

**URANYUM, TORYUM ve POTASYUMUN TAŞINIMI,
MENZİLİ ve DAĞILIM KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN MATEMATİKSEL BİR MODEL**

Şerif ÇİÇEK

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı**

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

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

URANYUM, TORYUM ve POTASYUMUN TAŞINIMI, MENZİLİ ve
DAĞILIM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN
MATEMATİKSEL BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şerif ÇİÇEK

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

2013

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

URANYUM, TORYUM ve POTASYUMUN TAŞINIMI, MENZİLİ ve
DAĞILIM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN
MATEMATİKSEL BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şerif ÇİÇEK
(111114107)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Nükleer Fizik

Danışman: Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI

2013

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

URANYUM, TORYUM ve POTASYUMUN TAŞINIMI, MENZİLİ ve
DAĞILIM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN
MATEMATİKSEL BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şerif ÇİÇEK
(111114107)

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 çalışmada, Keban Baraj Gölü'nün doğal radyoaktivitesi belirlenmiş ve ilgili radyoçekirdekler (U, Th, K) bakımından karakteristiği çıkarılmıştır. Bunlara ek olarak göl yüzey suyu ve dip sedimenti için eş-radyoaktivite haritası oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın hazırlanması ve hayata geçirilmesi süreçlerinde büyük desteğini gördüğüm, engin tecrübelerinden faydalandığım ve akademik hayatım için ilham kaynağı olan değerli hocam Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışma için gerekli olan numune ölçümü ve hesaplamaların yapılmasında yardımlarını gördüğüm çalışma arkadaşlarım, Ahmet Bilici, Sevim Karaman, Arş. Gör. Seçil Niksarlıoğlu ve Miraç Kamışlıoğlu'na teşekkür ederim.

Eğitim-öğretim ve günlük yaşantımda bana olan desteklerini her daim hissettiğim, bu günlere gelmemde büyük emekleri olan anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Şerif ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE	3
2.1 Radyasyon Çeşitleri	3
2.1.1 İyonlaştırıcı Radyasyon	3
2.1.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	5
2.2 Radyasyon Birimleri	5
2.2.1 Aktivite Birimi.....	5
2.2.2 Işınlama Birimi	5
2.2.3 Soğurulan Doz Birimi.....	6
2.2.4 Doz Eşdeğer Birimi	6
2.3 Taban Seviye (Background) Radyasyonu.....	7
2.3.1 Dış ışınlama	7
2.3.2 İç Işınlama	8
2.3.3 Sindirim Yolu ile İç Işınlama	8

2.3.4	Vücuttaki Radyoaktivite	8
2.4	Doğal Radyoaktivite	9
2.5	Radyasyon Ölçüm Yöntemleri.....	9
2.5.1	İyon Odası Dedektörü.....	9
2.5.2	Geiger-Mueller Dedektörü	9
2.5.3	Orantılı Sayaçlar	10
2.5.4	Sintilasyon (Parıldama) Dedektörleri	10
2.5.5	Yarı İletken Dedektörler	10
2.5.6	Nötron Dedektörleri.....	10
2.6	Su ve Dip Sediment Numunelerinin Toplanması	10
2.7	Alınan Numunelerin Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi.....	11
3.	MATERYAL ve METOT	13
3.1	Doğal Radyoaktivitenin Göl Ortamında Oluşumu	13
3.2	Potasyum-40	14
3.3	Toryum-232	14
3.3.1	Toryum Bozunum Zinciri.....	15
3.4	Uranyum	16
3.4.1	Uranyum Bozunum Zinciri.....	16
3.5	Uzaysal Modelleme	19
3.6	Yarı Variogram	20
3.6.1	Yarı-Variogram Parametreleri.....	21
3.6.2	Yarı-Variogramda Başlıca Modeller	22
3.6.3	Yarı-Variogramın Pratik Zorlukları.....	30
3.7	Toplam Yarı Variogram.....	31
3.8	Noktasal Toplam Yarı Variogram	34

3.9 Çalışma Sahasının Tanıtımı	36
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	39
KAYNAKLAR.....	52
EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölü yüzeyinden alınan su numuneleri ve dip sediment örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K analiz edilmiştir. Numunelerin net aktivite değeri, matematiksel işlemler ve programlar yardımıyla elde edildi. Bu değerlere, noktasal yarı variogram metodu uygulanarak, her istasyon için model grafikleri elde edildi. Yarı variogram (YV), ardışık yarı kare farklarının toplamıdır. Noktasal toplam yarı variogram (NTYV) ise, bir noktanın diğer noktalar üzerindeki etkisini de hesaba katmamızı sağlar. Göldeki radyoçekirdek dağılımı toplam 10 model ile açıklandı. Bunlara ek olarak gölün radyoaktivitesi hakkında genel bilgi edinmemizi sağlayan eş-radyoaktivite haritaları elde edildi. Son olarak elde edilen grafik ve haritalar yorumlanarak, gölün üç radyoçekirdek açısından karakterizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite; Uranyum; Toryum; Potasyum; Model; Taşınım; Dağılım; Yarı Variogram.

SUMMARY

A Mathematical Model for Determining of Transport, Range and Distribution Characteristics of Uranium, Thorium and Potassium

In this study, surface water and bottom sediment samples, which taken from Keban Dam Lake analyzed in terms of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides. Activity levels of samples are obtained with mathematical calculations and help of computer programs. Point Cumulative Semi Variogram (PCSV) method is applied to activity levels and graphics obtained for each sample station. Semi variogram (SV) can be defined briefly as the average of the half squared-differences between measurements in a region and PCSV considers the impact on each other points of a point. The radionuclide distribution in lake is explained with 10 PCSV models. In addition, iso-radioactivity maps, which provided general information about radioactivity of lake are obtained. Finally, characterization of the lake with regard to three radionuclides is done with interpreting of graphs and maps.

Key Words: Radioactivity; Uranium; Thorium; Potassium; Model; Transport; Distribution; Semi Variogram.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 : a) Su alma cihazı b) toprak kepçesi [15].....	11
Şekil 2 : Variogram parametrelerinin variogram model ile gösterimi [39].....	21
Şekil 3 : Nugget etkisiz doğrusal variogram model [39].....	23
Şekil 4 : Nugget etkili doğrusal variogram modeli [30].....	24
Şekil 5 : Nugget etkisine sahip olmayan üssel model [39].....	25
Şekil 6 : Nugget etkisine sahip üssel model [39].	25
Şekil 7 : Nugget etkisine sahip olmayan küresel model [39].	26
Şekil 8 : Nugget etkisine sahip küresel model [39].....	26
Şekil 9 : Nugget etkisine sahip olmayan gauss model [39].....	27
Şekil 10: Nugget etkisine sahip gaussyen model [39].....	28
Şekil 11: Nugget etkisine sahip olmayan hole etkili model [39].	29
Şekil 12 : Nugget etkisine sahip hole etkili model [39].	29
Şekil 13 : Yarı-Variogram ve Toplam Yarı-Variogram gösterimi [10].	33
Şekil 14 : Toprak numunelerinin alındığı 19 istasyonun göl üzerindeki dağılımı	37
Şekil 15 : Su numunelerinin alındığı 14 istasyonun göl üzerindeki dağılımı	38
Şekil 16 : K-40 Toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası	39
Şekil 17 : K-40 Su numuneleri eş-radyoaktivite haritası	40
Şekil 18 : Th-232 Toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası.....	42
Şekil 19 : Th-232 Su numuneleri eş-radyoaktivite haritası.....	43
Şekil 21 : U-238 Toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası	44
Şekil 20 : Bu çalışmada önerilen Noktasal Toplam Yarı Variogram modelleri	46
Şekil 22 : U-238 Su numuneleri eş-radyoaktivite haritası	48
Ek-1-Şekil 1: K-40 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	58
Ek-1-Şekil 2: K-40 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	58
Ek-1-Şekil 3 : K-40 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	59
Ek-1-Şekil 4 : K-40 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	59
Ek-1-Şekil 5 : K-40 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	59
Ek-1-Şekil 6 : K-40 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-mesafe grafiği.....	60

Ek-1-Şekil 7 : K-40 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-mesafe grafiği	60
Ek-1-Şekil 8 : K-40 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-mesafe grafiği	60
Ek-1-Şekil 9 : K-40 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-mesafe grafiği	61
Ek-1-Şekil 10 : K-40 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-mesafe grafiği	61
Ek-1-Şekil 11 : K-40 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-mesafe grafiği	61
Ek-1-Şekil 12 : K-40 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-mesafe grafiği	62
Ek-1-Şekil 13 : K-40 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-mesafe grafiği	62
Ek-1-Şekil 14 : K-40 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-mesafe grafiği	62
Ek-1-Şekil 15 : K-40 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-mesafe grafiği	63
Ek-1-Şekil 16 : K-40 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-mesafe grafiği	63
Ek-1-Şekil 17 : K-40 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-mesafe grafiği	63
Ek-1-Şekil 18 : K-40 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-mesafe grafiği	64
Ek-1-Şekil 19 : K-40 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-mesafe grafiği	64
Ek-1-Şekil 20 : K-40 Su numuneleri 1. istasyon NTYV-mesafe grafiği	65
Ek-1-Şekil 21 : K-40 Su numuneleri 2. istasyon NTYV-mesafe grafiği	65
Ek-1-Şekil 22 : K-40 Su numuneleri 3. istasyon NTYV-mesafe grafiği	66
Ek-1-Şekil 23 : K-40 Su numuneleri 4. istasyon NTYV-mesafe grafiği	66
Ek-1-Şekil 24 : K-40 Su numuneleri 5. istasyon NTYV-mesafe grafiği	66
Ek-1-Şekil 25 : K-40 Su numuneleri 6. istasyon NTYV-mesafe grafiği	67
Ek-1-Şekil 26 : K-40 Su numuneleri 7. istasyon NTYV-mesafe grafiği	67
Ek-1-Şekil 27 : K-40 Su numuneleri 8. istasyon NTYV-mesafe grafiği	67
Ek-1-Şekil 28 : K-40 Su numuneleri 9. istasyon NTYV-mesafe grafiği	68
Ek-1-Şekil 29 : K-40 Su numuneleri 10. istasyon NTYV-mesafe grafiği	68
Ek-1-Şekil 30 : K-40 Su numuneleri 11. istasyon NTYV-mesafe grafiği	68
Ek-1-Şekil 31 : K-40 Su numuneleri 12. istasyon NTYV-mesafe grafiği	69
Ek-1-Şekil 32 : K-40 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-mesafe grafiği	69
Ek-1-Şekil 33 : K-40 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	69
Ek-2-Şekil 1 : Th-232 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	71
Ek-2-Şekil 2 : Th-232 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	71
Ek-2-Şekil 3 : Th-232 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	72
Ek-2-Şekil 4 : Th-232 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	72

Ek-2-Şekil 5 : Th-232 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	72
Ek-2-Şekil 6 : Th-232 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	73
Ek-2-Şekil 7 : Th-232 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	73
Ek-2-Şekil 8 : Th-232 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	73
Ek-2-Şekil 9 : Th-232 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	74
Ek-2-Şekil 10 : Th-232 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	74
Ek-2-Şekil 11 : Th-232 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	74
Ek-2-Şekil 12 : Th-232 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	75
Ek-2-Şekil 13 : Th-232 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	75
Ek-2-Şekil 14 : Th-232 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	75
Ek-2-Şekil 15 : Th-232 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	76
Ek-2-Şekil 16 : Th-232 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	76
Ek-2-Şekil 17 : Th-232 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	76
Ek-2-Şekil 18 : Th-232 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	77
Ek-2-Şekil 19 : Th-232 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	77
Ek-2-Şekil 20 : Th-232 Su numuneleri 1. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	78
Ek-2-Şekil 21 : Th-232 Su numuneleri 2. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	78
Ek-2-Şekil 22: Th-232 Su numuneleri 3. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	79
Ek-2-Şekil 23: Th-232 Su numuneleri 4. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	79
Ek-2-Şekil 24: Th-232 Su numuneleri 5. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	79
Ek-2-Şekil 25: Th-232 Su numuneleri 6. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	80
Ek-2-Şekil 26 : Th-232 Su numuneleri 7. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	80
Ek-2-Şekil 27 : Th-232 Su numuneleri 8. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	80
Ek-2-Şekil 28 : Th-232 Su numuneleri 9. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	81
Ek-2-Şekil 29 : Th-232 Su numuneleri 10. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	81
Ek-2-Şekil 30 : Th-232 Su numuneleri 11. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	81
Ek-2-Şekil 31 : Th-232 Su numuneleri 12. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği	82
Ek-2-Şekil 32 : Th-232 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	82
Ek-2-Şekil 33 : Th-232 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	82
Ek-3-Şekil 1 : U-238 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	84
Ek-3-Şekil 2 : U-238 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	84

Ek-3-Şekil 3 : U-238 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	85
Ek-3-Şekil 4 : U-238 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	85
Ek-3-Şekil 5 : U-238 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	85
Ek-3-Şekil 6 : U-238 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	86
Ek-3-Şekil 7 : U-238 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	86
Ek-3-Şekil 8 : U-238 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	86
Ek-3-Şekil 9 : U-238 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	87
Ek-3-Şekil 10 : U-238 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	87
Ek-3-Şekil 11 : U-238 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	87
Ek-3-Şekil 12 : U-238 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	88
Ek-3-Şekil 13 : U-238 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	88
Ek-3-Şekil 14 : U-238 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	88
Ek-3-Şekil 15 : U-238 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	89
Ek-3-Şekil 16 : U-238 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	89
Ek-3-Şekil 17 : U-238 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	89
Ek-3-Şekil 18 : U-238 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	90
Ek-3-Şekil 19 : U-238 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-Mesafe grafiği	90
Ek-3-Şekil 20 : U-238 Su numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	91
Ek-3-Şekil 21 : U-238 Su numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	91
Ek-3-Şekil 22 : U-238 Su numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	92
Ek-3-Şekil 23 : U-238 Su numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	92
Ek-3-Şekil 24 : U-238 Su numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	92
Ek-3-Şekil 25 : U-238 Su numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	93
Ek-3-Şekil 26 : U-238 Su numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	93
Ek-3-Şekil 27 : U-238 Su numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	93
Ek-3-Şekil 28 : U-238 Su numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	94
Ek-3-Şekil 29 : U-238 Su numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	94
Ek-3-Şekil 30 : U-238 Su numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	94
Ek-3-Şekil 31 : U-238 Su numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	95
Ek-3-Şekil 32 : U-238 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	95
Ek-3-Şekil 33 : U-238 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği.....	95

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1 : Topraktaki doğal radyoaktivite ortalaması [17].	8
Tablo 2 : Radyoçekirdeklerin gama ve beta enerjileri	12
Tablo 3 : Uranyum-238 Bozunum zinciri ve ışıma türleri [23].	17
Tablo 4 : İstasyonların uygun modellere gruplandırılması	47
Tablo 5 : Su numuneleri radyoaktivite seviyeleri	49
Tablo 6 : Toprak numuneleri radyoaktivite seviyeleri	50
Tablo 7 : EPA içme suyu sınır değerleri ve deneysel sonuçların gösterimi	51

SEMBOLLER LİSTESİ

n: nötron

α : alfa ışını

β : beta ışını

p: proton

γ : gama ışını

C: net sayım değeri

N: numune sayımı

t_N : numune sayım süresi

BG: temel seviye radyasyonu

t_{BG} : temel seviye radyasyonu sayım süresi

A: net aktivite

M_N : numune kütlesi

P_γ : gama yayınlama olasılığı

ε : cihaz verimliliği

C_0 : nugget etki değeri

$\gamma(h)$: variogram değeri

Z_i : i. istasyonun değişken değeri

Z_{i+d} : i+d. istasyonun değişken değeri

KISALTMALAR LİSTESİ

NTYV: Noktasal Toplam Yarı Variogram

TYV: Toplam Yarı Variogram

YV: Yarı Variogram

UV: Ultraviyole ışınları

U: uranyum

Th: Toryum

K: Potasyum

Pb: Kurşun

Cs: Sezyum

Ba: Baryum

La: Lantan

Te: Tellür

I: İyot

Nb: Niyobyum

Zr: Zirkonyum

EPA: Environmental Protection Agency

1. GİRİŞ

Radyoaktivite ilk kez 1 Mart 1896 da Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel, buluşunu 1898 yılına kadar “*Becquerel Işınları*” olarak adlandırmış, daha sonra ise bu buluşuna, “*radyoaktivite*” ismini vermiştir.

Radyoaktifliğin keşfi, beraberinde nükleer enerji kavramını da getirmiştir. Nükleer enerji kaynağı olarak nükleer güç santralleri kurulmuş ve bu enerji türü yıllar geçtikçe daha da kullanılır hale gelmiştir. Bu enerjiyi kullanırken gereken önlemleri almak gerekir. 26 Nisan 1986 günü Ukrayna’nın Kiev şehrinde bulunan Çernobil Nükleer Güç Santralinde meydana gelen nükleer kaza ve 11 Mart 2011’de, Fukushima Dai-Ichi nükleer santralinde meydana gelen kaza, kontrolsüz yapılan işlemler için güzel örneklerdir. Fukushima nükleer santral kazası sonucu reaktör çekirdeğinin bir kısmı yıkılmış ve ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La ve ^{90}Sr gibi radyoaktif parçacıklar atmosfere yayılmıştır. Doğada yapay olarak bulunan radyoaktif elementlerin dışında, doğal olarak da bulunan radyoaktif elementler vardır. Bu elementlerden bazıları ^{210}Pb , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra ’dır [1].

Geçmişte ve günümüzde yaşanmış olan nükleer santral kazaları birçok araştırmacıyı, bir reaktörden atmosfere yayılan yapay radyoaktif partiküller konusunda çalışmalar yapmaya yöneltmiş ve yayılımın sonuçlarını doğru bir şekilde aktarabilmek için matematiksel modeller önerilmiştir [2-4]. Bu modeller diferansiyel denklem sisteminden yararlanılarak oluşturulan modeller olduğu gibi, konumsal ve uzaysal metodolojileri kullanan modeller de olabilir. Uzaysal analizin ilk örneği Student (1907) tarafından yapılmıştır. Student (1907), sıvı içerisindeki parçacıkların uzaysal konumlarının yerine birim alan başına parçacıkların sayısını topladı. Daha sonra Fisher (1935) uzaysal analizi tarımda kullandı. Yates (1938), uzaysal analizde korelasyonun etkisini inceledi [5-8].

Uzaysal analiz ve uzaysal modellemede kullanılan tekniklerin temeli “*varyans*” ve “*kovaryans*” teknikleridir. Bu teknikler, çalışma alanı içerisine düzenli dağılmış örnekleme noktaları ve değişken değerlerinin düzenli olması durumunda geçerliliğini korumuştur. Ayrıca bu tekniklerin uygulanabilmesi için elde edilen veriler çoğu zaman yetersiz kalmıştır. Klasik yöntemlerdeki bu eksikliklerinin Matheron (1963) tarafından göz önünde bulundurulması, “*yarı variogram*” tekniğinin önerilmesini sağlamıştır [9]. Yarı variogram, ardışık yarım-kare

farklarının toplamı olarak tanımlanır ve bir bölge içerisindeki örnek noktalarının mümkün olan tüm çiftlerinden seçilen mesafelerde artan bir düzene göre sıralanmasıdır [10]. Yarı variogram kullanışlı bir yöntem olmasına rağmen bazı eksiklikleri vardır. Bu eksiklikler Şen (1989) tarafından açıklanmıştır. Şen (1998) bu eksiklikleri gidermek amacıyla Noktasal Toplam Yarı Variogram (NTYV) tekniğini önermiştir [11]. Bu yöntem özellikle, örnekleme noktaları çalışma alanı içinde düzensiz olarak dağılmış olduğu zaman kullanışlıdır [11].

NTYV yöntemi ve bu yöntemin türevleri farklı alanlarda birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Keban Baraj Gölü radyoaktivite seviyelerinin göl içerisindeki dağılımlarının belirlenmesi bu çalışmalardan biridir [12, 13].

2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

Bilindiği gibi maddenin yapı taşı atomdur. Atom ise proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşmaktadır. Eğer herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı proton sayısından fazla ise çekirdekte kararsızlık oluşur ve fazla nötronlar parçalanır. Bu parçalanma sırasında ortaya alfa, beta, gama adı verilen ve çıplak gözle görülmeyen ışın ve parçacıklar çıkar. Bunların ortam içerisinde taşınmasına “*radasyon*” denir [14].

Maalesef günümüzde doğal olarak ya da teknolojik gelişmeler sonucu üretilen birçok cihaz radyasyon yaymaktadır. Radyasyon yayan bu maddelere ise “*radioaktif madde*” denir. Biz hiç farkında olmadan organlarımız, dokularımız sürekli olarak radyasyonla etkileşime girmektedir. Bu etkileşim bazen gözle görülür durumlarda olurken bazen de hiç haberimiz olmadan vücudumuzu etkilemektedir [14].

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir ve daima doğada var olan, birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları, endüstride kullanılan X-ışınları ve güneş ışınları günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir. Radyasyon ilk çağlardan beri vardır ancak insanlığın radyasyonu keşfetmesi 1896’da Fransız fizikçi *Henry Becquerel*’in uranyum tuzunun ışınlar yaydığını fark etmesiyle gerçekleşmiştir. Teknolojinin ve sanayinin gelişmesiyle de uranyum elementi kullanılmaya başlanmış ve radyasyonun etkileri giderek artmıştır [14].

2.1 Radyasyon Çeşitleri

Radyasyonu, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki başlık altında inceleyebiliriz.

2.1.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

Girdiği ortamda iyonları ayırıştıran ve o ortamda kalıcı hasara sebep olan radyasyonlara denir. İki tip iyonlaştırıcı radyasyon vardır.

2.1.1.1 Elektromanyetik Dalgalar Halinde Yayılan Radyasyonlar

Gama (γ) ve X ışınları elektromanyetik radyasyonlardır.

i. **Gama (γ) Işınları:** Manyetik alanda sapmadıkları için belirli bir elektrikle yüklü değildirler. Gama ışınları elektromanyetik dalgalardan meydana gelmiştir. Radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan kararsız atom çekirdeklerinden yayılan bir çeşit elektromanyetik ışınlardır.

ii. **X Işınları:** Hızlandırılmış yüksek atom numaralı elektronlar hedef seçilen atomların çekirdeklerine yaklaştıklarında, yavaşlamalar olur. Bu yavaşlamalar sonucu X ışınları oluşur [14].

2.1.1.2 Parçacık Temelli Radyasyonlar

i. **Alfa (α) Işınları:** (+) yüklü parçacıklardan oluşur. Bu yöndeki çalışmalar alfa ışınlarının artı yüklü helyum çekirdeklerinden (He^{+2}) meydana geldiğini göstermiştir. Bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir.

ii. **Beta (β) Işınları:** (+) ve (-) elektrik yüklerinden meydana gelmişlerdir. İnce bir su tabakası, metal levha yâda cam tabakası bu elektronları durdurmak için yeterlidir. Alfa ve beta ışınları atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyoaktif ışınlardır. Her iki ışın da belirli bir kütleye sahiptir. Alfa ve beta ışınları kütleleri ve elektriksel yüklerinden dolayı, X ve gama ışınlarına göre, maddelere daha az nüfuz ederler. Ancak, bu ışınların iyonlaştırıcı etkileri daha fazladır. Nötron ve proton ise kütleleri alfa ışınlarının dörtte biri kadar olan nükleer taneciklerdir. Çeşitli nükleer reaksiyonlar sırasında çekirdekten kopan nötron ve protonlar insan sağlığı için en çok tehlikeli parçacıklardır. Özellikle nötron, elektrik yükü olmadığından çok büyük nüfuz etme özelliğine sahiptir. Radyoaktif ışınların insan vücuduna etkisi bu ışınların hareketleriyle ilgilidir [14].

iii. **Serbest Nötronlar:** Bunlar radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girebilirler. Bunların doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri yoktur. Ancak bu serbest nötronların girdikleri maddelerin nötronları ile etkileşimleri sonucu α , β , γ ve X ışınları gibi ışınlara oluştururlar. Bu ışınlar ise etkileşme sonucu girdiği maddenin atomundan koparak iyonlaşmayı gerçekleştirir [14].

2.1.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

Girdiği ortama sadece ısı veren ve gözle görülür bir etkisi olmayan radyasyon tipine denir. Bu tür radyasyon türleri günlük hayata çoğu yerde kullanılmaktadır [14].

2.1.2.1 Optik Radyasyonlar

- **Ultraviyole (UV) ışınları:** Asıl kaynağı güneştir. UV ışınları güneş tam doğarken bol miktarda yayılır. UV ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansıyarak kar ve güneş körlüğü yapabilir. UV'nin derine inmesi (giriciliği) az olduğu için büyük oranda cilt ve gözleri etkilemektedir. Bu nedenle cilt kanserlerinin % 80'i UV ışınlarından kaynaklanmaktadır [14].

2.1.2.2 EMR Kaynaklı Radyasyonlar

Radyo dalgaları, mikrodalgalar, mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri, radarlar, trafolar, bilgisayarlar, akım taşıyan kablolar bu gruba girmektedirler [14].

2.2 Radyasyon Birimleri

2.2.1 Aktivite Birimi

Özel Birim: Curie (Ci)

SI Birimi: Becquerel (Bq)

Curie: Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

Becquerel: Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir [14].

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Örnek:

$$50 \text{ Ci} = 50 \times 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1,85 \text{ TBq}$$

2.2.2 Işınlama Birimi

Özel Birim: Röntgen (R)

SI Birimi: Coulomb/kg (C/kg)

Röntgen: Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır [14].

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$

2.2.3 Soğurulan Doz Birimi

Özel Birim: Rad

SI Birimi: Gray (Gy)

Rad: Işınlanan maddenin 1 g'ına 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.

Gray: Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır [14, 15].

$$1 \text{ Rad} = 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

Soğurulan doz oranı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir;

$$D = 0,042 \times S_K + 0,4299 \times S_U + 0,666 \times S_{Th}$$

Burada, D (nGy), toplam soğurulan doz miktarı, S_K , S_U ve S_{Th} (Bq/kg) sırasıyla, ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th için aktivite değeridir [16].

2.2.4 Doz Eşdeğer Birimi

Özel Birim: Rem

SI Birimi: Sievert (Sv)

Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir.

$$\text{Rem} = \text{Soğurulan Doz} \times \text{Faktörler}$$

Sievert: 1 Gray'lık x ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır [14].

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

2.3 Taban Seviye (Background) Radyasyonu

Radyasyon ve radyoaktivite, evrenin başlangıcından beri doğal olarak meydana gelen oluşumlardır. Doğal radyasyona kaynak oluşturan çeşitli olaylar vardır. Bunlar; kozmik, kozmojenik, karasal ve dahili radyasyonlardır. Karasal radyasyonun en büyük kaynakları uranyum, toryum ve bu radyoaktif elementlerin bozunumlarından meydana gelen elementlerdir. Bunlara ek olarak ^{40}K da bir karasal radyasyon kaynağıdır. Taban seviye radyasyonu geçmişten günümüze artış göstermektedir. Bunun nedeni sürekli olarak yapılan nükleer güç santralleri ve geçmiş yıllarda yapılan nükleer silah denemeleri sonucu atmosfere salınan radyoaktif elementlerdir [15].

2.3.1 Dış ışınlama

Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozunu etkilemektedir [17].

Gama yayınlayan ^{238}U ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K dış kaynaklı radyasyon alanın belirlenebilen üç önemli bileşenidir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. ^{238}U birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı ^{206}Pb haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve ^{232}Th , başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Yerkabuğunun ağırlık olarak % 2,4' ünü oluşturan ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu Tablo 1'de görüldüğü gibi genelde, ^{238}U ve ^{232}Th 'den büyüktür [17].

Tablo 1 : Topraktaki doğal radyoaktivite ortalaması [17].

Radyoçekirdek Konsantrasyonu (Bq /kg)			
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th
Değişim Aralığı	140-850	16-110	11-64
Ortalama	400	35	45

2.3.2 İç Işınlama

İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan ²³⁸U ve ²³²Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan ⁴⁰K, ²³⁸U ve ²³²Th serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel kaynağını oluşturmaktadır [17, 18].

2.3.3 Sindirim Yolu ile İç Işınlama

Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak değişir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir.

Uranyum ve toryum serilerinin diğer radyonüklitleri, özellikle ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Po hava, su ve gıdalarda bulunur ve iç ışınlamaya sebep olur. ⁴⁰K da normal beslenme yoluyla vücuda giren radyonüklitlerden birisidir. Bu iç ışınlama kaynaklarından alınan yıllık ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının ⁴⁰K'tan kaynaklandığı tahmin edilmektedir [17].

2.3.4 Vücuttaki Radyoaktivite

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle ⁴⁰K radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. İnsan vücudundaki

potasyum miktarının biyolojik işlemlerle kontrol edildiği bilinmesine rağmen toplam değerin kişiden kişiye nasıl değiştiği hakkında çok az bilgi bulunmaktadır.

Çok yüksek miktarda radyoaktivite içeren yiyeceklerin yenmemesi dışında içi ışınlanmayı önleyecek herhangi bir yol bulunmamaktadır [17].

2.4 Doğal Radyoaktivite

Doğal radyoaktiviteyi oluşturan elementlerin başında uranyum ve toryum yer alır. Bu iki radyoizotop, farklı iki bozunum serisine sahiptir. Bu seriler kararlı kurşun izotopuna bozunmayla sona erer. Bozunumlar sonucu çekirdekler α , β , γ ve nötrinolar yayarlar. Doğal uranyumun 3 radyoizotopu vardır. Bunlar ^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U 'dir. Doğal uranyumun %99,27'sini ^{238}U oluşturur.

Doğal radyoaktiviteyi oluşturan bir başka element ise toryumdur. Toryum üç bozunum serisi içerisinde altı radyoizotopa sahiptir. Bunlar ise; ^{234}Th , ^{232}Th , ^{231}Th , ^{230}Th , ^{228}Th ve ^{227}Th 'dir. Toryum, yapı olarak uranyumdan daha az hareketlidir [19].

2.5 Radyasyon Ölçüm Yöntemleri

2.5.1 İyon Odası Dedektörü

İyon odaları X, γ ışınları ve β parçacıkları ölçümünde kullanılırlar. Düşük radyasyon şiddetine duyarlı olmamakla beraber yüksek doz şiddetlerini ölçmede son derece yararlıdır. Çeşitli radyasyonları ayırt etme özelliği olmamakla beraber 60-300 Voltluk çalışma aralığında etkindir. Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır [20].

2.5.2 Geiger-Mueller Dedektörü

GM detektörü *Q-gazı* (% 98,7 Helyum ve % 1,3 Büten) ile dolu bir tüpten oluşur. İyon odalarında olduğu gibi, oluşan birçok reaksiyon sonrası meydana gelen averaj akımı ölçmek yerine, detektör her bir etkileşimi kaydeder. Yani, tek bir iyonlaştırıcı olay GM tüp tarafından puls ya da sayım üretir. İşlemi başlatan orijinal iyon çiftlerinin sayısını dahi göz önüne almayarak bütün pulsarı aynı büyüklükte üretir. Dolayısı ile GM sayacı radyasyon tiplerini veya enerjilerini ayırt edemez. Bu nedenle GM sayaçlarının çoğu dakika başına sayma (cpm) olarak kalibre edilir. GM sayaçları esas olarak, radyoaktif materyalin varlığını dedekte etmekte kullanılır, 900-1300 Voltluk çalışma aralığında etkindir [14].

2.5.3 Orantılı Sayaçlar

Çalışma voltajı orantılı bölgede olup, meydana gelen yüksek alan şiddeti ile anottaki yük miktarı, dolayısıyla voltaj pulsu büyür. Bu tip dedektörlerle;

1. Düşük enerjili X ve Gama ışınları ölçülebilir.
2. İyon odasına açılan naylon veya mikalardan yapılmış ince pencere ile alfa parçacıklarının ölçümü yapılır. Gazın çoğaltma faktörü 105-106 Volt ve çalışma voltajı aralığı ise 1500-4000 Volttur. Orantılı cihazların radyasyonları ayırt etme özelliği vardır [14].

2.5.4 Sintilasyon (Parıldama) Dedektörleri

Elektrona verilen enerji onu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayar. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir. Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır [14].

2.5.5 Yarı İletken Dedektörler

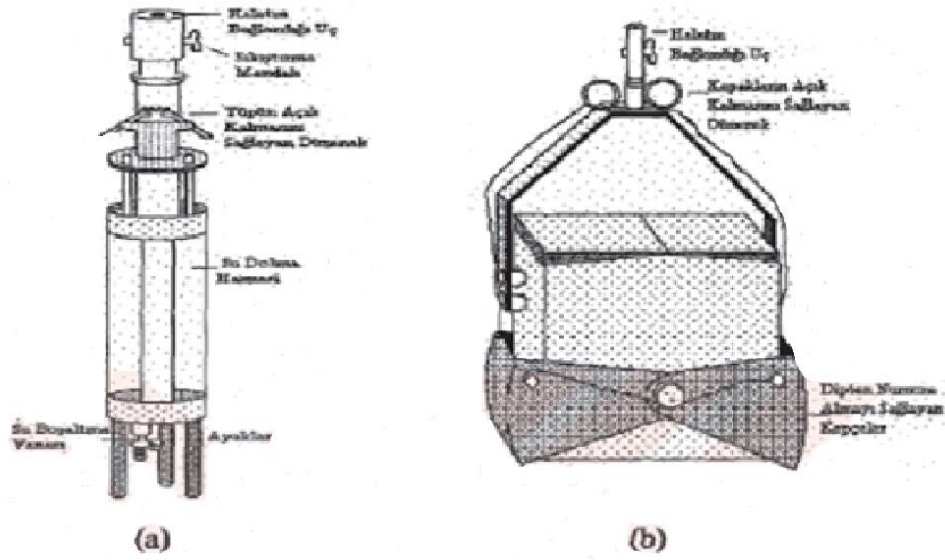
Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi yarı iletken maddelerden yapılır. Bu dedektörler, radyasyonun bu maddelerde oluşturduğu iyonizasyon ilkesi ile çalışırlar. Genellikle radyasyonun enerjisini ölçmek için kullanılırlar [21].

2.5.6 Nötron Dedektörleri

Diğer radyasyonların ölçüldüğü sistemlerle (n, α), (n, β), (n, p) ve (n, γ) reaksiyonları sonucunda oluşan ikincil iyonlayıcı ışınlar ölçülür. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indiyum, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır [14].

2.6 Su ve Dip Sediment Numunelerinin Toplanması

Su dip sedimentleri Keban Baraj Gölü yüzey suları ve gölün dip kesiminden uygun cihazlar kullanılarak alınmıştır. Bu numunelerin alınmasında kullanılan cihazlar Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1 : a) Su alma cihazı b) toprak kepçesi [15].

2.7 Numunelerin Hazırlanması ve Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi

Alınan su numuneleri 0,1 lt hacimde alınmıştır. Alınan su numuneleri önce asitlenerek ölçüm aşamasına gelinceye kadar kararlı halde kalması sağlanmıştır. Daha sonra yeterli ısı verilerek suyun buharlaşması sağlanmıştır. Geriye kalan tortular planşetlere aktararak ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Toprak numuneleri ise, toplandıktan sonra kapalı kaplar içerisinde ölçüm alanına taşınmıştır. Toprak numunelerine de asit eklenerek kararlı halde kalmaları sağlanmıştır. Çamur halindeki numuneler, ocaklar vasıtasıyla kurutularak darası alınmış planşetlerde tekrar tartılarak net ağırlıkları hesaplanmıştır. Böylece, toprak numuneleri ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Aktivite seviyelerinin belirlenmesi için birkaç matematiksel işlemin yapılması gerekir. Öncelikle net sayım değerinin belirlenmesi gerekir. Net sayımın birimi sayım/s'dir. Net sayım değeri için matematiksel ifade denklem (1) gibidir;

$$C = \frac{N}{t_N} - \frac{BG}{t_{BG}} \quad (1)$$

Burada N , numune sayımı, BG , taban seviye (background) sayımı, t_N , numune için sayım zamanı ve t_{BG} , taban seviye için sayım zamanıdır.

Net sayım bulunduktan sonra aktivite seviyesi hesaplanır. Aktivite seviyesini veren matematiksel ifade denklem (2) gibidir;

$$A = \frac{C}{M_N P_\gamma \varepsilon} \quad (2)$$

Burada M_N , numune ağırlığı, P_γ , gama yayıcı elementin gama yayma olasılığı ve ε ise cihaz verimliliğidir [15, 22].

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ölçümlerinde kullanılan gama enerjileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 : Radyoçekirdeklerin gama ve beta enerjileri

Radyoçekirdek	İşma türü	Enerji (MeV)	Olasılık (%)
^{238}U	Beta	0,06329 (^{234}Th)	0,038116
^{232}Th	Gama	0,338 (^{228}Ac)	0,11357
^{40}K	Gama	1,463	0,1067

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Doğal Radyoaktivitenin Göl Ortamında Oluşumu

Nehirler, radyoçekirdek içeren toprağı aşındırıp göllere ve okyanuslara ulaştırır. Atmosferik etkenler de radyoçekirdeklerin yüzeye çıkmasını sağlar. Kapalı denizler ve haliçlerde kil ve organik materyaller oluşur ki bunlar radyoçekirdek taşınımı için yapay bir engel haline dönüşebilir. Uranyumun böyle çevrelerde taşınması zorlaşır. Çünkü uranyum organizmalar ve kil tarafından soğurulur. Bazı kil tabakaları çok geniş alanları kaplamaktadır. Amerika'da ortalama 79 ppm (parts per million) uranyuma sahiptir ki dünya ortalaması 2 ppm'dir. Bu durum, Amerika'yı önemli bir uranyum kaynağı haline getirir [23].

Amerika ve Avustralya'da, göl yakınlarındaki kumtaşları ekonomik açıdan önemli miktarda uranyum içerir. Klasik oluşumu, uranyum taşıyan su akıntıları kumtaşları boyunca yavaşlar ve tutucu elementler tarafından tutulması şeklindedir. Daha sonra kumun üzerinde bir çökelti oluşur. Erozyon gibi oluşumlar, yüzeydeki toprağı azaltır. Yapay engel, materyal gibi hareket eder ve uranyum gibi elementler oksidize olur. Suda oksidize olmuş uranyum birikimi, hareketli hale gelir ve engelin yeni yerine doğru hareket eder. Aynı zamanda yüzeyde yer alan uranyum serbest hale gelir ve yüzeyden taşınır. Bu yolla uranyum çekirdekleri şekillenir ve çoğalır. Sedimentler, kayalar haline gelmeden önce bile doğal işlemler sonucu radyoaktivitenin birikmesine katkıda bulunur. Radyoelementler, bulunduğu erozyona karşı dirençli mineraller, bunlarla karşılaştırıldığında daha yüksek radyoaktivite kaynağı olduğu söylenebilir. Örnek olarak, Florida'nın kuzey doğusunda bulunan kumlar monazit bakımından zengindir ve önemli miktarda toryum içerir. Monazitlerin yüksek çekim özelliklerinden dolayı oluşan radyoaktif zenginleşme, sahiller boyunca daha hafif materyallerle süpürülme şeklinde taşınır. Böylece su, toryum, uranyum ve bunların bozunum serisinin ürünleri ve potasyumdan kaynaklı olarak az ve değişken miktarda doğal radyoaktivite içerir. Volkanik oluşumlar, çevreye çok fazla miktarda partikül yayılmasına sebep olmaktadır. Bu partiküller yer yüzeyin alt katmanında absorbe etmiş oldukları doğal radyoaktivite kaynaklarını atmosfere yaymaktadır. Atmosferde biriken partiküller yağışlar, rüzgârlar gibi doğa olayları ile yeryüzüne inerler. Bu partiküller doğal şartlarla yerine göre göl, deniz veya okyanuslara taşınmaktadır [23].

Su, uranyum ve bozunum serisi elemanları için önemli bir taşıma aracıdır. Deniz sistemine giren nehir suları ve sediment materyalleri radyoaktif elementleri taşır. Nehirlerde çözünmüş uranyum konsantrasyonunun aralığı $4,8 \times 10^{-3}$ – $8,3 \times 10^{-5}$ Bq/L (Becquerel/Litre) ve okyanus sularının uranyum konsantrasyonu 0,04 Bq/L'dir. Toryum nehirlerde ve okyanuslarda oldukça düşük seviyede bulunur. Fakat nehirler tarafından taşınması ile deniz ve göl tabanında birirmektedir. Yer altı suları, radyoçekirdeklerin ayrılmasına uygun bir ortam olmakla birlikte geniş bir aralıkta farklı konsantrasyonlarda bulunabilir. Örneğin, uranyum 0,001 ppb'den 100 ppm'e kadar farklı konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Buna karşılık tüm toryum izotopları suda genelde düşük seviyededirler [23].

3.2 Potasyum-40

Radyoaktif bir izotop olan ^{40}K , $1,248 \times 10^9$ yıllık uzun bir yarı ömre sahiptir. ^{40}K çok nadir görülen bir izotoptur ve 3 farklı beta ışıınımı yoluyla bozunabilir. % 89,2 olasılıkla, maximum enerjisi 1,35 MeV olan beta parçacığı (elektron) yayarak ^{40}Ca 'a bozunur. % 10,72 olasılıkla, maksimum enerjisi 1,463 MeV olan bir gama ışıması yaparak ^{40}Ar 'a bozunur. Son olarak çok düşük bir ihtimal olmakla birlikte % 0,001 olasılıkla pozitron ışıması yaparak ^{40}Ar 'a bozunur. Potasyum, insan ve hayvanlarda doğal aktiviteyi oluşturan en önemli kaynaktır. Bir insan vücudunda yaklaşık 160 gr potasyum vardır. Buna karşılık ^{40}K , 117×10^{-6} oranında bir bolluğa sahiptir. Buradan, 0,0187 gram ^{40}K olduğu hesaplanabilir. Bu miktarın tümü, hayat boyunca sürekli olarak saniyede 4400 bozunum civarında ışıma yaparak bozunur [24, 25].

^{40}K gibi hafif elementler su içerisinde askıda kalmaktadırlar. Nehir sularının akış hızının yüksek olması nedeniyle, askıda kalan partiküller taşınmaktadır. Bunun sonucu olarak, göl veya deniz sularına karışarak bu ortamlarda ^{40}K yoğunluğunun artmasına katkıda bulunurlar. Göl ortamının ^{40}K yoğunluğu birçok etkene bağlıdır. Bunlar; yükselti, jeolojik özellikler, tarımcılık faaliyetleri olarak sıralanabilir [25].

3.3 Toryum-232

Uranyum bozunum zincirinin bir elemanı olan toryumun atom numarası 90 ve atom ağırlığı 232,038 g/mol'dür. Nehir ve okyanus sularında bol miktarda bulunur. Bununla birlikte nehirlerle taşınıp deniz ve göl sedimentlerinde birikebilir. Toryum, normalde altın taşıyan cevherlerde düşük konsantrasyonda bulunur. Toryumun varlığı, altın

madenlerinden havaya geri dönen *toron* gazının varlığı ile saptanabilir. Bazı bölgelerde toryum, altın yatağı resiflerinin üzerindeki siyah kum tabakalarında yüksek konsantrasyonda bulunur. Asit tesislerinde bulunan radyum yataklarında toryum veya bozunma ürünleri tespit edilmiştir [26].

3.3.1 Toryum Bozunum Zinciri

^{232}Th , toryum bozunum zincirinin ilksel izotopudur. Doğal toryumun tümünde etkin olarak oluşur. Diğer izotoplar ise, uranyum ve toryumun kısa ömürlü bozunum ürünleriyle ilişkili olarak az miktarda görülür. ^{232}Th , alfa ışımasıyla bozunur ve $1,405 \times 10^{10}$ yıllık yarı ömre sahiptir. Bu rakam dünyanın yaşının 3 katına tekabül etmektedir. Toryumun bozunum zinciri, ^{208}Pb bozunması ile sonlanır. Bozunum zincirinin kalan kısmı hızlı bir şekilde gerçekleşir; 5,75 yıl ile en uzun yarı ömre sahip ^{228}Ra ve 1,91 yıl ile ^{228}Th ve diğer tüm izotopların yarı ömrü 5 günden daha azdır. ^{232}Th , verimli bir materyaldir. Nötronları absorbe eder ve bu vesile ile bölünebilir bir izotop olan ^{233}U haline gelir. Bu süreç toryum yakıt döngüsünün temelini oluşturur [23].

^{232}Th , dokuz radyoaktif kararlı çekirdek üzerinden bozunur. Üst çekirdek hariç ($1,4 \cdot 10^{10}$ yıl) tüm çekirdek ürünlerinin yarı ömrü 7 yıldan azdır.

Yıllar içinde ölçülen ^{228}Th ve ^{228}Ra yarı ömürleri 1,9–6,7 yıldır. Geriye kalan bozunum ürünlerinin yarı ömürleri 10^{-9} s–10,64 saat arasındadır. Alfa ayıllımı yoluyla çözünmeye başlayan 7 radyoçekirdek vardır. En önemli uzun ömürlü alfa yayıcıları ^{232}Th ve ^{228}Th 'dir. ^{228}Ra 3,64 günlük yarı ömre sahiptir, fakat toryum tarafından desteklenmediğinde genellikle uzun ömürlü bir alfa yayıcı değildir. Ancak, vücut içerisinde radyolojik öneme sahiptir. Radyolojik öneme sahip *toron* (^{220}Th) gazı üreten kısa ömürlü alfa yayıcılar; ^{216}Po , ^{212}Bi ve ^{212}Po 'dir [23].

^{232}Th bozunum zinciri, alfa yayıcıları veya düşük seviyelerde gama yayılımı ile gerçekleşir. Bir istisna olarak ^{212}Bi , önemli miktarda beta ve gama yayılımı ile ilişkilidir. Bu, uranyum bozunma zincirinin enerji aralığından daha geniş ve daha yüksek maksimum enerjiye sahiptir (3,95-8,78 MeV).

Önemli beta yayımı eşliğinde oluşan 5 radyoçekirdek vardır. Bunlar; ^{228}Ra , ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi ve ^{208}Tl 'dir. ^{224}Ra 'ü takip eden çekirdek ürünleri; ^{212}Pb , ^{212}Bi ve ^{208}Tl .

Beta parçacıkları karakteristik maksimum ve ortalama enerji ile bir spektrum şeklinde yayılır. Parçacıklar her biri kendi karakteristik olasılıklarında farklı enerjiler ile de yayılabilir. Tam ^{232}Th bozunma zinciri için enerji aralığı değeri, çok geniş olup 0,06-2,26

MeV dir [23]. Çoğunlukla beta ve alfa parçacıkları eşliğinde oluşan bozunum, büyük ya da küçük derecede gama fotonları yayılımı tarafından da gerçekleşebilir. Birçok gama fotonu yayılımında, gama yayılım enerjisi veya bolluk yüzdesi çok düşüktür. Bu nedenle dışa maruz kalma açısından büyük öneme sahip değildir. ^{232}Th bozunma zincirinde oluşan gama yayılımının büyük kısmı, ^{224}Ra bozunumu bölümündedir. Zincirde oluşan gama yayılımının % 95'ten fazlası, bu alt bozunum zincirindedir. Zincirdeki baskın gama yayıcı ^{208}Tl 'dir. Yayılım bolluğunun enerji aralığı 0,511-2,614 MeV'dir. Bolluk ve yüksek enerji nedeniyle, yoğun olduğu herhangi bir materyali lokalize ederek güçlü ve yoğun gama alanları üretir [23].

3.4 Uranyum

Uranyum görünüm olarak, gümüş renkli, parlak ve miktarı değişmekle birlikte her yerde bulunabilen bir elementtir. Uranyumun bir izotopu olan ^{238}U , atom numarası 92 ve atom ağırlığı 238,0289 mol olan radyoaktif bir elementtir. Periyodik cetvelde aktinit serisinde yer alır. Metalik uranyum 19 g/cm^3 lük bir yoğunluğa sahiptir [27].

3.4.1 Uranyum Bozunum Zinciri

Doğal uranyumun ^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U olmak üzere üç izotopu vardır. Bu üç izotopla birlikte bu izotoplara ait izotoplar da mevcuttur. Bu izotopların yarı ömrü çok uzun olmakla birlikte sırasıyla, 244,500 yıl, 703,8 milyon yıl ve $4,468 \times 10^9$ yıldır [27]. ^{238}U , doğal uranyum izotoplarından en sık görülen izotoptur. ^{238}U , bölünebilir değildir. Ancak verimli bir materyaldir. ^{238}U , yavaş nötronları yakalayabilir ve sonrasında 2 beta ışıması yaparak ^{239}Pu 'a bozunur. ^{238}U hızlı nötronlarla parçalanabilir. Fakat bir veya birden fazla yeni nesil çekirdeğin hızlı fizyonun olduğu durumda, nötron ile oluşturduğu inelastik saçılmadaki enerji kaybından dolayı zincirleme reaksiyonlara katkıda bulunmaz. Doğal uranyum, % 99,284 civarında ^{238}U içerir. Yarı ömrü $1,41 \times 10^{17}$ saniye ($4,468 \times 10^9$) yıldır. Bozunmuş uranyum, en yüksek konsantrasyonda ^{238}U 'e sahiptir. Uranyum bozunum zincirinin istikrarlı bir kurşuna bozunması 11 farklı bozunum zinciri basamağından oluşur. Bozunum sırasında her radyoçekirdek karakteristik radyasyon yayar. Karakteristik enerjiler ve yayılım olasılıkları, alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama fotonları yayılımına neden olur. Emisyon, bir enerji veya enerjilerin karışımını içerebilir [23, 28].

Tablo 3 : Uranyum-238 Bozunum zinciri ve ışıma türleri [23].

Radyoçekirdek	Yarı ömür	Radyasyon türü
U-238	$4,468 \times 10^9$ yıl	Alfa
Th-234	24,1 gün	Beta
Pa-234m	1,17 dakika	Beta
U-234	244.500 yıl	Alfa
Th-230	77.000 yıl	Alfa
Ra-226	1.600 yıl	Alfa
Rn-222	3,8235 gün	Alfa
Po-218	3,05 dakika	Alfa
Pb-214	26,8 dakika	Beta
Bi-214	19.9 dakika	Beta
Po-214	$63,7 \times 10^{-6}$ saniye	Alfa
Pb-210	22,26 yıl	Beta
Bi-210	5,013 gün	Beta
Po-210	138,378 gün	Alfa
Pb-206	Kararlı	-

Tablo 3’de uranyum bozunum zinciri gösterilmektedir. Bozunma zinciri elemanlarının büyük bir çoğunluğu kısa yarı ömre sahiptir. Yarı ömürleri bir yıldan fazla olan sadece 5 radyoçekirdek vardır. Bunlar, ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb ’dur.

Yarı ömür aralığı $22,3$ ve $4,5 \times 10^9$ yıldır. Kalan radyoçekirdeklerden sadece 3 tanesinin yarı ömrü 30 dakikadan uzundur. Bunlar; ^{222}Rn , ^{210}Bi , ^{210}Po ’dur. Bu radyoçekirdeklerin yarı ömür aralığı 3,82 ile 182 gündür. Öncelikle alfa yayılımı yoluyla

bozunumaya başlayan sekiz radyoçekirdek vardır. Bunlar; ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po , ^{210}Po 'dur [23].

Bu bozunumlar, ya sadece alfa yayılımı ya da çok az miktarda gama fotonu eşliğinde gerçekleşir. Yayılan her alfanın karakteristik enerjisi; yukarıdaki radyoçekirdekler için 4,2 ve 7,69 MeV arasındadır. Alfa parçacıkları havada (2,5 cm de 4 MeV ve 6 cm de 7 MeV) ile sınırlı bir menzile sahiptir. Alfa yayan radyoçekirdekler sadece tek bir enerji de alfa yayabilir. Örneğin; Rn 5,49 MeV, Po 6,00 MeV, Po 7,69 MeV veya her biri farklı olasılıklarda ve farklı enerjilere sahip alfa parçacıkları yayabilir. Örneğin; ^{234}U 4,72 MeV (% 28) ve 4,77 MeV (% 72), ^{226}Ra 4,78 (% 95) ve 4,6 MeV (% 6).

Yukarıdaki alfa yayıcılarından, kendi açısından radyolojik tehlikelere sebep olan 5 uzun ömürlü alfa yayıcı vardır. Bunlar ise; ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po 'dur. Radon ve iki kısa ömürlü alfa yayan; ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po 'tür.

Bunlar, uranyum bozunum zincirinin alfa yayan diğer radyoçekirdekleridir. Fakat düşük aktiflikleri bakımından tehlike arz etmezler.

^{210}Po , alfa yayıcı olmasına rağmen, aynı zamanda hızla çürüyen uzun ömürlü bir alfa yayıcıdır. Beta yayılımı eşliğinde gerçekleşen 6 önemli radyoçekirdek vardır. Bunlar ^{234}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{210}Bi 'dur [23].

Beta parçacıklar, karakteristik bir maksimum enerji (e_{max}) ve ortalama enerji ile bir spektrum şeklinde yayılır; bunun yanında her biri kendi özelliğinden gelen farklı olasılıklarda karakteristik enerjiler de yayabilir. Örneğin;

^{214}Pb :	0,65 MeV	(% 50)
	0,71 MeV	(% 40)
	0,98 MeV	(% 6)
^{214}Bi :	1,0 MeV	(% 23)
	1,51 MeV	(% 40)
	3,26 MeV	(% 19)

Tam bir uranyum bozunma zinciri için enerji aralığı değeri çok geniş ve 0,02-3,26 MeV aralığındadır. Uranyum bozunum zincirinin 3 beta yayıcısı vardır. Bunlar yayılım ve bolluk enerjisi bakımından 3 şekilde oluşur:

- i. ^{234}Pa : (% 98) $^{234\text{m}}\text{Pa}$ uranyum bozunma zinciri içerisinde, e_{max} değeri ve toplam bolluk açısından tek güçlü beta yayan radyoçekirdektir. Aynı zamanda düşük enerjili (0,1 MeV) gama fotonları yayar.

- ii. ²²⁶Ra: Radiumun çekirdek ürünleri olan başka güçlü bir grup beta yayıcı vardır: ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Bi. Bunların $e_{\max}$ değerleri aralığı 0,02-3,26 MeV. Bu grubun en güçlü ve en bol ürünleri ²¹⁴Bi ve ²¹⁰Bi'dir. ²¹⁰Pb, max enerjisi 1 MeV den daha düşük enerjili beta parçacıkları yayar. Bu değer altında beta enerjileri radyolojik öneme sahip değildirler. ²¹⁰Pb, maksimum enerjileri 0,65- 0,98 MeV aralığında olan 3 beta yayar.
- iii. ²¹⁴Bi: 3 farklı enerji ve bolluk oranına sahip betalar yayar; 1,0 MeV (% 23), 1,51 MeV(% 40), 3,26 MeV (% 19).

²¹⁰Bi % 100 bolluk oranı ve 1,161 MeV enerjili tek bir beta yayar [23].

Alfa ve beta bozunumlarının çoğuna, küçük veya büyük derecede gama fotonları eşlik eder. Genel olarak düşük seviyelerde alfa yayıcılarının gama yayılımı ile ilişkisi yoktur. Örneğin; ²²⁶Ra öncelikle alfa yayıcı olduğu halde 0,186 MeV enerjili ve düşük oranda gama fotonu yayar. Birçok gama yayımında, gama yayılma enerjisi veya bolluk yüzdesi çok düşüktür ve bu nedenle çevreye olan etkisi bakımından büyük önem taşımazlar.

Uranyum bozunum zincirinin bu bölümünde, gama yayılımının baskın katkısı altında ²²⁶Ra oluşur. Zincirde meydana gelen gama yayılımının % 95 ten fazlası zincirin alt serilerinde meydana gelir. ²¹⁴Pb tarafından küçük bir katkı yapılır fakat ezici çoğunluk ²¹⁴Bi'e aittir [23].

Emisyonların bolluk oranı 0,2-2,5 MeV enerji aralığında son derece etkilidir. Bozunum ürünleri ve ²²⁶Ra karşılaştırıldığında, radiumun çok zayıf bir beta yayıcı olduğu görülür. Böylece toprak ve benzeri materyaller içerisinde tuzaklanmış ²²⁶Ra'nın kısa ömürlü çekirdek ürünleri, altın madenleri içerisinde gama dozunun önemli bir yayıcısıdır. Bu nedenle gram başına radiumun daha yüksek konsantrasyonu ve bir bölgede daha fazla miktarda mevcut olan materyal, gama radyasyonunun daha yoğun olmasına yol açar [23].

3.5 Uzaysal Modelleme

Yer bilimlerinde yer edinmiş bir kavram olan bölgesel değişken, rassal ve farklı özelliklere sahip olan bir kavramdır. Bölgesel değişkenin tanımlanması ve ayrıntılı incelemeler yapılması, bölgesel değişkenin karakterize edilmesi açısından büyük önem arz eder. Yer bilimleri ile ilgili yapılan çalışmalar, uzaysal bağımlılığın bölgesel değişkeni karakterize etmekte önemli rol oynadığını ortaya koymuştur.

Literatürde yer edinmiş olan varyans ve kovaryans teknikleri, bölgesel bağımlılığı doğrudan açıklamak için yeterli değildirler. Matheron (1963) tarafından geliştirilmiş yarı-variogram tekniği, birçok araştırmacı tarafından farklı alanlarda, örneğin jeoloji, madencilik, hidroloji, deprem tahmini gibi alanlarda uzaysal çeşitliliği karakterize edebilmede kullanılmıştır [29-33].

3.6 Yarı Variogram

Çalışma alanı içerisinde önceden belirlenmiş örneklem istasyonlarından elde edilen değişken değerleri, birbirlerinden etkilenmektedir. Bu nedenle aralarındaki uzaklığa bağlı olarak değişiklik gösterirler. İstasyonlar arasındaki uzaklık arttıkça bu değişim azalmaktadır. Bunun tersine uzaklık azaldıkça değişim artar. Uzaklığa bağlı değişimleri inceleyen metoda yarı variogram fonksiyonu denir [32, 34]. Yarı variogram ardışık yarım kare farklarının toplamı olarak tanımlanabilir [35, 36].

Yarı variogram fonksiyonu, düzgün dağılmış örneklem noktalarını gerektirir. İşlem sırasında değişken statik kabul edilir. Fakat çalışma alanının jeolojik yapısı ve çevresel şartlar itibarıyla örneklem istasyonları düzgün dağılmış şekilde olmayabilir. Bu da yarı variogramın kullanılmasına sorun teşkil eder [30]. Bunun yanında yarı variogram, mümkün olan bütün çiftlerin farkının karesinin ortalaması olarak hesaplanır. İki nokta arasındaki uzaklığın artması, değişken değerlerinin farklı olmasına yani varyansın artmasına neden olur. Varyans, kısaca bir değişkenin değişim gösterdiği aralık olarak tanımlanabilir. Variogram işlemleri sonrası iki boyutlu bir grafik elde edilir. Bu grafik uygun bir matematiksel model ile eşleştirilerek modelleme adımına geçilmiş olur [32, 37].

Genel olarak, yapılan her çalışmada elde edilen sonuçlar düzenli olmayan bir yapıya sahip olmamakla beraber matematiksel olarak da ifade edilemezler. Bu tür çalışmalarda modelleme ön planda tutulur ve değişken davranışını tahminleme konusunda çaba gösterilmiş olur [38]. Değişken davranışının öngörülemediği durumlarda çeşitli metotlarda gözlem yapılır. Yarı variogram fonksiyonu bu metotlardan biridir. Bu fonksiyona ait matematiksel ifade denklem (3) ile ifade edilebilir.

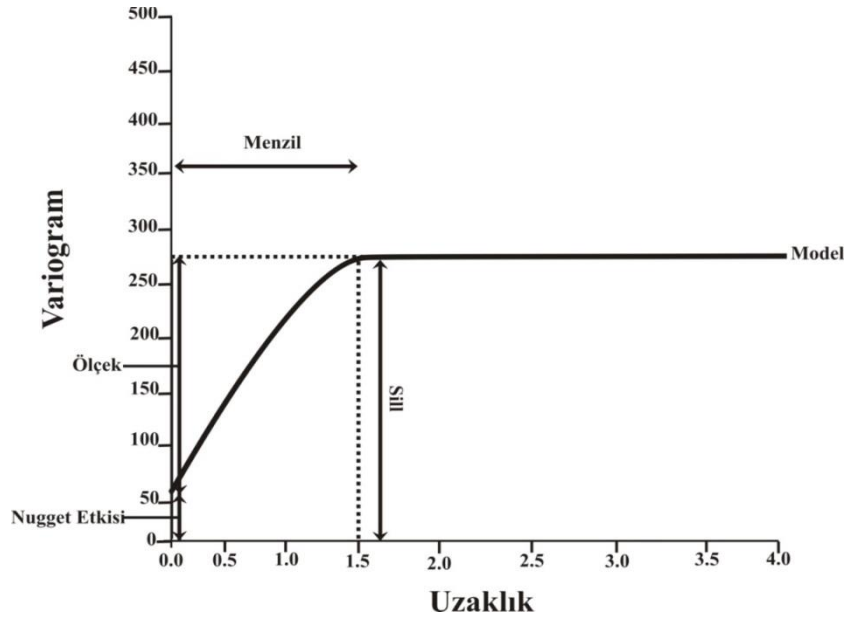
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{N_d} (Z_i - Z_{i+d})^2 \quad (3)$$

Burada, $\gamma(h)$, h uzaklığındaki yarı-variogram değeri; Z_i , i konumundaki bölgesel değişkenin değeri; Z_{i+d} , i konumundan d mesafe sonra ölçülen bölgesel değişkenin değeri; N_d , örnek uzaklıkların toplam sayısını ifade eder [39].

Daha öncede belirtildiği gibi, yarı variogram düzenli dağılmış örnekleme istasyonlarına gereksinim duyar. Bu gereksinimin getirmiş olduğu zorluklar Şen (1989) tarafından açıklanmıştır [10].

3.6.1 Yarı-Variogram Parametreleri

Yarı variogram, temelde üç parametreye sahiptir. Bu parametreler; nugget etkisi, sill ve etki yarıçapıdır. Bu parametrelerin grafik üzerinde gösterimi Şekil 2’de görülmektedir. Bu parametreler farklı anlamlara gelmekle birlikte ilgili değişken ve değişkenin karakteristiği hakkında faydalı bilgiler sağlamaktadır.



Şekil 2 : Variogram parametrelerinin variogram model ile gösterimi [40].

3.6.1.1 Nugget Etkisi

Nugget etkisi, ölçülmüş olan parametrenin fiziksel doğasının meydana getirdiği durum olarak tanımlanır. Birbirine çok yakın olan ama tam olarak aynı pozisyonda olmayan örnekler arasındaki farkı yansıtır. Bir variogram grafiğinde, $h = 0$ uzaklığında variogram eksenini üzerindeki pozitif kesişim nugget etkisi olarak isimlendirilir ve C_0 parametresi ile gösterilir [40].

Bağımsız değişken, uzaklığa bağlı olduğunda, verilerden yola çıkılarak belirlenen bir sınır değer vardır. Bu sınır değer, örneklem noktalarından birbirine en yakın olan iki nokta arasındaki uzaklıktır. Çalışma alanı içerisinde bu değerden daha düşük mesafelerdeki değişimi fark etmek mümkün değildir. Bu durum variogramda süreksizliğe sebep olur. Bu sınır değer nugget etkisi olarak adlandırılır. Nugget etkisi, çalışma sırasında yapılan bir hata veya değişkenin doğal etkilerden etkilendiğini gösterir. Yüksek değerdeki nugget değeri incelenen değişkenin çok zayıf bir şekilde dağıldığını ifade eder. Nugget etkisinin grafik üzerinde gösterimi Şekil 2’de gösterilmektedir [40].

3.6.1.2 Sill

Bölgesel değişken, cevher içeriği açısından zengin ve yoksul bölgeler şeklinde geçişli bir yapı sergiliyorsa, variogram belirli bir uzaklıktan sonra artışını durdurur ve belirli bir değerde sabit kalır. Variogram artışının durdurduğu bu değere sill denir. Sill, aynı zamanda variogram fonksiyonun dönüm noktasına ulaştığı noktadır. Sill oluşumu Şekil 2’de açıkça görülmektedir [41].

3.6.1.3 Etki Yarıçapı

Variogramın sill değerine ulaştığı uzaklık olarak tanımlanır. Bu uzaklık kovaryansın sıfır olduğu yani bu uzaklıktan sonra verilerin artık birbirleri ile ilişkili olmadığı anlamına gelir. Bu alan içinde kalan ve belirtilen bir nokta, alan içinde kalan diğer noktaların değerlerini etkilemektedir. Etki uzaklığı ilgilenilen olayın durağan olmadığı ve varyansın sonsuza gittiğini ama diğer yandan kovaryansın olmadığı anlamına gelir. Böyle durumlarda sill ve etki uzaklığı bir anlam ifade etmez. Bu değişkenlerin bir variogram modelde gösterimi Şekil 2’de verilmiştir [38].

3.6.2 Yarı-Variogramda Başlıca Modeller

Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktalardaki değerlerinin kestiriminde variogramın bütün uzaklıklarda bilinmesi gerekir. Bu ise, variogramı modellemeyi yani variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir [41].

Variogram her zaman pozitif değerler aldığından seçilecek fonksiyonunda pozitif tanımlı bir fonksiyon olması gerekir. Birçok variogram modeli vardır. Günümüzde

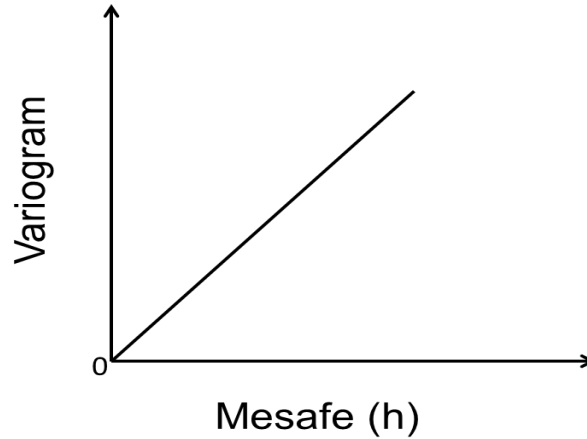
kullanılan variogram modelleri tepe değerinin olup olmamasına göre genelde iki gruba ayrılır:

- i. Tepe Değerli Modeller
- ii. Tepe Değeri Olmayan Modeller

Tepe değerli modeller; küresel model, üssel model ve gauss modelidir. Tepe değeri olmayan modellere ise doğrusal model örnek olarak verilir [42].

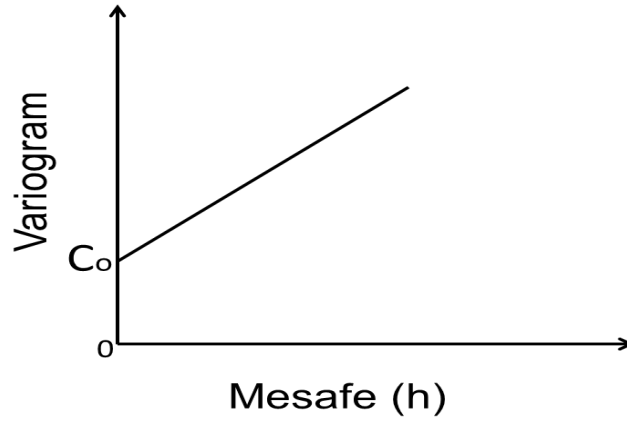
3.6.2.1 Doğrusal Model

Bu variogramın en basit modelidir. Variogram değişkeni uzaklıkla doğru orantılıdır. Bu model nugget etkisine sahip olması durumunda variogram ekseninde pozitif kesişime sahip olur ve daima pozitif bir eğimle mesafe ile doğru orantılı bir şekilde değişen modeldir. Doğrusal model olayın bölgesel bağımlılığa sahip olduğunu ve olayın bağımsız bir sürece uygun geliştiğini gösterir. Böylece, böyle bir olayın objektif analizinde yalnızca ortalama ve standart sapmanın bilinmesi gereklidir. Doğrusal modelin nugget etkisine sahip olmaması durumunda model grafiği Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3 : Nugget etkisiz doğrusal variogram model [40].

Doğrusal bir modelin nugget etkisine sahip olması durumunda model grafiği Şekil 4'te gösterildiği gibi ve formülü denklem (4) de verildiği gibidir.



Şekil 4 : Nugget etkili doğrusal variogram modeli [30].

$$\gamma h = C_0 + ph \quad (4)$$

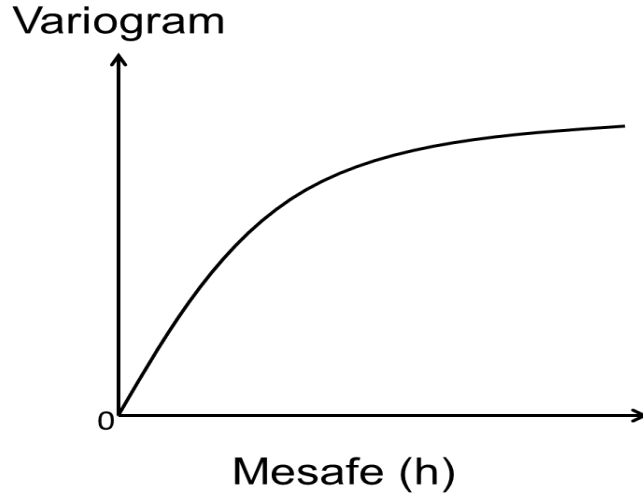
Burada, γ , ilgili iki nokta arasındaki variogram olup h , mesafelerine karşılık gelen değeri ifade eder. p parametresi doğrunun eğimini ve C_0 variogram ekseninde nugget etkisini belirtir.

Doğrusal model doğrusal bir şekilde değiştiğinden, doğru yatay bir hâl almadığından hiçbir zaman sill etkisine sahip olmaz [40].

3.6.2.2 Üstel Model

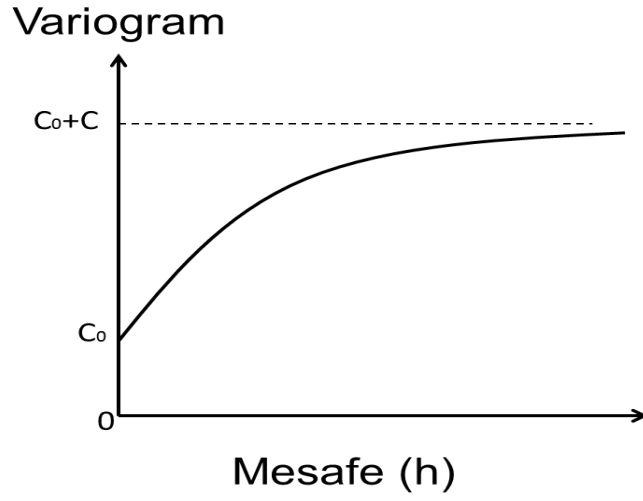
Bu model için çizilen variogram bir etki mesafesine sahip değildir, fakat eğri asimptotik olarak sill değerine yaklaşır. İki önemli parametreye dayanır. Bunlar etki menzili ve geniş mesafelere doğru gidildikçe asimptotik olarak yaklaşılan *sill*'dir.

Bu modelin nugget etkisine sahip olmaması durumunda sahip olacağı grafik Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5 : Nugget etkisine sahip olmayan üssel model [40].

Bu modelin nugget etkisine sahip olması durumunda sahip olduğu grafik Şekil 6 ile gösterilir ve bu modele ait denklem (5) eşitliği ile verilir.



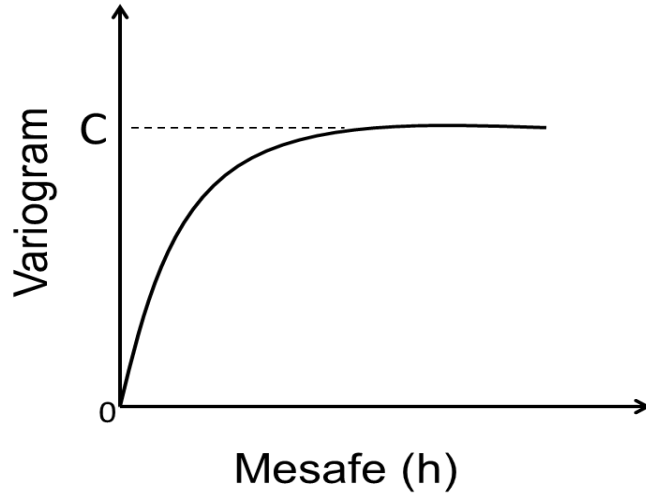
Şekil 6 : Nugget etkisine sahip üssel model [40].

$$\gamma(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad h > 0 \quad (5)$$

Burada γ ; variogram değerini, h ; ilgili iki nokta arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. C_0 ise nugget etkisini göstermektedir [43].

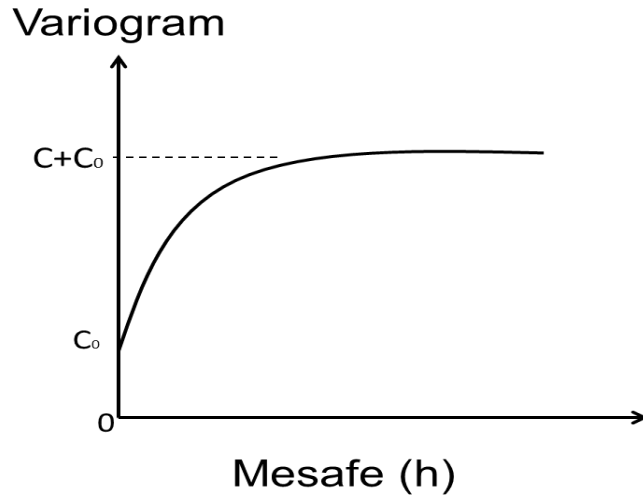
3.6.2.3 Küresel Model

Bu model, Matheron tarafından önerilen ilk modeldir ve variogram modelleri içinde en yaygın şekilde kullanılan modeldir. İki parametreye dayanır. Etki alanı ve grafikte menzile uzanan sill değeridir. Bunun dışında variogram ekseninde nugget etkisi olarak isimlendirilen pozitif bir kesişime de sahip olabilir. Nugget etkisine sahip olmadığı durumdaki grafik Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7 : Nugget etkisine sahip olmayan küresel model [40].

Nugget etkisine sahip olması durumundaki grafik Şekil 9’da gösterilmiştir. Bu modele ait denklemler (6) ve (7) denklemleri ile ifade edilir [40].



Şekil 8 : Nugget etkisine sahip küresel model [40].

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h < a \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h = a \quad (7)$$

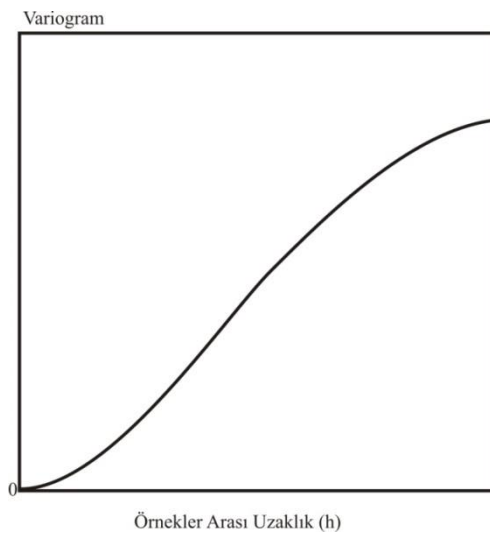
Burada γ ; variogram değerini, h ; ilgili iki nokta arasındaki mesafeyi, a ; parametresi variogramın etki yarıçapını ifade eder.

Küresel model orijinden başlayarak artan h uzaklığı ile artar. Etki yarıçapına ulaşıldığında artışı durdurur ve bu uzaklıkta, variogramın değeri en yüksek değere ulaşır [40].

3.6.2.4 Gauss Modeli

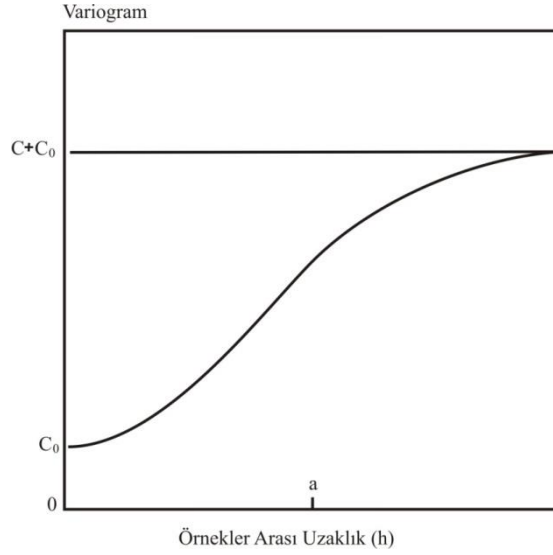
Bu model aşırı sürekli veya kısa mesafelerde benzer olan olayları ifade eder. İlişkinin yakın mesafelerde güçlü, uzak mesafelerde zayıf kaldığı bir yöntemdir. Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek variogram modelidir. Uzaklık arttıkça eşik değere asimptotik olarak ulaşır. Bu model bölgesel değişkenin kısa mesafelerin üstünde süreklilik ve düzgünlüğünün nadir olduğunu ifade eder.

Modelin nugget etkisine sahip olmaması durumundaki grafik Şekil 9'da gösterildiği gibidir [40].



Şekil 9 : Nugget etkisine sahip olmayan gauss model [40].

Nugget etkisine sahip olması durumundaki model Şekil 10’da gösterildiği gibidir ve bu modele ait denklem (8) eşitliği ile verilir.



Şekil 10 : Nugget etkisine sahip gaussiyen model [40].

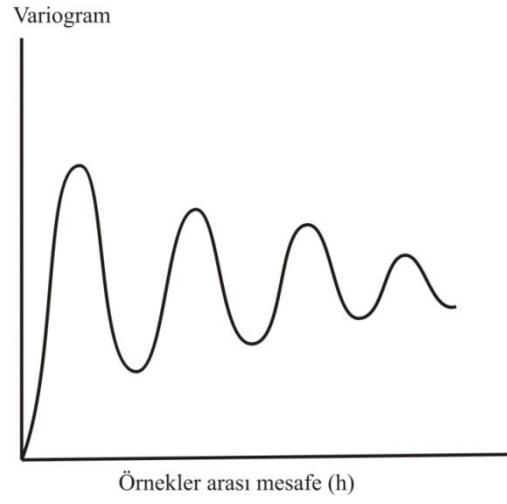
$$\gamma(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right] \quad h > 0 \quad (8)$$

Burada γ ; variogram değerini, h ; ilgili noktalar arasındaki uzaklığı, C_0 ; nugget etkisini göstermektedir.

3.6.2.5 Hole Etkili Model

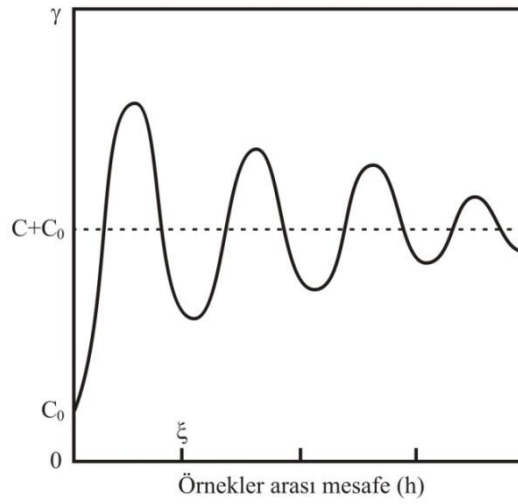
Bu iki örnek arasındaki döngüsel veya periyodik ilişkiyi ifade etmek için geliştirilen modeldir. İki önemli parametreye dayanır; döngüsel mesafe (periyodikliğin bütün dönemi) ve dalgalanma etrafında meydana gelen sildir. Bunlara ilaveten diğer modelleme tiplerinde de olduğu gibi nugget etkisine de sahip olabilir [40].

Nugget etkisine sahip olmaması durumunda model grafiği Şekil 11’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 11: Nugget etkisine sahip olmayan hole etkili model [40].

Nugget etkisine sahip olması durumunda model grafiği Şekil 12’de gösterildiği gibidir ve bu modele ait denklem (9) ile ifade edilir.



Şekil 12 : Nugget etkisine sahip hole etkili model [40].

$$\gamma(h) = C + C_0^2 \left[1 - \frac{\left(\sin \left(\frac{\pi h}{a_0} \right) \right)}{\left(\frac{\pi h}{a_0} \right)} \right] \quad h > 0 \quad (9)$$

Burada γ ; variogram, h ; ilgili iki konum arasındaki mesafe, C_0 nugget etkisini ve C ise sill değerini göstermektedir. Bu modellemelere bakıldığında bir variogram modelin çoklu bileşenlerden oluşabileceği görülmektedir.

Sık sık deneysel variogram, farklı yönlerde farklı uzunluk ölçekleri gösterir. Bu geometrik eş yönsüzlük olarak adlandırılır. Küresel bir model farklı yönlerde farklı görünen uzunluk parametreleri gösterirken, doğrusal bir model için bu farklı yönlerde farklı eğimler olarak görülebilir. Çok yönlü deneysel variogram bütün yönler üzerindeki davranışların ortalamasıdır [44].

3.6.3 Yarı-Variogramın Pratik Zorlukları

Klasik yarı variogram, herhangi h mesafesi için, bu mesafe ile ayrılan iki ölçümün yarı kare farkı olarak tanımlanır. h , çalışma alanı içinde sıfırdan maksimum olası uzaklığa kadar değişirken, aralık mesafesi için yarı-kare farkı ilişkisi yarı-variogram olarak adlandırılan teorik bir fonksiyon olarak ortaya çıkar. Model yarı variogram, örneklerin n sınırlı sayısından hesaplanan bu teorik fonksiyonun bir tahminidir. Model yarı variogram bölge içindeki örnek noktaların dağılımı düzenli olduğu zaman küçük mesafeler için güvenilir tahminler yapabilir. Mesafe artarken, yarı variogramın hesaplanması için veri çiftlerinin sayısı azalır, bu daha geniş mesafelerde daha az güvenilir tahmin yapma anlamına gelir [45].

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

1) Bazı araştırmacılar, yarı-variogram modeli düzenlemek için eşit uzunluktaki mesafe sınıfları içindeki verinin gruplandırılmasını tavsiye etti. Bununla birlikte, sınıflar içerisindeki veri çiftlerinin gruplanması temel teorik yarı variogram ile ilgili model yarı-variogramın düzgünleştirilmesine neden olur [42]. Eğer mesafelerin sayısı belirli bir sınıf içine düşerse, bu sınıf içerisinde yarı kare farkların ortalaması orta nokta için karakteristik

yarı kare farkı olarak alınır. Böylece aykırı değerlerin etkisi kısmen azaltılmış ama ortalama alma işlemi ile tam olarak düzeltilememiştir [10].

2) Yarı variogramda değişkenliği azaltmak için, araştırmacılar değişken uzunluk sınıfları içindeki örnekler arasında gözlenen uzaklıkları sınıflandırdı. Bu kabul de sınıf büyüklüğü, örnek çiftinin sabit sayısının her bir sınıfta düşmesiyle belirlendi. Mesafe ve yarı kare farkların ortalama değeri örnek yarı-variogramın temsili bir noktası olarak sınıflamalar için kullanıldı. Buna rağmen bu yöntem her bir sınıf içine düşen m çift sayısının seçimi için örnek yarı-variogram modellemesinde uyumsuzlukla sonuçlandı [31]. Bununla birlikte araştırmacılar, $m = 1000$ seçimiyle verinin ayırt edilebilir bir şekil verdiğini gözlemledi. Çiftlerin sabit sayılarının seçimi kişiseldir ve ilaveten ortalama işlemler deneysel yarı-variogram içindeki değişkenlikleri düzeltmektedir. Sonuç olarak, yarı-variogram geniş frekanslı değişimler sağlayamadığından doğru bir değişken incelemesi sağlayamaz [10, 31]. Yukardaki yöntemler temelde iki genel özelliğe sahiptir; çiftlerin sabit sayısının önceden belirlenmesi veya sınıf uzunlukları farkı ve mesafelere ek olarak yarı kare farkları için aritmetik ortalama yöntemidir. Model daha genel durumlarda kişisel bir karara ihtiyaç duyar, aksi takdirde daha sonra temsil edilmeyen yarı-variogram değerlerine neden olabilir. Klasik istatistikte, yalnızca simetrik dağılım verisi durumunda, ortalama değer en iyi tahmin edilir, aksi takdirde ortalama ilgisiz olur. Ayrıca, ortalama değer aykırı hassasiyette olur [10]. Sıralanan bu dezavantajların üstesinden gelmek için Şen (1989) tarafından Toplam Yarı variogram kavramı (Toplam Yarı Variogram) geliştirilmiştir [10].

3.7 Toplam Yarı Variogram

Uzaysal bağımlılık yapısı ve bölgesel değişkenliği belirlemede klasik yöntemler üzerinde çeşitli avantajlara sahip olan Toplam Yarı-Variogram tekniği, Matheron'un (1965) klasik yarı-variogram tekniğine alternatif olarak Şen (1989) tarafından önerildi [10, 34].

Bir bölgesel değişken, zaman ve konuma göre atmosferde değişimler gösterir. Zamansal ve bölgesel gelişmeler zamansal ve uzaysal korelasyon yapıları tarafından kontrol edilir. Ölçümler düzenli zaman aralıklarında yapıldıysa, zaman serilerinin bütün teorisi onların zamansal modellemesi, simülasyonu ve tahminini yapmada yeterli olur. Problem, düzensiz konumlardaki ölçümlerin düzenli grid noktalarına veya herhangi istenen noktaya transfer edilmesidir. Eğer bölgesel bağımlılık yapısı etkili bir şekilde

belirlenebilirse o zaman gelecekteki herhangi çalışmada, ölçüm konumlarına dayanarak herhangi bir konumda, sayısal tahminleme başarılı bir şekilde yapılabilir. Bu amaçla; bölgesel kovaryans ve yarı-variogram fonksiyonları, göz önüne alınan olayın, uzaysal korelasyonu açıklamak için alan ağırlık fonksiyonlarını içine alır. Kovaryans metodu, bölgesel değişkenin dağılımının Gauss dağılımına uymasını gerektirir. Yarı-Variogram modeli bölgesel korelasyon yapısının açık bir modelini sağlayamaz. Böylece, bu noktada bu eksikleri içermeyen olmayan Toplam Yarı Variogram metodu kullanılır [46, 47].

Toplam yarı variogram modeli, bir bölge içerisindeki örnekleme konumlarının olası bütün konumlara olan uzaklıkların artan değere göre sıralamasının ardışık yarı kare fark toplamalarının ilişkisini gösteren bir grafikdir. Kısacası toplam yarı-variogram, azalmayan bir dağılım diyagramı sağlayan, yarı-variogram değerlerinin ardışık toplamıdır. Böylece azalmayan bir toplam yarı variogram fonksiyonu bölgesel değişkenin davranışı hakkında çeşitli önemli ipuçları verir. Bu işlem özellikle örnekleme noktaları, çalışma alanı içerisinde geliş güzel dağıldığı zaman kullanışlıdır. Toplam yarı variogram, klasik yarı variogramın bütün avantajlarına sahiptir. Yarı variogramda oluşturulan modellerin hepsi toplam yarı variogram ile de kolaylıkla oluşturulabilir. Toplam yarı variogram uzay çeşitliliği için teorik modellerin tanımlanmasında en iyi araç olarak görülür. Böylece, toplam yarı variogramın standartlaştırılması bölgesel durağan stokastik (olasılıklı) modellerin tanımlanması için temel bir durum sağlar [46].

Birbirine daha yakın iki konum aracılığıyla bölgesel bağıllığın bir ölçümünü sağlayan toplam yarı variogram bölgesel olayın daha bağlantılı olduğu bu konumlarda daha küçük değerler alır. Toplam yarı variogram aşağıdaki basamakların uygulanması ile elde edilir.

1. Dağınık ölçüm konumlarının her bir olası çifti arasında ki $d_{i,j}$ ($i \neq j = 1,2,\dots,m$) mesafesini hesaplanır. Örneğin; örnek konumların sayısı n ise, o zaman

$$m = \frac{n-1}{2} \text{ mesafe değeri vardır.}$$

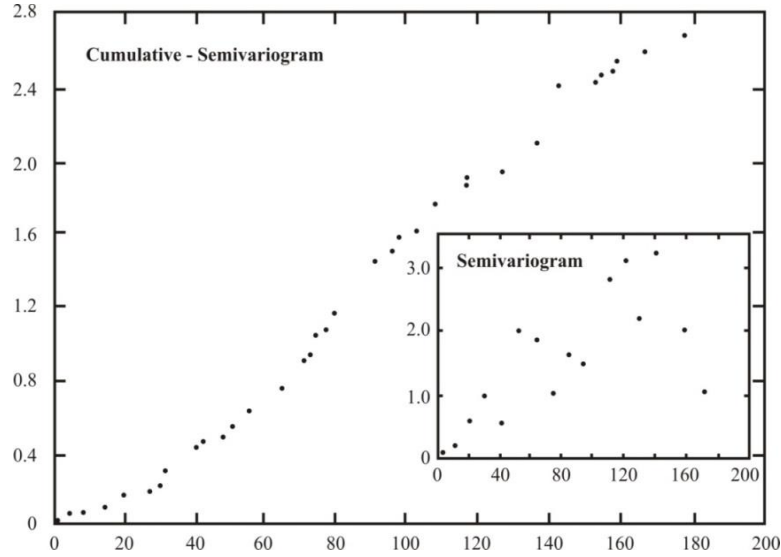
2. Her bir $d_{i,j}$ mesafesi için , bölgesel değişken verisinin ilgili yarı kare farkları, $D_{i,j}$, hesaplanır. Örneğin; bölgesel değişken $d_{i,j}$ mesafesinde iki farklı konumda Z_i ve Z_j değerlerine sahipse, o zaman yarı kare farkı,

$$D_{ij} = \frac{1}{2} (Z_i - Z_j)^2 \text{ olur.}$$

Sırayla en küçük mesafeden başlayarak en büyük mesafeye doğru yarı kare farkların ardışık toplamını alınır. Bu yöntem azalmayan bir fonksiyon sağlayacaktır.

3. TYV, değerlerine karşı ilgili d_{ij} mesafesi grafiği çizilir. Sonuç aşağıdaki örnek TYV fonksiyonuna benzer olacaktır [46].

Toplam yarı variogram ve yarı variogram grafiğinin birlikte gösterimi Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13 : Yarı-Variogram ve Toplam Yarı-Variogram gösterimi [10].

Grafikten de görüldüğü üzere yarı-variogram da bölgesel değişkenin davranışı hakkında net bir bilgi elde edilemezken, toplam yarı-variogram grafiğinden net bir bilgi sağlanmaktadır. Herhangi bir uygulamada toplam yarı variogramın aşağıda sıralanmış olan özellikleri akılda tutulmalıdır;

i. Toplam yarı variogram azalmayan bir fonksiyondur. Bununla birlikte grafikteki yerel düz kısımlar belli mesafelerdeki bölgesel değişkenliğin bağıllığını, değişmezliğini ifade eder. Yani, h aralıklı iki konumda aynı değer gözlenebilir.

ii. Herhangi bir mesafedeki teorik toplam yarı-variogramın eğimi ayrılmış mesafelerdeki bölgesel değişken çiftleri arasındaki bağımlılığı gösterir. Bu mesafe değişimi boyunca yerel bağımlılığın var olup olmağını bir örnek Toplam yarı variogram fonksiyonundan anlamamızı sağlar.

iii. Model toplam yarı variogram, ortalamadan dolayı klasik yarı variogram ile belirlenmesi mümkün olmayan veri çiftleri arasındaki küçük bağımlılıkları ifade eder.

iv. Model toplam yarı variogram, uzaklık sınıfları arasında olası bir ayrım gerektirmedikinden dolayı kişisellikten çıkmış olur [10]. Toplam yarı variogram fonksiyonu, bölgesel değişkenin bir konumdaki değerini standart ağırlık fonksiyonu

kullanarak tahmin edebilmektedir. Bu yöntemden sonra Şen (1998) herhangi bir bölgedeki çeşitliliğinin noktasal özelliklerini ölçebilmek için Noktasal Toplam Yarı Variogram tekniğini geliştirmiştir [45].

3.8 Noktasal Toplam Yarı Variogram

Bölgesel değişimlerin sayısal olarak tespit edilebilmesi için Şen (1989) tarafından geliştirilen toplam yarı variogramdan türetilen noktasal toplam yarı variogram yöntemi ile, değişkenlerin sabit bir istasyonun çevresindeki mesafe ile olan dağılımları araştırılır. Başka bir deyişle, noktasal toplam yarı variogram özel bir konum üzerinde, çalışma alanı içindeki diğer bütün konumların bölgesel etkisini ifade eder. Böylece noktasal toplam yarı variogram değerlerinin sayısı istasyon sayısına eşittir. Bundan dolayı konumların birbirleriyle karşılaştırılmaları ve ilgili düzenlemeleri değişkenin heterojenliği hakkında faydalı bilgiler sağlar [10, 11, 48, 35].

Matheron (1963) tarafından önerilen yarı-variogramın kabullerinin başında durağanlık ve eşit mesafelere bağlı olarak alan ilişkisine bakılmaktadır. Durağanlığın bulunmaması durumunda rastgele dağılmış noktalar arasındaki ilişkiye, yarı-variogram yaklaşımı ile bakılamamaktadır. Şen (1989) tarafından önerilen noktasal toplam yarı variogram, durağanlığın bulunmaması ve noktaların rastgele dağılımına göre nokta ile alan arasındaki ilişkiyi açıklar [9, 10].

Bir alan içindeki herhangi bir olayda yapısal değişkenlik iki, konum arasındaki rölatif değişimin karşılaştırılmasıyla en iyi biçimde ölçülebilir. Örneğin; d mesafesiyle ayrılmış herhangi iki noktada bölgesel değişken Z_i ve Z_{i+d} ölçüm değerlerine sahip olsun, o zaman rölatif değişkenlik basitçe $(Z_i - Z_{i+d})$ olarak yazılabilir [49].

Bölgesel değişkenlerin derecesini ölçmek için, varyans ve korelasyon tekniği literatürde sıklıkla kullanılmasına rağmen normal olmayan dağılım fonksiyonlarını ya da örnek konumların düzensizliğinden dolayı bölgesel bağımlılığı tam olarak ifade edemez. Klasik variogram, otokorelasyon gibi tekniklerin tümü eşit aralıklı veri değerleri gerektirir. Bununla birlikte, pratik çalışmalarda, konumlar sık ve düzensiz olarak konumlanmaktadır. Toplam yarı variogram yöntemi bu dezavantajların hepsinin üstesinden gelir ama olaya genel bir bakış açısı sağlar. Özel bir konum çevresindeki etkileri ifade etmez. noktasal toplam yarı variogram yöntemi bu durumundan üstesinden gelerek belli bir konum çevresindeki etkileri de göz önüne alır [13].

Noktasal toplam yarı variogram, mesafe bakımından küçükten büyüğe doğru sıralanan farklar karesinin yarısının toplamı şeklinde tanımlanabilir. Hesaplamaları variogram temeline dayanan noktasal toplam yarı variogram, Şen (1998) tarafından hava kirliliği verilerine uygulamıştır. Rüzgâr hızı ve enerjisi verilerine, Şen ve Şahin (1998) tarafından uygulanmıştır [11, 50]. Gösterim olarak k istasyonundaki noktasal toplam yarı variogram değeri V_k ile gösterilirse, matematiksel ifade (10) eşitliği ile verilir.

$$V_k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} Z_k - Z_i \quad (10)$$

Burada Z_k tesir yarıçapı aranan istasyondaki, Z_i ($i = 1, 2, \dots, n, i \neq k$) ise diğer civar istasyonlardaki bölgesel değişkenin değerini gösterir. Toplam istasyon sayısı n 'dir. Hesaplanan V_k değerlerinin mesafe ile değişimini gösteren grafiğe, noktasal toplam yarı variogram grafiği adı verilir.

Noktasal toplam yarı variogram grafiğinin verilerden elde edilmesi için aşağıdaki işlemlerin yapılması gerekir;

1. Seçilen istasyon k , ile diğer istasyonlar ($i = 1, 2, \dots, n; i \neq k$) 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 $\frac{1}{2}(Z_k - Z_i)$ sahip olacaktır. Burada Z_k 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 noktasal toplam yarı variogram örneğinin azalmayan bir fonksiyonunu verir. Matematiksel ifade (11) denklemi ile verilir.

$$\gamma d_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} Z_k - Z_i^2 \quad (11)$$

4. Verilen n örnekli noktasal toplam yarı variogram için, önceki basamaklar farklı ilgili alanlar göz önünde bulundurularak uygulanır.

5. Hesaplanan $\gamma(d_i)$ değerlerini düşey ve bunlara karşı gelen mesafeleri de yatay eksene yerleştirirsek noktasal toplam yarı variogram saçılma diyagramı elde edilir.

6. Bu saçılma diyagramına bir eğrinin en küçük kareler yöntemi uydurulması sonucunda teorik noktasal toplam yarı variogram modeli yani bölgesel değişkenin mesafe ile değişimini gösteren fonksiyon elde edilir [48].

Bu teknik yardımı ile tesir yarıçapı, homojenlik, bağımsızlık, korelasyon gibi değişik özelliklerin tahmini de gerçekleştirilebilir. Denklem (11) ile tanımlanan noktasal toplam yarı variogram grafiğinin başlıca özellikleri şunlardır;

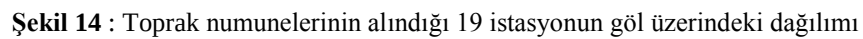
1. Noktasal toplam yarı variogram mesafenin artan bir fonksiyonudur.
2. Noktasal toplam yarı variogram ile mesafe arasındaki saçılma diyagramında iki nokta arasındaki eğimden bu iki istasyon arasındaki bağımlılık hakkında bir fikir elde edilebilir. Eğim sıfır ise iki istasyon arasında tam bağımlılık vardır yani korelasyon kat sayısı 1 dir. Eğim arttıkça bağımlılık da azalacaktır.
3. Noktasal toplam yarı variogram grafiğindeki noktaların saçılımının az olması, incelenen değişkenin istasyon çevresinde homojen bir yapı gösterdiğini ifade eder.
4. Noktasal toplam yarı variogram grafiği saçılma diyagramına uydurulacak en iyi eğrinin türevi yardımı ile değişimin sabit kalmaya başladığı mesafe istasyonun “etki yarıçapını” verir [48].

3.9 Çalışma Sahasının Tanıtımı

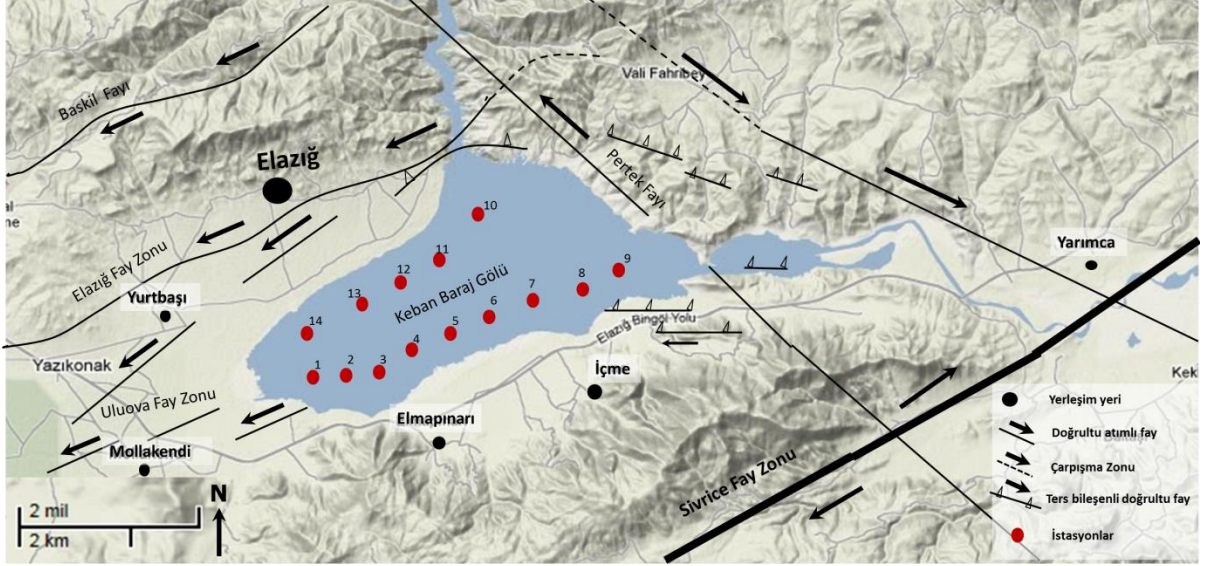
Uluova, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde, Güneydoğu Toros Kıvrım Sistemi içerisinde yer alan tektonik kökenli bir çöküntü ovasıdır. Çalışma alanındaki ana jeomorfolojik birimler; dağlık alanlar, alçak ve yüksek platolar, ovalar, birikinti koni ve yelpazeleri, etek düzlükleri, vadiler, akarsu sekileri ve boğazlardır. Uluova'yı kuzeyden Hasret Dağı, Kuzeydoğudan ise Asker Dağı Sınırlandırır. Doğuda fazla belirgin olmayan bir eşikle Yarımca ve Kovancılar Ovaları'na geçilmektedir. Batıda 1621 m'ye ulaşan Hasret Dağı'nın yükseltisi, Doğuda Murat Boğazı dolaylarında 1200m'lere kadar düşmektedir. Uluova'yı güneyden ise, batıdan doğuya doğru bir sıra halinde uzanan Kuşakçı (1908 m), Çelemlik (1647 m) ve Master (2171 m) Dağları çevrelemektedir [51].

Kuşakçı, Çelemlik, Master Dağlarının Uluova'ya bakan kuzey yamaçları, Harput Platosu ve Hasret Dağının güney yamaçları boyunca, geçirimsizliğin düşük, bitki örtüsünün zayıf, eğimin fazla olması nedeniyle buralardaki akarsuların boyları kısa, çatallanma oranları yüksek yatak eğimleri de fazladır. Bu alanlarda düzensiz yağışlara bağlı olarak yüzeysel akışa geçen su miktarının fazla olmasından dolayı akarsular, bol miktarda

Toprak numuneleri, göl sedimentinden 19 farklı istasyondan alınmıştır. Numunelerin alındığı 19 istasyon Şekil 14’te gösterilmektedir.



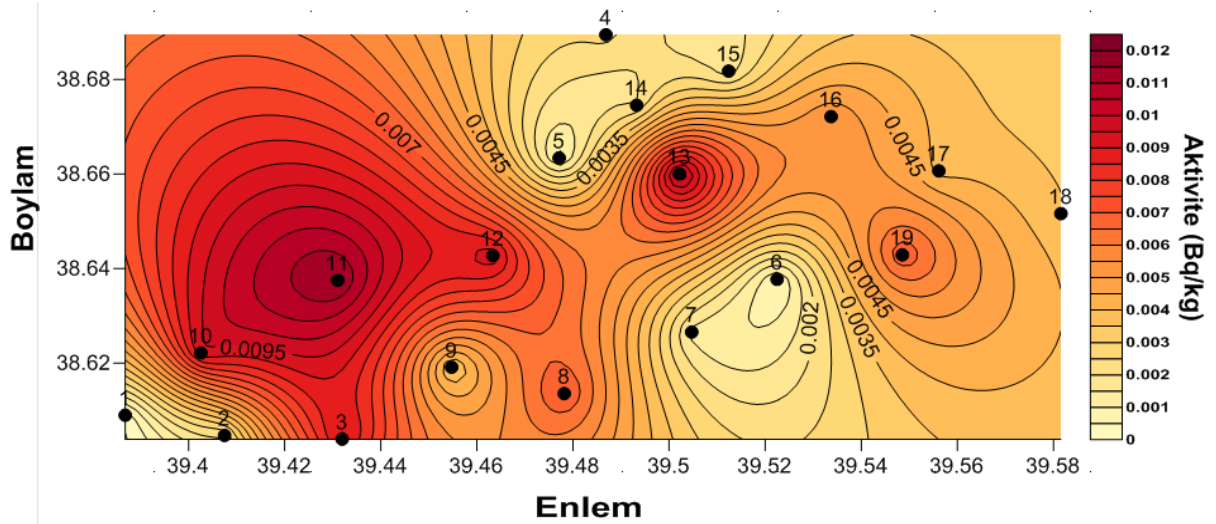
Su numuneleri ise göl yüzeyinden 14 farklı istasyondan alınmıştır. İstasyonların göl yüzeyine dağılımı Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15 : Su numunelerinin alındığı 14 istasyonun göl üzerindeki dağılımı

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Alınan toprak numunelerinin analizi sonucu, ^{40}K yoğunluğu ortalama olarak 0,004 Bq/kg olarak görülmektedir. Toprak numunelerinin alındığı istasyonlara ait değerler Tablo 6'da görülmektedir. En yüksek ^{40}K yoğunluğu 0,011 Bq/kg ile 11. istasyona, en düşük yoğunluk ise 0,0001 Bq/kg ile 1. istasyona aittir. ^{40}K 'ın göl sedimentine dağılımı ve istasyonların konumu Şekil 16'da açıkça görülmektedir. ^{40}K , baraj suyunun akış yönü olan güneybatı kesiminde yoğun miktarda mevcuttur. Yine güneybatı kesimde yerleşim yerlerinin fazla olması sonucunda potasyum gübrelemesinin tarım alanında kullanılması ^{40}K 'ın artmasına sebep olmuş olabilir. Barajın kuzey ve doğu kesimlerinde düşük miktarda ^{40}K mevcuttur.

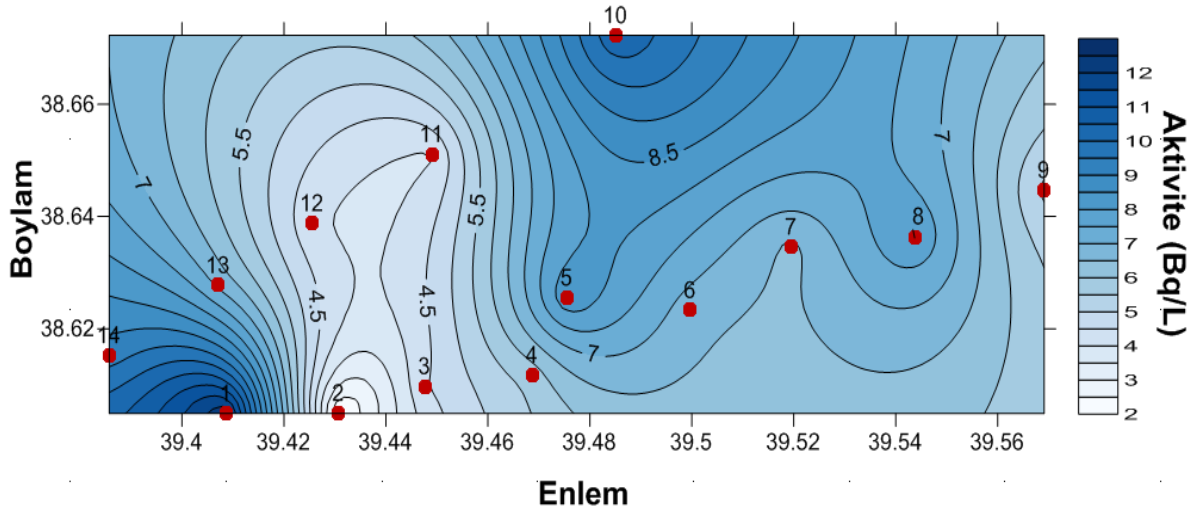


Şekil 16 : K-40 Toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası

^{40}K değerlerine ait NTYV-Mesafe grafikleri uygun bir değerlendirme yapılması amacıyla modellere ayrılmıştır. Bu modelleme, Şekil 21'deki modellere göre yapılmış olup, Tablo 4'te görülmektedir. Buna göre, 1 ve 2. istasyonlar A Model'ine, 3 ve 5. istasyonlar C Model'ine, 9, 11, 12 ve 14. istasyonlar E Model'ine, 17 ve 18. istasyonlar F Model'ine, 4, 6, 7 ve 16. istasyonlar H Model'ine, 8, 15 ve 19. istasyonlar I Model'ine ve son olarak 13 ve 10. istasyonlar sırasıyla B ve G Model'ine uymaktadır. Bu istasyonlara ait NTYV-Mesafe grafikleri Ek-1 Şekil 1-19'da gösterilmiştir. Dört istasyonu (9, 11, 12, 14) temsil eden E Model'i y-ekseninde nugget değerine ve asimptotik bir sill değerine sahiptir. Grafiklerin nugget değerine sahip olması; istasyonların bulunduğu noktada yüksek bir ^{40}K yoğunluğunun olduğu anlamına gelir. Bu modele uyan istasyonların diğer istasyonlarla

olan ilişkisi çok yüksektir. Asimptotik sill değeri, ^{40}K yoğunluğunun istasyondan uzaklaştıkça azaldığı ve çok büyük mesafelerde sıfıra yaklaştığı anlamına gelir. E Model'i, 10-18 km arasında değişen etki yarıçapına sahiptir. Etki yarıçapı, bilindiği üzere değişkenin etkin olduğu mesafeye eşittir. E Model'i değişkenin kısa ve uzun mesafelerde zayıf bir değişim, orta mesafelerde ise değişimin güçlü olduğunu ifade eder. 4, 6, 7, 16 istasyonlarını temsil eden diğer bir model olan H Model'i ise, x-eksenini kesen doğrusal bir modeldir. Sill değerine sahip değildir. Bu modelin sill değerine sahip olmaması, değişkenin bu modele uyan istasyonlar civarında homojen dağıldığını ifade eder ve bu dağılımın düzgün bir dağılıma sahip olduğu anlamına gelir. Üç istasyonu (8, 15, 19) temsil eden I Model'i ise, H Model'inin tersine y-ekseninde bir nugget değerine sahip olup doğrusal bir modeldir. y-ekseninde nugget değerinin mevcut olması, ^{40}K yoğunluğunun, modele uyan istasyonlar civarında daha yüksek olabileceği anlamına gelir.

Su numunelerine ait ^{40}K yoğunluğu değerleri Tablo 5'te görülmektedir. Bu tabloya göre, ^{40}K yoğunluğu ortalaması 6,68 Bq/L'dir. En yüksek yoğunluğa sahip istasyon 12,44 Bq/L ile 1. istasyon olup, en düşük değere sahip istasyon 1,93 Bq/L ile 2. istasyondur. ^{40}K 'ın göl yüzeyine dağılımı Şekil 17'de görülmektedir. Şekil 17'ye göre, gölün kuzey kesimi ve güney kesimi ^{40}K yoğunluğu bakımından daha zengindir. Orta kesimlerde daha düşük bir ^{40}K yoğunluğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre ^{40}K yoğunluğu Tablo-1'de verilen standartların altında bir değerdedir.

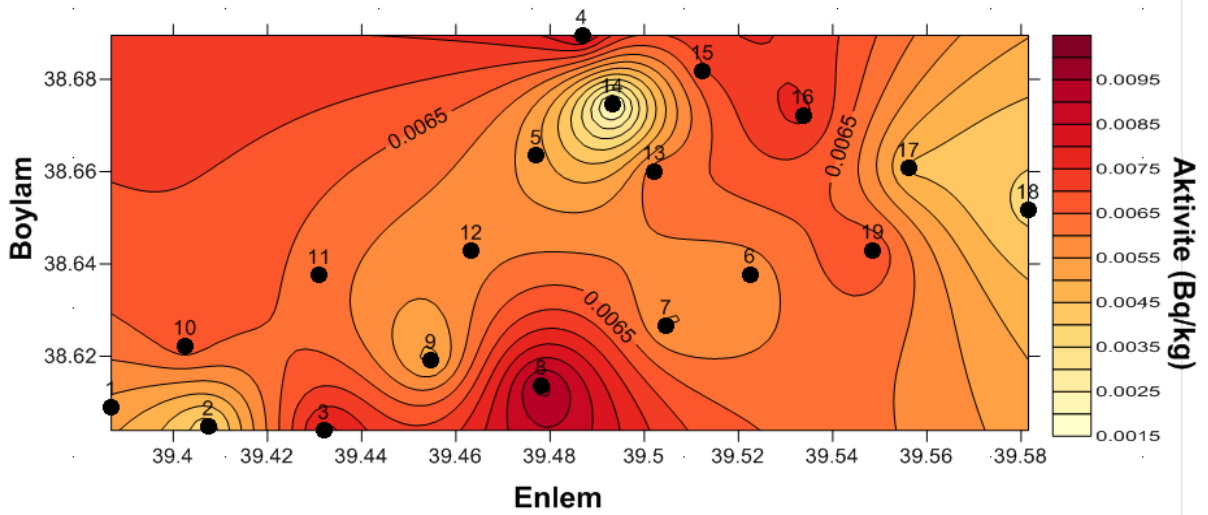


Şekil 17 : K-40 Su numuneleri eş-radyoaktivite haritası

^{40}K değerlerine ait NTYV-Mesafe grafikleri Ek-1 Şekil 20-33'te gösterilmiştir. Bu grafikler Şekil 18'deki modeller temel alınarak gruplandırılmıştır. Buna göre; 1, 2, 3, 5 ve 12. istasyonlar B Model'ine, 4, 6 ve 10. istasyonlar E Model'ine, 7 ve 9. istasyonlar G

Model'ine, 13, 8, 11 ve 14. istasyonlar sırasıyla A, C, D ve J modellerine uymaktadır. Beş istasyonu (1, 2, 3, 5, 12) temsil eden B Model'i mesafe eksenini kesmekte olup, uzun mesafelerde sill değerine ulaşmaktadır. Ayrıca B Model'i, 8-12 km arasında değişen bir etki yarıçapına sahiptir. Modelin mesafe eksenini kesmesi, bu mesafelerde ^{40}K yoğunluğunun düşük olduğu ve değişmediği anlamına gelir. 8-12 km arasında etki yarıçapına sahip olması bu modele uyan istasyonların diğer istasyonlara etkide bulunduğunu gösterir. Uzun mesafelerde oluşan sill, ^{40}K yoğunluğunun uzun mesafelerde zayıf bir değişim gösterdiği anlamına gelir. Üç istasyonu (4, 6, 10) temsil eden E Model'i ise NTYV ekseninde bir nugget değerine sahip olup, sill değerine sahiptir. Gauss eğrisi şeklinde olan model, 0-5 km arasında sabit 5-10 km arasında artış ve sonrasında yine bir durağanlık göstermektedir. Nugget değeri, değişkenin, gölün jeolojik yapısının etkisinde olabileceği anlamına gelir. E Model'inin tepe değerini gösteren sill, değişkenin etki yarıçapını belirlemektedir. E Model'inin etki yarıçapı 10 km civarındadır.

Keban Baraj Gölü dip sedimentinden 19 farklı istasyondan alınan numunelerin ^{232}Th yoğunluğu değerleri, Tablo 6'da görülmektedir. Tablo 6'da yer alan değerlere göre, istasyonların ^{232}Th ortalaması 0,005 Bq/kg'dır. İstasyonlar arasında en yüksek ^{232}Th yoğunluğu değerine sahip olanı 8. istasyon, en düşük değer ise 14. istasyondur. İstasyonların göl yüzeyine dağılımı ve ^{232}Th 'nin göl sedimentine dağılımı Şekil 18'de görülmektedir. Şekil 18'e göre, gölün kuzey ve güney kesimleri orta kısımlarına oranla daha yüksek ^{232}Th yoğunluğuna sahiptir. Göl etrafında bulunan dağlık alanlardan taşınan materyaller bu kesimlerdeki ^{232}Th 'nin artmasına sebep olmuş olabilir. bunun nedeni olarak, çalışma alanı civarında bulunan dağlık alanların volkanik katkılı olması gösterilebilir [15].

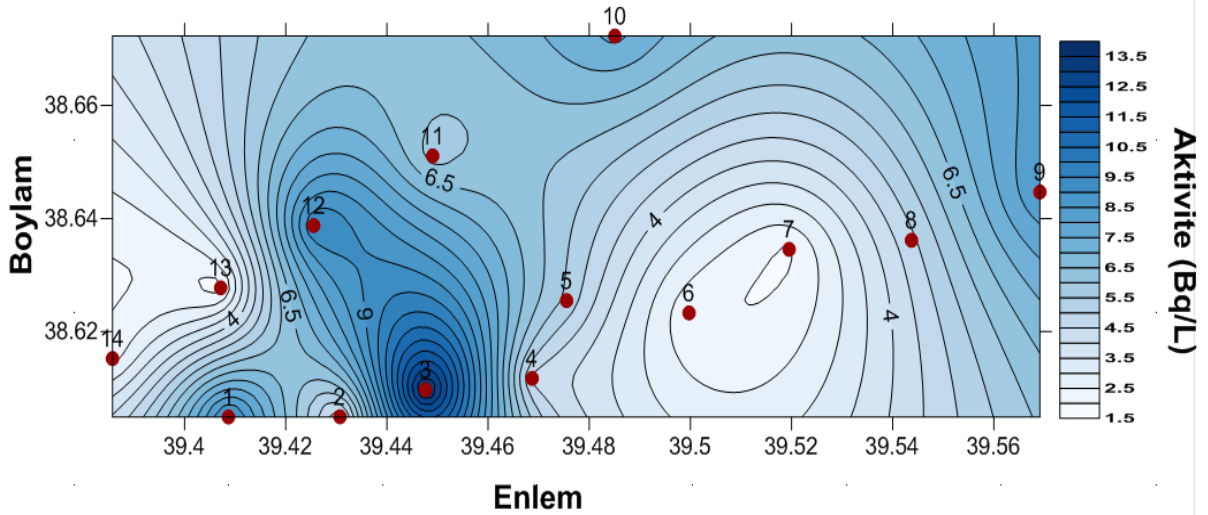


Şekil 18 : Th-232 toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası

^{232}Th değerleri ve istasyonların birbirlerine olan uzaklıklarından elde edilen NTYV-Mesafe grafikleri Ek-2 Şekil 1-19'de görülmektedir. Bu grafikler, Şekil 21'de gösterilen modellere göre ayrılmıştır. Buna göre, 5, 7-10, 13, 14, 17, 18. istasyonlar E Model'ine, 6, 11, 12. istasyonlar B Model'ine, 1, 3, 4. istasyonlar G Model'ine, 19, 2, 15 ve 16. istasyonlar sırasıyla A, H, I ve J Model'ine uymaktadır. İstasyonların büyük bir kısmını (9 istasyon) temsil eden E Model'i gauss eğrisine benzemektedir. Bununla birlikte E Model'i nugget değerine ve buna ek olarak sill değerine sahiptir. Bu istasyonlar 9-14 km arasında bir etki yarıçapına sahiptir. Bu da demektir ki istasyonların sahip olduğu ^{232}Th yoğunluğu, 14. km den sonra etkisini yitirmektedir. E Model'i NTYV ekseninde bir nugget etkisine sahiptir. E Model'inin nugget değeri ise, bu istasyonların bulunduğu konumlarda taşınımın fazla olduğu ve yer şekillerinin burada etkisini gösterdiği anlamına gelir. Üç istasyonu temsil eden G Model'i, nugget değerine sahip olmakla birlikte sill değerine sahip değildir. G Model'i üstel bir artış göstermektedir. Bu da G Model'ine uyum gösteren istasyonların çevrelerine olan etkisinin giderek arttığı anlamına gelir. Bu istasyonların ^{232}Th yoğunlukları, aynı zamanda diğer istasyonların ^{232}Th yoğunluklarını da etkilediği anlamına gelir. Üç istasyonu temsil eden diğer bir model olan B Model'i mesafe eksenini kesen ve asimptotik bir sill değerine sahip olan bir modeldir. Bu durum B Model'ini diğer modellerden ayıran bir özellik olarak göze çarpar. Bunun anlamı, eğrinin mesafe eksenini kestiği uzaklığa kadar istasyonlar arasında zayıf bir etkileşim, sonrasında ise güçlü bir etkileşim olmasıdır.

Keban Baraj Gölü yüzeyinden 14 farklı istasyondan alınan numunelerin ^{232}Th değerleri Tablo 5'te görülmektedir. Alınan ölçümler ve hesaplamalar yüzey suyu

numunelerinde en yüksek ^{232}Th değerine sahip olan istasyonun 13, 92 Bq/L ile 3. istasyon olduğunu göstermektedir. En düşük ^{232}Th yoğunluğuna sahip olan istasyon ise 1,74 Bq/L ile 13. istasyon öne çıkmaktadır. 14 istasyonun ^{232}Th yoğunluğu ortalaması ise 5, 81 Bq/L'dir. 5 ve 11. istasyonların ^{232}Th yoğunlukları ortalama değerdedir. Göl yüzey sularının alındığı istasyonlar ve ^{232}Th yoğunluğu haritası Şekil 19'da açıkça görülmektedir. Şekil 19'a göre gölün güneybatı kesimi ^{232}Th yoğunluğu açısından diğer kesimlere göre daha zengindir. Genellikle gölün orta kesimleri daha düşük ^{232}Th yoğunluğuna sahiptir. Bu durum göz önüne alınırsa, göl yüzeyinde meydana gelen dalgaların etkisiyle kıyı kesimlerde birikme olabileceği söylenebilir. ^{232}Th mobilite olarak yüksek bir hareket kabiliyetine sahip bir radyoçekirdektir. Ayrıca kuzey kesimde daha düşük bir ^{232}Th yoğunluğunun olması, gölü oluşturan nehrin akıntısı sebebiyle ^{232}Th moleküllerinin akıntıyla güney tarafa sürüklenmiş olabileceği ihtimalini doğurmaktadır.

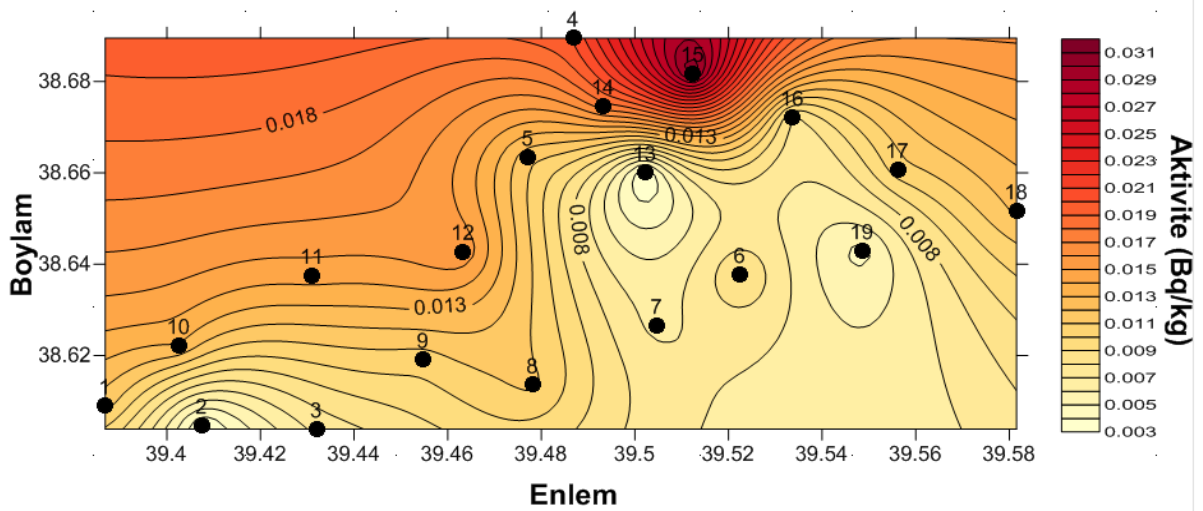


Şekil 19 : Th-232 Su numuneleri eş-radyoaktivite haritası

Su numunelerinin ^{232}Th analizi ile elde edilen aktivite yoğunlukları ve istasyonların birbirlerine olan uzaklıklarına karşılık çizilen grafikler, Şekil 18'deki grafikler baz alınarak gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre, 1, 3, 5 ve 11. istasyonlar B Model'ine, 2, 4 ve 12. istasyonlar A Model'ine, 6, 7 ve 8. istasyonlar E Model'ine, 13 ve 14. İstasyonlar J Model'ine, 10 ve 9. istasyonlar sırasıyla H ve I modeline uymaktadır. Bu istasyonlara ait NTYV-Mesafe grafikleri Ek-2 Şekil 20-33'de gösterilmiştir. Dört istasyonu (1, 3, 5, 11) temsil eden B Modeli mesafe ekseninde nugget değerine sahiptir ve asimptotik bir sill değeri içermektedir. B Model'ine göre istasyonlar 7-11 km arasında bir etki yarıçapına sahiptir. Etki yarıçapı değişkenin etkin olduğu alanın yarıçapına eşittir. Buna göre, ^{232}Th yoğunluğu, B Model'ine uyan istasyonlardan 7-11 kilometreden az olan uzaklıklarda güçlü

bir etkiye sahiptir. Bu mesafeden sonrasında ise etkisi azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Asimptotik sill değeri de bu etkinin sıfır olmayacağı fakat sıfıra çok çok yaklaşacağının bir kanıtıdır. Üç istasyonun uyumluluk gösterdiği A Model'i NTYV ekseninde bir nugget değerine sahip olup asimptotik bir sill değerine sahiptir. Ayrıca, A Model'i 9-12 km arası bir etki yarıçapına sahiptir. A Model'i, B Model'inden farklı olarak, nugget değerine sahiptir. Nugget değeri, değişkenin o noktada bazı jeolojik olayların kontrolü altında olduğunu gösterir. Üç istasyonu (6-8) temsil eden diğer bir model olan E Model'i gauss eğrisine benzemektedir. NTYV ekseninde bir nugget etkisine sahiptir ve buna ek olarak sill değerine sahiptir. E Model'inde mevcut olan 8-14 km arası bir etki yarıçapına sahiptir. Bu da bize ^{232}Th 'nin suda taşınım menzili hakkında bilgi verir.

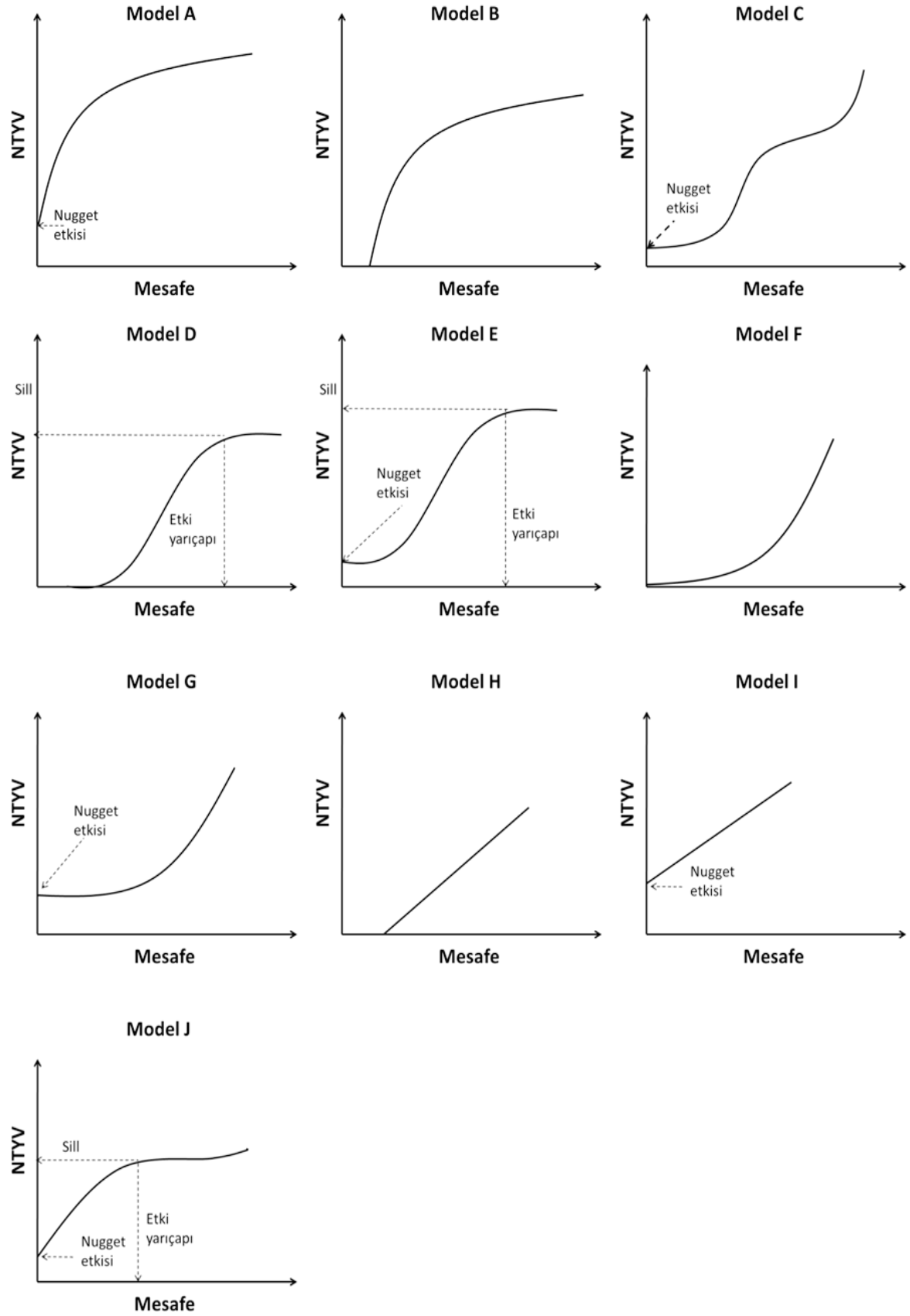
Toprak numunelerinin ^{238}U yoğunluğu ortalama olarak 0.011 Bq/kg'dır. Tablo 6'da verilen değerlere göre, alınan numuneler arasında en yüksek ^{238}U yoğunluğuna sahip istasyon, 15. istasyon, buna karşılık en düşük değere sahip istasyon 2. istasyondur. İstasyonların göle dağılımı ve gölün ^{238}U konsantrasyonu Şekil 20'de görülmektedir. İstasyonların göle dağılımı ve ^{238}U değerleri dikkate alındığı takdirde gölün kuzey kesiminde daha yüksek bir ^{238}U yoğunluğu dikkat çekmektedir. Gölün bu kesimi barajı oluşturan Fırat nehrinin taşıdığı alüvyonlarla birlikte yüksek bir ^{238}U yoğunluğuna ulaşmış olabilir. Bununla birlikte gölün kuzey kesiminde bulunan istasyonlardaki ^{238}U yoğunluğu güney kesimin ^{238}U yoğunluğundan % 30-50 civarında daha fazladır.



Şekil 20 : U-238 Toprak numuneleri eş-radyoaktivite haritası

Toprak numunelerine ait ^{238}U değerlerinden elde edilen NTYV-Mesafe grafikleri Şekil 21'de gösterilen modellere ayrılmıştır. Bu gruplandırma Tablo 4'te görülmektedir. Gruplandırma göz önünde bulundurulduğunda, 1, 2, 3, 10. istasyonların G Model'ine, 5, 6,

13, 15, 17, 18, 19. istasyonların B Model'ine, 8 ve 9. istasyonların D Model'ine, 7, 11 ve 12. istasyonların E Model'ine, 4 ve 14 numaralı istasyonların H Model'ine ve son olarak 16. istasyonun da J Model'ine uyduğu görülmektedir. İstasyonlara ait NTYV-Mesafe grafikleri Ek-3 Şekil 1-19'da gösterilmiştir. İstasyonların büyük bir kısmını temsil eden B Model'i, mesafe ekseninde bir nugget etkisine sahip ve asimptotik bir sill değerine sahiptir. B Model'i, değişkenin belirli bir mesafeye kadar homojen dağıldığı ve daha sonra bu homojenliğin kaybolduğunu gösterir. Ayrıca B Model'i 8-10 km arasında bir etki yarıçapına sahiptir. Etki yarıçapı, homojenliğin kaybolduğu mesafeye denk gelmektedir. Dört istasyonu (1, 2, 3, 10) temsil eden G Model'i ise, NTYV ekseninde bir nugget ekseninde sahiptir. G Model'i, üstel bir artış göstermektedir. Bu artış, istasyonlardan dışa doğru gidildikçe ^{238}U yoğunluğunun arttığını gösterir. Ayrıca nugget etkisine sahip olması, yine değişkenin bölgesel bağımlılığını gösterir.



Şekil 21 : Bu çalışmada önerilen Noktasal Toplam Yarı Variogram modelleri

Tablo 4 : İstasyonların uygun modellere gruplandırılması

Radyoizotop						
Model	⁴⁰ K	⁴⁰ K	²³² Th	²³² Th	²³⁸ U	²³⁸ U
	Toprak	Su	Toprak	Su	Toprak	Su
A	1, 2	13	19	2, 4, 12		12, 13, 14
B	13	1, 2, 3, 5, 12	6, 11, 12	1, 3, 5, 11	5, 6, 13, 15, 17, 18, 19	2
C	3, 5	8	-	-	-	6, 8
D		11		-	8, 9	
E	9, 11, 12, 14	4, 6, 10	5- 10, 13, 14, 17, 18	6, 7, 8	7, 11, 12	1, 3, 4, 5, 7, 11
F	17, 18	-	-	-	-	10
G	10	7, 9,	1, 3, 4	-	1, 2, 3, 10	9
H	4, 6, 7, 16	-	2	10	4, 14	-
I	8, 15, 19	-	15	9	-	-
J	-	14	16	13,14	16	-

Alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalara göre, göl yüzeyinden alınan su numunelerinin ²³⁸U, yoğunluğu ortalaması 12,19 Bq/L'dir. Su numunelerinin alındığı istasyonlara ait aktivite değerleri Tablo 5'te görülmektedir. Tabloda verilen değerlere göre, en yüksek ²³⁸U yoğunluğu 1. istasyonda görülmektedir. En düşük ²³⁸U yoğunluğuna sahip istasyon ise, 7. istasyondur. İstasyonların göl yüzeyine dağılımı ve ²³⁸U değerleri göz önüne alındığında, yerleşim yerlerine yakın olan istasyonların değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 22'de açıkça görülmektedir. Yerleşim yerlerine yakın olan istasyonların yüksek ²³⁸U değerine sahip olması, göl yüzeyine taşınan su miktarının fazla olmasından kaynaklı olabilir. Ayrıca bu bölgenin ova şeklinde bir yapıya sahip olması yağmur sularının taşınmasına kolaylık sağlayabileceği ve böylelikle sularla taşınan ²³⁸U'nin bu bölgede birikmiş olabileceği sonucu çıkarılabilir.

aktivitesi, ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesinden yaklaşık olarak % 100 daha fazladır. Uranyum yoğunluğunun daha fazla olması, doğal radyoaktivitenin büyük bir kısmını oluşturmasından kaynaklıdır.

Toprak numunelerine ait soğurulan doz miktarı 12,7 nSv'dir. Soğurulan doz miktarının dünya ortalaması 70 μSv , bu da Keban Baraj Gölü'nün sularının soğurulan doz miktarı dünya ortalamasının altında olduğu anlamına gelir.

Tablo 5 : Su numuneleri radyoaktivite seviyeleri

İst. No.	Enlem	Boylam	Numune Hacmi (L)	^{238}U (Bq/L)	^{232}Th (Bq/L)	^{40}K (Bq/L)
1	38.6049	39.4087	0,1	32,376	9,398	12,442
2	38.6049	39.4307	0,1	2,611	4,003	1,934
3	38.6097	39.4476	0,1	21,410	13,923	4,456
4	38.6117	39.4687	0,1	11,488	4,351	5,717
5	38.6255	39.4755	0,1	8,877	5,3951	8,407
6	38.6233	39.4997	0,1	3,133	2,088	6,726
7	38.6346	39.5195	0,1	2,089	1,914	6,389
8	38.6362	39.5437	0,1	17,233	4,873	7,987
9	38.6447	39.5691	0,1	8,877	8,528	4,876
10	38.6723	39.4851	0,1	10,444	7,657	10,425
11	38.6511	39.4490	0,1	6,789	5,743	3,951
12	38.6388	39.4255	0,1	21,410	9,572	4,12
13	38.6277	39.4071	0,1	13,577	1,740	6,894
14	38.6152	39.3857	0,1	10,444	2,262	9,248
Ortalama			0,1	12,19	5,81	6,680

Keban Baraj Gölü'nden bahar döneminde alınan su numunelerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri Tablo 5'da görülmektedir. Tablo 5'teki değerlere göre, ^{238}U aktivitesi ortalama 12,19 Bq/L, ^{232}Th aktivitesi ortalama 5,81 Bq/L ve ^{40}K aktivitesi 6,68 Bq/L olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçüm ve hesaplamalarda bağıl hata % 5-15 aralığındadır. Bu değer, kabul edilebilir hata düzeyindedir. Uranyum yoğunluğu toprakta olduğu gibi suda da yüksek bir değere sahiptir. Buna karşılık olarak, ^{40}K yoğunluğu, ^{232}Th yoğunluğundan daha fazladır. Bu da ^{232}Th 'nin suda ^{40}K 'tan daha iyi taşındığını gösterir. Toprak değerlerine ait soğurulan doz miktarı $8 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}$ ile ortalamanın altındadır.

Topraktan alınan numunelerin aktivite değeri, sudan alınan numunelerin aktivite değerinden daha düşük çıkmıştır. Kış döneminde meydana gelen yağışlar, göl içerisine bol miktarda materyal ve yağmur suyu taşıdıklarından bahar döneminde bir artış olması

beklenen bir sonuçtur. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, kaya numunelerinin ^{238}U aktivitesi ortalama 200 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 20 Bq/kg ve ^{40}K aktivitesi 300 Bq/kg olduğu belirlenmiştir. [52-54] Bu durum kaya numunelerinde normalden fazla miktarda doğal aktivitenin mevcut olduğunu göstermektedir. Kaya şeklinde bulunan coğrafi oluşumlar zamanla ufalanarak toprağa karışmaktadır. Toprağa karışan kaya parçacıkları yer altı suları ile yeryüzüne dağılmaktadır. Böylece doğal radyoaktivitenin yeryüzüne yayılmasını sağlamaktadır.

Tablo 6 : Toprak numuneleri radyoaktivite seviyeleri

İst. No.	Boylam	Enlem	BPA (g)	DPA (Kg)	^{238}U (Bq/Kg)	^{232}Th (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
1	39.3868	38.6090	1,3420	1,4043	0,01145	0,00534	0,00012
2	39.4075	38.6047	1,2512	1,4217	0,00289	0,00360	0,00205
3	39.4320	38.6039	1,3703	1,5377	0,00727	0,00824	0,00916
4	39.4869	38.6895	1,3466	1,4047	0,02011	0,00882	0,00268
5	39.4771	38.6634	1,3655	1,4813	0,01128	0,00522	0,00080
6	39.5225	38.6377	1,1843	1,3953	0,00917	0,00569	0,00042
7	39.5047	38.6266	1,2404	1,3947	0,00670	0,00545	0,00133
8	39.4782	38.6136	1,3264	1,4917	0,01123	0,00975	0,00709
9	39.4547	38.6191	1,2944	1,3973	0,01045	0,00476	0,00334
10	39.4026	38.6221	1,1700	1,3160	0,01299	0,00685	0,00944
11	39.4311	38.6375	1,1445	1,3253	0,01443	0,00627	0,01159
12	39.4633	38.6428	1,2621	1,3443	0,01583	0,00580	0,00934
13	39.5022	38.6600	1,3374	1,4523	0,00290	0,00638	0,01061
14	39.4933	38.6746	1,3739	1,4823	0,01763	0,00151	0,00199
15	39.5124	38.6818	1,3836	1,4200	0,03101	0,00696	0,00172
16	39.5337	38.6722	1,3855	1,5013	0,00776	0,00766	0,00544
17	39.5561	38.6607	1,2771	1,4393	0,01059	0,00441	0,00384
18	39.5816	38.6516	1,3593	1,4903	0,01220	0,00383	0,00355
19	39.5485	38.6429	1,3499	1,4720	0,00462	0,00696	0,00699
Ortalama					0,011	0,005	0,004

Elde edilen değerler içme suyunun dünya standartlarıyla karşılaştırıldığında, Keban Baraj Göl'üne ait doğal radyoaktivite değerlerinin, standartların üstünde olduğu görülmektedir. Mevcut durumda içme suyu olarak kullanılmamakta olan Keban Baraj Gölü suyunun, gerekli arıtma yapılmadan içme suyu için uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

Tabii sağlık açısından tehlike arz edip etmediği için gl üzerinde yıllarca çalışma yapılması gerekir. Bu nedenle bu aktivite değerlerinin çevresel şartlarla beraber zamanla seyreleceği açıktır.

EPA'dan alınan içme suyu değerleri ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar Tablo 7'de görülmektedir [55].

Kullanım suyuna yönelik standartlara literatürde rastlanmamıştır.

Tablo 7 : EPA içme suyu sınır değerleri ve deneysel sonuçların gösterimi

Radyoçekirdek Konsantrasyonu (Bq /L)			
	⁴⁰K	²³⁸U	²³²Th
EPA	1,85	0,99	0,296
Bu alıřma (Ortalama Aktivite)	6,68	12,19	5,81

KAYNAKLAR

- [1] **Livens, F.R., Rimmer, D.L.**, 1988, Physico-chemical Controls on Artificial Radionuclides in Soil, Soil Use and Management, **4**, 63–69.
- [2] **Jaaworowski, Z., Hoff, P., Hagen, J.O., Maczek, W.**, 1997. A Highly Radioactive Chernobyl Deposit in a Scandinavian Glacier, Journal of Environmental Radioactivity, **35**, 91- 108.
- [3] **Van Der Perk, M., Lev, T., Gillett, A.G.**, 2000. Spatial Modelling of Transfer of Long-Lived Radionuclides from Soil to Agricultural Products in the Chernigov Region, Ukraine, Ecological Modelling, **128**, 35–50.
- [4] **Monte, L.**, 1998. Predicting the Long Term Behaviour of ⁹⁰Sr İn Lacustrine Systems by a Collective Model, Ecological Modelling, **106**, 141–159.
- [5] **Student**, 1907. On the Error of Counting with a Hemacytometer, Biometrika, **5**, 351-360.
- [6] **Fisher, R.A.**, 1935. The Design of Experiments, Oliver and Boyd, Edinburg.
- [7] **Yates, F.**, 1938. The Comparative Advantages of Systematic and Randomized Arrangements in the Design of Agricultural ang Biological Experiments, Biometrika, **303**, 444-466.
- [8] **Külahcı, F., Şen, Z.**, 2008, Multivariate Statistical Analyses of Artifical Radionuclides and Heavy Metals Contamintions in Deep Mud of Keban Dam Lake, Turkey, Applied Radiation and Isotopes, **66**, 236-246.
- [9] **Matheron G.**, 1963. Principle of Geostatistics, Economic Geology, **58**, 1246-1266.
- [10] **Şen, Z.**, 1989a. Cumulative Semivariogram Models of Regionalized Variables, Mathematical Geology, **21**, 891-903.
- [11] **Şen, Z.**, 1998. An Application of a Regional Air Pollution Estimation Model over Istanbul Urban Area, Atmospheric Environment, **32**, 3425-3433.
- [12] **Külahcı, F., Şen, Z.**, 2007. Spatial Dispersion Modeling of Sr-90 by Cumulative Semivariogram at Keban Dam Lake, Turkey, Applied Radiation Isotopes, **65**, 1070-1077.
- [13] **Külahcı, F., Şen, Z.**, 2009a. Spatio-temporal Modeling of Pb-210 Transportation in Lake Environments, Journal of Hazardous Materials, **165**, 525-532.
- [14] **Liden, K.**, 1974. Special Radiation Units and for SI Units, Health Physics, **26**, 583-584.

- [15] **Külahcı, F.**, 2005, Keban Baraj Gölü Uluova Kesiminin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] **Beck, H.L., Decompo, J., Gologak, J.**, 1992. In-Situ Ge (Li) and NaI (Tl) Gamma Ray Spectrometry. HASI-258.
- [17] www.taek.gov.tr, Erişim 19.05.2013.
- [18] www.who.int, Guidelines for Drinking Water Quality Third Edition Incorporating the First and Second Addenda, Volume 1 Recommendations, Erişim: 12.05.2013.
- [19] **Cowart, J.B., Burnett, W.C.**, 1994, The Distribution of U and Th decay-series radionuclides in the environment-A Review, Journal of Environmental Quality, 23, 651-662.
- [20] **F.W. Lytle, R.B. Greigor, D.R. Sandstrom, E.C. Marques, J., Wong, C.L. Spiro, G.P. Huffman, F.E. Huggins**, 1984, Measurement of Soft X-ray Absorption Spectra with a Fluorescent ion Chamber Detector, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **226**, 542-548.
- [21] **Fernández, A. T., M. Vargas, J., Sánchez, A. M.**, 2010, A method to Reproduce Alpha-Particle Spectra Measured with Semiconductor Detectors ,Applied Radiation and Isotopes, **68**, 941-945.
- [22] **Külahcı, F., Şen, Z.**, 2009c, Risk Assessment of Distribution Coefficient from Cs-137 Measurements, Environmental Monitoring and Assessment, **149**, 363-370.
- [23] **Valković, V.**, 2000, Radioactivity in the Environment, Elsevier, Ruder Boskovic Institute, Zagreb, Croatia.
- [24] **Samat, S. B.**, 1997, Activity of One Gram of Potassium, Physics in Medicine and Biology, **42**, 407.
- [25] **Engelkemeir, D.W., Flynn, K.F., Glendenin, L.E.**, 1962, Positron Emission in the Decay of K-40, Physical Review, **126**,5.
- [26] **World Nuclear Association**, Thorium, Erişim 12.04.2013
- [27] WHO, 2001, Depleted Uranium, Sources, Exposure and Health Effects.
- [28] **Scott, M.R.**, 1982, The Chemistry of U and Th Series Nuclides in Rivers, In Ivanovich and R. S. Harmon U-series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems: Oxford University Press, Oxford, 181-201
- [29] **Luetkepohl, H., Kraetzing, M., and Philips, P. C. B.**, 2004. Applied Time Series Econometrics, Cambridge University Press, West Nyack, New York.

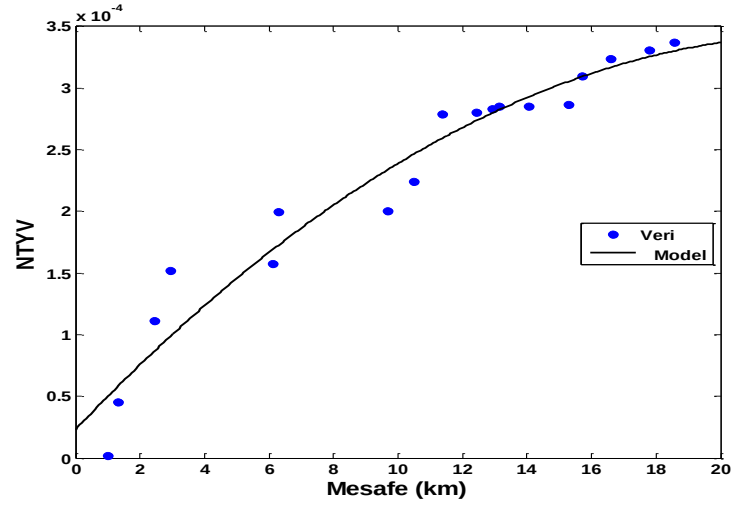
- [30] **Clark, I.**, 1979. The Semivariogram-Part 1., Engineering and Mining Journal, 7, 90-94.
- [31] **Myers, D. E., Begovich, C. L., Butz, T. R., and Kane, V. E.**, 1982. Variogram Models for Regional Groundwater Geochemical Data, Mathematical Geology, **14**, 629-644.
- [32] **Journel, A.G.**, 1986, Geostatistics Models and Tools for the Earth Sciences, Mathematical Geology, **18**, 119-140.
- [33] **Carr, J. R., Bailey, R. E. and Denge, E. D.**, 1985. Use of Indicator Variograms for Enhanced Spatial Analysis, Journal of Mathematical Geology., **17**, 797-812.
- [34] **Matheron, G.**, 1970, Random Structures and Mathematical Geology, Revue De L Institut International De Statistique-Review of The International Statistical Institute 38, (1).
- [35] **Külahcı, F., Şen, Z., Kazanç, S.**, 2008. Cesium Concentration Spatial Distribution Modeling by Point Cumulative Semivariogram, Water, Air, Soil, Pollution, **195**, 151-160.
- [36] **David, M.**, 1977. Geostatistical ore Reserve Estimation, Elsevier, New York.
- [37] **Deutsch S. J., and Preiffer P.E.**, 1981. Space-time ARMA Modelling with Contemporaneously Correlated Innovations, Technometrics, **23**, 401-409.
- [38] **Özger, M., Şen, Z.**, 2008. Üçlü Diyagram Yöntemi ile Dalga Karakteristiklerinin Tahmini, İTÜ Dergisi.
- [39] **Clark, I.**, 2001. Practical Geostatistic, Allos Business Centre, England.
- [40] **Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M.**, 1989. Applied Geostatistic, Oxford University Press, New York.
- [41] **Uyar, H.**, 2005. Jeoviar3: Jeostatistiksel Variogram Analizleri ve Kriging Teknikleri Bilgisayar Yazılımı, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] **Journel, A., and Huijbregts, C. J.**, 1978. Mining Geostatistics, Academic Press, New York.
- [43] **Chen, Q., Gong, P.**, 2004 Automatic Variogram Parameter Extraction for Textural Classification of the Panchromatic, Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **42**, 1106-1114.

- [44] **Clark, I.**, 1977, Regularization of semivariogram, *Computers and Geoscience.*, **3/2**, 341-346.
- [45] **Şen, Z.**, 1998. Point Cumulative Semivariogram for Identification of Heterogeneties in Regional Seismicity of Turkey, *Mathematical Geology*, **30**, 767-787.
- [46] **Şen, Z., Şahin, A. D.**, 2001. Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms, *Solar Energy*, **71**, 11-21.
- [47] **Şen, Z.**, 1997. Objective Analysis of Cumulative Semivariogram Technique and its Application in Turkey, *Journal of Applied Meteorology and Climatology.*, **36**, 1712-1720.
- [48] **Şen, Z., Öztopal, A.**, 1999, İstanbul Hava Kirliliği Verilerinin Tesir Yarıçapları, **23**, 71-81.
- [49] **Külahcı, F., Şen, Z.**, 2009b. Potential Utilization of the Absolute Point Cumulative Semivariogram Technique for the Evaluation of Distribution Coefficient, *Journal of Hazardous Materials*, **168**, 1387-1396.
- [50] **Şen, Z., Şahin, A. D.**, 1998. Regional Wind Enerjy Evaluation in Some Parts of Turkey, *Journal of Wind Engineer and Indust. Aerody.*, **37**, 740-741.
- [51] **Şengün, M.T.**, **2008**, Uluova’da Jeomorfolojik Birimler ile Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler, *Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, Elazığ.
- [52] **I.A., Olowofela, J.A.**, 2008. Distribution of Some Natural Gamma-Emitting Radionuclides in the Soils of the Coastal Areas of Nigeria, *Journal of Environmental Radioactivity*, **99**, 1746–1749.
- [53] **Oyedele, J.A., Shimboyo, S., Sitoka, S., Gauseb, F.**, 2010. Assessment of natural radioactivity in the soils of Rössing Uranium Mine and its Satellite Town in Western Namibia, southern Africa, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **619**, 467 - 469.
- [54] **Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G.**, 2008. Radioactivity Concentration and Dose Assessment for Soil Samples Around Adana, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*, **99**, 1018-1025.
- [55] www.epa.gov/drinking water, Erişim 10.08.2013

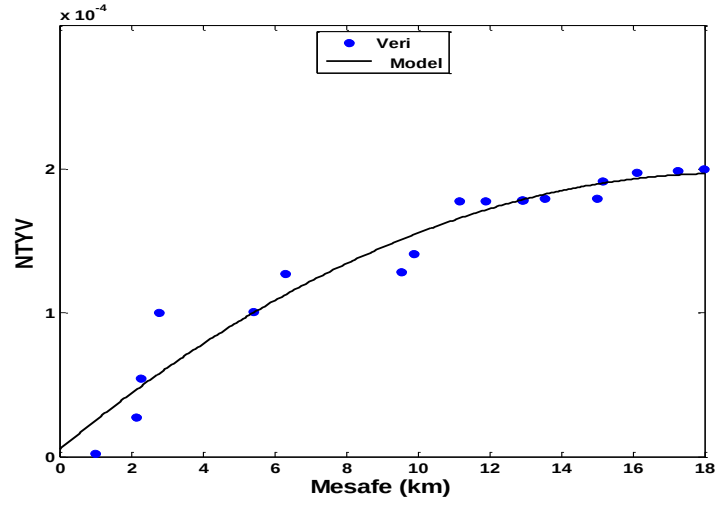
EKLER

EK-1

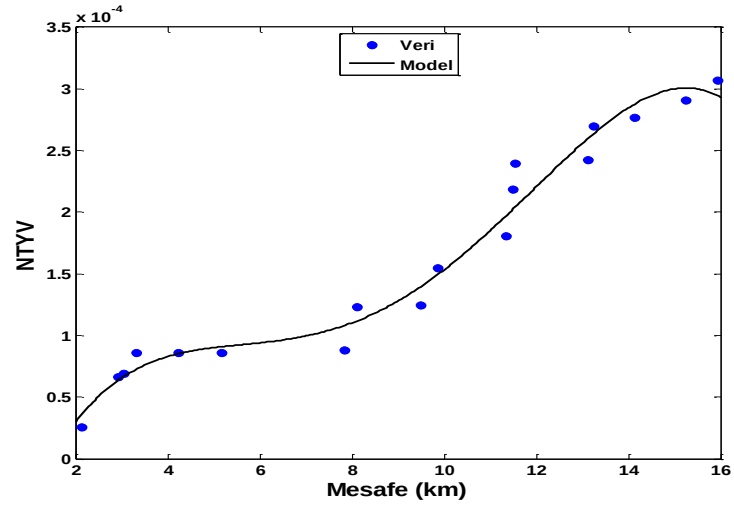
⁴⁰K Toprak Numuneleri Grafikleri



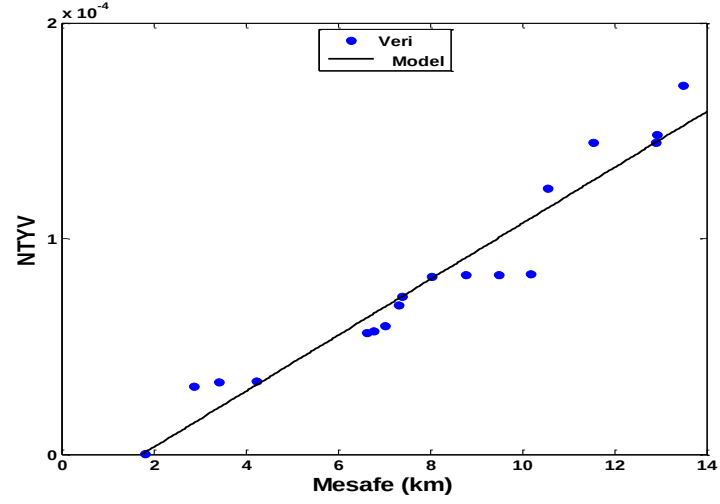
Ek-1-Şekil 1: K-40 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-mesafe grafiği



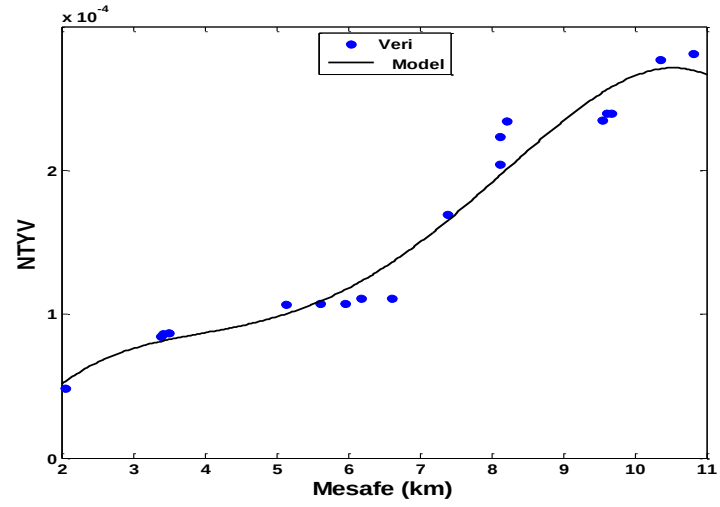
Ek-1-Şekil 2: K-40 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-mesafe grafiği



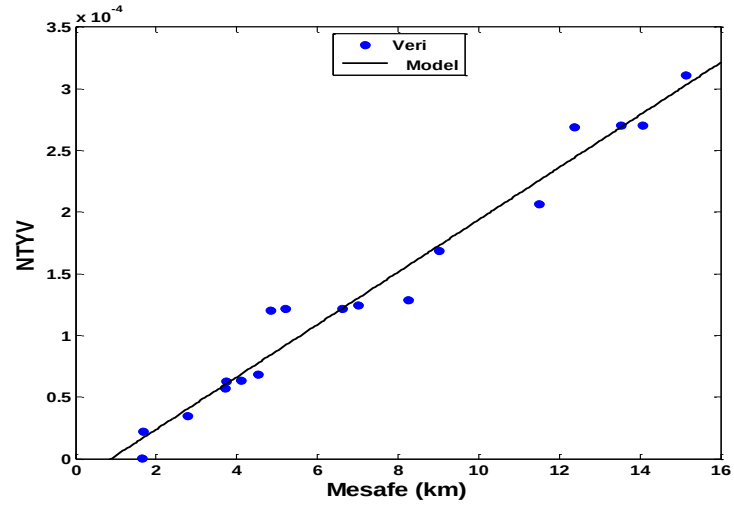
Ek-1-Şekil 3 : K-40 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-mesafe grafiği



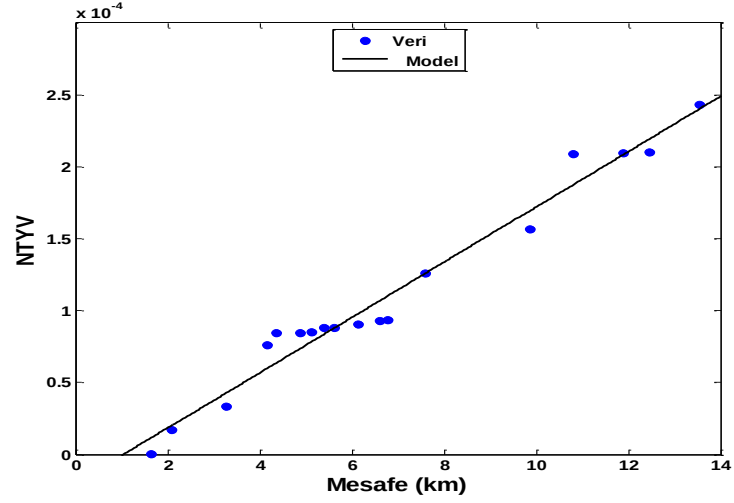
Ek-1-Şekil 4 : K-40 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-mesafe grafiği



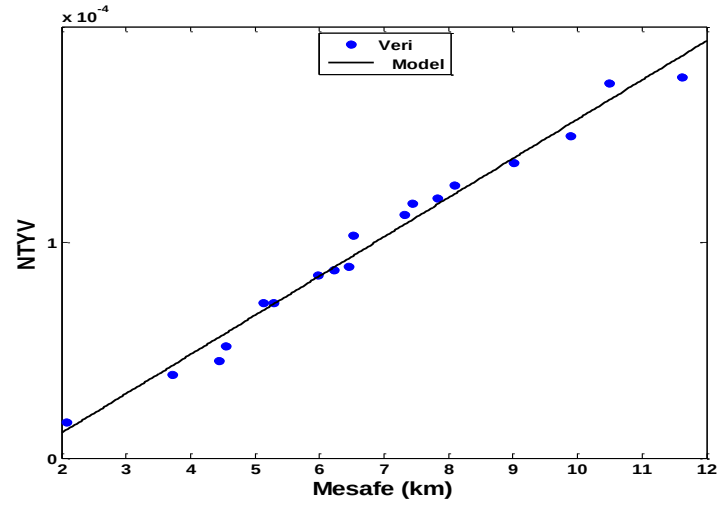
Ek-1-Şekil 5 : K-40 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-mesafe grafiği



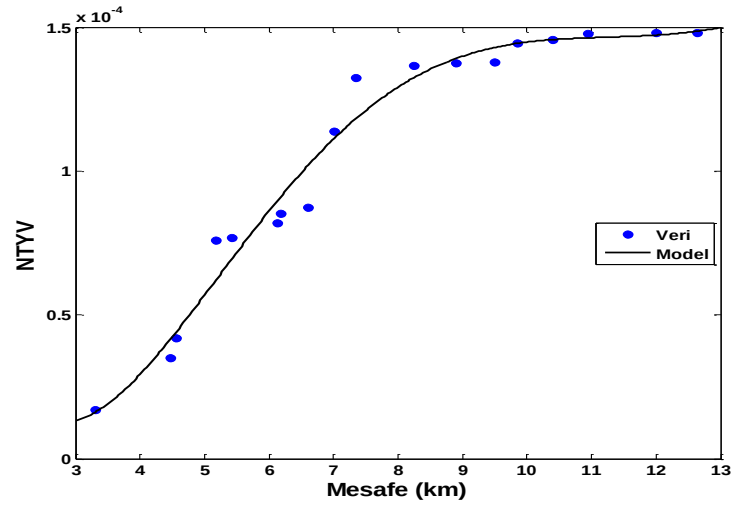
Ek-1-Şekil 6 : K-40 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-mesafe grafiği



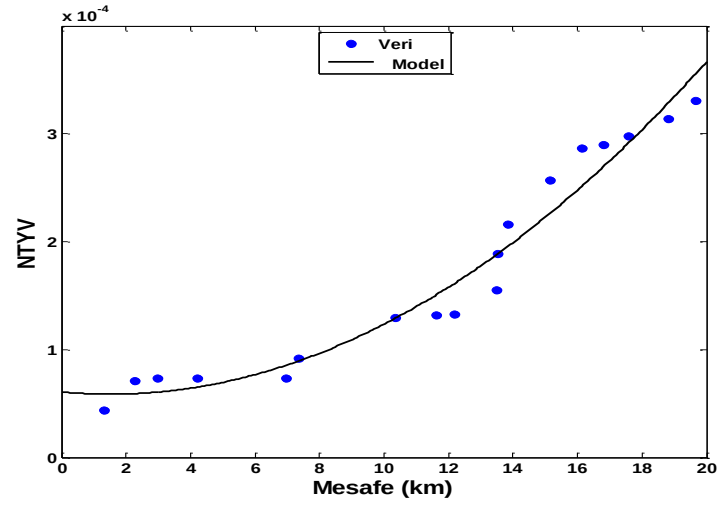
Ek-1-Şekil 7 : K-40 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-mesafe grafiği



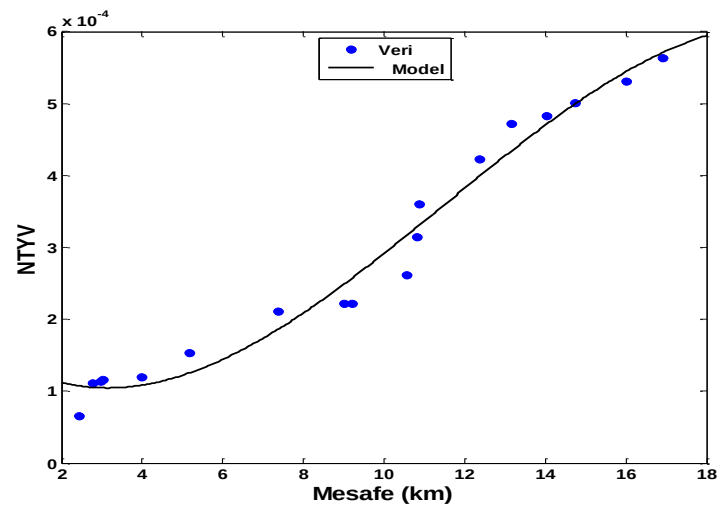
Ek-1-Şekil 8 : K-40 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-mesafe grafiği



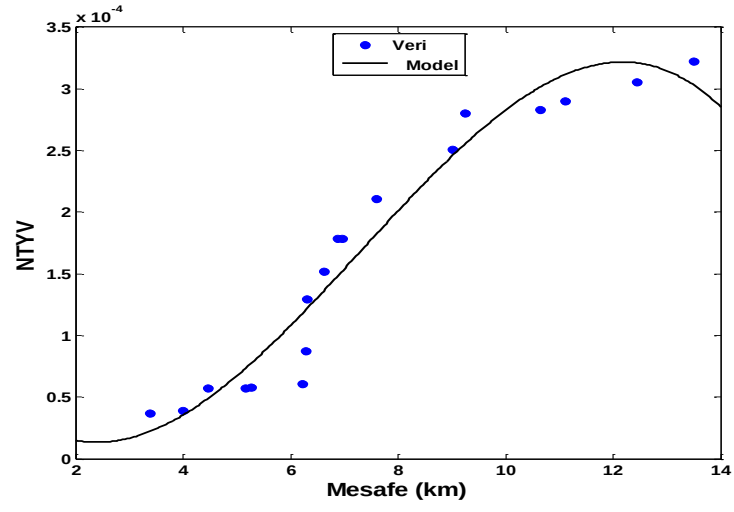
Ek-1-Şekil 9 : K-40 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-mesafe grafiği



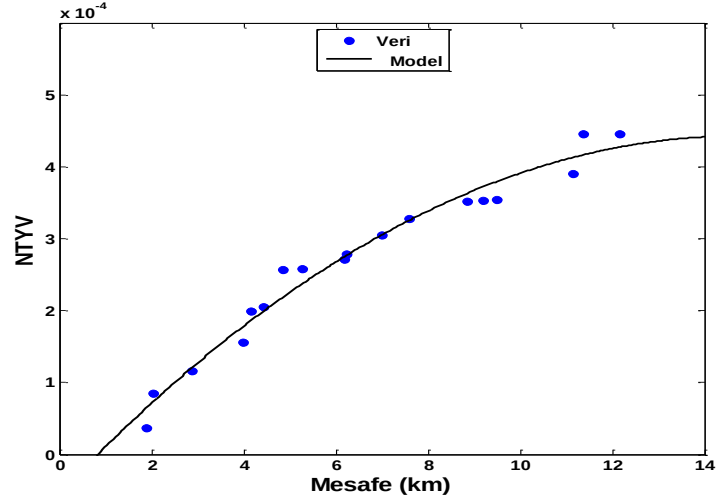
Ek-1-Şekil 10 : K-40 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-mesafe grafiği



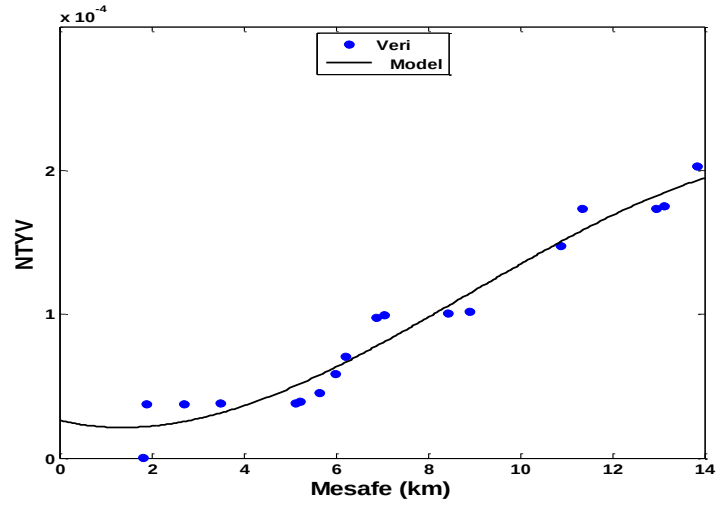
Ek-1-Şekil 11 : K-40 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-mesafe grafiği



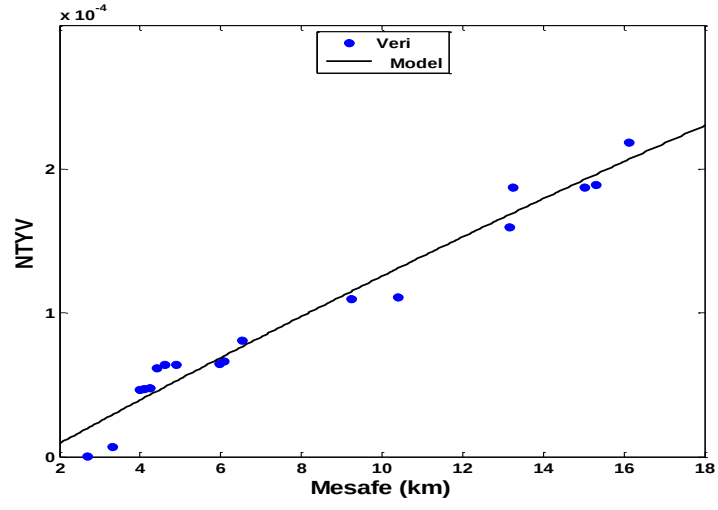
Ek-1-Şekil 12 : K-40 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-mesafe grafiği



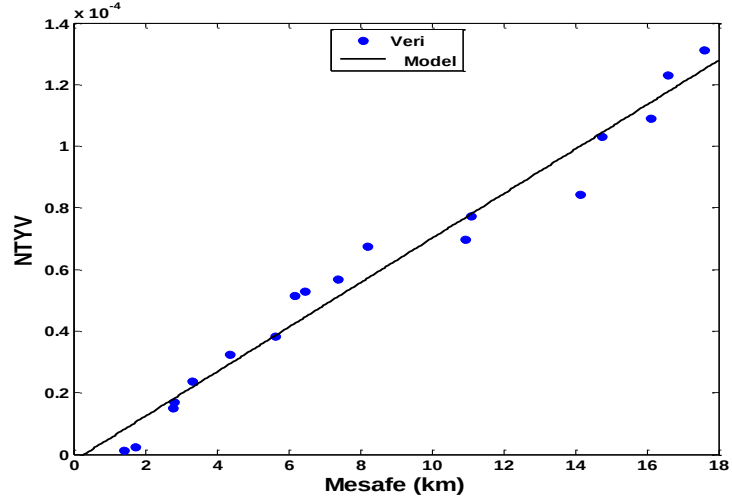
Ek-1-Şekil 13 : K-40 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-mesafe grafiği



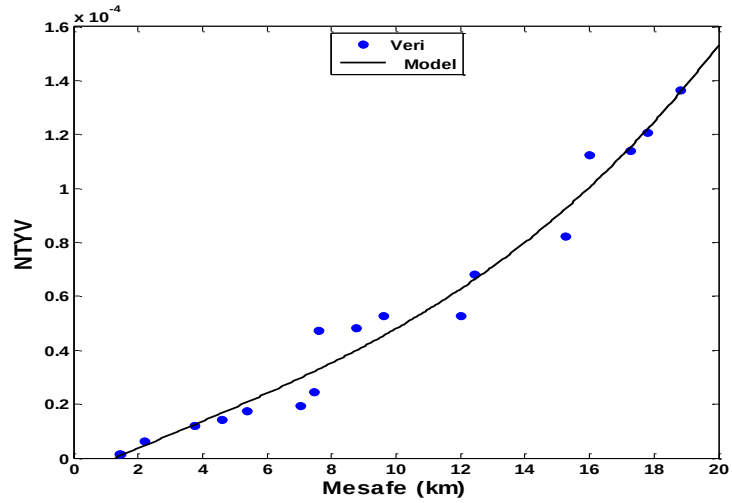
Ek-1-Şekil 14 : K-40 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-mesafe grafiği



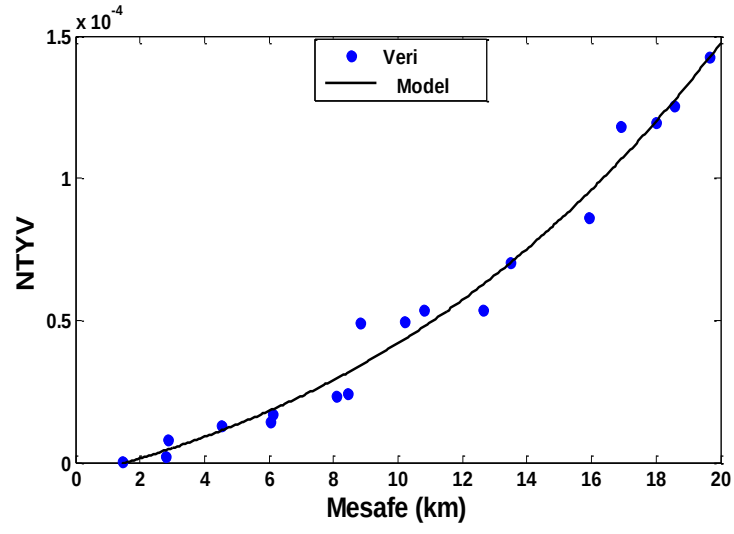
Ek-1-Şekil 15 : K-40 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-mesafe grafiği



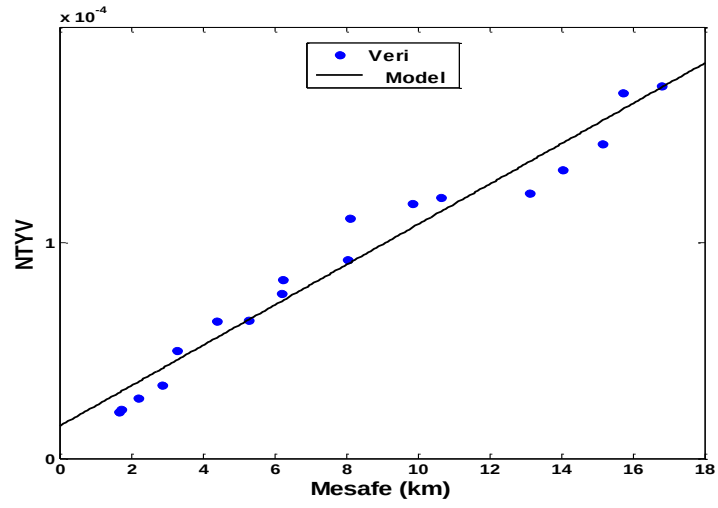
Ek-1-Şekil 16 : K-40 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-mesafe grafiği



Ek-1-Şekil 17 : K-40 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-mesafe grafiği

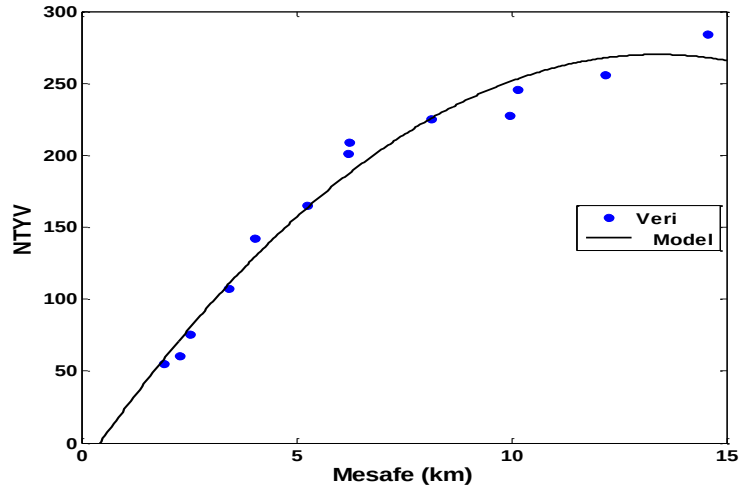


Ek-1-Şekil 18 : K-40 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-mesafe grafiği

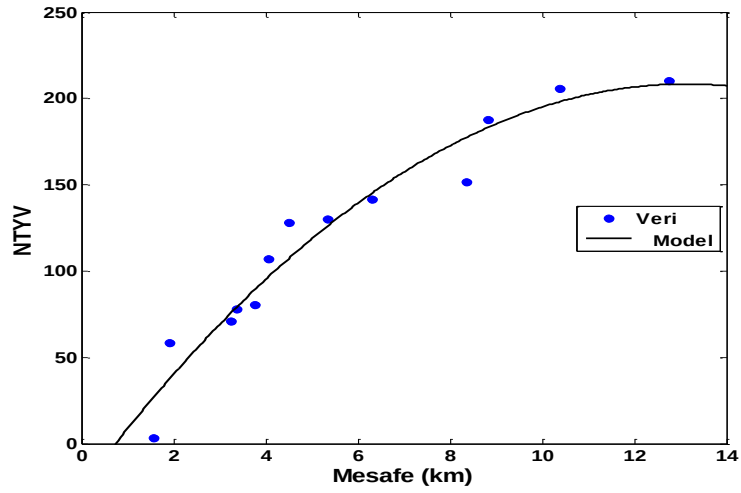


Ek-1-Şekil 19 : K-40 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-mesafe grafiği

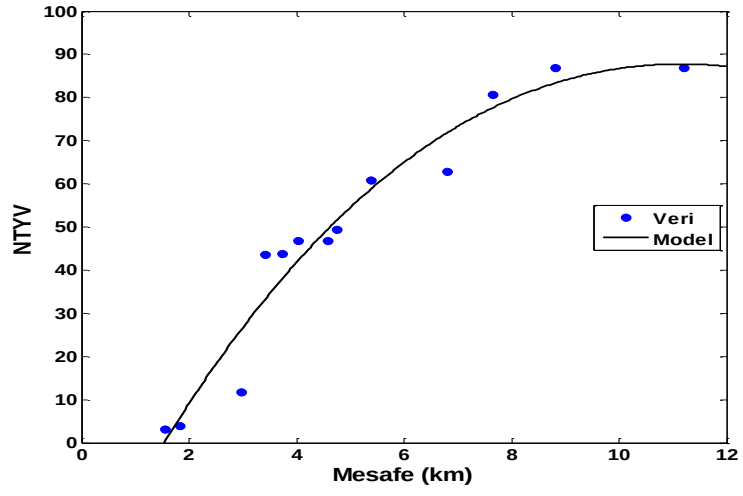
⁴⁰K Su Numuneleri Grafikleri



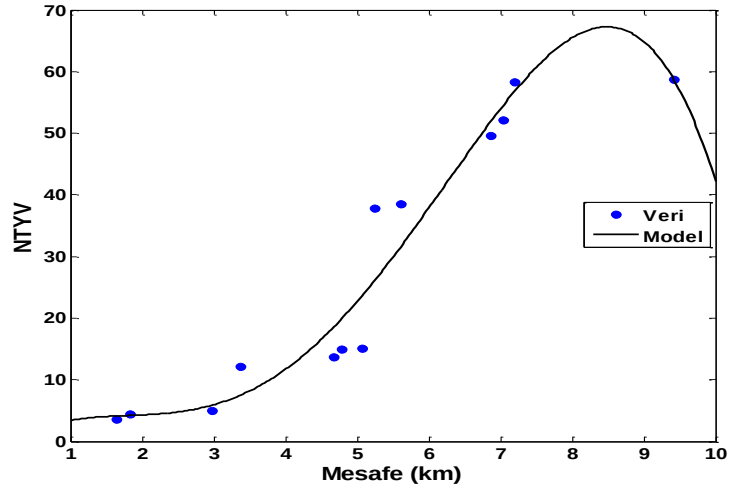
Ek-1-Şekil 20 : K-40 Su numuneleri 1. istasyon NTYV-mesafe grafiği



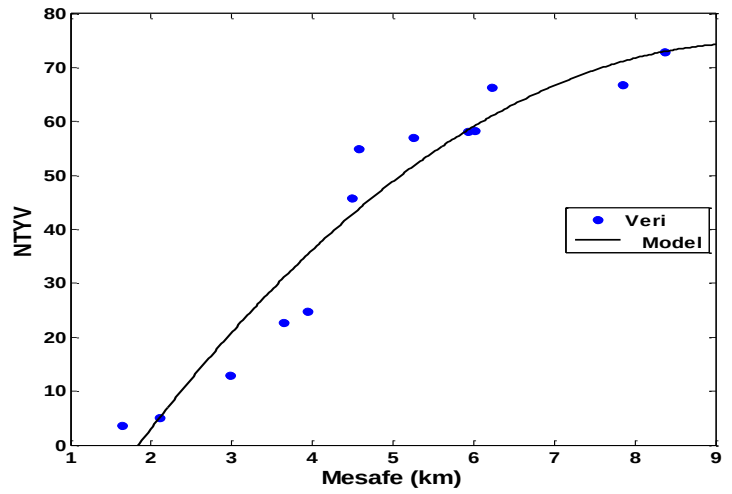
Ek-1-Şekil 21 : K-40 Su numuneleri 2. istasyon NTYV-mesafe grafiği



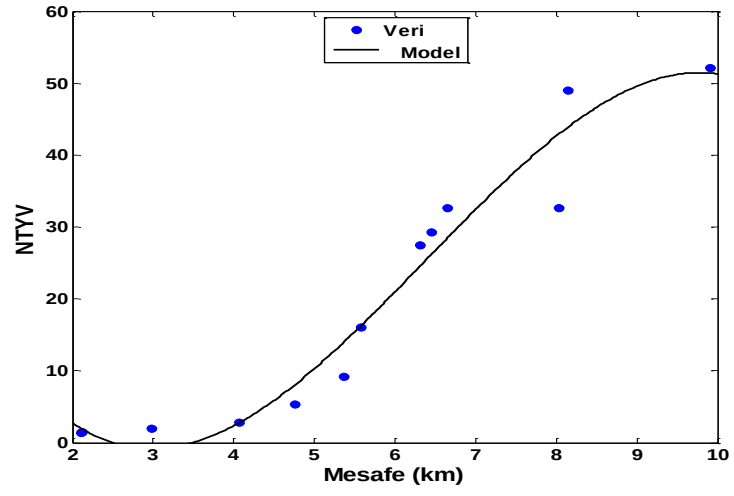
Ek-1-Şekil 22 : K-40 Su numuneleri 3. istasyon NTYV-mesafe grafiği



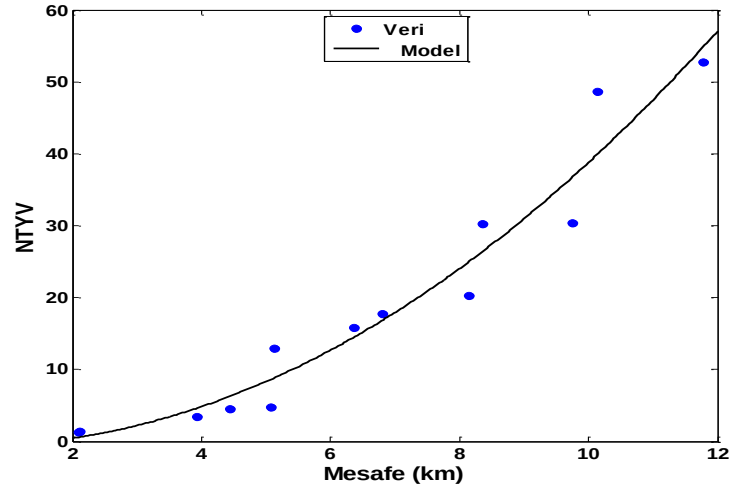
Ek-1-Şekil 23 : K-40 Su numuneleri 4. istasyon NTYV-mesafe grafiği



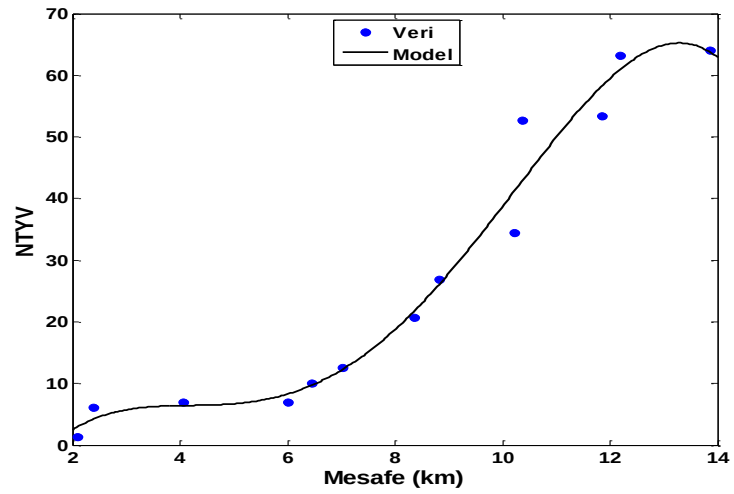
Ek-1-Şekil 24 : K-40 Su numuneleri 5. istasyon NTYV-mesafe grafiği



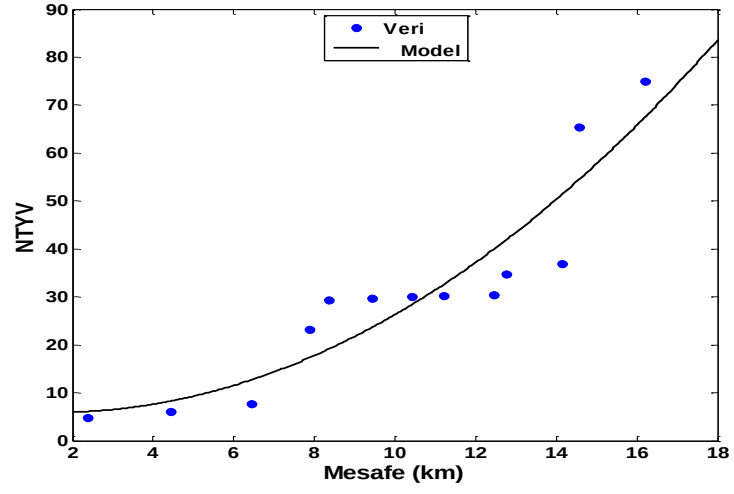
Ek-1-Şekil 25 : K-40 Su numuneleri 6. istasyon NTYV-mesafe grafiği



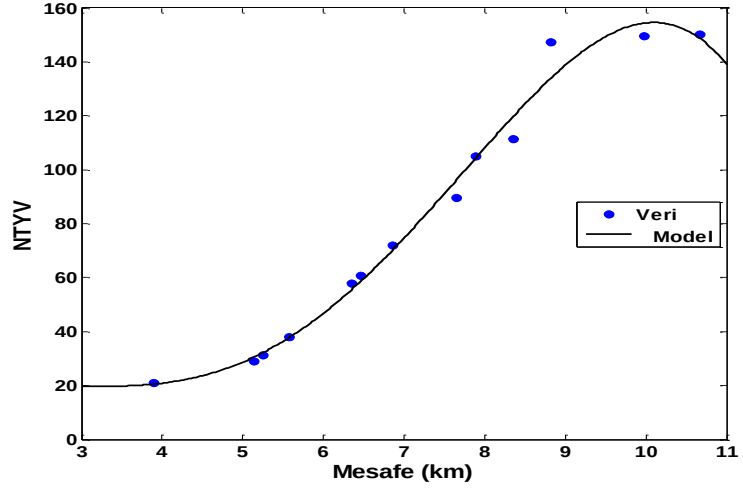
Ek-1-Şekil 26 : K-40 Su numuneleri 7. istasyon NTYV-mesafe grafiği



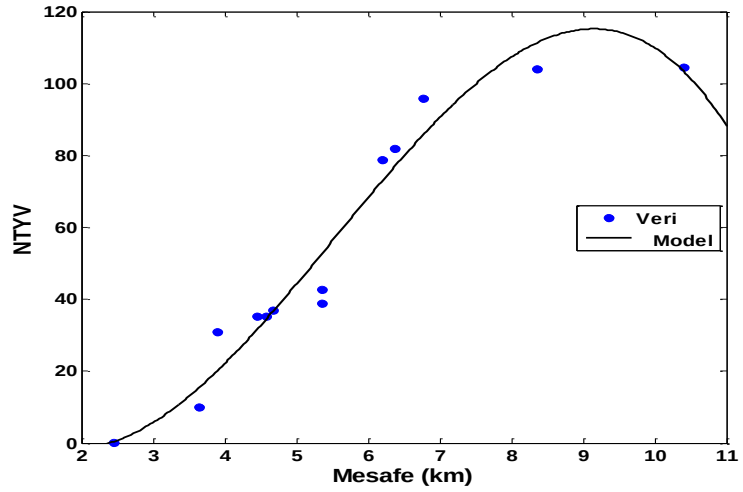
Ek-1-Şekil 27 : K-40 Su numuneleri 8. istasyon NTYV-mesafe grafiği



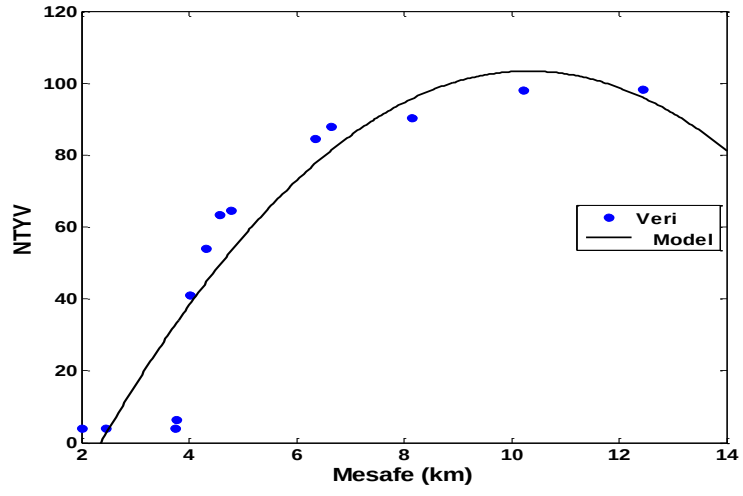
Ek-1-Şekil 28 : K-40 Su numuneleri 9. istasyon NTYV-mesafe grafiği



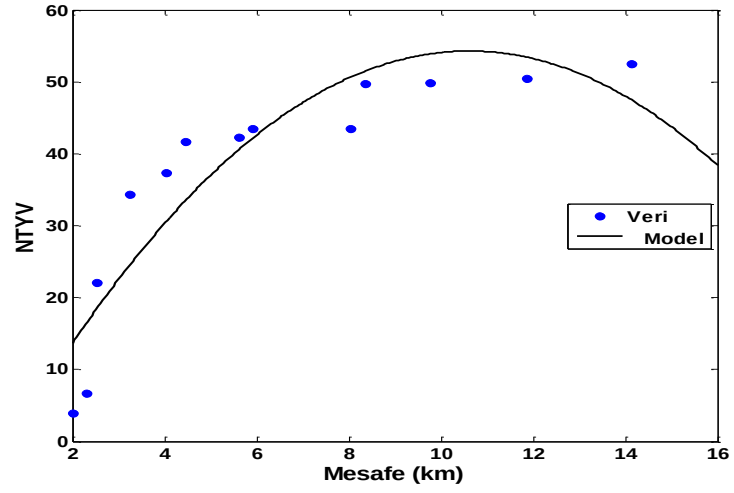
Ek-1-Şekil 29 : K-40 Su numuneleri 10. istasyon NTYV-mesafe grafiği



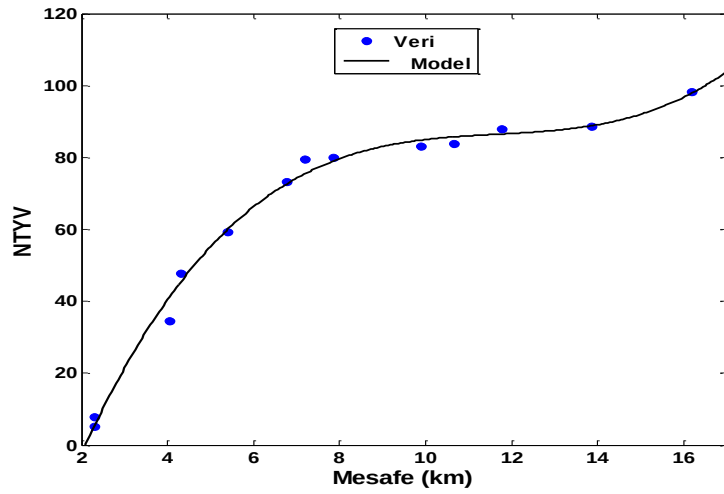
Ek-1-Şekil 30 : K-40 Su numuneleri 11. istasyon NTYV-mesafe grafiği



Ek-1-Şekil 31 : K-40 Su numuneleri 12. istasyon NTYV-mesafe grafiği



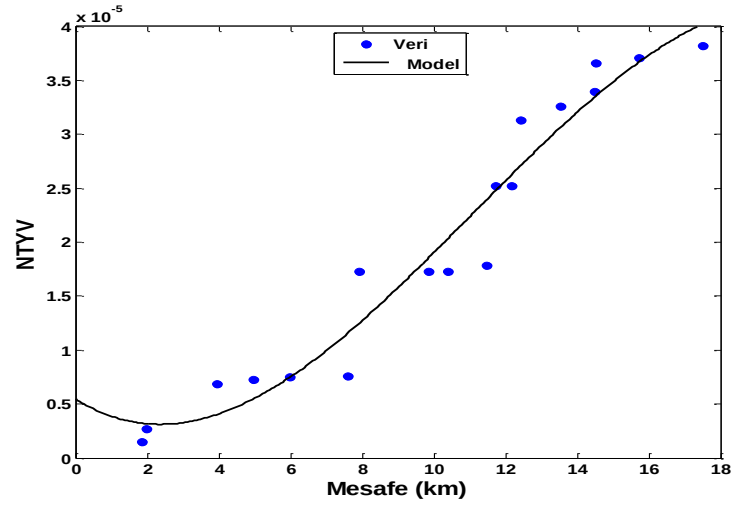
Ek-1-Şekil 32 : K-40 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-mesafe grafiği



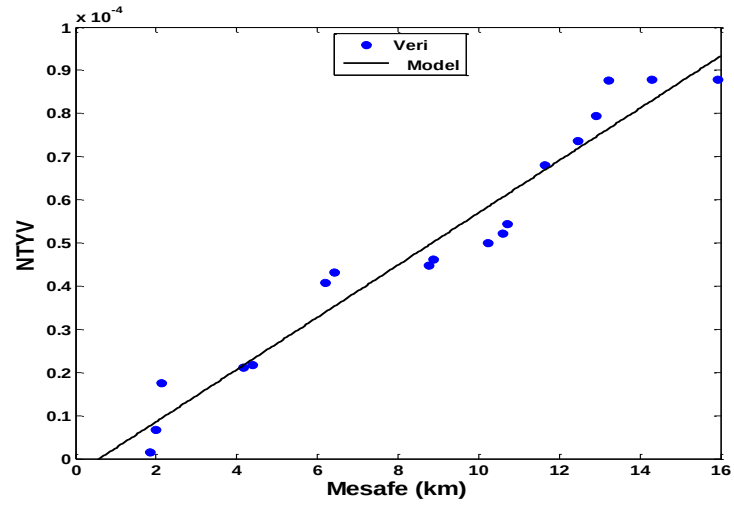
Ek-1-Şekil 33 : K-40 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

EK-2

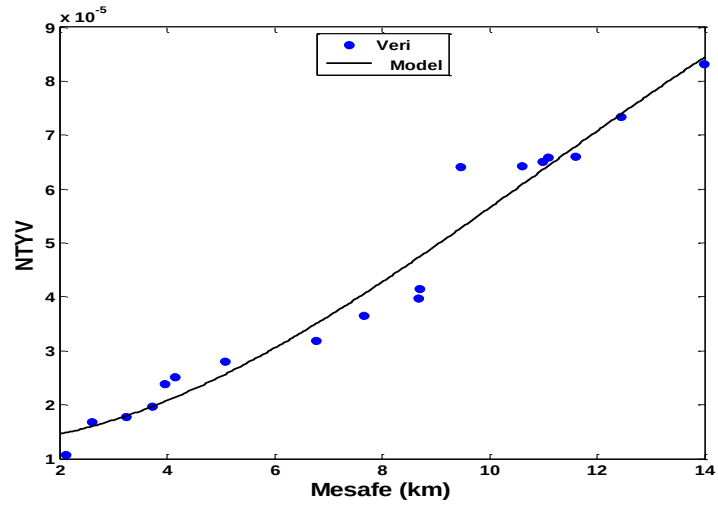
²³²Th Toprak Numuneleri Grafikleri



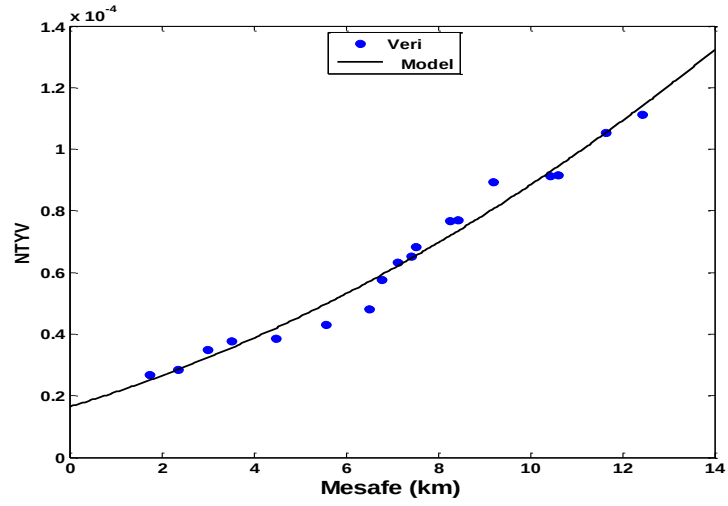
Ek-2-Şekil 1 : Th-232 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



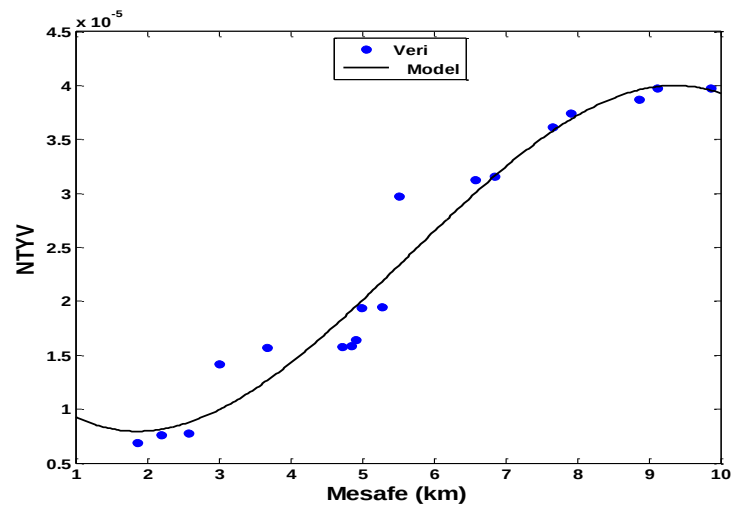
Ek-2-Şekil 2 : Th-232 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



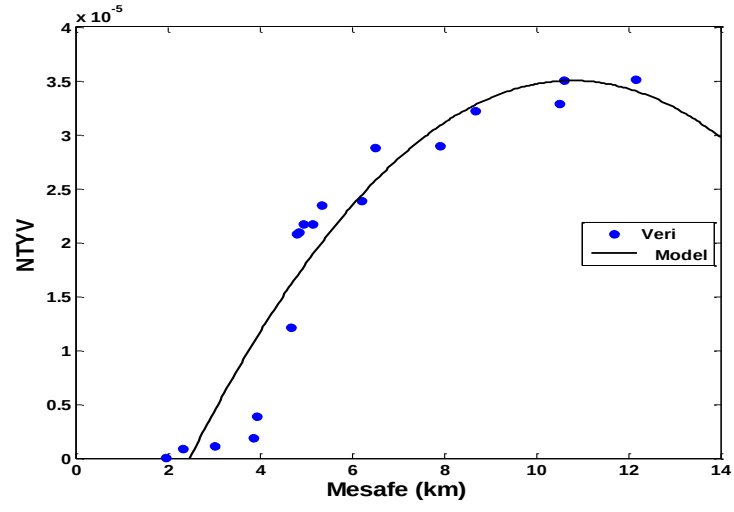
Ek-2-Şekil 3 : Th-232 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



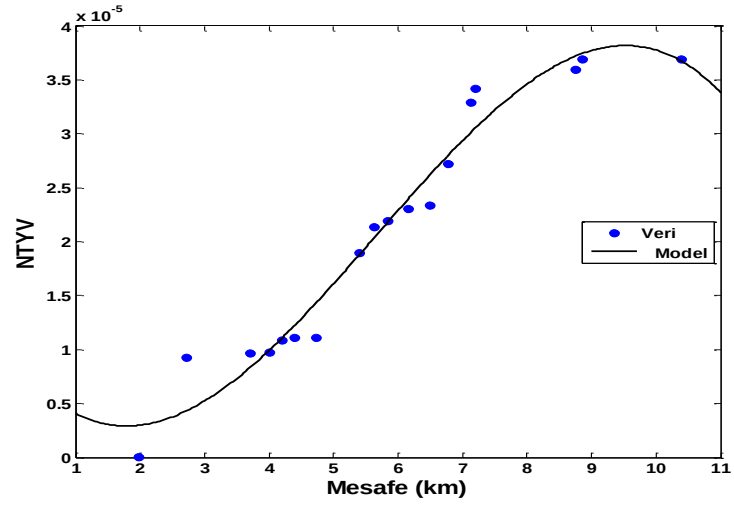
Ek-2-Şekil 4 : Th-232 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



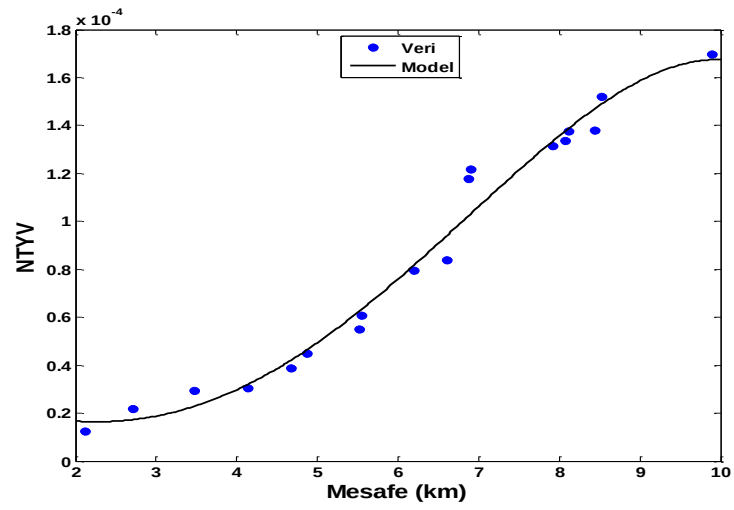
Ek-2-Şekil 5 : Th-232 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



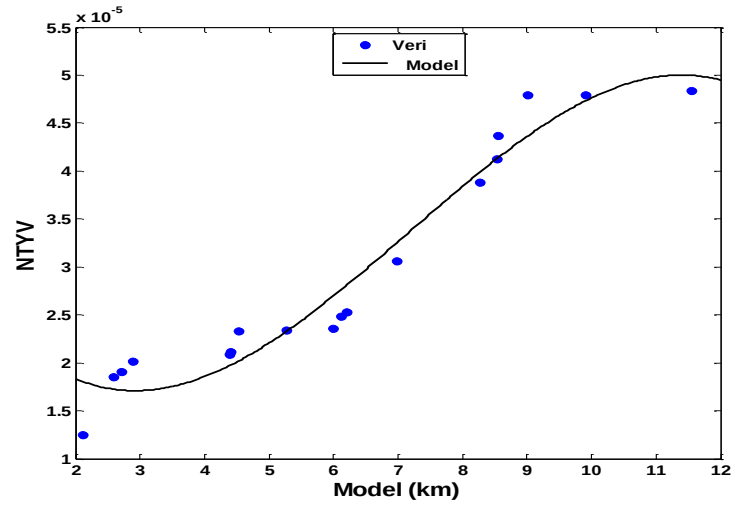
Ek-2-Şekil 6 : Th-232 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



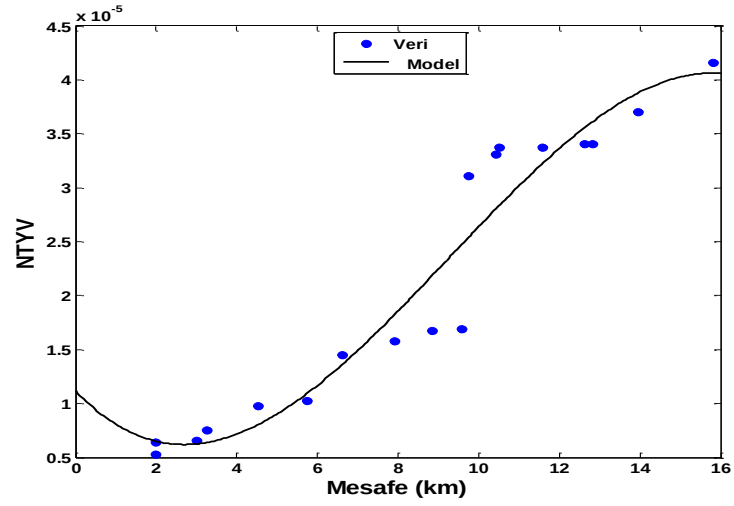
Ek-2-Şekil 7 : Th-232 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



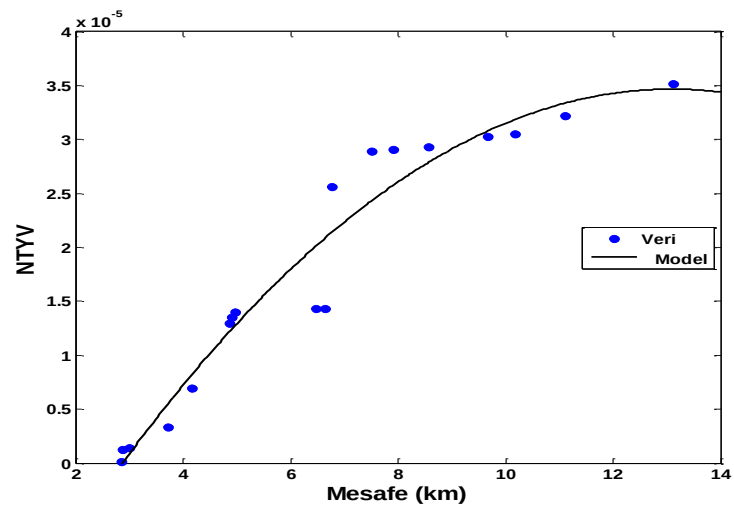
Ek-2-Şekil 8 : Th-232 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



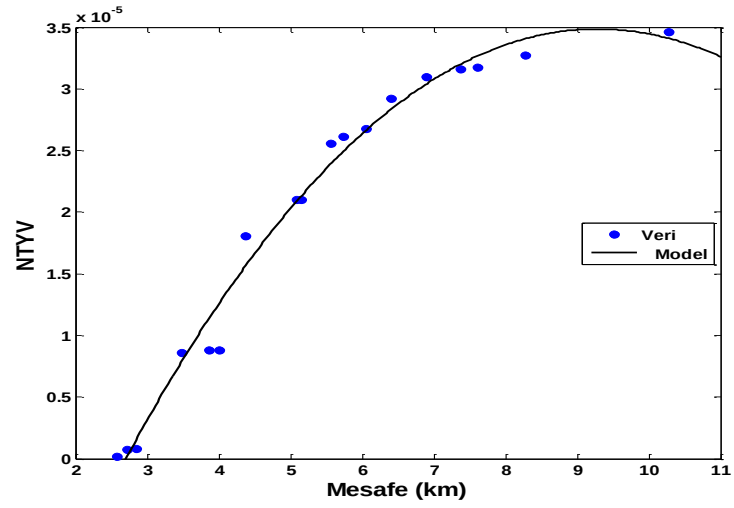
Ek-2-Şekil 9 : Th-232 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



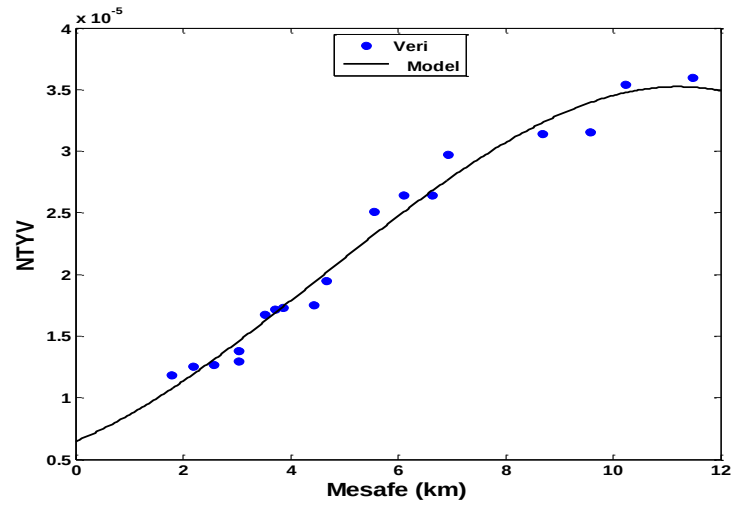
Ek-2-Şekil 10 : Th-232 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



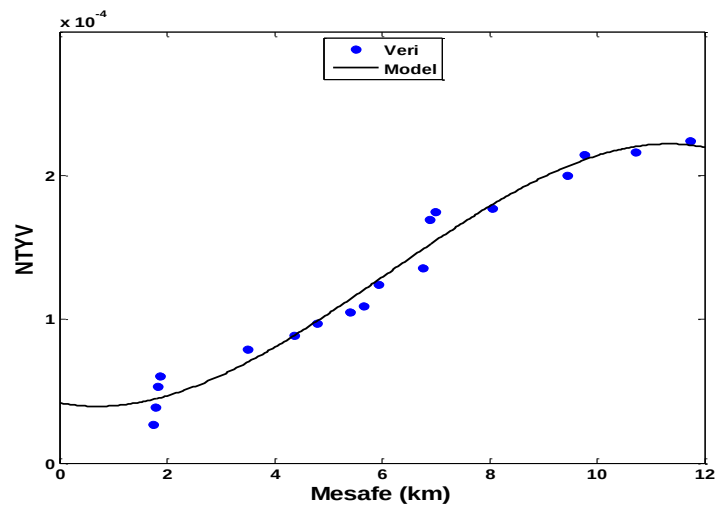
Ek-2-Şekil 11 : Th-232 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



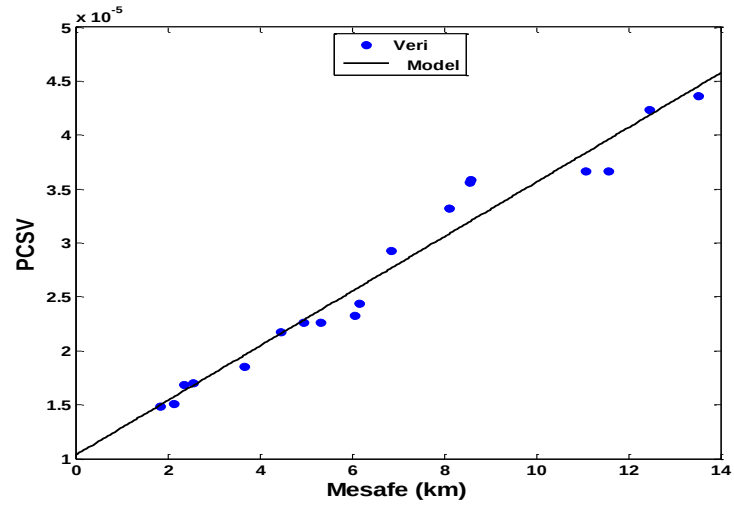
Ek-2-Şekil 12 : Th-232 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



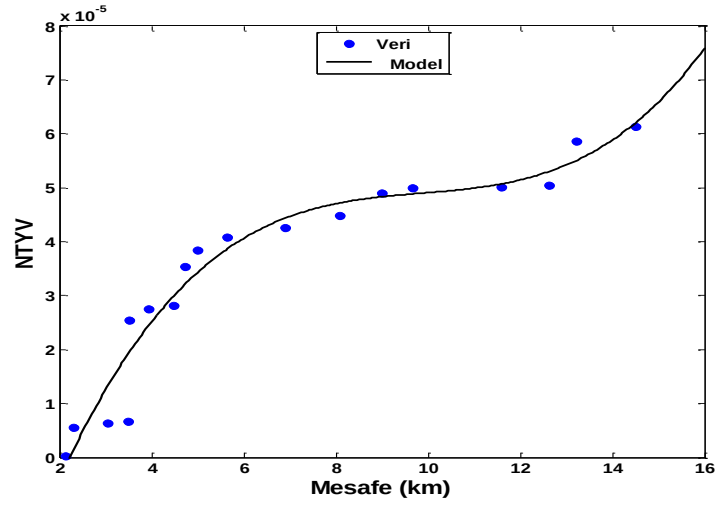
Ek-2-Şekil 13 : Th-232 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



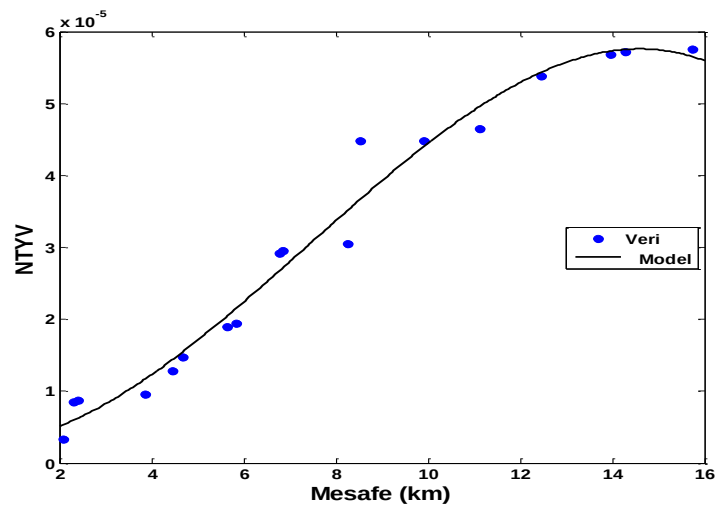
Ek-2-Şekil 14 : Th-232 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



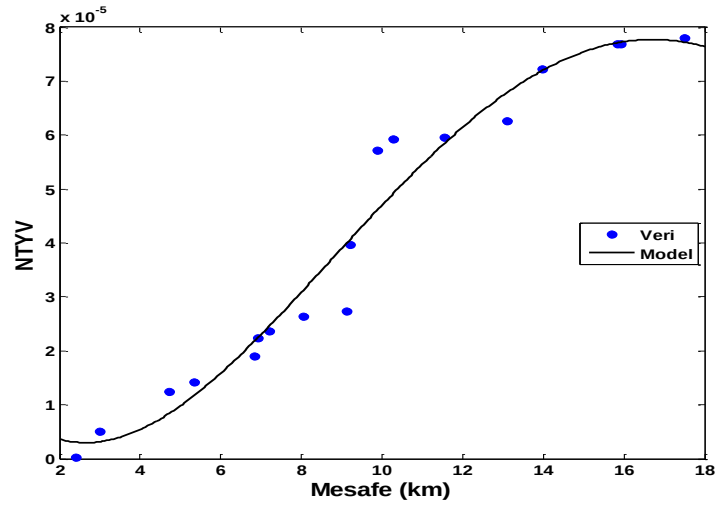
Ek-2-Şekil 15 : Th-232 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



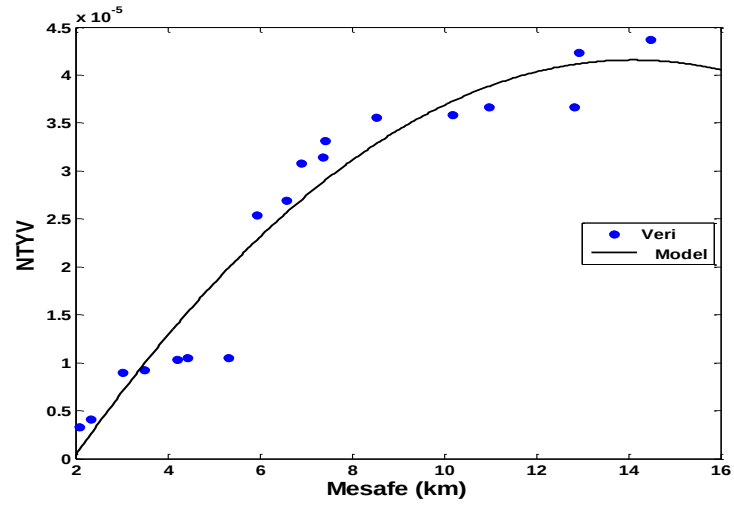
Ek-2-Şekil 16 : Th-232 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-2-Şekil 17 : Th-232 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

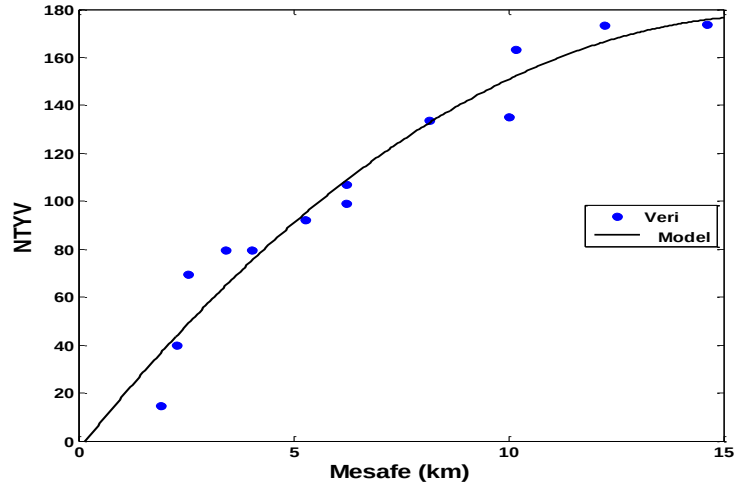


Ek-2-Şekil 18 : Th-232 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

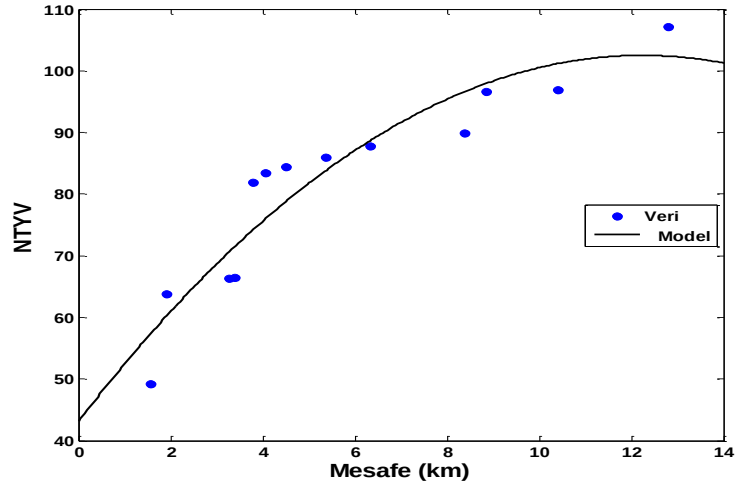


Ek-2-Şekil 19 : Th-232 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

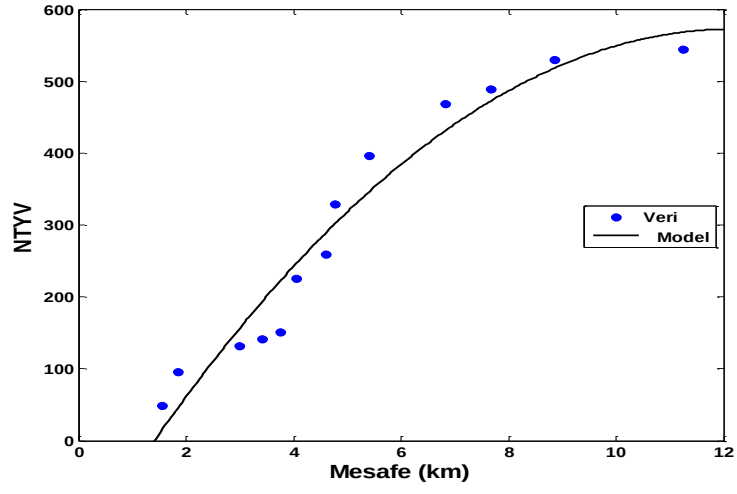
²³²Th Su Numuneleri Grafikleri



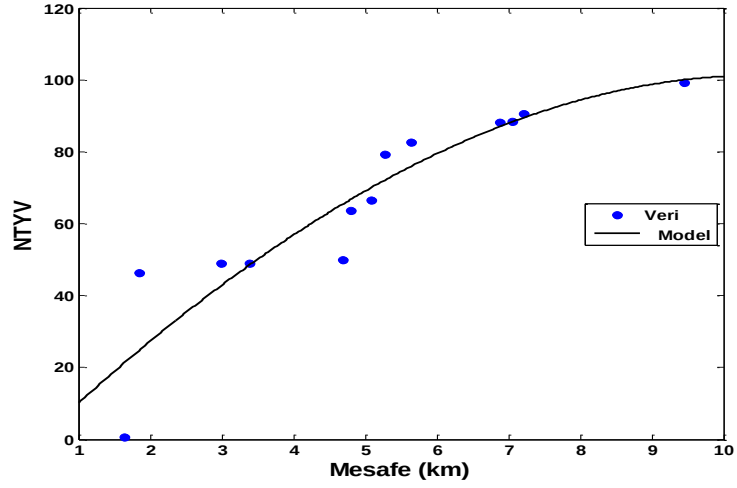
Ek-2-Şekil 20 : Th-232 Su numuneleri 1. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



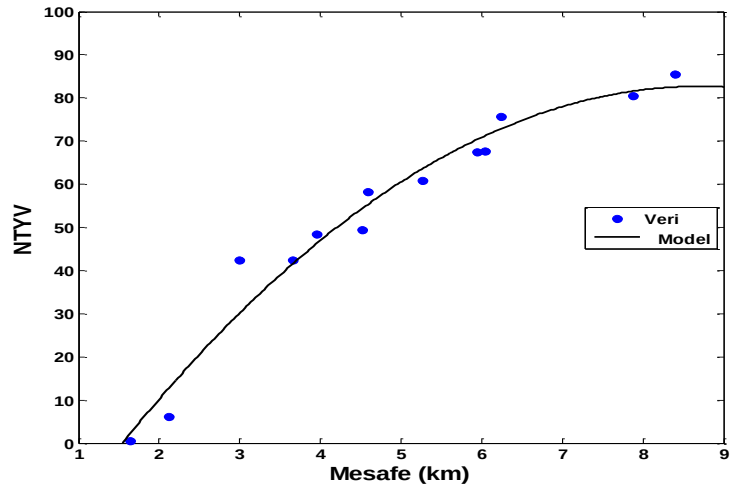
Ek-2-Şekil 21 : Th-232 Su numuneleri 2. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



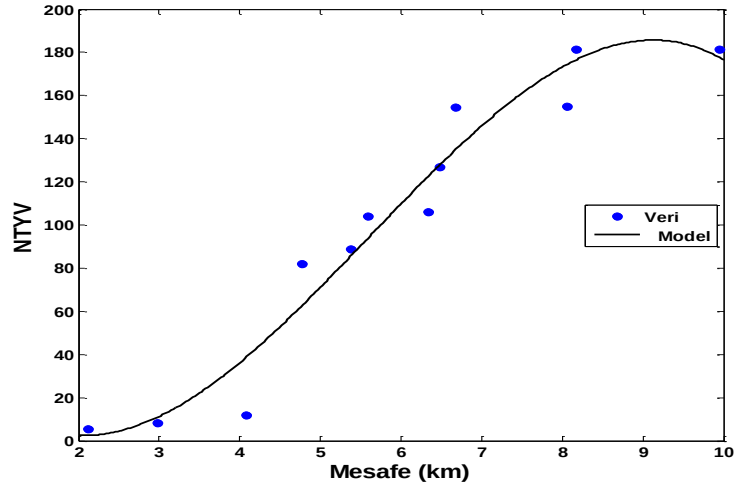
Ek-2-Şekil 22: Th-232 Su numuneleri 3. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



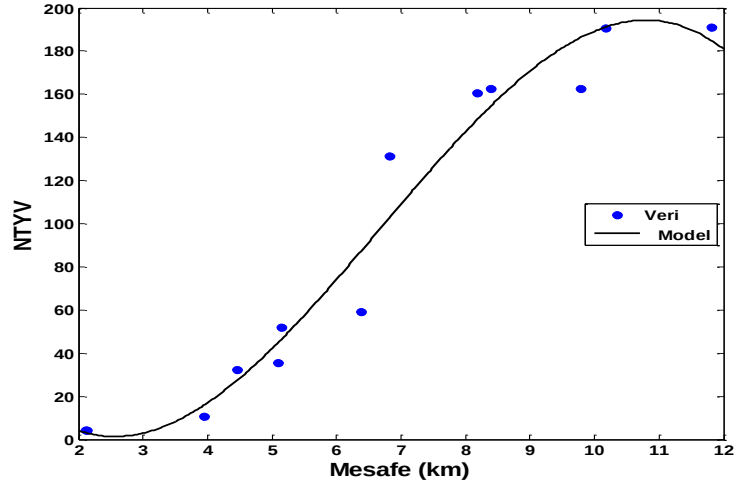
Ek-2-Şekil 23: Th-232 Su numuneleri 4. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



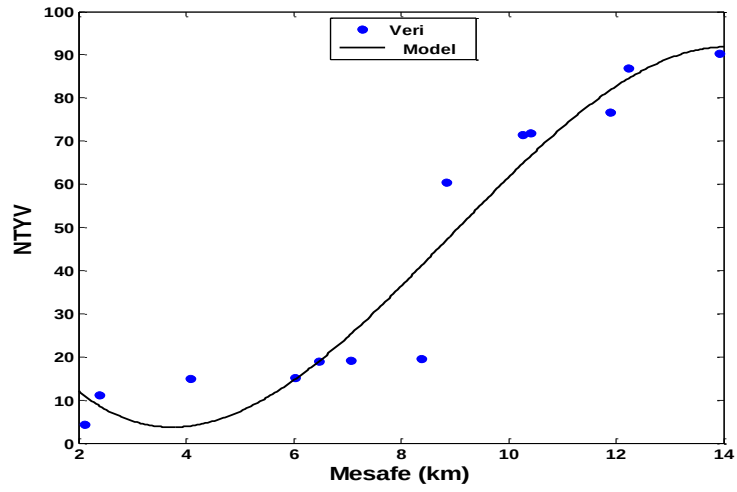
Ek-2-Şekil 24: Th-232 Su numuneleri 5. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



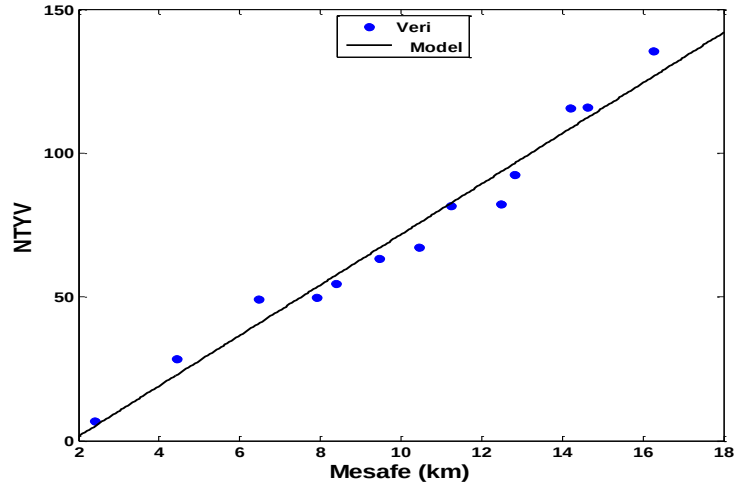
Ek-2-Şekil 25: Th-232 Su numuneleri 6. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



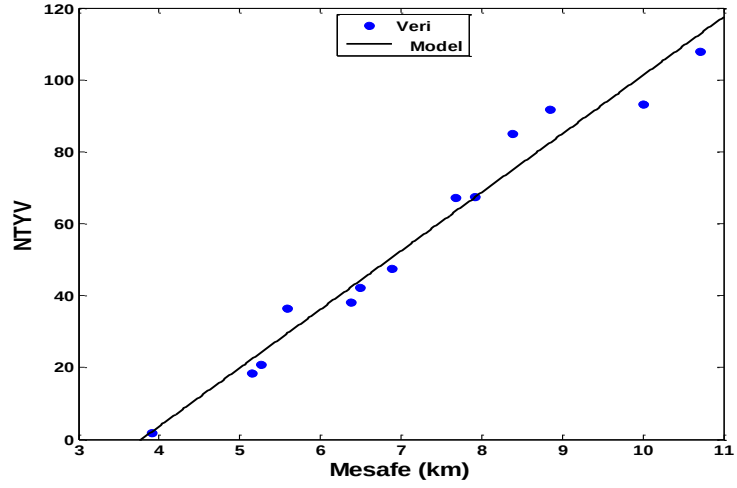
Ek-2-Şekil 26 : Th-232 Su numuneleri 7. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



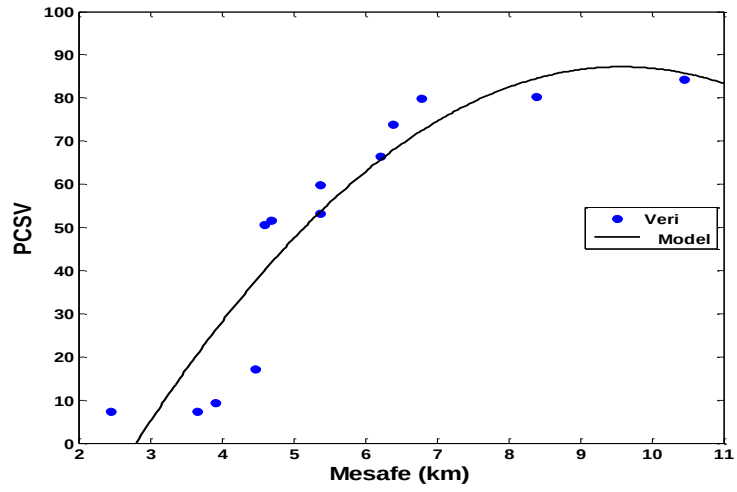
Ek-2-Şekil 27 : Th-232 Su numuneleri 8. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



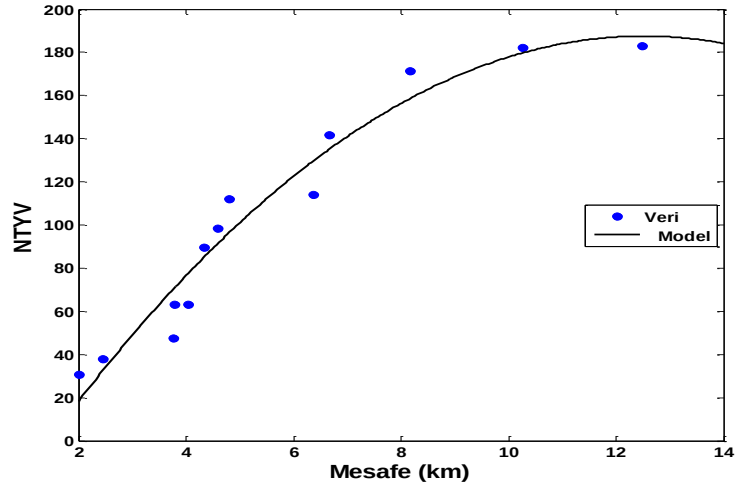
Ek-2-Şekil 28 : Th-232 Su numuneleri 9. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



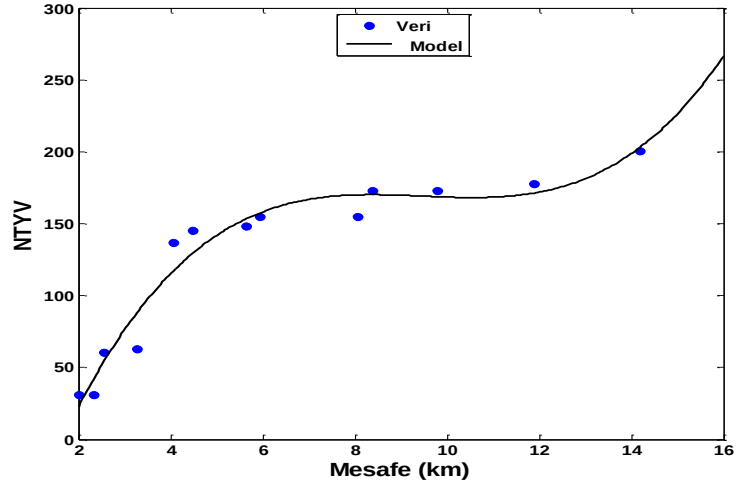
Ek-2-Şekil 29 : Th-232 Su numuneleri 10. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



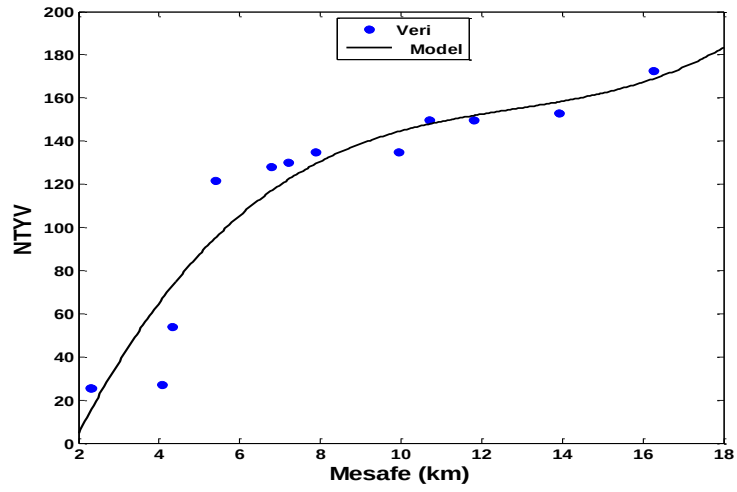
Ek-2-Şekil 30 : Th-232 Su numuneleri 11. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-2-Şekil 31 : Th-232 Su numuneleri 12. İstasyon NTYV-Mesafe grafiği



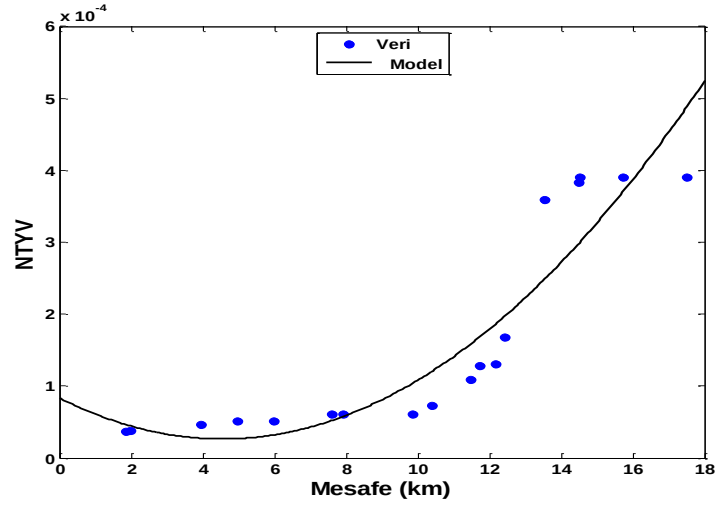
Ek-2-Şekil 32 : Th-232 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



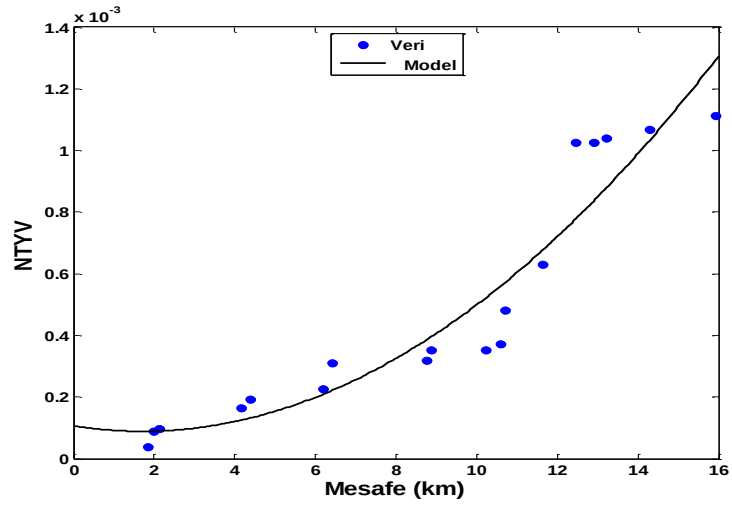
Ek-2-Şekil 33 : Th-232 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

EK-3

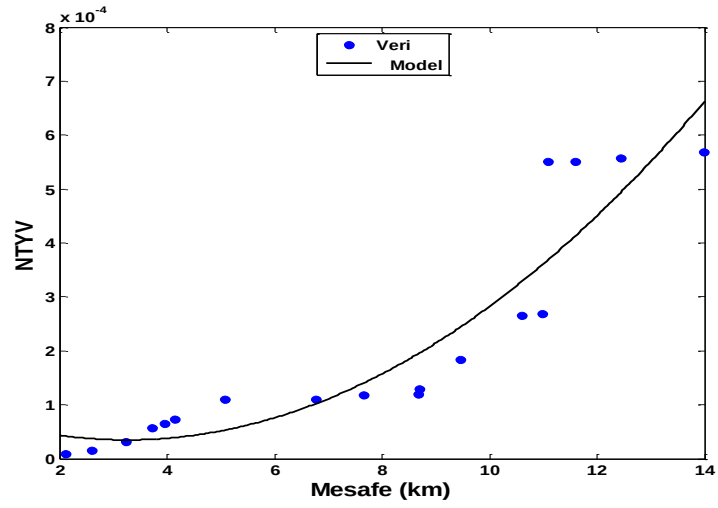
²³⁸U Toprak Numuneleri Grafikleri



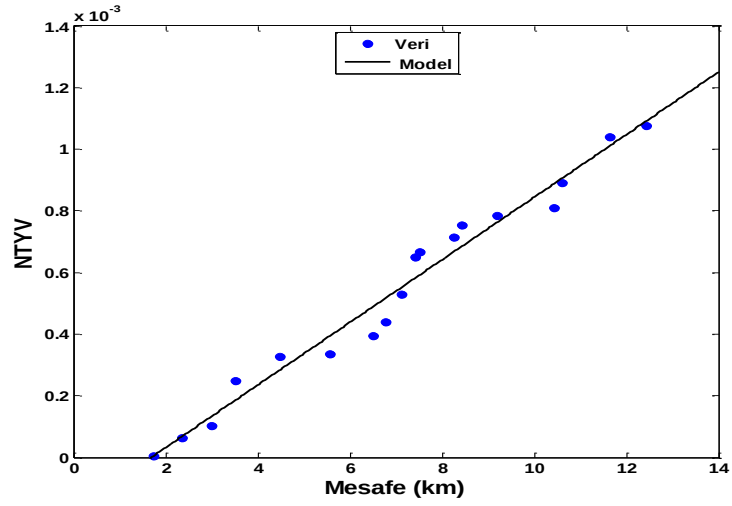
Ek-3-Şekil 1 : U-238 Toprak numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



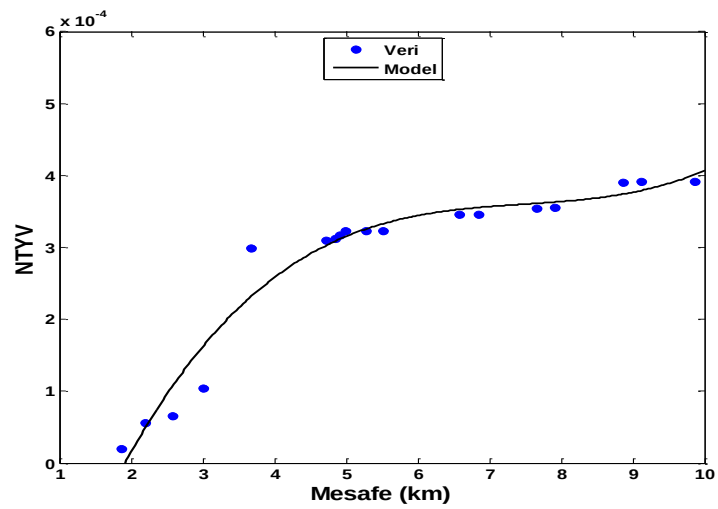
Ek-3-Şekil 2 : U-238 Toprak numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



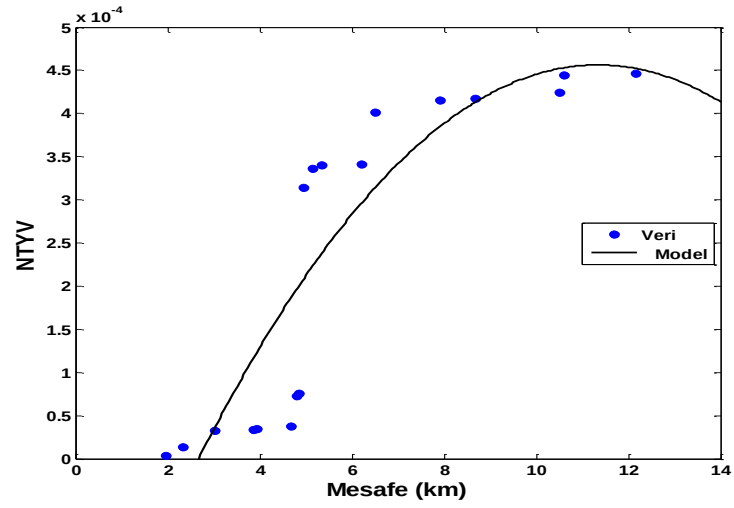
Ek-3-Şekil 3 : U-238 Toprak numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



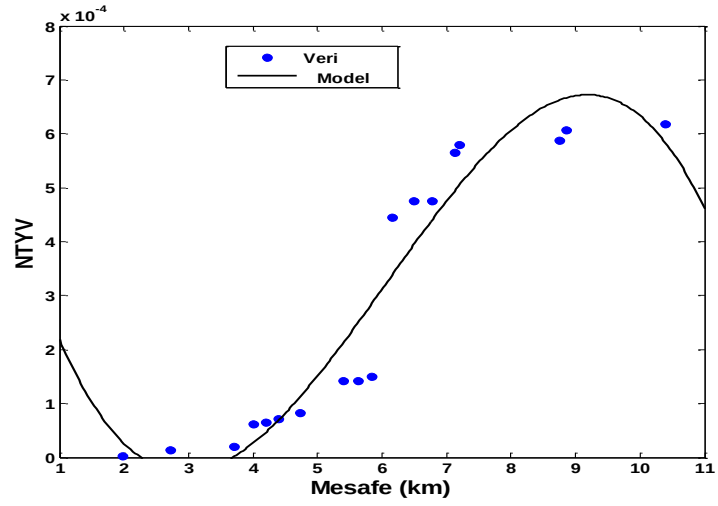
Ek-3-Şekil 4 : U-238 Toprak numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



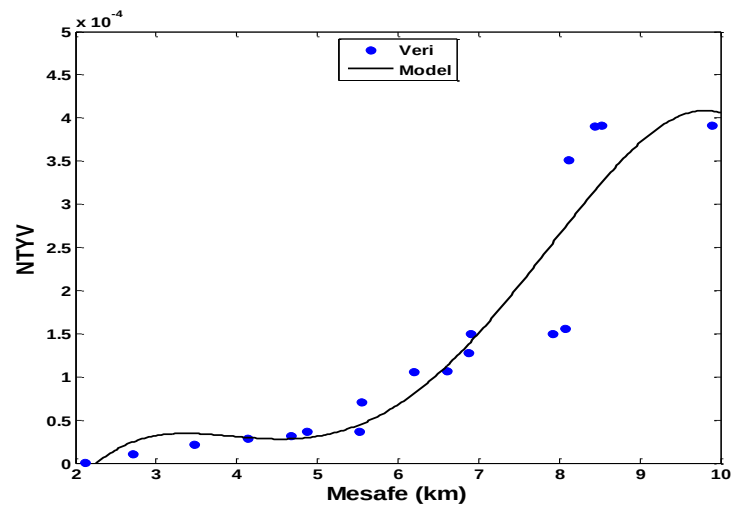
Ek-3-Şekil 5 : U-238 Toprak numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



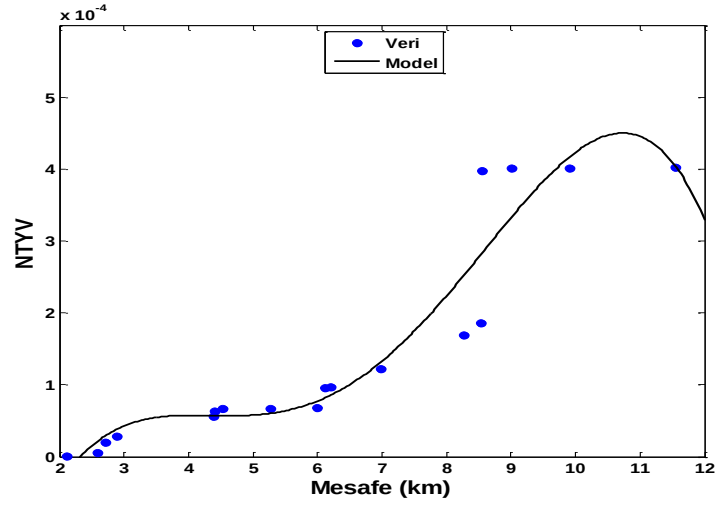
Ek-3-Şekil 6 : U-238 Toprak numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



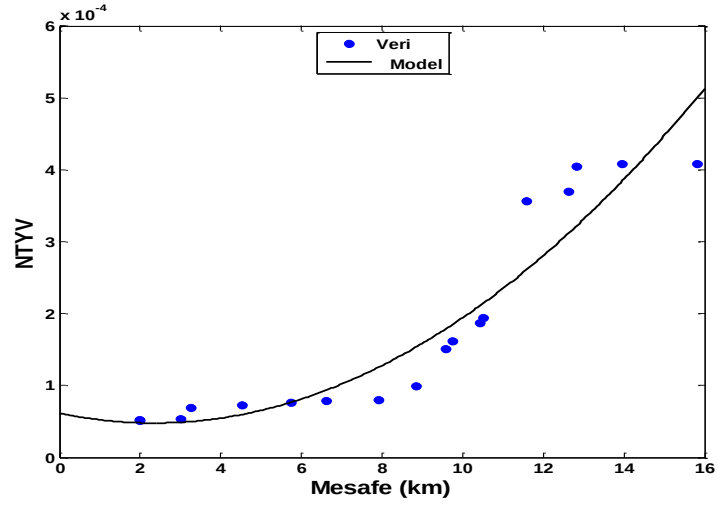
Ek-3-Şekil 7 : U-238 Toprak numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



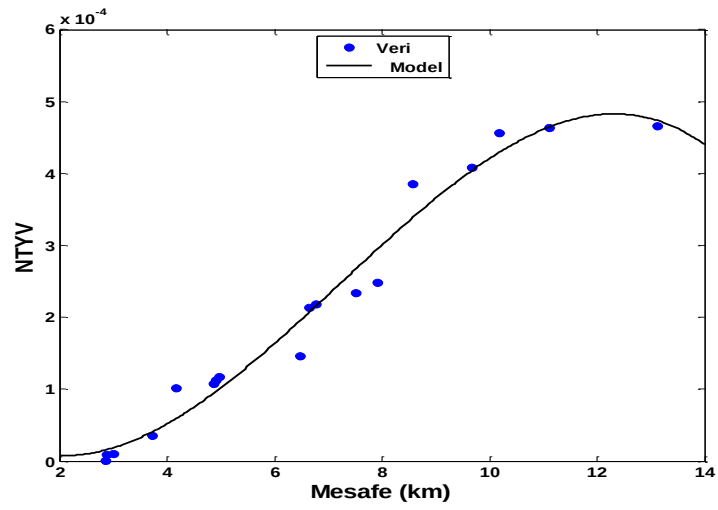
Ek-3-Şekil 8 : U-238 Toprak numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



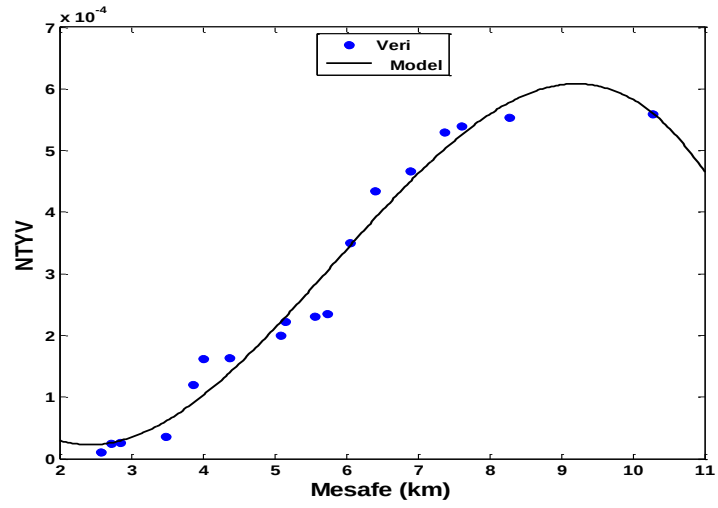
Ek-3-Şekil 9 : U-238 Toprak numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



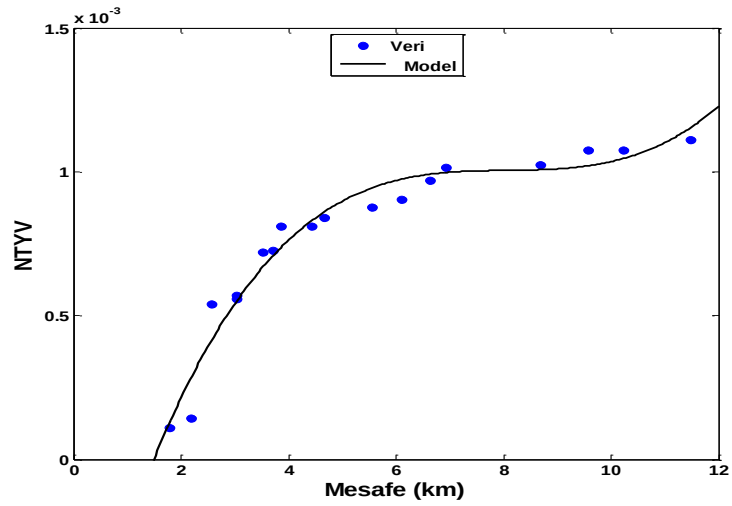
Ek-3-Şekil 10 : U-238 Toprak numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



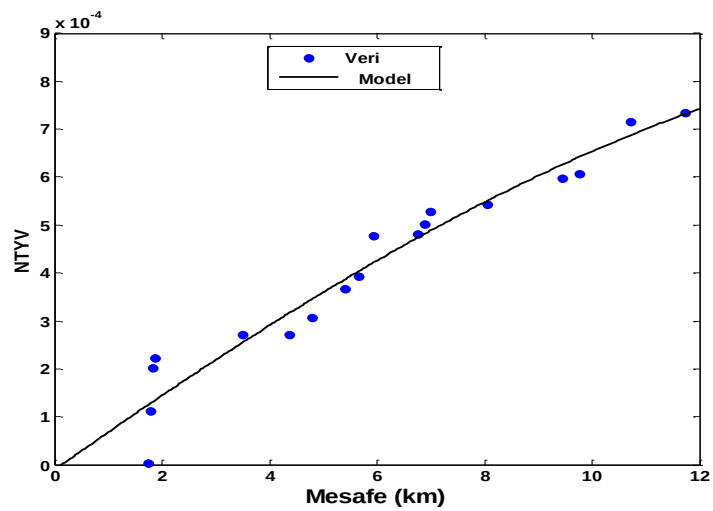
Ek-3-Şekil 11 : U-238 Toprak numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



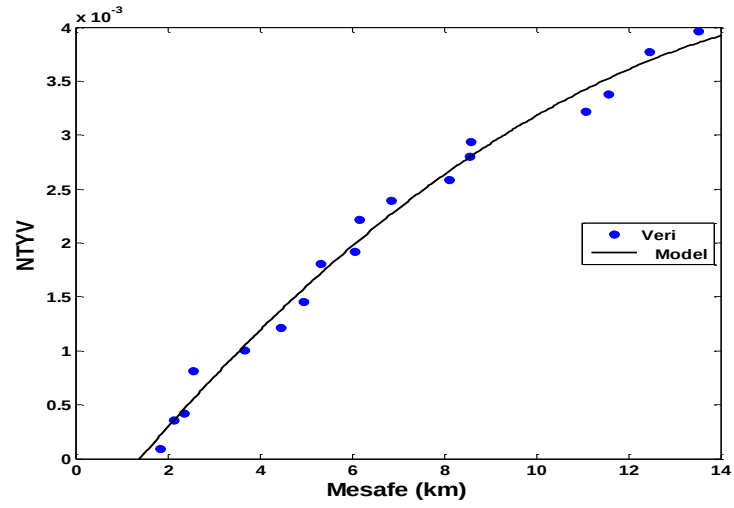
Ek-3-Şekil 12 : U-238 Toprak numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



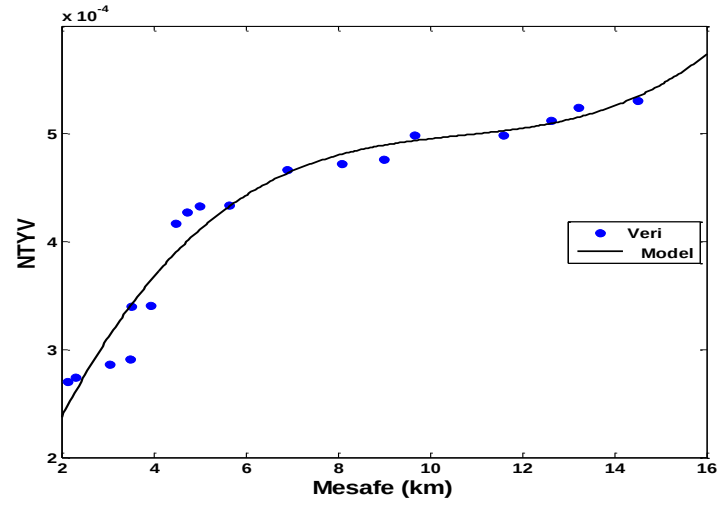
Ek-3-Şekil 13 : U-238 Toprak numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



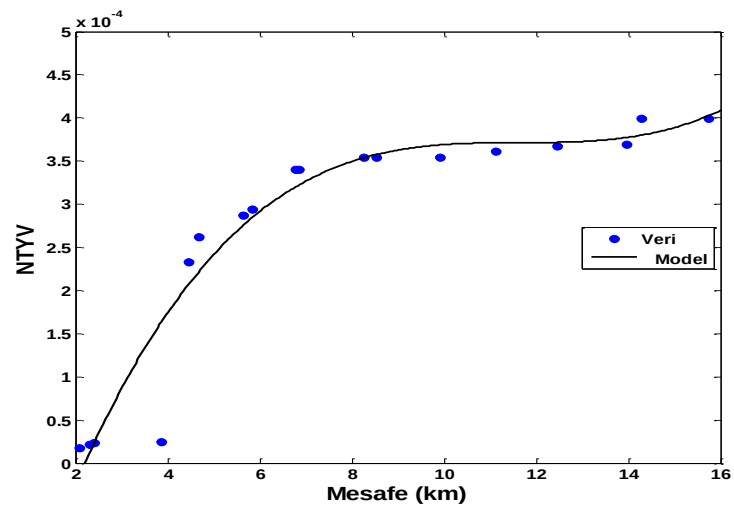
Ek-3-Şekil 14 : U-238 Toprak numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



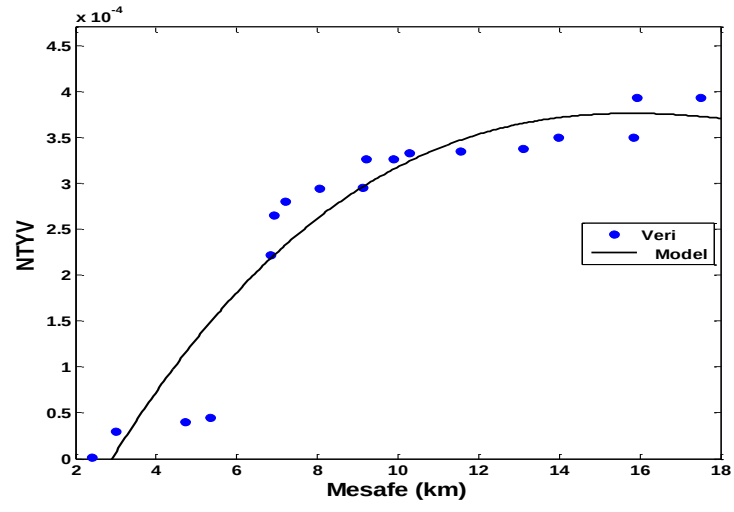
Ek-3-Şekil 15 : U-238 Toprak numuneleri 15. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



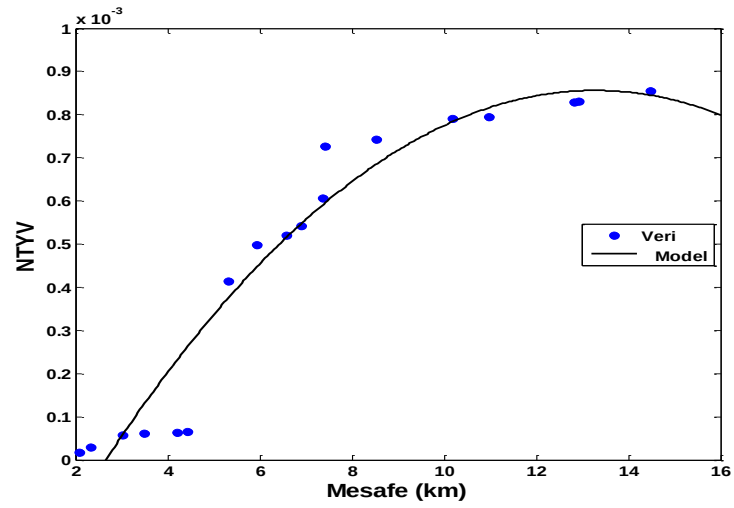
Ek-3-Şekil 16 : U-238 Toprak numuneleri 16. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-3-Şekil 17 : U-238 Toprak numuneleri 17. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

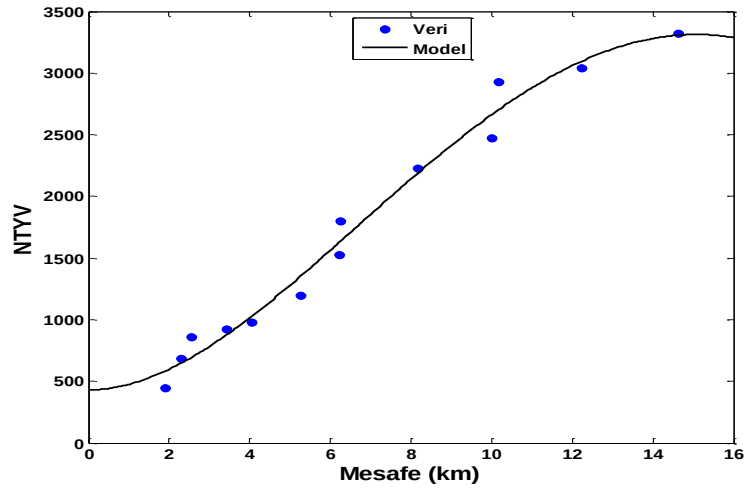


Ek-3-Şekil 18 : U-238 Toprak numuneleri 18. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

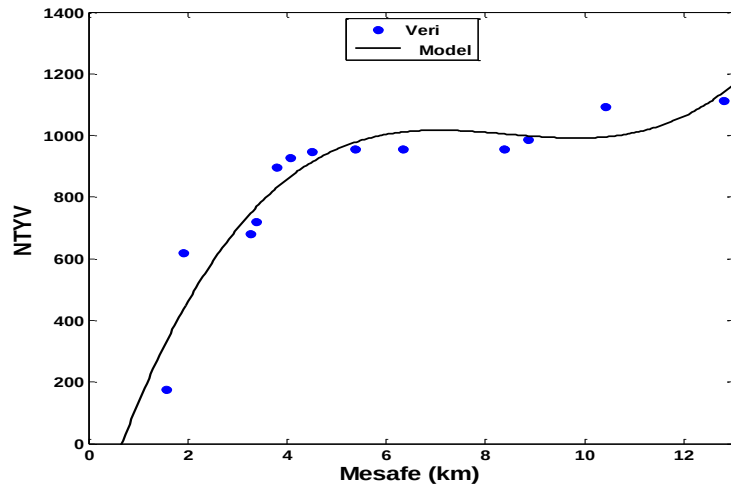


Ek-3-Şekil 19 : U-238 Toprak numuneleri 19. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

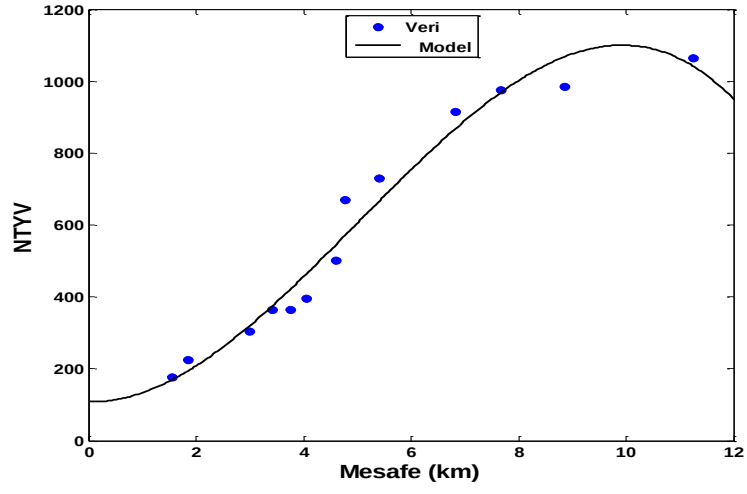
^{238}U Su Numuneleri Grafikleri



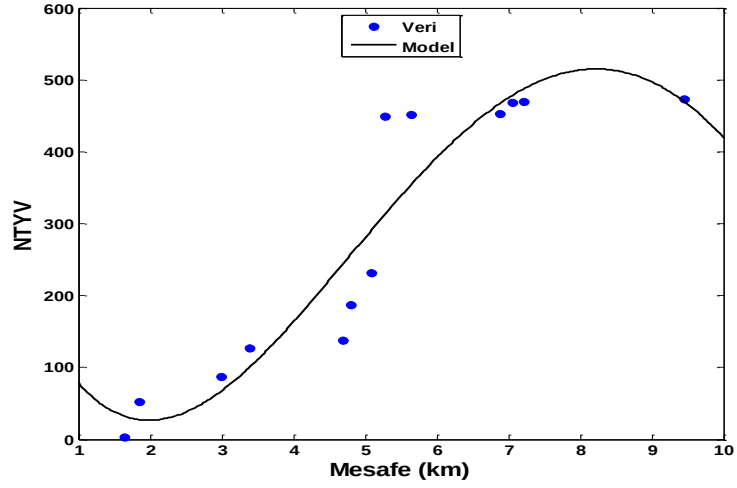
Ek-3-Şekil 20 : U-238 Su numuneleri 1. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



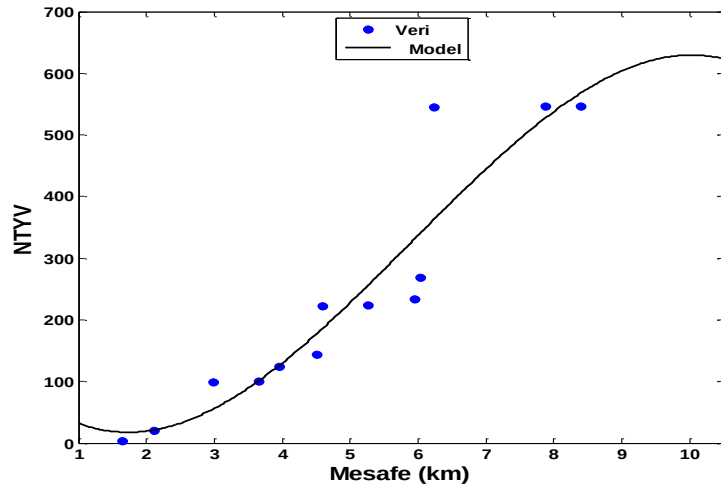
Ek-3-Şekil 21 : U-238 Su numuneleri 2. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



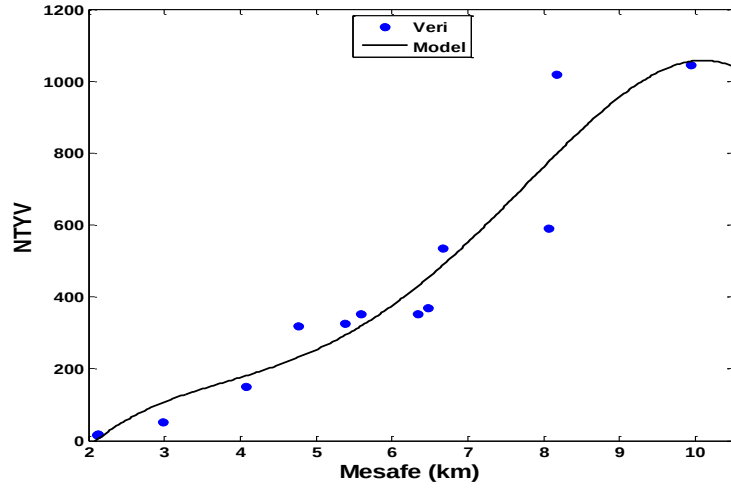
Ek-3-Şekil 22 : U-238 Su numuneleri 3. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



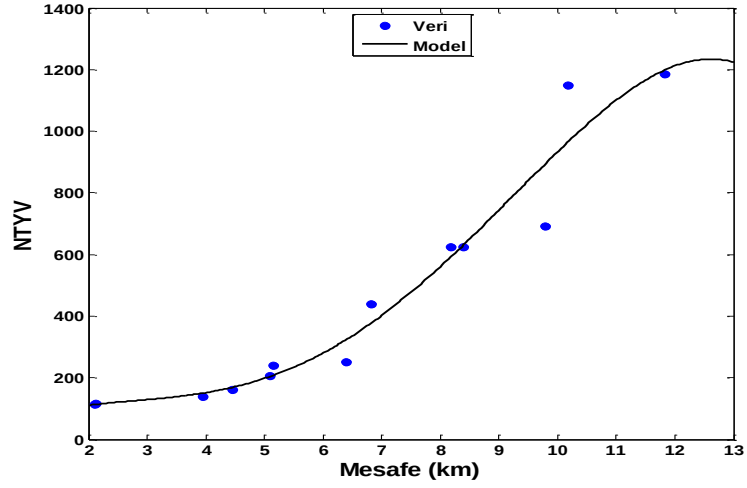
Ek-3-Şekil 23 : U-238 Su numuneleri 4. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



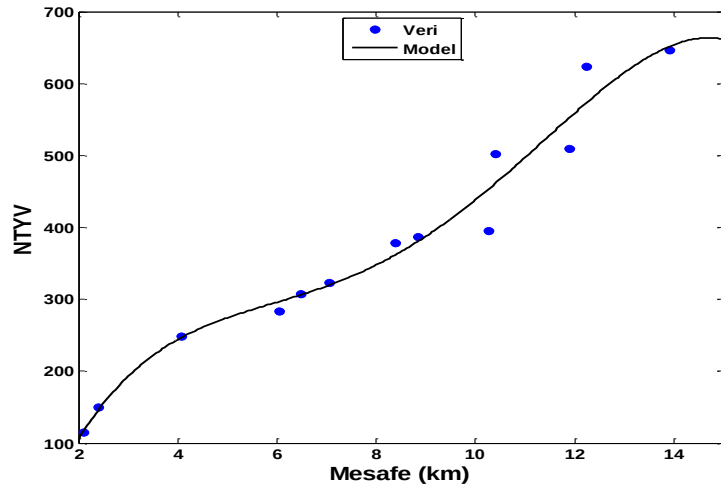
Ek-3-Şekil 24 : U-238 Su numuneleri 5. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



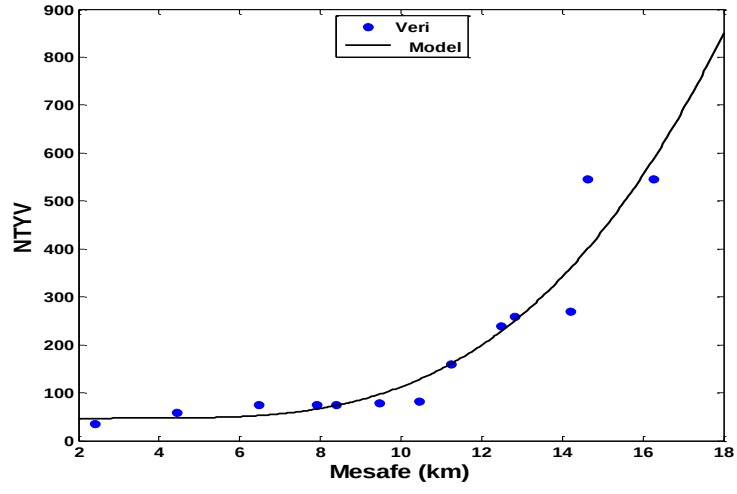
Ek-3-Şekil 25 : U-238 Su numuneleri 6. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



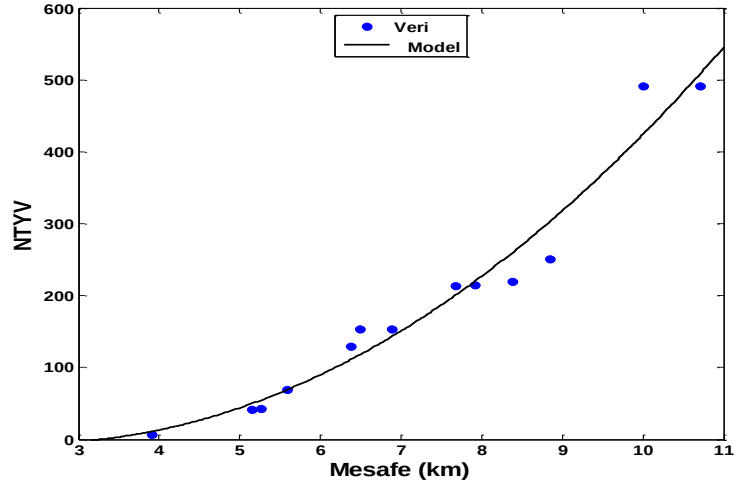
Ek-3-Şekil 26 : U-238 Su numuneleri 7. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



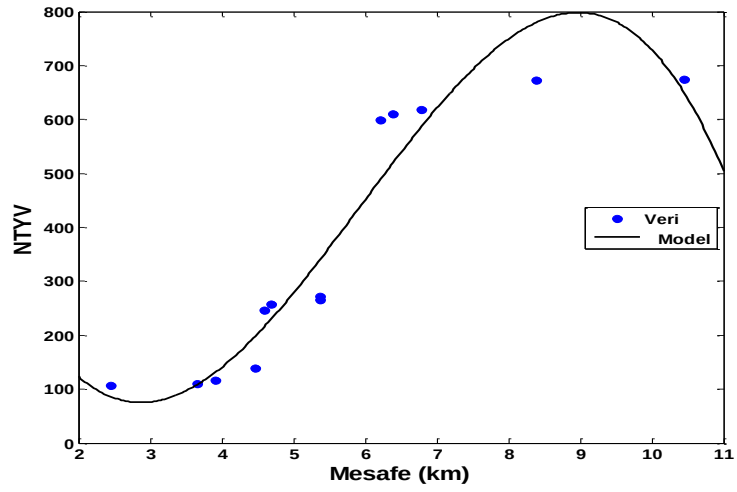
Ek-3-Şekil 27 : U-238 Su numuneleri 8. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



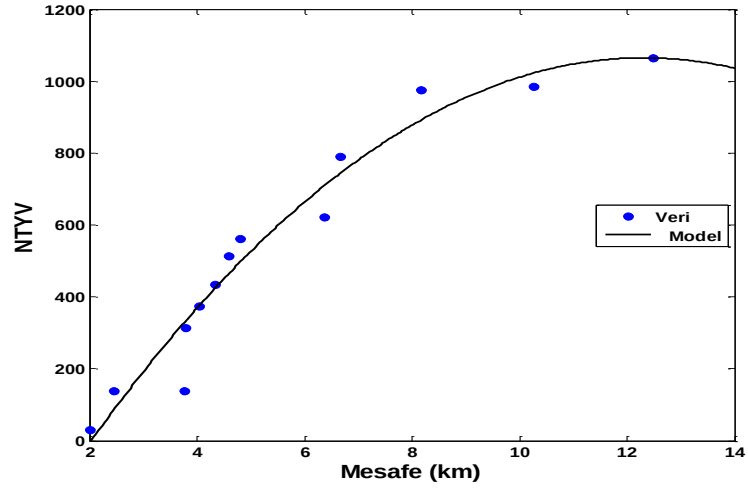
Ek-3-Şekil 28 : U-238 Su numuneleri 9. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



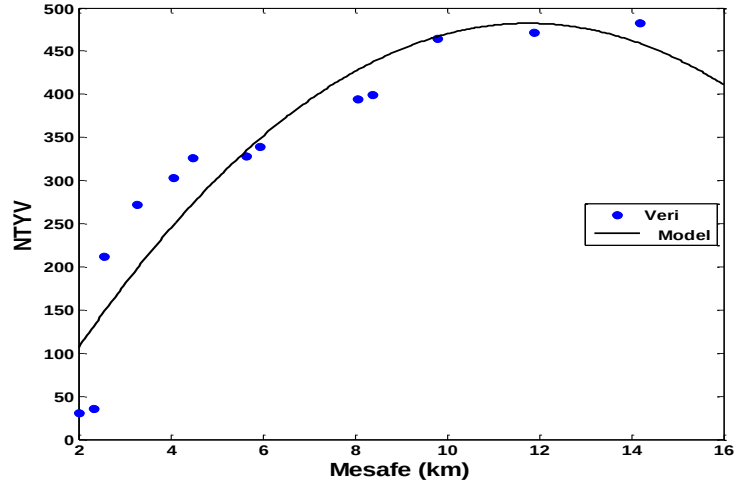
Ek-3-Şekil 29 : U-238 Su numuneleri 10. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



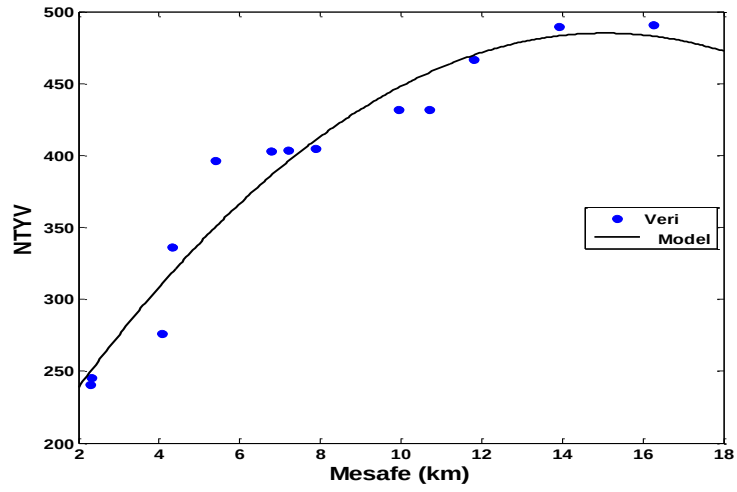
Ek-3-Şekil 30 : U-238 Su numuneleri 11. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-3-Şekil 31 : U-238 Su numuneleri 12. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-3-Şekil 32 : U-238 Su numuneleri 13. istasyon NTYV-Mesafe grafiği



Ek-3-Şekil 33 : U-238 Su numuneleri 14. istasyon NTYV-Mesafe grafiği

ÖZGEÇMİŞ

1988 Midyat doğumluyum. Adana Seyhan Belediyesi İlk Öğretim Okulunda ilk ve orta öğretim eğitimini tamamladım. 2005 yılında Adana Erkek Lisesi'nden mezun oldum. 2007-2011 yılları arasında Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü lisans eğitimini aldım. 2011 yılında Nükleer Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladım.