

**JEOİSTATİSTİKSEL KESTİRİMDE  
LOKAL BELİRSİZLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE  
ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR**

**ALTERNATIVE APPROACHES  
IN ASSESSING LOCAL UNCERTAINTY IN  
GEOSTATISTICAL ESTIMATION**

**ARZU GİRAY BALTACI**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

DOKTORA TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

  
: .....  
Prof.Dr. Taner ÜNLÜ

Üye (Danışman)

  
: .....  
Prof.Dr. Cem SARAÇ

Üye

  
: .....  
Prof.Dr. İ. Hakkı DEMİREL

Üye

  
: .....  
Prof.Dr. A. Erhan TERCAN

Üye

  
: .....  
Yrd.Doç.Dr. Levent TEZCAN

ONAY

Bu tez ...../...../2007 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Erdem YAZGAN  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

# JEOİSTATİSTİKSEL KESTİRİMDE LOKAL BELİRSİZLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Arzu Giray BALTACI

## ÖZ

Bu çalışma kapsamında örneklenmemiş bir noktadaki bilinmeyen değerle ilgili belirsizliğin değerlendirilmesinde koşullu dağılım fonksiyonları kullanılarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ortalamasız kriging varyansı ve koşullu varyansı içine alan bu yaklaşım alternatif varyans olarak adlandırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında simülasyon sonucunda elde edilmiş veriler lognormal ve gama dağılımına dönüştürülmüş ve farklı değişim katsayılarına sahip veri kümeleri elde edilmiştir. Sonraki aşamalarda, çeşitli yazılımlar kullanılarak bu verilerin jeostatistiksel modellemesi yapılmış ve ortalamasız kriging ile kestirim ve kestirim varyansları hesaplanmıştır.

Koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde, parametrik olmayan yöntemlerden çoklu indikatör kriging ve ortanca indikatör kriging yöntemleri kullanılmıştır. Belirlenen sınır değerlere göre indikatör variogram parametreleri kullanılarak koşullu dağılımlar kestirilmiş ve koşullu varyans değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre her bir veri için ortalamasız kriging ve koşullu varyansı içine alan alternatif varyans değerleri bulunmuştur. Kullanılan alternatif varyans ile hataların istatistiği arasındaki ilişki test edilmiş ve buna göre koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde çoklu indikatör kriging yönteminin daha güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca, tez kapsamında geliştirilen alternatif varyansın farklı dağılımlar için de kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Son olarak tez kapsamında geliştirilen alternatif varyans Çankırı İndağı Bölgesinden alınan ve çarpık bir dağılım gösteren hidrolik iletkenlik verilerine uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Variogram Fonksiyonu, Kestirim, Kriging Varyansı, Koşullu Dağılım Fonksiyonu, İndikatör Kriging, Koşullu Varyans

Danışman: Prof.Dr. Cem SARAÇ, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

# **ALTERNATIVE APPROACHES IN ASSESSING LOCAL UNCERTAINTY IN GEOSTATISTICAL ESTIMATION**

**Arzu Giray BALTACI**

## **ABSTRACT**

In this study, for evaluation of local uncertainty about an unknown value at an unsampled location an alternative approach was developed by using conditional distribution functions. This approach which combines ordinary kriging and conditional variance was called alternative variance.

In the first step of this study, the data which were obtained from the simulation were transformed into lognormal and gamma distributions and the data sets were obtained with different coefficient of variation. In the next step, these data were modelled geostatistically by using some special geostatistical softwares and estimation and estimation variance were calculated by ordinary kriging.

For estimating conditional distribution functions multiple indicator kriging and median indicator kriging method which are nonparametric methods were used. Considering nine cut-off values conditional distributions were estimated by using indicator variogram parameters and conditional variance values were calculated. Based on these results, alternative variance values were determined which included ordinary kriging and conditional variance for each data sets. Relation between alternative variance and statistics of errors were tested and it is found that multiple indicator kriging yields more reliable results. Besides, the alternative variance which developed in this study can be used for different distributions.

Finally, the alternative variance has been applied to hydrolic conductivity data with highly skew distribution which have been obtained from Cankiri Indagi region.

**Keywords:** Variogram Function, Estimation, Kriging Variance, Conditional Distribution Function, Indicator Kriging, Conditional Variance

Advisor: Prof.Dr. Cem SARAÇ, Hacettepe University, Department of Geological Engineering

## TEŞEKKÜR

Bu tez Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm'ünde 2001-2007 yılları arasında gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmalarım süresince, mesleki bilgi, öneri ve yorumlarını esirgemeyen, bana çalışmalarım için gerekli her türlü ortamı ve olanağı sağlayan, danışman hocam Prof. Dr. Cem SARAÇ'a;

Tez savunmam sırasında değerli görüş ve yapıcı eleştirileri için Prof.Dr. Taner ÜNLÜ, Prof.Dr. A. Erhan TERCAN, Prof.Dr. İ.Hakkı DEMİREL ve Yrd.Doç.Dr. Levent TEZCAN'a,

Çalışmalarım sırasındaki yardımları için Jeoloji Yük. Müh. Ebru COŞKUN; Jeoloji Yük. Müh. Sermin ÖZSAYIN; Jeoloji Yük. Müh. Okan DELİBAŞ; Jeoloji Yük. Müh. Sezin HASDİĞEN; Jeoloji Yük. Müh. Nihal GÖRMÜŞ; Jeoloji Yük. Müh. Tolga GÖRMÜŞ; Jeoloji Yük. Müh. Bülent BAŞARA ve Maden Yük. Müh. Elif AKCAN'a; eşim Asar M. BALTACI'ya;

Mesleki birikimlerimin oluşmasında katkıları olan Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

Çalışmalarım süresince gösterdikleri anlayış ve manevi desteklerinden dolayı MTA Karot Bilgi Bankası Koordinatörü Akın GEVEN; Veri Hazırlama, İzleme ve Değerlendirme Birimi Yöneticisi Damla KAYA'ya;

Çalışmalarımın her aşamasında manevi desteklerini hissettiğim, çalışmam için her türlü imkanı sağlayan ve hiçbir fedakarlığı esirgemeyen değerli aileme;

teşekkür ederim.

Arzu Giray BALTACI

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b> .....	i
<b>ABSRTACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>TERİMLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2.VARİOGRAM FONKSİYONU VE ÖZELLİKLERİ</b> .....	5
2.1. Rastlantı Fonksiyonu ve Bölgesel Değişken.....	5
2.2. Uzaklığa Bağlı İlişki ve Variogram.....	7
2.3. Deneysel Variogram.....	9
2.4. Modelleme ve Küresel Model Kavramı.....	10
<b>3. KRİGING YÖNTEMİNDEKİ LOKAL BELİRSİZLİKLER</b> .....	13
3.1. Giriş.....	13
3.2. Kriging Yöntemi ve Kestirimin Özellikleri.....	14
3.3. Kriging Yönteminin Uygulama Alanları.....	16
3.4. Lokal Belirsizliklerin Değerlendirilmesi.....	16
3.5. Kestirim Hatası Varyansı.....	17
<b>4. KOŞULLU DAĞILIM FONKSİYONLARININ KESTİRİMİ</b> .....	19
4.1. Koşullu Dağılım Fonksiyonları ve Koşullu Varyans.....	19
4.2. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestiriminde Kullanılan Yöntemler.....	20
4.2.1. İndikatör Değişken.....	21
4.2.2. Çoklu İndikatör Kriging.....	22
4.3. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestiriminde Kullanılan İnterpolasyon ve Extrapolasyon Modelleri.....	23
4.3.1. Doğrusal Model.....	23
4.3.2. Üslü Model.....	24
4.3.3. Hiperbolik Model.....	25
4.4. Sıralama Bağıntıları Problemi.....	26

<b>5. VERİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>28</b>
5.1. Veri Kümesi 1 (Orijinal).....	29
5.2. Veri Kümesi 2 (Lognormal) .....	30
5.3. Veri Kümesi 3 (Gama).....	31
<b>6. JEOİSTATİSTİKSEL KESTİRİMDEKİ LOKAL BELİRSİZLİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM.....</b>	<b>38</b>
6.1. Yeni Bir Yaklaşım: Alternatif Varyans .....	38
6.2. Variogram Analizi .....	39
6.3. Modelleme ve Modellerin Geçerliliği .....	41
6.4. Ortalamasız Kriging .....	44
6.5. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestirimi.....	45
6.5.1. İndikatör Variogram Analizi ve Modelleme.....	45
6.5.2. Çoklu İndikatör Kriging.....	49
6.5.3. Ortanca İndikatör Kriging.....	50
6.6. Güven Aralıkları.....	52
<b>7. ALTERNATİF VARYANSIN ÇANKIRI İLİ İNDAĞI BÖLGESİNDEKİ UYGULAMASI.....</b>	<b>55</b>
7.1. Çalışma Alanına İlişkin Genel Bilgiler.....	55
7.2. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri.....	57
7.3. Veri Analizi.....	61
7.4. Ortalamasız Kriging.....	63
7.5. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestirimi.....	65
7.6. Alternatif Varyans Hesaplamaları.....	70
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>72</b>
<b>9. KAYNAKLAR.....</b>	<b>75</b>
<b>EKLER</b>	
<b>EK-1</b> Orijinal Veriler için İndikatör Deneysel ve Model Variogramlar.....	<b>79</b>
<b>EK-2</b> Lognormal Veriler için İndikatör Deneysel ve Model Variogramlar.....	<b>83</b>
<b>EK-3</b> Gama Verileri için İndikatör Deneysel ve Model Variogramlar.....	<b>87</b>
<b>EK-4</b> Çankırı İli İndağı Bölgesinden Alınan Hidrolik İletkenlik Verileri.....	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Rastlantı fonksiyonu modeli .....	5
Şekil 2.2. Variogram ve kovaryans fonksiyonu .....	6
Şekil 2.3. Uzaklığa bağlı ilişki fonksiyonu (Variogram).....	7
Şekil 2.4. Varigram model parametreleri ( $C_0$ , $C$ , $a$ ) .....	8
Şekil 2.5. Variogram hesaplamalarında kullanılan parametreler .....	10
Şekil 2.6. Deneysel ve model variogram.....	11
Şekil 3.1. Farklı veri dağılımı ile bir bloğun kestirimi .....	18
Şekil 4.1. Üslü model ve model parametreleri.....	25
Şekil 4.2. Hiperbolik model ve model parametreleri.....	26
Şekil 5.1. Simülasyon sonucunda üretilen 576 verinin lokasyon haritası.....	28
Şekil 5.2. Veri kümesi 1 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler....	29
Şekil 5.3. Standart normal dağılıma ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler.....	30
Şekil 5.4. Veri kümesi 2 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler....	31
Şekil 5.5. $\alpha=0.11$ ve $\beta=1$ parametrelerine göre üretilmiş gama değerlerine ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler.....	33
Şekil 5.6. Orijinal değerler için kümülatif dağılım fonksiyonu.....	34
Şekil 5.7. Gama değerleri için kümülatif dağılım fonksiyonunu.....	34
Şekil 5.8. 50 $[x_k, y_k]$ veri çiftine uyarlanan polinom fonksiyon grafiği.....	35
Şekil 5.9. Veri kümesi 3 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler...	36
Şekil 5.10. 3 tip veri kümesinin blok diagramları a) orijinal b) lognormal c) gama.....	37
Şekil 6.1. $0^0$ , $45^0$ , $90^0$ ve $135^0$ yönlerindeki deneysel variogramlar.....	39
Şekil 6.2. Veri kümelerine ait deneysel ve model variogramlar a) orijinal b) lognormal c) gama.....	42
Şekil 6.3. Kestirim yapılan lokasyonlar ve bazı lokasyonlardaki koşullu dağılım fonksiyonları.....	48
Şekil 6.4. Güven aralığı.....	53
Şekil 7.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	56
Şekil 7.2. Çalışma alanı ve yakın civarının genelleştirilmiş stratigrafik istifi....	60
Şekil 7.3. Çalışma alanındaki verilerin lokasyon haritası.....	62
Şekil 7.4. Hidrolik iletkenlik değerlerine ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler.....	62
Şekil 7.5. $0^0$ , $45^0$ , $90^0$ ve $135^0$ yönlerindeki deneysel variogramlar.....	63
Şekil 7.6. Hidrolik iletkenlik verilerine ait deneysel ve model variogram grafiği.....	65
Şekil 7.7. Hidrolik iletkenlik verilerine ait indikatör deneysel ve model variogram grafikleri.....	67



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Variogram modelleri.....	11
Çizelge 6.1. 3 tip veri kümesine ait çapraz doğrulama tekniği sonuçları.....	41
Çizelge 6.2. Veri kümeleri için ondabirlik değerlere göre belirlenen sınır değerler ve örnek varyansları (a) orijinal b) lognormal c) gama.....	45
Çizelge 6.3. 3 tip veri kümesi için belirlenen model parametreleri.....	46
Çizelge 6.4. Sınır değerler için belirlenen model parametrelerine uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları (a) orijinal b) lognormal c) gama.....	47
Çizelge 6.5. Koşullu dağılım fonksiyonlarının sıralama bağıntılarından % ve büyüklük olarak sapma oranı.....	49
Çizelge 6.6. Ortanca indikatör krigingde kullanılan model parametreleri.....	50
Çizelge 6.7. Ortalamasız kriging varyansı-koşullu varyans-alternatif varyans değerleri a) Çoklu indikatör kriging b) Ortanca indikatör kriging.....	51
Çizelge 6.8. Kestirim hatalarının istatistiği.....	54
Çizelge 7.1. Çeşitli arazi türlerinde derinliğe göre hidrolik iletkenliğin değişimi..	61
Çizelge 7.2. Hidrolik iletkenlik verilerine ait çapraz doğrulama tekniği sonuçları.....	64
Çizelge 7.3. Hidrolik iletkenlik verileri için belirlenen model parametreleri.....	66
Çizelge 7.4. Model parametrelerine uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları.....	66

## TERİMLER DİZİNİ

**Alternatif varyans (Alternative variance):** Jeostatistiksel kestirimdeki lokal belirsizliklere alternatif olarak tez kapsamında geliştirilen kriging ve koşullu varyansı içine alan yeni bir varyanstır.

**Anizotropi (Anisotropy):** Bir maden yatağında bölgesel değişkenin yöne bağlı olarak farklı yapı göstermesidir. Jeostatistikte anizotropi yönleri ve derecesi variogram fonksiyonları kullanılarak değerlendirilir.

**Belirsizlik (Uncertainty):** Jeostatistiksel çalışmalarda belirsizlik, güven aralıkları, olasılık aralıkları (probability intervals) ve standart hata (standart errors) gibi parametrelerle ölçülür.

**Bölgesel değişken (Regionalized variable):** Tenör, kalınlık, porozite gibi belirli bir bölgeye özgü olan ve en az bir koordinatla ifade edilebilen değişkenlerdir.

**Çapraz doğrulama (Cross validation):** Model parametrelerinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan geri kestirim tekniğidir.

**Çarpıklık (Skewness):** Bir dağılımın simetri derecesini belirleyen istatistiksel bir parametredir.

**Çoklu indikatör kriging (Multiple indicator kriging):**  $z_k$  sınır değerine ilişkin indikatör veriler kullanılarak  $x_0$  noktasındaki koşullu dağılım fonksiyonunun kestirildiği bir yöntemdir.

**Dağılım fonksiyonu-  $F(z_k)$  (Distribution function):** Bir Z değişkeninin herhangi bir  $z_k$  sınır değerine eşit ya da düşük olma olasılığını gösteren bir fonksiyondur.

## TERİMLER DİZİNİ DEVAM EDİYOR

**Değişim katsayısı (Coefficient of variation):** Standart sapmanın ortalamaya oranı ile ifade edilen ve dağılımın şeklini tanımlamada kullanılan istatistiksel bir parametredir.

**Değişmezlik varsayımı (Stationarity):** Değişmezlik varsayımı rastlantı değişkenlerinin olasılık dağılımlarının bir noktadan diğerine değişmediği ve aralarındaki ilişkinin uzaklığa bağlı olduğunu belirten bir varsayımdır.

**Doğrusal model (Linear model):**  $(z_{k-1}, z_k)$  sınır değerleri arasındaki koşullu dağılım fonksiyonlarının modellenmesinde kullanılan bir interpolasyon yöntemidir.

**Gama dağılımı (Gamma distribution):**  $\alpha$  şekil (shape) ve  $\beta$  ölçek (scale) parametreleri ile tanımlanan bir dağılım şeklidir.

**GAMV:** Variogram hesaplamalarında kullanılan GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) programıdır.

**Güven aralığı (Confidence interval):** Alt ve üst değerle tanımlanan bir aralık ve bilinmeyen değer bu aralık içinde bulunma olasılığını ifade eder.

**Hidrolik iletkenlik (Hydrolic conductivity):** Hidrostatik basınç altında örnek içinden geçen suyun miktarını ve geçme zamanını ifade eden bir parametredir.

**Hiperbolik model (Hyperbolic model):** Üst sınır değer üzerindeki koşullu dağılım fonksiyonlarının modellenmesinde kullanılan bir ekstrapolasyon yöntemidir.

**IK3D:** Çoklu indikatör krigingle kestirimde kullanılan GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) programıdır.

## TERİMLER DİZİNİ DEVAM EDİYOR

**İndikatör değişken (Indicator variable):** İndikatör değişken  $I(x; z_k)$ , rastlantı değişkeninin 0 ve 1 şeklinde kodlanması ile elde edilen değişkendir.

**Kestirim (Estimation):** Bölgesel değişkenin örneklenmemiş bir noktadaki değerinin, diğer bilinen değerler yardımı ile belirli koşullar altında belirlenmesi işlemidir.

**Kestirim hatası varyansı (Estimation error variance):** Bilinmeyen bir değer için kestirimde yapılan hatayı ifade eder ve kestirim değerlerinin doğruluk derecesine ilişkin önemli bilgiler verir.

**Koşullu dağılım fonksiyonu (Conditional distribution function):** Dağılım fonksiyonunun belirli sayıda veri kullanarak ve belirli bir  $x$  lokasyonu için hesaplanması ile elde edilen bir fonksiyondur.

**Koşullu varyans (Conditional variance):** Koşullu dağılım fonksiyonunun, ortalama  $(z_E^*(x))$  çevresindeki yayılımını ölçen bir istatistiktir.

**Kovaryans fonksiyonu (Covariance function):** İkinci dereceden değişmezlik varsayımı altında variograma eşdeğer bir fonksiyondur.

**Kriging:** Örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin yansızlık ve en küçük hata varyansı koşulları altında kestirimi esasına dayanan bir yöntemdir.

**Kriging varyansı (Kriging variance):**  $x_0$  noktasındaki bilinmeyen bir değer için kriging yöntemi ile kestirildiğinde yapılan hatanın varyansı kriging varyansı olarak adlandırılır.

**Külçe etkisi (Nugget effect- $C_0$ ):** Variogramın orijindeki süreksizliği yani 0'dan farklı pozitif bir değer alması külçe etkisi olarak adlandırılır.

## TERİMLER DİZİNİ DEVAM EDİYOR

**Küresel model (Spherical model):** Uzaklığa bağlı olarak artan ve yapısal uzaklığa ulaştığı noktada variogram değeri C'ye eşit olan bir modeldir.

**Lognormal dağılım (Lognormal distribution):** Belli bir ortalama ve standart sapma ile normal dağılım gösteren bir X fonksiyonuna üs alma işlemi (exponentiation) uygulanması ile elde edilen çarpık bir dağılımdır.

**Normal dağılım (Normal distribution):** Belirli bir ortalama ve standart sapma ile simetrik bir yapı gösteren dağılımdır.

**OKB2D:** Ortalamasız kriging kestirimde kullanılan GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) programıdır.

**Ortalamasız kriging (Ordinary kriging):** Hata varyansının minimizasyonunu temel alan basit ve temel bir kestirim tekniğidir.

**Ortanca indikatör kriging (Median indicator kriging):**  $x_0$  noktasındaki koşullu dağılım fonksiyonunun ortanca indikatör variogram kullanılarak kestirildiği bir yöntemdir.

**Polinom fonksiyonu (Polynomial function):**  $g(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 x^2 + \dots + a_n \cdot x^n$  formunda ifade edilen bir fonksiyondur.

**POSTIK:** Koşullu dağılım fonksiyonlarının ortalama, varyans gibi özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) programıdır.

**Rastlantı fonksiyonu-Z(x) (Random function):** Bir maden yatağının (M) her bir  $x_i$  noktasında tanımlanan  $[Z(x_i), i=1, \dots, \alpha, x_i \in M]$  rastlantı değişkenlerinden oluşur.

## TERİMLER DİZİNİ DEVAM EDİYOR

**Sınır değeri (Cut-off value):** Koşullu dağılım fonksiyonları ekonomik ve teknik bir sınırlama olmadığı zaman verilerin onda birlik değerleri kullanılarak hesaplanır. Koşullu dağılım fonksiyonlarının hesaplanacağı bu değerler sınır değeri olarak adlandırılır.

**Sıralama bağıntıları (Order relations):** Kestirilen koşullu dağılım fonksiyonlarının 0 ile 1 arasında değeri alması ve artan sınır değeriyle birlikte artması gerekir. Sıralama bağıntıları koşullu dağılım fonksiyonlarının teorik olarak sağlaması gereken bu koşulları ifade etmektedir.

**Standart normal dağılım (Standart normal distribution):** Ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan normal dağılımdır.

**Tepe değeri-C (Sill value):** Variogram fonksiyonunun ulaştığı en yüksek değerdir.

**Üslü model (Power model):** Alt sınır değerinin altındaki ve üst sınır değerinin üstündeki koşullu dağılım fonksiyonlarının modellenmesinde kullanılan bir interpolasyon/ekstrapolasyon yöntemidir.

**XVOK2D:** Belirlenen lokasyonlarda kestirim yapan ve kestirim varyansı hesaplayan GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) programıdır.

**VALID:** Kestirim hatalarının istatistiğinin hesaplanması için Tercan (1993) tarafından geliştirilen fortran yazılımlı bir programdır.

**Variogram fonksiyonu (Variogram function):** Bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimini gösteren fonksiyondur.

## TERİMLER DİZİNİ DEVAM EDİYOR

**Yapısal uzaklık-a (Range):** Değişkenin değerleri arasında yapısal bir ilişkinin bulunduğu uzaklıktır. Yapısal uzaklıktan daha büyük uzaklıklarda bir değer diğerini üzerinde hiçbir etkisi yoktur.

## 1. GİRİŞ

Jeoistatistik, George Matheron tarafından Fontainebleau, Fransa 'da bulunan Centre de Morphologie Mathematicque'de geliştirilmiş, uygulamalı istatistik bilim dalıdır. Geoistatistiğin temel amacı bir maden yatağının örneklenmiş noktalarında tenör, kalınlık gibi belirli bir bölgeye özgü değişimleri göz önüne alarak, örneklenmemiş noktalardaki değerleri kestirmeye yarayan ve sonuçları incelenen bölge için kontur haritasına çeviren bir yöntemdir (Matheron, 1963).

Klasik istatistiksel yöntemler, incelenen değişkenler arasında bir ilişki olmadığını varsayarlar. Örneğin bir zar atışı sonunda birden altıya kadar herhangi bir sayı gelebilir. Bir önceki sonuç ile bir sonraki sonuç arasında herhangi bir ilişki yoktur. Yani, değişkenler rastlantısalıdır.

Jeoistatistiğin istatistiğe en önemli katkısı variogram fonksiyonu olmuştur. Geoistatistiksel yöntemlerde değişkenler arasında uzaklığa bağlı bir ilişki vardır ve bu ilişki variogram fonksiyonu ile değerlendirilir. Örneğin yapılan sondajlarda elde edilen tenör değerleri, bu sondajlar arası  $h$  uzaklığına bağlı olarak,  $h$  azaldıkça birbirine yaklaşacak,  $h$  büyüdükçe birbirinden uzaklaşacaktır. Variogram fonksiyonu iki amaç için kullanılır. Bunlardan birincisi incelenen değişkenin yapısal özelliklerini ortaya koymak, ikincisi de bilinmeyen bir noktadaki değeri kestirmektir.

Bir değişkenin sahanın tümü ya da belirli bir noktası üzerindeki optimal bir değerinin belirlenmesi işlemine kestirim (estimation) denir. Kriging de bu kestirim yöntemlerinden biridir. Örneklenmemiş bir noktadaki bilinmeyen değere ilişkin belirsizliğin değerlendirilmesi yer bilimlerinde karşılaşılan en önemli kestirim problemidir. Bu problemlerin çözümünde kullanılan doğrusal jeoistatistik (variogram, kriging) yöntemler lokal verilere bağlı olmamaktan kaynaklanan birçok problem içermektedir.



Kriging ile kestirimde bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması kullanılır. Ağırlıklar minimum varyans ve yansızlık koşulu altında belirlenir. Kriging yönteminin en önemli özelliği kriging varyansı ile kestirim hatasının büyüklüğünün değerlendirilebilmesidir. Kestirim değerlerinin güvenilirliğini değerlendirmede kullanılan kriging varyansı veriler normal bir dağılım gösterdiğinde geçerli bir belirsizlik ölçütüdür. Ancak maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan tenör, kalınlık gibi değişkenler normalden farklı bir dağılım gösterebilirler. Kriging varyansının bu durumlarda kullanılmasının tutarsız sonuçlara yol açtığı bilinmektedir. Kriging tekniğinin en önemli problemi ise kriging ağırlıkları ve kriging varyansının örnek değerlerine bağlı olmaksızın belirlenmesidir (Journel, 1988; Dowd, 1989).

Çalışmanın ilk aşamasında literatür araştırmaları sonucunda lokal belirsizliklerin değerlendirilmesi ile ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen alternatif yaklaşımlar incelenmiştir.

Yamamoto (1999; 2000), kestirim değerlerinin güvenilirliğinin belirlenmesinde alternatif bir yaklaşım olarak interpolasyon varyansını (interpolation variance) geliştirmiştir. İnterpolasyon varyansı veri ve kestirim değerlerinin karelerinin farkının ağırlıklı ortalaması şeklinde tanımlanmıştır. Yamamoto (1999; 2000) geliştirdiği interpolasyon varyansını kriging varyansı ile karşılaştırarak maden yataklarında uygulamış ve değerlendirmiştir. Buna göre kriging ve kriging varyansları interpolasyon varyansının beklenen değeri ile ifade edilir.

Arık (1999) ise çalışmalarında tenörlerin blok kestirim değerlerindeki belirsizliklerin değerlendirilmesine alternatif bir yaklaşım olarak birleşik varyans (combined variance) kavramını geliştirmiştir. Bu varyans kriging varyansı ile birlikte lokal varyansı da içine alan iki bileşenle tanımlanmıştır. Arık (1999) geliştirdiği birleşik varyansı, bir altın yatağında uygulayarak değerlendirmiştir.

Lokal verilere bağlı olmamaktan kaynaklanan kestirim problemlerine koşullu dağılım fonksiyonları ile farklı bir çözümler getirilebilir. Lokal belirsizliği değerlendirmenin en iyi

yolu koşullu dağılım fonksiyonlarını kullanmaktır. Koşullu dağılım fonksiyonları kullanılarak veri bağımsızlığı problemine alternatif bir çözüm getirilebilir, lokal verilere bağlı güven aralıkları oluşturulabilir ve çeşitli optimallik ölçütleri tanımlanabilir.

Koşullu dağılım fonksiyonları  $F(z_k)$ ,  $Z$  değişkeninin herhangi bir  $z_k$  sınır değerine eşit ya da düşük olma olasılığını gösteren bir fonksiyondur. Koşullu dağılım fonksiyonu yaklaşımı doğrusal jeostatistikte karşılaşılan veri bağımsızlığı problemine en iyi çözümü sağlar.

Bu tez çalışmasının amacı, koşullu dağılım fonksiyonlarını kullanarak lokal belirsizlikleri, kriging varyansından daha iyi değerlendirecek alternatif bir yaklaşım geliştirmektir. Belirtilen bu amaca yönelik olarak tez çalışması üzerinde çalışılacak verilerin elde edilmesi ve analizi, koşullu dağılım fonksiyonlarını kullanarak alternatif bir yöntem geliştirilmesi ve geliştirilen bu yöntemin çalışma sahasında uygulanarak sonuçlarının değerlendirilmesi olmak üzere 3 aşamada yürütülmüştür.

Çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilen simülasyon sonucunda 576 adet veri üretilmiş ve bu veriler lognormal ve gama dağılımına dönüştürülmüştür. Kriging varyansı veriler normal bir dağılım gösterdiğinde geçerli bir belirsizlik ölçütü olduğu için, tez kapsamında geliştirilmiş olan kestirim varyansının farklı dağılımlar için de geçerli bir varyans olması gerekir. Çalışmanın ikinci aşamasında 3 farklı dağılım gösteren verilerin öncelikle jeostatistiksel modellemesi yapılmıştır. Bu model parametreleri kullanılarak ortalamasız kriging ve kriging varyansı, koşullu dağılım fonksiyonlarının kestirimi sonucunda da koşullu varyans değerleri hesaplanmıştır. Kriging varyansı ve koşullu varyans değerleri kullanılarak alternatif bir varyans geliştirilmiş ve kestirim hatalarının varyansı ile alternatif varyansın birbirleri ile tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise, alternatif varyans Çankırı ili İndağı bölgesinden alınan ve çarpık bir dağılım gösteren hidrolik iletkenlik verilerine uygulanmıştır.

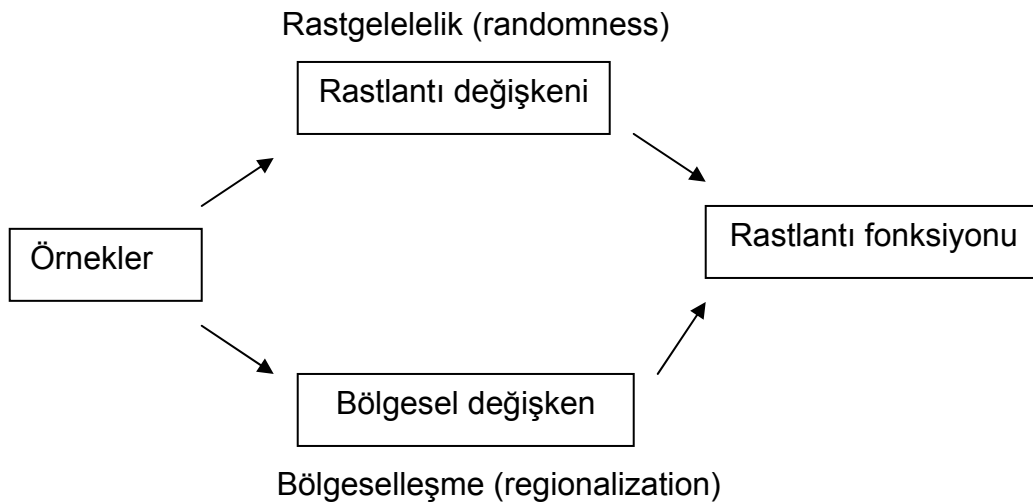
Tez kapsamında jeoistatistiğin ve kriging yönteminin temelini oluşturan variogram fonksiyonu ve özellikleri 2. bölümde; kriging yöntemi, kestirimin özellikleri ve kestirimdeki belirsizlikler 3. bölümde; koşullu dağılım fonksiyonlarının temeli ve kestiriminde kullanılan yöntemler 4. bölümde kısaca anlatılmaktadır. 5. bölüm tez kapsamında kullanılacak olan verilerin elde edilmesi ve analizini içermektedir. 6. bölümde ortalamasız kriging, koşullu dağılım fonksiyonlarının farklı yöntemlerle kestirimi ve bunun sonucunda geliştirilmiş olan alternatif varyans hesaplamaları; 7. bölümde ise alternatif varyansın Çankırı İndağı bölgesindeki hidrolik iletkenlik verileri üzerindeki uygulaması sunulmaktadır. Sonuçlar ve öneriler ise 8. bölümde verilmektedir.

## 2. VARIOGRAM FONKSİYONU VE ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Rastlantı Fonksiyonu ve Bölgesel Değişken

Jeostatistik, temelleri değişmez (stationary) rastlantı fonksiyonlarına dayanan bölgesel değişkenler kavramının maden yataklarının değerlendirilmesine ve çeşitli yerbilimleri problemlerine uygulanması olarak tanımlanır. Bölgesel değişkenler teorisi Matheron (1963) tarafından ortaya atılmış, Journel and Huijbregts (1978), David (1988), Isaacs and Srivastava (1989), Cressie (1991), Wackernagel (1995), Goovaerts (1997), Kitanidis (1997), Armstrong (1998) ve daha birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Bölgesel değişken kısaca belli bir bölgeye özgü olan ve en az bir koordinatla ifade edilebilen değişkenler olarak tanımlanır. Tenör, kalınlık gibi değişkenler bölgesel değişkenlere örnek olarak verilebilir.

Jeostatistik bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimlerini istatistiksel kavramlar ışığında modeller. (Tercan ve Saraç, 1998). Buna göre yatağın her  $x$  noktasında bir  $Z(x)$  rastlantı değişkeni tanımlanır ve bu noktadaki değer  $Z(x)$  rastlantı değişkeninin bir değeri olduğu kabul edilir. Yatak içinde her bir  $x$  noktasında tanımlanan rastlantı değişkenlerinin tümü bir rastlantı fonksiyonunu oluşturur ve bölgesel değişken de rastlantı fonksiyonunun aldığı bir değer şeklinde ortaya çıkar (Şekil 2.1).



Şeki 2.1. Rastlantı fonksiyonu modeli (Wackernagel, 2003)

Rastlantı fonksiyonu modeli altında rastlantı değişkenlerinin olasılık dağılımlarının bir noktadan diğerine değişmediği ve aralarındaki ilişkinin uzaklığa bağlı olduğu varsayımları ikinci dereceden değişmezlik varsayımı olarak bilinir. Buna göre rastlantı değişkenleri arasındaki uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması beklenir. Bu iki varsayım kovaryans fonksiyonu ile matematiksel olarak;

$$E[Z(x)] = m \quad (2.1)$$

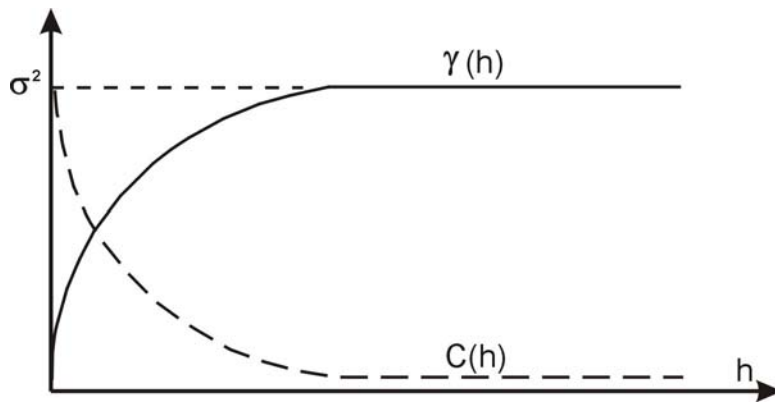
$$C(h) = E[Z(x+h), Z(x)] - m^2$$

şeklinde ifade edilir (Dowd, 1992). Burada  $m$  değişmeyen ortalamayı;  $E$  ise beklenen değeri göstermektedir.

İkinci dereceden değişmezlik varsayımı altında variogram fonksiyonu  $\gamma(h)$  ile kovaryans fonksiyonu  $C(h)$  arasındaki ilişki Eşitlik 2.2.'de verilmiştir.

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (2.2)$$

Variogram ve kovaryans fonksiyonu arasındaki ilişki Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Variogram ve kovaryans fonksiyonu (Armstrong, 1998)

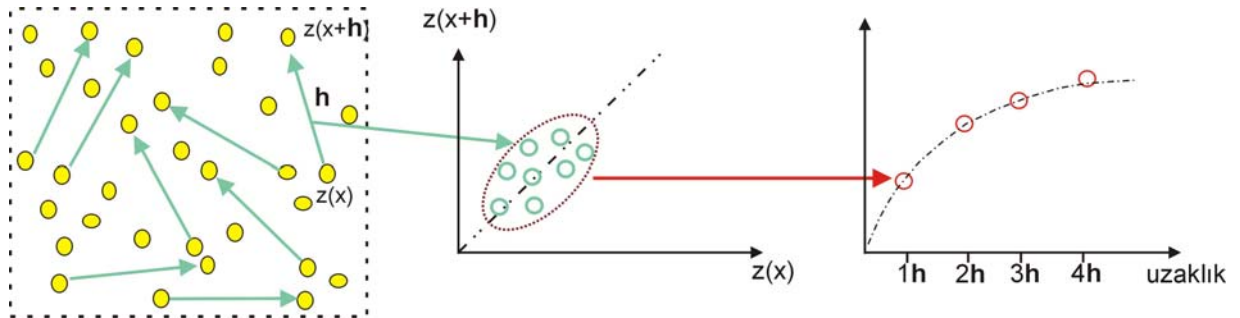
## 2.2. Uzaklığa Bağlı İlişki ve Variogram

Jeoistatistiksel çalışmaların ilk adımı variogram hesaplamalarıdır. Variogramlar, kriging tekniğini de içeren sonraki tüm aşamalarda kullanılır. Variogram hesaplamaları bir maden yatağındaki etki alanının belirlenmesinde, sahanın 3 boyutlu değerlendirilmesinde ve daha birçok alanda kullanılan fonksiyonlardır (Readdy et al., 1982).

Bir bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkların uzaklığa bağlı bir modelinin oluşturulmasında en gerçekçi yaklaşım o yatağın verilerini kullanan ve yatağın özelliklerini ifade eden bir yaklaşımdır. Geoistatistik bir maden yatağının  $x$  ve  $x+h$  noktalarında tanımlanmış olan bölgesel değişkenin değerlerindeki farkların uzaklığa bağlı değişimini dikkate alır. Buna göre bir bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkların aralarındaki uzaklık arttıkça artması, azaldıkça azalması beklenir. Geoistatistikte bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ifade edilir (Şekil 2.3).

Variogram fonksiyonu  $2\gamma(h)$  simgesi ile gösterilerek, birbirinden  $h$  uzaklığı ile ayrılmış iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak Eşitlik 2.3 ile ifade edilebilir (Journel and Huijbregts, 1978).

$$2\gamma(h) = \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] \quad (2.3)$$



Şekil 2.3. Uzaklığa bağlı ilişki fonksiyonu (Variogram)

$2\gamma(h)$  : variogram fonksiyonu

$Z(x)$  : x noktasındaki rastlantı değişkeninin değeri

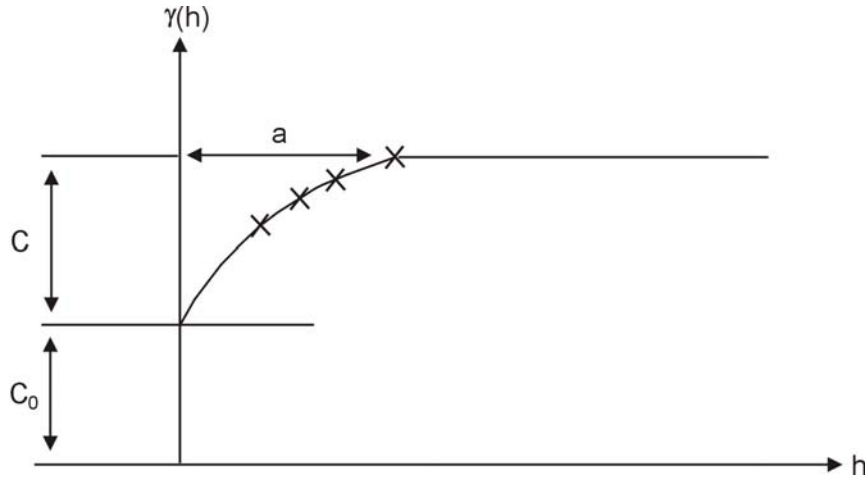
$Z(x+h)$  : x noktasından h kadar uzaklıktaki rastlantı değişkeninin değeri

Variogram fonksiyonu beklenen değer cinsinden (2.4) eşitliği ile gösterilir.

$$2\gamma(h)=E[Z(x)-Z(x+h)]^2 \quad (2.4)$$

Variogram fonksiyonu uzaklıkla birlikte değiştiği için değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılabilir (Readdy et al., 1982). Variogram fonksiyonu bilindiğinde incelenen değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etki mesafesi, sayısal olarak belirlenebilir (Saraç and Tercan, 1992 ;1996).

İzotropik bir variogram modeli yapısal uzaklık (a), külçe etkisi ( $C_0$ ) ve sill (C) olmak üzere üç parametre ile tanımlanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Variogram model parametreleri ( $C_0$  ,  $C$  ,  $a$ )

Uzaklığın sıfıra eşit olduğu durumlarda variogramın değeri de sıfıra eşittir ( $\gamma(0) = 0.0$ ) (Isaacs and Srivastava, 1989). Birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıklardan

(sınır uzaklık) daha küçük uzaklıklarda veri olmadığından değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez ve bu durum variogramın orijininde bir süreksizliğe neden olur. Orijindeki süreksizliğin nedeni, örnekleme ve analiz hataları da olabilir. Buna külçe etkisi (nugget effect) denir ve  $C_0$  ile ifade edilir. Variogram değeri artan  $h$  uzaklığı ile artar. Eğer bölgesel değişken geçişli bir yapı gösteriyorsa (zengin ve yoksul bölgeler şeklinde) variogram belirli bir “ $a$ ” mesafesinden sonra artışını durdurur ve belirli bir değer çevresinde ( $C_0+C$ ) değerler alır. Teorik olarak ( $C_0+C$ ) değeri örnek değerlerinin varyansına eşittir. Bu “ $a$ ” mesafesi yapısal uzaklık olarak adlandırılır. Yapısal uzaklık bir örneğin etki mesafesini ifade eder (Dowd,1992; Tercan, 1996).

### 2.3. Deneysel Variogram

Deneysel variogram belirli uzaklıklar için variogramların hesaplanması ile elde edilir.  $N$  sayıda veri için deneysel variogram değerleri (2.5) eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (2.5)$$

Eşitlikte;

$\gamma(h)$ : herbir  $h$  uzaklığına karşılık gelen deneysel variogram değerlerini,

$Z(x)$ :  $x$  noktasındaki rastlantı değişkeninin değerini

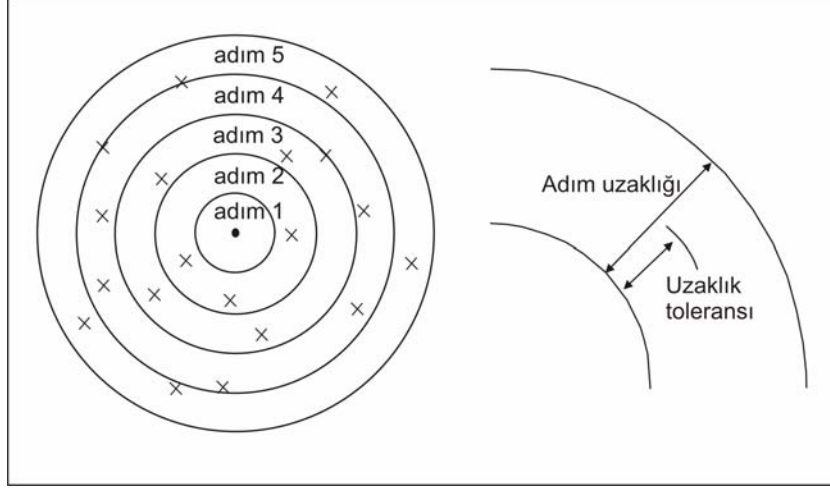
$Z(x+h)$ :  $x$  noktasından  $h$  kadar uzaklıktaki rastlantı değişkeninin değerini

göstermektedir.

Uzaklığa bağlı ilişkiyi belirlemede kullanılan variogram değerleri birim uzaklık ve katları için hesaplanır. Birim uzaklık, adım uzaklığı (lag) olarak bilinir. Eğer örnekler düzenli bir grid üzerinde yer alıyorsa, grid aralığı adım uzaklığı olarak alınabilir. Eğer düzensiz örnekleme yapılmışsa, örnekler arasındaki ortalama uzaklık adım uzaklığı olarak kullanılabilir. Bu uzaklık, örneklerin kapladığı toplam alanın örnek sayısına



bölümünden çıkan değerın karekökü alınarak hesaplanmaktadır. İkinci önemli bir parametre ise birim uzaklık için kullanılacak toleranstır (Şekil 2.5). Bu uzaklık, adım uzaklığının yarısı kadar veya daha küçük alınabilir.

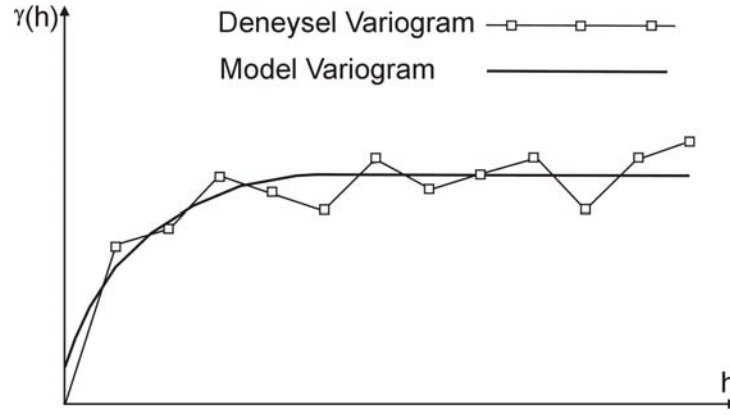


Şekil 2.5. Variogram hesaplamalarında kullanılan parametreler

#### 2.4. Modelleme ve Küresel Model Kavramı

DeneySEL variogramlar belirli uzaklıklar için hesaplanır. Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve örneklenmemiş noktadaki değerlerinin kestiriminde, variogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekmektedir. Bu da variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı yani modellemeyi gerektirir. Variogram iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak tanımlandığı için hiçbir zaman negatif değerler alamaz. Bu nedenle seçilecek fonksiyonun da pozitif tanımlı bir fonksiyon olması gerekir.

DeneySEL variogram için bir model seçildikten sonra  $C_0$ ,  $C$  ve  $a$  model parametreleri belirlenir. Model parametrelerinin belirlenmesinde genellikle ağırlıklı en küçük kareler ve çapraz doğrulama teknikleri kullanılmaktadır (Tercan ve Saraç, 1998). Şekil 2.6' da genel olarak deneySEL ve model variogram grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Deneysel ve model variogram

Literatürde yer alan birçok variogram modeli vardır (Çizelge 2.1). Variogram modelleri eşik (sill) değerinin olup olmamasına göre değerlendirilir.

Çizelge 2.1. Variogram modelleri (Olea, 1991)

	Variogram Modeli	Parametreler	Durum	Grup
1	Gauss Modeli	$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp \left( -h^2 / a^2 \right) \right]$ $\gamma(h) = C_0 + C$ $\gamma(h) = 0$	$h < a$ $h \geq a$ $h = 0$	Silli Model
2	Üssel Model	$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp \left( -h / a \right) \right]$ $\gamma(h) = C_0 + C$ $\gamma(h) = 0$	$h < a$ $h \geq a$ $h = 0$	Silli Model
3	Küresel Model	$\gamma(h) = C_0 + C \left[ \left( 3h / 2a \right) - \left( h^3 / 2a^3 \right) \right]$	$0 \leq h \leq a$	Silli Model
		$\gamma(h) = C_0 + C$ $\gamma(h) = 0$	$h \geq a$ $h = 0$	
4	Doğrusal Model	$\gamma(h) = C_0 + xh$ $\gamma(h) = C_0$	$h \neq 0$ $h = 0$	Silsiz Model
5	Logaritmik Model	$\gamma(h) = C_0 + x \log(h)$ $\gamma(h) = 0$	$h > 0$ $h = 0$	Silsiz Model

Bu alışma kapsamında variogram modellerinden küresel model kullanılmıştır. Küresel variogram, orijinden başlayarak artan  $h$  uzaklığı ile artar ve yapısal uzaklığa ulaşıldığında artışını durdurur. Bu uzaklıkta, variogramın değeri  $C$ ' ye eşittir (Isaacs and Srivastava, 1989). Küresel modeldeki  $C$  parametresi, variogramın en yüksek değerini,  $a$  parametresi ise yapısal uzaklığı (range) göstermektedir.

### 3. KRİGİNG YÖNTEMİNDEKİ LOKAL BELİRSİZLİKLER

#### 3.1. Giriş

Bölgesel değişkenlerin aldıkları değerler, incelenen bölgenin yalnızca örneklenmiş noktalarında bellidir, örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerleri de hesaplamak gerekir. Bilinmeyen bir değer için örneklenmiş noktalardaki bilinen değerler yardımıyla hesaplanması kestirim olarak adlandırılır (Matheron, 1963; Tercan ve Saraç, 1998).

Kriging, bir noktanın ya da bir bloğun ortalama değerinin en iyi yansız kestirimini sağlayan kestirim yöntemlerinden birisidir ve ismini Güney Afrikalı D. G. Krige (1951)'den almıştır. Kriging, özellikle örneklerin çok düzensiz olduğu ve mineralizasyondaki sürekliliğin yönere göre farklılık gösterdiği yerlerde nokta ve blok değerleri için en iyi kestirimleri üretmektedir. Ayrıca, kriging her bir blok üzerinde güvenilirlik seviyesini de vermektedir (Readdy et al., 1982).

Kriging yönteminde amaç, maden yatağında kestirilmek istenen örneklerin çevresindeki en yakın örnekler kullanılarak her birine ilişkin ağırlıklar atamaktır. Kestirimde uzak olan örneklere düşük ağırlıklar, yakın olan örneklere ise büyük ağırlıklar atanır. Böylece örneklerin birbirlerine olan uzaklıkları kadar kestirilecek nokta ya da bloğa göre uzaklıkları da dikkate alınır.

Kriging tekniğinin uygulanması için, yatağın bölgesel değişkenine ilişkin variogram fonksiyonunun ya da kovaryans fonksiyonunun önceden belirlenmesi gerekir. Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan variogram fonksiyonu, örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin kestirimi için de kullanılan bir fonksiyondur. Kriging kullanılarak bir maden yatağının her noktasında o maden yatağına ait bölgesel değişkenin en iyi kestirim değerleri elde edilebilir.

Bölgesel değişkenler teorisi ve variogram fonksiyonunu temel alan kriging yöntemi ilk defa 1951 yılları başında D.G.Krige tarafından Güney Afrika 'daki altın yataklarında uygulanmıştır. Daha sonraki yıllarda bu yöntem, G. Matheron tarafından geliştirilmiştir

ve farklı amaçlara yönelik kullanılan bir çok kriging yöntemi ortaya atılmıştır. Bunlar arasında ortalamalı (simple) kriging, ayrık (disjunctive) kriging, çoklu normal (multigaussian) kriging, evrensel (universal) kriging ve çoklu indikatör (multiple indicator) kriging sayılabilir. Örneğin ortalamalı kriging tüm veri setinin ortalamasında kullanılırken, evrensel kriging bölgesel değişkenlerin durağanlık özelliği taşımadığı durumlarda verilerin bir trend göstermesi ve bu trendin de hesaba katılarak kriging sisteminin çözümlenmesi esasına dayanarak kullanılmaktadır (İnal ve Yiğit, 2003). Kriging yöntemlerinden en temeli ve basit olanı ise ortalamasız kriging yöntemidir.

### 3.2. Kriging Yöntemi ve Kestirimin Özellikleri

Genel olarak kestirim işlemi bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır ve matematiksel olarak ;

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir (Journel and Huijbreghts, 1978). Yukarıda verilen eşitlikte:

$z^*(x_0)$ :  $x_0$  noktasında bilinmeyen ancak kestirilen değeri,

$z(x_i)$ :  $x_0$  noktasının kestiriminde kullanılacak verileri,

$\lambda_i$ : verilere atanacak ağırlıkları göstermektedir.

$x_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  noktalarındaki değişkenin değerleri belirlidir. Ancak bunlara verilecek ağırlıkların hesaplanması gerekmektedir. Jeostatistikte bu ağırlıkların belirlenmesinde iki koşul gözönüne alınır:

- 1) Kestirim hatalarının ortalaması "0" olmalıdır. Bu koşul yansızlık koşulu olarak bilinir.

$$E[Z(x_0) - Z^*(x_0)] = 0 \quad (3.2)$$

2) Kestirim hatalarının varyansı minimum olmalıdır.

$$E[Z(x_0) - Z^*(x_0)]^2 = \min \quad (3.3)$$

Yansızlık ve minimum varyans koşulunu temel alan kriging  $(n+1) \times (n+1)$ ' lik matris formunda (3.4) eşitliği ile ifade edilir:

$$[K] * [\lambda] = [M] \quad (3.4)$$

Eşitlikte:

$[K]$  matrisi bilinmeyen nokta etrafındaki  $x_i$  ve  $x_j$  noktaları arasındaki uzaklığa ilişkin variogram değerlerinden ;

$[\lambda]$  matrisi verilere atanacak olan ağırlık değerleri ve  $\mu$  lagrange sabitinden;

$[M]$  matrisi ise kestirilecek  $x_0$  noktası ile kestirimde kullanılacak olan noktalar arasındaki variogram değerlerinden oluşur.

Buna göre doğrusal denklemler sisteminin çözümünü temel alan kriging genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdot & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdot & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdot & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \gamma_{02} \\ \cdot \\ \gamma_{0n} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Kriging yönteminin diğer kestirim yöntemlerinden farkı (poligon, basit ortalama ve uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi), ağırlıkların gelişigüzel kurallara göre belirlenmeyip, belirli matematiksel işlemlerle bulunmasıdır. Kriging yönteminde

ağırlıklar variogram fonksiyonundan oluşan (3.5)' deki denklem sisteminin çözümünden elde edilir.

### **3.3. Kriging Yönteminin Uygulama Alanları**

Kriging yönteminin jeoloji, hidrojeoloji ve maden jeolojisi dışında da birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Örneğin kriging yöntemi hidrojeolojide arazide düzensiz açılmış gözlem kuyularından elde edilen verilerle bir akiferin kestirim hatası varyansı ile birlikte su tablası yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılabildiği gibi çevresel etkenlerde, radyoaktivite ve sonucunda oluşan çeşitli hastalıklar arasındaki bağlantının istatistiksel veriler ışığında tespit edilmesinde, nüfus-hastalık ilişkilerinin değerlendirilmesinde, çevre kirliliğinin belirlenmesinde, iletişim ağlarının kurulmasında, tarımda, alınan toprak örnekleri sonucunda toprak kalitesinin ve toprakta ekilecek ürüne göre olması gereken çeşitli konsantrasyonların kestiriminde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Weise, 2001).

### **3.4. Lokal Belirsizliklerin Değerlendirilmesi**

Belirsizlik; "güvenilirlik" ve "doğruluk" tanımlamalarını da içine alan bir kavramdır. Belirsizliğin değerlendirilmesindeki ilk adım hatayı etkileyen faktörleri belirlemektir. Bu faktörlerden birincisi kestirilecek nokta etrafındaki örneklemelerin sayısıdır; yakındaki ekstra örneklemeler kestirimin daha güvenilir olmasına yardımcı olur. Bir başka önemli faktör ise mevcut örneklemelerin yakınlığıdır; kestirilecek noktaya yakın örneklemeler bizim kestirimimizin güvenilirliğini arttıracaktır. Bunun yanında yapılan kestirimin doğruluğunu gösteren bir ölçü olmadığında kestirim değeri güvenilir bir değer olmayacaktır. Jeostatistikte bu güvenilirlik ve doğruluk düzeyini de içine alan belirsizliklerin değerlendirilmesinde kestirim hatası varyansı kullanılır.

### 3.5. Kestirim Hatası Varyansı

Bilinmeyen bir değerin kestiriminde her zaman bir hata yapılır. Kestirim yapılan lokasyonda gerçek değer bilinmediği için bu hatayı bilmek olanaklı değilse de variogram fonksiyonu ile hata dağılımının varyansını (kestirim hatası varyansı) hesaplamak mümkündür. Variogram fonksiyonu uzaklığa bağlı ilişkiyi belirlemede ve kestirimde kullanıldığı gibi hata varyansının ( $\sigma^2_E$ ) hesaplanmasında da kullanılabilir.

Kestirim hatası varyansı kestirim değerlerinin doğruluk derecesine ilişkin önemli bilgiler verir. Örneğin kestirim değerine göre büyük olan hata varyansı iyi yapılmayan bir kestirimi ifade eder. Böyle bir kestirim değerinin gerçek değerden uzak olma olasılığı oldukça yüksektir. Düşük kestirim hatası varyansı ise kestirim değerinin gerçeğe yakın olduğunu işaret eder. Bir kestirim işleminin kalitesi incelenen bölgesel değişkenin özelliklerine bağlıdır. Kısa mesafede ani değişim gösteren bir değişkenin kestirimi düzenli değişen bir değişkene göre daha zordur. Düzenli değişim gösteren değişkenin kestiriminde daha az hata yapılır (Tercan ve Saraç, 1998).

Bilinmeyen bir noktadaki değer kriging yöntemi ile kestirildiğinde yapılan hatanın varyansı kriging varyansı olarak adlandırılır ve kriging varyansı basit olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\sigma^2_K = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) + \mu \quad (3.6)$$

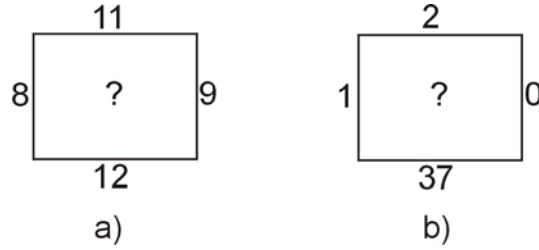
Kriging yönteminin en önemli özelliği kriging varyansı aracılığıyla kestirim hatasını vermesidir. Kriging varyansı;

- kovaryans ve variogram fonksiyonuna bağlıdır
- veri değerlerine bağlı değildir



Kestirimde kullanılacak verilerin ( $z_i$ ) kestirim noktasına ( $z_0$ ) olan uzaklıkları arttıkça,  $C(z_i - z_0)$  ve ağırlıkların ( $\lambda_i$ ) değeri azalır, kriging varyansı ( $\sigma^2_K$ ) ise artar (Gooverts,1997).

Farklı veri dağılımına sahip verilerle bir bloğun kestiriminde sadece variogram fonksiyonu kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Kriging varyansının düzenli değişim gösteren bir veri ile yapılan kestirimde (Şekil 3.1-a) daha düşük değer alması gerekirken her iki durumda da aynı değeri almaktadır (Armstrong, 1994). Bu da kriging varyansının hesaplanırken veri değerleri ne olursa olsun sadece uzaklığa bağlı ilişkinin göz önüne alındığını göstermektedir.



Şekil 3.1. Farklı veri dağılımı ile bir bloğun kestirimi (Armstrong, 1994)

Kriging denklemler sistemi kriging yöntemi ile kestirimde veri dağılımı üzerinde hiç bir kısıtlamanın olmadığını ve yalnızca variogram fonksiyonunun değerlerinin bilinmesi gerektiğini göstermektedir. Kriging varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir, veri sayısının ve veriler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Bu da kriging varyansının tam olarak lokal belirsizliğin bir ölçütünü yansıtmadığını göstermektedir.

## 4. KOŞULLU DAĞILIM FONKSİYONLARININ KESTİRİMİ

### 4.1. Koşullu Dağılım Fonksiyonları ve Koşullu Varyans

Birikimli dağılım fonksiyonu ya da kısaca dağılım fonksiyonu  $F(z_k)$ ,  $Z$  değişkeninin herhangi bir  $z_k$  sınır değerine eşit ya da düşük olma olasılığını gösteren bir fonksiyon olarak tanımlanır.

$$F(z_k) = \Pr [Z \leq z_k] \quad (4.1)$$

Koşullu birikimli dağılım fonksiyonları (koşullu dağılım fonksiyonları), birikimli dağılım fonksiyonunun belirli sayıda veri kullanarak ve belirli bir  $x$  lokasyonu için hesaplanması ile elde edilir. Örneğin  $z(x_1), \dots, z(x_n)$  değerleri bilindiğinde örneklenmemiş bir  $x_0$  noktasındaki  $Z(x_0)$  rastlantı değişkeninin koşullu dağılım fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$\begin{aligned} F[x; z_k | Z_n] &= F(x_0; z_k | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)) \\ &= \Pr[Z(x) \leq z_k | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)] = \Pr[Z(x_0) \leq z_k | Z_n] \end{aligned} \quad (4.2)$$

Koşullu dağılım fonksiyonları kısaca  $F(x; z_k | Z_n)$  ile gösterilir (Tercan ve Kaynak, 1999).

Koşullu dağılım fonksiyonları lokal belirsizliğin verilere bağlı bir ölçüsünü geliştirmede ve bilinmeyen değere ilişkin örnek değerlerine bağlı güven aralıklarını oluşturmada kullanılabilir. Koşullu dağılım fonksiyonları kullanılarak bilinmeyen  $z(x_0)$  değerinin  $z_1$  ve  $z_2$  gibi iki değer arasında olma olasılığı (4.3) eşitliği ile tanımlanır.

$$\Pr [z_1 < z(x_0) < z_2] = F(x_0; z_2 | Z_n) - F(x_0; z_1 | Z_n) \quad (4.3)$$

Aynı şekilde bilinmeyen bir değer herhangi bir  $z_k$  sınır değerinden küçük veya büyük olma olasılığı;

$$\Pr [z(x_0) \leq z_k] = F(x_0; z_k | Z_n) \quad (4.4)$$

$$\Pr [z(x_0) > z_k] = 1 - F(x_0; z_k | Z_n)$$

ile hesaplanır.

Koşullu dağılım fonksiyonları indikatör değişkenlerin beklenen değerleri cinsinden ifade edilir ve bu fonksiyon kullanılarak olasılıklar ve güven aralıkları bilinmeyen değerlerin kestirimine gerek kalmadan hesaplanabilir.

Koşullu dağılım fonksiyonlarının varyansları ise Eşitlik (4.5) ile ifade edilebilir.

$$\sigma^2(x) = \sum_{k=1}^{K+1} \left[ z_k - z_E^*(x) \right]^2 \cdot [F(x; z_k | Z_n) - F(x; z_{k-1} | Z_n)] \quad (4.5)$$

Koşullu varyans, koşullu dağılım fonksiyonunun, ortalama ( $z_E^*(x)$ ) çevresindeki yayılımını ölçen bir istatistiktir. Bu nedenle, koşullu dağılım fonksiyonlarının ortalama ve varyansı, koşullu dağılım fonksiyonunu tanımlayan en önemli parametrelerdir (Goovaerts, 1997).

## 4.2. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestiriminde Kullanılan Yöntemler

Koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılır.

**Parametrik yöntemler:** Parametrik yöntemler koşullu dağılım fonksiyonu için önceden belirli bir dağılım modelinin seçimini gerektirir. En çok kullanılan model, Gaussian (Standart normal) modeldir ve dağılımın ortalama ve varyansı verilerden hesaplanır. Dağılımın standart normal olması, verilerin değil modelin bir özelliğidir. Parametrik yöntemler arasında en çok kullanılanlar ayırık kriging (Matheron, 1976) ve çoklu normal kriging (Verly, 1983)'dir.

**Parametrik olmayan yöntemler:** Parametrik yöntemlerden farklı olarak bu yöntemler koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde herhangi bir modele bağlı kalmadan verilerin kendilerini kullanırlar. Parametrik olmayan yöntemler çok fazla işlem gerektirmesine rağmen daha basit ve esnek yöntemlerdir (Tercan and Dowd, 1995). Doğrudan verileri esas alması ve basit olması nedeni ile parametrik yöntemlere göre daha çok kullanılırlar. Çoklu indikatör kriging (Journel, 1986), indikatör kokriging (Suro-Perez and Journel, 1991), dikleştirilmiş indikatör kriging (Lajaunie, 1992; Tercan, 1999) ve olasılık (probability) kriging (Sullivan, 1984) parametrik olmayan yöntemler arasında sayılabilir.

Parametrik olmayan yöntemler arasında çok fazla kestirim işlemi gerektirmemesi ve basit olması nedeni ile en çok kullanılan çoklu indikatör kriging yöntemidir (Tercan ve Kaynak, 1999).

#### 4.2.1. İndikatör Değişken

$Z(x)$  rastlantı değişkeninin  $z_k$  sınır değerinden düşük ya da yüksek olma olasılığına göre 0 ve 1 şeklinde kodlanması ile elde edilen değişkenlere indikatör değişken adı verilir ve  $I(x; z_k)$  ile gösterilir.

$$I(x; z_k) = \begin{cases} 1, & Z(x) \leq z_k \\ 0 & Z(x) > z_k \end{cases} \quad (4.6)$$

Koşullu dağılım fonksiyonları, indikatör değişkenin beklenen değeri cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$E[I(x; z_k)|Z_n] = 1.F(x; z_k|Z_n) + 0.[1-F(x; z_k|Z_n)] = F(x; z_k|Z_n) \quad (4.7)$$

Buna bağlı olarak koşullu dağılım fonksiyonları, indikatör değişkenlerin kestirimi ile elde edilebilir (Tercan, 1998):

$$F(x; z_k|Z_n) = I(x; z_k)^* \quad (4.8)$$

#### 4.2.2. Çoklu İndikatör Kriging

Çoklu indikatör kriging; kriging tekniğinin bir uygulamasıdır. Bu yöntem tenör değerini hesaplamaz, bir bloğun ne kadarının verilen sınır tenör veya sınır kalınlık değeri üzerinde olduğunu belirlemeye çalışır. Çoklu indikatör kriging, birden çok sınır değer ( $z_k, k=1, \dots, K$ ) için hesaplanır ve bu nedenle belirlenen sınır değer sayısı kadar indikatör variogramın kestirimi ve modellemesini gerektirir (Tercan, 1993).

Çoklu indikatör kriging yönteminde 0 ve 1 şeklinde kodlanmış indikatör değişkenler kullanılır. Eğer,  $Z(x)$  değişkeni, belirli bir sınır değer ( $z_k$ ) den düşük ise 1, yüksek ise 0 değerini alacak şekilde indikatör verilere dönüştürülür.

İndikatör variogram teorik olarak (4.9) eşitliği ile tanımlanır.

$$\gamma_I(h_{\beta\alpha}; z_k) = 0.5E[\{I(x_\beta) - I(x_\alpha)\} \{I(x_\beta) - I(x_\alpha)\}] \quad (4.9)$$

İndikatör variogram deneysel olarak Eşitlik (4.10) ile hesaplanır.

$$\gamma_I(h; z_k) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [I(x_\alpha) - I(x_\alpha + h)][I(x_\alpha) - I(x_\alpha + h)] \quad (4.10)$$

Genel olarak çoklu indikatör kriging sistemi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta(z_k) \gamma_I(h_{\beta\alpha}) + \mu(z_k) = \gamma_I(h_{\alpha 0}; z_k) \quad (4.11)$$

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta(z_k) = 1 \quad \alpha = 1, \dots, n$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $h_{\beta\alpha}=x_{\beta}-x_{\alpha}$ ,  $h_{\alpha 0}=x_0-x_{\alpha}$ ,  $\gamma_1(h_{\beta\alpha};z_k)$  indikatör variogram,  $\mu(z_k)$  ise Lagrange çarpanını ifade etmektedir.  $\lambda_{\alpha}(z_k)$  ağırlıkları da çoklu indikatör kriging sisteminin çözümünden elde edilir.

Çoklu indikatör krigingde  $x_0$  noktasındaki koşullu dağılım fonksiyonu,  $z_k$  sınır değerine ilişkin indikatör veriler kullanılarak (4.12) eşitliği ile kestirilir:

$$[I(x_0 : z_k)]^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(z_k) I(x_{\alpha}; z_k) \quad (4.12)$$

### 4.3. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestiriminde Kullanılan İnterpolasyon ve Ekstrapolasyon Modelleri

$(z_{k-1}, z_k]$  sınır değerleri arasında kalan (middle tail) koşullu dağılımlar interpolasyon modelleri, en küçük sınır değer altındaki (lower tail) ve en büyük sınır değer üstündeki (upper tail) koşullu dağılımlar ise ekstrapolasyon teknikleri ile kestirilebilir. Koşullu dağılımların modelleneceği yere bağlı olarak (alt sınır değer altı, sınıf aralıkları veya üst sınır değer üstü) doğrusal, üslü ve hiperbolik olmak üzere başlıca üç interpolasyon ve ekstrapolasyon modeli tanımlanmıştır (Journel, 1987; Goovaerts, 1997; Deutsch and Journel, 1998).

#### 4.3.1. Doğrusal Model

$(z_{k-1}, z_k]$  sınır değerleri arasında kalan koşullu dağılımların modellenmesinde doğrusal model kullanılır. Bu model belirtilen sınır değerler arasında tek biçimli (uniform) bir dağılımın varlığını kabul eden bir modeldir (Goovaerts, 1997).

$$[F(z)]_{Linear} = F^*(z_{k-1}) + \left[ \frac{z - z_{k-1}}{z_k - z_{k-1}} \right] [F^*(z_k) - F^*(z_{k-1})], \quad \forall z \in (z_{k-1}, z_k] \quad (4.13)$$

$$[F(z_k)]_{Doğrusal} = F^*(z_k), \quad \text{sınır değerlerde}$$

### 4.3.2. Üslü Model

Üslü model;

a) sınıf aralıklarındaki koşullu dağılımların,

$$[F(z)]_{\text{üstel}} = F^*(z_{k-1}) + \left[ \frac{z - z_{k-1}}{z_k - z_{k-1}} \right]^w \cdot [F^*(z_k) - F^*(z_{k-1})] \quad \forall z \in (z_{k-1}, z_k] \quad (4.14)$$

b) alt sınır değerinin altındaki koşullu dağılımların,

$$[F(z)]_{\text{üstel}} = \left[ \frac{z - z_{\min}}{z_1 - z_{\min}} \right]^{w>1} \cdot F^*(z_1) \quad \forall z \in (z_{\min}, z_1] \quad (4.15)$$

c) üst sınır değerinin üstündeki koşullu dağılımların modellenmesinde kullanılabilir (Goovaerts, 1997).

$$[F(z)]_{\text{üstel}} = F^*(z_K) + \left[ \frac{z - z_K}{z_{\max} - z_K} \right]^{w<1} \cdot [1 - F^*(z_K)] \quad \forall z \in (z_K, z_{\max}] \quad (4.16)$$

Eşitliklerde ;

$z_1$ : alt sınır değeri,

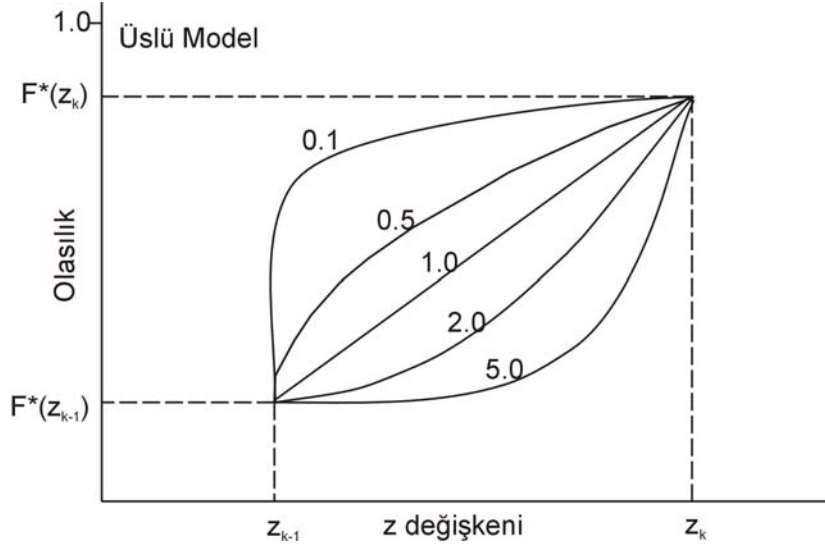
$z_k$ : üst sınır değeri,

$z_{\min}$ : kestirimin yapılacağı en küçük  $z$  değerini,

$z_{\max}$ : kestirimin yapılacağı en büyük  $z$  değerini ifade etmektedir.

Üslü modelde  $w$  parametresi pozitif tanımlıdır ( $w > 0$ ). Üslü parametrenin değişimi Şekil 4.1' de gösterildiği gibi çeşitli interpolasyon/ekstrapolasyon modelleri ile elde edilebilir.

- ❖  $w=1$ ; doğrusal modeli ifade eder (tek biçimli dağılım)
- ❖  $w>1$ ; sola çarpık (negatively skewed) dağılımlar için kullanılır
- ❖  $w<1$ ; sağa çarpık (positively skewed) dağılımlar için kullanılır



Şekil 4.1. Üslü model ve model parametreleri

Sağa çarpık dağılımlarda çarpıklık üslü parametre azaldıkça artarken, sola çarpık dağılımlarda çarpıklık üslü parametrenin artması ile artar.

#### 4.3.3. Hiperbolik Model

Hiperbolik modelle üst sınır değer üzerindeki koşullu dağılımların kestiriminde herhangi bir en büyük değere gerek duymadan modelleme yapılır ve en büyük değer sonsuz olarak alınır. Hiperbolik modellemede aşağıdaki (4.17) eşitliği kullanılır.

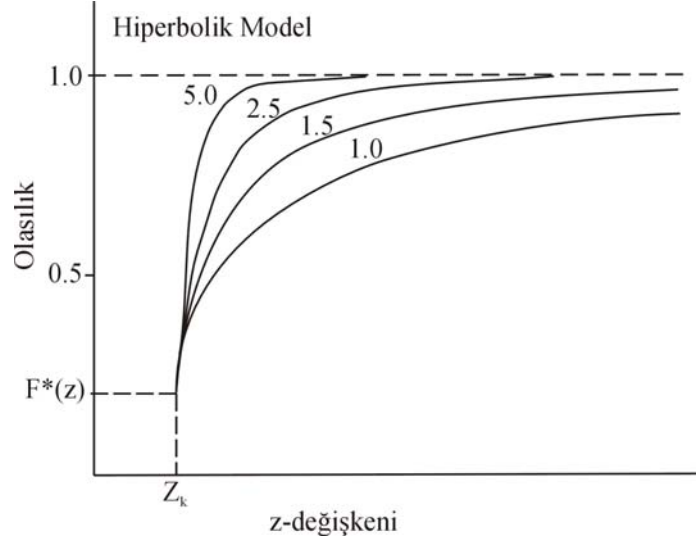
$$[F(z)]_{Hiperbolik} = 1 - \frac{\lambda}{z^w} \quad \forall z > z_k \quad (4.17)$$

Yukarıdaki eşitlikteki  $\lambda$  parametresi örneklemin birikimli sıklık dağılımdan (4.18) eşitliği kullanılarak belirlenir.



$$\lambda = z^w \cdot [1 - F^*(z_k)] \quad (4.18)$$

Üslü parametre (w) Şekil 4.2' de görüldüğü gibi modelin sınır değer 1'e hangi uzaklıkta yaklaşılacağını kontrol eder ve uygulamalarda w=1.5 alınmasının kabul edilebilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Goovaerts, 1997).



Şekil 4.2. Hiperbolik model ve model parametreleri

#### 4.4. Sıralama Bağıntılar Problemi

Kestirilen indikatör değerler, koşullu dağılım fonksiyonlarının yaklaşımları olduklarından Eşitlik (4.19)' da verilen ilişkileri sağlamaları gerekir. Teorikde böyle olsa da uygulamada kestirilen indikatör değerler bu ilişkileri sağlamayabilir.

$$F(z_c) \in [0, 1]$$

$$F(z_k) \leq F(z_{k+1}), z_k \leq z_{k+1}, k=1, \dots, K \quad (4.19)$$

Kestirilen indikatör değerler 0'dan küçük, 1'den büyük değerler alabilir. Buna sıralama bağıntılarının birinci türden bozulması denir. Negatif kriging ağırlıkları indikatör

kestirimlerin 0'dan küçük veya 1'den büyük çıkmasına neden olabilir. Bu durumda 0'dan küçük değerler 0'a, 1'den büyük değerler 1'e eşitlenir.

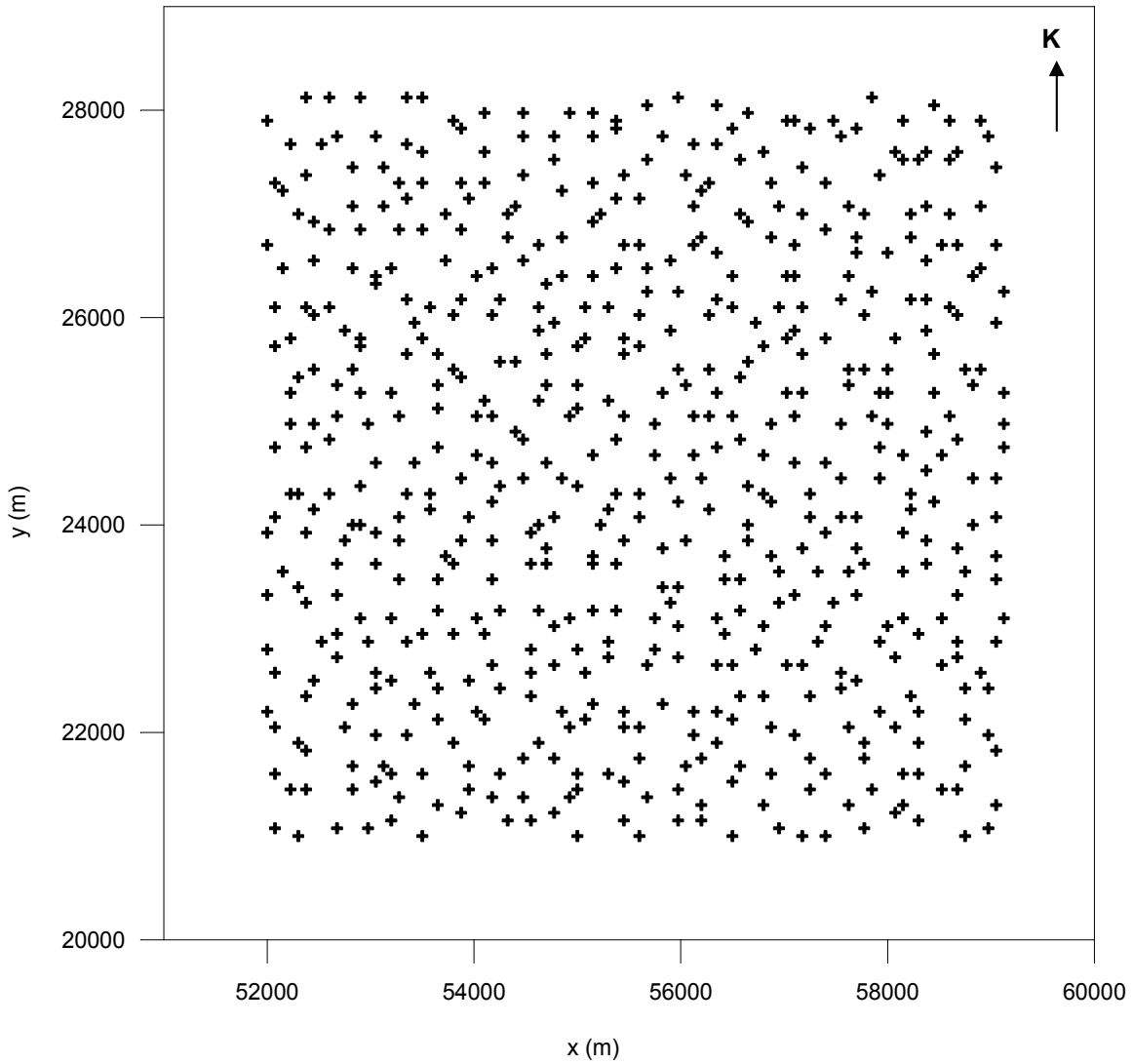
Belirli bir sınır değer için koşullu dağılım fonksiyonunun kestirimi diğer sınır değerlere bağlı bir kısıt içermez. Bu nedenle koşullu dağılım fonksiyonları artan sınır değerleri ile birlikte azalıyor olabilir. Buna sıralama bağıntılarının ikinci türden bozulması denir.

Bu problemin düzeltilmesi için ilk olarak kestirim değerleri en küçük sınır değerden en büyüğe doğru  $[F_1(x; z_k | Z_n), k=1, \dots, K]$  olacak şekilde sıralanır. İkinci olarak en yüksek sınır değerden en küçüğe doğru bir sıralama yapılarak  $[F_2(x; z_k | Z_n), k=1, \dots, K]$  dağılımı elde edilir. Düzeltilmiş kestirim değerleri, bu iki serinin (4.20) eşitliğinde ifade edildiği gibi ortalama değerlerinin alınması ile elde edilir (Goovaerts, 1997).

$$F(x; z_k | Z_n) = \frac{F_1(x, z_k | Z_n) + F_2(x, z_k | Z_n)}{2}, \quad k = 1, \dots, K \quad (4.20)$$

## 5. VERİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ

Jeoistatistiksel kestirimde lokal belirsizliğin değerlendirilmesinde farklı çarpıklık derecelerine sahip 3 tip veri üzerinde çalışılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında simülasyon sonucunda 576 adet veri üretilmiş ve bu veriler lognormal ve gama dağılımına dönüştürülmüştür. Jeostatistiksel kestirimde lokal belirsizliğin değerlendirilmesinde simülasyon sonucunda üretilmiş 576 adet veri değerinin lokasyon haritası Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Simülasyon sonucunda üretilen 576 adet verinin lokasyon haritası

## 5.1. Veri Kümesi 1 (Orijinal)

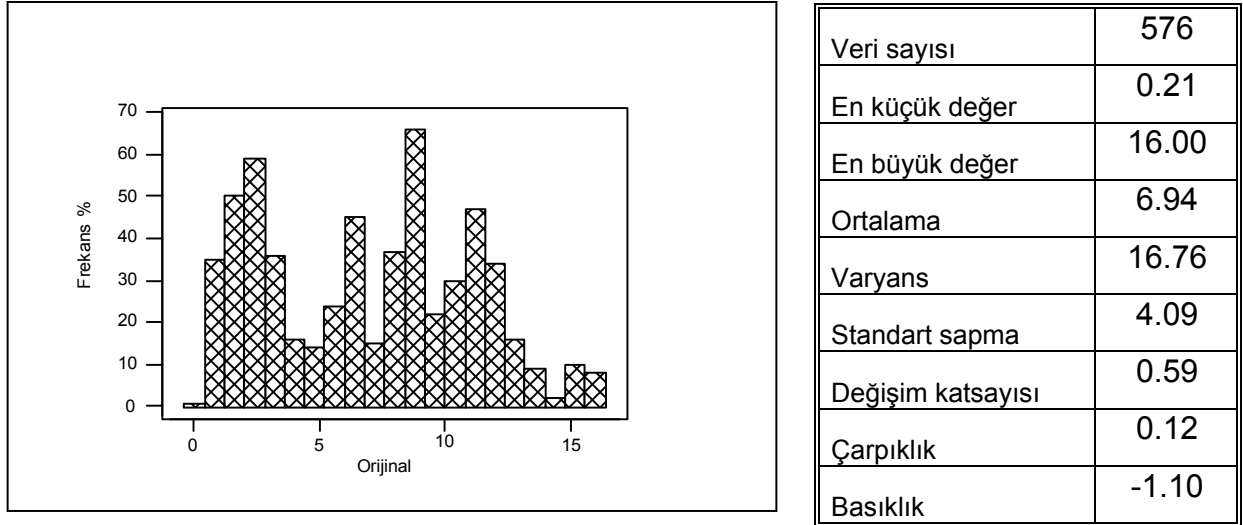
Normal dağılım yoğunluk fonksiyonu ;

$$f(x) = \frac{e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (5.1)$$

ile ifade edilir.  $\mu=0$  ve  $\sigma=1$  için dağılım standart normal dağılım adını alır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$f(x) = \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \quad (5.2)$$

Çalışmanın ilk aşamasında simülasyon sonucunda üretilmiş 576 verinin histogram grafiği çizilmiş ve istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Veri kümesi 1 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler

Histogramdan da görüldüğü gibi veriler ortalaması 6.94 ve standart sapması 4.09 olan bir dağılım göstermektedir.

## 5.2. Veri Kümesi 2 (Lognormal)

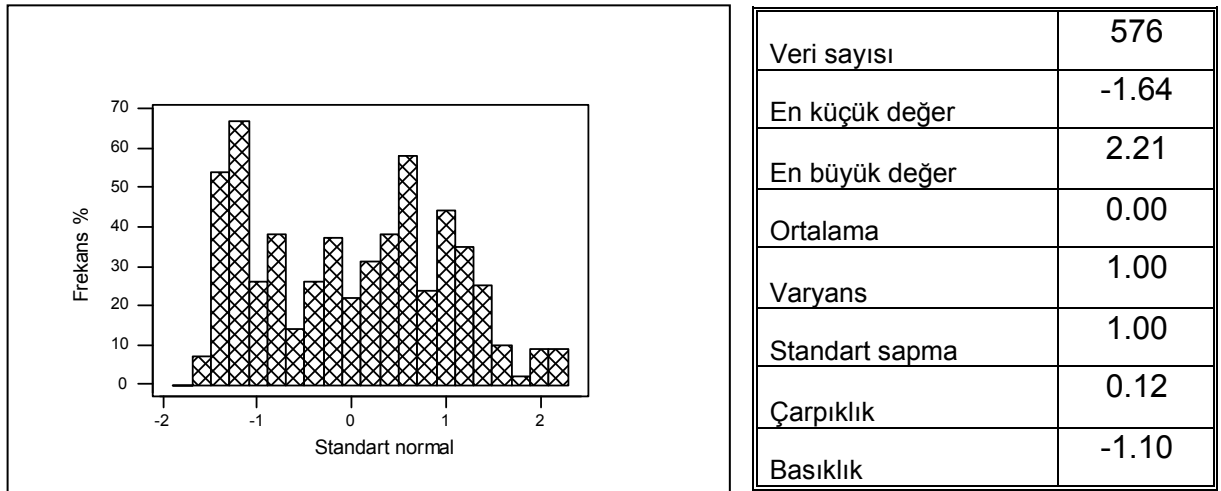
Lognormal dağılım için yoğunluk fonksiyonu  $\mu$  ve  $\sigma$  parametreleri ile aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\phi(x) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right)^2\right]}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \quad x > 0 \quad (5.3)$$

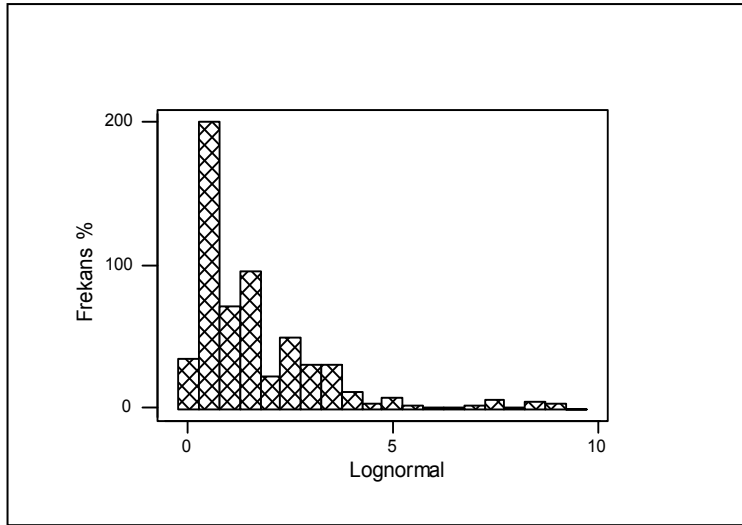
Belli bir ortalama ve standart sapmaya sahip bir Y fonksiyonu üs alma işlemi (exponentiation) ile lognormal dağılıma dönüştürülebilir.

$$X = \exp(Y) \quad (5.4)$$

Verilerin lognormal dağılıma dönüştürülmesinde öncelikle 576 değer ortalaması 0 ve varyansı 1 olacak şekilde standart normal bir dağılıma (Şekil 5.3) dönüştürülmüş; daha sonra bu değerlere üs alma işlemi uygulanarak lognormal bir dağılım (Şekil 5.4) elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Standart normal dağılıma ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler



Veri sayısı	576
En küçük değer	0.19
En büyük değer	9.16
Ortalama	1.61
Varyans	2.82
Standart sapma	1.68
Değişim katsayısı	1.04
Çarpıklık	2.11
Basıklık	5.39

Şekil 5.4. Veri kümesi 2 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler

Histogramdan da görüldüğü gibi veriler ortalaması 1.61 ve standart sapması 1.68 olan sağa çarpık bir dağılım göstermektedir.

### 5.3. Veri Kümesi 3 (Gama)

Gama yoğunluk fonksiyonu (gama density function) aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x \geq 0; \quad \alpha, \beta > 0 \quad (5.5)$$

Eşitlikte  $\alpha$  şekil (shape),  $\beta$  ise ölçek (scale) parametresi olarak tanımlanır.  $\beta=1$  için dağılım standart gama dağılımına dönüşür;

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x} \quad x \geq 0; \quad \alpha > 0 \quad (5.6)$$

Genel olarak gama fonksiyonu  $\Gamma(\alpha)$ ;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5.7)$$

ile tanımlanır. Gama dağılımında ortalama ve varyans değerleri;

$$\begin{aligned} \mu &= \alpha\beta \\ \sigma^2 &= \alpha\beta^2 \end{aligned} \quad (5.8)$$

ile hesaplanır.

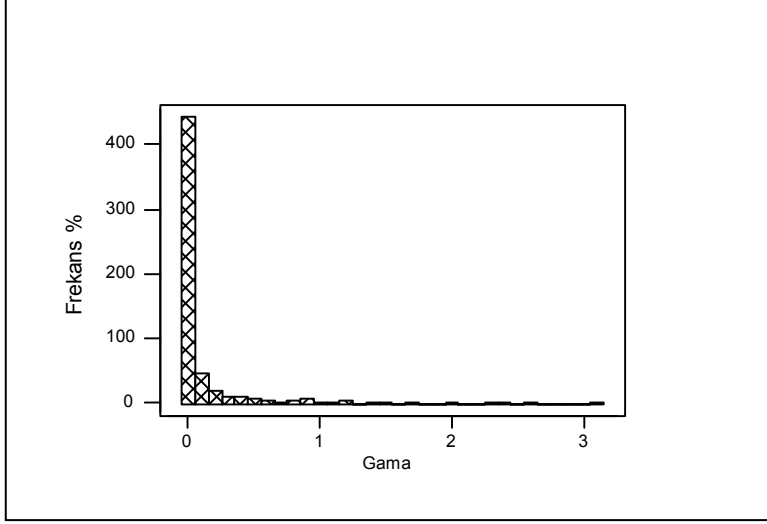
Verilerin gama dağılımına dönüştürülmesi için öncelikle  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin belirlenmesi gerekir.  $\alpha$  parametresi gama dağılımının değişim katsayısı göz önüne alınarak belirlenir. Değişim katsayısı dağılımın şeklini tanımlamada çarpıklık katsayısına alternatif olarak kullanılan bir istatistiktir ve standart sapmanın ortalamaya oranına eşittir. Bir  $x$  gama değişkeni için ortalama ve varyans;

$$\begin{aligned} E(x) &= \alpha\beta \\ \text{Var}(x) &= \alpha\beta^2 \end{aligned} \quad (5.9)$$

dir ve buna göre değişim katsayısı (5.10) eşitliği ile hesaplanır,

$$CV = \frac{\sqrt{\text{Var}(x)}}{E(x)} = \sqrt{1/\alpha} \quad (5.10)$$

Burada değişim katsayısı 3 olarak seçilmiş ve buna göre  $\alpha$  değeri 0.11;  $\beta$  değeri ise 1 olarak hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre ( $\alpha=0.11$  ve  $\beta=1$ ) MINITAB programında random olarak 576 tane veri üretilmiştir. Elde edilen verilerin histogram grafiği ve istatistiksel parametreleri Şekil 5.5' de verilmiştir.



Veri sayısı	576
En küçük değer	0.00
En büyük değer	3.10
Ortalama	0.11
Varyans	0.11
Standart sapma	0.33
Değişim katsayısı	2.92
Çarpıklık	4.83
Basıklık	28.84

Şekil 5.5.  $\alpha=0.11$  ve  $\beta=1$  parametrelerine göre üretilmiş gama değerlerine ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler

Verilerin gama dağılımına dönüştürülmesinde 5.11 eşitliği temel alınmıştır.

$$F(x) = G(y) = k \quad (5.11)$$

$F(x)$  : orijinal değerler için kümülatif dağılım fonksiyonu,

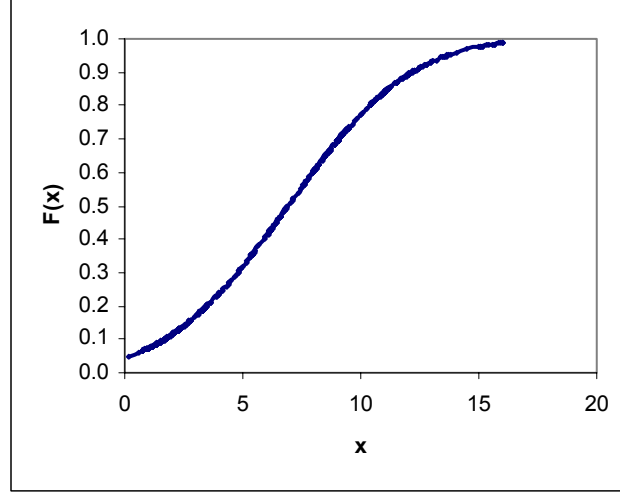
$G(y)$ : üretilen gama değerleri için kümülatif dağılım fonksiyonunu,

$k$  : 0-1 arasında değişen 50 değeri

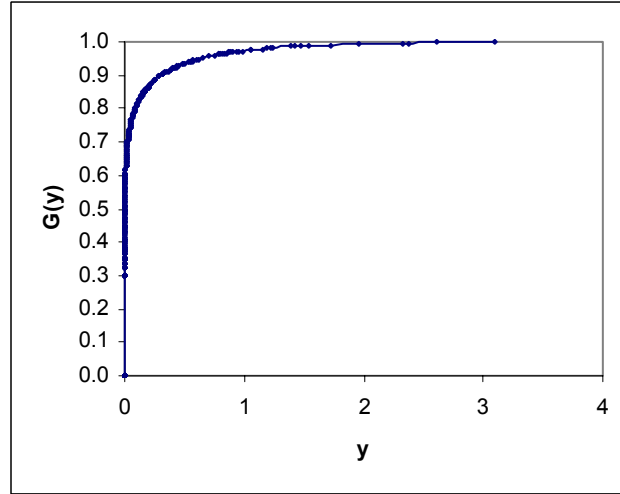
ifade etmektedir.

Orijinal ve gama değerlerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' de verilmiştir.





Şekil 5.6. Orijinal değerler için kümülatif dağılım fonksiyonu



Şekil 5.7. Gama değerleri için kümülatif dağılım fonksiyonunu

Bu grafiklere göre hem orijinal hem de gama değerlerinin kümülatif dağılım fonksiyonlarında ortak olan 50 k değeri (0-1) belirlenmiştir. Her bir k değeri ters kümülatif dağılım fonksiyonları Eşitlik (5.12) için hesaplanarak  $[x_k, y_k]$  veri çifti elde edilmiştir.

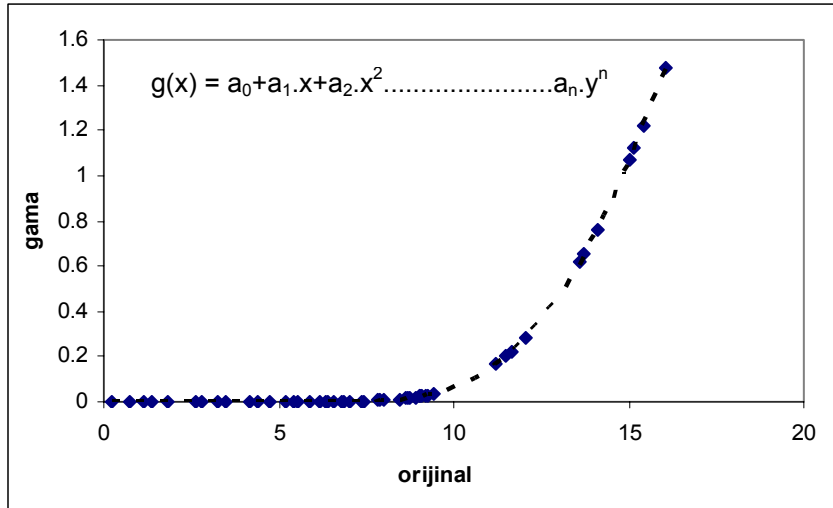
$$x_k = F^{-1}(k)$$

$$y_k = G^{-1}(k)$$
(5.12)

Elde edilen 50  $[x_k, y_k]$  veri çiftine n. dereceden bir polinom uyarlanmıştır.

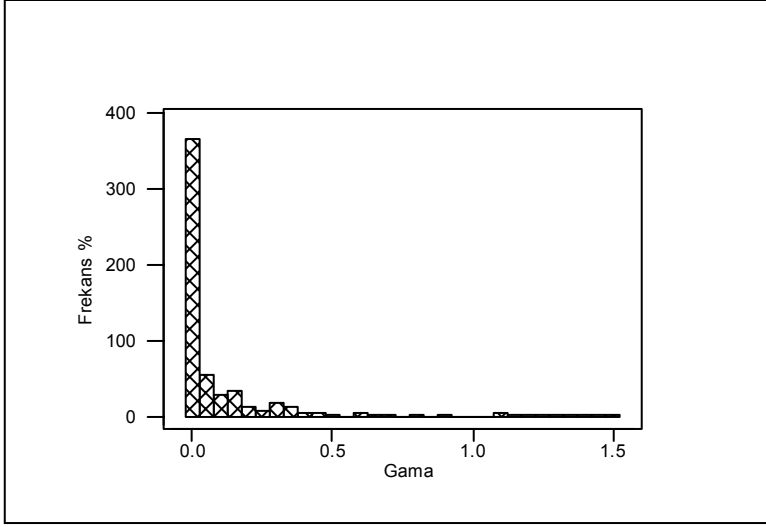
$$g(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 x^2 + \dots + a_n \cdot x^n$$
(5.13)

Yukarıdaki polinom fonksiyonunda  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  polinom katsayılarını göstermektedir. Burada 50  $[x_k, y_k]$  veri çiftine Şekil 5.8' de görüldüğü gibi 9. dereceden bir polinom fonksiyonu uyarlanmıştır.



Şekil 5.8. 50  $[x_k, y_k]$  veri çiftine uyarlanan polinom fonksiyon grafiği

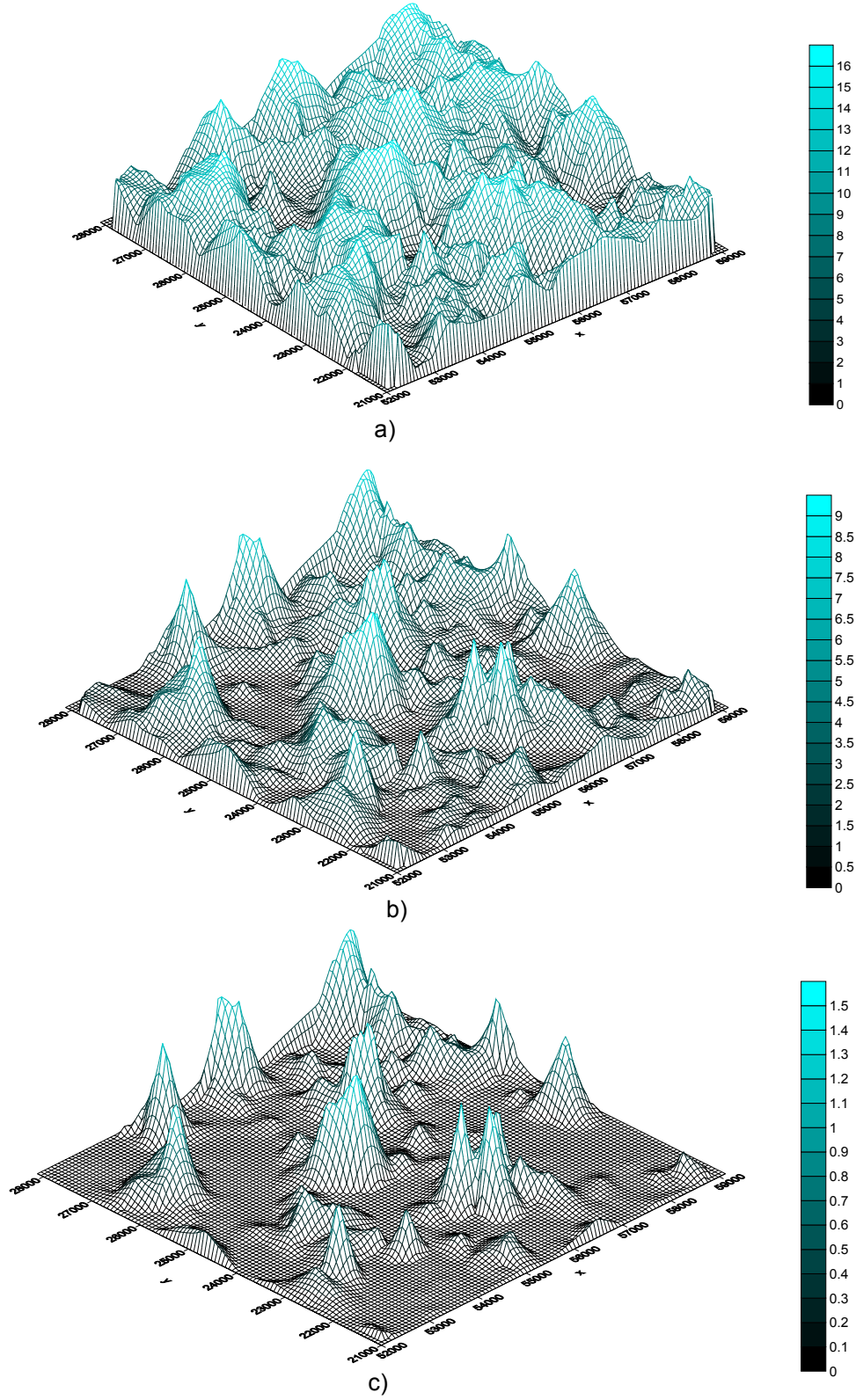
Elde edilen bu polinomda x değerleri yerine 576 adet veri değeri konarak orijinal değerler gama değerlerine dönüştürülmüştür. Polinom fonksiyonu ile elde edilen gama dağılımına uygun 576 değer in histogram grafiği ve istatistiksel parametreleri aşağıda gösterilmektedir (Şekil 5.9)



Veri sayısı	576
En küçük değer	0.00
En büyük değer	1.48
Ortalama	0.10
Varyans	0.06
Standart sapma	0.25
Değişim katsayısı	2.37
Çarpıklık	3.69
Basıklık	14.56

Şekil 5.9. Veri kümesi 3 için histogram grafiği ve istatistiksel parametreler

Elde edilen farklı çarpıklık değerlerine sahip 3 tip veri kümesinin (orijinal-lognormal-gama) blok diyagramları Şekil 5.10'da sunulmuştur.



Şekil 5.10. 3 tip veri kümesinin blok diyagramları a) orijinal b) lognormal c) gama

## 6. JEOİSTATİSTİKSEL KESTİRİMDEKİ LOKAL BELİRSİZLİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

### 6.1. Yeni Bir Yaklaşım : Alternatif Varyans

Bu çalışma kapsamında jeostatistiksel kestirimdeki lokal belirsizliklere alternatif olarak ortalamasız kriging ve koşullu varyans değerlerini içine alan yeni bir varyans geliştirilmiş ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$\sigma^2_{AL} = \sigma^2_{OK} + \sigma^2_{KV} \quad (6.1)$$

Eşitlikte,

$\sigma^2_{OK}$  = Ortalamasız kriging varyansı

$\sigma^2_{KV}$  = Koşullu varyans

$\sigma^2_{AL}$  = Alternatif varyans

ifade etmektedir.

(6.1) eşitliği daha açık bir ifade ile aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\sigma^2_{AL} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) + \mu + \sum_{k=1}^{K+1} \left[ z_k - z_E^*(x) \right]^2 \cdot \left[ F(x; z_k | Z_n) - F(x; z_{k-1} | Z_n) \right] \quad (6.2)$$

Nokta ya da blokların kestiriminde kestirim hata varyansı çeşitli faktörlerden etkilenir. Genel olarak V bloğunun ortalama değerinin diğer bir v bloğunun ortalama değeri ile kestiriminde yapılan hatanın varyansı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\sigma^2_E = 2\tilde{\gamma}(V, v) - \tilde{\gamma}(V, V) - \tilde{\gamma}(v, v) \quad (6.3)$$

Eşitlik (6.3)' de  $\tilde{\gamma}(V, v), \tilde{\gamma}(V, V), \tilde{\gamma}(v, v)$  terimleri ortalama variogram değerlerini ifade eder ve bu eşitlik kestirim işleminin aşağıda belirtilen faktörlere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Buna göre;

- Kestirilecek blok ile kestirimde kullanılan veriler arasındaki uzaklık arttıkça,  $\tilde{\gamma}(V, v)$  değeri buna bağlı olarak kestirim hata varyansı artar.
- Kestirimde kullanılacak veri sayısı arttıkça,  $\tilde{\gamma}(v, v)$  değeri artar ve kestirim hata varyansı azalır.
- $V$  ve  $v$  blokları arasındaki uzaklık, aynı zamanda  $v$  bloğunun boyutları sabit kabul edildiğinde; bir noktadaki bilinmeyen değerın kestirimi daha büyük bir bloğun ortalama değerinin kestiriminden daha zordur. Buna göre  $\tilde{\gamma}(V, V)$  değeri yani blok büyüklüğü artarsa kestirim hata varyansı azalır.

Bu faktörlerin dışında kestirim hata varyansı bir bölgesel değişkenin yapısal özelliklerine (variogram fonksiyonu) bağlı olarak değişir. Kısa mesafede ani değişim gösteren bir değişkenin kestirimi düzenli değişim gösteren değişkenin kestirimine göre daha zordur. Buna bağlı olarak verilerin değişkenliği arttıkça kestirim hata varyansı da artar (Tercan ve Saraç, 1998).

Alternatif varyans hesaplamalarında kullanılan koşullu varyans değerleri verilerin değişkenliğine bağlı olarak değişir. Verilerin değişkenliği arttıkça koşullu varyans da artar. Ancak kriging varyansından farklı olarak koşullu varyans veriler arasındaki uzaklığı dikkate almaz.

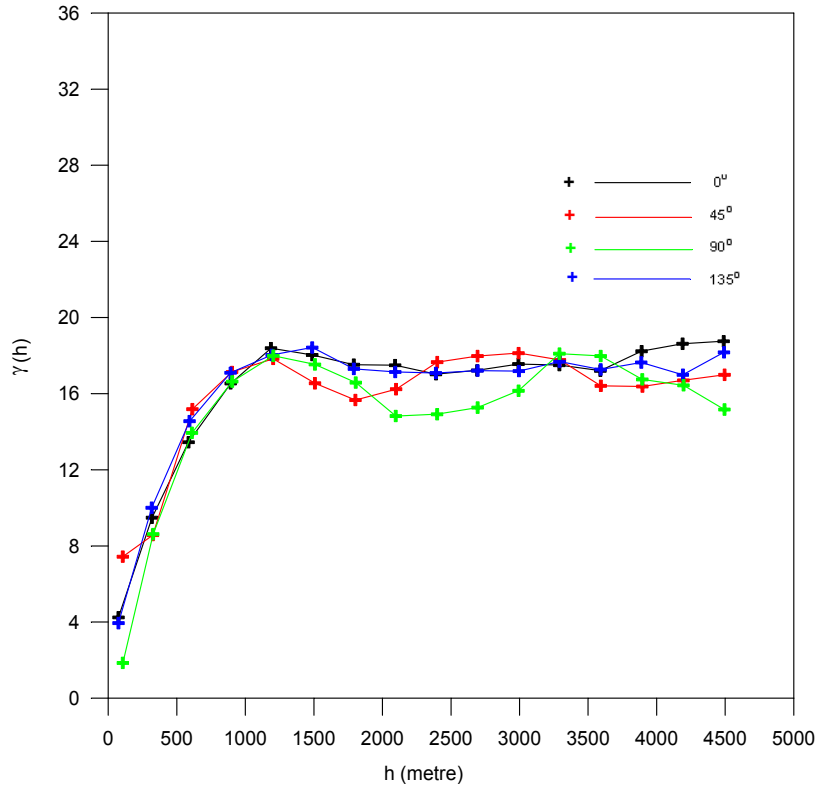
## 6.2. Variogram Analizi

Uzaklığa bağlı ilişkiyi belirlemede kullanılan variogram fonksiyonunun hesaplanmasında öncelikle adım uzaklığı ve buna göre kullanılacak olan uzaklık

toleransları belirlenmiştir. Veriler düzensiz bir dağılım gösterdiği için adım uzaklığının belirlenmesinde örnekler arasındaki ortalama uzaklık kullanılmıştır.

Buna göre 576 veriden oluşan 3 tip veri kümesi için variogram değerlerinin hesaplanmasında adım uzaklığı 300 m, uzaklık toleransı 150 m olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar 15 lag için yapılmış ve bant genişliği 1500 m olarak alınmıştır. Variogram hesaplamalarında Geostatistical Software Library-GSLIB "(Deutsch and Journel, 1998)" de yer alan Gamv isimli yazılım kullanılmıştır.

Anizotropi incelemesinde variogram hesaplamaları göz önüne alınmıştır. Genel olarak yapısal uzaklığın yönlere göre değiştiği durumlarda geometrik anizotropiden, yapısal uzaklığın sabit kalıp eşik değerinin değiştiği durumlarda da zonal anizotropiden söz edilir (Hohn, 1988). Anizotropinin belirlenmesi için DB, K45D, KG ve K45B ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  ve  $135^{\circ}$ ) olmak üzere dört ana yönde hesaplamalar yapılmış ve variogramlar izotrop olarak belirlenmiştir (Şekil 6.1). Buna göre tüm variogram değerleri yöne bağlı olmaksızın (omnidirectional) hesaplanmıştır.



Şekil 6.1.  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  ve  $135^{\circ}$  yönlerindeki deneysel variogramlar

### 6.3. Modelleme ve Modellerin Geçerliliği

Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve örneklenmemiş noktalardaki değerlerin kestiriminde variogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir, bu da variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı yani modellemeyi gerektirir. Buna göre 3 tip veri kümesi için elde edilen variogram fonksiyonları küresel olarak modellenmiştir.

Elde edilen model parametrelerinin doğruluğunun belirlenmesinde çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır (Tercan ve Saraç, 1998).

Bu yöntemde, variogram fonksiyonuna ilişkin model ve model parametreleri belirlendikten sonra her bir veri örnek setinden çıkarılarak geri kalan veriler yardımıyla yeniden kestirilir. Bunun sonucunda kestirim değerleri ile gerçek değerler arasındaki fark (kestirim hatası) aşağıdaki kriterler gözönüne alınarak değerlendirilir.

İdeal bir model ve model parametreleri için;

- ❖ Kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en az (minimum) olmalıdır.

$$E [Z(x) - Z^*(x)] = 0 \quad (6.4)$$

$$E [Z(x) - Z^*(x)]^2 = \text{minimum}$$

- ❖ Gerçek veriler ve kestirilen değerler arasındaki korelasyon katsayısı 1' e yakın olmalıdır.

$$r_{Z(x), Z^*(x)} \approx 1 \quad (6.5)$$

- ❖ Kestirim hatalarının kareler ortalaması, kriging varyansının ortalamasına yakın olmalıdır.



$$\text{Var} [Z(x) - Z^*(x)]^* \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ki} \quad (6.6)$$

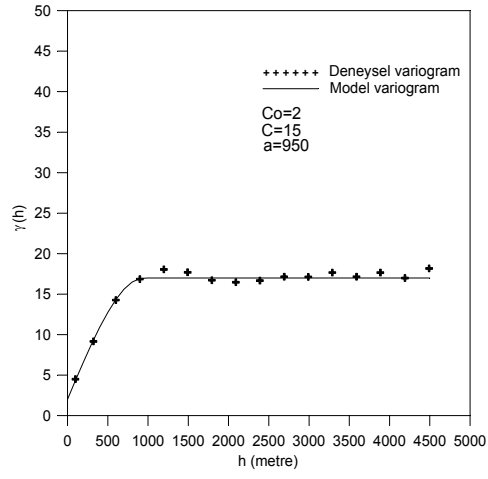
- ❖ Gerçek değerlerin kestirilen değerler üzerindeki doğrusal regresyonu  $45^{\circ}$  ye yakın olmalıdır. Yani orijindeki kesişim 0 değerine yaklaşmalı, eğim ise yaklaşık 1 olmalıdır.

3 tip veri kümesi için belirlenen modellere uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

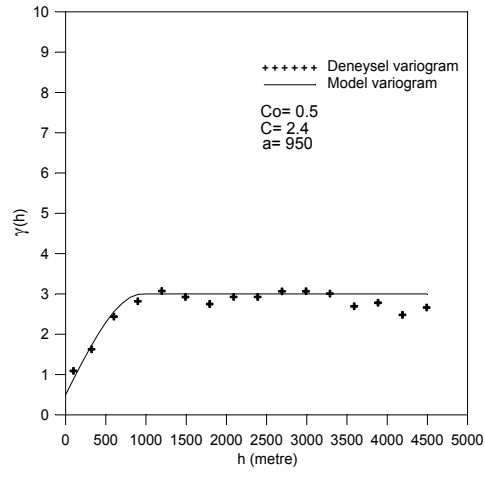
Çizelge 6.1. 3 tip veri kümesine ait çapraz doğrulama tekniği sonuçları

Veri kümesi	Gerç.Değ. Ort.	Kest.Değ. Ort.	Kest. Hat. Ort.	Kest. Hat. $\sigma^2$	(Kest. Hat.) <sup>2</sup> Ort.	Krig. $\sigma^2$ Ort.
Orijinal	6.935	6.925	0.002	1.133	8.710	7.675
Lognormal	1.614	1.609	0.002	1.060	1.600	1.500
Gama	0.105	0.104	0.000	0.755	0.044	0.061

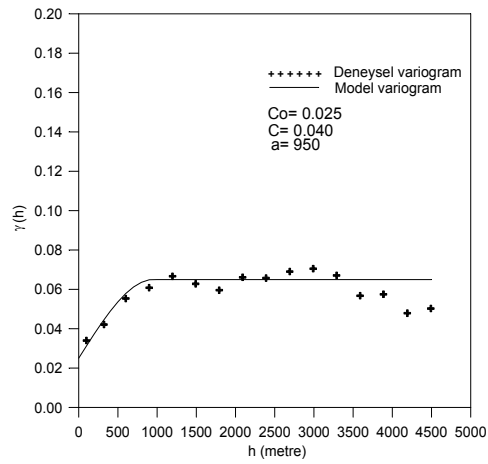
Çapraz doğrulama tekniği sonucunda belirlenen en iyi model ve model parametrelerine göre 3 tip veri kümesine ait deneysel ve model variogram grafikleri Şekil 6.2' de sunulmuştur.



a)



b)



c)

Şekil 6.2. Veri kümelerine ait deneysel ve model variogramlar

a)orijinal b)lognormal c)gama

#### 6.4. Ortalamasız Kriging

Bilinmeyen bir noktanın ortalamasız kriging ile kestirimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (6.7)$$

Yansızlık koşulu altında ( $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ) hata varyansının minimizasyonunu temel alan ortalamasız kriging sistemi;

$$\begin{cases} \sum_j \lambda_j Cov\{Z(x_i), Z(x_j)\} + \mu = Cov\{Z(x_i), Z(x_0)\} & i = 1, n \\ \sum_j \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (6.8)$$

ile tanımlanır.

Hata varyansının minimizasyonu aynı zamanda kriging varyansı olarak tanımlanır ve (6.9) eşitliği ile gösterilir.

$$\sigma^2_{OK} = C(0) - \sum_i \lambda_i Cov\{Z(x_i), Z(x_0)\} - \mu \quad (6.9)$$

Buna göre variogram fonksiyonu hesaplanan 3 tip veri kümesine ait 576 adet veri; belirlenen model parametreleri ile ortalamasız kriging yöntemi kullanılarak kestirilmiştir. Ortalamasız kriging ile kestirimde Geostatistical Software Library-GSLIB "(Deutsch and Journel, 1998)" de yer alan OKB2D isimli yazılım kullanılmıştır. Bir noktanın kestiriminde kullanılan veri sayısı en az 4, en fazla 16' dır. Kestirim yarıçapı 1500 m. alınmıştır. Kestirim sonucunda 225 noktada kestirim ve kestirim varyansı değeri elde edilmiştir.

## **6.5. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestirimi**

Koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde ortanca indikatör ve çoklu indikatör kriging yöntemleri kullanılmış ve bunların sonucunda elde edilen koşullu varyans değerleri kullanılarak alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir.

### **6.5.1. İndikatör Variogram Analizi ve Modelleme**

İndikatör variogramların hesaplanmasında sınır değerler belirlenirken, ekonomik ve teknik bir sınırlama olmadığı için verilerin onda birlik (percentile) değerleri kullanılmıştır. Sınır değerler belirlenirken öncelikle 576 adet veri küçükten büyüğe doğru sıralanmış, daha sonra verilerin %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %90 değerlerine karşılık gelen değerler 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. sınır değer olarak atanmıştır. Her bir sınır değer için veriler 0 ve 1 şeklinde kodlanarak indikatör verilere dönüştürülmüştür. Buna göre 3 tip veri kümesi için belirlenen 9 sınır değer ve buna göre kodlanmış verilerin örnek varyansları Çizelge 6.2'de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Veri kümeleri için ondabirlik değerlere göre belirlenen sınır değerler ve örnek varyansları (a) orijinal b) lognormal c) gama

Ondabirlik değerler (Percentiles)	Sınır Değerler (Cut-offs)	Örnek Varyansları (Sample Variance)
0.1	1.51	0.09
0.2	2.30	0.16
0.3	3.41	0.21
0.4	5.55	0.24
0.5	7.15	0.25
0.6	8.65	0.24
0.7	9.29	0.21
0.8	11.00	0.16
0.9	12.11	0.09

a)

Ondabirlik değerler (Percentiles)	Sınır Değerler (Cut-offs)	Örnek Varyansları (Sample Variance)
0.1	0.27	0.09
0.2	0.32	0.16
0.3	0.42	0.21
0.4	0.71	0.24
0.5	1.05	0.25
0.6	1.52	0.24
0.7	1.78	0.21
0.8	2.70	0.16
0.9	3.54	0.09

b)

Ondabirlik değerler (Percentiles)	Sınır Değerler (Cut-offs)	Örnek Varyansları (Sample Variance)
0.1	0.0003	0.09
0.2	0.0006	0.16
0.3	0.0008	0.21
0.4	0.0011	0.24
0.5	0.0027	0.25
0.6	0.0166	0.24
0.7	0.0338	0.21
0.8	0.1466	0.16
0.9	0.2989	0.09

c)

İndikatör variogram hesaplamalarında Geostatistical Software Library-GSLIB “(Deutsch and Journel, 1998)” de yer alan Gamv isimli yazılım kullanılmıştır. Belirlenen 9 sınır değeri için indikatör variogramların hesaplanmasında adım uzaklığı 300 m, uzaklık toleransı 150 m olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar yöne bağlı olmaksızın yapılmıştır. Buna göre elde edilen indikatör variogramlar küresel olarak modellenmiş olup, model parametreleri ( $C_0$ , C ve a) Çizelge 6.3’ de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. 3 tip veri kümesi için belirlenen model parametreleri

SınırDeğer (Orijinal)	$C_0$	C	a	SınırDeğer (Lognormal)	$C_0$	C	a	SınırDeğer (Gama)	$C_0$	C	A
1.51	0.040	0.055	700	0.27	0.050	0.040	800	0.0003	0.050	0.030	450
2.30	0.040	0.120	800	0.32	0.030	0.120	800	0.0006	0.080	0.070	700
3.41	0.055	0.160	850	0.42	0.050	0.160	850	0.0008	0.090	0.100	700
5.55	0.080	0.163	850	0.71	0.070	0.70	850	0.0011	0.080	0.160	850
7.15	0.075	0.175	850	1.05	0.070	0.180	850	0.0027	0.070	0.180	850
8.65	0.120	0.120	1000	1.52	0.110	0.130	950	0.0166	0.120	0.120	1000
9.29	0.110	0.100	1000	1.78	0.100	0.110	1000	0.0338	0.110	0.100	1000
11.00	0.070	0.095	1000	2.70	0.065	0.100	1000	0.1466	0.060	0.100	950
12.11	0.050	0.043	1000	3.54	0.050	0.045	950	0.2989	0.050	0.040	900

Elde edilen model parametrelerinin doğruluğunun belirlenmesinde (Tercan ve Saraç, 1998)’ e göre çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır Her bir sınır değeri için hesaplanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları Çizelge 6.4 ’de sunulmuştur.

Çapraz doğrulama tekniği sonucunda belirlenen en iyi model ve model parametrelerine göre indikatör verileri için hesaplanan deneysel ve model variogram grafikleri Ek-1, Ek-2 ve Ek-3’ de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Sınır değerler için belirlenen model parametrelerine uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları (a) orijinal b) lognormal c) gama

Sınır Değer	Gerç.Değ. Ort.	Kest.Değ. Ort.	Kest. Hat. Ort.	Kest. Hat. $\sigma^2$	(Kest. Hat.) <sup>2</sup> Ort.	Krig. $\sigma^2$ Ort.
1.51	0.101	0.103	0.006	0.789	0.086	0.113
2.30	0.203	0.206	0.006	1.047	0.126	0.125
3.41	0.300	0.302	0.002	1.040	0.153	0.151
5.55	0.401	0.402	0.003	1.014	0.185	0.184
7.15	0.502	0.505	0.006	1.105	0.202	0.182
8.65	0.602	0.604	0.002	0.882	0.175	0.198
9.29	0.700	0.701	0.001	0.824	0.149	0.181
11.00	0.804	0.804	0.000	0.898	0.115	0.130
12.11	0.899	0.899	0.001	0.843	0.076	0.093

a)

Sınır Değer	Gerç.Değ. Ort.	Kest.Değ. Ort.	Kest. Hat. Ort.	Kest. Hat. $\sigma^2$	(Kest. Hat.) <sup>2</sup> Ort.	Krig. $\sigma^2$ Ort.
0.27	0.101	0.103	0.006	0.789	0.086	0.113
0.32	0.203	0.206	0.006	1.047	0.126	0.125
0.42	0.300	0.302	0.002	1.040	0.153	0.151
0.71	0.401	0.402	0.003	1.014	0.185	0.184
1.05	0.502	0.505	0.006	1.105	0.202	0.182
1.52	0.602	0.604	0.002	0.882	0.175	0.198
1.78	0.700	0.701	0.001	0.824	0.149	0.181
2.70	0.804	0.804	0.000	0.898	0.115	0.130
3.54	0.899	0.899	0.001	0.843	0.076	0.093

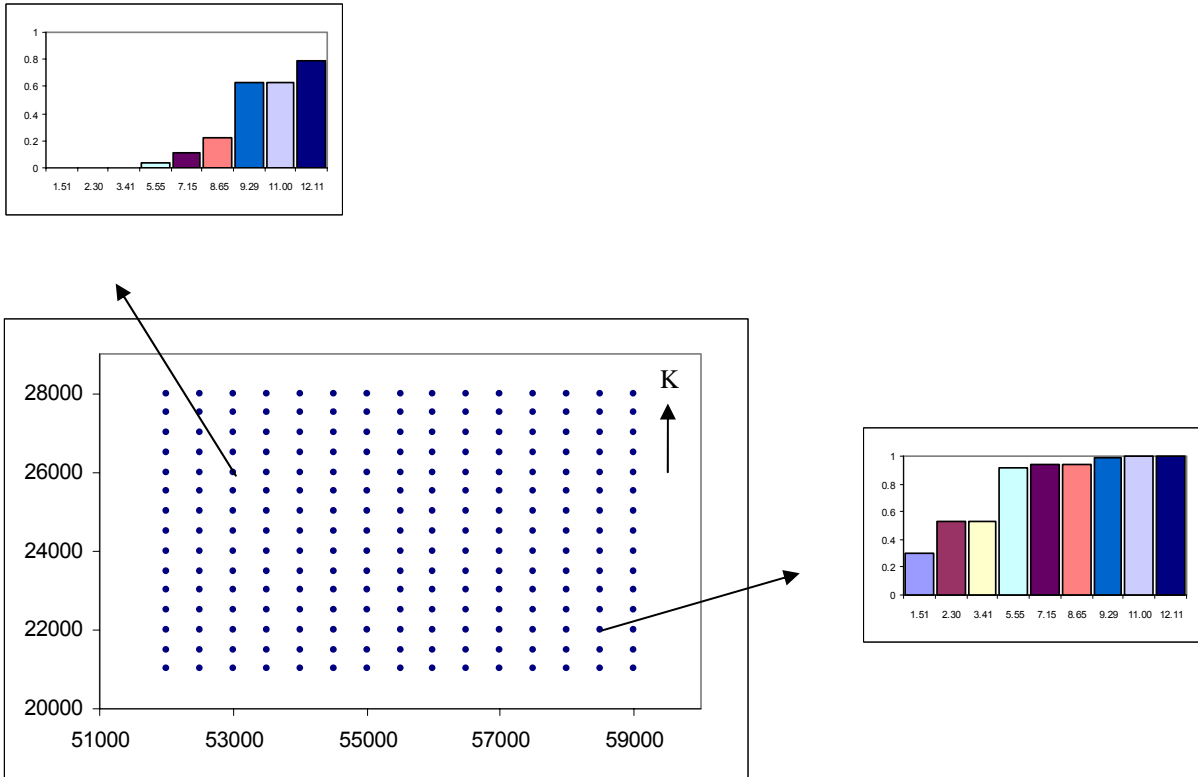
b)

Sınır Değer	Gerç.Değ. Ort.	Kest.Değ. Ort.	Kest. Hat. Ort.	Kest. Hat. $\sigma^2$	(Kest. Hat.) <sup>2</sup> Ort.	Krig. $\sigma^2$ Ort.
0.0003	0.094	0.0094	0.002	0.693	0.092	0.133
0.0006	0.179	0.179	0.002	0.859	0.144	0.168
0.0008	0.260	0.262	0.004	0.979	0.188	0.194
0.0011	0.401	0.402	0.003	1.019	0.185	0.183
0.0027	0.498	0.501	0.005	1.136	0.203	0.178
0.0166	0.599	0.600	0.002	0.873	0.174	0.198
0.0338	0.700	0.701	0.001	0.824	0.149	0.181
0.1466	0.804	0.804	0.000	0.947	0.116	0.124
0.2989	0.899	0.899	0.001	0.776	0.076	0.101

c)

## 6.5.2. Çoklu İndikatör Kriging

Koşullu dağılımların çoklu indikatör kriging ile kestiriminde GSLIB (Deutsch and Journel, 1998)' de yer alan IK3D programı kullanılmıştır. Bu program koşullu dağılımların kestirimini, belirlenen 9 sınır değere göre kodlanan 576 adet veriden elde edilen indikatör değerlerin variogram parametrelerini kullanarak gerçekleştirir. Buna göre koşullu dağılımlar 9 sınır değer için 225 lokasyonda çoklu indikatör kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Bir noktanın kestiriminde kullanılan veri sayısı en az 4, en fazla 16' dır. Kestirim yarıçapı 1500 m. alınmıştır. Şekil 6.3. kestirim yapılan bazı lokasyonları ve o lokasyonlardaki koşullu dağılım fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 6.3. Kestirim yapılan lokasyonlar ve bazı lokasyonlardaki koşullu dağılım fonksiyonları



Ortalama ve varyans koşullu dağılım fonksiyonlarını tanımlayan en önemli parametrelerdir. Kestirimi yapılan koşullu dağılım fonksiyonlarının varyansları GSLIB (Deutsch and Journel, 1998)' den POSTIK programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan en küçük veri değeri 0, en büyük veri değeri ise 16'dır. Buna göre 225 lokasyondaki kestirim değerinin koşullu varyansları hesaplanmıştır. Orijinal veriler simetrik bir dağılım gösterdiği için koşullu varyansın hesaplanmasında bütün aralıklar için interpolasyon değeri 1 olarak alınmıştır.

Lognormal ve gama verileri için koşullu dağılımların kestiriminde interpolasyon modellerinden üslü model kullanılmıştır. Üslü parametre ( $w$ )'nin seçiminde verilerin çarpıklığı göz önüne alınmıştır. Sağa çarpık dağılımlarda üslü parametrenin azalmasıyla çarpıklık artar. Buna göre veriler sağa çarpık bir dağılım gösterdiği için koşullu varyansın hesaplanmasında lognormal veriler için upper tail parametresi 0.1, gama verileri için ise 0.05 olarak belirlenmiştir. Koşullu dağılımların sıralama bağıntılarından sapma sonuçları ise Çizelge 6.5' de sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Koşullu dağılım fonksiyonlarının sıralama bağıntılarından % ve büyüklük olarak sapma oranı

	%	Sapma
Orijinal	41.43	0.0115
Lognormal	44.54	0.0132
Gama	38.72	0.0124

### 6.5.3. Ortanca İndikatör Kriging

Çoklu indikatör kriging, birden çok sınır değer ( $z_k$ ,  $k=1, \dots, K$ ) için hesaplanır ve bu nedenle belirlenen sınır değer sayısı kadar indikatör variogramın kestirimi ve modellemesini gerektirir. Ortanca indikatör kriging ise ortanca sınır değerini ( $z_k = 5$ ) ve

bu sınır değerdeki indikatör variogram değerlerini kullanır. Koşullu dağılım fonksiyonlarının ortanca indikatör krigingle kestirimi 6.10 eşitliği ile ifade edilir.

$$F(x; z_k | Z_n)_{mIK}^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(z_k) I(x_{\alpha}; z_k) \quad (6.10)$$

Ortanca indikatör kriging ile kestirimde verilen 0.5 ondabirlik değerine karşılık gelen sınır değerler göz önüne alınmıştır. Buna göre orijinal veriler için 7.15, lognormal veriler için 1.05 ve gama verileri için 0.0027 sınır değerleri için hesaplanan indikatör variogram değerleri kullanılmıştır. 3 tip veri kümesi için yapılan hesaplamalarda kullanılan model parametreleri Çizelge 6.6' de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Ortanca indikatör krigingde kullanılan model parametreleri

<b>Sınır Değer : 7.15</b>	$C_0= 0.075$	$C= 0.175$	$a= 850$
<b>Sınır Değer : 1.05</b>	$C_0= 0.070$	$C= 0.180$	$a= 850$
<b>Sınır Değer : 0.0027</b>	$C_0= 0.070$	$C= 0.180$	$a= 850$

Belirlenen model parametreleri kullanılarak koşullu dağılımlar 5. sınır değer için 225 lokasyonda ortanca indikatör kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Kestirim ve koşullu varyans hesaplamalarında çoklu indikatör kriging yönteminde olduğu gibi GSLIB (Deutsch and Journel, 1998)' de yer alan IK3D ve POSTIK programı kullanılmıştır.

Buna göre her bir veri kümesi için çoklu indikatör kriging ve ortanca indikatör kriging sonucunda elde edilen alternatif varyans değerleri Çizelge 6.7 'de sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Ortalamasız kriging varyansı-koşullu varyans-alternatif varyans değerleri  
a) Çoklu indikatör kriging b) Ortanca indikatör kriging

	$\sigma^2_{OK}$	$\sigma^2_{KV}$	$\sigma^2_{AL}$
Orijinal	6.250	9.340	15.590
Lognormal	1.230	0.950	2.180
Gama	0.054	0.010	0.064

a)

	$\sigma^2_{OK}$	$\sigma^2_{KV}$	$\sigma^2_{AL}$
Orijinal	6.250	14.999	21.243
Lognormal	1.230	1.515	2.750
Gama	0.054	0.024	0.078

b)

## 6.6. Güven Aralıkları

Bilinmeyen bir değerın hesaplanması ile kestirim işlemi tamamlanmayacağından dolayı kestirim işleminin bir anlam kazanması için yapılan hatanın büyüklüğünü yani kestirilen değere ne kadar güven duyulduğunu ifade etmek gerekir. Bunun için kestirim işlemine bağlı olarak oluşturulan güven aralıkları kullanılır. Güven aralığı alt ve üst sınırdan ibaret olan ve ayrıca bilinmeyen gerçek değerın bu sınırlar içinde bulunma olasılığını gösteren bir aralıktır.

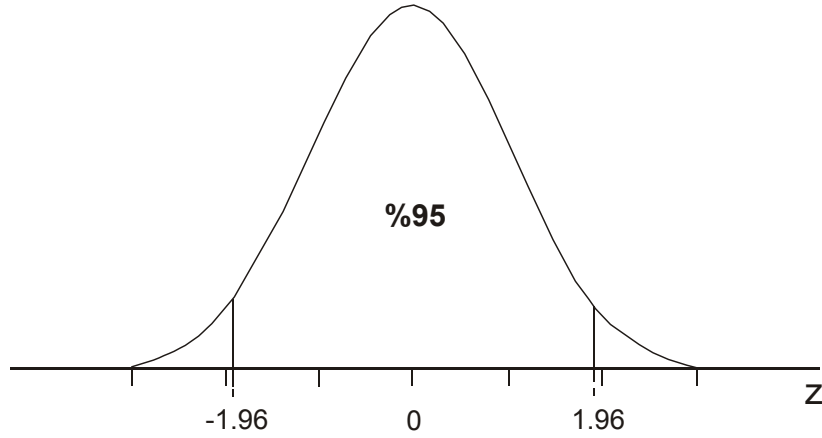
$$\Pr[z^* - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_E < z < z^* + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_E] = 1 - \alpha \quad (6.11)$$

Eşitlikte  $z^*$  kestirilen değeri,  $\sigma_E$  kestirim hatasının standart sapmasını,  $\alpha$  güven düzeyini,  $z_{\alpha/2}$  ise normal yoğunluk fonksiyonu altında kalan  $\alpha/2$  'lik bir alanı sağa bırakan  $z$  değerini ifade etmektedir.

Yer bilimlerinde genellikle %95 güven aralıkları kullanılır ve güven seviyesi arttıkça aralıkların genişliği de artar. Örneğin  $z^*$  ile kestirilen  $z$  gerçek değeri %95 güven aralığına göre aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Wellmer, 1998):

$$\Pr[z^* - 1.96\sigma_E < z < z^* + 1.96\sigma_E] = 0.95 \quad (6.12)$$

Bu eşitlik bilinmeyen  $Z$  değişkeninin %95 olasılıkla  $z^* - 1.96\sigma_E$  alt sınırı ve  $z^* + 1.96\sigma_E$  üst sınırı arasında bir değer alacağını göstermektedir (Şekil 6.4). Eğer variogram fonksiyonu biliniyorsa hata varyansını hesaplayıp olasılık ifadelerini türetmek olanaklıdır.



Şekil 6.4. Güven aralığı

6.12. eşitliği önemli varsayımlar içerir:

- hataların ortalaması sıfırdır,

$$E[Z(x_0) - Z^*(x_0)] = 0 \quad (6.13)$$

- hataların varyansı kestirim varyansına eşittir

$$E[Z(x_0) - Z^*(x_0)]^2 = \sigma^2_E \quad (6.14)$$

Kestirim varyansının hata dağılım varyansına eşit olduğu varsayımı çok kuvvetli bir varsayımdır; hataların varyansı kestirim varyansı ile iyi bir şekilde kestirilemeyebilir ve bu varsayımın doğruluğu kullanılan kestirim yöntemine bağlıdır (Göksu,2002).

Bu çalışmalar sonucunda alternatif olarak sunulan kestirim varyansının her 3 veri kümesi için (orijinal, lognormal ve gama ) bu koşulları sağlaması gerekir. Kestirim varyansı ile hataların istatistiği arasındaki ilişkinin incelenebilmesi için 576 adet veriden rastgele 100 adet veri çekilmiş; bu 100 adet veri kullanılarak alternatif varyansın hesaplandığı 225 lokasyondaki değerler kestirilmiştir. Kestirim işlemi için GSLIB yazılımlı XVOK2D programı kullanılmış olup; program içinde 225 lokasyonun koordinatları tanımlanmıştır. Kestirim işleminde veri sayısı en az 4, en fazla 16' dır. Kestirim yarıçapı 1500 m alınmıştır.

Kestirim sonucunda hataların istatistiğinin hesaplanması için Tercan, (1993) tarafından geliştirilen VALID programı kullanılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8' de sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Kestirim hatalarının istatistiği

Veriler	Kestirim Hatalarının Ortalaması	Kestirim Hatalarının Varyansı	Alternatif Varyans (IK)	Alternatif Varyans (oIK)
Orijinal	0.089	14.640	15.590	21.243
Lognormal	0.062	2.015	2.180	2.750
Gama	0.013	0.062	0.064	0.078

Çizelge 6.8 'den de görüldüğü gibi ortanca indikatör kriging sonucunda elde edilen koşullu varyans değerleri kullanılarak alternatif varyans hesaplandığında hataların varyansı kestirim varyansından (kriging varyansı) daha farklı sonuçlar vermiştir. Bu nedenle tez kapsamında geliştirilen alternatif varyans hesaplamalarında çoklu indikatör kriging yönteminin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

## **7. ALTERNATİF VARYANSIN ÇANKIRI İLİ İNDAĞI BÖLGESİNDEKİ UYGULAMASI**

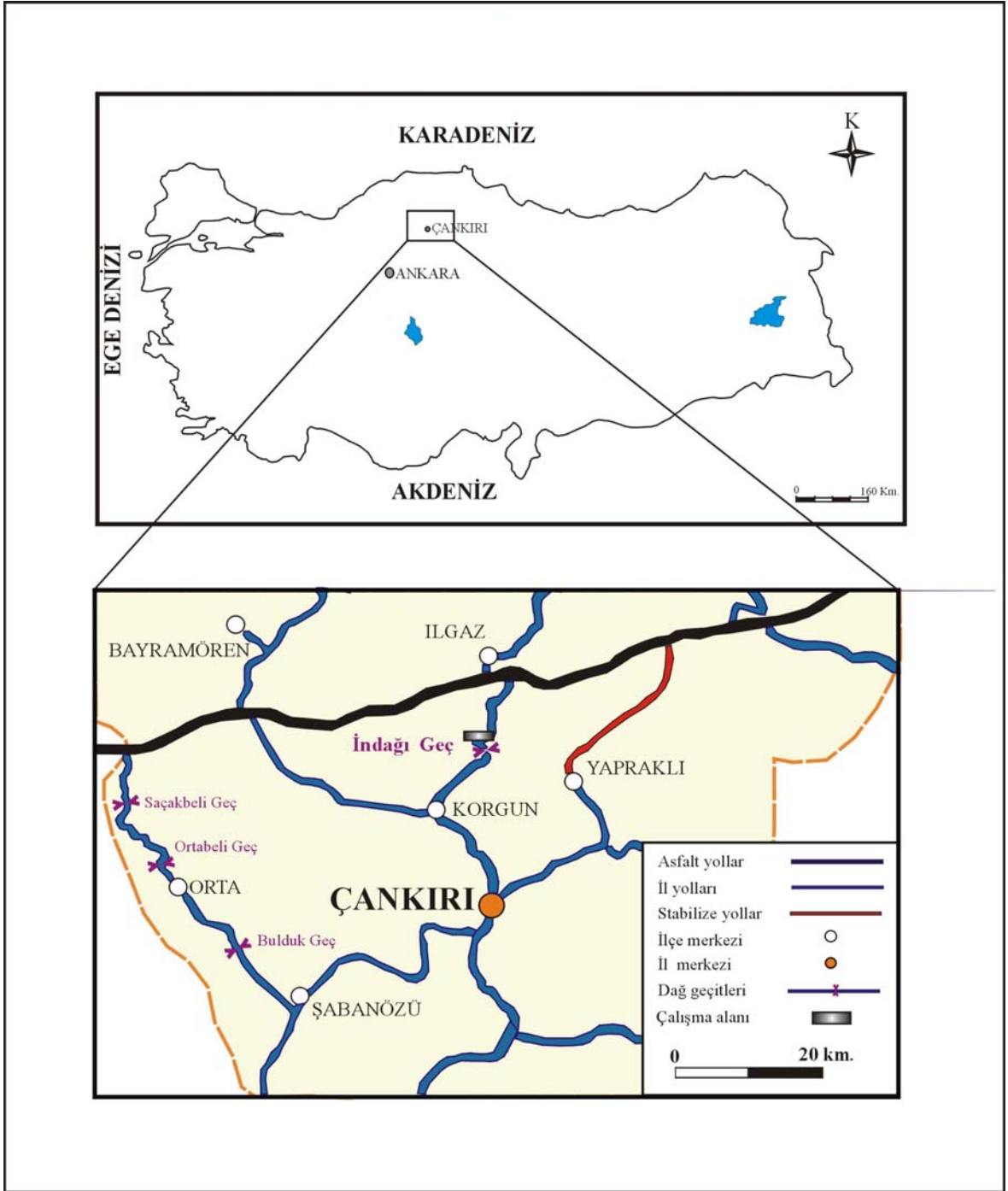
İlk uygulamaları madencilik alanında olan jeostatistiksel yöntemler sadece maden yataklarının değerlendirilmesinde değil günümüzde doğal bilimlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, alansal dağılım, mevsimsel davranış gibi toprak özelliklerinin analizinde de jeostatistiksel yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Çetin and Kırdı (2003), Çukurovada bir deneme parselinde toprak tuzluluğunun konumsal ve mevsimsel değişimlerinin değerlendirilmesinde; Ardahanlıoğlu et al., (2003), Iğdır Ovası'nda toprakların Na yüzdesi ve elektriksel iletkenliğinin belirlenmesinde; Başkan (2004), Gölbaşı'ndaki toprakların mühendislik özelliklerinin analizinde jeostatistiksel yöntemler ve coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmışlardır.

Başaran (2005) de Çankırı İli İndağı Bölgesi'nde toprak sınıflarını belirlemek için yaptığı çalışmalarda pH, hacim ağırlığı, hidrolik iletkenlik, organik madde analizleri ve toprakların erozyona duyarlılık faktörlerinin belirlenmesinde çeşitli jeostatistiksel yöntemlerden faydalanmıştır. Toprak özelliklerinin jeostatistiksel analizinde beş farklı arazi alanından (mera, doğal orman, ağaçlandırma, tarım ve rekreasyon) 289 yerden 0-10 cm ve 10-20 cm' den olmak üzere aldığı 578 adet yüzey örneği üzerinde çalışmıştır.

Tezin bu bölümü alternatif varyansın, Çankırı İndağı Bölgesinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen toprak özelliklerinden biri olan hidrolik iletkenlik verileri üzerindeki bir uygulamasını içermektedir.

### **7.1. Çalışma Alanına İlişkin Genel Bilgiler**

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli topağrafik haritada G31-a1, G31-a2, G31-a3 G31-a4 paftalarında yer almaktadır. Çalışma bölgesinin yer bulduru haritası Şekil 7.1' de sunulmuştur.



Şekil 7.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Çalışma bölgesi Çankırı İlinin kuzeyinde Ilgaz Dağı yakınlarında olup, şehir merkezine 30 km uzaklıktadır. Örnekleme yapıldığı alan Çankırı - Kastamonu devlet karayolunun İndağı Geçidi olarak isimlendirdiği bölgede yolun 2 km 'lik kısmını kapsamaktadır.

Çalışma bölgesinde tarım alanları Kuyupınarı köyü sınırları içerisinde; mera alanı Kuyupınarı ve Kuşçayırı köylerinin ortak alanı içerisinde; ağaçlandırma ve doğal orman ise Kuşçayırı köyünün güneyinde yer almaktadır. Çalışma alanında örnekleme yapıldığı bölge tarım, mera, doğal orman ve bölge halkı tarafından eğlence ve dinlenme amaçlı kullanılan rekreasyon alanlarıdır.

Çalışma alanı oldukça engebeli arazi yapısına sahip olup Altıçam Tepesi bölgedeki en yüksek (1440 m) tepedir. Bölgede irili ufaklı dereler bulunmakla birlikte Kurtini deresi en büyük dere olup çalışma alanının doğu sınırı olarak belirlenen Kuyupınarı Köyü'ne kadar uzanmaktadır. Kuyupınarı Köyü kışlası çalışma alanındaki en az yükseltiyeye sahiptir (1129 m).

## **7.2. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri**

Bu bölümde çalışma alanı ve çevresinde yer alan formasyonlar ana hatları ile sunulmuştur.

Çalışma alanında yüzeylenen en yaşlı birim Miyosen'e ait Mamak Formasyonu'dur. Bunun üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı Tekke Formasyonu ve Pliyosen yaşlı Ilgaz ve Alpagut Formasyonu gelmekte; Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla istif sona ermektedir (Şekil 7.2).

### **Mamak Formasyonu:**

Miyosen yaşlı Mamak Formasyonu ilk olarak Akyürek vd., (1982,1984) tarafından tanımlanmıştır. Mamak Formasyonu aglomera, tuf, tüfit ile andezit, dasit ve bazalt türündeki magmatik kayalardan oluşmaktadır. Andezit ve bazaltlar soğuma çatlakları boyunca parçalanarak iri blok ve parçalar halinde bölgeye yayılmışlardır.



Mamak Formasyonu, oluşumunda sedimantasyon süreçlerinin yer yer etkin olduğu karasal volkanik bir istifdir.

Formasyonun yaşı stratigrafik konuma dayanarak Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd., 1982,1984; Hakyemez vd., 1986).

### **Tekke Formasyonu:**

Tekke Formasyonu ilk olarak Akyürek vd., (1982,1984) tarafından tanımlanmıştır. Tekke Formasyonu başlıca andezit, dasit, bazalt ve tüflerden oluşmaktadır. Yer yer aglomeralar da gözlenmektedir. Soğuma ve tektonik kökenlidir ve akma yapılarına da sık sık rastlanılmaktadır.

Karasal bir volkanizmanın ürünü olan Tekke Formasyonu stratigrafik konumu göz önüne alınarak Orta-Üst Miyosen yaşı olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd., 1982,1984; Hakyemez vd., 1986).

### **Ilgaz Formasyonu:**

Ilgaz Formasyonu genel olarak çakıltası ile başlayıp kumtaşı ile devam eden ve silttaşları ile sona eren çökel evrelerinin birbiri üzerine gelmesinden oluşan bir istifdir. Tekke Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Ilgaz Formasyonu üzerinde Alpagut Formasyonu uyumsuz olarak yer alır.

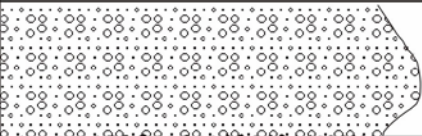

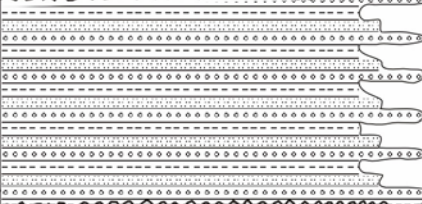

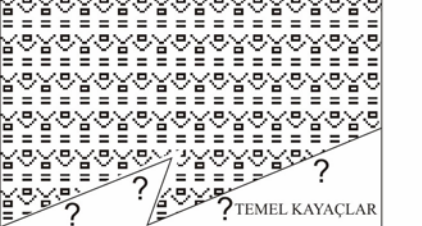
Menderesli akarsu ortamında çökelen formasyonun yaşı stratigrafik konumu göz önüne alınarak Pliyosen olarak belirlenmiştir (Akyürek vd., 1982,1984; Hakyemez vd., 1986).

### **Alpagut Formasyonu:**

Alpagut Formasyonu siyahımsı yeşil ve mor renkli andezit ve bazaltlardan oluşmaktadır. Alpagut Formasyonunu oluşturan volkanizmanın Kuzey Anadolu Fayı 'nın hareketi ile gelişmiş olduğu belirlenmiştir (Barka, 1984). Formasyonun

yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd., 1982,1984; Hakyemez vd., 1986).

Bölgedeki Kuvaterner yaşı bu alüvyonlar kil, kum, çakıl ve çeşitli kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kil, kum ve çakıl boyutundaki malzemenin tabaka kalınlıkları özellikle dere yataklarında ve yamaç düzlüklerinde 3-4 m'ye ulaşmaktadır.

		Yaş	Formasyon	Kayaç Türü	Açıklamalar
Senozoyik	Pliyosen	Kuvaterner			Alüvyon
		Pliyo-Kuvaterner	Alpagut		Andezit, bazalt
			Ilgaz		Çakıltaşı, kumtaşı, siltaşı
	Miyosen	Üst	Tekke		Andezit, bazalt, dasit, tüf, yer yer aglomera
		Orta	Mamak		Aglomera, tüf, tüfit, andezit, dasit, bazalt

Ölçeksiz

Şekil 7.2 . Çalışma alanı ve yakın civarının genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Hakyemez vd., 1986'dan basitleştirilerek alınmıştır)

### 7.3. Veri Analizi

Hidrolik iletkenlik dışındaki diğer değişkenler (pH, organik madde, hacim ağırlığı, erozyona duyarlılık faktörü) normal dağılım gösterdiği için bu uygulama kapsamında kullanılmamış, lognormal bir yapı gösteren hidrolik iletkenlik değişkeni kullanılmıştır. Diğer bir ifade ile hidrolik iletkenlik tüm değişkenlere göre çok fazla değişim göstermektedir.

Hidrolik iletkenlik sabit bir hidrostatik basınç altında örnek içinden geçen suyun miktarını ve geçme zamanını ifade eden bir parametredir.

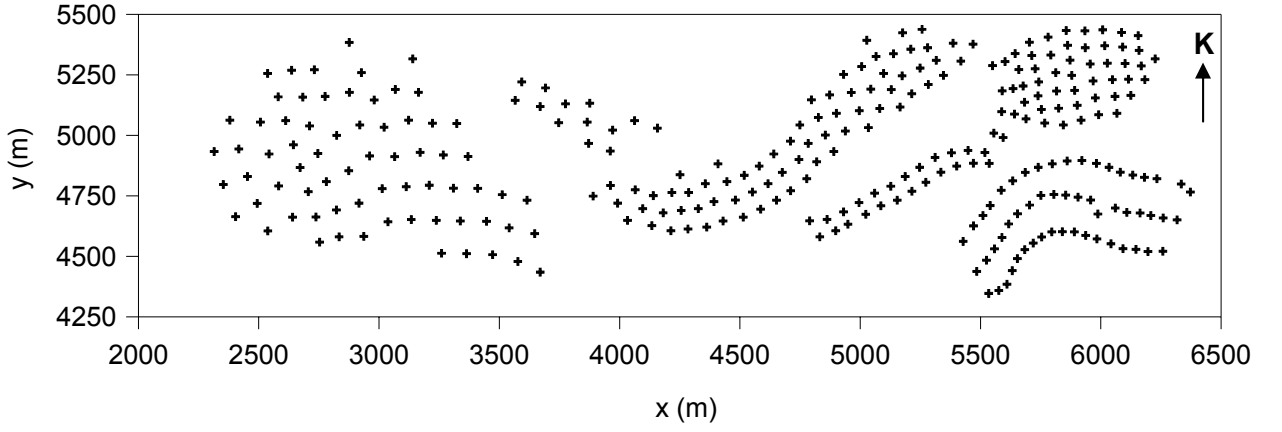
Hidrolik iletkenlik Erşahin and Yeşilsoy (1993)' de belirtildiği gibi toprak yapısı, organik madde miktarı ve yüzey toprağının şartları ile ilişkilidir. Toprakların iletkenlik oranlarının bilinmesi toprakların erozyona duyarlılıklarının değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır (Sanchez et al., 2002). Ayrıca iletkenlik yüzey akışını ve bitkilerin suya ulaşımını etkileyen önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Franzluebbers, 2002).

Başaran (2005) 'in yapmış olduğu çalışmalar sonucu çalışma alanında farklı arazi türlerine ait 0-10 cm ve 10-20 cm toprak derinliğinde belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 7.1' de gösterilmektedir.

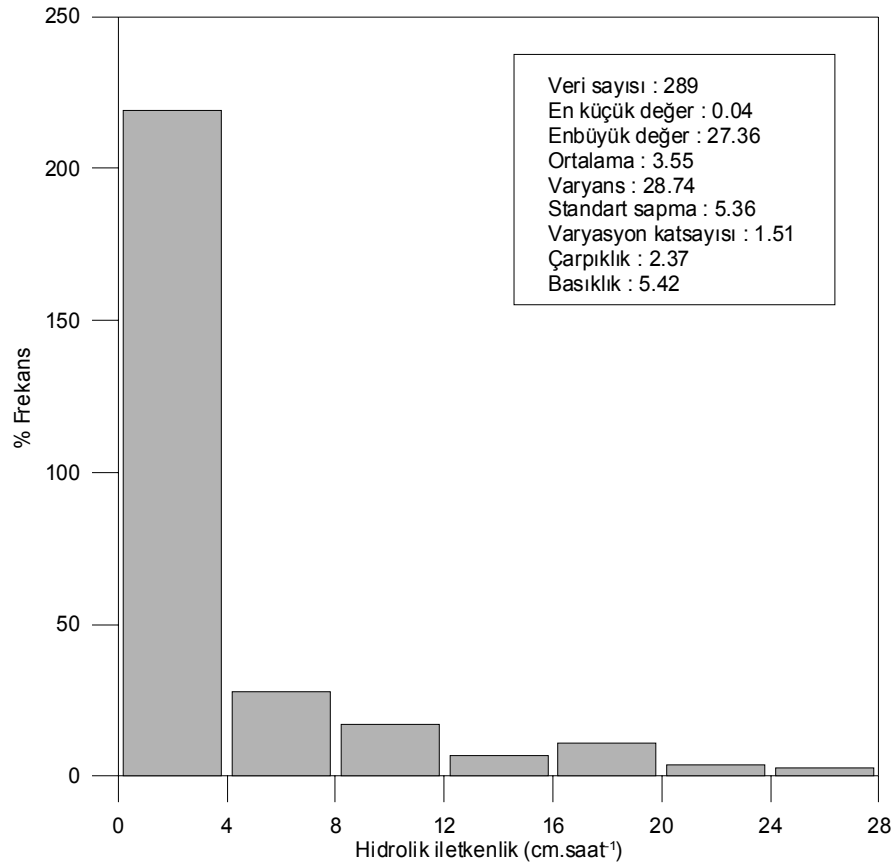
Çizelge 7.1. Çeşitli arazi türlerinde derinliğe göre hidrolik iletkenliğin değişimi

Toprak derinliği	Hidrolik İletkenlik (cm saat <sup>-1</sup> )				
	Doğal orman	Ağaçlandırma	Tarım	Mera	Rekreasyon
0-10 cm	7.49	5.92	2.18	1.05	0.47
10-20 cm	4.7	4.03	1.53	1.19	1.22

Bu uygulama kapsamında 0-10 cm derinliğe ait doğal orman, ağaçlandırma, tarım, mera ve rekreasyon alanlarından elde edilen verilerle hesaplanmış 289 adet hidrolik iletkenlik değeri kullanılmıştır. Çalışma alanındaki 289 verinin lokasyon haritası Şekil 7.3 ve bu verilere ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler Şekil 7.4' de gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Çalışma alanındaki verilerin lokasyon haritası

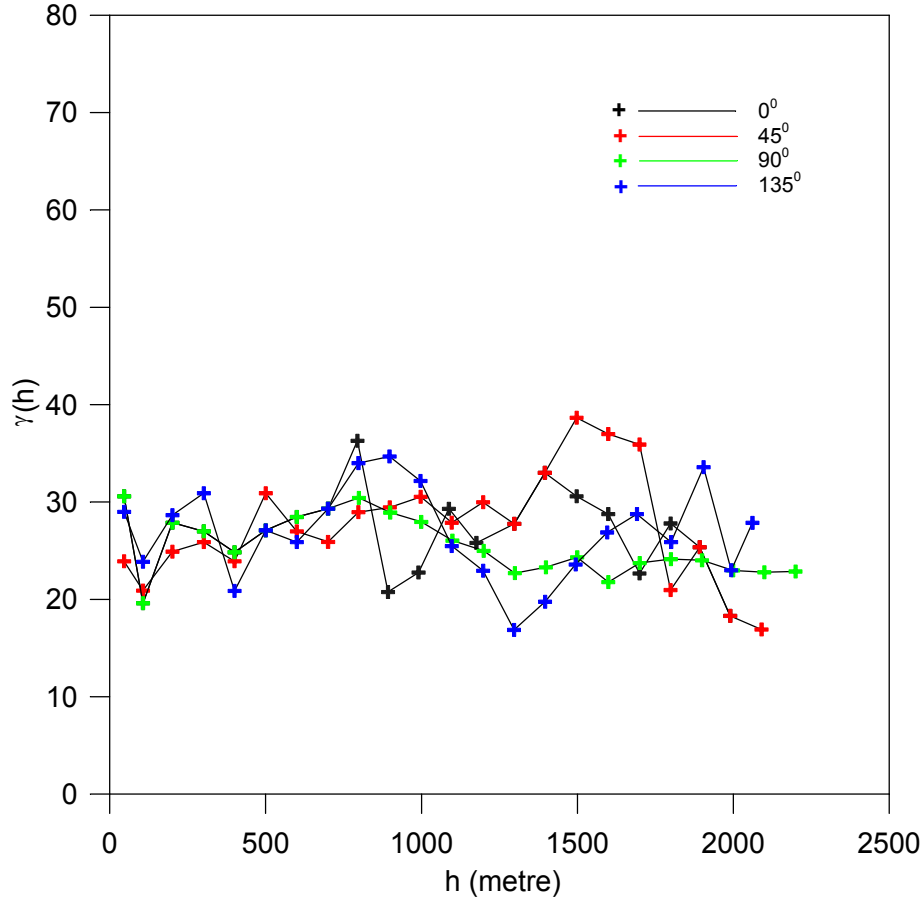


Şekil 7.4. Hidrolik iletkenlik değerlerine ait histogram grafiği ve istatistiksel parametreler

Histogramdan da görüldüğü gibi veriler 3.55 ortalama ve 5.36 standart sapma ile sağa çarpık bir dağılım göstermektedir.

#### 7.4. Ortalamasız Kriging

Deneyisel variogramlar DB, K45D, KG, K45B ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ) yönlerinde hesaplanmış ve yöne bağlı olarak herhangi bir değişim belirlenmemiştir (Şekil 7.5)



Şekil 7.5.  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  ve  $135^{\circ}$  yönlerindeki deneysel variogramlar

Hidrolik iletkenlik verilerine ait variogram değerlerinin hesaplanmasında adım uzaklığı 100 m, uzaklık toleransı 50 m olarak belirlenmiştir. Variogramlarda oluşan külçe etkisi değişkenin kısa mesafede ani değişim göstermesi, örnekleme ya da analiz hatalarından kaynaklanabilir.

Deneyisel variogram modellerine en uygun model belirlenirken örnek çiftlerinin oluşturduğu grafikler kullanılmaktadır. Buna göre elde edilen deneysel variogramlar küresel olarak modellenmiş ve model parametreleri  $C_0$ ,  $C$  ve  $a$  değerleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

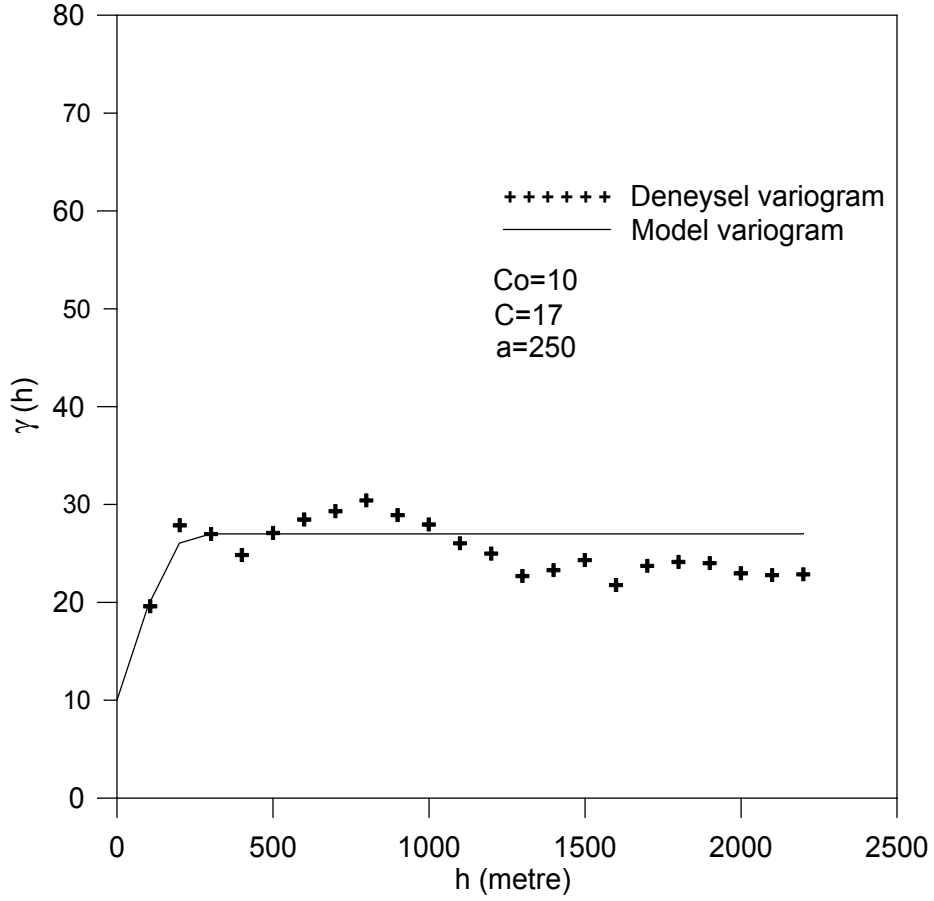
$$\begin{aligned}
C_0 = 10 & \quad \gamma(h) = 10 + 17 \left(1.5h/a(250) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a(250)}\right)^3\right) & h \leq a(250) \\
C = 17 & \quad \gamma(h) = 27 & h > a(250) \\
a = 250 \text{ m} & \quad \gamma(h) = 0 & h = a(250)
\end{aligned} \tag{7.1.}$$

Elde edilen model parametrelerinin doğruluğunun saptanması için uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları Çizelge 7.2.' de sunulmuştur.

Çizelge 7.2. Hidrolik iletkenlik verilerine ait çapraz doğrulama tekniği sonuçları

	<b>Hidrolik iletkenlik (cm.saaf<sup>1</sup>)</b>
Gerçek Değerlerin Ortalaması	3.548
Kestirilen Değerlerin Ortalaması	3.595
Kestirim Hatalarının Ortalaması	0.010
Kestirim Hatalarının Varyansı	1.072
Kestirim Hatalarının Kareler Ortalaması	19.333
Kriging Varyansı Ortalaması	19.414

Şekil 7.6' de hidrolik iletkenlik verilerine ait deneysel ve model variogram grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.6. Hidrolik iletkenlik verilerine ait deneysel ve model variogram grafiği

Hidrolik iletkenlik değerleri belirlenen model parametreleri ile Geostatistical Software Library-GSLIB "(Deutsch and Journel, 1998)" de yer alan OKB2D isimli yazılım kullanılarak ortalamasız kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Kestirimde kullanılan veri sayısı en az 4, en fazla 16' dır. Kestirim yarıçapı 1500 m.olarak alınmıştır. Kestirim sonucunda 600 noktada kestirim ve kestirim varyansı değeri elde edilmiştir.

### 7.5. Koşullu Dağılım Fonksiyonlarının Kestirimi

Herhangi bir ekonomik ve teknik sınırlama olmadığı için koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde verilerin onda birlik değerlerine karşılık gelen 9 adet sınır değer belirlenmiştir. Bunlar 0.25, 0.44, 0.60, 0.88, 1.29, 1.78, 3.06, 4.65 ve 10.42 değerlerine karşılık gelmektedir.



İndikatör variogramların hesaplanmasında adım uzaklığı 100 m, uzaklık toleransı 50 m olarak belirlenmiştir. Buna göre elde edilen indikatör variogramlar küresel olarak modellenmiş ve model parametreleri ( $C_0$ ,  $C$  ve  $a$ ) Çizelge 7.3' de gösterilmiştir. Çizelge (7.3)' de de görüldüğü gibi 5. sınır değere kadar külçe etkisi ve yapısal uzaklık artmakta, 5. sınır değerden sonra ise azalmaktadır.

Çizelge 7.3. Hidrolik iletkenlik verileri için belirlenen model parametreleri

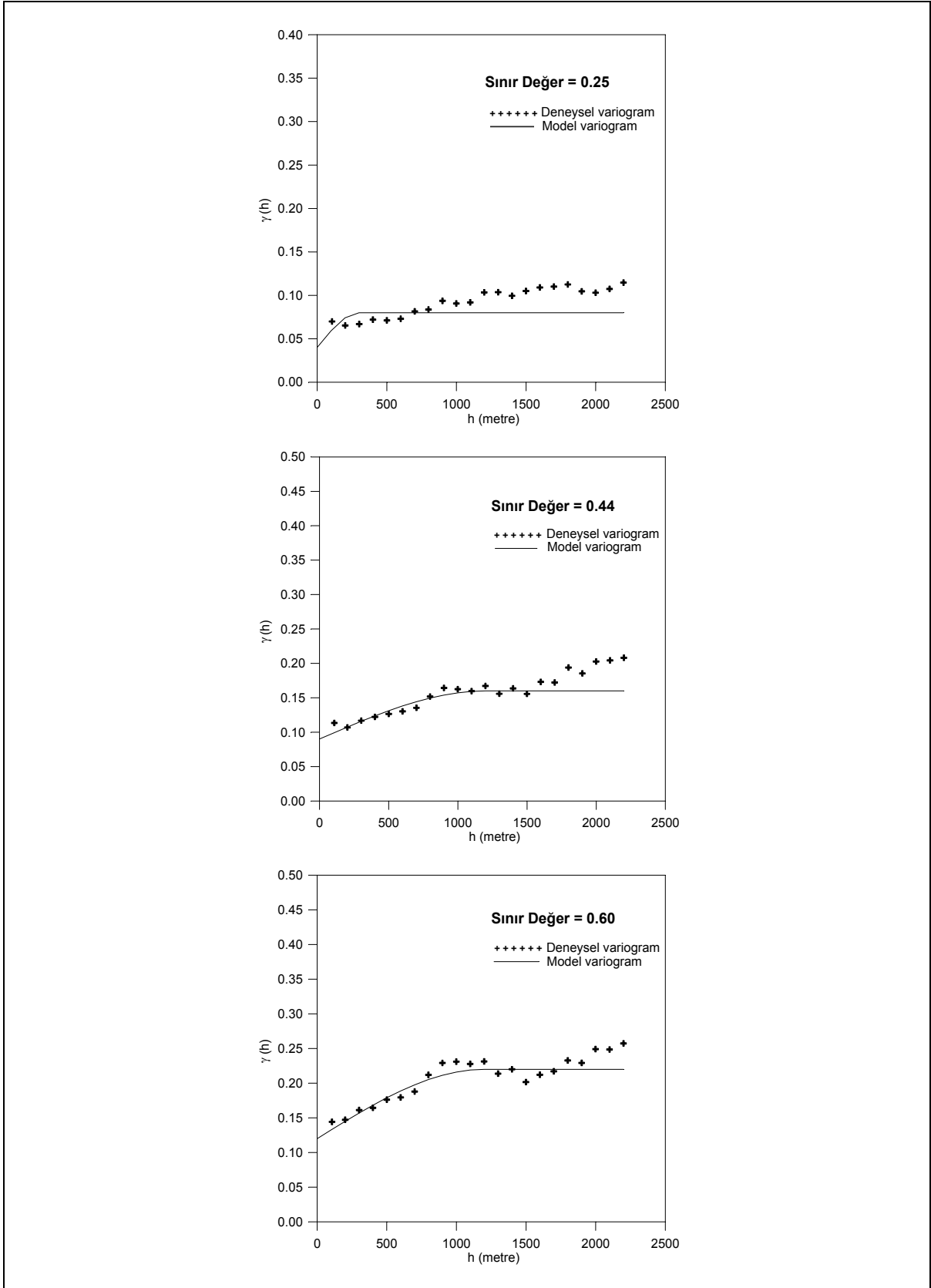
<b>Sınır Değer</b>	<b><math>C_0</math></b>	<b><math>C</math></b>	<b><math>a</math></b>
0.25	0.04	0.04	300
0.44	0.09	0.07	1200
0.60	0.12	0.10	1200
0.88	0.13	0.12	1250
1.29	0.13	0.13	1300
1.78	0.13	0.12	1300
3.06	0.12	0.08	600
4.65	0.09	0.07	400
10.42	0.07	0.02	250

Her bir sınır değeri için belirlenen model parametrelerinin doğruluğu çapraz doğrulama tekniği ile test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 7.4' de sunulmuştur.

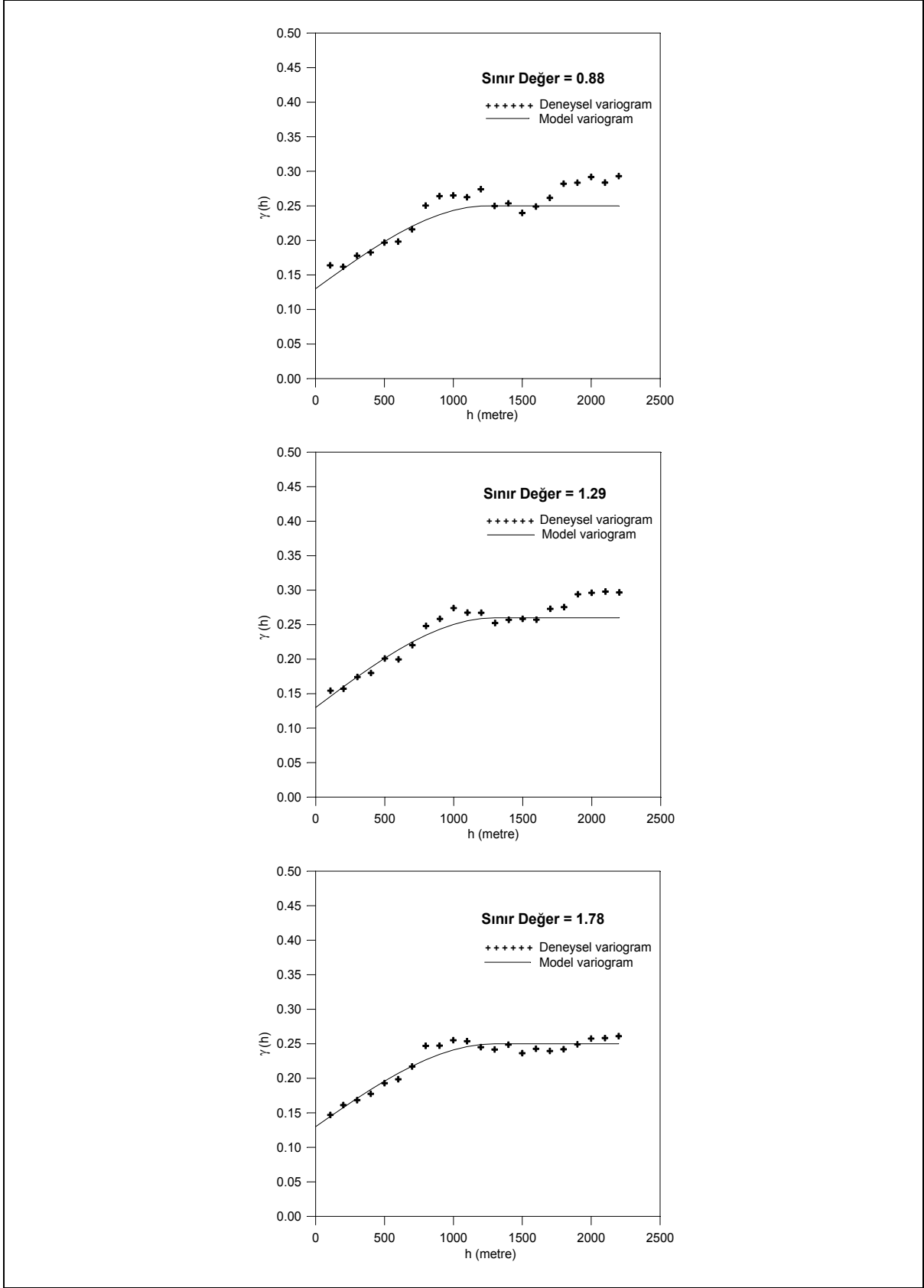
Çizelge 7.4. Model parametrelerine uygulanan çapraz doğrulama tekniği sonuçları

Sınır Değer	Gerç.Değ. Ort.	Kest.Değ. Ort.	Kest. Hat. Ort.	Kest. Hat. $\sigma^2$	(Kest. Hat.) <sup>2</sup> Ort.	Krig. $\sigma^2$ Ort.
0.25	0.111	0.107	0.010	1.051	0.103	0.093
0.44	0.208	0.203	0.011	1.191	0.149	0.125
0.60	0.301	0.299	0.003	1.094	0.173	0.158
0.88	0.401	0.402	0.002	1.097	0.186	0.170
1.29	0.505	0.504	0.003	1.010	0.170	0.169
1.78	0.599	0.596	0.004	0.944	0.157	0.169
3.06	0.702	0.701	0.001	0.880	0.144	0.168
4.65	0.803	0.800	0.003	0.806	0.107	0.145
10.42	0.900	0.895	0.011	0.798	0.074	0.135

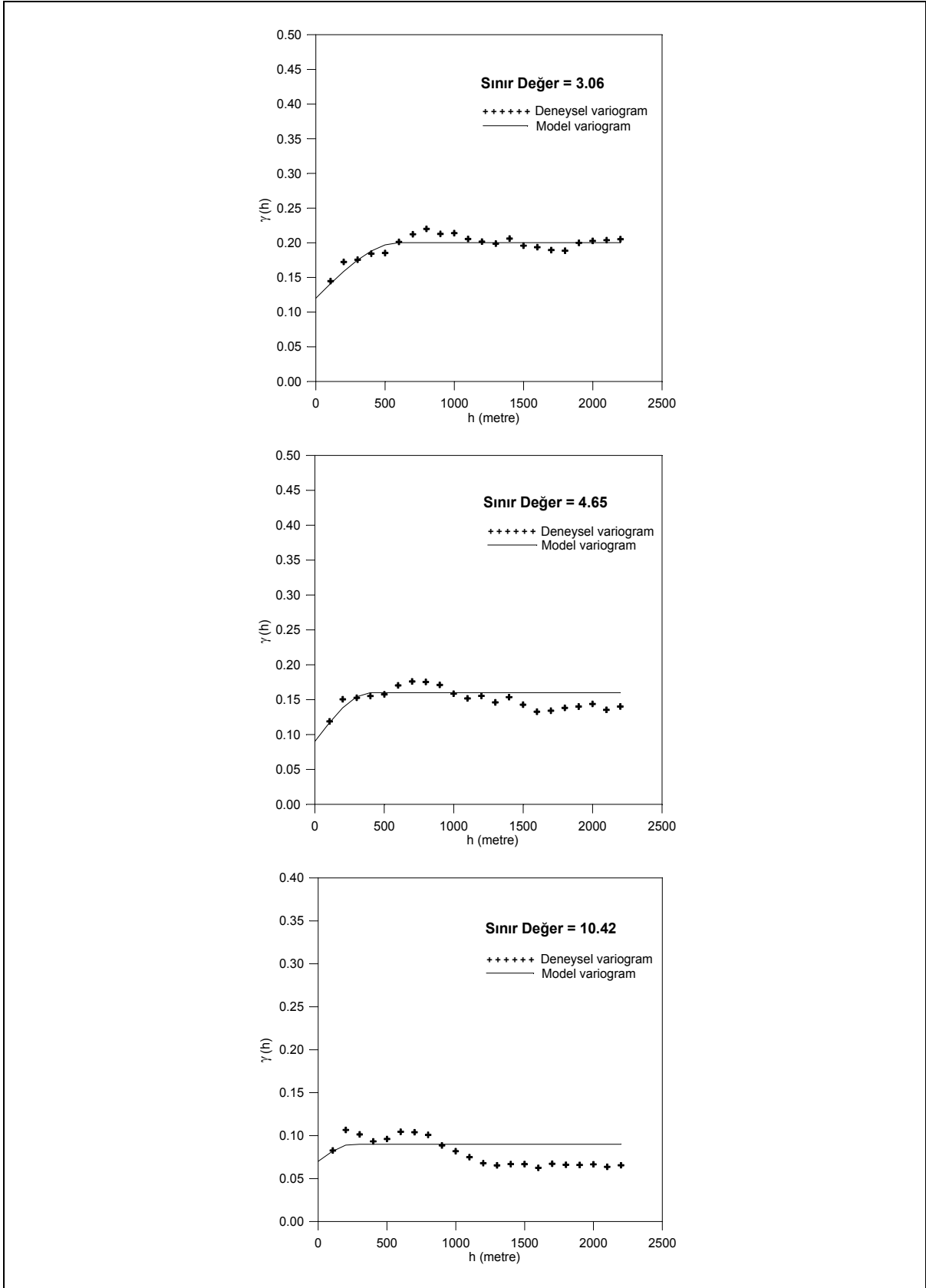
Hidrolik iletkenlik verilerine ait 9 sınır değeri için belirlenen indikatör deneysel ve model variogram grafikleri Şekil 7.7' de verilmiştir.



Şekil 7.7. Hidrolik iletkenlik verilerine ait indikatör deneysel ve model variogram grafikleri



Şekil 7.7. devam ediyor



Şekil 7.7. devam ediyor

Koşullu dağılım fonksiyonları belirlenen 9 sınır değer için GSLIB (Deutsch and Journal, 1998)' de yer alan IK3D programı kullanılarak çoklu indikatör kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan veri sayısı en az 4, en fazla 16'dır. Kestirim yarıçapı 1500 m. alınmıştır. Buna göre 600 lokasyondaki kestirim değerinin koşullu varyansları GSLIB (Deutsch and Journal, 1998)' den POSTIK programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hidrolik iletkenlik verileri sağa çarpık bir dağılım gösterdiği için koşullu varyansın hesaplanmasında üslü parametre 0.05 olarak alınmıştır. Kestirilen koşullu dağılımların sıralama bağıntılarından sapma oranı ve büyüklüğü % 43.23 ve 0.012 'dir.

## 7.6. Alternatif Varyans Hesaplamaları

Tez kapsamında geliştirilen ortalamasız kriging ve koşullu varyansın kombinasyonu ile ifade edilen alternatif varyans aşağıdaki (7.2) eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\sigma^2_{AL} = \sigma^2_{OK} + \sigma^2_{KV} \quad (7.2)$$

Eşitlikte,

$\sigma^2_{OK}$  = Ortalamasız kriging varyansı

$\sigma^2_{KV}$  = Koşullu varyans

$\sigma^2_{AL}$  = Alternatif varyans

ifade etmektedir.

Hidrolik iletkenlik verilerinin kestirimi sonucunda elde edilen ortalamasız kriging varyansı 21.83, çoklu indikatör kriging sonucunda elde edilen koşullu varyans 6.01'dir. Buna göre alternatif varyans:

$$\sigma^2_{AL} = 21.83 + 6.01 = 27.83$$

olarak hesaplanmıştır.

Kestirim hataların istatistiğinin hesaplanması için 289 veriden rastgele 100 veri çekilmiş; bu 100 veri kullanılarak alternatif varyansın hesaplandığı 600 lokasyondaki değerler yeniden kestirilmiştir. Kestirim işleminde veri sayısı en az 4, en fazla 16' dır. Kestirim yarıçapı 1500 m. alınmıştır. Buna göre hata varyansı 25.73 olarak hesaplanmıştır.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeoistatistiksel kestirim yöntemleri maden yatağındaki değişkenlere ait verileri uzaklığa bağlı olarak ele alan ve aynı zamanda kestirimin güvenilirliğine ilişkin ölçü veren tekniklerdir (David, 1977). Diğer bir ifade ile jeoistatistikle herhangi bir kestirime eşlik eden kestirim varyansını hesaplamak mümkündür.

Özellikle bilgisayar sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak daha yaygın kullanılmaya başlayan jeoistatistiksel yöntemler verileri en iyi değerlendiren yöntemler olmasına karşın, günümüzde kullanılan jeoistatistiksel kestirim yöntemlerinin en önemli problemi kestirim değerlerinin güvenilirliğini belirlemede kullanılan kriging varyansı hesaplamalarında ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında kriging varyansının verilere bağlı olmamasından ve sadece normal dağılım gösteren veriler için geçerli bir belirsizlik ölçütü olmasından kaynaklanan problemlere alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir. Kriging ve kriging varyansı hesaplamalarına verileri de dahil etmek için koşullu dağılım fonksiyonları kullanılmıştır.

Güven aralıkları verilerin, kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı kestirim (kriging) varyansına eşit olan normal bir dağılıma sahip olduğunu varsaymaktadır. Ancak düzensiz veri dağılımlarının varlığında kestirim hatalarının dağılımı da düzensiz olacak ve kriging varyansı gerçekçi güven aralıklarını sağlamayacaktır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında değişim katsayıları 0.59, 1.04, 2.37 olarak belirlenen 3 farklı dağılım üzerinde çalışılmıştır. Her 3 veri kümesi için variogram fonksiyonları hesaplanmış ve 950 m yapısal uzaklıkla küresel olarak modellenmiştir. Belirlenen model parametreleri kullanılarak ortalamasız kriging ile kestirim yapılmış ve 225 noktada kestirim ve kestirim varyansı değeri elde edilmiştir.

Koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde çok fazla kestirim işlemi gerektirmesine rağmen basit olması nedeni ile parametrik olmayan yöntemlerden çoklu indikatör

kriging ve ortanca indikatör kriging yöntemi kullanılmıştır. Çoklu indikatör kriging yöntemi ile kestirimde her veri kümesi için 9 sınır değer belirlenmiş ve indikatör variogram hesaplamaları yapılmıştır. Belirlenen model parametreleri ile koşullu dağılımlar 9 sınır değer için 225 lokasyonda çoklu indikatör kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Koşullu dağılımların ortanca indikatör kriging ile kestiriminde ise sadece ortanca sınır değer kullanılmıştır.

Bu hesaplamaların sonucunda ortalamasız kriging sonucunda elde edilen kriging varyansı ile çoklu indikatör kriging ve ortanca indikatör kriging ile kestirimde elde edilen koşullu varyans değerlerini de içine alan alternatif varyans hesaplamaları yapılmıştır. Ortanca indikatör kriging sonuçları kullanılarak yapılan hesaplamalarda alternatif varyans değerlerinin daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Tez kapsamında alternatif olarak sunulan kestirim varyansının hata dağılım varyansına eşit olup olmadığının test edilmesi amacı ile her bir veri kümesinden 100 veri çekilerek yeniden kestirim yapılmış ve kestirim hatalarının istatistiksel sonuçları incelenmiştir. Her 3 veri dağılımı için alternatif varyans ve kestirim hatalarının varyansı karşılaştırılmıştır. Buna göre çoklu indikatör krigingle elde edilen koşullu varyans değerleri kullanılarak hesaplanan alternatif varyans değerlerinin kestirim hatalarının varyansına çok yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ortanca indikatör krigingle elde edilen alternatif varyans değerlerinin ise kestirim hatalarının varyansını çok iyi temsil etmediği belirlenmiştir. Bu nedenle tez kapsamında geliştirilen alternatif varyans hesaplamalarında çoklu indikatör kriging yönteminin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen alternatif varyans, Çankırı İndağı Bölgesinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen toprak özelliklerinden biri olan ve 1.51 değişim katsayısı ile sağa çarpık bir dağılım gösteren hidrolik iletkenlik verileri üzerinde uygulanmıştır. Hidrolik iletkenlik verileri ortalamasız kriging ile 600 noktada kestirilmiş ve kriging varyansları hesaplanmıştır. Koşullu dağılım fonksiyonlarının çoklu indikatör kriging ile kestiriminde 9 sınır değer kullanılmış ve 600 noktada kestirim yapılarak



koşullu varyans değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda ortalamasız kriging varyansı 21.83, koşullu varyans 6.01, alternatif varyans 27.83, kestirim hatalarının varyansı ise 25.73 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre alternatif varyansın kestirim hatalarının varyansını iyi bir şekilde temsil ettiği ve kriging varyansına alternatif olarak farklı dağılımlar için de kullanılabilceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada koşullu dağılım fonksiyonlarının kestiriminde parametrik olmayan yöntemlerden çoklu indikatör kriging ve ortanca indikatör kriging yöntemleri kullanılmıştır. Benzer bir çalışma koşullu dağılımların kestiriminde parametrik yöntemler kullanılarak yapılmalı ve sonuçların alternatif varyans üzerindeki etkisi incelenmelidir. Ayrıca bu çalışmadan farklı olarak koşullu dağılımların kestiriminde nokta örnek kullanımı yerine blok örnekleri kullanılarak elde edilen alternatif varyans sonuçları değerlendirilmelidir.

## 9. KAYNAKLAR

- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., ve Hakyemez, Y., 1984, Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeolojik özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, 20, 31-46.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., ve Hakyemez, Y., 1982, Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enst., Derleme raporu, No: 7298 (yayınlanmamış).
- Ardahanlıoğlu, O., Öztas, T., Evren, S., Yılmaz, H., and Yıldırım, Z.N., 2003, Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt and sodium affected areas of the Iğdır plain. J. Arid Env. 54, 495-503.
- Arık, A., 1999, Uncertainty, confidence intervals and resource categorization: A combined variance approach, Proceedings, ISGSM Symposium, Perth, Australia, 1-11.
- Armstrong, M., 1998, Basic Linear Geostatistics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 153 p.
- Armstrong, M., 1994, Is research in Mining Geostats as Dead as a Dodo?: in Dimitrakopoulos, R., ed., Geostatistics for the next century: Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, 303-312.
- Barka, A., 1984, Kuzey Anadolu Fay Zonundaki bazı Neojen-Kuvaterner havzalarının jeolojisi ve tektonik evrimi, Ketin Simpozyumu, Türkiye Jeo. Kur. Yay., 38. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 209-227.
- Başaran, M., 2005, Arazi Kullanımındaki Değişimlerin Toprak Erozyonu Üzerine Etkisi: Çankırı İli İndağı Bölgesi Örnek Çalışması, Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, 132 s.
- Başkan, O., 2004, Gölbaşı topraklarının mühendislik özelliklerinin jeostatistiksel yöntemlerle incelenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cressie, N., 1991, *Statistics for Spatial Data*, Wiley, New York, 900 p.
- Çetin, M. and Kırdar, C., 2003, Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. Journal of Hydrology, 272, 238-249.
- David, M., 1977, Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam.

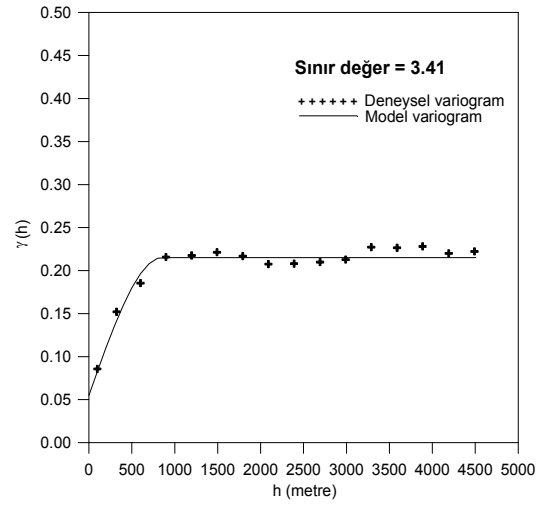
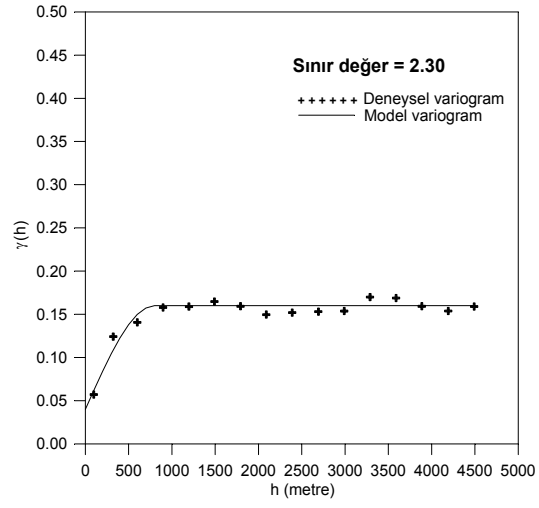
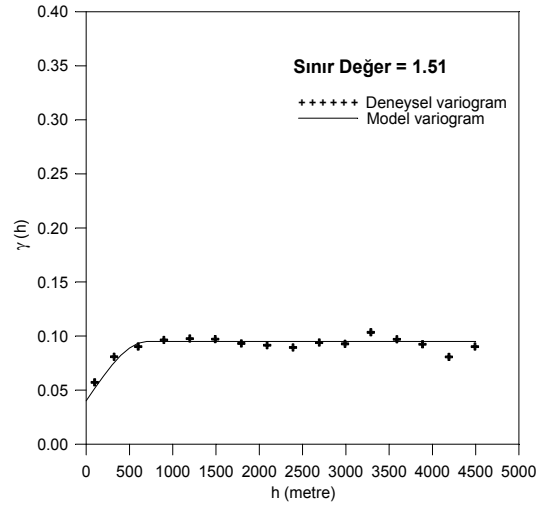
- David, M., 1988, Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier, Amsterdam, 216 p.
- Deutsch, C. V. and Journel, A. G., 1998, *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, New York, 370 p.
- Dowd, P. A., 1992, A review of recent developments in geostatistics: Computers and Geosciences, vol. 17, No:10, 1481-1500.
- Dowd, P. A., 1989, Some observations on confidence interval and kriging errors, in Armstrong, M., (ed.), *Geostatistics*, Uluwer Academic Publishers, Dordrecht, V.2.; B61-874.
- Erşahin, S. and Yeşilsoy, M. Ş., 1993, The relationships between infiltration rates and some physical and chemical properties of six widely distributed and important soil series selected in Harran plain. *Doğa: Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*. 17, (4), 863-873.
- Franzluebbers, A. J., 2002, Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66, 197-205.
- Goovaerts, P., 1997, *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, New York, 483p.
- Göksu, H., 2002, Beypazarı Trona Yatağı Rezervinin Tümsel Kestirimi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 82 s.
- Hakyemez, Y., Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağar, Z., ve Sözeri, B., 1986, Yapraklı- İlgaz- Çankırı- Çandır dolayının jeolojisi, M.T.A. Genel Müdürlüğü, Derleme raporu, No: 7966, 108 s.
- Hohn, M. E., 1988, *Geostatistics and petroleum geology*, Computer methods in the geosciences, Van Nostrand Reinhold Publishers, New York, 264 p.
- Isaacs, E. H. and Srivastava, M. R., 1989, *An introduction to applied geostatistics*, Oxford University press, 561 p.
- İnal, C. Ve Yiğit, C.Ö., 2003, Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği, *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 24-26 Eylül 2003, Konya, 177-185.
- Journel, A. G., 1988, New Distance Measures: The Route Toward Truly Non-Gaussian Geostatistics, *Mathematical Geology*, V.20, N.4, 459-475.
- Journel, A. G., 1987, *Geostatistics for the Environmental Sciences*, EPA Project no: CR 811893, Las Vegas, 135 p.
- Journel, A. G., 1986, *Geostatistics: Models and Tools for Earth Sciences*, *Mathematical Geology*, v.18, n.1, 119-140.

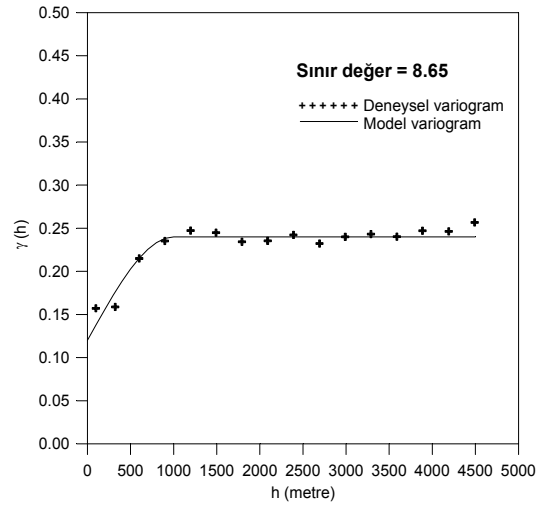
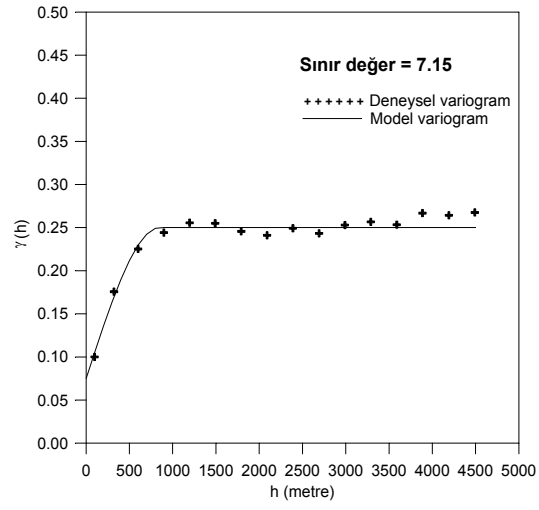
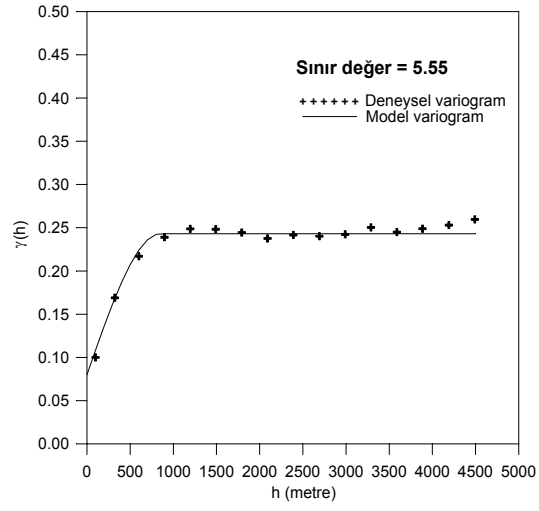
- Journel, A. G. and Huijbregts, C. J., 1978, Mining geostatistics, Academic Press, London, 600 p.
- Kitanidis, P. K., 1997, Introduction to Geostatistics: Application in Hydrogeology. Cambridge University Press, 249 p.
- Krige, D. G., 1951, A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand. Master's thesis, University of Witwatersrand.
- Lajaunie, Ch., 1992, *Comment on 'indicator principal component kriging*, Mathematical Geology, v.22, n.1, 123-144.
- Matheron, G., 1976, *A Simple Substitute for Conditional Expectation: The Disjunctive Kriging*, ed: Guarascio. G., Advanced Geostatistics in the Mining Industry, Dordrecht, 221-236.
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics, Economic Geology, no 58, 1246-1266.
- Olea, R.A., 1991, Geostatistics for Engineers and Earth Scientists, Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, 303 p.
- Readdy, L.A., Bolin, D.S. and Mathieson G.A., 1982, Ore reserve calculation, Underground mining methods handbook, W.A. Hustrulid, ed., AIME, New York, pp. 17-38.
- Sanchez, L.A., Atarof, M., and Lopez, R., 2002, Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes. The Environmentalist. 22, 161-172.
- Saraç, C. and Tercan, A. E., 1996, Grade and reserve estimation of the Tulovasi borate deposit by block kriging, International Geology Review, vol. 38, number 9, USA, 832-837.
- Saraç, C. and Tercan, A. E., 1992, A geostatistical case study of the Kızılyüksek-Yataardıç chromium orebody, 1<sup>st</sup> International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Adana, 219-229.
- Soro-Perez, V. and Journel, A. G., 1991, *Indicator Principal Component Kriging*, Mathematical Geology, v.23, n.5, pp. 759-788.
- Sullivan, J., 1984, Conditional Recovery Estimation Through Probability Kriging; Theory and Practice, in Verly, G., et.al., (ed.), *Geostatistics for Natural Resources Characterisation*, Reidel, Dodrecht, V.1, 365-384.
- Tercan, A. E., 1999, Importance of Ortogonalization Algorithm in Modelling Conditional Distributions by Orthogonal Transformed Indicator Methods, Mathematical Geology, v.31, n.2, 155-173.

- Tercan, A. E., 1998, Sivas, Kangal Termik Santralinin Yolaçtığı Çevre Kirliliğinin Jeostatistiksel Yöntemler Kullanılarak Kaynağında (Kömür Yatağında) Kontrolü, Proje no: YDABÇAG-492.
- Tercan, A. E., 1996, Maden Yatakları Sınır Belirsizliğinin İndikatör Kriging ile Değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı Kömür Yatağında Bir Uygulama, Madencilik, Cilt 35, No.4, 3-12.
- Tercan, A. E., 1994, Tülovası borat yatağı rezervinin jeostatistiksel kestirimi, Madencilik, Haziran, 19-24.
- Tercan, A. E., 1993, *Non-Parametric Methods for Estimating Conditional Distributions and Local Confidence Intervals* (Doktora Tezi), The University of Leeds, Leeds, İngiltere.
- Tercan, A. E. ve Kaynak, T., 1999, Koşullu Dağılım Fonksiyonları ve Rezerv Kestirimindeki Yeri. *Türkiye 16.Madencilik Kongresi*, Ankara, 237-244.
- Tercan, A. E. ve Saraç, C., 1998, Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No 48, Ankara, 137 s.
- Tercan, A. E. and Dowd, P.A., 1995, Approximate Local Confidence Intervals Under Change of Support, *Mathematical Geology*, V.27, N.1, 149-172.
- Wackernagel, H., 2003, *Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications*, Springer, Berlin, 387 p.
- Wackernagel, H., 1995, *Multivariate Geostatistics*: Springer-Verlag, 256 p.
- Weise, U., 2001 *Kriging-A Statistical Interpolation Method and Its applications*.
- Wellmer, F.W., 1998, *Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits*, Springer-Verlag, 379 p.
- Verly, G., 1983, The multiGaussian Approach and Its Applications to the Estimation of Local Reserves, *Mathematical Geology*, Vol.15, No.2, 259-286.
- Yamamoto, J.K., 2000, An alternative measure of the reliability of ordinary kriging estimates, *Math.Geol* 32(4),489-509.
- Yamamoto, J.K., 1999, Quantification of uncertainty in ore-reserve estimation: Applications to Chapada Copper Deposit, State of Goiás, Brazil, *Natural Resources Research*, Vol.8, No.2, 153-163.

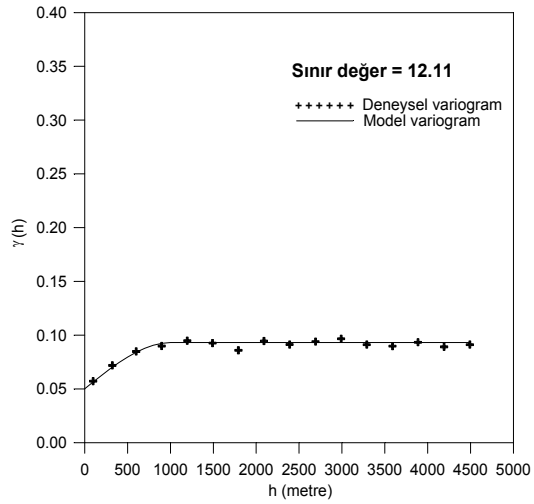
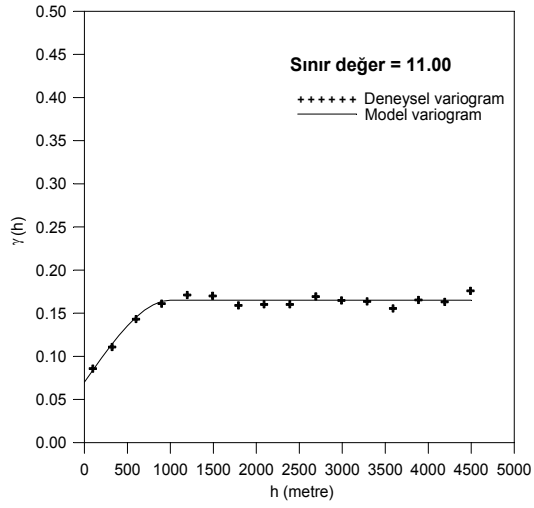
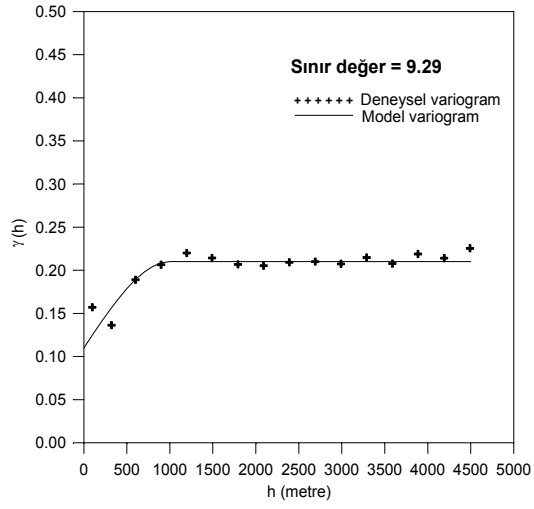
**EK- 1**

**ORİJİNAL VERİLER İÇİN İNDİKATÖR  
DENEYSEL VE MODEL VARIÖGRAMLAR**



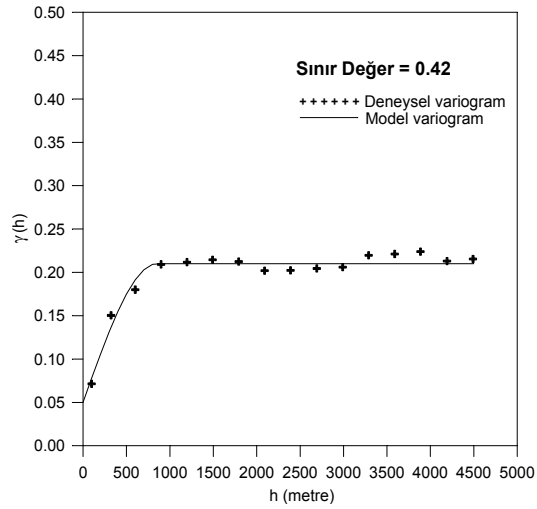
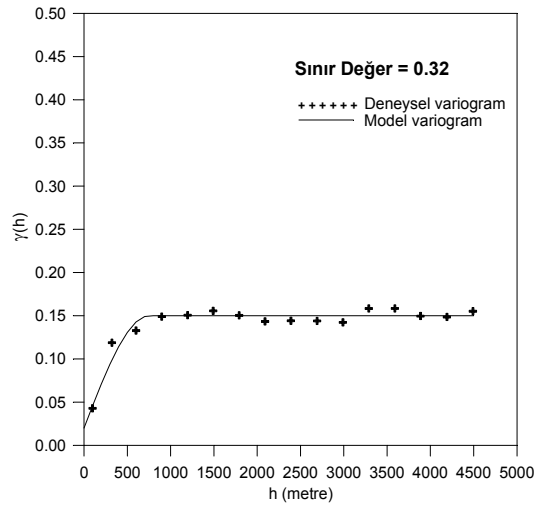
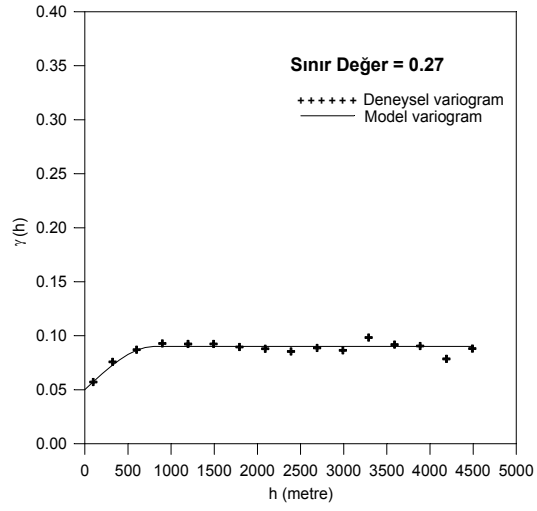


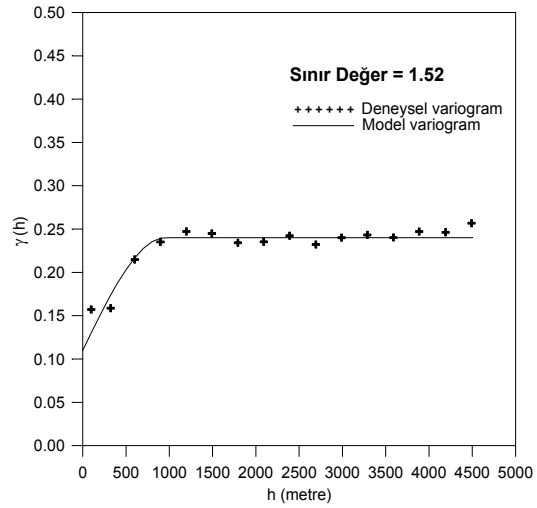
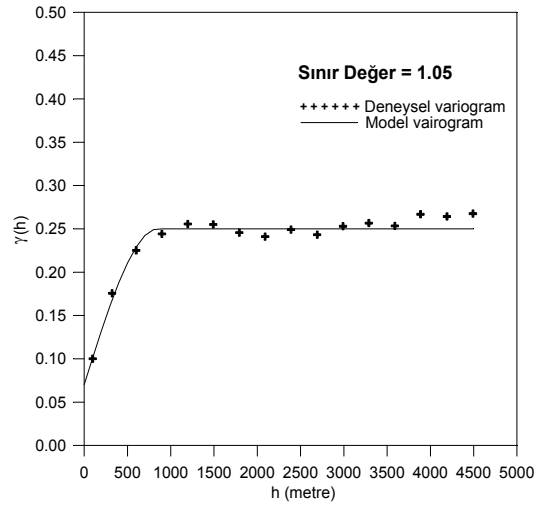
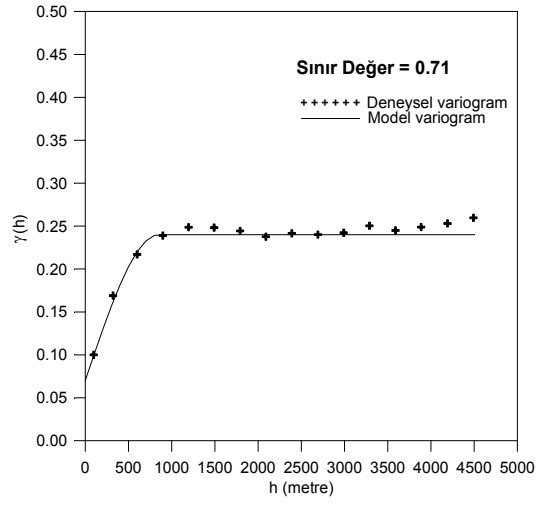


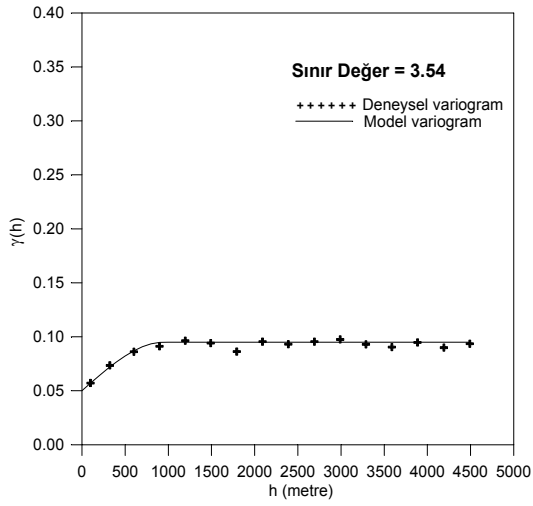
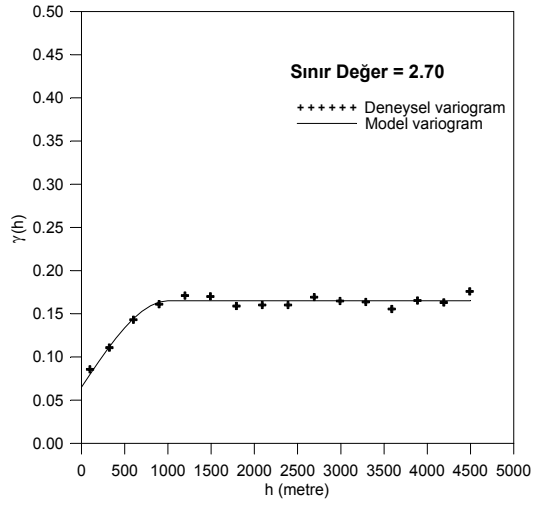
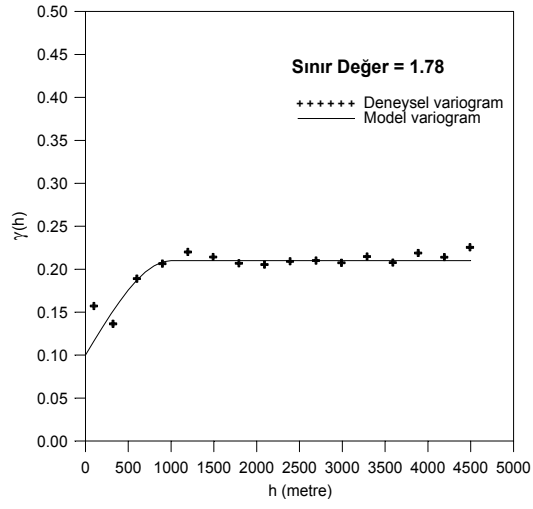


## **EK- 2**

### **LOGNORMAL VERİLER İÇİN İNDİKATÖR DENEYSEL VE MODEL VARIOGRAMLAR**

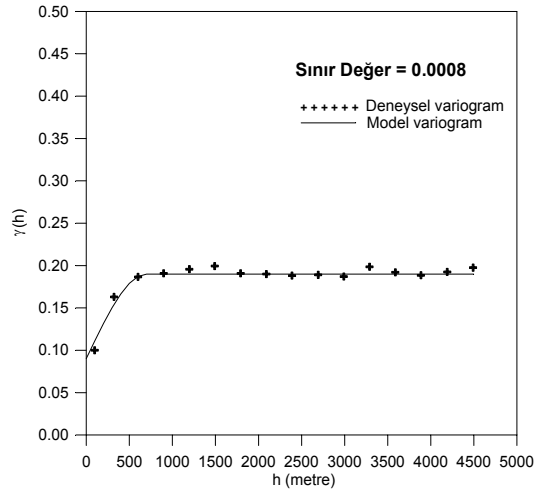
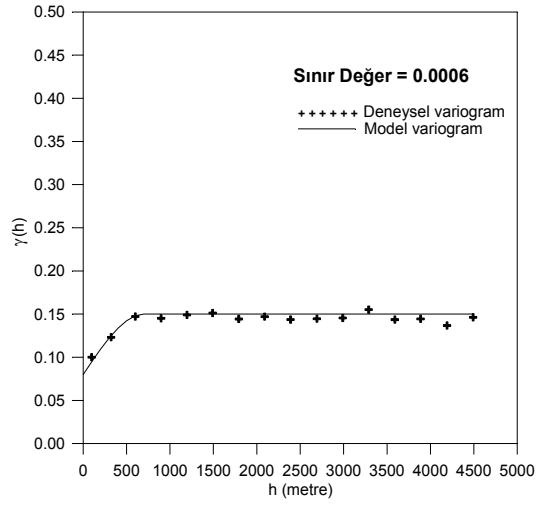
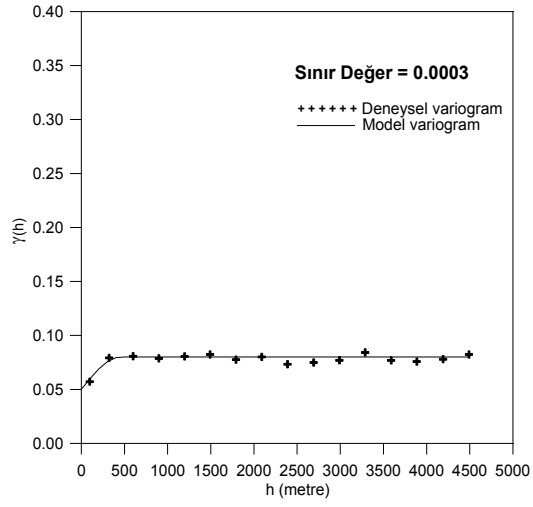


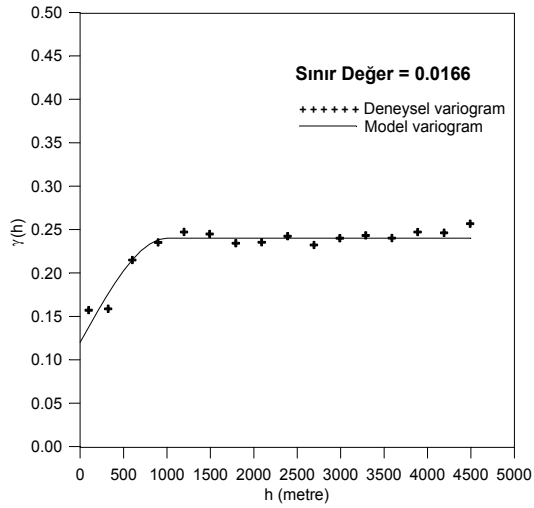
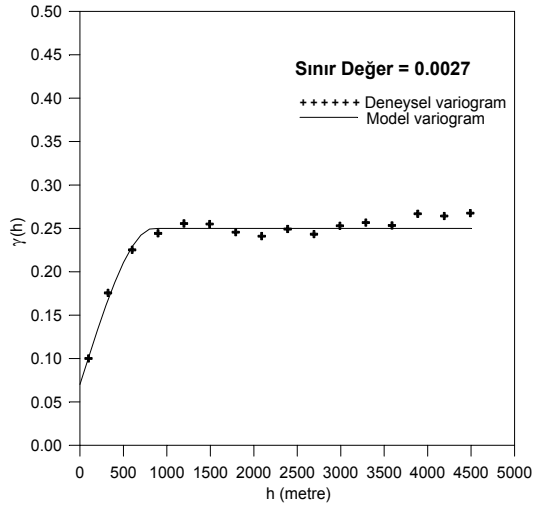
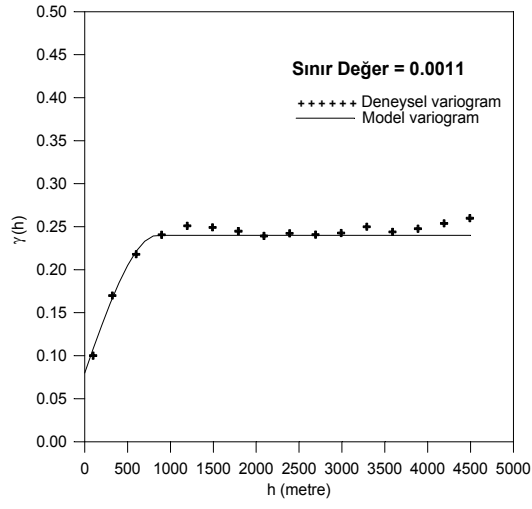




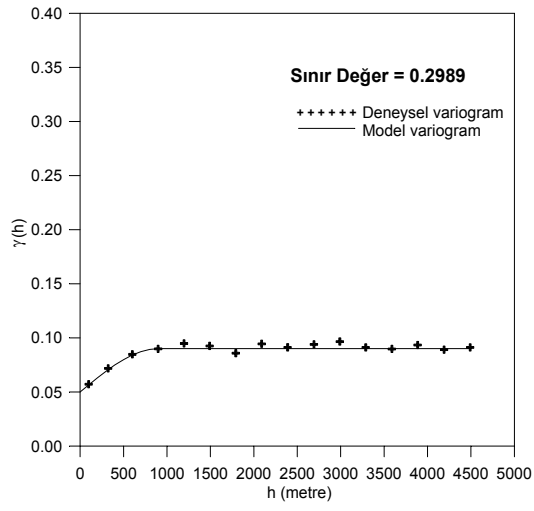
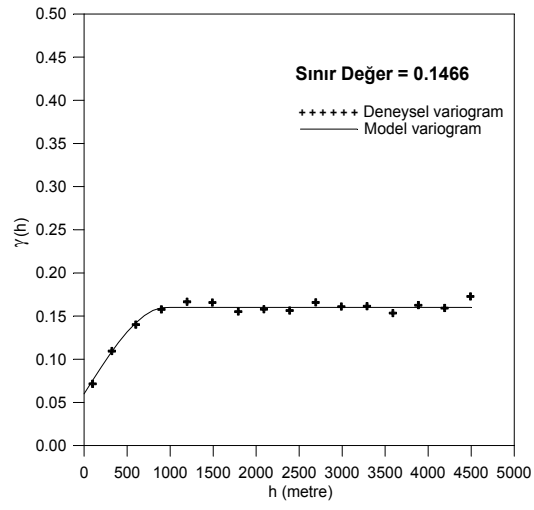
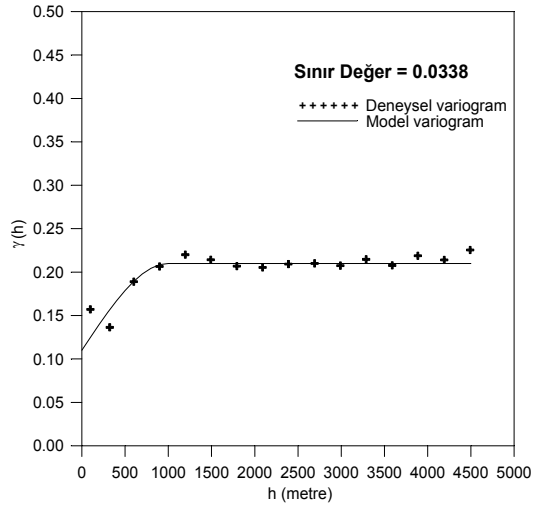
**EK- 3**

**GAMA VERİLERİ İÇİN İNDİKATÖR  
DENEYSEL VE MODEL VARIÖGRAMLAR**









**EK-4**

**ÇANKIRI İLİ İNDAĞI BÖLGESİNDEN ALINAN HİDROLİK  
İLETKENLİK VERİLERİ**

X Koordinati	Y Koordinati	Hidrolik İletkenlik
6334	4799	3,27
6317	4651	1,51
6258	4521	0,05
6259	4659	1,3
6372	4766	2,6
6233	4821	21
6208	4669	9,3
6196	4520	1,5
6146	4529	3,06
6163	4679	2,72
6181	4827	3,05
6133	4836	2,84
6108	4682	19
6092	4532	7,53
6042	4552	0,62
6060	4700	1,47
6081	4848	6,79
6034	4868	20,67
5988	4675	1,37
5984	4572	2,3
5937	4587	3,01
5958	4733	1,47
5982	4884	3,76
5921	4896	1,18
5905	4745	2,8
5890	4601	1,59
5840	4602	18,16
5854	4753	17,87
5860	4894	4,33
5798	4882	13,17
5805	4756	2,39
5796	4601	4,28
5754	4580	8,19
5751	4752	4,28
5740	4868	9,15
5686	4847	7,25
5704	4712	1,65
5719	4555	22
5684	4528	22,89
5654	4676	13,44
5634	4812	9,86
5586	4773	9,11
5617	4634	11,5
5653	4491	17,72

5632	4441	3,43
5589	4578	10,93
5540	4710	10,36
5510	4669	18,65
5558	4531	13,67
5610	4385	1,48
5576	4359	1,21
5525	4484	3,45
5471	4626	7,27
5428	4562	12,44
5484	4438	1,27
5534	4347	1,62
4062	5061	1,03
4157	5030	0,16
3876	5133	0,16
3775	5130	0,42
3692	5196	0,59
3593	5221	0,23
3566	5145	0,07
3670	5119	1,18
3747	5052	0,68
3865	5055	0,66
3971	5022	0,64
3961	4935	0,16
3871	4967	0,25
4790	4647	1,57
4832	4581	1,47
4862	4653	0,19
4898	4606	3,33
4931	4684	1,79
4949	4633	0,2
4995	4722	0,23
5023	4674	5,41
5060	4761	0,59
5086	4709	0,6
5127	4790	1,95
5154	4732	3,07
5187	4830	2,59
5215	4769	0,9
5247	4868	0,26
5273	4806	8,19
5311	4909	1,32
5335	4848	1,24
5379	4928	1,21
5401	4873	0,77

5448	4938	4,65
5470	4885	1,74
5518	4929	0,54
5536	4884	3,07
5555	5009	1,18
5594	4991	12,3
5588	5098	4,52
5641	5088	7,38
5590	5184	0,54
5635	5193	8,86
5550	5288	0,44
5602	5305	4,02
5644	5338	26,32
5659	5272	3,05
5677	5204	0,64
5683	5137	4,06
5689	5068	0,13
5767	5051	0,47
5753	5107	2,51
5739	5163	2,95
5742	5221	19,2
5727	5275	10,68
5713	5330	16,69
5703	5385	3,1
5781	5406	27,31
5792	5332	27,36
5813	5259	0,67
5816	5183	4,5
5825	5112	0,75
5844	5043	2,69
5918	5063	2,22
5902	5124	1,84
5891	5186	0,56
5879	5248	9,3
5872	5311	18,46
5862	5372	9,54
5856	5433	18,31
5934	5432	3,54
5935	5362	9,6
5956	5295	2,73
5968	5225	13,88
5977	5155	5,39
5991	5085	4,9
6067	5091	7,23
6059	5161	4,31

6048	5230	18,46
6027	5298	0,41
6016	5370	2,06
6008	5436	7,82
6086	5425	15,06
6091	5365	1,96
6101	5297	5,56
6115	5232	5,76
6125	5165	11,96
6183	5230	1,82
6168	5287	17,72
6159	5351	6,1
6155	5412	8,71
6226	5316	4,65
3615	4732	0,42
3647	4594	0,49
3670	4435	0,42
3472	4507	0,36
3447	4645	0,44
3410	4781	0,84
3370	4913	0,45
3323	5049	0,11
3068	5190	1,32
3123	5063	1,58
3171	4930	0,96
3209	4794	1,2
3238	4649	0,78
3260	4513	0,22
3037	4643	0,62
3013	4780	3,72
2961	4915	0,11
2920	5043	1,47
2877	5178	0,7
2731	5271	0,96
2776	5161	0,69
2824	5000	0,41
2874	4854	1,56
2917	4720	0,36
2937	4583	0,43
2753	4559	0,14
2738	4663	4,06
2706	4767	0,61
2672	4867	0,42
2644	4961	0,59
2612	5061	0,28

2581	5159	0,07
2537	5256	0,78
2380	5063	0,3
2417	4944	0,28
2453	4830	0,16
2494	4719	0,04
2538	4605	0,35
3512	4755	1,31
3541	4618	1,69
3577	4479	0,31
3364	4511	1,17
3338	4646	5,31
3309	4782	1,98
3267	4919	0,37
3222	5050	0,59
3164	5178	1,14
3140	5316	0,7
2876	5384	1,35
2927	5259	3,43
2980	5146	0,98
3021	5034	3,1
3065	4912	1,07
3113	4788	1,25
3134	4652	1,11
2834	4581	0,55
2823	4692	0,89
2781	4809	0,45
2746	4925	0,22
2711	5039	2,09
2683	5158	1,8
2637	5269	0,25
2507	5055	3,39
2543	4923	0,13
2583	4791	1,52
2641	4662	3,76
2404	4664	4,06
2353	4797	0,21
2315	4933	0,31
5176	5424	0,67
5210	5356	3,66
5249	5278	0,24
5283	5210	0,27
5166	5117	1,27
5129	5189	0,33
5097	5256	0,21

5066	5326	0,51
5027	5393	0,88
4931	5252	0,53
4963	5177	0,7
4996	5102	0,56
5034	5032	1,56
4890	4933	0,6
4855	5001	0,51
4826	5074	0,26
4797	5147	1,18
4710	4976	0,91
4745	4900	0,78
4778	4821	0,45
4652	4732	1,65
4617	4800	1,32
4580	4873	0,45
4409	4882	2,36
4446	4809	0,25
4481	4733	0,07
4514	4662	0,94
4362	4621	1,59
4327	4697	2,24
4287	4764	0,48
4251	4837	1,15
4140	4751	0,7
4181	4680	0,97
4213	4606	1,35
4033	4649	0,22
3992	4720	0,28
3962	4793	8,12
3890	4749	4,65
5257	5438	2,14
5280	5362	0,12
5316	5310	0,71
5346	5248	0,56
5418	5307	0,4
5386	5381	1,01
5469	5377	0,1
5138	5337	0,56
5174	5246	0,48
5214	5172	0,32
5081	5111	0,3
5044	5191	0,72
5006	5284	0,14
4873	5167	0,31



4901	5091	0,56
4938	5018	0,7
4749	5043	1,29
4784	4967	1,29
4819	4891	0,57
4711	4771	0,66
4676	4847	2,06
4641	4923	1,82
4518	4835	0,84
4552	4766	5,02
4586	4695	0,26
4430	4646	0,52
4392	4726	0,22
4356	4800	0,67
4284	4613	0,1
4256	4690	3,24
4217	4764	0,75
4065	4775	0,62
4096	4697	1,25
4134	4627	0,95

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arzu Giray BALTACI (YURDAGÜL)

Doğum Yeri : Konya

Doğum Yılı : 21.05.1975

Medeni Hali : Evli

### **Eğitim ve Akademik Durumu :**

Lise 1989-1992 Mehmet Akif Ersoy Lisesi / Elazığ

Lisans 1992-1998 Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil İngilizce

### **İş Tecrübesi :**

1988-1999 Bülent Kiper Jeoteknik Müh.Ltd. Şti.

1999 - 2006 Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi

2006 - MTA Genel Müdürlüğü

### **Yayınlar ve Bildiriler:**

Saraç, C., Koçer, S., Yurdagül, A.G., 2000, Maden yataklarının değerlendirilmesinde geliştirilmiş yöntemler: halka ayrışım yöntemi ve uygulanması, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Cilt: 23/24, sayı 1, 51-60.

Yurdagül, A.G., 2001, Adıyaman Yöresi Porozite ve Hidrokarbon Doygunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyon Yöntemleriyle İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, 101s.

Yurdagül, A.G. ve Saraç, C., 2002, Adıyaman Yöresi Rezervuar Kayaçlarının Porozite ve Hidrokarbon Doygunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyonu, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 322-323.

Yurdagül, A.G. ve Saraç, C., 2002, Adıyaman Yöresi Rezervuar Kayaçlarının Porozite ve Hidrokarbon Doygunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyonu, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 45, Sayı 2, 19-31.

Yurdagül, A.G., Sarac, C. and Demirel, I.H., 2003, Geostatistical Simulation Study of Porosity and Hydrocarbon Saturation Values in the Vicinity of Adıyaman, Turkey, Petroleum Science and Technology, Vol.21, Nos. 11&12, pp.1867-1878.

Baltacı, A.G. ve Saraç, C., 2006, Jeostatistiksel Kestirimdeki Lokal Bellirsizlikler, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 169-170.

Baltacı, A.G. and Sarac, C., 2007, Geostatistical Simulation of Reservoir Characteristics in the Region of Adıyaman, Turkey,