5b	6, 7, 8		6, 7
J			2c, 3a, 8a	

<sup>90</sup>Sr izotopunun 1c ve 3c istasyonlarına ait olan (Ek 2, Şekil 1.3 ve 9) NTYV grafikleri ve <sup>137</sup>Cs izotopunun 1c nolu istasyona ait olan (Ek 1 Şekil 1.3) NTYV grafiğinin benzer özellikler gösterdiği görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde <sup>90</sup>Sr'nın 1c nolu istasyona ait NTYV grafiğinin (Ek 2 Şekil 1.3) 13,114 km'den sonra, 3c nolu istasyonuna ait NTYV grafiğinin (Ek 2 Şekil 1.9) 15,491 km'den sonra, <sup>137</sup>Cs'nin 1c nolu istasyona ait NTYV grafiğinin 13,114 km'den sonra hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. NTYV'in sabit kaldığı nokta Sill olarak tanımlanır. Bu grup Model A olarak gruplandırıldı. İdeal olarak örnekleme noktaları arasındaki mesafe arttıkça variogram değeri artar, belli bir ayırım mesafesinde yaklaşık olarak sabit bir değere kadar yükselir. Adı geçen NTYV grafiklerinde Sill değerinin görünmesi diğer uzak olan istasyonlardan gelen katkının zayıf olması şeklinde açıklanabilir. <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr'nın 1c nolu istasyona ait NTYV grafikleri incelendiğinde <sup>137</sup>Cs izotopuna ait Sill değeri 0,84 iken <sup>90</sup>Sr'nın 1,769'dur. Dolayısıyla aynı bölgede aynı menzil değerine sahip iki değişken için Sill değerlerinin farklı çıktığı görülmektedir. Bu iki değişken için aynı etki mesafesinde oluşan Sill değerinin büyük olması, model eğrinin NTYV eksenine yaklaştığını dolayısıyla NTYV değerlerinin arttığını belirtir. Bu durum bize <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr izotoplarının aynı menzil değerlerine sahip olduğu bu bölgede, <sup>137</sup>Cs'nin dağılımına diğer istasyonlardan gelen katkının <sup>90</sup>Sr'dan daha fazla olduğunu izah eder. Sill değerine kadar olan mesafe uzaysal bağımlılığın devam etmekte olduğu mesafe olup, sonrasında verilerin birbirleri ile ilişkili olmadığını ifade eden bu mesafe değeri etki uzaklığı (menzil) olarak tanımlanır ve bu mesafe <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr'nın 1c nolu alandaki dağılımı için yukarıda belirtildiği gibi yaklaşık 13 km'dir. <sup>90</sup>Sr'nın 3c nolu alandaki dağılımı için ise yaklaşık 16 km'dir. Menzil değerinden daha düşük mesafe ile birbirine yakın olan örnekler uzaysal olarak birbiriyle

ilişkilidir. Dolayısıyla etki mesafesi ne kadar fazla ise ilgili değişkenin daha fazla mesafelerde etkili olduğunu belirtir. Menzil değerinden daha büyük mesafe ile birbirinden ayrılan örnekler uzaysal olarak ilişkili değildir. Bu grafikler incelendiğinde her bir grafiğin menzil değerinin farklılık gösterebileceği görülmektedir. Bu farklılık her bir istasyonun diğer istasyonlara olan uzaklık farklılığından ve çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır. Grafiğin orijinden başlaması yani  $h=0$  mesafesinde NTYV değerinin sıfır olması bölgesel bağımlılığın söz konusu olduğunu ifade etmektedir.

Model B,  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin, 3b, 6a, 6c, 8a ve 8c nolu istasyonlarına ait NTYV grafiklerini (Ek 1, Şekil 1.8, 16, 18, 22, 24),  $^{90}\text{Sr}$  izotopunun ise; 3b, 5b, 5c, 6a, 8b ve 8c (Ek 2 Şekil 1.8, 14, 15, 16, 23, 24) nolu istasyonlara ait NTYV grafiklerini ve  $^{90}\text{Sr}$ 'nin dip çamuru örneklem yerlerinden 8 nolu istasyona (Ek 4 Şekil 1.8) ait NTYV grafiğini temsil etmekte ve Şekil 8.4'teki değişimi göstermektedir. Logaritmik bir değişim gösteren bu model ilgili istasyona diğer istasyonlardan gelen katkının değişken olduğu yani homojen bir katkının olmadığı anlamına gelir. YV 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. İdeal olarak yarı-variogram örnekler arası ayırım mesafesi sıfıra yaklaştıkça orijinden geçmesi gerekmektedir. Bununla birlikte birçok aktivite değerleri  $h$  değeri sıfıra yaklaştıkça sıfır olmayan yarı-variogram değerleri göstermektedir. Nugget etki birbirine yakın olan ama tam olarak aynı pozisyonda olmayan örnekler arasındaki bu farkı yansıtır ve genellikle ölçüm hatası veya incelenen değişkenin doğasından kaynaklanmaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Nugget etkisi örnekler arasındaki mesafenin artmasıyla orantılı olarak değişmekte, verilerin çokluğu ve verilerin birbirleriyle olan uyumuyla azalmaktadır. Yani Nugget etkisinin büyük olması örnekler arasındaki değişkenliğin fazla olduğunu, küçük olması ise örnekler arasındaki uyumun daha fazla dolayısıyla değişkenliğin daha az olduğunu ifade eder.

$^{137}\text{Cs}$  izotopunun 1a ve 1b nolu (Ek 1 Şekil 1.1 ve 1.2) istasyonlara ait NTYV grafikleri Model C'ye uymaktadır. Model C, Gauss modeline uygun bir değişim gösterip daha sonra ani bir artışa geçmektedir. Gauss modeli aşırı sürekli veya kısa mesafelerde benzer olan olayları ifade eder (Isaaks ve Srivastava, 1989).  $^{137}\text{Cs}$  izotopunun 1a ve 1b nolu istasyonlara ait her iki NTYV grafiğinde de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 3. ve 10.

km’de bu istasyondaki konsantrasyon dağılımı benzerlik göstermektedir. Bu modelin yaklaşık olarak 12 km’den sonra artışa geçmesi yani değişkenliğin rastgele bir şekil alması şöyle yorumlanabilir. Bu istasyonlar konum itibariyle incelendiğinde birbirine yakın istasyonların olduğu bir alan içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla çevreden bu istasyonlara gelecek katkılar göz önüne alındığında, yakın çevresinde bulunan 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c, 4a, 4b, 4c ve 5a, 5b, 5c İstasyonlarına göre uzak daha uzak mesafelerde yer alan 6a, 6b, 6c, 7a, 7b, 7c ve 8a, 8b, 8c nolu istasyonlarından gelen katkı daha az olacaktır. Dolayısıyla bu iki zıt durum bu istasyonlar üzerinde ani değişen durumlar oluşturabilir. Grafikler incelendiğinde keskin bir biçimde aniden artış göstermesi bu şekilde açıklanabilir. Ayrıca modelde Nugget etkisi oluşmuştur. Bu durum ise Model B’de açıklananlar doğrultusunda 1a ve 1b nolu istasyonlarının yakın çevresinde bulunan istasyonların yer almasından kaynaklanmaktadır.

Model D, Gauss modeline uygun bir değişim göstermektedir.  $^{137}\text{Cs}$  izotopunun 2a, 4c, 7b nolu istasyonlara ait (Ek 1, Şekil 1.4, 12 ve 20) NTYV grafikleri bu modele uymaktadır. Gauss dağılımı gösteren bu model nugget etkisine sahiptir.  $^{137}\text{Cs}$  dağılımının 2a, 4c, 7b nolu istasyonlarda yaklaşık olarak 0,02 değerinde oluşan bu nugget etkisi çok küçük olduğundan bu izotopun ilgili istasyonlarda yoğun bir şekilde dağıldığını dolayısıyla değişkenliğin daha az olduğunu ifade eder.

$^{90}\text{Sr}$  izotopunun 1a, 2b, 5a, 6b, 7c (Ek 2, Şekil 1.1, 5, 13, 17, 21) ve 2, 3 (Ek 4, Şekil 1.2, 3) nolu istasyonlara ait NTYV grafikleri,  $^{137}\text{Cs}$  izotopunun 7a (Ek 1 Şekil 1.19) ve 1, 2, 3 (Ek 3, Şekil 1.1, 2, 3) nolu istasyonlara ait NTYV grafikleri Model E olarak gruplandırıldı. Üstel değişim gösteren bu model yatay (mesafe) eksen üzerinde pozitif bir kesişim noktasından başlamaktadır. Bu durum  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  izotoplarının bu kesişim mesafesinden daha küçük mesafelerde ilgili istasyonlar için benzer dağılım sergilediğini dolayısıyla bölgesel bağımlılığın söz konusu olduğunu ifade eder. Yani  $^{90}\text{Sr}$  izotopunun 0,4-1 km,  $^{137}\text{Cs}$ ’nin ise 0,4-1,3 km’den daha küçük mesafelerde homojen dağıldığını ifade eder.

$^{137}\text{Cs}$ ’nin 3a, 4a, 5c, 6b 8b (Ek 1, Şekil 1.7, 10, 15, 17, 23) nolu istasyonlara ait NTYV grafikleri ve  $^{90}\text{Sr}$ ’nin 1b (Ek 2 Şekil 1.2) nolu istasyonuna ait NTYV grafiği Model F’e uymaktadır. Orijinde parabolik bir davranış gösteren bu model ilgili istasyona diğer istasyonlardan gelen katkının değişken olduğunu ifade eder.

$^{137}\text{Cs}$  izotopunun 5a ve 7c (Ek 1, Şekil 1.13, 21) nolu istasyonlarına ait NTYV grafikleri,  $^{90}\text{Sr}$  izotopunun ise 2a (Ek 2 Şekil 1.4) nolu istasyonuna ait NTYV grafiği Model G olarak gruplandırıldı. Şekil 8.4'te de görüldüğü gibi Model G, konveks bir eğri çizip Sill değerine ulaşmaktadır. Bu modele uyan ilgili istasyonlara ait NTYV grafiklerinde 6-10 km'den sonra eğrinin sabit kaldığı görülmektedir. Bu durum bize, bu modele uyan istasyonların 6-10 km'den sonra birbirleri üzerindeki etkinin olmadığını gösterir. Böylece  $^{137}\text{Cs}$ 'nin 5a ve 7c nolu istasyonları için yaklaşık olarak 9 km'den sonra,  $^{90}\text{Sr}$ 'nin 2a nolu istasyonu için ise yaklaşık olarak 7 km'den sonra diğer istasyonlar üzerindeki etkisinin olmadığı görüldü. Bu model için  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ilgili istasyondaki etki mesafesinin  $^{90}\text{Sr}$ 'na göre büyük olması,  $^{137}\text{Cs}$ 'nin daha büyük mesafelerde etkisinin devam ettiği anlamına gelir. Dolayısıyla  $^{90}\text{Sr}$ 'ın dağılımının büyük mesafelerde uzaysal bir ilişkiye sahip olmadığı görüldü.

$^{137}\text{Cs}$  izotopunun 2b, 3c, 4b (Ek 1, Şekil 1.5, 9, 11), 4, 5 (Ek 3, Şekil 1.4, 5) nolu istasyonlara ait NTYV grafikleri ve  $^{90}\text{Sr}$  izotopunun 4a, 4b, 4c, 6c, 7a, 7b (Ek 2, Şekil 1.10, 11, 12, 18, 19, 20 ), 1, 4, 5 (Ek 4, Şekil 1.1, 4, 5) nolu istasyonlarına ait NTYV grafikleri Model H'a uymaktadır. Bu modelin Model A'den farkı ise nugget etkisine sahip olmasıdır.

Logaritmik bir değişim gösteren Model I'ya  $^{137}\text{Cs}$ 'nin 2c, 5b (Ek 1, Şekil 1.6, 14), 6, 7, 8 (Ek 3, Şekil 1.6, 7, 8) nolu istasyonlarına ait NTYV grafikleri ve  $^{90}\text{Sr}$ 'nin 6, 7 (Ek 4, Şekil 1.6, 7) nolu istasyonlarına ait NTYV grafikleri uymaktadır. Modelden B'den farklı olarak, Model I x-eksenini keser.

Model J,  $^{90}\text{Sr}$ 'nin 2c, 3a, 8a (Ek 2, Şekil 1.6, 7, 22) nolu istasyonlarına ait NTYV grafiklerini temsil etmektedir. Bu model logaritmik bir değişim göstermektedir. Model B'den farklı olarak nugget etkisine sahip değildir. Bu durum, 2c, 3a ve 8a nolu istasyonlarda  $^{90}\text{Sr}$  konsantrasyonlarının dağılımlarının yakın mesafelerde homojen, uzak mesafelerde ise heterojen dağıldığını gösterir.

Genel olarak grafikler incelendiğinde; su örneklerinde gözlenen  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin NTYV grafikleri 5 farklı modele uyduğu,  $^{90}\text{Sr}$ 'nin ise 4 farklı modele uyduğunu gördük. Aynı istasyonlara ait  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  radyoçekerdek konsantrasyonlarının çok büyük dağılım farklılıkları gösterdiği görüldü. Bu durum, bu iki radyoçekerdeğin, istasyonlardaki çevresel faktörlerden farklı biçimlerde etkilendiği sonucunu ortaya koymuştur. Dip

çamuru örneklerinde gözlenen bu iki yapay radyoçekerdek değerlerinin NTYV grafiklerinin ise bir tanesi dışında benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla dip çamuru örnekleme yerlerinde istasyonların birbirine katkılarının ve çevresel etkenlerin bu iki çekirdeğin davranışına kısmen eşit etkidiğini söylemek mümkündür. Bu durum ise, bu radyoçekerdeğin dip çamurları içerisindeki mobilitesinin yaklaşık olarak benzer olduğu sonucunu ortaya koymakla beraber, mobilite kabiliyetlerinin dip çamuru içerisinde zayıf olduğu görüldü.

EPA tarafından içme suları için belirlenmiş sınır değerler ile bu çalışma kapsamında elde edilen değerler karşılaştırıldığında, Hazar Gölü'ne ait  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin standartların altında olduğu,  $^{90}\text{Sr}$  değerlerinin ise standartların üstünde olduğu görüldü. Buna rağmen Hazar Gölü sularının kullanım açısından sağlık anlamında bir tehlike oluşturduğunu söylemek çok iddialı olur. Zaten EPA'nın bu değerleri içme suyu standartıdır. Hâli hazırda göl suyu zaten içilememektedir. EPA tarafından belirlenen sınır değerler ve elde edilen sonuçlar Tablo 8.2'de görülmektedir (EPA, 2013).

**Tablo 8.2** EPA içme suyu değerleri ve Elde edilen sonuçlar

	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/L)	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
<b>EPA</b>	7,4	0,296
<b>Bu çalışma (ortalama aktivite)</b>	0,671	0,645

İçinde bulunduğumuz enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, nükleer enerjinin ülkemiz için ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle neredeyse hepsi insan hatasından kaynaklanan nükleer kazalar, Akkuyu'da kurulacak nükleer güç santralinden elde edilen enerjinin dağıtılması sürecinde güvenliğinin sağlanması ve kaynak çeşitliliğinin artırılması bakımından önemini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, Akkuyu ve Sinop'ta kurulacak Nükleer Santraller dikkate alındığında, bu enerji çeşidinin ülkemiz menfaatine olduğunu anlatmayı bir bilim insanı olarak, vatandaşlık görevi olarak görmeliyiz. Bu konuda yapılacak olan çalışmalara vatandaş ve bir bilim insanı olarak desteğimiz artarak devam etmelidir.

Son olarak, Fukushima kazasının göldeki etkilerini daha net analiz edebilmek için göldeki yapay radyoaktivite çalışmaları sürdürülmelidir.

## KAYNAKLAR

- Acar, R., Acar, O.,** 2003. İnsan dişlerinde Sr-90 birikiminin tayini, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 06100, Beşevler, Ankara.
- 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.
- Arıkan, İ.H.,** 2007. Çevresel Radyasyonun canlılığı Sürdürülebilirliğine Etkileri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Armstrong, M.,** 1988. Basic Linear Geostatistics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 153.
- Bayata, S.,** 2007. Çatalağzı Termik Santrali ve Çevresindeki Radyoaktivite Ölçümü, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Caroll J., Harms I. H.,** 1999. Uncertainty analysis of partition coefficients in a radionuclide transport model, *Water Res.*, **33**, 2617-2626.
- Chiu, C-Y., La, S-Y., Lin, Y-M., Chiang, H-C.,** 1999. Distribution of radionuclide <sup>137</sup>Cs in the soils of a wet mountainous forest in Taiwan, *Applied Radiation and Isotopes*, **50**, 1097-1103.
- Clark, I.,** 1979. Practical geostatistics, Applied Science Publishers, London.
- Cressie, N.,** 1991. Statistics for Spatial Data, Wiley Interscience, New York.
- Çetiner, M.A.,** 2011. Chernobyl ve Fukushima Nükleer Reaktör Kazalarının Mukayesesi, 21. Yüzyıl dergisi, 34.
- David M.,** 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam.
- Davis, J. C.,** 1973. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons Inc. Canada.

- Davis, J.C.**, 2002. Statistics and Data Analysis in Geology, New York, 638.
- 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.
- Devolpi, A.**, 2012. Nuclear Power Safety, Lessons From Three Mile Island and the Fukushima Reactor Accidents, Public Interest Report.
- Duran, C., Günek, H.**, 2007. Hazar Gölü Havzası arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesi (1956-2004), Fırat Üniversitesi sosyal bilimler dergisi, Cilt 17, Sayı 2, 31-52, Elazığ.
- El-Shershaby, A.**, 2002. Study of Radioactivity Levels of Gable Gattar II in the North Eastern desert of Egypt, Applied Radiation and Isotopes, **57**, 131-135.
- EPA**, 2013. <http://www.epa.gov./drinking> (10.07.2013).
- Esmeray, E.**, Konya ve Çevresinde Bulunan Su Kaynaklarındaki Doğal Radyasyonun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Fisher, R.A.**, 1935. The Design of Experiments, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Fukuyama, T., Fujiwara, H.**, 2008. Contribution of Asian dust to atmospheric deposition of radioactive cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ), Sci. of the Total Environ., **405**, 389-395.
- Fry, F., Britcher, A.**, 1987. Doses from Chernobyl Radiocesium, Lancet, 160-161.
- Ginzburg, V.L., Syrovatski, S.I.**, 1964. The Origin of Cosmic Rays, Pergaman Press .
- Guillite, O., Koziol, M., Debauche, A., Andolina, J.**, 1989. Plant-cover influence on the spatial distribution of radiocesium deposits in forest ecosystems, Workshop on the transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments, Enea-Dısp, Cec, Crsa, Udine.
- Goovaerts, P.**, 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press, New York.

- Hacıyakupoğlu, S., Ertek, T. A., Walling, D. E., Öztürk, F., Karahan, G., Erginal, A. E., Çelebi, N.,** 2005. Using  $^{137}\text{Cs}$  measurements to investigate soil erosion rates in western İstanbul (NW Turkey), *Catena*, **64**, 222-231.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M.,** 1989. *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Isaksson, M., Erlandson B., Sören M.,** 2001. A 10-year study of the  $^{137}\text{Cs}$  distribution in soil and a comparison of soil inventory with precipitation-determined deposition, *Journal of Environmental Radioactivity* **55**, 47-59.
- IAEA,** 2002. *Application of Ion Exchange Processes for The Treatment of Radioactive Waste and Management of Spent Ion Exchangers*, 408, Vienna.
- IAEA,** 2003. *Issues and Trend in Radioactive Waste Manegement, Proceedings of an International Conference*, 1175, Austria.
- IAEA,** 2012. *Protection against Extreme Earthquakes and Tsunamis in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*, 1400, Austria.
- Journel, A.G., Huijbregts, C.H.,** 1978. *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York.
- Karahan, G.,** 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kato, H., Onda, Y., Teramage, M.,** 2011. Depth distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$  in soil profile after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 1-6.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N.,** 2003. *Using ArcGIS Geoistical Analyst*, ESRI, New York, USA.
- Kitanidis, P. K.,** 1997. *Introduction to Geostatistics, application in Hydrogeology*, Cambridge University Press.

- Knoll, G. F.**, 2000. Radiation Detection and Measurement, 3 nd ed, John Wiley and Sons, New York, 70-400.
- Koby, Y.**, 2009. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki doğal maden ve kaynak sularında radyoaktiflik tayini, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U.**, 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), Applied Radiation and Isotopes **65**, 1281–1289
- 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, Applied Radiation and Isotopes, **65**, 1070-1077.
- Külahcı, F., Şen, Z., Kazanç, S.**, 2008. Cesium concentration spatial distribution modeling by point cumulative semivariogram, Water, Air, Soil, Pollution, **195**, 151-160.
- Külahcı, F., Şen, Z.**, 2008. Risk assessment of distribution coefficient from  $^{137}\text{Cs}$  measurements, Environmental Monitoring Assessment, **149**, 363-370.
- Matheron G.**, 1963. Principle of geostatistics, Economical Geology, **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).
- Mızrak, E.**, 2010. Çevresel Radyoaktivite Ölçüm amaçlı Gama Spektroskopi Sisteminin Kalibrasyonu ve Test ölçümlerinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Monte, L., Brittain, J.E., Hakanson, L., Smith, J.T., Van der Perk, M.,** 2004. Review and assessment of models for predicting the migration of radionuclides from catchments, *Journal Environmental Radioactivity*. **75**, 83-103.
- NCRP 98,** 1989. National Council on Radiation Protection and Measurements Guidance on Radiation Received in Space Activities.
- Ng, B., Turner, A., Tyler A.O., Falconer R.A., Millward G.E.,** 1996. Modelling contaminant geochemistry in estuaries, *Water Research*, **30**, 63-74.
- Niksarhođlu, S.,** 2010. Radyoaktif serpentinin uzay-zaman modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Olçay, İ.,** 2007. Radyasyon dedeksiyonunda kullanılan yarı-iletken dedektör tipleri, özellikleri ve kullanım alanları, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Özger G.A.,** 2005. Ceyhan, yumurtalık ve Pozanti Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Putyrskaya, V., Klemt, E.,** 2007. Modeling <sup>137</sup>Cs migration process in lake sediments, **96**, 54-62.
- Rigol, A., Vidal, M., Rauret, G.,** 2002. An overview of the effect of organic matter on soil-radiocesium interaction: implications root uptake, *Journal of Environmental radioactivity*, **58**, 191-216.
- Rogers, A.S.,** 1958. Physical Behavior and Geologic Control of Radon in Mountain Streams, U.S. Geology Bulletin 1052-E.
- Samuel, L.D.,** 1964. A study of Environmental Exposure to Radium in Drinking Water. *The Natural Environment*, 239.
- Sasina, N.V., Smith, J.T., Kudelsky, A.V., Wright, S.M.,** 2007. “Blind” testing of models for predicting the <sup>90</sup>Sr activity concentration in river systems using post-Chernobyl monitoring data, *Journal of Environmental Radioactivity*, **92**, 63-71.

- Sayre, W.W. Guy, H.P., Chamberlan, A.R.** 1963. Uptake and Transport of Radionüclides by Stream Sediments. U.S. Geology Survey Professional 433p-A.
- Student,** 1907. On the error of counting with a hemacytometer, *Biometrika*, **5**, 351-360.
- Styro, D., Bumeliene, Zh., Lukinskiene, M., Morkuniene, R.,** 2001. <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr behavioural regularities in the southeastern part of Baltic sea, *Journal of Environmental Radioactivity*, **53**, 27-39.
- Şahin, A. D.,** 2001. Türkiye rüzgârlarının alan-zaman modellemesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen, Z.,** 1989. Cumulative semivariogram models of regionalized variables, *Mathematical Geology*, **21**, 891-903.
- Şen, Z.,** 1998. An application of a regional air pollution estimation model over Istanbul urban area, *Atmospheric Environment*, **32**, 3425-3433.
- Şen, Z.,** 1998. Point Cumulative Semivariogram for Identification of Heterogeneities in Regional Seismicity of Turkey, *Mathematical Geology*, **30**, 767-787.
- TAEK,** 2007. Türkiye’de Chernobyl Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri, Ankara.
- TAEK,** 2007. Chernobyl Kazasının Ülkeler Üzerindeki Etkileri, Ankara.
- TAEK,** 2007. Türkiye için Doz Değerlendirmeleri, Ankara.
- TAEK,** 2007. <http://www.taek.gov.tr/> Doğal radyasyon kaynakları (12.02.2013).
- TAEK,** 2009. Radyasyon, İnsan ve Çevre, Ankara.
- Taner, A.C.,** 2011. Japonya Depremi Tsunami ve Nükleer Santraller, Fizik Mühendisi Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler.
- Taşkın, H.,** 2006. İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

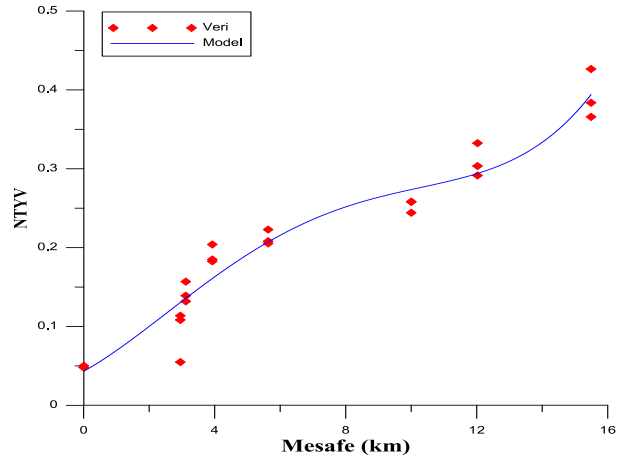
- Togay, Y.E.**, 2002. Radyasyon ve Biz., Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara.
- Tykva, R., Sabol, J.**, 1995. Low Level Environmental Radioactivity, Basel Switzerland.
- Tyler, A. T., Carter, S., Davidson, D. A., Long, D. J., Tipping, R.**, 2001. The extend and significance of bioturbation on  $^{137}\text{Cs}$  distributions in upland soils, *Catena* **43**, 81-99.
- UNSCEAR**,1993. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations, New York.
- UNSCEAR**, 1993. Sources Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, United Nations.
- URL-1 <http://www.nukleer.gov.tr/index.php/yayinlar>. Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye 2013.
- Valkovic, V.**, 2000. Enviromental Radioactivity, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Van Bergeijk, K. E., NoordJK, H., Lembrechts, J., Frissel, M.J.**, 1992. Influence of pH, soil type and organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocesium and strontium as analyzed by nonparametric method, *Journal of Environmental Radioactivity*, **15**, 265-276.
- Velasco, R.H., Toso, J. P.**, 1997. Radiocesium in the northeastern part of Italy after the Chernobyl accident: Vertical soil transport and soil-to-plant transfer, *Journal of Environmental Radioactivity*, **37**, 73-83.
- Wackernagel, H.**, 1995. Multivariate Geostatistics, Springer- Verlag.
- Walhstrom, B.**, 1996. Understanding Radiation. Medical Physics Pub. Corp.
- Wright, S. M., Howard, B. J., Strand. P., Nylen, T., Sickel, M. A. K.**, 1999. Prediction of  $^{137}\text{Cs}$  deposition from atmospheric nuclear weapons tests within the Arctic, *Environmental Pollution*, **104**, 131-143.

**Yates F.**, 1938. The comparative advantages of sistematic and randomized arrangements in the design of agricultural and biological experiments, *Biometrika*, **30**, 444-466.

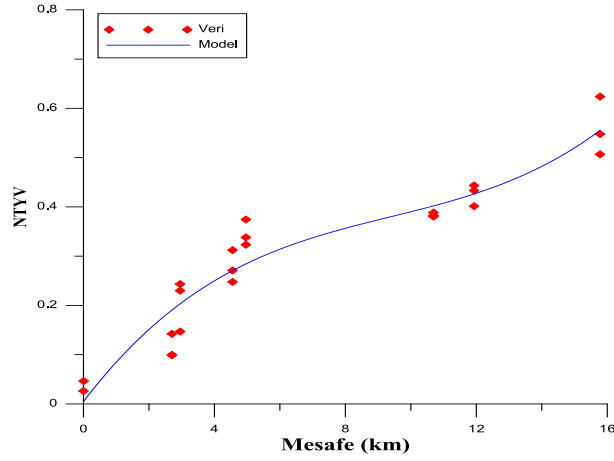
# **EKLER**

**EK 1**

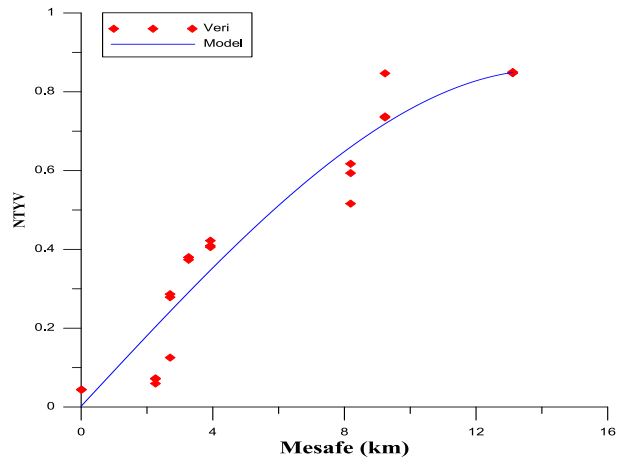
## $^{137}\text{Cs}$ Su Örnekleri için Çizilen Noktasal Toplam Yarı-Variogram Grafikleri



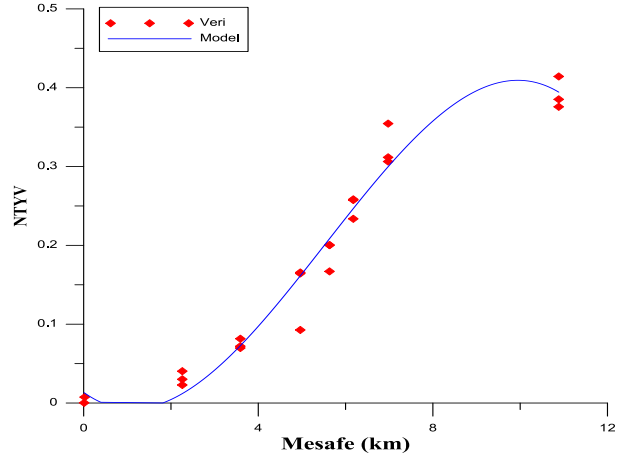
Ek 1 Şekil 1.1.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 1a nolu istasyon NTYV grafiği



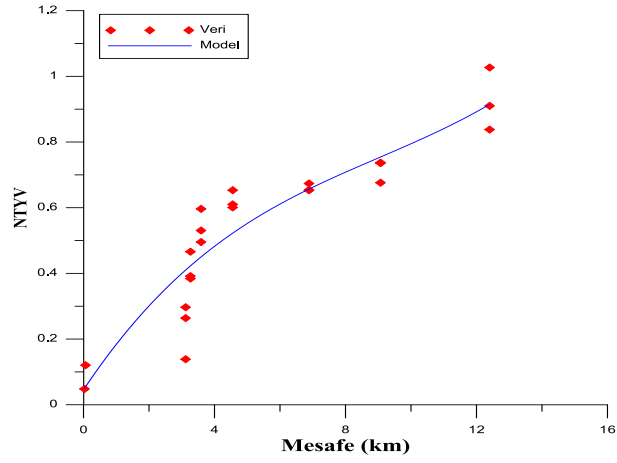
Ek 1 Şekil 1.2.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 1b nolu istasyon NTYV grafiği



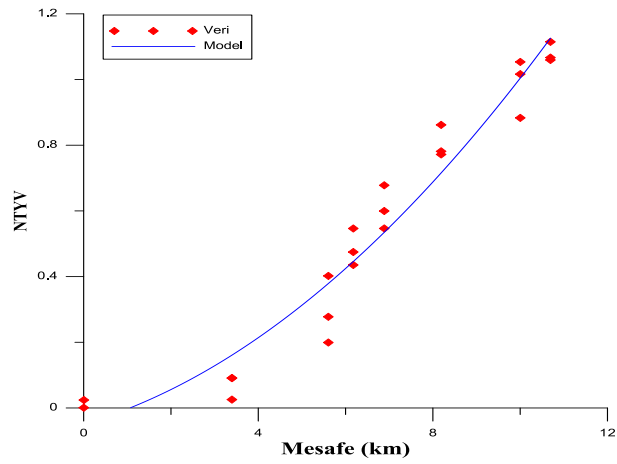
Ek 1 Şekil 1.3.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 1c nolu istasyon NTYV grafiği



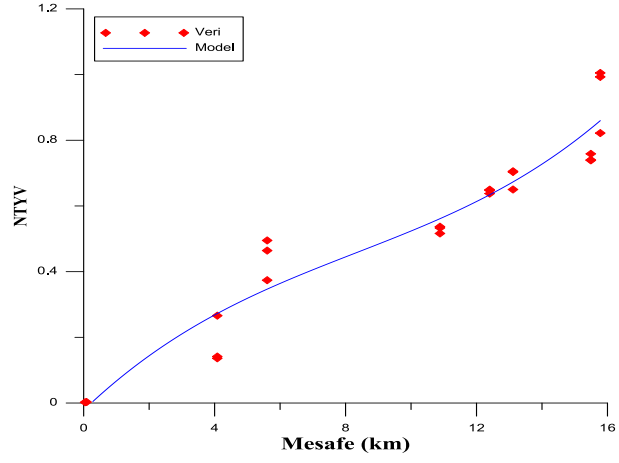
Ek 1 Şekil 1.4.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 2a nolu istasyon NTYV grafiği



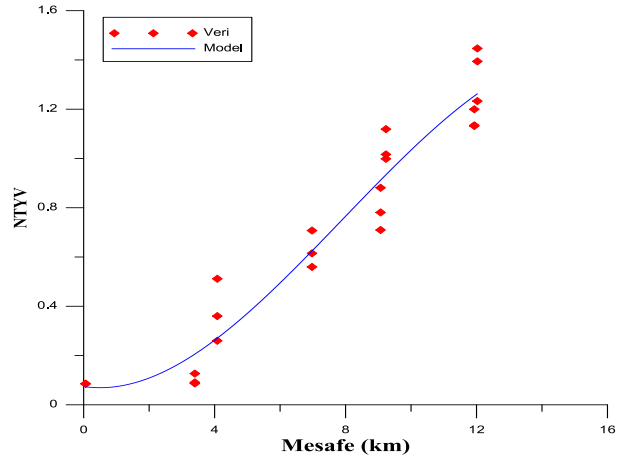
Ek 1 Şekil 1.5.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 2b nolu istasyon NTYV grafiği



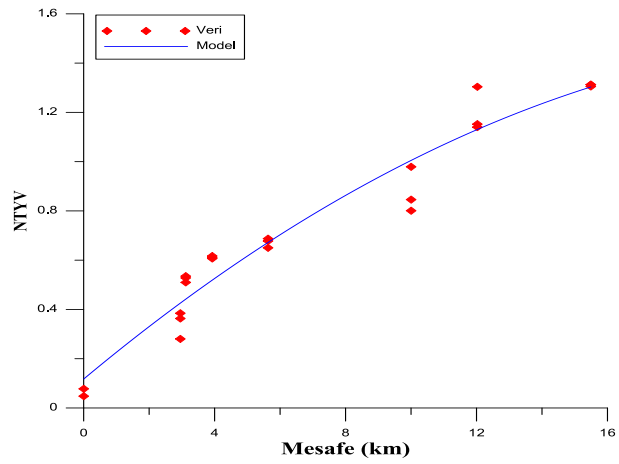
Ek 1 Şekil 1.6.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 2c nolu istasyon NTYV grafiği



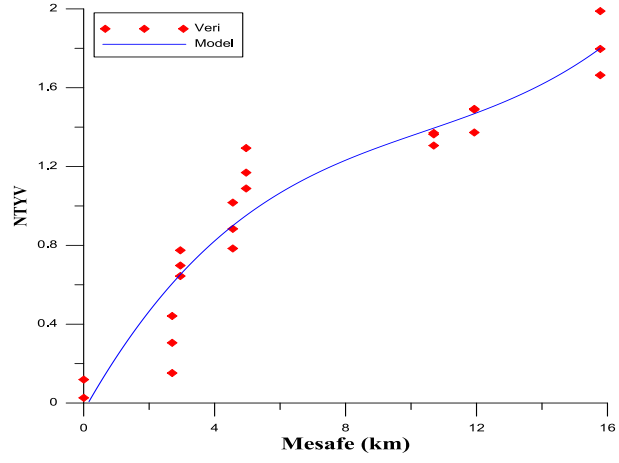
Ek 1 Şekil 1.7.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 3a nolu istasyon NTYV grafiği



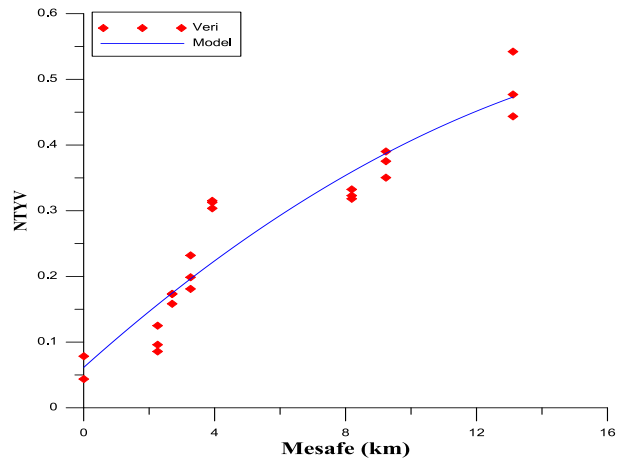
Ek 1 Şekil 1.8.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 3b nolu istasyon NTYV grafiği



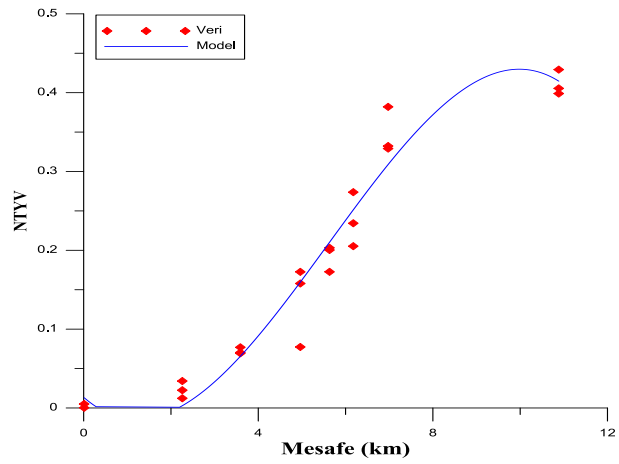
Ek 1 Şekil 1.9.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 3c nolu istasyon NTYV grafiği



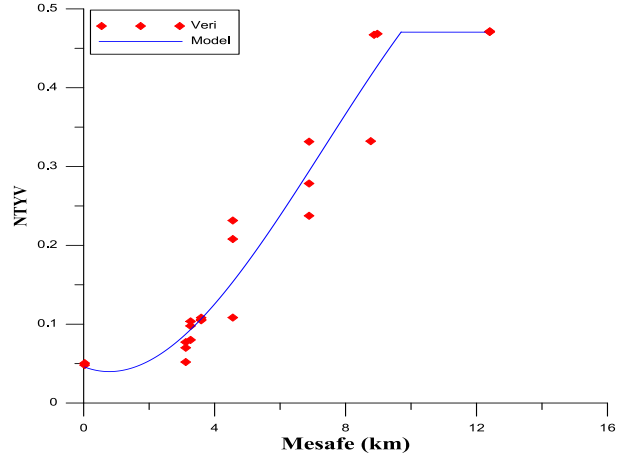
Ek 1 Şekil 1.10.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 4a nolu istasyon NTYV grafiği



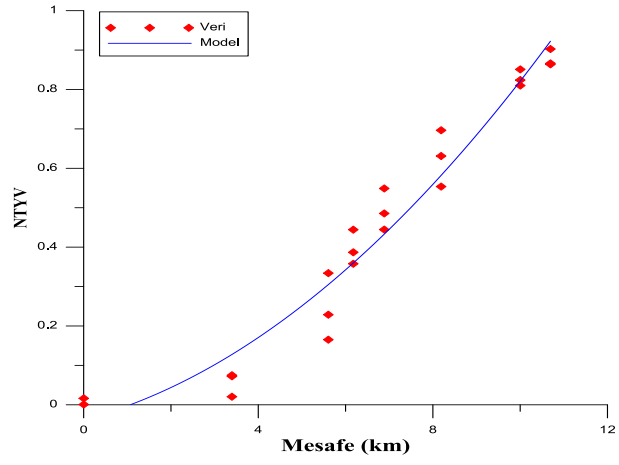
Ek 1 Şekil 1.11.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 4b nolu istasyon NTYV grafiği



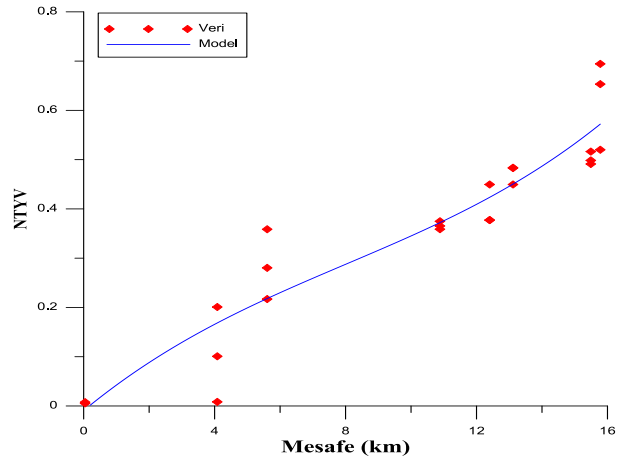
Ek 1 Şekil 1.12.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 4c nolu istasyon NTYV grafiği



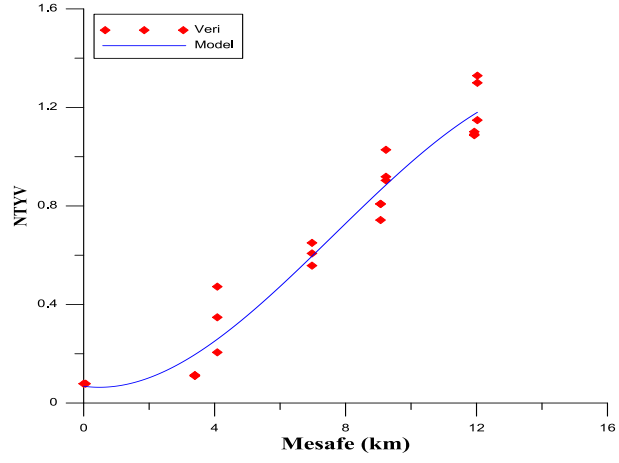
Ek 1 Şekil 1.13.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 5a nolu istasyon NTYV grafiği



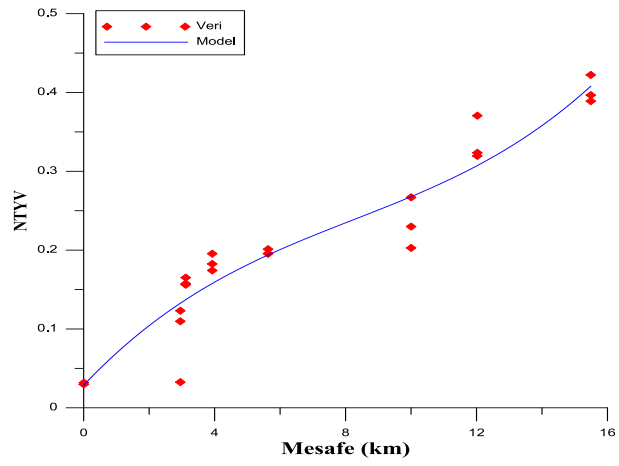
Ek 1 Şekil 1.14.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 5b nolu istasyon NTYV grafiği



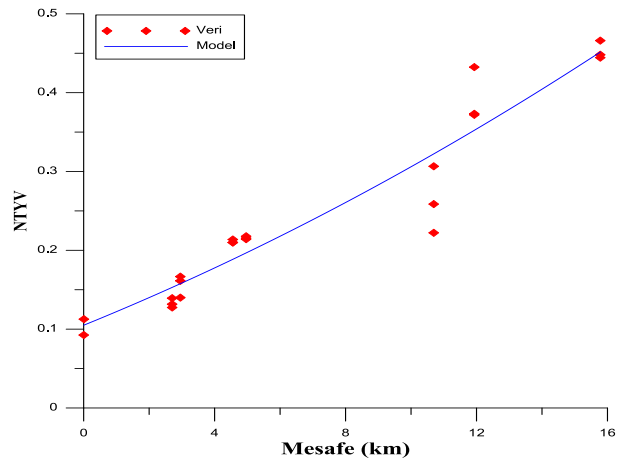
Ek 1 Şekil 1.15.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 5c nolu istasyon NTYV grafiği



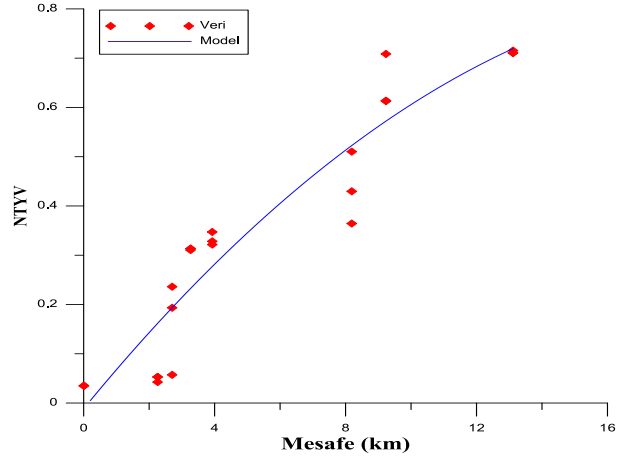
Ek 1 Şekil 1.16.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 6a nolu istasyon NTYV grafiği



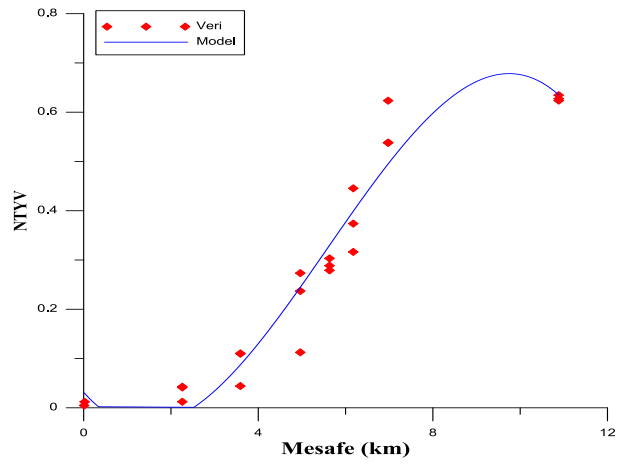
Ek 1 Şekil 1.17.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 6b nolu istasyon NTYV grafiği



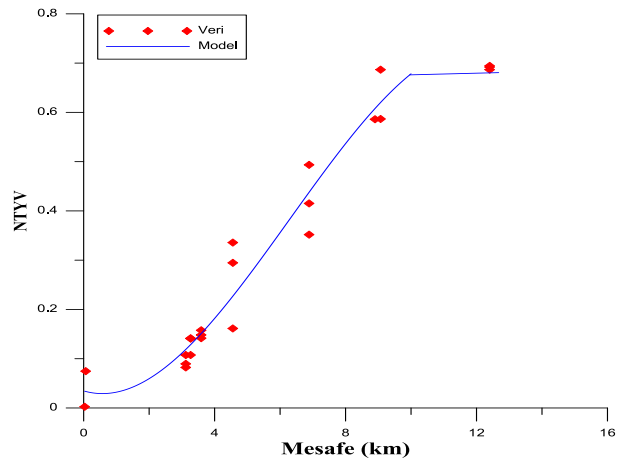
Ek 1 Şekil 1.18.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 6c nolu istasyon NTYV grafiği



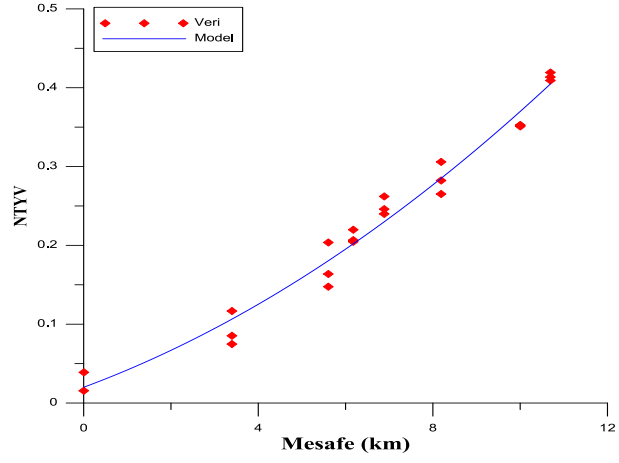
Ek 1 Şekil 1.19.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 7a nolu istasyon NTYV grafiği



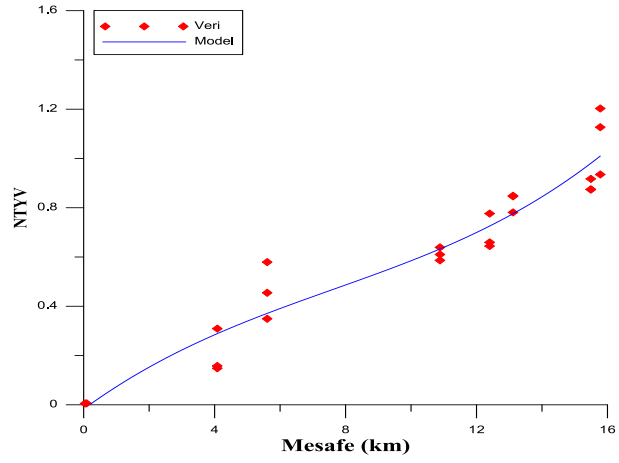
Ek 1 Şekil 1.20.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 7b nolu istasyon NTYV grafiği



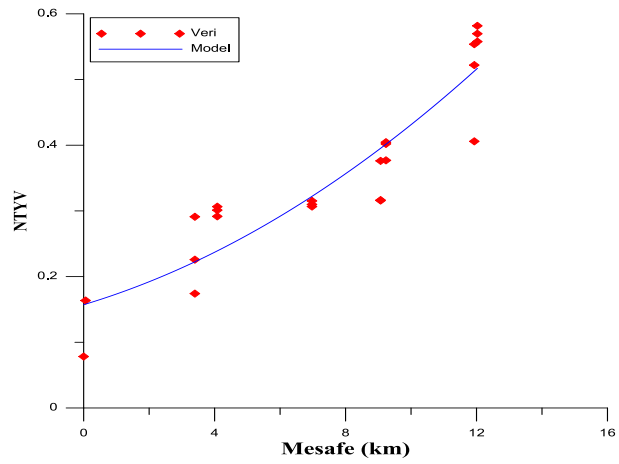
Ek 1 Şekil 1.21.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 7c nolu istasyon NTYV grafiği



Ek 1 Şekil 1.22.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 8a nolu istasyon NTYV grafiği



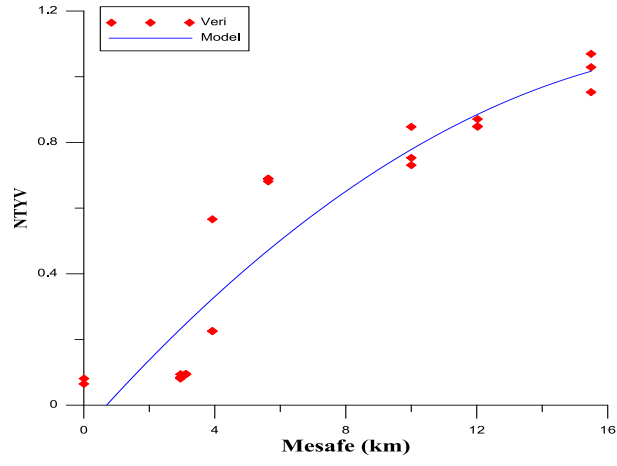
Ek 1 Şekil 1.23.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 8b nolu istasyon NTYV grafiği



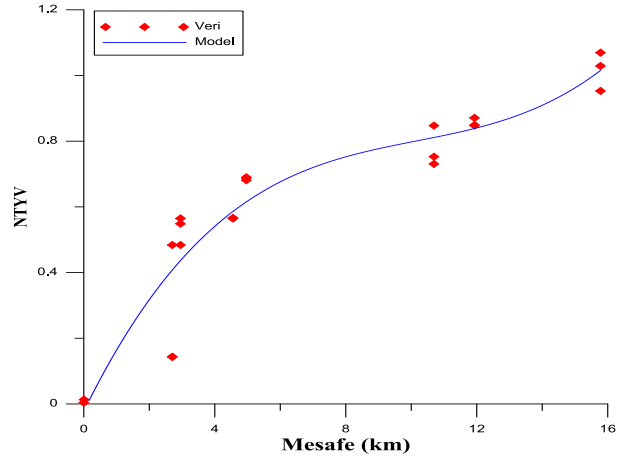
Ek 1 Şekil 1.24.  $^{137}\text{Cs}$  su örnekleri 8c nolu istasyon NTYV grafiği

**EK 2**

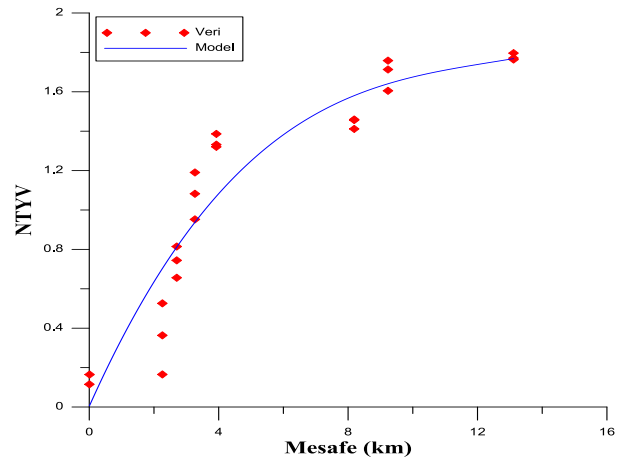
## <sup>90</sup>Sr Su Örnekleri için Çizilen Noktasal Toplam Yarı-Variogram Grafikleri



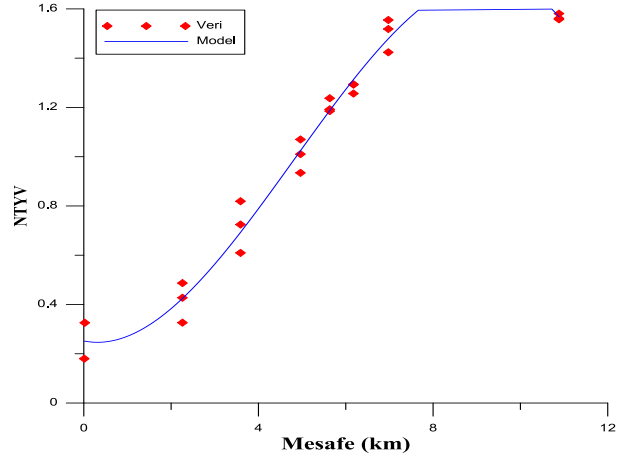
Ek 2 Şekil 1.1. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 1a nolu istasyon NTYV grafiği



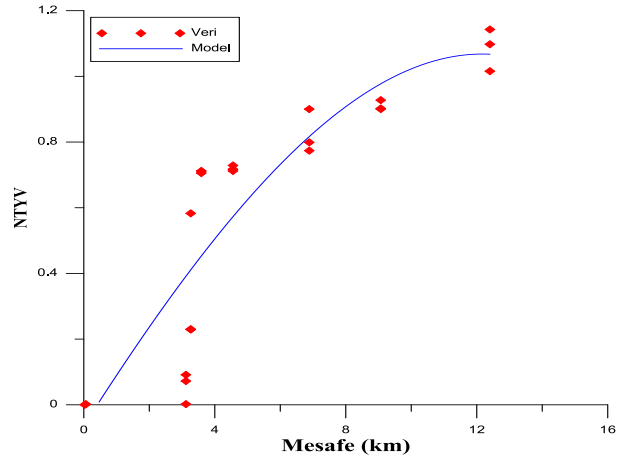
Ek 2 Şekil 1.2. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 1b nolu istasyon NTYV grafiği



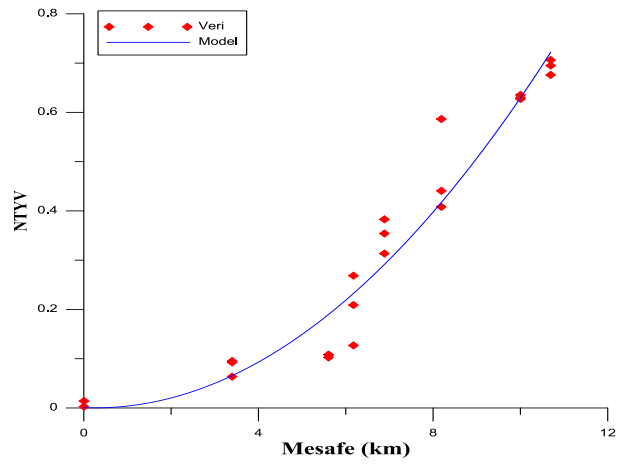
Ek 2 Şekil 1.3. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 1c nolu istasyon NTYV grafiği



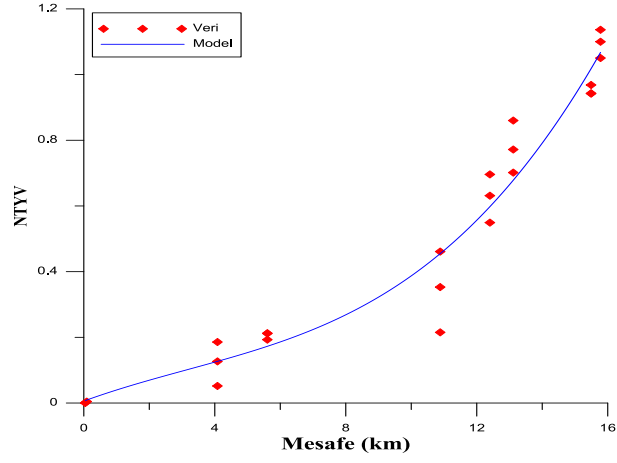
Ek 2 Şekil 1.4.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 2a nolu istasyon NTYV grafiği



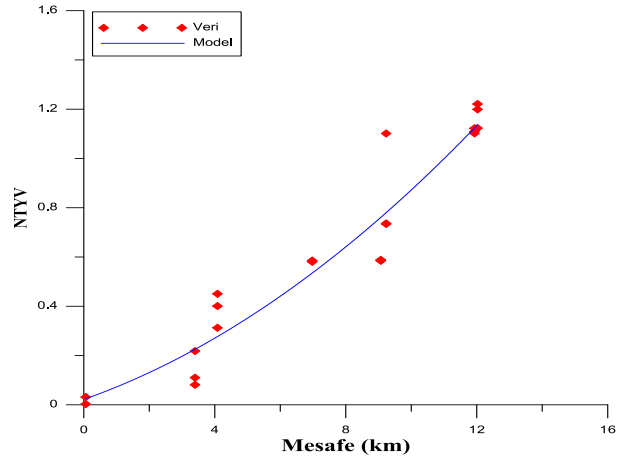
Ek 2 Şekil 1.5.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 2b nolu istasyon NTYV grafiği



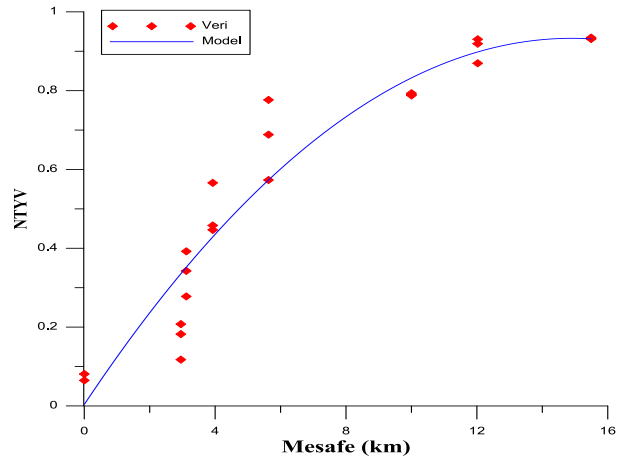
Ek 2 Şekil 1.6.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 2c nolu istasyon NTYV grafiği



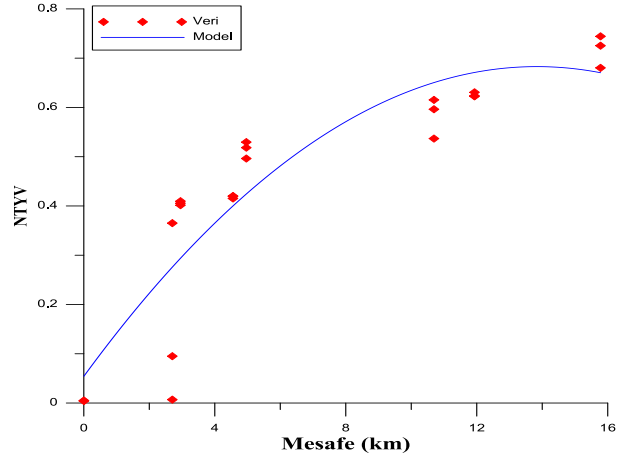
Ek 2 Şekil 1.7.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 3a nolu istasyon NTYV grafiği



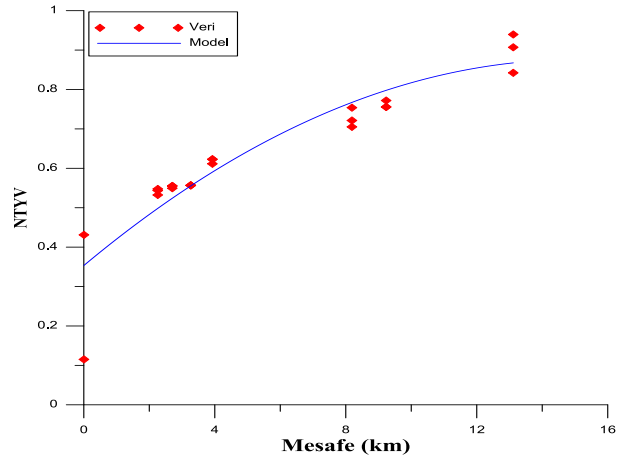
Ek 2 Şekil 1.8.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 3b nolu istasyon NTYV grafiği



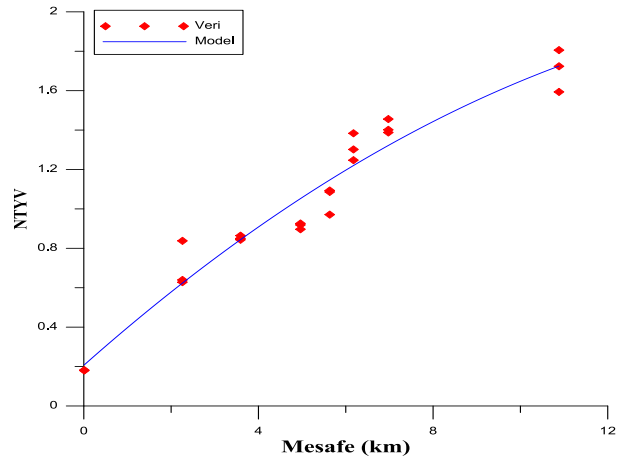
Ek 2 Şekil 1.9.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 3c nolu istasyon NTYV grafiği



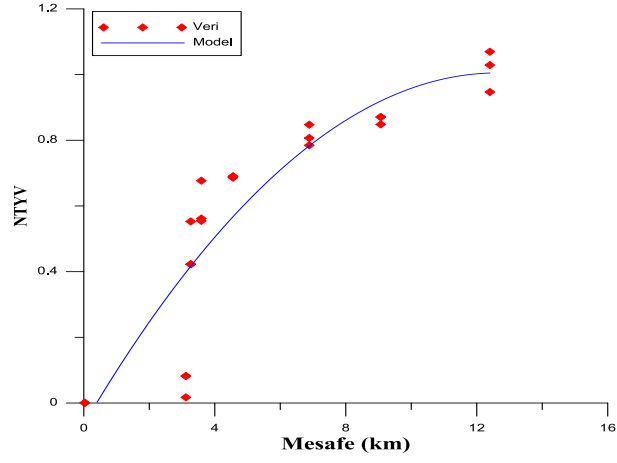
Ek 2 Şekil 1.10.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 4a nolu istasyon NTYV grafiği



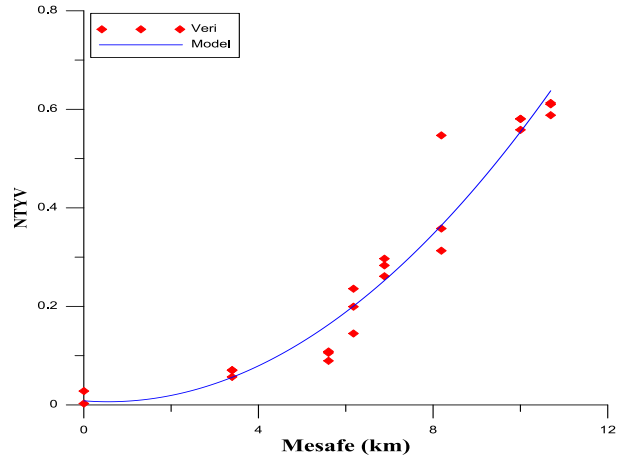
Ek 2 Şekil 1.11.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 4b nolu istasyon NTYV grafiği



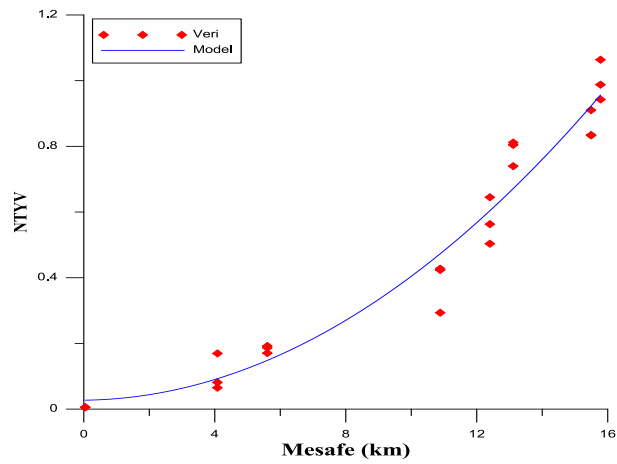
Ek 2 Şekil 1.12.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 4c nolu istasyon NTYV grafiği



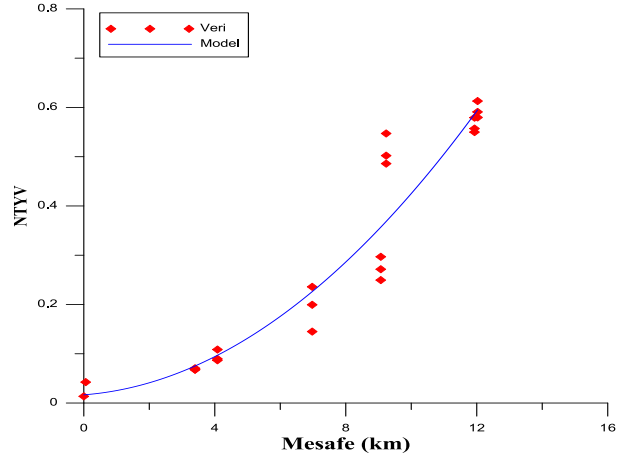
Ek 2 Şekil 1.13.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 5a nolu istasyon NTYV grafiği



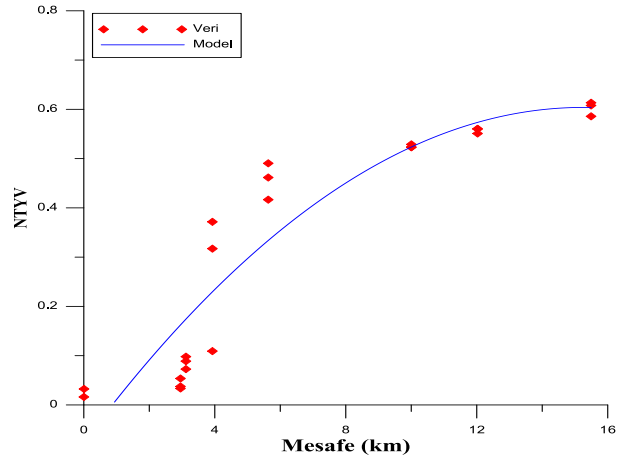
Ek 2 Şekil 1.14.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 5b nolu istasyon NTYV grafiği



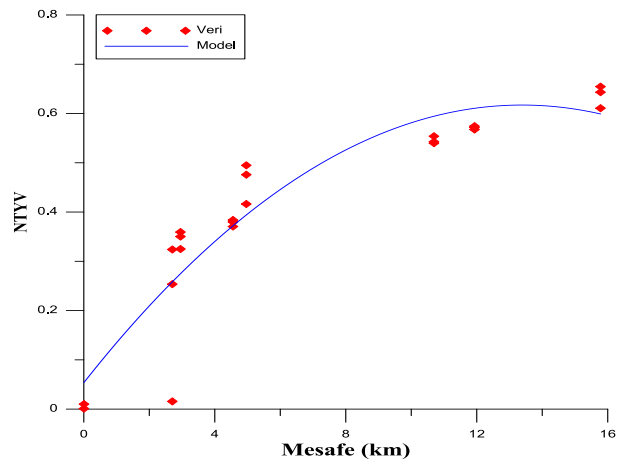
Ek 2 Şekil 1.15.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 5c nolu istasyon NTYV grafiği



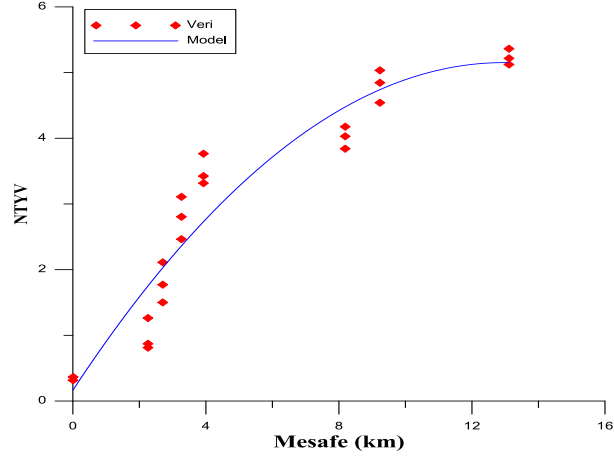
Ek 2 Şekil 1.16. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 6a nolu istasyon NTYV grafiği



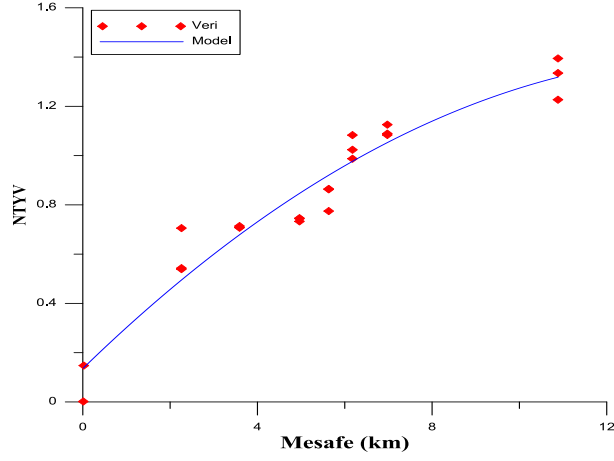
Ek 2 Şekil 1.17. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 6b nolu istasyon NTYV grafiği



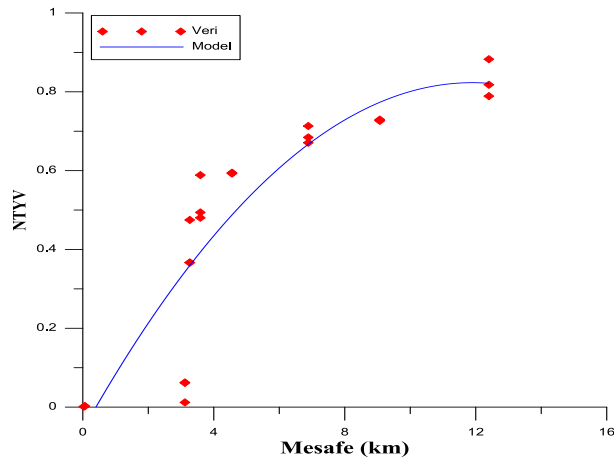
Ek 2 Şekil 1.18. <sup>90</sup>Sr su örnekleri 6c nolu istasyon NTYV grafiği



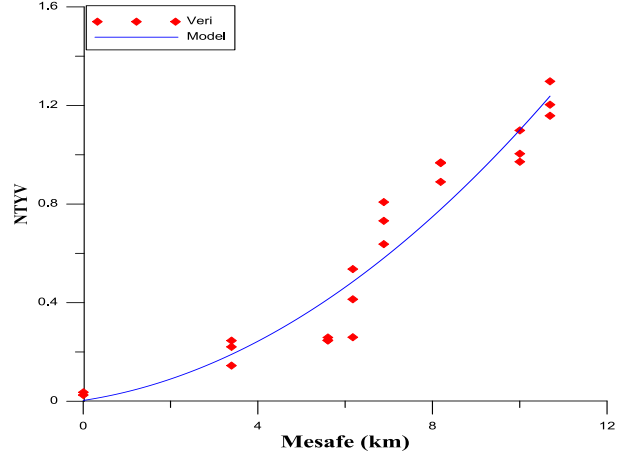
Ek 2 Şekil 1.19.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 7a nolu istasyon NTYV grafiği



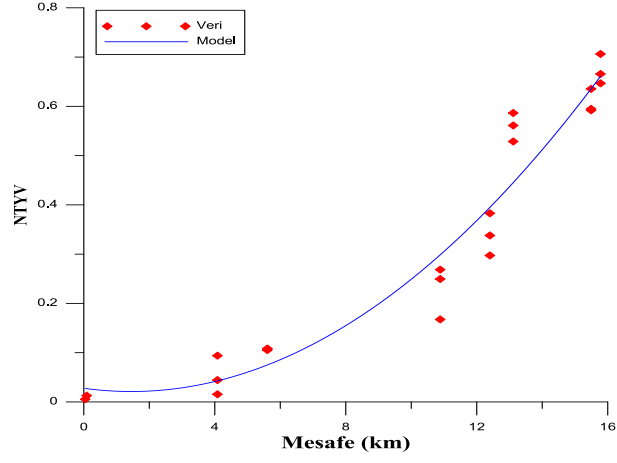
Ek 2 Şekil 1.20.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 7b nolu istasyon NTYV grafiği



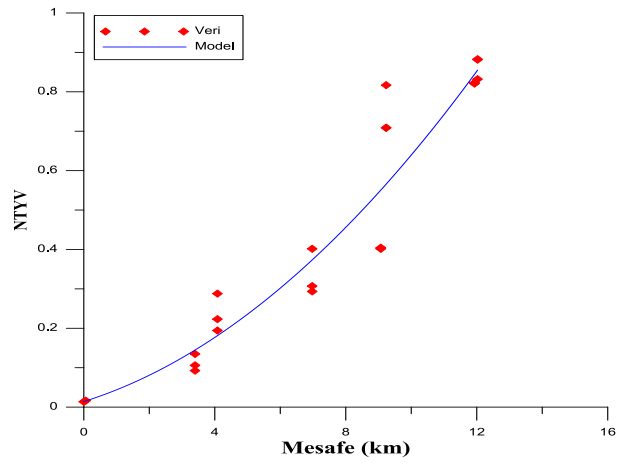
Ek 2 Şekil 1.21.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 7c nolu istasyon NTYV grafiği



Ek 2 Şekil 1.22.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 8a nolu istasyon NTYV grafiği



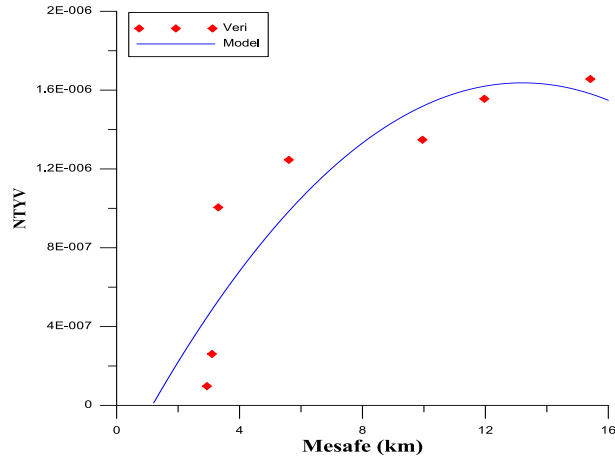
Ek 2 Şekil 1.23.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 8b nolu istasyon NTYV grafiği



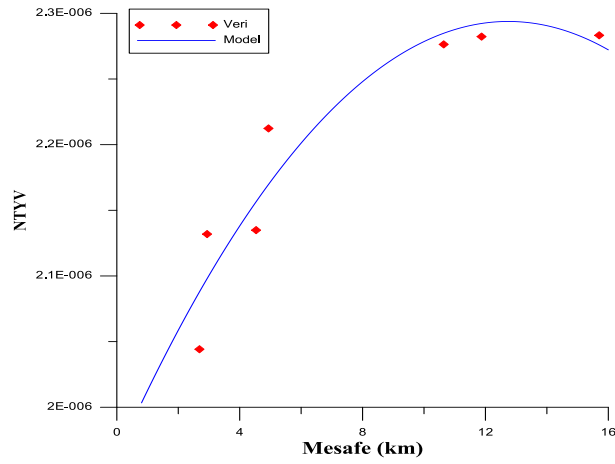
Ek 2 Şekil 1.24.  $^{90}\text{Sr}$  su örnekleri 8c nolu istasyon NTYV grafiği

**EK 3**

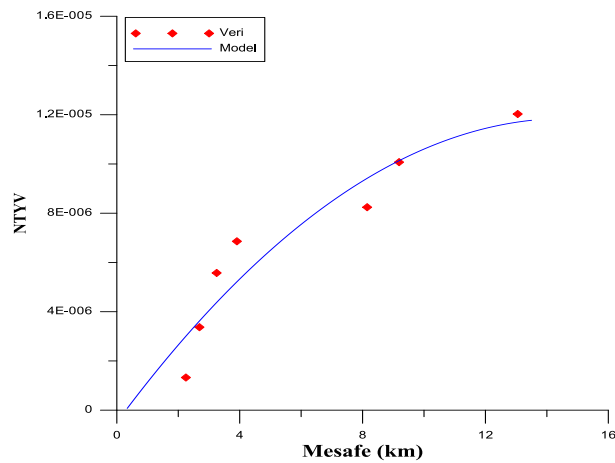
## <sup>137</sup>Cs Dip Çamuru Örnekleri için Çizilen Noktasal Toplam Yarı-Variogram Grafikleri



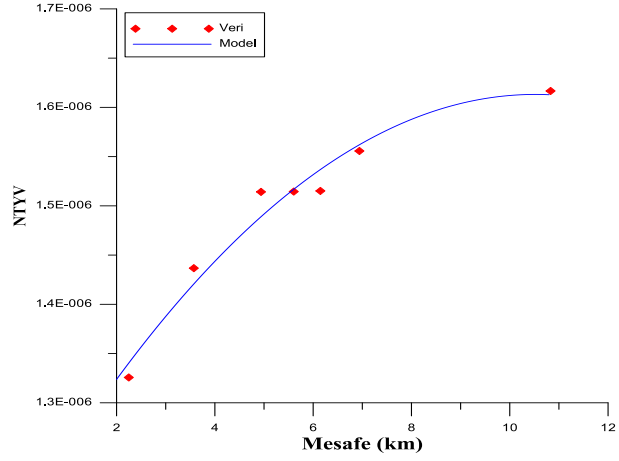
Ek 3 Şekil 1.1. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 1 nolu istasyon NTYV grafiği



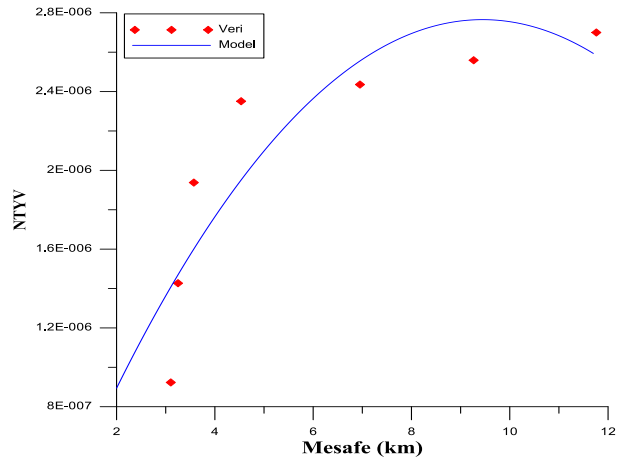
Ek 3 Şekil 1.2. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 2 nolu istasyon NTYV grafiği



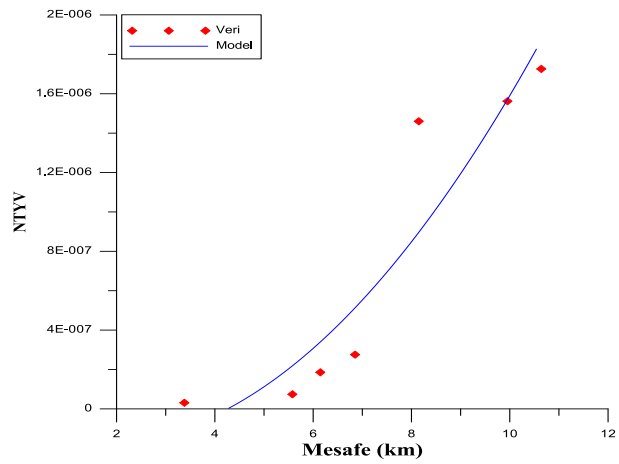
Ek 3 Şekil 1.3. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 3 nolu istasyon NTYV grafiği



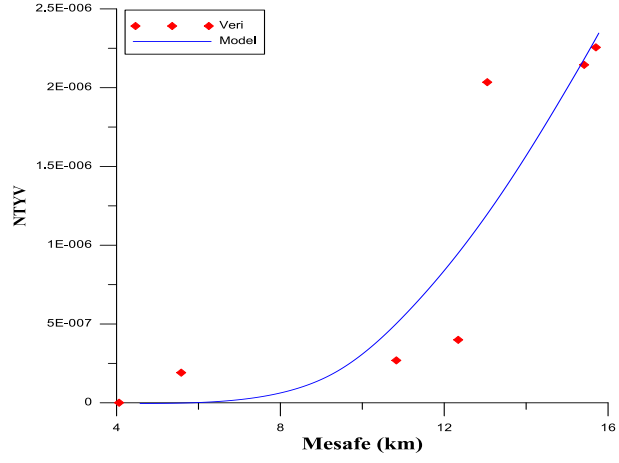
Ek 3 Şekil 1.4. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 4 nolu istasyon NTYV grafiği



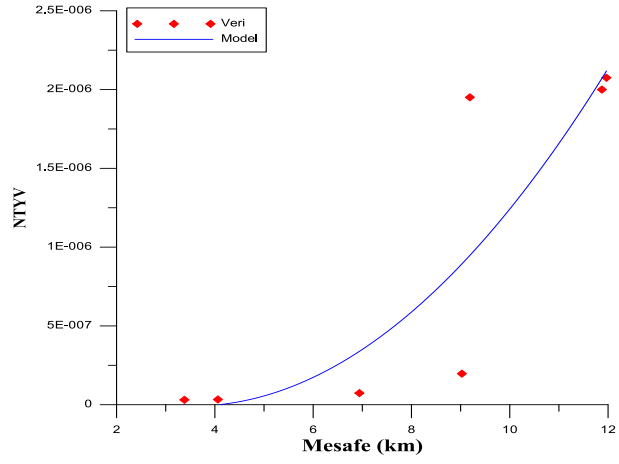
Ek 3 Şekil 1.5. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 5 nolu istasyon NTYV grafiği



Ek 3 Şekil 1.6. <sup>137</sup>Cs dip çamuru örnekleri 6 nolu istasyon NTYV grafiği



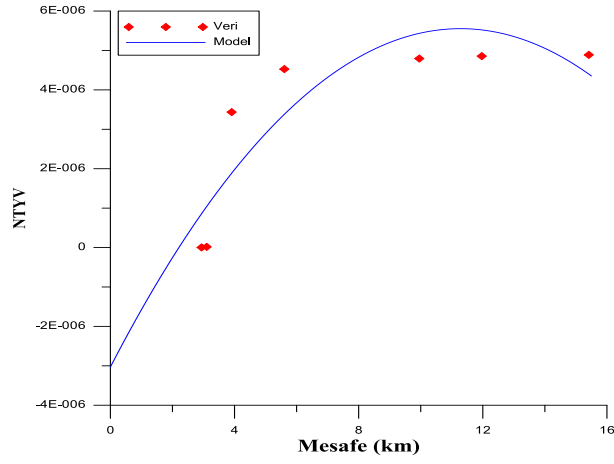
Ek 3 Şekil 1.7.  $^{137}\text{Cs}$  dip çamuru örnekleri 7 nolu istasyon NTYV grafiği



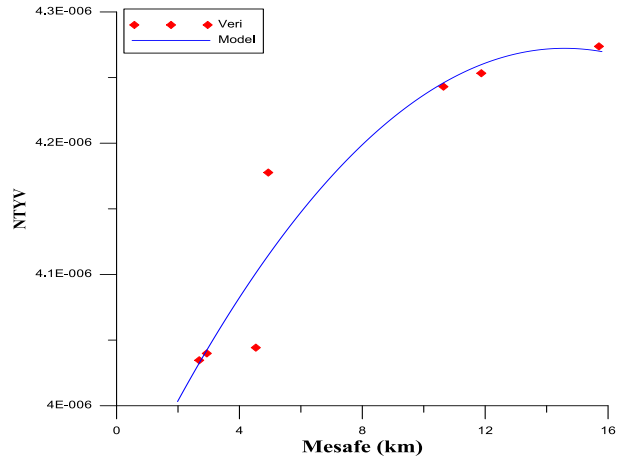
Ek 3 Şekil 1.8.  $^{137}\text{Cs}$  dip çamuru örnekleri 8 nolu istasyon NTYV grafiği

**EK 4**

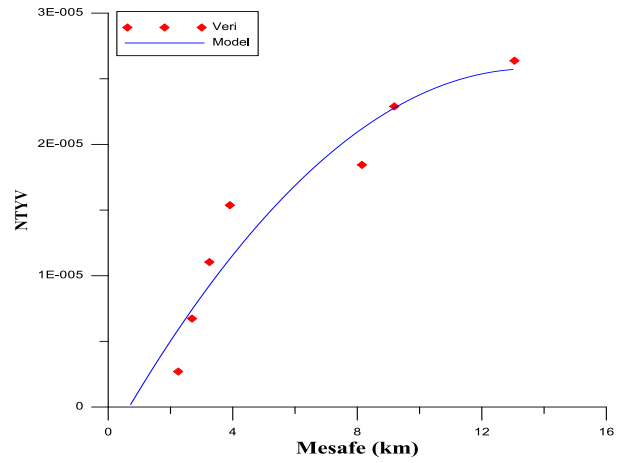
## <sup>90</sup>Sr Dip Çamuru Örnekleri için Çizilen Noktasal Toplam Yarı-Variogram Grafikleri



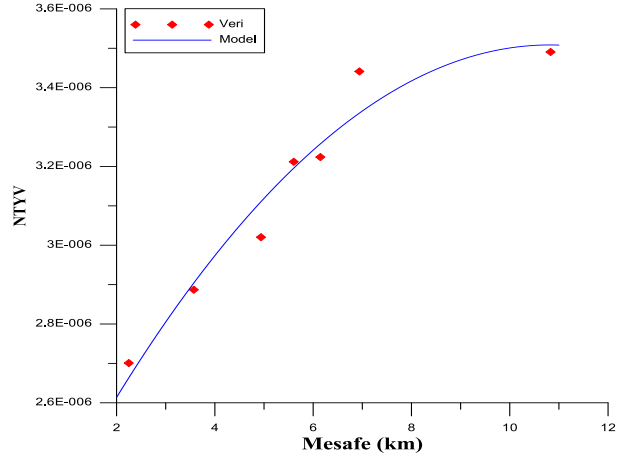
Ek 4 Şekil 1.1. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 1 nolu istasyon NTYV grafiği



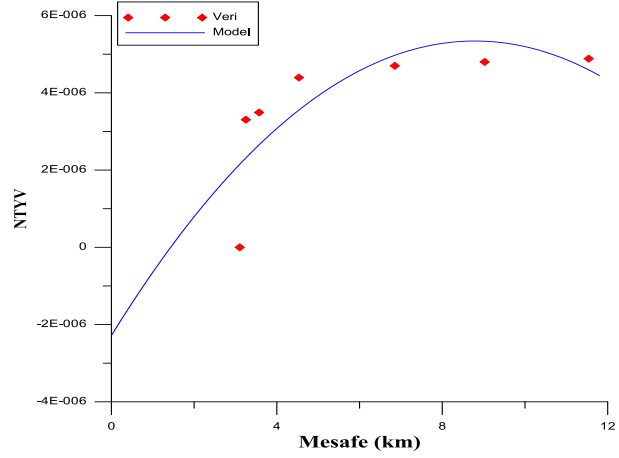
Ek 4 Şekil 1.2. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 2 nolu istasyon NTYV grafiği



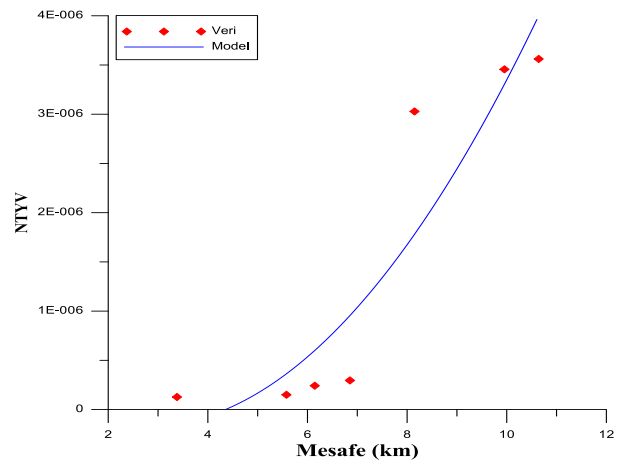
Ek 4 Şekil 1.3. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 3 nolu istasyon NTYV grafiği



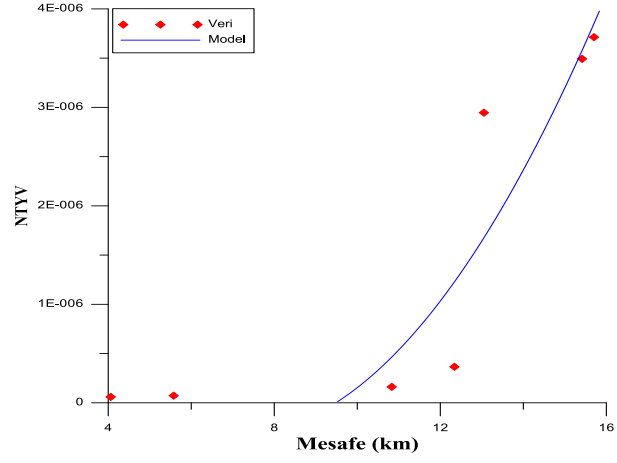
Ek 4 Şekil 1.4. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 4 nolu istasyon NTYV grafiği



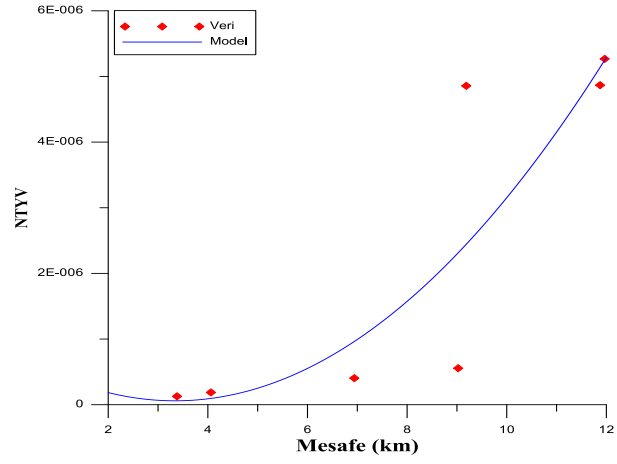
Ek 4 Şekil 1.5. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 5 nolu istasyon NTYV grafiği



Ek 4 Şekil 1.6. <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 6 nolu istasyon NTYV grafiği



**Ek 4 Şekil 1.7.** <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 7 nolu istasyonu NTYV grafiği



**Ek 4 Şekil 1.8.** <sup>90</sup>Sr dip çamuru örnekleri 8 nolu istasyon NTYV grafiği

## **ÖZGEÇMİŞ**

1987 Elazığ doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 2007 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümünü kazandım ve 2011 yılında lisans eğitimimi bölüm 1.'si olarak tamamlayıp aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Fizik Anabilim dalında, yüksek lisans eğitime başladım.