

101346

ÖNSÖZ

Bir uzay içersindeki rassal bir değişkenin dağılımının tespit edilmesi için kullanılan PCSV ve kriging tekniklerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmamda bana yardımcı olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Erkin NASUF' a, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Nuh BİLGİN' e katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımları dokunan araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Atilla IŞIK' a teşekkürü bir borç bilirim.

Her alandaki desteklerinden dolayı aileme en içten duygularla saygılarımı iletmeyi bir borç bilirim.

Haziran 2001

Maden Mühendisi
C.Atilla ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1.YAPISAL ANALİZ VE MODELLER	1
1.1.Bölgeselleştirilmiş Değerler	1
1.2.Durağanlık ve Sabitlik Hipotezleri	2
1.3.Variogram Özellikleri ve Modelleri	3
1.3.1.Variogramın Özellikleri	4
1.3.2.Teorik Variogram Modelleri	5
1.4.Variogramın Tespiti ve Yorumu	7
2.JEOİSTATİSTİKSEL TAHMİN METODU	8
2.1.Olağan Kriging	9
2.1.1.Rassal Fonksiyon Modeli ve Tarafsızlık	9
2.1.2.Rassal Fonksiyon Modeli ve Hata Varyansı	10
2.1.3.Lagrange Çarpanı	12
2.2.Hata Varyansının Minimize Edilmesi	13
2.3.Variogram ve Korelasyon Katsayısının Kullanıldığı Sıradan Kriging	15
2.4.Blok Kriging Sistemi	16
3.NOKTASAL TOPLAM SEMİVARIOGRAM METODU	20
3.1.Klasik Semivariogramın Dezavantajları	20
3.2.Toplam Semivariogram	21
3.2.1.Toplam Semivariogramın Özellikleri	23
3.3.Noktasal Toplam Semivariogram (PCSV)	23
3.3.1.Noktasal Toplam Semivariogramın Özellikleri	24
3.3.2.PCSV Grafiklerinin Değerlendirilmesi	26
4.UYGULAMALAR	29
4.1.Kömür Yatağının Jeoistatistiksel Değerlendirmesi	29
4.1.1. İstatistiksel Analiz	30
4.1.2.Jeoistatistiksel Değerlendirme	36
4.1.2.1.Klasik Jeoistatistiksel Yöntem	37
4.1.2.2.Noktasal Kümülatif Semivariogram	46
4.2.Metalik Maden Yatağının Jeoistatistiksel Değerlendirmesi	54
4.2.1. İstatistiksel Değerlendirme	58
4.2.2.Jeoistatistiksel Değerlendirme	61
4.2.2.1.Klasik Jeoistatistiksel Yöntem	61

4.2.2.2.Noktasal Kümülatif Semivariogram Tekniği	72
4.3.PCSV Tekniği Kullanılarak Tahmin Probleminin Çözümü	80
5.KARŞILAŞTIRMA	86
6.SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	97



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 : Bölgeselleştirilmiş değerlerin gösterimi	31
Tablo 4.2 : Kömüre giriş kotuna ait istatistiksel sonuçlar	34
Tablo 4.3 : Kömür kalınlığına göre bulunan istatistiksel sonuçlar	35
Tablo 4.4 : Kömüre giriş kotu deneysel variogram sonuçları.	38
Tablo 4.5 : Kömüre giriş kotuna göre bulunan variogram parametreleri	40
Tablo 4.6 : Kömür kalınlığına ait deneysel variogram sonuçları.	42
Tablo 4.7 : Kömür kalınlığına ait teorik variogram parametreleri.	43
Tablo 4.8 : Küre Asiköy sondaj sonuçları.	55
Tablo 4.9 : Cu değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar	60
Tablo 4.10 : S değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar	60
Tablo 4.11 : Kalınlık değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar	60
Tablo 4.12 : Bakıra göre bulunan deneysel variogram sonuçları	62
Tablo 4.13 : Bakır tenörüne göre bulunan variogram parametreleri	63
Tablo 4.14 : Kükürt içeriğine göre bulunan deneysel variogram sonuçları	65
Tablo 4.15 : Bakır tenörüne göre bulunan variogram parametreleri.	66
Tablo 4.16 : Kalınlık değerine göre bulunan deneysel variogram sonuçları	67
Tablo 4.17 : Cevher kalınlığına göre bulunan variogram parametreleri.	70

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. : Semivariogram modelleri	6
Şekil 3.1 : Toplam semivariogram modelleri	22
Şekil 3.2. : Olası PCSV grafiklerinin değerlendirilmesi	27
Şekil 4.1 : Kömüre giriş kotunun histogramı	32
Şekil 4.2 : Sondaj noktalarının X – Y koordinat sisteminde kömür kalınlıkları ile birlikte gösterimi	33
Şekil 4.3 : Kömür kalınlığı histogramı	34
Şekil 4.4 : Kömüre giriş kotuna ait deneysel semivariogram	39
Şekil 4.5 : Kömüre giriş kotuna ait teorik variogram	39
Şekil 4.6 : Kömüre giriş kotunun sahadaki dağılımı	41
Şekil 4.7 : Kömür kalınlığı deneysel variogramı	43
Şekil 4.8 : Kömür kalınlığına ait teorik variogram.	44
Şekil 4.9 : Kömür kalınlığının verilen saha içersindeki dağılımı.	45
Şekil 4.10 : Kömür giriş kotuna göre bulunan PCSV grafikleri.	49
Şekil 4.11 : Kömür kalınlığına göre bulunan PCSV grafikleri	53
Şekil 4.12 : Asiköy sahasında Cu değerlerinin histogramları.	59
Şekil 4.13 : Bakır değerine göre elde edilen deneysel semivariogram.	62
Şekil 4.14 : Bakır tenörüne bağlı bulunan teorik semivariogram.	63
Şekil 4.15 : Bakır tenörünün saha içersindeki dağılımı gösterir harita.	64
Şekil 4.16 : Kükürte ait deneysel semivariogram.	65
Şekil 4.17 : Kükürt içeriğine göre saptanan teorik semivariogram.	66
Şekil 4.18 : Kriging tekniğine göre bulunan kükürt haritası.	68
Şekil 4.19 : Kalınlık deneysel variogramı.	69
Şekil 4.20 : Cevher kalınlığına ait teorik semivariogram.	69
Şekil 4.21 : Cevher kalınlığının değişimini gösteren haritalar.	71
Şekil 4.22 : Bakır içeriğine ait PCSV grafikleri.	73
Şekil 4.23 : Kükürt içeriğine ait PCSV grafikleri.	76
Şekil 4.24 : Cevher kalınlığına ait PCSV grafikleri.	79
Şekil 4.25 : 600 m mesafeye göre bulunan kömüre giriş kotuna ait PCSV kontur haritası	81
Şekil 4.26 : Kömür kalınlığına ait PCSV kontur haritası.	82
Şekil 4.27 : Bakır içeriğine ait PCSV kontur haritası.	83
Şekil 4. 28 : S içeriğine ait PCSV kontur haritası.	84
Şekil 4. 29 : Kömür kalınlığına ait PCSV kontur haritası.	85

KRİĞİNG VE PCSV TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Belirlenen bir uzay içerisinde bir değişkenin nasıl dağıldığının tespitine yönelik çalışmalar modelleme konusunda cevaplanması gereken en önemli sorulardan biridir. Özellikle rassallığın çokça bulunduğu yer bilimlerinde, değişkenlerin nasıl değiştiğinin araştırılması gerek bilimsel olarak kıymetli bir araştırma konusu olmanın yanında, mühendislik çalışmalarında ilk basamağını oluşturmaktadır. Klasik istatistik teorileri ile bir maden sahasındaki değişkenin dağılımını tespit etmek zor ve yüksek derecede hatalı olmaktadır.

1963 yılında Matheron tarafından ortaya sürülen bölgeselleştirilmiş değerler teorisi ile bu alandaki çalışmalar klasik istatistiksel çalışmaların yerine jeostatistiksel çalışmalar olarak yapılmaktadır. Bu yöntem sayesinde bir değişkenin dağılımını tespit etmek için kullanılan en önemli parametrelerden biri klasik istatistikte olduğu gibi örnek noktalarından alınan değişkenin değeridir. Ancak bir diğer önemli parametre ise değişkenin lokasyonunda dikkate alınmasıdır. Bu sayede incelenilen değişken bölgeselleştirilerek, araştırılan dağılım iki farklı parametreye bağlı olarak yapılır. Bu sayede hangi noktada ne tarz bir değişimin olduğunu tespit etmek mümkün olabilir. Bu yöntem yıllardan beri madencilik uygulamalarında geniş bir şekilde uygulama alanı bulmuştur. Keza bu yöntem, madencilikten, meteorolojiye, malzeme biliminden hidroliğe kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Sistemin çalışması iki aşama halinde olur ve temel kabuller içerir. Bu kabullerden biri durağanlık kabulü olup, bu kabulü göre ortalamanın zaman ve konumla değişmediği kabul edilir. Bu durum her noktanın sadece bir değere sahip olmasını gerektirir. Diğeri ise sabitlik hipotezi olup iki nokta arasındaki farkın artma olasılığının sıfır olasılığına sahip olma kabulüdür. Bu sayede varyansında zaman ve konumla değişmediği kabulü yapılır.

Modellemenin yapılabilmesi ise iki basamak halinde gerçekleştirilir. Bu basamaklardan biri semivariogramın elde edilmesi ikincisi ise kriging tekniğinin çalıştırılmasıdır. Bu işlemlerden sonra sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin nasıl dağıldığı hakkında fikir sahibi olunabilir.

Diğer bir önemli husus ise sahada anizotropinin varlığının tespiti için farklı yönlerde teroik semivariogramlar elde ederek çıkan sonuçların karşılaştırılmasıdır. Ancak anizotropinin elde edilmesi için izotropik semivariogramın elde edilme zorunluluğu vardır. Şöyleki, bir sahada istenilen korelasyon katsayısında bir izotropik teorik semivariogram elde edilemiyorsa, anizotropik semivariogramda elde edilemez. Ancak, izotropik semivariogram elde edildiği halde anizotropik semivariogramın elde edilemediği durumlarda mevcuttur.

Bu sebepten dolayı, çeşitli araştırmacılar tarafından uzun yıllardan beri farklı teknikler geliştirilerek uygulamanın geliştirilmesine çalışılmıştır. Şen, Z. tarafından geliştirilen noktasal kümülatif semivariogram tekniğide bu amaçla geliştirilmiş bir tekniktir. Bu teknik ile bölgeselleştirilen değişkenlerin semivariogram değerlerinin artan mesafeye göre kümülatif toplamı alınarak sürekli artan bir fonksiyon elde edilir. Daha sonra bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı hakkında değerlendirmeler bu grafiklerden hareket edilerek yapılır. Sonuç olarak tahmin probleminin çözümü tek basamakta gerçekleşir.

Bu tezde her iki tekniğin karşılaştırılmasının yapılması için aynı sahalar için her iki teknikte uygulanarak çıkan sonuçlar karşılaştırma yoluna gidilmiştir. Farklı sahalarda çıkan sonuçların değerlendirmesini yapabilmek için İstanbul Yeniköy’ deki kömür maden yatağı ve Küre Asiköy’ deki metal madeni yatağı uygulama sahaları olarak seçilmiştir.

Kömür sahası ve bakır madeni için yapılan çalışmalarda kömüre giriş kotu, kömür kalınlığı, cevher kalınlığı, bakır ve kükürt içerikleri bölgeselleştirilmiş değişkenler olarak seçilmişlerdir.

Kriging tekniği uygulanarak yukarıda adı geçen değişkenlerin saha içersinde nasıl değiştiğinin tespiti yapılmış ve haritalar çıkarılmıştır. Aynı değişkenler ve aynı sahalar için PCSV tekniği kullanılarak da değerlendirmeler yapılmıştır.

Kriging tekniği kullanılarak yapılan araştırma sonucunda sahada incelenilen değişkenin hangi bölgede nasıl değiştiği hakkında fikir sahibi olmak mümkün olmuştur. Ancak farklı yönlerde semivariogram elde etmek mümkün olmadığı için anizotropinin incelenmesi mümkün olmamıştır.

PCSV tekniği kullanılarak yapılan çalışmada ise saha içersinde incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin nasıl dağıldığı hakkında ve sahadaki heterojenlik hakkında değerlendirme yapmak mümkün olmuştur. Ancak kriging tekniğinde olduğu gibi noktasal tahmin yapmak söz konusu değildir.

Sonuç olarak, istenilen uzay içersinde incelenilen değişkenin dağılımını yapabilmek için kullanılan kriging tekniği semivariogramın yüksek korelasyonda elde edildiği durumlarda oldukça iyi sonuç vermektedir. PCSV tekniği ise global yaklaşımların yapılabilmesi için kullanılabilecek faydalı bir tekniktir.

GEOSTATISTICAL ASSESSMENT FOR ORE DEPOSITS FOR COMPARISON OF KRIGING AND POINT CUMULATIVE SEMIVARIOGRAM TECHNIQUES

SUMMARY

The question of how the distribution of a random variable in spatial should be answered for modelling. Especially for earth science it is vital either as a scientific research matter and it is the first step of an engineering project. It is very hard to guess the distribution of a random variable by using classical statistic and has much error variance.

The theory of regionalized variables that has been proposed by Matheron in 1963 has been applied in different areas instead of classical statistic. In this theory, there are two important parameters to describe the distribution of the random variables. The first one is the magnitude of the sample and the second is the location. For this reason, investigated random variable gets regionalized and the distribution can be found related with two different parameters, and it is possible to understand the distribution of random variable for every point. This technique has been applied in mining applications for years. Added to that, it has been used either meteorology, material science and hydrolic. This technique has two important approvals which are stationary and intrinsic hypothesis. In stationary approval average do not change related with time and location. Related with this approval every sample point has only one value. For the other approval the probability of difference between two sample points has zero increasing. It means that variance can not change related with location and time.

Modelling a mine area is realized in two steps. The first is making a theoretical semivariogram and the second step is operating kriging technique to complete the estimation problem. After that, it is possible to understand the distribution of the random variable for given deposit. Either there are two approvals and it must be

made semivariogram with high correlation especially for non-equal data set it is very hard to depict a correct estimation, and error variance gets high.

Other important issue is about defining the anisotropy. It is sometimes very hard to obtain semivariogram for different direction. If it can not be obtained a omnidirectional semivariogram it is not possible to depict an anisotropic semivariogram, and sometimes even if it is possible to make a omnidirectional semivariogram it can not be made directional semivariogram.

For these drawbacks, many scientist have been investigating different techniques to find a better way to do it. Point cumulative semivariogram technique has been proposed by Şen, Z. By using this technique, corresponding successive cumulative sums of half-squared differences are achieved. This procedure gives a nondecreasing function which is the sample PCSV at the concerned site. It is applied every point in data set and consequently the number of PCSV graph is equal to number of sample. Then the groups are formed from these sample PCSV. After that, it is possible to asses the distrubition of regionalized variables. Therefore, the solution of the estimation problem can be solved in one step.

In this thesis, to compare the application of two techniques, they are applied two different mining areas and the results are compared eachother. For finding out the differences in different areas, a coal mine which is in Yeniköy, İstanbul and a metal mine which is in Asiköy, Küre are choosed as application areas.

For coal mine and metal mine, upper coal level, coal thickness, ore thickness, and the content of copper and sulphur are regionalized.

By using kriging technique, the distrubitions of the regionalized variables and the maps are obtained. For the same variables and the same deposits the assesment of the distrubition are done by using PCSV technique etither.

It is possible to form an opinion the variation of the regionalized variables for desired location when the estimation problem are tried to solve by using kriging technique.

But it is not possible to obtain directional semivariograms and it can not be assessed anything about anisotropy.

It is depicted the heterogeneity of the regionalized variables for given deposit by using PCSV technique. Bu it is not possible to make a point guess as making in kriging technique. The reason of that, by using PCSV technique it is only possible to make a global interpratations.

As a result all of these interpretations, to make a spatial description of regionalized variables for given deposit, kriging technique can be applied succesfully if it is possible find a semivariogram with high correlation. Differently, PCSV technique can make good global interpratations and clarify the heterogeneity of the regionalized variables.



1.YAPISAL ANALİZ VE MODELLER

Jeoistatistik, maden sahalarındaki doğal olayların (kömür kalınlığı, bakır tenörü vs.) istatistiksel değerlendirilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Belirlenen bir uzay içerisinde, uzaysal bağımlı bir olay, uzaysal bağımlı fonksiyonlar ile karakterize edilir [1-5].

1.1.Bölgeselleştirilmiş Değişkenler

Eğer bir olay uzayda yayılıyor ve belli bir uzaysal yapı (cevherleşme zonu vs.) gösteriyorsa bunun bölgeselleşmiş olduğunu söylenir [4]. Bir bölgeselleştirilmiş değişken (ReV) belli bir olayın karakteristiklerine sahiptir (cevher tenörü vs.). ReV teorisinin uygulamasının 2 ana aşaması vardır.

1.Aşama : Yeterli bir formda olayın yapısal özelliklerini vurgulamak için *teorik bir zemin kurmak* (variogram, covaryans).

2.Aşama : Tahmin probleminde (kriging) çözümü sağlayacak olan fonksiyonların kullanıldığı bir *modeli sağlamak* ve rassal fonksiyonların olasılık teorilerini kullanarak ReV ile ilişkilendirmek [5,6].

ReV değerler $z(x)$ ile gösterilir ve $Z(x)$ olarak gösterilen rassal fonksiyonun anlaşılması için kullanılır. Rassal fonksiyon olarak tanımlanansa uygulama sahası içerisinde incelenen doğal olaydır. Rassal fonksiyon, rassal değer $Z(x)$ ' in sonsuz bir toplamasıdır [1-7]

Bilinmeyen noktaların tahminini yapmak için ve istatistiksel sonuçlara varmak için durağanlığın ileri hipotezlerinin belirlenmesi gereklidir.

1.2.Durağanlık ve Sabitlik Hipotezleri

Durağanlık hipotezine göre, örneklendirilen bir kümede ortalama değerin zamanla ve konumla değişmediği kabulü yapılır. 2. sıra durağanlık hipotezine göre ise, aynı küme için ortalamanın yanında, standart sapmanında değişmediği kabul edilir [1,2,5,9].

x_1 ve x_2 olarak adlandırılan ve aralarında h mesafesi bulunan 2 nokta için, verilen oryantasyonda, aralarındaki farkların dağılımı h' ye bağlıdır. Bu durum dağılım için geçerli olduğuna göre, aynı zamanda ortalama ve varyanslar içinde geçerli olur.

Rassal fonksiyonların, 2. sıra durağan oldukları söylenebilir. Bu durumda ;

$$E[Z(x)] = m(x) = m, \quad \forall x \quad [1.1]$$

$$C(0) = \text{Var}[Z(x)] = E\{[Z(x) - m(x)]^2\}, \quad \forall x \quad [1.2]$$

$$C(h) = E\{[Z(x_1) - m(x_1)]^2[Z(x_2) - m(x_2)]^2\}, \quad \forall x \quad [1.3]$$

Bu formüllerden de görüleceği üzere, rassal fonksiyonunun herhangi bir yerdeki beklenen değeri ortalamaya eşittir. Varyans değeri, $(C(0))$, x' den bağımsızdır. Kovaryans fonksiyonu ise x_1 ve x_2 lokasyonlarının fonksiyonu ve farklarına bağlıdır. Burada iki farklı ortalama olmasının durumu her noktanın farklı bir ortalamaya sahip olduğu kabulünden gelir. Ancak uygulamada ortak bir ortalama vardır. Bu durumun nedeni ise, jeostatistikte her noktaya sadece bir değer atanabileceği kabulünden gelir.

Sabitlik hipotezine göre, herhangi bir h mesafesi için, $Z(x+h) - Z(x)$ farkındaki artış sıfır olasılığına sahiptir ve varyansı lokasyonundan bağımsızdır. Bu durumda ;

$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$ ve $\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h)$ olur [1,2,5,9]. Bu hipoteze sabitlik veya yalancı durağanlık hipotezi denir. $2\gamma(h)$ değeri h mesafesinin bir fonksiyonudur ve jeostatistikte uzaysal yapıyı tanımlamak için kullanılır. Tekrar yazılırsa ; variogram,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)], \quad \forall x \quad [1.4]$$

Buna ek olarak, 2. sıra durağanlık hipotezine göre variogram ve kovaryans fonksiyonları 2 simetrik fonksiyondur. ($2\gamma(h) = 2\gamma(-h)$ ve $C(h) = C(-h)$). Bu iki değişken, h mesafesince ayrılmış olan $Z(x)$ ve $Z(x+h)$ 2 değişken arasındaki otokorelasyonu temsil etmek için kullanılır. Variogram fonksiyonu rassal değişkenler arasındaki değişimi aralarındaki mesafelerine bağlı olarak ifade ederken, kovaryans fonksiyonu ise benzerliği ortaya koymaktadır [2-3].

Variogram ; $\gamma(h) = C(0) - C(h)$ [1.5]

$$\text{Korelasyon Katsayısı ; } \rho(h) = \frac{C(h)}{C(0)} = 1 - \frac{\gamma(h)}{C(0)} \quad [1.6]$$

1.3.Variogramın Özellikleri ve Modelleri

Variogram, verilen ilgili yönde numune çiftleri arasındaki değerlerin olası farklarını tanımlayan formül veya grafikdir. Diğer bir tanımla, incelenen doğal olayın uzaysal süreklilik yapısını karakterize etmeye yarayan bir ifadedir [5,8]. Değerler arasındaki uyumluluk daha öncede belirtilen yalancı durağanlık veya sabitlik hipotezi ile açıklanır. Variogramın pratik uygulaması aşağıdaki formülle açıklanır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad [1.7]$$

Farklı h değerleri için semivariogram değerleri bulunarak, $\gamma(h) - h$ grafiğine plot edilerek deneysel variogramlar elde edilir. Variogram uygulamasının sağladıkları [1-9] ;

- 1.Bağımlılığının yanında uzay içindeki değişkenlerin farklarının ölçülmesi içinde kullanılır.
- 2.Örneklendirilen sahadaki uyumluluk analizi en iyi variogram ile gösterilir.
- 3.Variogramlar global (omnidirectional) veya farklı yönlerde elde edilebilir. Bu

işlem ile homojenliğin yanında süreklilik hakkında da bilgi sahibi olunabilir.

4.Eğer variogram sadece kesin bir h mesafesine bağlı ise, incelenen bölgedeki doğal olayın değişimi izotropiktir. Ancak, variogram h ' nin yönü ve değerine bağlı ise sahadaki incelenen doğal olayın değişimi anizotropiktir.

5.Relatif ve indikatör variogramlar durağan olmayan ve bölgesel ortalama etkisinin çözümü içindir.

1.3.1.Variogramın Özellikleri

Bir variogramda rassal fonksiyonun çeşitli özelliklerinin gösterilebilmesi için bir takım kabuller yapılır. Bu kabuller aşağıda verilmiştir.

1.Pozitif kesinlik şartı : Kriging matrisi sisteminin çözülebilmesi için, sisteme giren bütün kovaryansların pozitif kesin fonksiyonlardan elde edilmesi gerekir. Kısacası, kriging matrislerinin sadece bir çözümünün elde edilebilmesi için sistemin pozitif kesin olma şartı vardır [1,2,5].

$Z(x)$ ' in durağan bir fonksiyon olduğu kabul edilirse, m , $C(h)$ gibi $Z(x_0)$ ' da bu fonksiyonun bir lineer kombinasyonu olsun. w_i değeri ağırlıkları gösterirse ;

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^m w_i Z(x_i) \quad [1.8]$$

Bu varsayım altında, rassal değer bu lineer kombinasyonu (2) ve onun varyansı pozitif olmak zorundadır ($\text{Var}[Z(x_0)] \geq 0$).

2. $\gamma(h)$ orjinde süreklidir. Bu durum şöyle gösterilebilir ;

$E[Z(x)-Z(x+h)]^2 \rightarrow 0$, bu durum ancak ve ancak $\gamma(h) \rightarrow 0$ ve $a > |h| \rightarrow 0$ şartları gerçekleştiğinde mümkün olur.

3.Eğer $\gamma(h)$ değeri pozitif bir sabitse (0 olduğu değer hariç), bu sabitlikten sonra $Z(x)$ ve $Z(x+h)$ arasında bir ilişki yoktur. Başka bir deyişle, variogram değerindeki artış belli bir mesafenin ötesinde duruyorsa ve yatay lineer bir fonksiyon halini alıyorsa, $\gamma(h)$ nin sabit olduğu sayıya sill ($\gamma(\infty)$) denir. Bu değer rassal fonksiyonun varyansına eşittir.

$$\gamma(\infty) = \text{Var}[Z(x)] = C_{(0)} \quad [1.9]$$

4.Eğer h değeri orjine yaklaşırken, $\gamma(h)$ değeri de orjine yaklaşıyorsa, saha için incelenen doğal olayın bir süreklilik arzettiği söylenir. Ancak $\gamma(h)$ değerinin orjine yaklaşmadığı durumlarda variogram fonksiyonunun orjinde bir süreksizliği vardır. Bu durum külçe etkisi olarak adlandırılır ($C_{(0)}$). Variogram fonksiyonunda külçe etkisinin olması, incelenen doğal olayın çok kısa mesafelerde hızlı değişimler gösterdiğini işaret eder. Bu durum ise yer bilimlerinde genelde jeolojik bir fay, tektonizma, volkanik bir faaliyet olarak açıklanır. Külçe etkisinin diğer bir sebebi ise ölçme hatası olabilir. Variogramın orjindeki davranışı olayın değişkenliğinin derecesini saptamak için önemlidir. Sadece külçe etkisinin veya yatay lineer bir ilişkinin olduğu variogramlarda doğal olayın tamamen rassal olduğu söylenir.

5.Variogram fonksiyonu simetrik bir fonksiyondur ($\gamma(h) = \gamma(-h)$).

1.3.2. Teorik Variogram Modelleri

Deneysel variogram ile tahmin probleminin çözümü için gerekli olan dataları elde etmek mümkün olmaz. Variogram özelliklerinin örnek aralıkları ile ilişkisini tam olarak ortaya koyabilmek amacıyla, deneysel variogram bazı teorik modeller ile ilişkilendirilmelidir.

Variogram modelleri silli ve silsiz olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sill daha öncede anlatıldığı üzere variogramın düzlüğe ulaştığı maksimum noktadır ve yaklaşık olarak sahadaki datanın varyansına eşittir. Variogramın sille ulaştığı kritik mesafeye ise etki alanı (a) denmektedir. Silli bütün modellerde numuneler arası mesafe belli bir değeri geçtikten sonra (a) numuneler arasında tahmin probleminde kullanılabilecek uzaysal bir korelasyon yoktur.

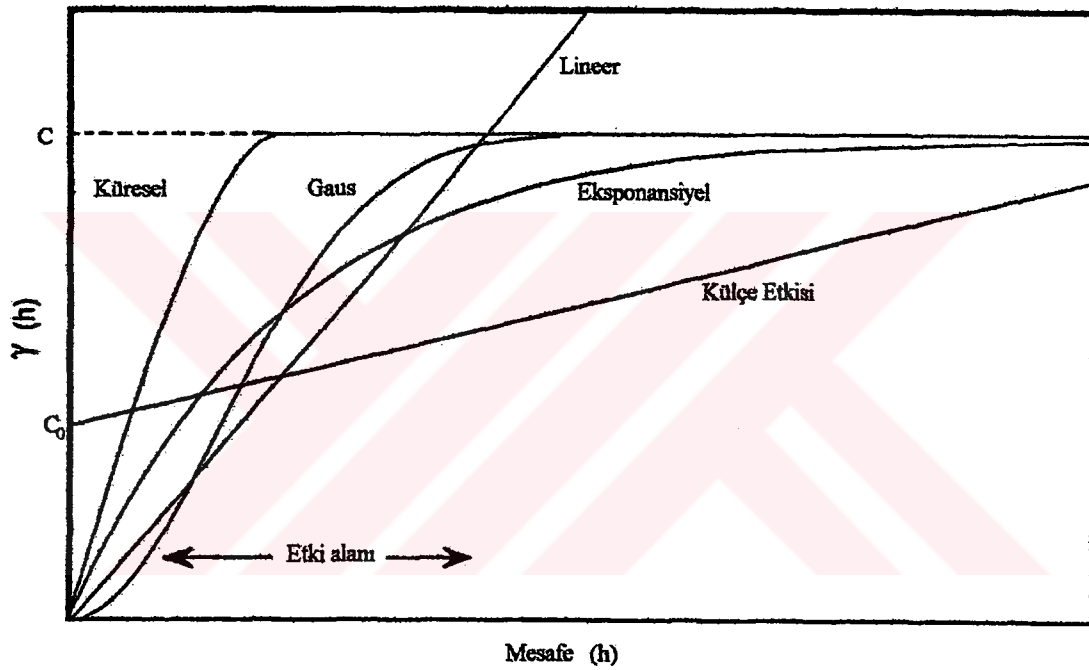
Sill olmayan modeller lineer modellerdir. Bu modeller, h mesafesiyle birlikte lineer olarak artmaktadır. Bu durum ise olayın durağan olmadığını gösterir. Yani sahada sonsuz varyans varken kovaryans yoktur ve sill ve etki alanı bir anlam ifade etmez. Ancak tahmin probleminin çözülebilmesi için modife edilebilir.

$$\gamma(h) = C_0 + bh, \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0, \quad h = 0 \quad [1.10]$$

Burda C_0 külçe etkisini, b ise modelin eğimini göstermektedir.

Silli modeller kovaryans fonksiyonu içermesinden dolayı dönüşüm modelleri olarakda isimlendirilirler. Bunlar, küresel, eksponansiyel, gaus v.b. modellerdir. Şekil 1.1.' de lineer, küresel, gaus ve eksponansiyel modeller gösterilmiştir [1-10].



Şekil 1.1. : Semivariogram modelleri.

Küresel model (3) hızla yükselerek sille ulaşır ve etki alanından sonra ($h > a$) fonksiyon yatay lineer olur. Eksponansiyel model (4) küresel modele benzer ancak daha yavaş yükselir. Gaus modeli (5) ise daha çok eksponansiyel modelde olduğu gibi devam eden olayın modellenmesi için kullanılır.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h \leq a \quad [1.11]$$

$$\gamma(h) = C_0 + C = sill \quad h > a \quad [1.12]$$

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

$$\gamma(0) = 0 \quad [1.13]$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right]$$

$$\gamma(0) = 0 \quad [1.14]$$

1.4.Variogramın Tespiti ve Yorumu

Variogram, bir saha içinde incelenen doğal olayın yapısal ilişkisini yorumlayan ve karakterize eden temel ve çok iyi bir istatistiksel malzemedir. Pekçok arazi çalışmasında numune boyutu araziye layıkıyla yansıtmak için çok küçüktür. Bu numuneler variogramdaki sadece bir kaç noktanın sonucunu verir. Oluşturulan deneysel variogramlar jeostatistiksel modellere dönüştürülerek numunelendirilmemiş bölgeler içinde fikir sahibi olunur. Bunun yanında, model variogramlar, doğal olayın bölgesel davranışının yorumlanması içinde basit ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılırlar.

Özetle, variogramların tahmin probleminde kullanılmak üzere ve değişkenin bölgesel değişiminin yorumunun yapılması için kullanılan 3 farklı parametre vardır. Bunlar ; sill değişkenliğin derecesini gösterir. Örneğin yüksek sill değeri yüksek değişkenliği ifade eder. Etki alanı, ilgilenilen noktanın etkili olduğu uzaklığı vererek numunelerin etki alanının bulunmasında kullanılır. Külçe etkisi, yukarıda anlatıldığı üzere, çok küçük mesafelerde dahi hızlı değişimleri göstermektedir.

2.JEOİSTATİSTİKSEL TAHMİN METODU

Kriging, doğal olayların (kömür kalınlığı, bakır tenörü vs.) bölgesel davranışını tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik kullanılarak numunelendirilen bölgelerin değerlerinden hareket ederek, numunelendirilmemiş bölgeler hakkında bilgi sahibi olunur. Bu tekniğin en önemli avantajı, hata varyansını minimize eden lineer bir sistem olmasıdır [1,2,5,11,12].

Kriging, bir örnek noktasının verilen lokasyondaki tahmini ile sınırlı kalmayıp verilen bloğun ortalama değerinin tahmininin belirlenmesinde de kullanılır. Bu sayede, araştırma yapılan sahada, yeni ölçüm noktalarının belirlenmesi amacıyla kullanılır [5,6,10].

Bölgeselleştirilmiş değişkenin tahminini elde etmek için pek çok farklı kriging tekniği vardır. Bunlardan basit krigingde ortalama ReV değerinin bilindiği varsayımı kabul edilir. Olağan krigingde ReV değerinin sabit olduğu ancak bilinmediği kabulü yapılır. Olağan krigingde popülasyon ortalaması bilinmediği için yer bilimleri uygulamalarında daha çok tercih edilir. Genel krigingde ReV değerinin ortalamasının polinomial olarak değiştiği ve uygulayıcı tarafından belirlendiği kabul edilir. Disjunktive krigingde ise dağılım non-gaus fonksiyonu ile ifade edilir [5,8,11,13].

Kriging tekniğinde iki kabul söz konusudur. Bunlardan birincisi, tarafsızlık diğeri ise minimum hata varyansı koşuludur. Gerçek uygulamalarda, hata ortalaması asla sıfıra eşit olmaz.

2.1. Olağan Kriging

2.1.1. Rassal Fonksiyon Modeli ve Tarafsızlık

Kriging tekniğinde bilinmeyen bir noktanın değerinin tahmini yapılır. Bu tahmin, o noktanın etki alanı içerisinde bulunan ve bölgeselleştirilmiş değeri bilinen noktaların lineer kombinasyonudur. Bu durum aşağıdaki formülle ifade edilir [5,1].

$$v^* = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad [2.1]$$

Hata hesabı yapılırken, bir noktanın hesaba bulunan değeri ile gerçek değeri arasındaki farka bakılır. Bu durumda aşağıdaki formülle kolayca korelize edilebilir.

$$\Gamma = v^* - v \quad [2.2]$$

Bu ifadede Γ değeri hatayı göstermektedir. Ortalama hata (m_r) ise, bulunan n tane hata değerinin lineer kombinasyonunun ortalaması olacaktır.

$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^* - v_i \quad [2.3]$$

Yukarıdaki formülden anlaşıldığı üzere bu eşitliğin kullanılabilmesi ancak ve ancak v_i rassal değişkenlerin gerçek değerlerinin bilinmesi durumunda geçerlidir ki bu durum bu formülizasyonu efektif olmaktan çıkarır [1].

Bu problemin olasılık çözümü, bilinmeyen değerlerin bulunması ve oluşturulan kuramsal modeli çözülmesinden oluşur. Daha önceden belirlenen teorik model sayesinde, hesaba değerinin bulunması istenilen noktanın etkilendiği alan belirlenmiştir. Bu alan içerisinde bulunan ve ReV değeri bilinen her noktanın, değeri bilinmeyen nokta üzerinde bir etkisi vardır. Her rassal değişken aynı olasılık yasasına sahiptir. Herhangi bir lokasyondaki rassal bir değişkenin beklenen değeri $E\{Z\}$ ile ifade edilir. Rassal değer çiftleri arasındaki kovaryansda çiftler arasındaki h mesafesine bağlıdır ($C(h)$). Oluşturulan modeldeki her değer bir rassal değerden elde ediliyormuş gibidir. Bunun sonucu olarak, yapılacak olan tahmin değerinde bu rassal değerlerin lineer kombinasyonu olacağı için yine rassal olacaktır.

$$Z(x_0)^* = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad [2.4]$$

2.4 no' lu formülden görüleceği üzere, bilinmeyen noktanın tahmini değeri

$(Z(x_0))^*$, bilinen değerlerin lineer kombinasyonudur. Bu durumda hata tahmini $(Z(x_0))$ ise gene yukarıda belirtildiği gibi, hesaben bulunan değer ile gerçek değer $(Z(x_0))$ arasındaki fark olacaktır.

$R(x_0) = Z(x_0)^* - Z(x_0)$, hatanın beklenen değeri 0' dır. Bu durumda ;

$$\begin{aligned} E\{R(x_0)\} &= E\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) - Z(x_0)\right\} \\ &= \sum_{i=1}^n w_i E\{Z(x_i)\} - E\{Z(x_0)\} \end{aligned}$$

Rassal fonksiyonun durağan olduğu kabulü ile ;

$$E\{R(x_0)\} = \sum_{i=1}^n w_i E\{Z\} - E\{Z\} \text{ denklem bu hale gelir.}$$

Tarafsızlık koşulunda dikkate alınırsa ;

$$E\{R(x_0)\} = 0 \Rightarrow 0 = E\{Z\} \sum_{i=1}^n w_i - E\{Z\}$$

Bu durumun sağlanabilmesi için $\sum_{i=1}^n w_i$ ifadesinin 1' e eşit olması gerekmektedir. Bu duruma tarafsızlık şartı denir ve bütün modeller bu kabüle göre yapılır [1,5,9].

2.1.2. Rassal Fonksiyon Modeli ve Hata Varyansı

k tane tahminden oluşan bir kümenin hata varyansı [1,5] ;

$\sigma_R^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Gamma_i - m_R)^2$ [2.5] olur. Bu ifadede σ_R^2 hata varyansını, Γ hatayı, m_R ise ortalama hatayı göstermektedir. 2.2 ve 2.3 no' lu eşitlikleri bu eşitlikte yerine koyarsak hata varyansı ;

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left[Z_i^* - Z_i - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Z_i^* - Z \right]^2 \quad [2.6]$$

Ortalama hatanın 0 olduğu kabulü ile formül şu hale gelir.

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Gamma_i - 0)^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Z_i^* - Z_i)^2 \quad [2.7]$$

Bu durum gerçekleşebilmesi için hesaben bulunan değerler ile gerçek değerleri karşılaştırabilme imkanına sahip olunmalıdır. Bu koşulda bu eşitlikleri sağlıksız

kılar, buna karşın tekrar rassal fonksiyonlar ile işlem yapılır.

2.4 no' lu ifade ile bilinmeyen noktanın değeri hesaben bulunmuştu. Hata ise 2.2 no' lu eşitlikte verilmişti. Tıpkı tarafsızlık koşulunda olduğu gibi orjinal problem model probleme dönüştürülür. Öyleki, gerçek hataların varyansını minimize edemeyiz ancak modelimizin hata varyansını minimize edebiliriz. Bu minimizasyon işlemi, hata varyansının bulunması ile tamamlanır.

Birincil hedef, hata varyansı için bir ifade bulabilmektir. Bu hata değerinin rassal olmasının nedeni, rassal değerlerin lineer bir kombinasyonu olmasıdır. Rassal fonksiyon modelinde varyans ;

$$\text{Var}\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z_i\right\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \text{Cov}\{Z_i Z_j\} \quad [2.8]$$

Bunu 6 no' lu formülde yerine koyarsak ;

$$\begin{aligned} \text{Var}\{R(x_0)\} &= \text{Cov}\{Z^*(x_0) Z^*(x_0)\} - \text{Cov}\{Z^*(x_0) Z(x_0)\} - \text{Cov}\{Z(x_0) Z^*(x_0)\} + \text{Cov}\{Z(x_0) Z(x_0)\} \\ &= \text{Cov}\{Z^*(x_0) Z^*(x_0)\} - 2 \text{Cov}\{Z^*(x_0) Z(x_0)\} + \text{Cov}\{Z(x_0) Z(x_0)\} \quad [2.9] \end{aligned}$$

2.9 no' lu eşitliklerdeki terimlerin açılımları [1,5];

i) $\text{Cov}\{Z^*(x_0) Z^*(x_0)\}$: $Z^*(x_0)$ ' ın kendi kovaryansı, $Z^*(x_0)$ ' ın varyansına eşittir. Bu

$$\text{durumda, } \text{Var}\{Z^*(x_0) Z^*(x_0)\} = \text{Var}\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z_i\right\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij}$$

ii) $\text{Cov}\{Z(x_0) Z(x_0)\}$: $Z(x_0)$ ' ın kendi kovaryansı $Z(x_0)$ ' ın kendi varyansına eşittir. Bu durumda $\text{Cov}\{Z(x_0) Z(x_0)\} = \sigma^2$ olur.

iii) $2 \text{Cov}\{Z^*(x_0) Z(x_0)\}$: Bu ifadede $Z^*(x_0)$ teriminin yerine 2.4 no' lu terimi geçirirsek ;

$$= 2 \text{Cov}\left\{\left(\sum_{i=1}^n w_i Z_i\right) Z_0\right\} \text{ eşitliğini elde ederiz. Bu durumu rassal fonksiyonlar olarak ifade edersek ;}$$

$$= 2E\left\{\left(\sum_{i=1}^n w_i Z_i\right) Z_0\right\} - 2E\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z_i\right\} E\{Z_0\}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n w_i E\{Z_i Z_0\} - 2 \sum_{i=1}^n w_i E\{Z_i\} E\{Z_0\}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n w_i \text{Cov}\{Z_i Z_0\} = 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0}$$

Sonuç olarak bulunan bu üç terim tekrar yerine yazılırsa hata varyansı ;

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} \quad [2.10]$$

En doğru çözüme ulaşabilmek için tarafsızlık kabulü yapılır ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$), bu problemler lagrange çarpanı ile çözümlenir.

2.1.3.Lagrange Çarpanı

Lagrange çarpanı tekniği kısıtlayıcı minimizasyon problemini kısıtlayıcı olmayana dönüştüren bir tekniktir. Eğer minimizasyonluk şartı 2.10 no' lu eşitlikteki gibi çözülmeye çalışılırsa, hata varyansının n tane kısmi ilk türevinin kurulması, n bilinmeyen için n eşitlik doğurur. Tarafsızlık koşulu başka bir değere ihtiyaç duymadan 1 eşitlik daha ekler ki bu bize n bilinmeyenli n+1 tane eşitlik doğurur, bu durumda çözümü zorlaştırır [1].

Bu olumsuz durumdan kaçınmak için, σ_R^2 eşitliği 1 bilinmeyen daha kullanılır. Buna lagrange parametresi denir. Bu durumda 2.10 no' lu eşitlik şu hale gelecektir ;

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} + 2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1) \quad [2.11]$$

Eklenen bu son terim sadece bir hileden ibarettir ve amaç n+1 tane eşitliği elde edebilmektir. Keza 4. terim açıldığında 0'a eşit olmaktadır. Böyle yeni bir terimin eklenebilmesi için gerekli olan kısıtlanmış minimizasyon probleminin, kısıtlanmamış olana dönüştürülmüş olmasıdır. 2.11 no' lu eşitlikte hata varyansı n+1 değişkenin fonksiyonudur. Bunlar n tane ağırlık ve 1 tane lagrange çarpanıdır. Böylece n+1 eşitlik ve n+1 bilinmeyen elde edilir. Ayrıca aynı eşitlikteki ilk 3 terimde μ olmadığı için μ ' ye bağlı olarak kısmi türevleri etkilemez.

$$\frac{\partial(\sigma_R^2)}{\partial\mu} = \frac{\partial(2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial\mu} = 2\sum_{i=1}^n w_i - 2, \text{ bu eşitliğin 0 olma şartı } \sum_{i=1}^n w_i = 1' \text{ dir.}$$

Ağırlıklar toplamının 1 olması şartı altında, tarafsızlık koşulunun n+1 eşitlik içermesinden dolayı, hata varyansının minimize edildiği ağırlıklar kümesi elde edilerek, n+1 eşitliğin çözümü, hata varyansının diferansiyali ile sonlanır. Bu çözüm minimize edilmiş hata varyansının hesaplanması için kullanılan faydalı bir

lagrange çarpamı sağlar.

2.2.Hata Varyansının Minimize Edilmesi

Hata varyansı 2.11 no' lu eşitliğin, $n+1$ tane kısmi türevlerinin hesaplanması ve 0' a eşitlenmesi ile minimize edilir. w_1 ile ilgili diferansiyel hesap aşağıda detaylı olarak gösterilmiştir. Diğer tüm ağırlıkların kısmi türevleride aynı şekilde hesaplanır [1].

2.11 no' lu eşitlikteki ilk ifade w_1 ' e bağlı değildir ve w_1 ile ilgili türevi etkilemez. 2. ifadedeki çift toplam genişletilirse ve tüm terimler w_1 içermeyecek şekilde tekrar düzenlenirse ;

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij})}{\partial w_1} = \frac{\partial(w_1^2 C_{11} + 2w_1 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j})}{\partial w_1}$$

$$= 2w_1 C_{11} + 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j}$$

2.11 no' lu eşitlikteki 3. ifadede w_1 ' i içeren sadece bir terim bulunmaktadır.

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n w_i C_0)}{\partial w_1} = \frac{\partial(w_1 C_{10})}{\partial w_1} = C_{10}$$

Aynı eşitlikteki son ifadede de w_1 içeren gene bir tek terim bulunmaktadır.

$$\frac{\partial(\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial w_1} = \frac{\partial(\mu w_1)}{\partial w_1} = \mu$$

Yapılan bu hesaplardan sonra hata varyansının w_1 ile ilgili 1. türevini tekrar yazarsak;

$$\frac{\partial(\sigma_R^2)}{\partial w_1} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} - 2C_{10} + 2\mu \text{ olur. Bu ifadeyi 0' e eşitlersek ;}$$

$$2C_{10} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} + \mu \text{ olur. [2.12]}$$

Diğer ağırlıklar ile ilgili diferansiyellerde benzer eşitlikler üretir.

$$\frac{\partial(\sigma_R^2)}{\partial w_1} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} + \mu = C_{10}$$

$$\frac{\partial(\sigma_R^2)}{\partial w_i} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} - 2C_{i0} + 2\mu = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} + \mu = C_{i0}$$

$$\frac{\partial(\sigma_R^2)}{\partial w_n} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{nj} - 2C_{n0} + 2\mu = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^n w_j C_{nj} + \mu = C_{n0}$$

Kısmi 1. türevlerin lagrange çarpanı ile ilgili olarak 0' a eşit olmasının sebebi tarafsızlık kabulünden gelmektedir.

İşte bu sistem sıradan kriging olarak adlandırılır [1,2,3,4,5,9,11,12]. Bu sistemin matris notasyonunu yazarsak ;

$$C \cdot w = D$$

$$\begin{vmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{10} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{vmatrix} \quad [2.13]$$

$$(n+1) \times (n+1) \quad (n+1) \times 1 \quad (n+1) \times 1$$

Ağırlıkların çözülmesi için 2.13 no' lu eşitliğin iki tarafını soldaki kovaryans matrisinin tersi ile çarparsınız.

$$C \cdot w = D$$

$$C^{-1} \cdot C \cdot w = D \cdot C^{-1}$$

$$w = D \cdot C^{-1} \quad [2.14]$$

Burdaki matris notasyonu yukarıda da anlatıldığı üzere kovaryansların matrislerinden elde edilmiştir. Kriging çözümünde semivariogram değerleri kullanılmaktadır. Semivariogram ile kovaryans birbirlerinin tersidir ve yukarıdaki matris notasyonunun tersi alındığında semivariogramdan hareket edilerek ağırlık katsayılarını bulabilmek mümkün olur.

Modelin hata varyansını minimize etmek için, ilk olarak rassal fonksiyon modelindeki uzaysal sürekliliği tarif edecek $(n+1)^2$ kovaryans seçilmelidir. Pratikte,

bu $C_{(h)}$ fonksiyonunun seçilmesi ve bu fonksiyondan gereken kovaryansların hesaplanması ile yapılır. $(n+1)^2$ kovaryans bir kere seçildimi, C ve D matrislerini oluşturmak kolay olur. Seçilen rassal fonksiyon için, minimum hata varyansı, 2.14 no' lu eşitlikteki tarafsız tahminler ile üretilebilir. Kolaylık olsun diye aşağıdaki gibi yapılır.

$$w_i \left(\sum_{j=1}^n w_j C_{ij} + \mu \right) = w_i C_{i0} \quad i = 1 \dots n$$

Bu eşitliklerin toplamı çift toplamlar için bir vurgulama getirir.

$$\sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} + \sum_{i=1}^n w_i \mu = \sum_{i=1}^n w_i C_{i0}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^n w_j C_{ij} = \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} - \sum_{i=1}^n w_i \mu$$

Ağırlıkların toplamı 1 olduğu için en son terim basitleşir

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} = \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} - \mu$$

Bulunan bu ifade 2.10 no' lu eşitlik ile birlikte düşünülürse ;

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 + \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} - \mu - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0}$$

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 - \left(\sum_{i=1}^n w_i C_{i0} + \mu \right)$$

Hata varyansının matris çözümü ise ;

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 - w.D [2.15] \text{ olur.}$$

Bu minimize edilmiş hata sıradan kriging varyansı olarak adlandırılır. σ_{OK}^2 indisi ile gösterilir.

2.3.Variogram ve Korelasyon Katsayısının Kullanıldığı Olağan Kriging

Eğer hata varyansı için bir ifade türetilirse, seçilen rassal fonksiyon modelinin aynı ortalama ve sapmaya sahip rassal değerlerin olduğu kabulü yapılır. Bu iki kabul aşağıdaki ilişkilerin doğmasına yol açar [1].

$$\begin{aligned}
\gamma_{ij} &= \frac{1}{2} E\{[Z_i - Z_j]^2\} \\
&= \frac{1}{2} E\{Z_i^2\} + \frac{1}{2} E\{Z_j^2\} - E\{Z_i Z_j\} \\
&= E\{Z^2\} - E\{Z_i Z_j\} \\
&= E\{Z^2\} - m^2 - [E\{Z_i Z_j\} - m^2] \\
&= \sigma^2 - C_{ij} \quad [2.16]
\end{aligned}$$

Son çıkarılan eşitlikte görüldüğü üzere variogram ile kovaryans arasında bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki ayrıca korelogram ile kovaryans arasındadır.

$$\rho_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sigma^2} \quad [2.17]$$

Bu ifadelerden hareket ederek variogram ile sıradan kriging aşağıdaki formülizasyon ile ifade edilir.

$$\sum_{j=1}^n w_j \gamma_{ij} - \mu = \gamma_{i0} \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Modellenmiş hata varyansı ;

$$\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n w_i \gamma_{i0} + \mu$$

Korelogram ile sıradan kriging ;

$$\sum_{j=1}^n w_j \rho_{ij} + \mu = \rho_{i0} \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Modellenmiş hata varyansı ;

$$\sigma_R^2 = \sigma^2 (1 - (\sum_{i=1}^n w_i \rho_{i0} + \mu)) \quad [2.18]$$

2.4. Blok Kriging Sistemi

Bu bölüme kadar sözü edilen tahmin metodu bir noktanın rassal değişkeninin, değişkenleri bilinen diğer noktalardan hareket ederek tahmininin yapılması esasına dayalı idi. Genelde ise daha çok belirli bir bölgenin veya bloğun tahmini değeri

hesaplanması amaç olarak güdülür. Eğer blokların değerleri, değerleri bilinen noktalardan hesaplanılmaya çalışırsa bu çözüm son derece zaman alıcı olacaktır. Blok kriging yöntemi ile hesap sayısı azaltılarak işlemler kolaylaştırılır.

Blok kriging sistemi, noktasal kriging sistemi ile aynıdır. Bu sistemin matris notasyonu ;

$$C \cdot w = D \quad [2.19]$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Bu matris eşitliğinde C_{ij} değerleri, Z_i , Z_j rassal değerleri arasındaki kovaryansı, w_i değerleri ağırlıkları, μ lagrange parametresini ve C_{i0} değeri ise tahmin edilecek nokta ile rassal değişkenler arasındaki kovaryansı göstermektedir.

Bir nokta yerine lokalize edilmiş bir bölgenin değerinin tahmini için, ortalama değer kullanmak uygun olacaktır. Modellenen rassal fonksiyonların ortalaması, rassal değerlerin ortalaması (lineer kombinasyonu) olacaktır. Rassal değişkenlerin ortalamasında rassal bir değişken olacaktır.

$$Z_A = \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} Z_j \quad [2.20]$$

Bu ifadede Z_A A alanının rassal değerini, Z_j ise A alanındaki noktaların rassal değerini göstermektedir.

Yukarıda verilen sıradan noktasal kriging matrisi tahmin için icab eden lokasyondan bağımsız olduğu için, C değerinin ayrıca bir modifikasyona gerek yoktur.

Ancak, D vektörünün kovaryansı numune alınan noktaların rassal değişkenleri ile tahmin edilmeye çalışılan bölgenin rassal değeri arasındaki kovaryanstır. Noktasal krigingde bu kovaryanslar noktadan noktaya kovaryanslar olup, gerçekte, bunlar noktadan bloğa olan kovaryanslar şekline dönüştürülerek sıradan noktasal kriging, sıradan blok kriginge dönüştürülür [1]. Noktadan bloğa kovaryanslar aşağıdaki şekilde üretilir.

$$\begin{aligned}
 C_{iA} &= \text{Cov}\{Z_A Z_i\} = E\{Z_A Z_i\} - E\{Z_A\}E\{Z_i\} \\
 &= E\left\{\frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} Z_j Z_i\right\} - E\left\{\frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} Z_j\right\}E\{Z_i\} \\
 &= \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} E\{Z_j Z_i\} - \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} E\{Z_j\}E\{Z_i\} \\
 &= \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} [E\{Z_j Z_i\} - E\{Z_j\}E\{Z_i\}] \\
 &= \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} \text{Cov}\{Z_j Z_i\} \quad [2.21]
 \end{aligned}$$

i.örnek lokasyonu ile Z_A rassal değeri arasındaki kovaryans, Z_i ve A' daki bütün noktaların rassal değerleri arasındaki noktadan noktaya kovaryansın ortalaması ile aynıdır. Bu tanımlamalardan sonra blok kriging şu şekilde yazılabilir ;

A alanındaki bütün noktalar ile, belirli bir nokta arasındaki kovaryans ;

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1A} \\ \vdots \\ C_{nA} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{iA} = \frac{1}{|A|} \sum_{j/j \in A} C_{ij} \quad [2.22]$$

Blok kriging varyans ;

$\sigma^2_{OK} = C_{AA} - (\sum_{i=1}^n w_i C_{iA} + \mu)$, bu eşitlikteki C_{AA} terimi, A alanındaki örnek çiftleri arasındaki kovaryansı temsil etmektedir.

$$C_{AA} = \frac{1}{|A|^2} \sum_{i/j \in A} \sum_{j/j \in A} C_{ij}$$

Blok kriging matrisinin kullanılmasının avantajı, sadece kriging sisteminin çözülmesi ile blok ortalamasının bir tahmininin yürütülebilmesidir. Dezavantajı ise, ortalama kovaryans hesabının, noktasal kriging sistemindeki noktadan noktaya kovaryansların hesabından daha zor olmasıdır.



3.NOKTASAL TOPLAM SEMİVARIOGRAM METODU

Yukarıda da anlatıldığı üzere, belirlenen bir uzayın içersinde araştırılması istenilen uzaysal değişkenin dağılımı belirlemek amacıyla ilk önce semivariogramlar elde edildikten sonra tahmin probleminin çözümü için kriging tekniğinden faydalanılır.

1963 yılında Matheron tarafından öne sürülen semivariogram teorisi pek çok farklı alanda değişkenlerin modellenmesi için kullanılmıştır. Özellikle eşit aralıklı veri kümesinin olduğu durumlarda en ideal semivariogram fonksiyonunu elde etmek mümkün olmaktadır. Ancak, yer bilimleri uygulamalarında genellikle eşit aralıklı veri kümesini elde etmek mümkün olmaz. Bu durumsa elde edilen klasik semivariogram fonksiyonunun idealden sapmasına neden olur. Bu olumsuz durum karşısında pek çok araştırmalar yapılmıştır. 1989 yılında toplam semivariogram modeli bu olumsuz koşullardan etkilenmeyecek ve klasik semivariogramın dezavantajlarını içermeyecek şekilde Şen Z. tarafından ortaya sürülmüştür. Bu bölümde toplam semivariogram ve uygulamada kullanılan noktasal toplam semivariogram teorileri anlatılmıştır.

3.1.Klasik Semivariogramın Dezavantajları

Literatürde de belirtildiği üzere, klasik semivariogram ve kriging yöntemi ile bir sahadaki değişkenin dağılımının modellenmesine yönelik çalışmalar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları jeoteknik etüdlerin değerlendirilmesi [14], yeraltı suyunun modellenmesi [15-17], ve hava kirliliği [18]. Semivariogram birbirleri ile h mesafesince ayrılmış olan iki örnek noktası arasında bölgeselleştirilmiş değerlerin farklarının karelerinin toplamıdır. Diğer taraftan, semivariogram örnek çiftleri arasındaki farkların karesini beklenen değerini veren bir grafikdir. Fark mutlaka uygun kabul edilebilir olmalıdır. Bu durum bazen yukarıda bahsedilen doğal veya yalancı sabitlik hipotezi ile sağlanır. Matematiksel olarak semivariogram ifadesi [6,19,20] no' lu eşitlikte verilmiştir. Bu eşitlik eşit aralıklı veri

seti için geçerlidir. Ancak yer bilimleri uygulamalarında veri kümesinin elemanları eşit olmayacak şekilde dağılır. Bazı durumlarda kesin bir semivariogram elde etmek, noktalar arasındaki bazı mesafelerin diğerlerinden az olması nedeniyle mümkün olmaz [6,19,20]. Teorik olarak semivariogram fonksiyonu azalmayan bir fonksiyon olarak tanımlanır. Ancak veri sayısının az olduğu durumlarda uygunsuzluk artar ve azalmayan uygun bir semivariogram fonksiyonu elde etmek mümkün olmaz [19,20].

3.2. Toplam Semivariogram

Yukarıda belirtilen dezavantajlarından dolayı klasik semivariogram modeli bazı durumlarda olumsuz sonuç vermektedir. Veri kümesindeki veriler arasındaki mesafenin eşit olmadığı durumlarda bu olumsuzlukları aşmak amacıyla toplam semivariogram kullanılmaktadır. Toplam semivariogram uygulamaları şimdiye kadar pek çok alanda kabul bulmuştur. Örneğin ; bölgesel korelasyon ve stokastik işlemlerin standart toplam semivariogramı [14], akiferlerin jeostatistiksel modellenmesi [21], çatlak aralıklarının belirlenmesi [19], hava kirliliğinin tayini [22,23], rüzgar enerjisinin modellenmesi [24] ve yağış dağılımlarının belirlenmesi [25].

Temel olarak, bu method mesafelerine göre artacak şekilde sıralanmış verilerin farklarının karelerinin toplanması ile elde edilir. Toplam semivariogram, klasik semivariogramın tüm özelliklerini içermektedir. Ek olarak, incelenilen bölgedeki gizli ve bölgesel bağımlılıkları da açıklamaya yardım eder [26].

Toplam semivariogramın elde edilmesi için aşağıdaki basamakları sırası ile uygulamak yeterli olacaktır [19,21,26].

- i) Verilen veri ortasyonunda veriler arasındaki mesafelere hesap edilir. n tane verinin olduğu bir durumda $m = n(n - 1)/2$ kadar veri çiftleri arasındaki mesafenin kombinasyonu vardır.
- ii) Bütün veri çiftleri arasındaki farklarının karesi eşitliği bulunur. Böylece her mesafe için bir tek değer mümkün olur. $d_i(h) = [z(x+h) - z(x)]^2, (i = 1, 2, \dots, m)$

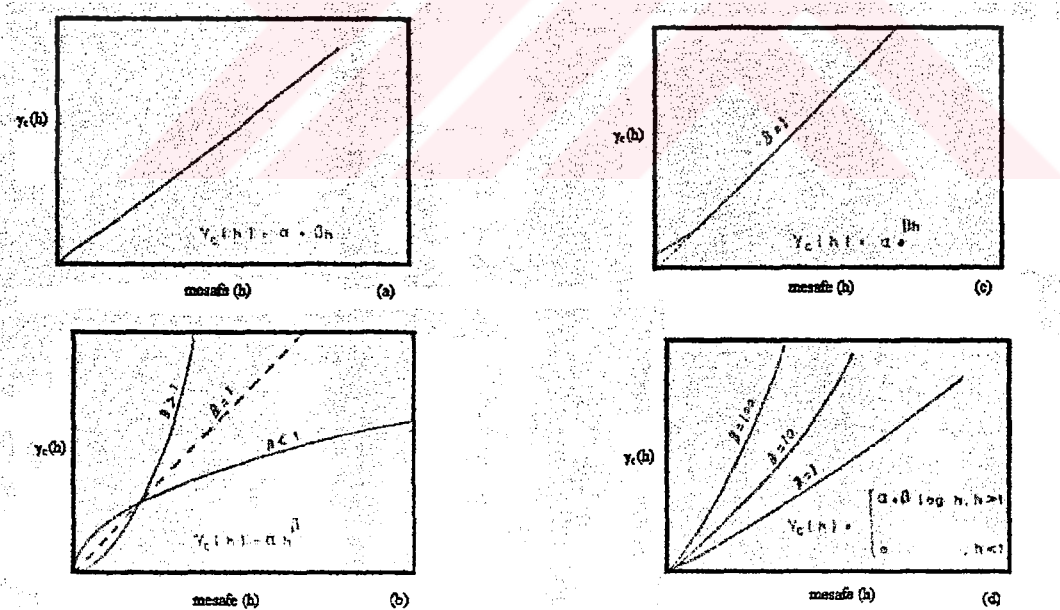
iii) Mesafeler küçükten büyüğe doğru farklarının karesi ifadeleri ile birlikte sıraya koyulur. Bu sıralama işlemi $d[h^{(i)}]$ olarak gösterilir. Bu notasyonda I harfi sırayı göstermektedir. Örneğin, $d[h^{(3)}]$ ifadesi 3. en küçük mesafenin farkının karesini göstermektedir.

iv) Yukarıdaki dizinin toplamı alınır. Böylece toplam semivariogramı matematiksel olarak ifade etmek mümkün olur.

$$\gamma_c(h_k) = \sum_{i=1}^k d[h^{(i)}] \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

v) Son olarak, mesafe ve o mesafe değerine karşılık gelen toplam semivariogram değeri grafiğe işaretlenir. Sonuçta, asla azalmayan örnek toplam semivariogram fonksiyonu elde edilir.

Bu işlemlerden sonra, inceleme yapılan sahada, incelenilen değer için bir tane örnek toplam semivariogram fonksiyonu elde edilir. Bu örnek toplam semivariogram fonksiyonu teorik toplam semivariogram modeline veya klasik semivariogram modeline dönüştürülerek kriging için gerekli olan parametreler elde edilir [21]. Şekil 3.1.' de teorik toplam semivariogram modelleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. : Toplam semivariogram modelleri. a) lineer model, b) üssel model, c) eksponansiyel model, d) logaritmik model.

Yukarıda formülleri ile birlikte verilen bu modeller klasik semivariogram modellerinin bir benzerleridir. Ancak yorumlamalarda farklılıklar vardır.

3.2.1. Toplam Semivariogramın Özellikleri

- i) Toplam semivariogram azalmayan bir fonksiyon elde edilmesini sağlar. Bazı bölgelerde meydana gelen lineer yatay gelişme ise bölgeselleştirilmiş değişkenin belli mesafelerdeki değişmezliğini göstermektedir.
- ii) Teorik semivariogram fonksiyonunun eğimi bölgeselleştirilmiş değerler arasındaki bağılılığı göstermektedir.
- iii) Deneysel toplam semivariogram, veri çiftleri arasındaki küçük bağımlılıkları dahi göstermektedir ki bu durum klasik semivariogramda mümkün değildir.
- iv) Deneysel semivariogram derhal uygulanabilir. Bunun nedeni ise mesafe sınıflandırmalarına ihtiyaç duymamasıdır.
- v) Toplam semivariogram yukarıda da değinildiği üzere eşit olmayan veri aralıkları için güvenilir bir şekilde kullanılabilir.
- vi) Model parametreleri düz çizginin eğimden ve kestiği değerden elde edilir.
- vii) Toplam semivariogram fonksiyonunu farklı yönlerde veya heryönde alarak bölgeselleştirilmiş değişkenin incelenilen arazide yönlere bağlı olarak değişimi hakkında fikir sahibi olmak mümkündür.

Yukarıda sayılan avantajlarından dolayı toplam semivariogram fonksiyonu pek çok alanda uygulanmıştır.

3.3. Noktasal Toplam Semivariogram (PCSV)

Toplam semivariogram klasik semivariogramın dezavantajlarını ortadan kaldırarak kriging tahmincisi için gerekli olan parametreleri daha güvenilir bir şekilde elde etmek amacıyla kullanılır. Ancak, bölgeselleştirilmiş değerlerin incelenilen sahadaki değişiminin sadece toplam semivariogram tekniğinin kullanılarak elde edilmesi mümkün değildir. Bölgesel heterojenliğin tespit edilmesi için tek başına toplam semivariogram modeli kullanmak yeterli olmamaktadır, mutlaka kriging tekniğinin çalıştırılmasına ihtiyaç vardır.

Şen Z. tarafından 1989 yılında geliştirilen noktasal toplam semivariogram (PCSV) tekniğinde ise sadece bölgeselleştirilmiş değişkenin fonksiyonunun bu teknik ile elde edilmesini müteakiben değişkenin uzay içersindeki değişimi hakkında fikir sahibi olmak mümkün olmaktadır. Bu yöntem, uygulamada getirdiği avantajlarından dolayı farklı alanlarda kullanılmıştır. Örneğin ; Türkiye' nin bölgesel depremelliğinin heterojenliğinin araştırılması, dağlık bölgelerdeki yağışın tespit edilmesi ve rüzgar enerjisi için arazi sınıflaması.

Jeolojik olaylar incelenilen bölge içerisinde genellikle ne homojen ne de izotrop bir davranış göstermezler. Davranışlar genellikle heterojen anizotrop davranışlar olarak meydana gelirler. PCSV tekniği kullanılarak incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin incelenilen sahadaki heterojenliği hakkında fikir sahibi olunur. Buna ek olarak, PCSV tekniği kullanılarak değişkenin bölgesel değişimi hakkında faydalı bilgiler edinmek mümkün olur.

3.3.1.Noktasal Toplam Semivariogramın Özellikleri

Toplam semivariogram veya klasik semivariogram teknikleri, eşit aralıklı veya eşit aralıklı olmayan veri kümelerinde farklı yönlerdeki izotropiyi ölçmek amacıyla kullanılır. Bu tezde yapılan uygulamalarda, PCSV tekniği bölgesel heterojenliği belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Varyansın artması değişkenliğin artmasını gösterir, ancak bu bilgi yüzeysel bir sonuç çıkarmasından dolayı yeterli değildir. Bir bölgedeki incelenilen olayın yapısal değişkenliği, iki noktanın birbirlerine bağlı değişimlerinin karşılaştırılması ile en iyi şekilde ölçülmüş olunur. En basit şekilde, birbirlerinden h mesafesince ayrılmış iki noktanın bölgeselleştirilmiş değerleri Z_i ve Z_{i+h} ise iki nokta arasındaki bağlı değişim $Z_i - Z_{i+h}$ eşitliği ile belirtilir. Taylor (1915) teorisine göre ise iki nokta arasındaki farkların karesi iki nokta arasındaki bağlı değişimi sunan en iyi olasılıktır.

$$V(h) = (Z_i - Z_{i+h})^2$$

Bölgeselleştirilmiş değerler olarak bu ifadede yerine konulursa, h mesafesi azaldıkça fonksiyonun küçük olması beklenir. Büyük değişiklik ölçmeler arasındaki bağımlılığın az olduğunu gösterir.

Bölgesel değişimi tespit etmek amacıyla varyans ve korelasyon teknikleri literatürde sıkça kullanılmıştır. Ancak bu teknikler, anormal dağılımlar veya eşit olmayan veri aralıkları yüzünden olumsuz sonuç vermektedir [19,20]. Yukarıda da anlatıldığı üzere, klasik semivariogram ve toplam semivariogram bu olumsuzlukları yok etmektedir. Her ikisi arasındaki fark ise yukarıda verilmiştir.

Diğer taraftan, PCSV tekniği ile elde edilen fonksiyon sayesinde, ilgilenilen nokta etrafındaki değişkenin yapısal özellikleri belirlenebilir. Diğer bir değişle, ilgilenilen nokta üzerindeki bölgesel etki, çalışılan sahadaki diğer bütün noktalardan hareket edilerek elde edilir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, PCSV fonksiyonlarının sayısı veri kümesini oluşturan noktaların sayısına eşittir. Bu grafiklerin diğerleri ile karşılaştırılması ve benzer özellik gösterenlerin gruplara ayrılması sonucunda bölgeselleştirilmiş değerlerin bölgesel heterojenliği hakkında fikir sahibi olmak mümkün olur. n tane noktadan oluşan bir veri kümesinde PCSV fonksiyonların elde ediliş şekli aşağıda anlatılmıştır [20-25].

i) Sabit nokta ve diğer tüm noktalar arasındaki mesafeler hesap edilir. n tane nokta olması durumunda hesap edilecek mesafe sayısı $n - 1$ ' dir. Veri kümesindeki her nokta bir kere sabit nokta olur. Her sabit nokta ve diğerleri arasındaki mesafeler tespit edildikten sonra küçükten büyüğe doğru sıraya konulur.

ii) Her nokta çifti için farklarının karesinin yarısı belirlenen sıraya göre bulunur. Bu ifadenin matematiksel gösterimi ise $0,5(Z_c - Z_i)^2$ $i = 1, 2, \dots, n-1$ ' dir. Z_c notasyonu sabit noktayı, Z_i notasyonu ise diğer tüm noktaları göstermektedir.

iii) Elde edilen bu dizinde farklarının karesinin yarısı terimleri kümülatif olarak toplanır. Daha sonra mesafe ve PCSV grafiğine bulunan değerler işaretlenir. Bu işlem sürekli artan bir fonksiyon verir. Bu durumun matematiksel gösterimi ;

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

iv) Yapılan bu işlemler, diğer n tane nokta içinde uygulanarak n tane PCSV grafiği elde edilir.

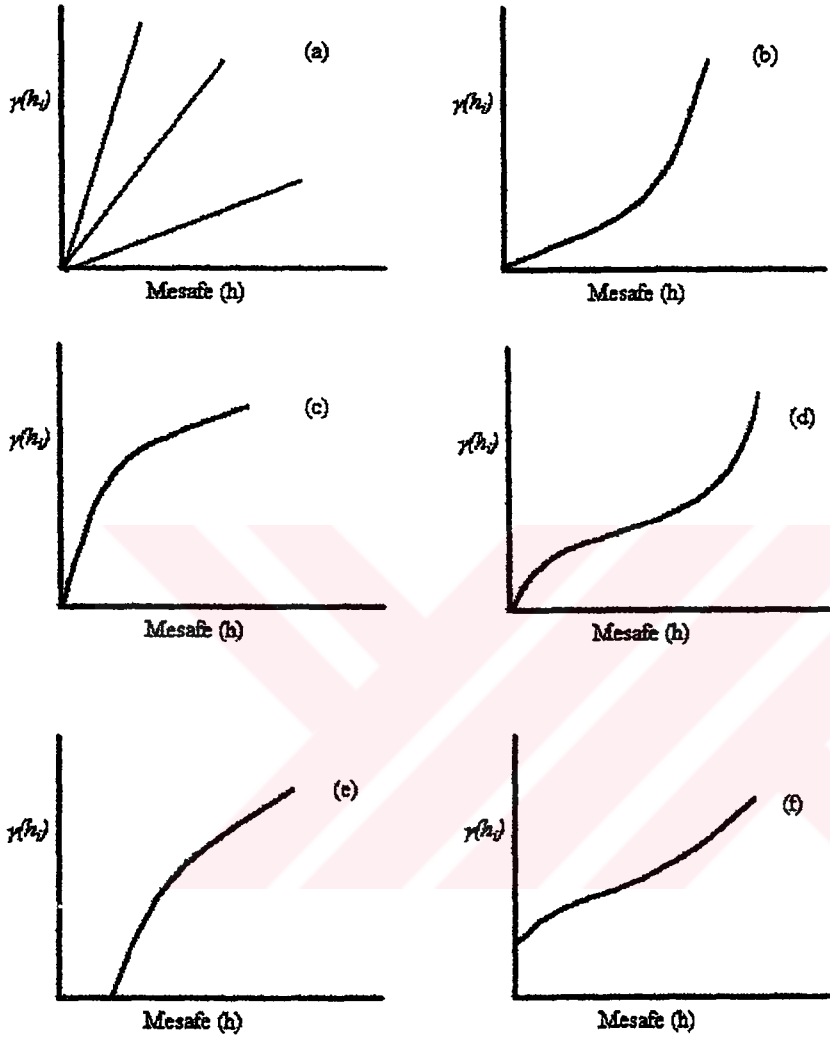
3.3.2.PCSV Grafiklerinin Değerlendirilmesi

Noktasal toplam semivariogram grafikleri her nokta için saptandıktan sonra, bu grafiklerin yorumlanması sonucunda saha için incelenilen bölgesel değişkenin davranışı hakkında önemli bilgiler elde edilir. Bu grafikler genel olarak şekil 3.2.' de verilen tarzda bir form gösterirler.

Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere, PCSV grafikleri semivariogram eğrisinden farklı olarak sürekli artan bir fonksiyonlardır. Lineerden parabolik artan ve azalana kadar her çeşit grafiğin elde edilme olasılığı mevcuttur. PCSV' nin matematiksel ifadesinde de verildiği üzere bu grafikler noktalar arasındaki farkların karelerinin yarılarının toplamı ile bulunur. Bu eşitlik dikkate alınarak hareket edildiğinde grafiklerin yorumlanması kolaylaşacaktır.

(a) grafiğinde görüldüğü üzere fonksiyonunun lineer olarak artması bölgeselleştirilmiş değişkenin değişiminin sabit olduğunu gösterir, eğimin çok oluşu ise değişimin fazlalığını gösterir. (b) ve (c) grafiklerinde ise PCSV fonksiyonu parabolik olarak artmakta ve azalmaktadır. Bu durumsa kısa mesafelerdeki büyük değişimi (a) veya kısa mesafedeki homojenliğin yanında mesafenin artması ile heterojenliğin artmasına işaret etmektedir (b). Bu artış veya azalışın sebepleri incelenilen bölgesel değişkene bağlı olarak farklı olacaktır. Yer bilimlerinde hızlı değişimin sebebi olarak fay gösterilebilirken, meteorolojide topografyadaki değişim bu hızlı değişime neden olacaktır. (d) grafiğinde ise düz bir çizgi etrafında uzun bir mesafede büyük bir dalgalanma söz konusudur ki bu durum bölgesel değişkenin değişimine neden olan etkinin farklı olduğunu gösterir. Bu durum klasik semivariogram tanımındaki külçe etkisi ile aynı anlama gelmektedir. (e) grafiğinde ise yatay ekseni kesmektedir, bu durumsa bu noktadan d mesafesi (eğrinin yatay ekseni kestiği mesafe) çapında bir etki alanı içersinde bölgesel değişkenin tam anlamıyla homojen olarak dağıldığını gösterir. (f) grafiğindeki durum ise tam tersidir. İncelenilen noktanın hemen yakınında büyük bir değişim söz konusudur.

Diğer bir ifade ile, incelenilen değişkenin değişimi o nokta için bölgesel etkiden bağımsızdır.



Şekil 3.2. : Olası PCSV grafiklerinin değerlendirilmesi.

Uygulama sonunda elde edilen PCSV grafiklerinde yukarıdaki eğrilerden biri veya daha fazlası birarada bulunabilir. Bu durumsa farklı yorumların yapılmasına olanak sağlar.

Bu grafiklerin yanında, PCSV grafiklerinden faydalanılarak çalışılan saha için eşit etki alanı çizgileri haritası elde edilebilir. Bu haritadan hareket ederek bölgenin bütünündeki bölgesel değişkenin değişimi hakkında yorum yapmak mümkün olur. Eşit etki alanı mesafesi değerleri farklı h değerleri için elde edilebilir bu sayede örnek çiftleri arasındaki mesafenin değişiminin bölge üzerindeki etkisini gözlemlemekte mümkün olur.



4.UYGULAMALAR

Bu bölümde, kriging tekniği ve noktasal kümülatif semivariogram tekniğine dayandırılarak yapılan saha modellemelerinin karşılaştırılmalarını yapabilmek amacıyla modellemeler yapılmıştır.

Her iki tekniğinde farklı maden yataklarında uygulanmasının sonuçlarını görebilmek amacıyla her iki teknik hem kömür maden yatağı hem de metalik maden yatağı için uygulanmıştır. Böylece her iki tekniğin farklı yataklarda verdiği sonuçları tespit edebilmek mümkün olacaktır.

Kömür madeni olarak seçilen yatak İstanbul Yeniköy' de bulunan kömür madenidir. Metal madeni olarak ise Küre' de bulunan Asiköy bakır madeni seçilmiştir. Kömür yatağında bölgeselleştirilerek incelenen değerler, kömüre giriş kotu ve kömür kalınlığıdır. Metal madeninde ise yatakta açılan sondajlarda kesilen cevher kalınlıkları, bakır ve kükürt tenörleri incelenilecek bölgeselleştirilmiş değerler olarak belirlenmiştir.

4.1.Kömür Yatağının Geoistatistiksel Değerlendirmesi

Kömür maden yatağı olarak seçilen Yeniköy madeninde incelenilen bölge 3 fay arasında bulunan bir bölgedir. Sahada kömür kalınlığının ve kömüre giriş kotunun tespit edilebilmesi için 38 ayrı noktadan sondaj alınmıştır.

Kömür sahasının Karadenize sınır olması sonucunda kömüre giriş kotları bazı bölgelerde deniz seviyesinin üzerinde iken bazı bölgelerde ise deniz seviyesinin altına düşmüştür.

Bir kömür madeninde, kömür damarının beklenen genel karakteristik özelliği, çok büyük değişimler içermeyen kömür damarının süreklilik arz etmesidir. Bu durumun tespiti içinse kömür sahasından alınan sondaj değerlerinin istatistiksel analizi yeterli olacaktır.

4.1.1. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler yapılırken sahada yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen değerler kullanılmaktadır. Sahada incelenilen kömüre giriş kotu ve kömür kalınlığı değişkenlerinin dağılımını tespit etmek için kullanılan istatistiksel parametreler şunlardır ; histogram, alınan örnek sayısı, minimum değer, maksimum değer, ortalama değer, varyans, standart sapma, çarpıklık ve basıklık.

Alınan örnek sayısı, minimum ve maksimum değerler elde edilen bilgi bankasından kolayca saptanabilir. Ortalama değer olarak ise bilgi bankasını oluşturan örneklerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Varyans, standart sapma, çarpıklık ve basıklık ise aşağıdaki formüllerden ifade edilir.

Aritmetik ortalama :

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [4.1]$$

m = aritmetik ortalama,

x_i = numunenin değeri,

n = numune sayısı.

$$\text{Standart Sapma : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n}} \quad [4.2]$$

$$\text{Varyans : } \sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n} \quad [4.3]$$

$$\text{Çarpıklık : } C_s = \frac{N^3}{S^3} \quad [4.4]$$

$$\text{Basıklık : } k = \frac{N^4}{S^4} \quad [4.5]$$

Yeniköy kömür sahasından alınan sondajlar sonucunda elde edilen bilgiler tablo .4.1.' de gösterilmiştir.

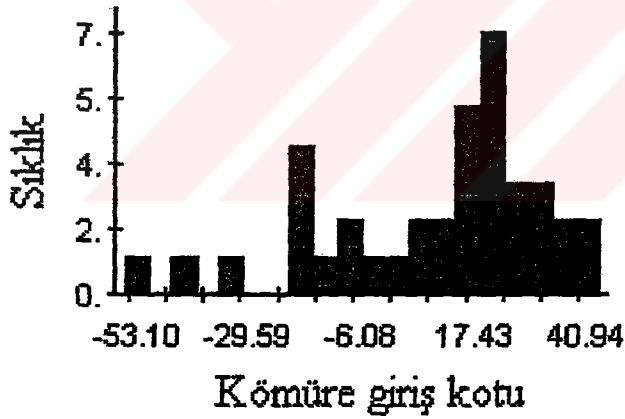
Tablo 4.1. : Bölgeselleştirilmiş değerlerin gösterimi.

Sondaj No	Yer		Rassal Değişkenler						
	X	Y	Kömüre giriş kotu	Kalınlık (m)					
1	76427.09	42051.27	40.37	1	21	76118.03	43543.35	1.86	0.9
2	76511.32	42044.55	40.94	1	22	75774.34	43569.41	18.78	3.55
3	76476.68	42208.48	29.68	2	23	76224.17	42372.8	31	2.65
4	76424.69	42221.73	31.59	2	24	75856.38	42998.98	17.79	1.9
5	75716.57	43493.37	21.31	1.5	25	75575.26	43404.56	-19.98	1.6
6	75670.19	43422.63	22.73	1.2	26	75973.5	43104.34	9.14	0.65
7	76014.42	43643.55	-53.1	2.5	27	76024.21	43229	8.34	1
8	76033.54	43523.76	-43.8	2.2	28	76072.66	42871.38	14.25	0.9
9	76162.21	44037.19	-8.79	2.7	29	76148.27	42680.26	18.39	0.5
10	75932.94	43454.28	11.25	2.15	30	76404.66	43252.59	-17.66	1.65
11	75795.72	43434.65	17.7	2.6	31	76273.41	42207.87	38.03	1
12	75657.24	43497.47	22.33	2.8	32	76352.02	42312.88	22.17	0.55
13	75832.39	43142.08	18.05	1	33	76595.99	43083.61	-16.37	0.35
14	75639.09	43340.83	27.49	1	34	76618.56	42510.67	-15.64	0.6
15	75658.35	43514.05	23.81	1	35	76950.77	42210.26	-17.03	1
16	76037.88	43524.88	8.69	0.9	36	76815.82	42845.45	-33.05	0.8
17	75795.75	43443.88	19.44	1.2	37	76536.43	42132.68	36.02	0.5
18	75579.63	43276.78	25.99	1	38	76541.42	42786.34	-3.18	4.2
19	75783.88	43204.92	22.93	1.4					
20	76260	43350	-7.2	1.2					

Sahada alınan sondaj noktalarının yerlerinin dağılımını saptamak amacıyla sondaj noktaları kömür kalınlık değerleri ile birlikte şekil 4.2.' de işaretlenmiştir. Rassal olarak alınan değerlerinin X – Y koordinat sisteminde bir noktaya bağlanması ile bu noktalar bölgeselleştirilir. Bu sayede incelenilen değişkenin değişimini tespit etmek için gerek şiddetin değişimini gerekse mesafenin değişimini gözlemlemek ve buna göre yeni noktaların tahmini yapmak mümkün olur. Bu durum bölgeselleştirilmiş değerler teorisi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu konunun giriş bölümünde de anlatıldığı üzere, jeoististiksel bir çalışmaya başlamadan önce mutlaka incelenilecek olan değişkenin istatistiksel olarak nasıl bir küme arz ettiğinin tayini yapılmalıdır.

Yeniköy kömür sahası için rassal değişken olarak kabul edilen kömüre giriş kotu ve kömür kalınlığına ait histogram ve istatistiksel parametreler aşağıda şekil ve tablolar halinde verilmiştir.



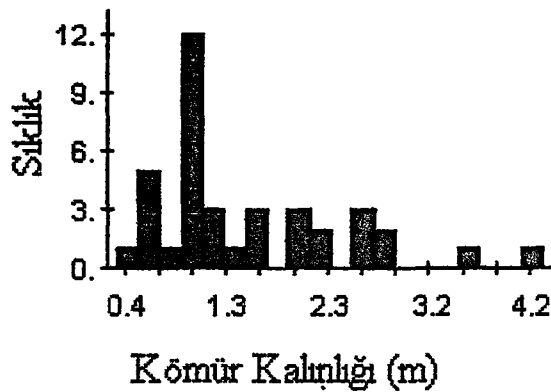
Şekil 4.1. : Kömüre giriş kotunun histogramı.

Tablo 4.2. : Kömüre giriş kotuna ait istatistiksel sonuçlar.

İstatistiksel Parametre	Bulunan Değer
Örnek Sayısı	38
Minimum değer	-53,1
Maksimum Değer	40,94
Ortalama değer	9,59
Varyans	539,2
Standart Sapma	23,22
Çarpıklık	-0,94
Basıklık	0,22

Kömür yataklarında kömürün damarlar halinde bulunması sonucunda, kömüre giriş istatistiksel parametrelerinin çok benzer bir değişim göstermesi ve standart sapmasının az olması beklenir. Bunun sebebi ise kömür damarlarının genellikle bir fayla kesilene değin belli bir dalımla devam etmesidir. Bu durumsa incelenilecek olan parametrelerin normal bir dağılım arz etmesine yol açar. Ancak Yeniköy kömür sahasındaki kömüre giriş kotuna ait örnek değerler incelendiğinde değişimin beklenildiği gibi normal olmadığı ve negatif yönde bir çarpıklık olduğu ve sapmanında beklenilenin çok üzerinde olduğu dikkat çekicidir. Bu durum incelenilen sahanın alışlagelen kömür yataklarından farklı olduğuna işaret etmektedir. Bu yüzden detaylı bir jeostatistiksel incelemeye gerek duyulmaktadır. Sahanın beklenilenden farklı olması ise araştırmayı dahada çekici hale getirmektedir.

Kömür kalınlığına göre bulunan istatistiksel sonuçlar ;



Şekil 4.3. : Kömür kalınlığı histogramı.

Tablo 4.3. : Kömür kalınlığına göre bulunan istatistiksel sonuçlar.

İstatistiksel Parametre	Bulunan Değer
Örnek Sayısı	38
Minimum değer	0,35
Maksimum Değer	4,2
Ortalama değer	1,49
Varyans	0,78
Standart Sapma	0,88
Çarpıklık	1,14
Basıklık	0,84

Genel olarak kömür kalınlığına ait histogramlar lineer yatay bir görünüm arz ederler. Bunun sebebi ise damar kalınlığında meydana gelen küçük oynamaların istatistiksel dağılımı fazla etkilememesidir. Ancak şekil 4.3.' deki histogram incelendiğinde damar kalınlığının küçük aralıklarda farklı sıklıklar gösterdiği dikkat çekicidir. Bu durum dağılımın şekil yönünden normal olmadığı gösterir. Bunun yanında minimum ile maksimum değerler arasındaki farkın 3,85 olması ve standart sapmanında bu değerler içinde yüksek olması da şeklin yanında istatistiksel olarak dağılımın normal olmadığını gösterir.

Sonuç olarak gerek kömür kalınlığının gerekse kömüre giriş kotunun istatistiksel parametrelerine bakarak, sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değerlerin bir kömür yatağındaki kömür damarından beklenen davranışı göstermediği ortaya çıkar.

Kömür yatağındaki incelenilen bölgeselleştirilmiş değerlerin tam olarak dağılımını ve tahmin yapabilmek için gerekli bilgiyi şimdiye kadar yapılan istatistiksel parametrelerden elde etmek mümkün değildir. Bu durum ancak çok düzgün bir dağılımın olduğu yataklar mümkün olabilecektir. Ancak yer bilimlerinde bu şekil bir yataklanmanın varlığında pek mümkün değildir. Bu noktadan sonra tahmin probleminin çözümünü elde edebilmek amacıyla jeoistatistiksel yöntemlere başvurmak gerekmektedir.

4.1.2. Jeostatistiksel Değerlendirme

Jeostatistik teorilerinin anlatıldığı giriş bölümünde de vurgulandığı üzere, tahmin problemine çözüm üretebilmek için iki temel basamak bulunmaktadır. Bunlardan birinci semivariogram ikincisi ise krigingdir.

Semivariogramlar, ilk önce deneysel olarak [1.7] no' lu formülün yardımı ile hesaplandıktan sonra korelasyon katsayısı en yüksek olan bir model semivariograma uygulanarak teorik semivariogram elde edilir. Bu sayede problem çözümünün birinci basamağı çözülmüş olunur. Bundan sonraki adım ise sahada değeri bilinmeyen noktalara değer atamak için kriging tekniğinin çalıştırılmasıdır. Burda ise semivariogram eğrisinden elde edilen etki alanı dikkate alınarak bilinmeyen her nokta veya blok için değer ataması yapılır. Bu sayede sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı hakkında yeter ve gerek bilgiye sahip olmak mümkün olur.

Ancak bütün bu durumlar yüksek bir korelasyon ile semivariogram elde edilebildiğinde mümkün olur. Eğer bunu elde etmek mümkün olmadıysa tahmin problemini çözmekde son derece zor olacaktır.

Bunun yanında sahada incelenilen değişkenin anizotropi arz edip etmediğinin anlaşılabilmesi içinde farklı yönlerde semivariogramlar elde edilir, eğer elde edilen bu semivariogramlar farklılık arz ediyorsa bu durum incelenilen değişkenin yönlere göre farklılık gösterdiğine işaret eder.

İlk önce her yönde semivariogram elde edildikten sonra anizotropinin varlığının araştırmak için yönlere bağlı semivariogramlar elde edilir. Eğer her yönde semivariogram elde etmek mümkün olmadıysa anizotropinin varlığını da incelemek mümkün olmaz. Keza benzer şekilde her yönde semivariogram elde edildiği halde yönlere bağlı semivariogramın elde edilememesi durumunda da bölgeselleştirilmiş değişkenin yönlere göre nasıl değiştiği hakkında veya anizotropinin var olup olmadığı hakkında fikir yürütmek hatalı olacaktır.

4.1.2.1.Klasik Jeostatistiksel Yöntem

Yukarıda anlatılan yöntem 1963 yılında Matheron tarafından ortaya sürülen bölgeselleştirilmiş değerler teorisi ile uygulanmaya başlanmış klasik jeostatistiksel basamaklarıdır. Bu teorinin uygulanması özellikle eşit aralıklı bilgi tabanına sahip olunulduğu durumlarda oldukça iyi sonuç vermektedir. Ancak bölgeselleştirilmiş değerlerin Yeniköy sahasındaki gibi eşit aralıklı olmayan bilgi tabanından türetildiği durumlarda, özelliklede dağılımın normal olmadığı durumlarda deneysel variogramı uygun bir teorik semivariogram elde etmek zor olmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise elde edilen semivariogramın uzaklığa bağlı olarak azalan – artan bir fonksiyon olmasıdır. Bu durum korelasyon katsayısının düşmesine sebebiyet vermektedir.

Jeostatistiksel olarak bir sahanın analizini yapmak için yapılacak matematiksel hesaplar bölüm 1 ve 2’ de anlatılmıştır. Bu bölümlerden de anlaşılacağı gibi son derece uzun ama birbirini tekrar eden işlemler silsilesi söz konusudur. Bu sebepten dolayı, semivariogram ve kriging tekniklerinin çalıştırılması için bilgisayar programlarının kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi durumda hesaplar son derece zaman alıcı olacak ve hata paylarında yüksek çıkacaktır. Piyasada farklı amaçlar için kullanılan jeostatistik programları mevcuttur. Bunlardan bazıları ; GSLIB, GS+, GEOEAS gibi bilgisayar yazılımlarıdır. Hemen bütün jeostatistik yazılımlarında klasik semivariogram ve kriging tekniği bulunmaktadır.

Yeniköy kömür sahasının klasik jeostatistik tekniği ile değerlendirilmesi amacıyla GS+ yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımın kullanılmasının sebebi matematiksel olarak istenilen hesapları yapabilmesi ve bunun yanında görsel olarakda diğer yazılım programlarından daha iyi sonuç vermesidir.

Bu yazılım kullanılması ise şu şekilde olmaktadır. İlk önce sahadan alınan bilgiler programın çalışmasına sayfasına girilmektedir. Daha sonra istatistiksel analiz yapılarak gerekirse logaritmik dönüşümler uygulanır veya alınan bilgiler herhangi bir dönüşüm yapılmadan kullanılır. Bu aşamadan sonra semivariogram opsiyonu çalıştırılarak isotropik ve anizotropik semivariogramlar elde edilir. Burda mesafe aralıkları ve mesafe sayısı kullanıcı tarafından verilebileceği gibi yazılım tarafından

otomatik olarakda saptanabilir. Elde edilen semivariograma ait özellikleri yazılımın çeşitli özelliklerinden saptamak mümkündür. Bunlar semivariogramın sill değeri, külçe etkisi, etki alanı ve korelasyon katsayıdır. Bu sayede teorik semivariogramın deneysel semivariograma uygunluğunu tespit etmek mümkün olur.

Semivariogram elde edildikten sonra kriging öncesi işlem gerçekleştirilir. Bu işlem ile sahanın hangi koordinatlarında tahmin yapılabileceği kullanıcı tarafından belirlenebilir. Bunun yanında blok veya noktasal kriging yapma seçimide bu aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra harita komutunun çalıştırılması ile sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin sahanın genelinde nasıl dağıldığını gösterir haritayı verir. Bu harita isteğe göre iki veya üç boyutlu olabilir.

i) Kömüre giriş kotunun jeostatistiksel incelenmesi

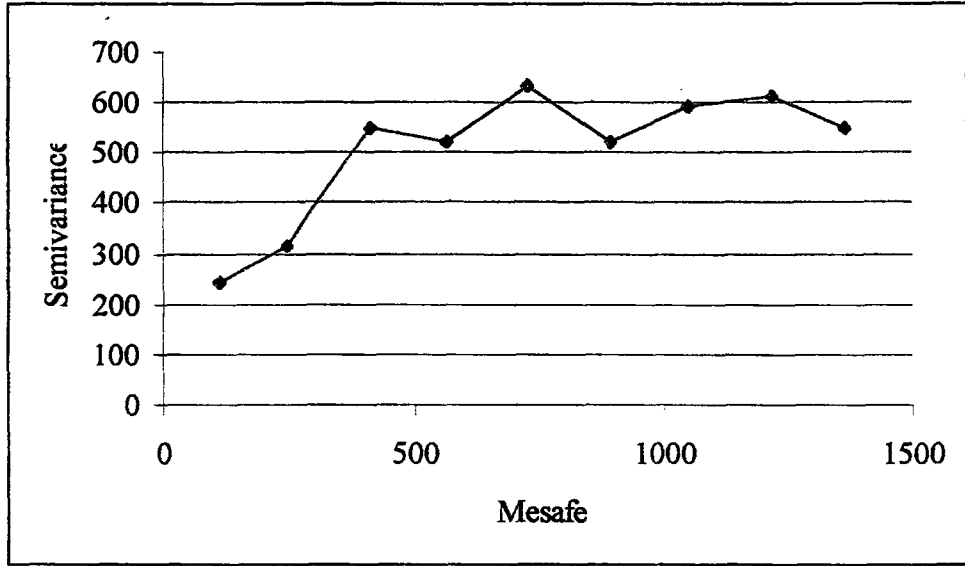
Yukarıda da bahsedildiği üzere, ilk önce istatistiksel analiz yapıldıktan sonra kömüre giriş kotu gerçek değerleri kullanılarak semivariogramlar elde edilmiştir.

Elde edilen deneysel variograma ait sonuçlar tablo.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4 : Kömüre giriş kotu deneysel variogram sonuçları.

Sınıf No	Ortalama Mesafe	Ortama semivaryans	Çift sayısı
1	111.07	243.901	53
2	249.03	315.358	86
3	410.56	547.625	102
4	561.43	521.307	77
5	725.71	633.450	66
6	893.33	521.425	61
7	1050.99	592.913	54
8	1215.51	613.442	60
9	1365.90	548.915	62

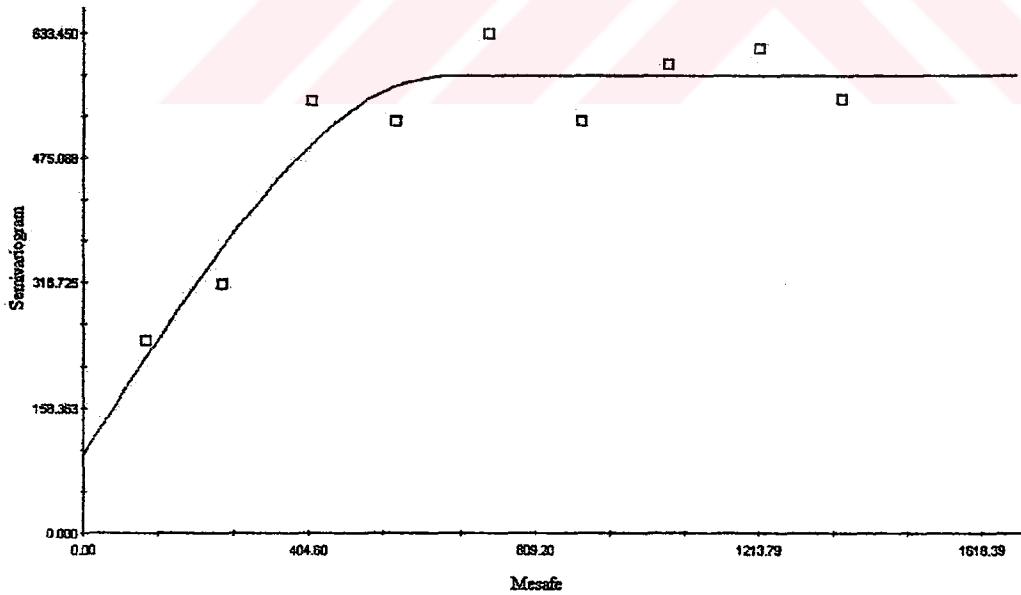
Elde edilen bu sonuçları deneysel variogram olarak çizdirirsek şekil 4.4.' i elde ederiz.



Şekil 4.4. : Kömüre giriş kotuna ait deneysel semivariogram.

Jeoistatistik teorilerinin anlatıldığı bölümlerde belirtildiği gibi, deneysel variogram ile herhangi bir tahmin yapmak mümkün değildir. Tahmin problemine çözüm için mutlaka uygun bir korelasyonda teorik semivariogram elde etmek gerekmektedir.

Kömüre giriş kotuna ait çıkan teorik variogram şekil 4.5.' de verilmiştir.



Şekil 4.5. : Kömüre giriş kotuna ait teorik variogram.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, GS+ programı kullanılarak elde edilen bu teorik variograma ilişkin özellikleri tespit etmek mümkündür. Kullanılacak olan bu parametreler şunlardır ; sill (C), Külçe etkisi (C_0), etki alanı (a) ve korelasyon katsayısıdır (r^2)' dir. Kömüre giriş kotuna ilişkin bulunan variogram parametreleri tablo 4.5.' te verilmiştir.

Tablo 4.5. : Kömüre giriş kotuna göre bulunan variogram parametreleri.

Variogram Parametresi	Ölçülen Değer
Model	Küresel
Külçe Etkisi	99.0
Sill	578,2
Etki alanı	649,0 m
Korelasyon Katsayısı	0,888

Deneysel variogramın bulunmasını müteakiben teorik variogramın saptanması ve özelliklerin belirlenmesi ile kömüre giriş kotunun sahadaki dağılımının tespit edilebilmesi için sahada yapılması gereken birinci basamak çalışmanın sonuna ulaşılmış olunur. İkinci adım ise daha öncede bahsedildiği üzere kriging tekniğinin çalıştırılmasıdır.

Kriging tekniğine başlamadan önce tahmini yapılacak olan saha ile ilgili bilgiler girilmektedir. Bu bilgiler aşağıda liste halinde verilmiştir.

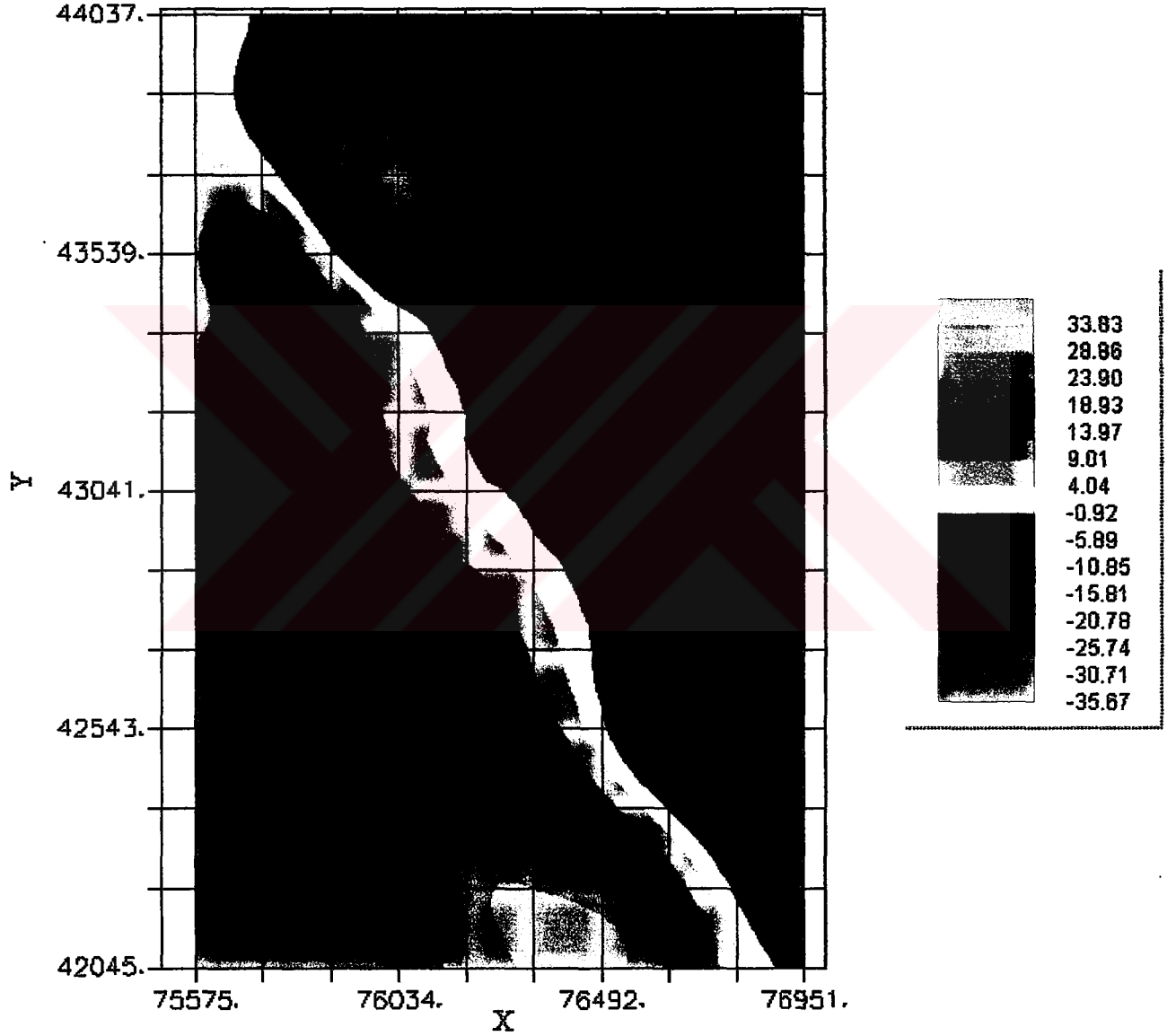
Yön	Aralık	Blok boyu	Blok sayısı
X	75575,26	76950,77	28,6565
Y	42044,55	44037,19	27,6756

Yapılacak olan kriging modeli olarak blok kriging seçilmiştir. Bu sayede, hesaplama komutunun çalıştırılmasına müteakiben kriging öncesi işlem tamamlanır.

Bu işlemin tamamlanmasından sonra harita komutu çalıştırılarak, bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı görmek mümkün olur. Harita komutunda yapılan seçimler ise şu şekildedir ; Z değerlerinin (kömüre giriş kotu) dağılımını görmek için Z opsiyonu

seçilmiştir, iki boyutlu gösterim, lejand ve 15 ayrı sınıf oluşturma seçenekleri seçilmiştir. Nihayetinde çiz komutunun çalıştırılması ile de bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı iki boyutlu olarak verilen x-y koordinat sisteminde ekrana gelir.

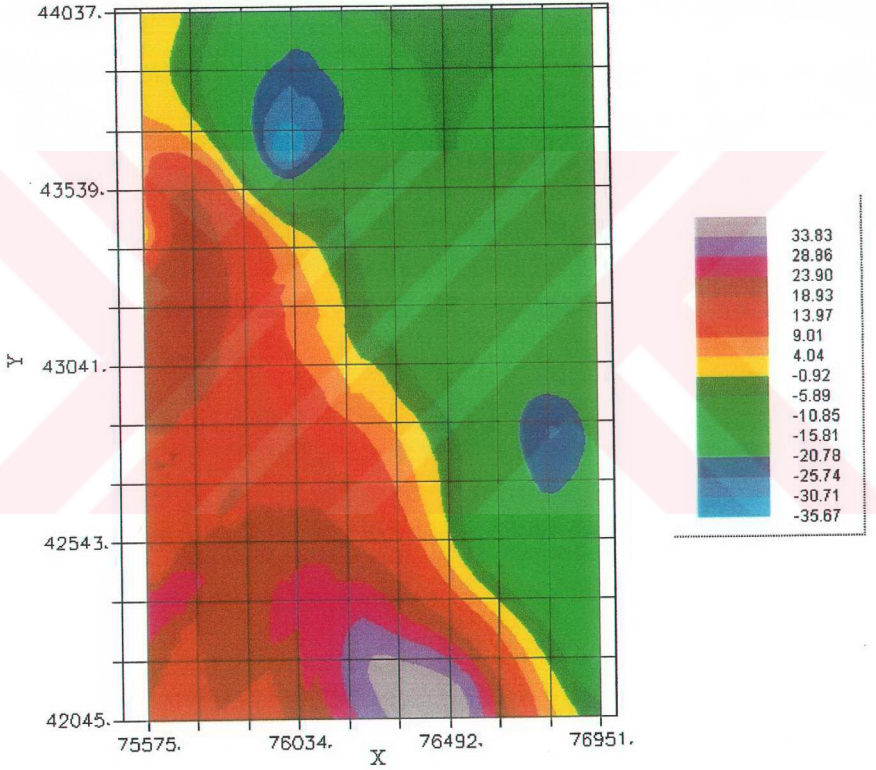
Kömüre giriş kotunun dağılımına ilişkin iki boyutlu harita şekil 4.6.' da verilmiştir.



Şekil 4.6. : Kömüre giriş kotunun sahadaki dağılımı.

seçilmiştir, iki boyutlu gösterim, lejand ve 15 ayrı sınıf oluşturma seçenekleri seçilmiştir. Nihayetinde çiz komutunun çalıştırılması ile de bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı iki boyutlu olarak verilen x-y koordinat sisteminde ekrana gelir.

Kömüre giriş kotunun dağılımına ilişkin iki boyutlu harita şekil 4.6.' da verilmiştir.



Şekil 4.6. : Kömüre giriş kotunun sahadaki dağılımı.

Sahadaki incelenilen değişken olarak kömüre giriş kotunun b  lgeselleştirilmesini takiben elde edilen semivariogram ve krigingden sonra bu değişkenin dağılımını tespit etmek mümkün olmuştur.

Kömür damarları genellikle lineer artan veya azalan bir özelliğe sahiptir, ancak şekil 4.6. dikkatle incelendiğinde dağılımın homojen olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumun sebebi ise bölgede meydana gelen bir jeolojik arızalanma olmalıdır. Özellikle bölgeyi kuzey – batı, güney – doğu ekseninde ikiye ayırır gibi davranan sarı çizgi bir fayın varlığına işaret etmektedir.

i) Kömür Kalınlığının Dağılımının Belirlenmesi

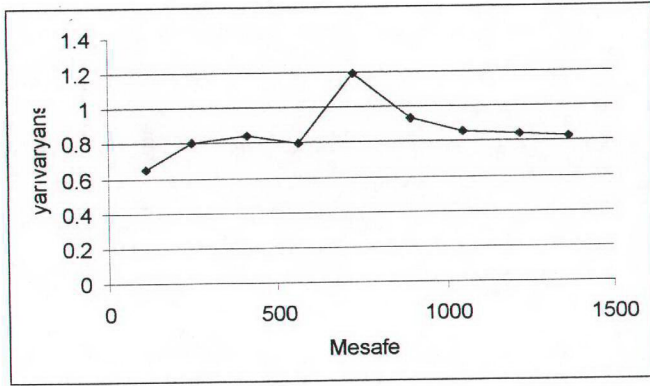
Kömür kalınlığına ait sondaj bilgilerinden faydalınarak oluşturulan bilgi bankasından hareket edilerek, kömür kalınlığı değerleri x ve y koordinatlarına bağlı olarak yazılarak b  lgeselleştirilir. Bu değerler tablo 4.1.' de verilmişti.

Bu işlemden sonra, jeostatistik uygulamasının birinci basamağı olan semivariogramlar elde edilmiştir. Elde edilen sınıf sayıları, sınıf aralıkları, ortalama varyans değerleri elde edilerek deneysel variogram çizdirilmiştir.

Kömür kalınlığına bağlı olarak bulunan deneysel variogram değerleri tablo 4.7.' de, deneysel variogram ise 4.6.' da verilmiştir.

Tablo 4.6. : Kömür kalınlığına ait deneysel variogram sonuçları.

Sınıf No	Ortalama Mesafe	Ortama semivaryans	çift sayısı
1	111.07	0.648	53
2	249.03	0.803	86
3	410.56	0.838	102
4	561.43	0.799	77
5	725.71	1.195	66
6	893.33	0.931	61
7	1050.99	0.859	54
8	1215.51	0.839	60
9	1365.9	0.826	62

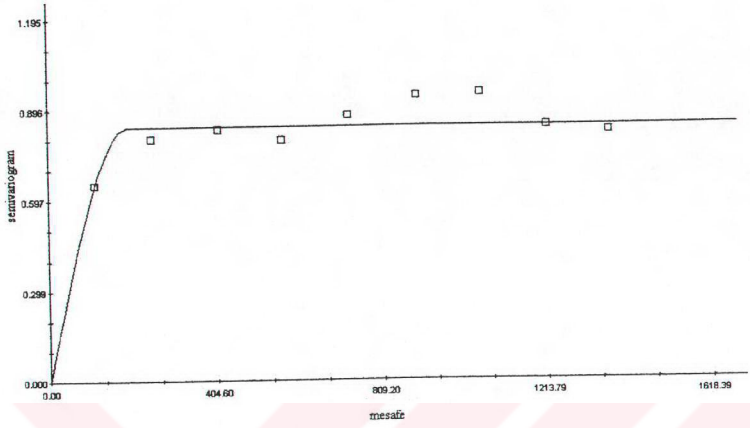


Şekil 4.7. : Kömür kalınlığı deneysel variogramı.

Elde edilen deneysel variogram, teorik variograma dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen teorik variograma ilişkin parametreler bulunmuştur. Bulunan bu parametrelerin sonuçları ve teorik variogramın şeklide aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.7. : Kömür kalınlığına ait teorik variogram parametreleri.

Variogram Parametresi	Ölçülen Değer
Model	Küresel
Külçe Etkisi	0,001
Sill	0,839
Etki alanı	192,0 m
Korelasyon Katsayısı	0,893



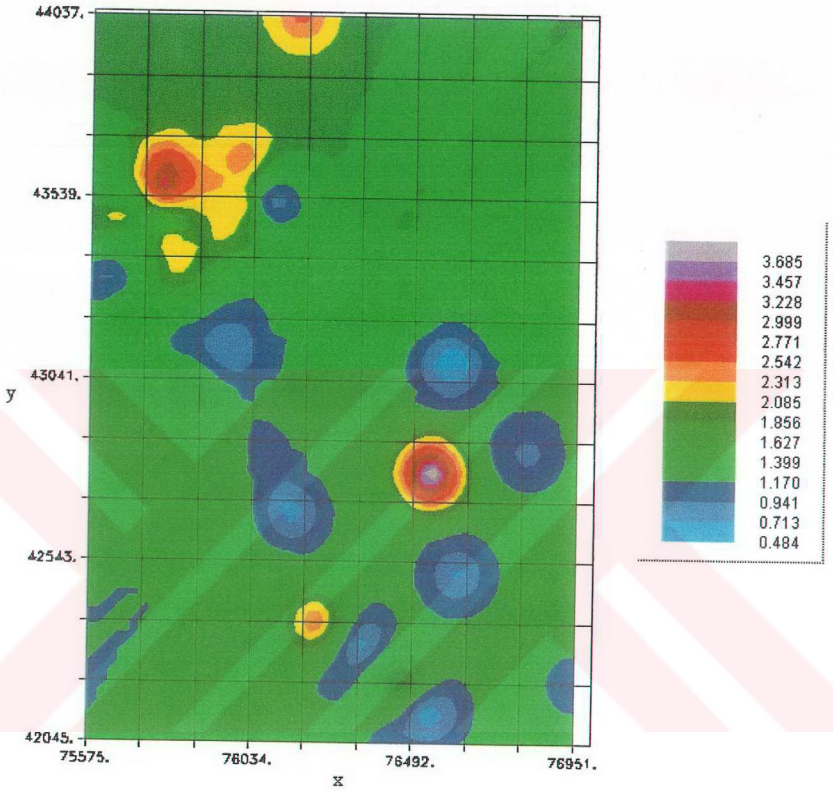
Şekil 4.8. : Kömür kalınlığına ait teorik variogram.

Sonuç itibariyle kömür kalınlığının bölgeselleştirilmesi ile yapılan jeostatistiksel araştırmanın birinci basamağında istenilen yüksek korelasyonda bir teorik semivariogram eğrisi elde etmek mümkün olmuştur. Bu durum sahada incelenilen değişkenin dağılımının değişkenin şiddetine ve yerine bağlı olduğunu gösterir ki bu sayede kriging yapmak mümkün olur.

Kriging tekniğinin çalıştırılması için, tıpkı kömüre giriş kotunda olduğu gibi kömür kalınlığında da bazı seçimler yapılmıştır. Bu seçimler ;

Yön	Aralık	Blok boyu	Blok sayısı
X	75575,26	76950,77	28,6565
Y	42044,55	44037,19	27,6756

Olup, kömüre giriş kotundaki değerler ile aynıdır. Elde edilen semivariogram ile yukarıda belirlenen saha içindeki kömür kalınlığının çizdirilmesi işlemi aynı yazılımda harita komutunun çalıştırılması ile gerçekleştirilir. Bu çalışma ile elde edilen kriging ise şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. : Kömür kalınlığının verilen saha içersindeki dağılımı.

Şekil 4.9' da verilen kömür kalınlığı hakkındaki dağılım görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere sahada kömür kalınlığının değişimi uniform değildir. Kömür kalınlığı genel olarak 1,8 ila 1,2 m arasında değişmekte iken, bazı bölgelerde 3,8 m'ye kadar ulaşmaktadır. Buda başta değinildiği gibi, Yeniköy kömür

sahasındaki kömür yapısının beklenilenden farklı bir şekil arz ettiği konusunu pekiştirmektedir.

ii) Kömür Sahasındaki Anizotropinin Araştırılması

Bu bölüme kadar yapılan uygulamalarda heryönde variogramlar elde edilmiştir. Bunun sonucu olarak sahada incelenilen değişkenin yönlere bağlı olarak nasıl değiştiğini saptamak mümkün olmamıştır.

Anizotropinin tespiti için farklı yönlerde variogram alınması ve bu variogramlarında yüksek korelasyonda olması gerekmektedir. Yüksek korelasyon katsayısına sahip bir teorik variogram elde edilemediği takdirde anizotropinin incelenmesi mümkün olmaz.

Kömüre giriş kotuna göre alınan anizotropik semivariogramlar $0^{\circ} - 45^{\circ} - 90^{\circ}$ ve 135° yönlerde variogramlar alınmıştır. Alınan bu variogramlardan elde edilen değerlerden bir tane teorik variogram çizilmiştir. Burda önemli olan bir diğer husus açı toleransıdır. Açı toleransı anizotropik variogramlar için $22,5^{\circ}$ olarak seçilmiştir. Bu işlemler sonucunda elde edilen teorik semivariogram fonksiyonuna ait korelasyon katsayısı 0,4 olup kabul edilen sınırın çok altında olduğu için sahadaki anizotropinin varlığını incelemek mümkün olmamıştır.

4.1.2.2.Noktasal Kümülatif Semivariogram

Noktasal kümülatif semivariogram (PCSV) tekniği, Şen Z. tarafından geliştirilmiş ve Türkiye' nin depremselliğinin incelenmesinden, Avusturalya' daki hava kirliliğinin araştırılmasına değin geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. PCSV tekniği günümüze değin madencilik uygulamalarında kullanılmamıştır. Ancak bu tekniğin amacınında belirlenen bir uzay içersinde bulunan bölgeselleştirilmiş değişkenlerin nasıl dağıldığını saptamak olması, bu tekniğin madencilik uygulamalarında da kullanılabileceğini göstermektedir.

PCSV tekniğinin uygulanmasında diğer bölümlerde de anlatıldığı üzere 4 temel basamak bulunmaktadır. m tane örnek noktası bulunan bir bilgi bankası için PCSV hesabının yapılışını gösterir bu 4 temel basamak aşağıda liste halinde verilmiştir [20-25].

- i) Her nokta bir kere sabit nokta olur ve bu sabit nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeler bulunur. Bulunacak olan mesafe sayısı $m - 1$ 'e eşittir.
- ii) Her sondaj çifti için bölgeselleştirilmiş değerlerin farklarının karelerinin yarısı bulunur $(0,5(Z_s - Z_i)^2)$.
- iii) Sabit nokta ile diğer noktalar kısa mesafede uzun mesafeye doğru sıraya konularak bulunan $0,5(Z_s - Z_i)^2$ değerinin kümülatifi hesaplanır.
- iv) Bulunan bu değerler mesafe PCSV grafiğine noktalanılarak sabit nokta için PCSV grafiği elde edilir.

Bu işlemler her nokta için yapılır ve bu sayede numune sayısı kadar grafik elde edilir. Daha sonra bu grafiklerden birbirine benze özellik gösteren gruplara ayrılarak sahayı temsil eden gruplar elde edilir. Bu grupların yorumlanması ile sahada bölgeselleştirilmiş değişkenin dağılımı hakkında fikir sahibi olunur.

i) Kömüre Giriş Kotunun PCSV Tekniği İle Araştırılması

Yeniköy kömür sahası için sondaj çalışmalarından elde edilen kömüre giriş kotu değerleri için PCSV tekniği kullanarak bölge içersinde bu değişkenin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu araştırmada uygulanan çalışmanın basamakları yukarıda anlatıldığı gibidir. Bu basamaklarda yapılan işlemler kolay almasına karşın zaman alıcıdır. Bu durumda tıpkı kriging tekniğinde olduğu gibi bir bilgisayar yazılımı kullanımını gerektirmektedir. Ancak bu tekniğin yeni oluşu ve piyasaya uygulamasının yaygın olmaması sonucunda ticari bir program kullanılmamıştır. Bunun yerine Delphi programlama dilinde bir program yazılarak istenilen PCSV grafikleri bu programdan sağlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen 38 grafik kendi içerisinde 12 ayrı gruba ayrılmıştır. Grub sayısının fazla olması bölgede homojen bir yapıdan ziyade

heterojen bir yapının olduğunu göstermektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken husus bu grafiklerin en doğru şekilde yorumlanmasıdır. Grafikler gruplara ayrılırken, sadece şekil olarak benzemesinden ziyade mesafe ve kümülatif semi variogram değerlerindeki yakın olması dikkate alınmıştır.

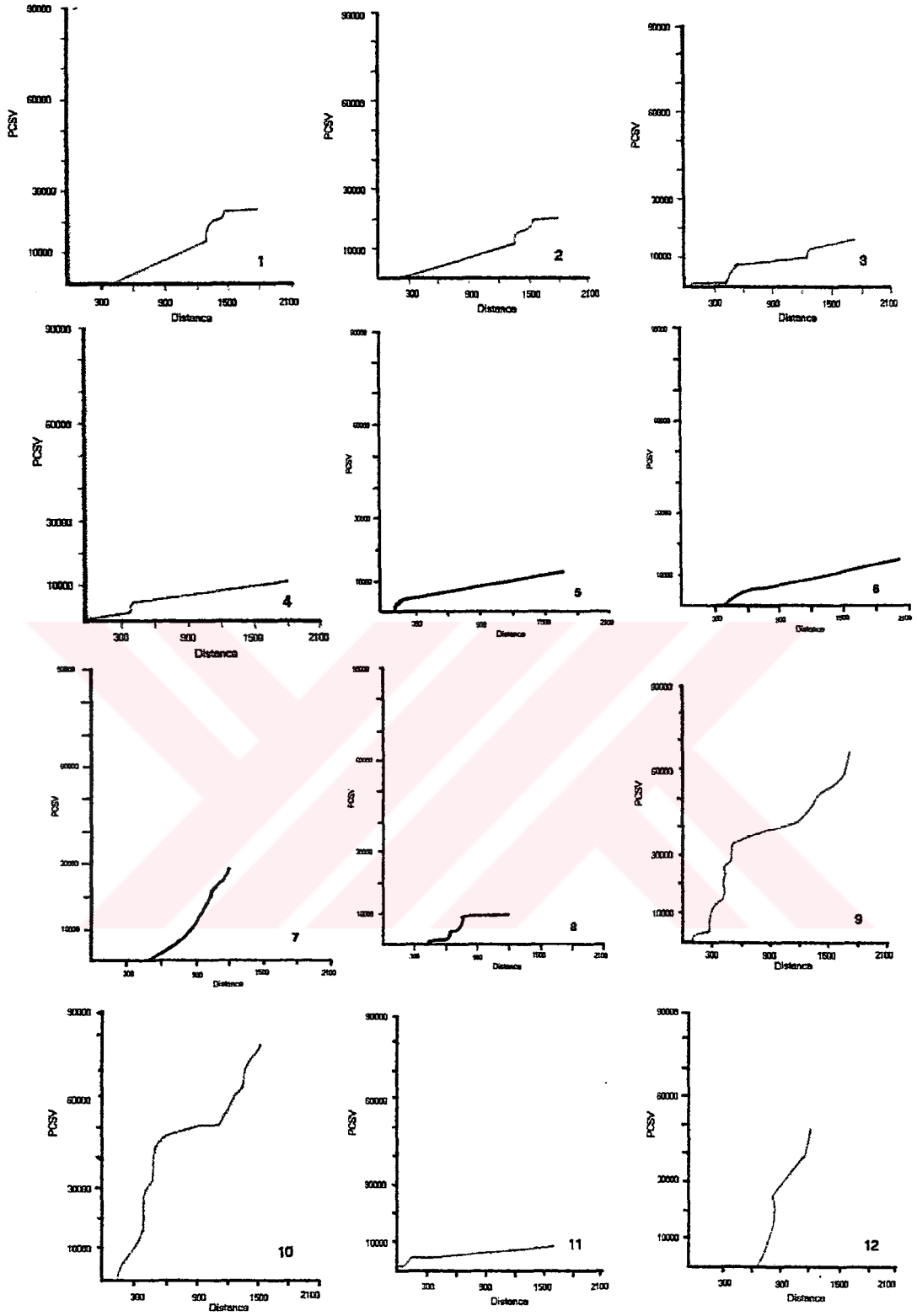
Elde edilen 12 ayrı model Şekil 4.10' de gösterilmiştir. Bu modellerle ilgili yorumlar ise aşağıda verilmektedir.

PCSV grafiklerinde bir takım ortak özellikler vardır ki bunlar yorum yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Örneğin 1 no' lu grafikte eğri X eksenini yaklaşık olarak 300. m' lerde kesmektedir. Bu durum istasyon noktalarının etrafında bundan daha kısa mesafelerde istasyon noktalarındaki bölgesel değişken ile aynı özelliğe sahip homojen bir bölgenin olduğunu göstermektedir. Bu mesafe ne derece büyükse o bölgesel değişkenin değerinin saha için ortalama baskın bir değer olarak adlandırılması ihtimali artmaktadır ve bu durum sahayı homojene yakın yapmaktadır.

PCSV eğrisinin küçük bir açı altında lineer olarak artması ise gene yukarıda olduğu gibi bölgesel değişkenlerin istasyon noktalarındaki yakını olduğu izlenimini doğurmaktadır. Diğer taraftan artışın büyük bir açı altında lineer olarak gerçekleşmesi ise kısa mesafelerde PCSV değerinin çok arttığını buda bölgesel değişkenler arasındaki farkın arttığını göstermektedir.

Lineer artışların dışındaki parabolik artan ve azalan grafiklerde benzer şekilde variogram – mesafe ilişkisi göz önüne alınarak bölgesel değişkenlerin değişimi hakkında yorumlar yapılabilir.

1 no' lu grafikte eğri x eksenini 300. m' lerde kestikten sonra lineer bir artış az bir eğim altında gerçekleşmektedir. Bu durum bu mesafeden itibaren kömüre giriş kotunda homojen bir artma veya azalma olduğunu göstermektedir. Bu durum 1200 – 1300 m' ler boyunca devam etmektedir. Parabolik bir artan fonksiyon söz konusudur ki bu durum kısa mesafelerde RV değerleri arasındaki farkın arttığını homojenliğin bozulup heterojenliğin başladığını göstermektedir. Sonuç olarak 1 no' lu modele bakarak seçilen istasyon noktalarında 1200 – 1300 m uzak mesafede jeolojik bir olay



Şekil 4.10. : Kömür giriş kotuna göre bulunan PCSV grafikleri.

sonucunda RV değerinin değışmesi meydana gelmiştir. Bu durumun jeolojik olarak açıklanmasını ise bu mesafeden sonra bölgede bir fay veya tektonik bir olay sonucunda meydana gelen bir arızanın varlığıdır.

2 ve 3 no' lu eğrilerde de 1 no' lu eğride olduğu gibi PCSV eğrisi x eksenini ile kesişmekte sonra belli bir mesafe boyunca düşük eğimle lineer olarak artmakta ve daha sonra parabolik bir artışın ardından tekrar lineer haline geri dönmektedir. Bu durum her 3 grafik içinde geçerli olduğu için yorum açısından önem kazanmaktadır. Bu durumda bu grafikleri oluşturan istasyon noktalarından belli bir d mesafesinde bölgenin homojen özellik göstermesine rağmen daha sonra meydana gelen tektonik olay veya faylanma sonucunda bir parabolik artış söz konusudur. İstasyon noktalarının yerlerinin farklı olması mesafe ve PCSV değerlerinin farklı çıkmasına neden olmuştur. Ancak grafiklerin aynı karakteristik özellik göstermesi bölgede istasyon noktalarından belli bir mesafede homojenliğin olmasına karşın belli mesafeden sonra homojenliği bozan tektonik bir hareketin varlığına işaret etmektedir.

4 no' lu eğri orjinden geçmektedir ki bu durum en kısa mesafede dahi istasyon noktası ile diğer noktalar arasındaki RV arasında bir farklılık olduğunu göstermektedir. Bu durumsa bu istasyon noktalarının sahanın heterojen olmasında etkin bir rol oynadığı kanısına varılmasını sağlamaktadır. Keza bu eğride 300. m' lerde meydana gelen parabolik artışta heterojen davranışı desteklemektedir.

5, 6, 8 ve 12 no' lu eğrilerde x eksenini keser kesmez parabolik bir davranış gösterdikten sonra lineer olmaktadır. Bu durum bölge için tanımladığımız istasyon noktalarından belli mesafede olan homojenliğin faylanma veya benzer bir olay sonucunda bozulması gerçeğini desteklemektedir.

7 no' lu eğri x eksenini kestikten sonra artan parabolik bir fonksiyon haline gelmiş ancak diğerlerinden farklı olarak lineer özellik göstermemiştir. Bu durum bu grafik ile benzer yapı gösteren istasyon noktalarının homojen kısmından hemen sonra heterojen bir bölgenin sürekliliğini gündeme getirmektedir. Ancak diğerlerinde olduğu gibi ikinci linner kısmın olmaması bu istasyon noktalarının yukarıda sözü

edilen heterojen bölge içinde olduğunu ve bu yüzden bölge için sürekli heterojen bir davranış sergilediğini göstermektedir.

9 no' lu eğri diğerlerinden farklı olarak eğri y eksenini kesmektedir. Bu durum klasik jeostatistikteki nugget effect (külçe etkisi) ile aynı anlama gelmektedir. Bu ise çok kısa mesafelerde eğride fazla bir değişiklik olmazken, nugget etkinin bulunduğu bölgede çok kısa mesafede büyük bir değişikliğin olduğunu göstermektedir. Bu durumsa gene o bölgede bir faylanma veya tektonik bir hareketin varlığını göstermektedir.

9 ve 10 no' lu eğrilerde PCSV eğrisi geniş bir x – y aralığında düz bir çizgi etrafında geniş bir dalgalanma göstermektedir. Bu durumun başladığı noktada klasik jeostatistikteki sill ile aynı anlama gelmekte olup bu noktadan sonra bölgenin sill' den daha sonraki mesafeleri için istasyon noktalarının RV değerlerini dikkate alarak yorum yapmanın zor olduğunu göstermektedir.

Nugget etkinin görüldüğü bir diğer eğri ise 11 no' lu eğridir. Bu eğrinin diğerinden farkı ise nugget etkisinden sonra düşük bir eğim altında grafiğin lineer olarak artmasıdır. Bu durumda istasyon noktasının heterojen bölgenin sınırında olduğunu ve o istasyon noktasının çok küçük bir heterojenlik katsayısı taşıdığını göstermektedir.

Sonuç olarak ; kömüre giriş kotunun RV değeri olarak kabul edilip PCSV grafiklerinin elde edilmesi ile bölgede homojen bir bölgenin varlığının olduğu ancak belli bir noktada heterojenliği oluşturan jeolojik bir olayın varlığı tespit edilmiştir.

ii) Kömür Kalınlığına Bağlı Olarak Bulunan PCSV Grafikleri

PCSV grafikleri bölgeselleştirilmiş değerlerin kömüre giriş kotu olarak atanmasından sonra kömür damarının kalınlığı hakkında da fikir sahibi olabilmek amacıyla bölgeselleştirilmiş değeri kömür kalınlığı seçilerek 38 ayrı PCSV grafiği elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.11.' de verilmiştir.

Elde edilen 38 ayrı grafik kendi arasında gerek şekil gerekse matematiksel olarak birbirlerine benzer özellik gösterenler aralarında gruplandırılarak toplam 10 ayrı model oluşturulmuştur.

Kömür kalınlık değerlerinden elde edilen PCSV grafiklerinde de diğer grafiklerde olduğu gibi lineer artan, parabolik artan veya parabolik azalan grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde tıpkı bir önceki bölümde olduğu gibi yorumlanabilir.

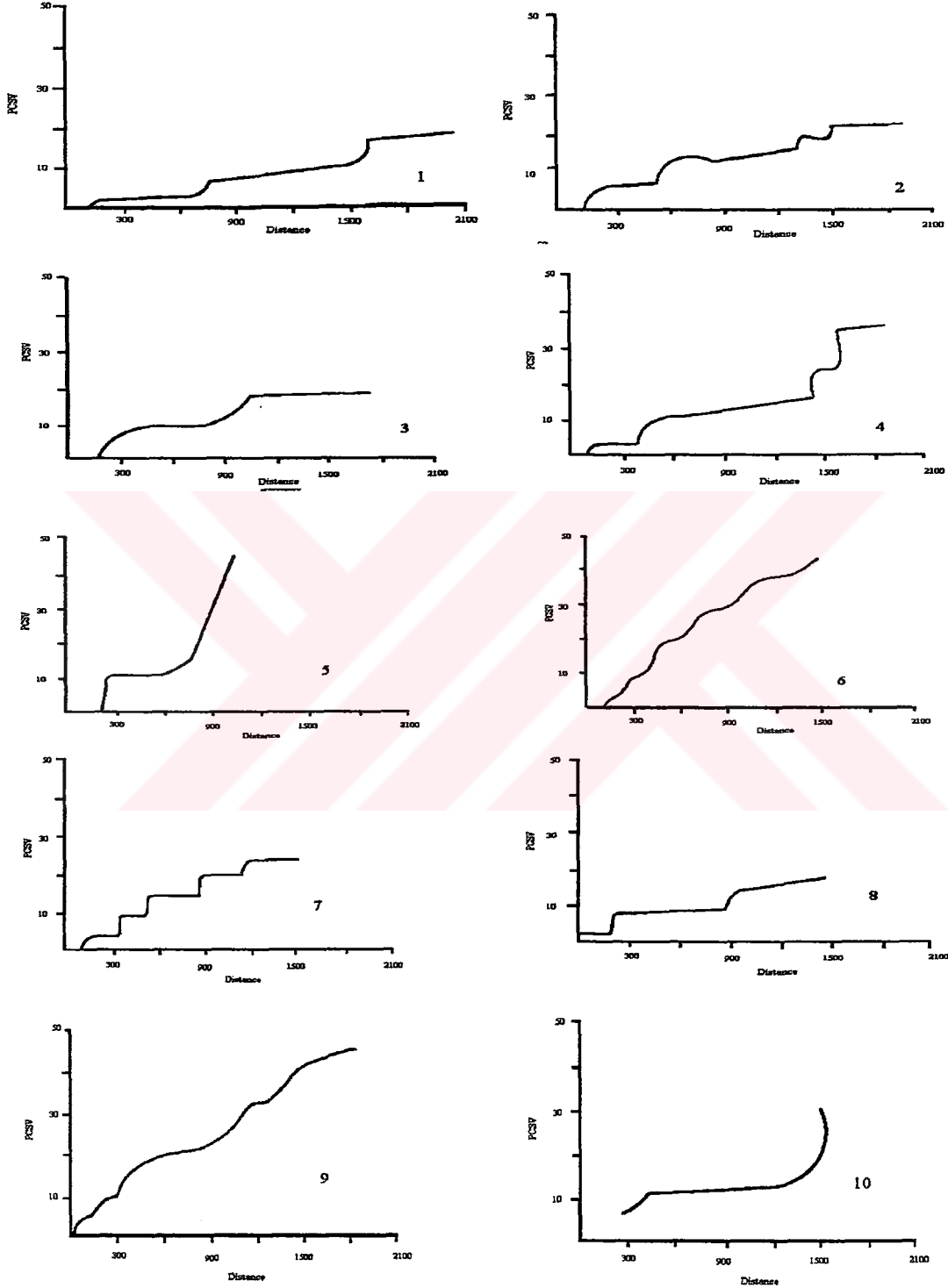
1, 2, 3, ve 4 no' lu PCSV eğrileri x eksenini kesmektedir. Bu durum istasyon noktalarının etrafından eğrinin x eksenini kestiği değerden daha küçük r yarıçaplı dairesel bir alan içerisinde homojen bir yapı arzettiğini göstermektedir. Daha sonra grafik parabolik artan veya azalan eğriler vermektedir. Bu durumsa istasyon noktasından parabolikliğin başladığı mesafeden bittiği mesafeye kadar bölgeselleştirilmiş değerlerin daha geniş sınırlar içinde değiştiğini göstermektedir. Bu da homojenlikten heterojenliğine bir geçiş olduğunu göstermektedir. Bu parabolik artış veya azalıştan sonra gene lineer artış ve parabolik eğri ardalanması ile grafik sonlanmaktadır. Bu durumsa istasyon noktalarına benzeyene yapıların belli mesafelerden sonra tekrarlandığını göstermektedir.

5 no' lu eğri ise x eksenini kestikten sonra hızlı artan parabolik bir eğri, lineer yatay çizgi ve eğimi büyük lineer bir eğriden oluşmaktadır. Bu durumsa kısa mesafeli bir homojenlikten sonra bölgenin heterojenliğini göstermektedir.

6 no' lu eğri ise x eksenini kesmesine karşın geniş bir $x - y$ aralığında dalgalanma göstermektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu durum klasik jeostatistikte olduğu gibi sill' e tekabül etmektedir. Sonuçta bu eğri x eksenini kestikten sonra sill' e ulaşmıştır.

7. grafik gösterdiği basamaklı yapısı itibariyle incelemeye değerdir. Bu grafik 6 no' lu grafikte olduğu gibi bir çizgi etrafında dalgalanma göstermektedir. Ancak bu dalgalanma parabolik artışın lineer yatay bir artış ile devam etmesi ile oluşmuştur. Bu durumsa bölgedeki kömür kalınlıklarının heterojenlik derecesini göstermektedir. Sonuç olarak kendi içerisinde homojen olan grupların birleşmesi sonucu meydana

gelen heterojen bir yapı ile karşı karşı olunduğu yorumu ortaya çıkmaktadır. Keza bu savı destekleyecek olan diğer bir hususta 1, 2, 3, ve 4 no' lu eğrilerde de benzer hareketin varlığıdır ancak fark oluşan basamak sayısı azlığıdır.



Şekil 4.11. : Kömür kalınlığına göre bulunan PCSV grafikleri

8. grafikte ise, eğri y eksenini ile kesişerek nugget effect' i meydana getirmektedir. Ancak eğrinin genel hareketi lineer – parabolik – lineer – parabolik – lineer olup yukarıdaki düşünceyi destekler niteliktedir.

9 no' lu eğri gerek orjinden geçmesi gerekse geniş x - y aralığında dalgalanma göstermesi sonucunda bölge hakkında genel olarak heterojen bir bölge olduğu şeklindeki yorumu doğru kılmaktadır.

10 no' lu eğrinin en önemli özelliği herhangi bir eksenle veya orjinle kesişmemiş olmasıdır. Bu durum bu istasyon noktalarındaki bölgeselleştirilmiş değerin sahanın genelini yansıtmaktan uzak olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak ; kömür damarları genel olarak lineer bir davranış göstermektedir ve kömür damarlarında büyük değişimler beklenilmemektedir. Ancak uygulamanın yapılmış olduğu sahada elde edilen PCSV grafiklerinden oluşturulan modeller göstermiştir ki ; bölgede kömür kalınlıkları açısından bir heterojenlik söz konusudur, öyleki bölgeyi oluşturan örnekler kümelendirildiklerinde kendi içlerinde homojen olan kümelerin birleşmesi sonucunda oluşan bir heterojen yapı olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.2.Metalik Maden Yatağının Jeoistatistiksel Değerlendirmesi

Bir önceki bölümde gerek PCSV gerekse kriging teknikleri ile saha modellenmesine ilişkin karşılaştırmayı yapabilmek için kömür yatağı uygulama alanı olarak seçilmişti. Bu bölümde ise metalik maden yatağı seçilerek bu tip yataklarda sonuçlar karşılaştırılmaya çalışılacaktır.

Metal madeni olarak Küre Aşıköy' de bulunan bakır madeni seçilmiştir. Bu maden yatağında 129 noktada sondaj yapılarak bu sondaj noktalarından kalınlık, %Cu, %S değerleri tespit edilmiştir. Sondaj noktalarını gösteren harita ek 2' de verilmiştir. Sondaj noktalarından elde edilen bilgilerden oluşturulan bilgi bankası tablo 4.8' de verilmiştir.

Tablo 4.8 : Küre Asiköy sondaj sonuçları.

x	y	% cu	% s	kalınlık (m)
557324	4630873			
557479	4630781	2.37	40.67	13.1
557491	4630802	2.84	40.68	10.9
557471	4630809	1.9	42.15	44
557450	4630813	4.23	42.3	6
557398	4630851	0.87	46.76	24
557490	4630811	5.89	44.78	14.2
557468	4630833	1.61	48.18	6.85
557485	4630856	2.66	49.85	15.45
557506	4630837	10.2	46.3	21.55
557467	4630863	0.26	40.93	13.45
557518	4630816	6.44	49.36	26
557506	4630878	0.85	39.13	38.35
557496	4630909	0.39	43.62	23.1
557466	4630919	1.49	47.11	15.45
557783	4630785	0.98	47.07	23.8
557529	4630851	2.38	42.05	64.25
557506	4630765			
557380	4630751			
557365	4630776	2.51	44.53	53.75
557568	4630834	9.37	45.59	23.1
557566	4630804			
557538	4630803	1.49	42.23	90
557529	4630754	0.64	48.11	13
557512	4630732			
557653	4630769			
557580	4630805			
557548	4630776	1.43	47.49	47.9
557605	4630805			
557778	4630756			
557289	4630776			
557525	4630825	5.13	46.52	30.5
557545	4630732			
557568	4630754	1.19	45.9	12.25
557437	4630753	2.32	35.24	48.6
557398	4630742			

557437	4630718	3.05	47.24	28
557464	4630760	1.17	38.05	115
557537	4630898	2.07	41.98	11.05
557565	4630887	4.43	45.55	27.4
557593	4630865	0.58	51.89	4.15
557526	4630941			
557559	4630928	2.59	42.32	17.9
557583	4630912	6.07	43.78	25.8
557339	4630905			
557445	4630955			
557859	4630922			
557540	4630740	2.73	47.3	8
557360	4630789	2.52	43.6	43.1
557606	4630884			
557325	4630779	2.56	43.07	26.2
557439	4630818	3.34	36.76	2
557383	4630768	2.4	30.74	38.9
557380	4630850			
557433	4630794			
557385	4630871			
557445	4630881	0.54	44.38	19.5
557490	4630722			
557380	4630906			
557400	4630938	0.09	43.65	32.5
557413	4630910	0.27	50.13	23
557379	4630811	7.74	42.24	4.4
557577	4630940			
557519	4630857	1.35	47.15	37.65
557552	4630874	3.18	36.91	78.5
557572	4630833	2.96	45.2	91.2
557547	4630794	1.77	46.26	68
557513	4630795	1.07	42.34	40.5
557461	4630954			
557501	4630963	2.49	36.29	5.15
557537	4630965			
557653	4630880	5.14	40.7	30
557280	4630766	3.22	41.16	3.5
557318	4630818	2.15	43.83	19.75

557411	4630705			
557489	4630701	2.35	45.54	15.75
557529	4630685	1.08	43.72	0.5
557569	4630725			
557632	4630723			
557559	4630766	1.76	46.22	27.4
555607	4630756	2.55	42.38	23.26
557611	4630934	6.2	27.08	0.05
557582	4630794	1.15	44.27	75.15
557657	4630783	3.75	46.22	14
557528	4630764	1.36	45.51	58.5
557492	4631020	2.32	43.18	10
557619	4630788	1.29	41.05	41.8
557357	4630921			
557453	4630920	0.01	41.24	10.75
557492	4630930	0.82	41.32	7.5
557493	4630876	1.47	48.02	23
557525	4630832	6.26	46.96	21.2
557492	4630838			
557461	4630789			
557400	4630847	0.42	43.34	18
557438	4630846			
557355	4630761	1.47	44.7	39.7
557366	4630695			
557623	4630892	6.86	42.58	12.75
557627	4630859	0.99	41.96	47.5
557305	4630870			
557621	4630828	6.86	36.2	40.5
557290	4630829	2.51	37.49	8.1
557295	4630750	1.48	39.52	3
557441	4630744	1.63	44.56	64.3
557495	4630739	2.08	42.4	17.9
557388	4630739	2.24	47.37	3.75
557425	4631194	2.59	35.76	6.1
557372	4631175			
557340	4631195	1.84	45.53	10.9
557299	4631196			
557320	4631195			

557663	4630839	1.91	33.22	40
557511	4630652			
557338	4630717			
557648	4630635	3.15	47.54	62.75
557672	4630592			
557625	4630684	0.33	38.53	70.65
557671	4630759			
557677	4630805	2.58	41.8	14
557645	4630907	3.7	17.4	43.51
557677	4630862	4.7	43.86	49
557587	4630894	5.49	35.73	4.45
557558	4630905	4.52	43.55	27.5
557417	4630749	2.14	46.08	27.6
557605	4631005			
557265	4630915			
557392	4631028			
557215	4630842			

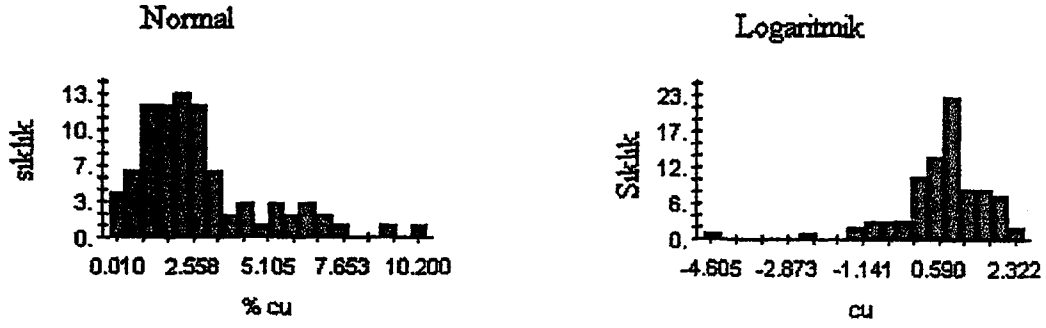
Jeoistatistiksel uygulamalara geçmeden önce incelenilecek olan değişkenlerin sahada dağılımlarının nasıl olduğunun tespit edilebilmesi amacıyla istatistiksel bir çalışma yapma gerekliliği vardır. Bir önceki bölümdeki gibi bu bölümde de değişkenlerin istatistiksel değişimlerinin tespiti için aşağıdaki parametreler incelenilecektir.

4.2.1. İstatistiksel Değerlendirme

İstatistiksel değerlendirme yapabilmek için incelenilecek olan parametreler ; alınan örnek sayısı, minimum ve maksimum değerler, aritmetik ortalama, varyans, standart sapma, çarpıklık ve basıklık. Bu parametrelerin bulunuş şekilleri 4.1.1 no' lu bölümde anlatıldığından burada tekrar edilmemiştir.

Sahada incelenilen değişkenler bakır ve kükürt oranları ve kalınlıktır. Bakır, kükürt ve kalınlık değişkenlerinin histogramları aşağıda verilmiştir. Normal değerlerin histogramlarına bakıldığında sahada incelenilen değerlerin logaritmik dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu sebepten dolayı, değerlerin logaritması alınarak logaritmik değerlere göre yeni histogramlar çizdirilmiştir.

- Cu değerlerinin histogramları ;

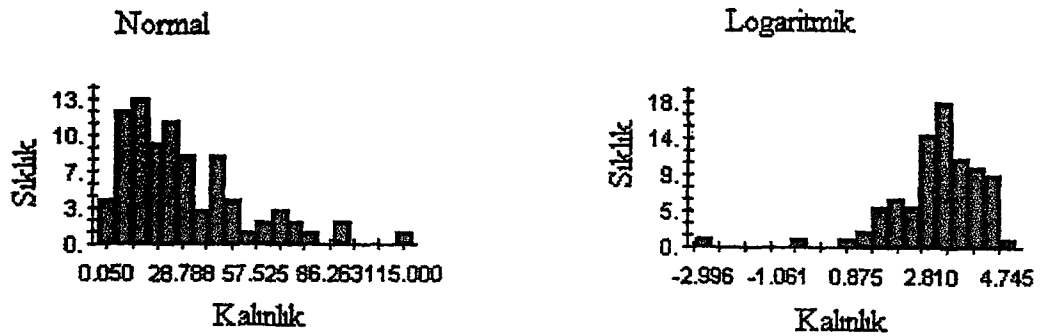


Şekil 4.12. : Asıköy sahasında Cu değerlerinin histogramları.

- S değerlerinin histogramları ;



- Kalınlık değerlerinin histogramları



Görüldüğü üzere, sahada incelenen değişkenlerin dağılımları logaritmiktir. Bu yüzden yapılacak olan jeostatistiksel çalışmalarda sahadan alınan değerlerin logaritması kullanılmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde bakır, kükürt, ve kalınlık değerlerine göre bulunan istatistiksel parametreler varılmıştır.

Tablo 4.9. : Cu değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar.

İstatistiksel Parametre	Bulunan Değer (lnZ _i)
Örnek Sayısı	84
Minimum değer	-4,605
Maksimum Değer	2,322
Ortalama değer	0,637
Varyans	1,075
Standart Sapma	1,037
Çarpıklık	-1,91
Basıklık	6,91

Tablo 4.10. : S değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar.

İstatistiksel Parametre	Bulunan Değer (lnZ _i)
Örnek Sayısı	84
Minimum değer	2,856
Maksimum Değer	3,949
Ortalama değer	3,746
Varyans	0,021
Standart Sapma	0,147
Çarpıklık	-3,19
Basıklık	15,31

Tablo 4.11. : Kalınlık değerlerine göre bulunan istatistiksel sonuçlar.

İstatistiksel Parametre	Bulunan Değer (lnZ _i)
Örnek Sayısı	84
Minimum değer	-2,996
Maksimum Değer	4,745
Ortalama değer	2,933
Varyans	1,368
Standart Sapma	1,170
Çarpıklık	-1,97
Basıklık	7,01

Yukarıdaki üç çizelge sayesinde ve daha önce verilen histogramlar incelendiğinde, her üç değişkenin saha içersindeki dağılımlarının normal değil logaritmik olduğu görülür. Bunun yanında tahmin probleminin çözülebilmesi için ise klasik istatistik bilgileri ile hareket etmenin mümkün olmadığıda görülmektedir. Sonuç olarak sahada tahmin probleminin çözümü için jeoistatistiksel analiz yapılacaktır ve sondaj değerlerinden elde edilen değerlerin logaritmaları veri çıktısı olarak kullanılacaktır.

4.2.2.Jeoistatistiksel Değerlendirme

Asiköy bakır cevheri yatağının istatistiksel değerlendirmesinden sonra bölgede sondaj çalışmalarından elde edilen %Cu, %S ve kalınlık değerlerinin tespit edilebilmesi için jeoistatistiksel çalışma yapılmıştır. Kriging ve PCSV teknikleri kullanılarak bölgeselleştirilmiş değerlerin değişimi hakkında yorum yapılma yoluna gidilerek bu iki tekniğin karşılaştırılması yapılmıştır.

Sondaj noktalarından alınan değişkenlere ait değerler koordinatları ile birlikte veri tablosu hazırlanarak değerler bölgeselleştirilmiştir.

4.2.2.1.Klasik Jeoistatistiksel Yöntem

Yeniköy kömür sahası için uygulanan klasik jeoistatistiksel yöntem Asiköy bakır yatağı içinde uygulanmıştır. Bu uygulamanın iki aşamasının ilki semivariogram ikincisi ise krigingdir. Here iki basamağın yapım aşamaları hakkındaki bilgi ve kullanılan yazılımın özellikleri bir üst bölümde anlatıldığı için burada tekrar edilmemiştir. Bu bölümde sadece elde edilen semivariogram ve kriging değerleri verilmiştir.

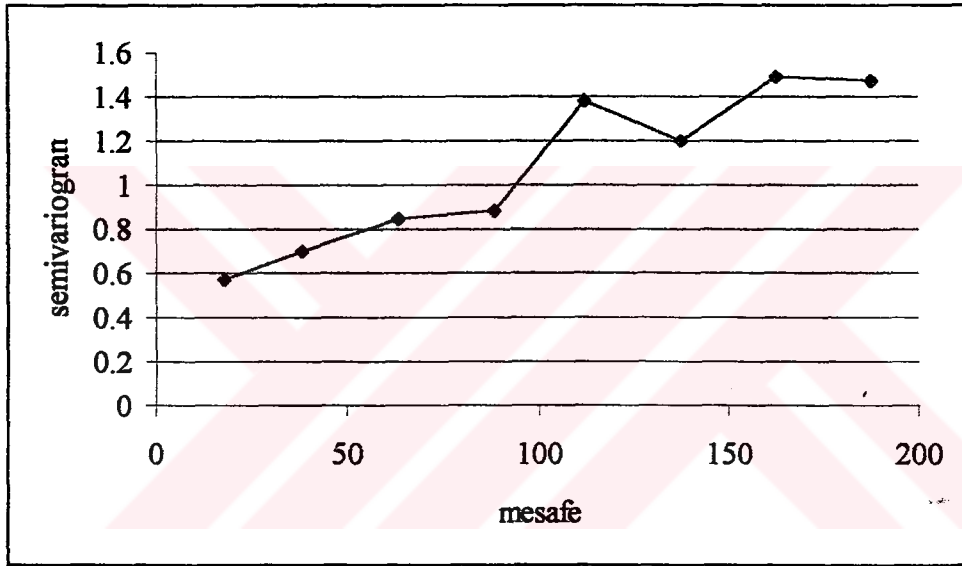
i) Bakır tenör değerinin Jeoistatistiksel Değerlendirmesi ;

Jeoistatistiğin basamağı olarak semivariogram çizdirilmiştir. Deneysel semivariograma ait olarak bulunan değerler tablo 4.12' de verilmiştir.

Tablo 4.12 : Bakıra göre bulunan deneysel variogram sonuçları.

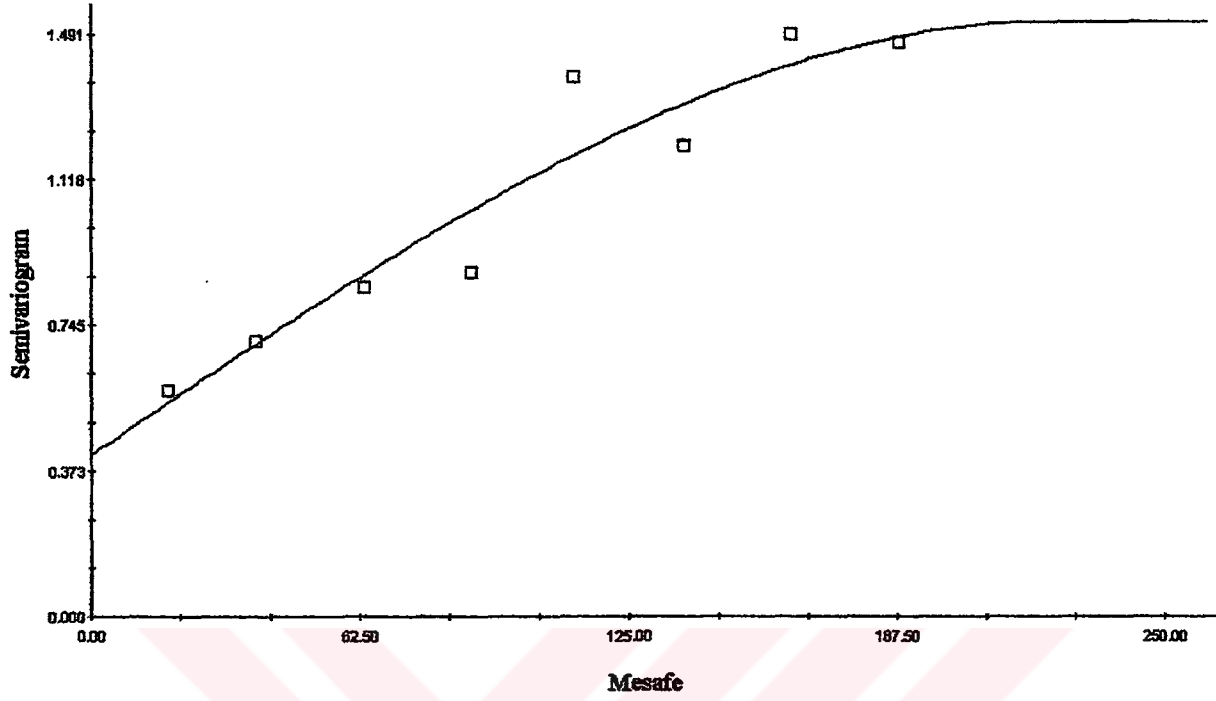
Sınıf No	Ortalama Mesafe	Ortama semivaryans	Çift sayısı
1	17.94	0.577	47
2	38.24	0.704	211
3	63.27	0.841	318
4	88.26	0.879	366
5	112.08	1.379	403
6	137.67	1.203	394
7	162.47	1.491	368
8	187.60	1.469	308

Yukarıdaki tablodan faydalınarak çizdirilen deneysel semivariogram grafiği ise şekil 4.13' de verilmiştir.



Şekil 4.13. : Bakır değerine göre elde edilen deneysel semivariogram.

Bilindiği üzere kriging tekniğine geçebilmek için gerekli olan dataları elde etmek için teorik semivariogram ihtiya. Duyulmaktadır. Yeniköy sahası için yapılan uygulamada olduğu gibi bu uygulamada GS+ yazılımından faydalanılarak teorik semivariogramlar elde edilmiştir. Bakır tenörü için elde edilen teorik semivariogram aşağıdaki şekilde teorik semivariogram parametreleri ise tablo 4.13' de verilmiştir.



Şekil 4.14. : Bakır tenörüne bağlı bulunan teorik semivariogram.

Tablo 4.13. : Bakır tenörüne göre bulunan variogram parametreleri.

Variogram Parametresi	Ölçülen Değer
Model	Ekspansiyel
Külçe Etkisi	0,413
Sill	1,521
Etki alanı	222,4
Korelasyon Katsayısı	0,907

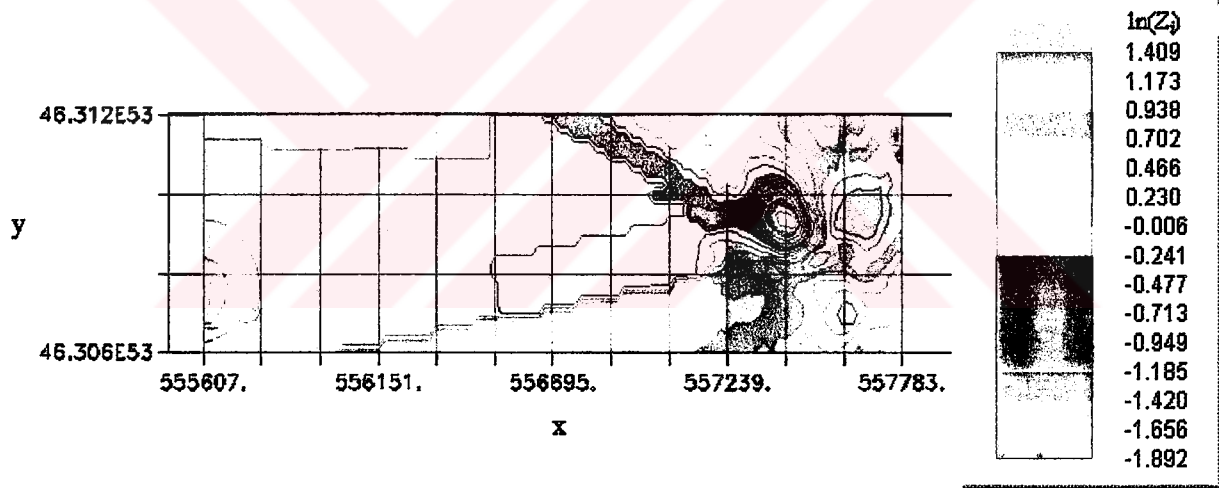
Bakır tenörüne ait teorik semivariogramın elde edilmesi ile jeostatistiğin iki basamağından ilki tamamlanmış olur. Bu sayede kriging tekniğine geçmek mümkün olmuştur.

Kriging tekniğinin uygulanacağı sahaya ait bilgiler aşağıda liste halinde verilmiştir.

Yön	Aralık		Blok boyu	Blok sayısı
X	555607	557859	22,6667	97
Y	4630592	4631196	25,1667	25

Bu sahanın tanımlanmasında sonra elde edilen semivariograma göre yapılan blok kriging çalışması sonucunda elde edilen sahaya ait bakır dağılım haritası şekil 4.15' de verilmiştir.

Aşağıdaki şekildende görüleceği üzere verilen saha içersindeki bakır tenörünün değişimi farklılıklar göstermektedir. Öyleki bu farklılıklar sahanın doğu tarafında oldukça artmakta minimum ve maksimum değerlere bu bölgede ulaşılmaktadır. Bunun yanında sahanın batı yakasında ise daha homojen bir yapı bulunmaktadır.



Şekil 4.15. : Bakır tenörünün saha içersindeki dağılımı gösterir harita.

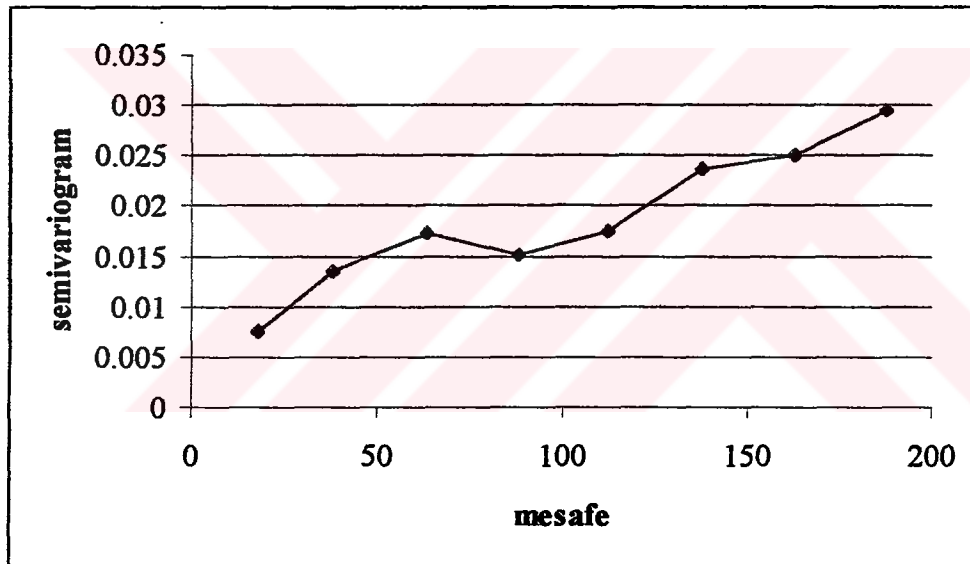
i) Kükürt değerinin Jeostatistiksel Değerlendirmesi ;

Asiköy bakır sahasında alınan sondaj loglarında yapılan incelemelerde bakır tenörünün yanında kükürt içeriğinde saptandığı için bölgede kükürtün nasıl dağıldığına dair araştırma yapmak mümkün olmuştur. Alınan bu kükürt içerikleri x ve y koordinatlarına bağlı olarak yazılarak bölgeselleştirilmişlerdir.

Değerlerin bölgeselleştirilmesinden sonra tıpkı diğer çalışmalarda olduğu gibi burdada GS+ yazılımı kullanılarak ilk önce deneysel sonra teorik semivariogramlar elde edilmiştir. Elde edilen deneysel deneysel semivariograma ait değerler tablo 4.14' da deneysel semivariogram ise şekil 4.16' da verilmiştir.

Tablo 4.14. : Kükürt içeriğine göre bulunan deneysel variogram sonuçları.

Sınıf No	Ortalama Mesafe	Ortama semivaryans	Çift sayısı
1	17.94	0.0076	47
2	38.24	0.0135	211
3	63.27	0.0173	318
4	88.26	0.0151	366
5	112.08	0.0175	403
6	137.67	0.0236	394
7	162.47	0.0251	368
8	187.60	0.0294	308

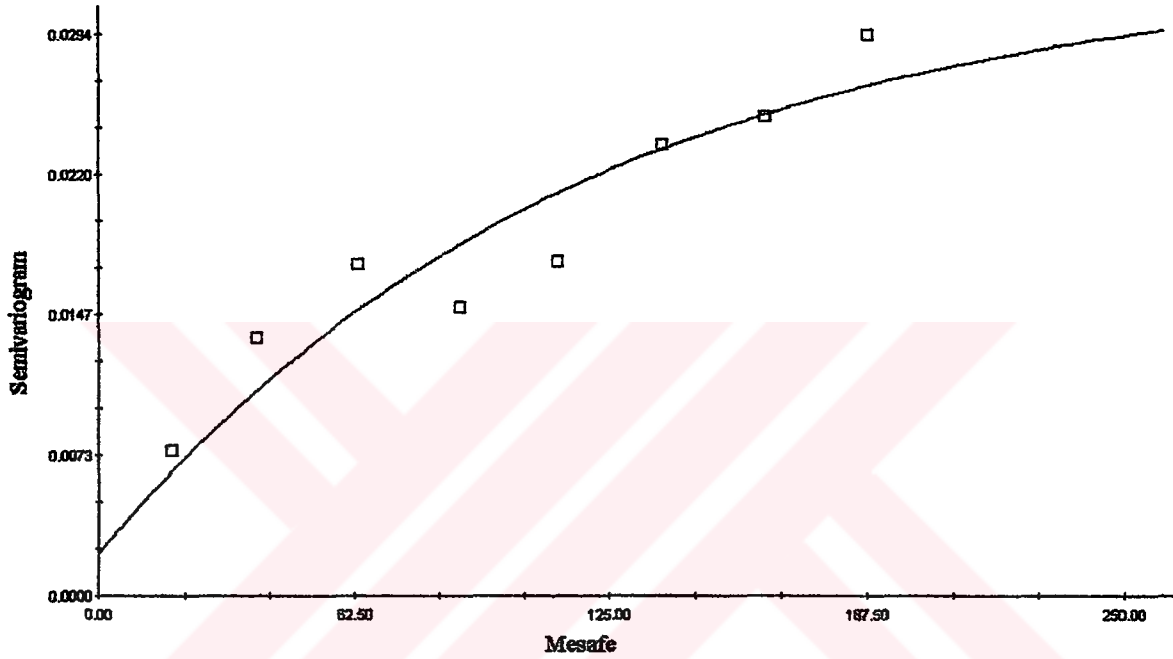


Şekil 4.16 : Kükürte ait deneysel semivariogram.

Teorik semivariogramda aynı yazılımda elde edilmiştir ve teorik variograma ait parametreler aşağıda çizelgede teorik variogram ise şekil 4.17' da verilmiştir.

Tablo 4.15. : Bakır tenörüne göre bulunan variogram parametreleri.

Variogram Parametresi	Ölçülen Değer
Model	Eksponansiyel
Külçe Etkisi	0,0022
Sill	0,0330
Etki alanı	355,8
Korelasyon Katsayısı	0,924



Şekil 4.17. : Kükürt içeriğine göre saptanan teorik semivariogram.

Teorik variogram ve parametrelerinden de görüleceği üzere, oldukça yüksek bir korelasyonda teorik bir variogram elde etmek mümkün olmuştur. Bu durum krigingde hata varyansının minimum olması ve yapılacak olan tahminlerin doğruluğunun yüksek olması açısından önemlidir. Böyle yüksek korelasyonda bir eğri elde edildikten sonra kriging tekniğinin çalıştırılması aşamasına geçilir.

Kriging tekniğinde de diğerlerinde olduğu gibi ilk önce saha bloklara ayrılıyor. Ayrılan bu blokların boyutları ve tahmin probleminin çözümünün gerçekleştirileceği sahanın sınırları aşağıda liste halinde verilmiştir.

Yön	Aralık		Blok boyu	Blok sayısı
X	555607	557859	23,4583	97
Y	4630592	4631196	25,1667	25

Bu şekilde sahanın sınırları tespit edildikten sonra, daha evvel elde edilen semivariogramdan hareket edilerek sahada kükürt içeriğinin nasıl dağıldığını gösteren harita çizilir. Kriging tekniğine dayandırılarak çizdirilen bu harita şekil 4.18.' de verilmiştir.

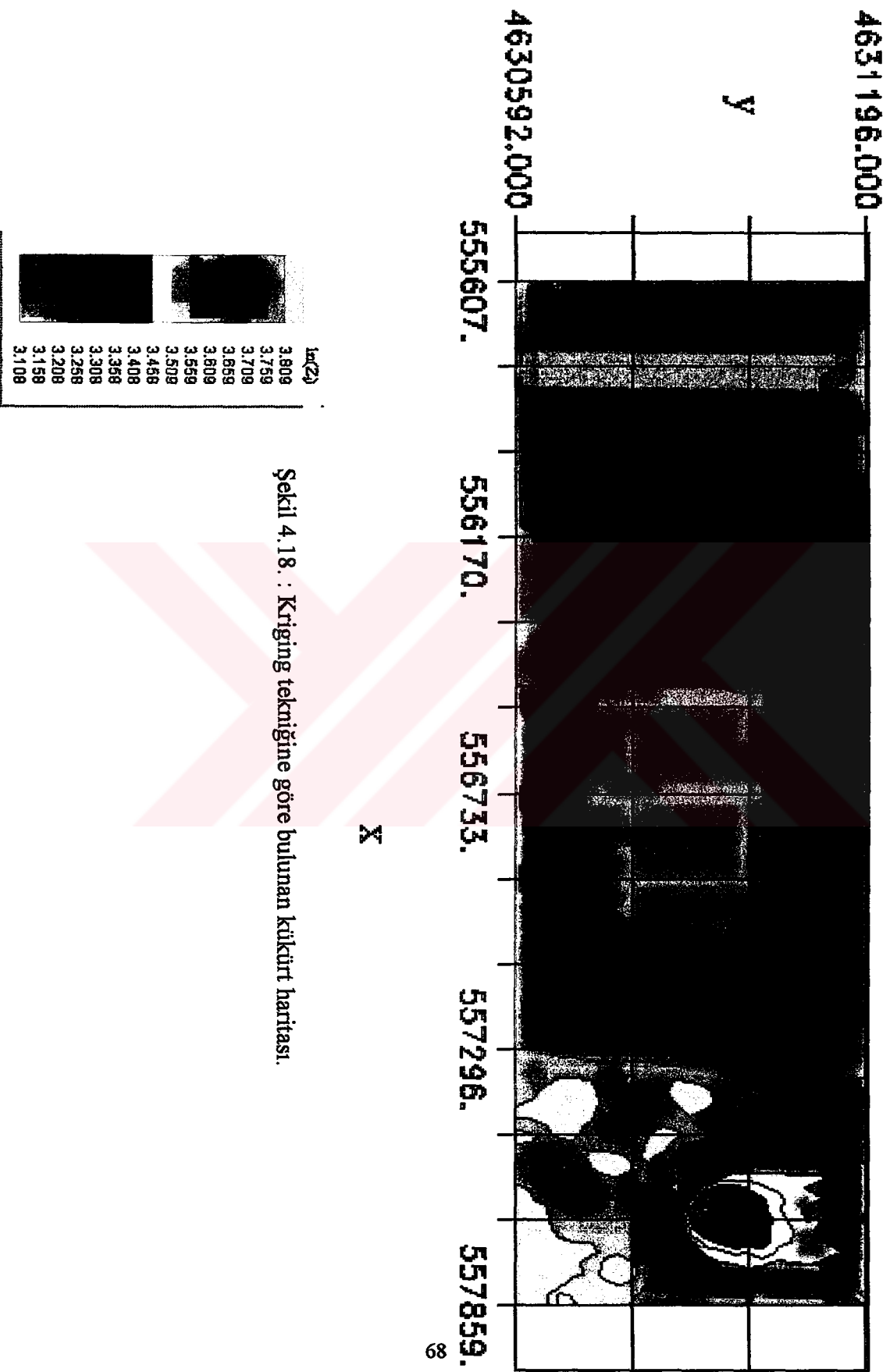
Aşağıdaki haritadan da görüldüğü üzere sahadaki kükürtün değişimi bakırın değişimine benzer bir özellik göstermektedir. Sahanın özellikle doğu yakasında kükürt değişimi maksimum ve minimum değerler arasında olmakta iken benzer şekilde batı yakası daha homojen bir davranış göstermektedir.

iii) Kalınlık değişiminin kriging tekniği ile kestirilmesi

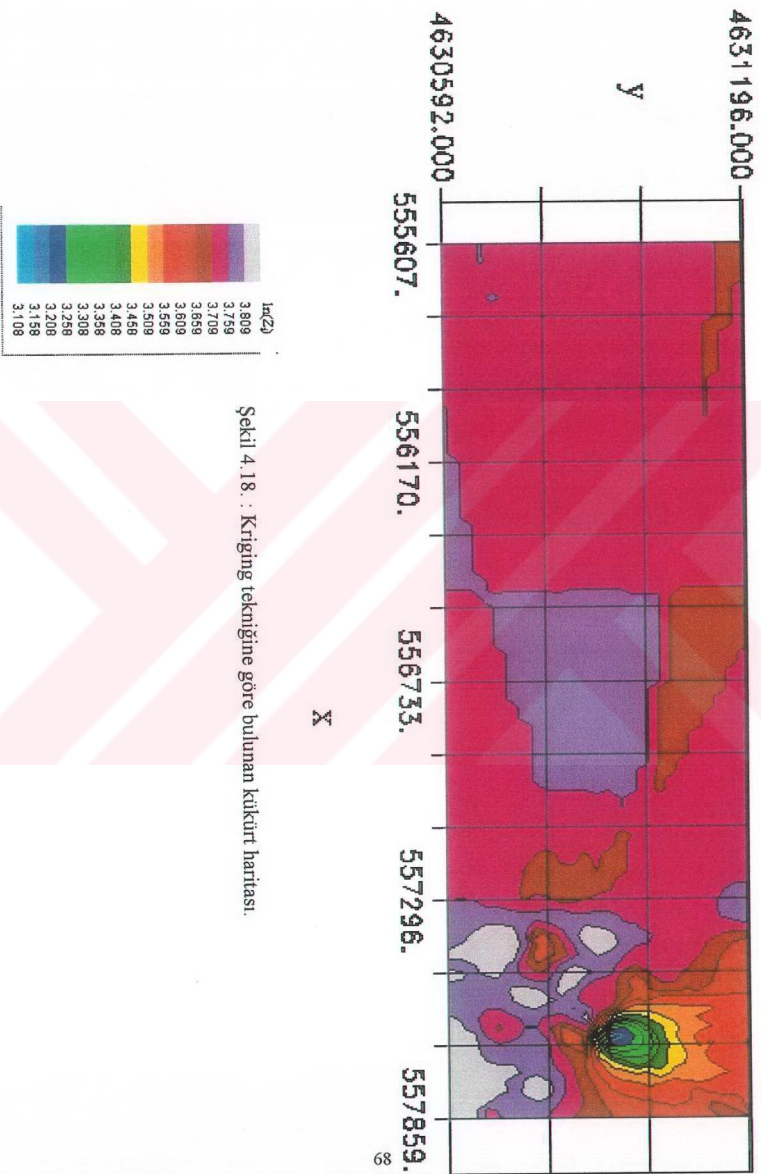
Bakır ve kükürt tenörlerinin incelenmesinden sonra son olarak sahadaki cevher kalınlığının değişimi hakkında fikir sahibi olmak içinde aynı aşamalardan oluşan bir araştırma yapılmıştır. Aşağıda deneysel semivariogram sonuçları ve şekli, teorik semivariogram şekli ve parametreleri verilmiştir.

Tablo 4.16. : Kalınlık değerine göre bulunan deneysel variogram sonuçları.

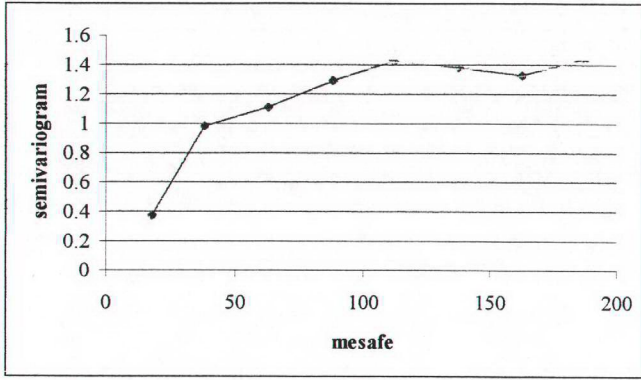
Sınıf No	Ortalama Mesafe	Ortama semivaryans	Çift sayısı
1	17.94	0.372	47
2	38.24	0.985	211
3	63.27	1.107	318
4	88.26	1.290	366
5	112.08	1.429	403
6	137.67	1.385	394
7	162.47	1.326	368
8	187.60	1.445	308



Şekil 4.18. : Kriging tekniğine göre bulunan kükürt haritası.

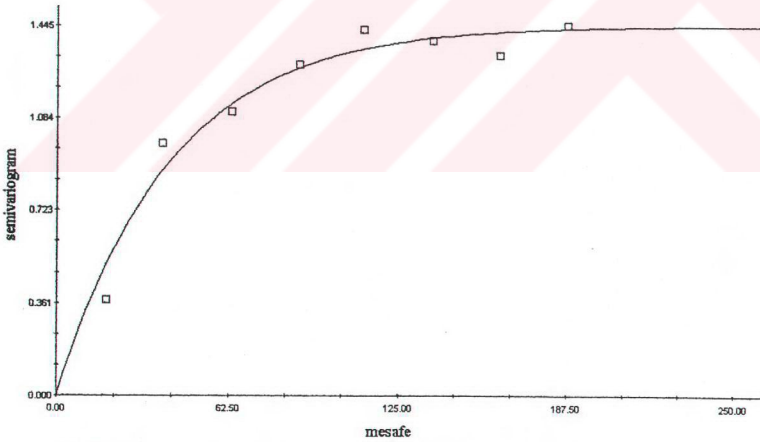


Şekil 4.18. : Kriging tekniğine göre bulunan kükürt haritası.



Şekil 4.19. : Kalınlık deneysel variogramı.

GS+ yazılımında deneysel variogram sonuçlarından hareket edilerek elde edilen teorik semivariogram şekil 4.20’ de variogram parametreleri ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 4.20. : Cevher kalınlığına ait teorik semivariogram.

Tablo 4.17. : Cevher kalınlığına göre bulunan variogram parametreleri.

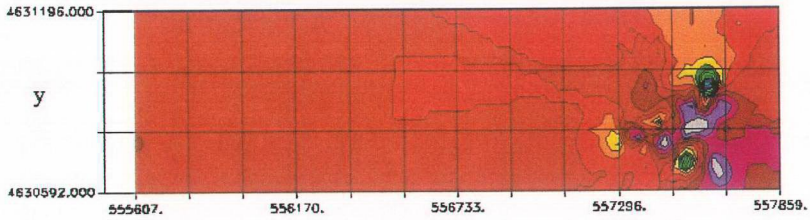
Variogram Parametresi	Ölçülen Değer
Model	Eksponansiyel
Külçe Etkisi	0,0001
Sill	1,445
Etki alanı	123
Korelasyon Katsayısı	0,978

Cevher kalınlığına göre de diğerlerinde olduğu gibi yüksek korelasyona sahip bir teorik variogram elde etmek mümkün olduğu için sahanın kriging yöntemi ile araştırılması mümkün olmuştur. Kriging yöntemine göre araştırılacak olan sahaya ilişkin parametreler şu şekildedir ;

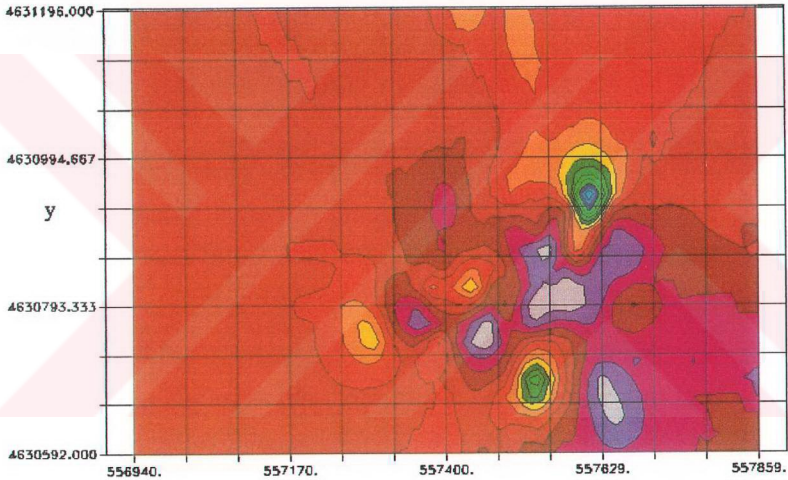
Yön	Aralık		Blok boyu	Blok sayısı
X	555607	557859	23,4583	97
Y	4630592	4631196	25,1667	25

Bu parametrelere bağlı olarak bulunan kalınlık haritası aşağıda verilmiştir.

Elde edilen birinci model şekil 4.21-a’ da verilmiştir. Bu şekilde sahada kalınlık değişkenin genel olarak değiştiği bölge olarak x yönünde 556940 – 557859 noktaları arası olduğu sonucu çıktığı için ikinci bir model y yönü ile ilgili parametreler aynı kalmak koşulu ile x yönü yukarıda belirtilen aralık içine alınmış ve ikinci bir model oluşturulmuştur. Bu modelde x yönündeki bir bloğun uzunluğu 6,5729 m olmakta ve blok sayısı 97 olarak kalmaktadır. Bu ikinci modelde şekil 4.21-b’ de verilmiştir. Her iki modelden de görüleceği üzere sahada diğer tenör araştırmalarında olduğu gibi özellikle doğu bölgesinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Öyleki cevher kalınlığına ait maksimum ve minimum değerlere bu bölgede ulaşılmaktadır. Ancak x yönünde 557170 noktasının batısında kalan bölgede cevher kalınlığının değişmediği gözlenmektedir. Her üç değişken içinde benzer sonuçların çıkması yapılan işlemi ilginç kılmaktadır.

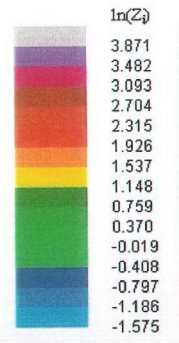


X
(a)



X
(b)

Şekil 4.21. : Cevher kalınlığının değişimini gösteren haritalar.



i) Bakır içeriğinin dağılımının PCSV tekniği ile kestirilmesi ;

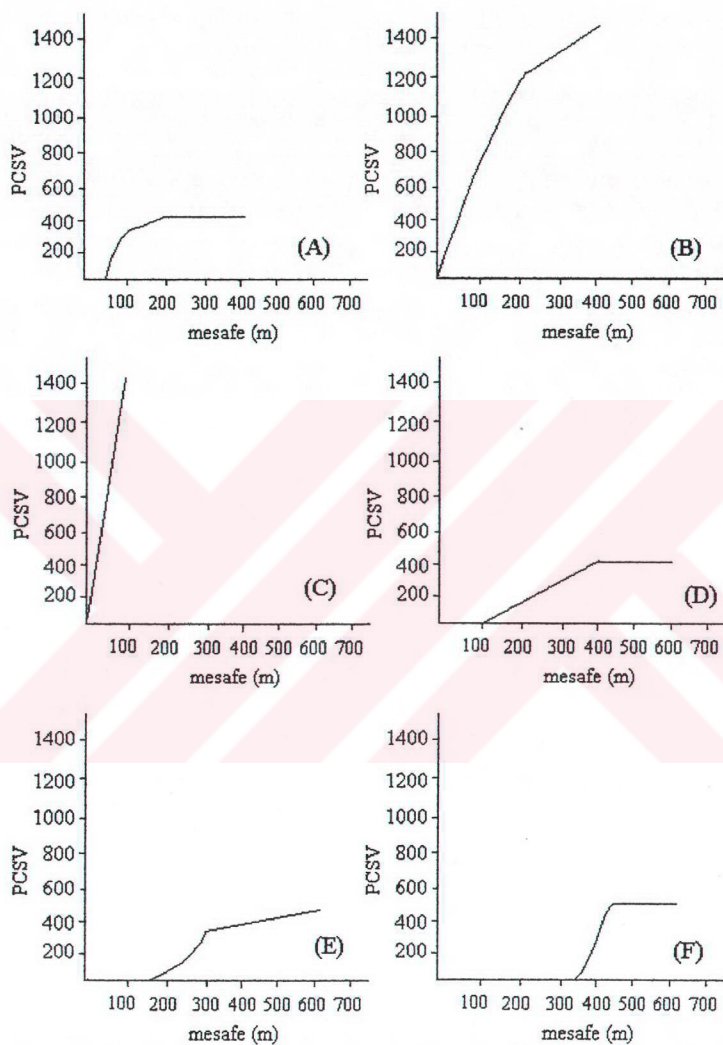
Yukarıda da değinildiği üzere ilk önce 129 ayrı data noktası için 129 ayrı grafik elde edilmiştir. Bu 129 grafik kendi içersinde 6 ayrı gruba ayrılmıştır. Bu 6 grafik sahada incelenilen bakır içeriği değışkenin nasıl değıştiğine dair yorum yapılmasında kullanılır. Aşağıdaki şekilde bu 6 ayrı grafik bulunmaktadır. Şekli verilen 6 grubun yorumu ise şekli takiben verilmiştir.

A grubunda PCSV eğrisi x eksenini yaklaşık 50. m' lerde kesmiştir. Bu durum 50 m içersinde bakır içeriğinde homojenlik gösterdiği anlamına gelir. Bundan sonra eğri yaklaşık 200 m' ye kadar parabolik olarak artmaktadır. Bu durum 50. m' den sonra bakır içeriğinde meydana gelen ani değışimleri göstermektedir. Fonksiyon 200 m' den sonra ise yatay lineer hale gelmektedir ki bu durumda bakır içeriğinin gene ilk baştaki içerikle aynı olduğu anlamına gelir.

B grubunda eğri orjinden geçmekte ve kısa mesafede büyük bir artış göstermektedir. Bu durum kısa mesafelerde dahi bakır içeriğindeki yüksek değışimlere işaret etmektedir. Bunun yanında yaklaşık 200 m sonra artış ivmesinin azaldığı görüldüğü, bu durum değışimin daha üniform olduğunu gösterir yani bu metreden itibaren meydana gelen değışim daha azdır ve linner olarak artmaktadır.

C grubunda ise PCSV eğrisi B' ye benzer şekilde orjinden geçmekte ve büyük açı ile lineer olarak artış göstermektedir. Kısa mesafede meydana gelen bu büyük artış büyük değışimlere işaret etmektedir. Bu ise heterojenliğin çok olduğu bölgeyi göstermektedir. Artışın sürekliliği ise, bu noktalarda bakır içeriğinin arazinin genelini yansıtmadığını ve yüksek değışime sahip olduğunu gösterir.

D grubunda ise eğri x eksenini 100 m' de kesmektedir. Bu durum 100 m içersinde bakır içeriğinde bir değışim olmadığını gösterir, bunun yanında takip eden 300 m içersinde değışim lineer olarak artmaktadır. Bu durum ise, değışimin belli bir bağıntı ile meydana geldiğini gösterir. Daha sonra gelen yatay lineer davranış ise bakır içeriğinde başka bir değışimin olmadığını gösterir.



Şekil 4.22. : Bakır içeriğine ait PCSV grafikleri.

E grubunda ise 150 m içersinde bakır içeriğinde bir değişim söz konusu değildir. Takip eden mesafelerde ise parabolik oranda artan bir artış gözlemlendikten sonra tekrar çok küçük değişimlerin gözlemlendiği bölgeye girilmektedir.

Son grupta ise yaklaşık 350 m' lik bir alanda bakır içeriği homojen özellik göstermektedir. Ancak daha sonra meydana gelen hızlı artış kısa mesafede büyük bir değişimin meydana geldiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, incelenilen sahada bakır içeriği kısa mesafelerde homojenlik gösterdikten sonra daha sonra büyük değişimler göstermektedir. Bu durum ise sahada belli bölgelerin birbiri ile aynı bakır içeriğine sahip bölgelerden oluştuğunu gösterirken, diğer bölgelerde ise, farklılaşmanın mevcut olduğu sonucunu ortaya çıkarır.

ii) Kükürt içeriğinin dağılımının PCSV tekniği ile kestirilmesi ;

Belirlenen saha içersinde bakır içeriğinin olduğu gibi kükürt içeriğinde değişiminin bulunması için PCSV tekniği kullanılarak araştırma yapılmıştır. Aynı veri bankası için yapıldığı için 129 tane PCSV grafiği elde edilmiştir. Bu 129 grafikten benzer özellik gösterenler 5 ayrı grupta toplanmıştır. Bu beş grup şekil 4.23.' de gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde verilen PCSV gruplarından A grubunda, PCSV eğrisi x eksenini kestikten sonra büyük açı ile lineer olarak artmaktadır. Bu durum yaklaşık olarak örnek noktalarından 50 m mesafede bir homojenliği, bu mesafeden sonra ise lineer bir değişimi göstermektedir. Daha sonra meydana gelen yatay lineer davranış ise 300 m sonra kükürt içeriğinin sabit kaldığını gösterir.

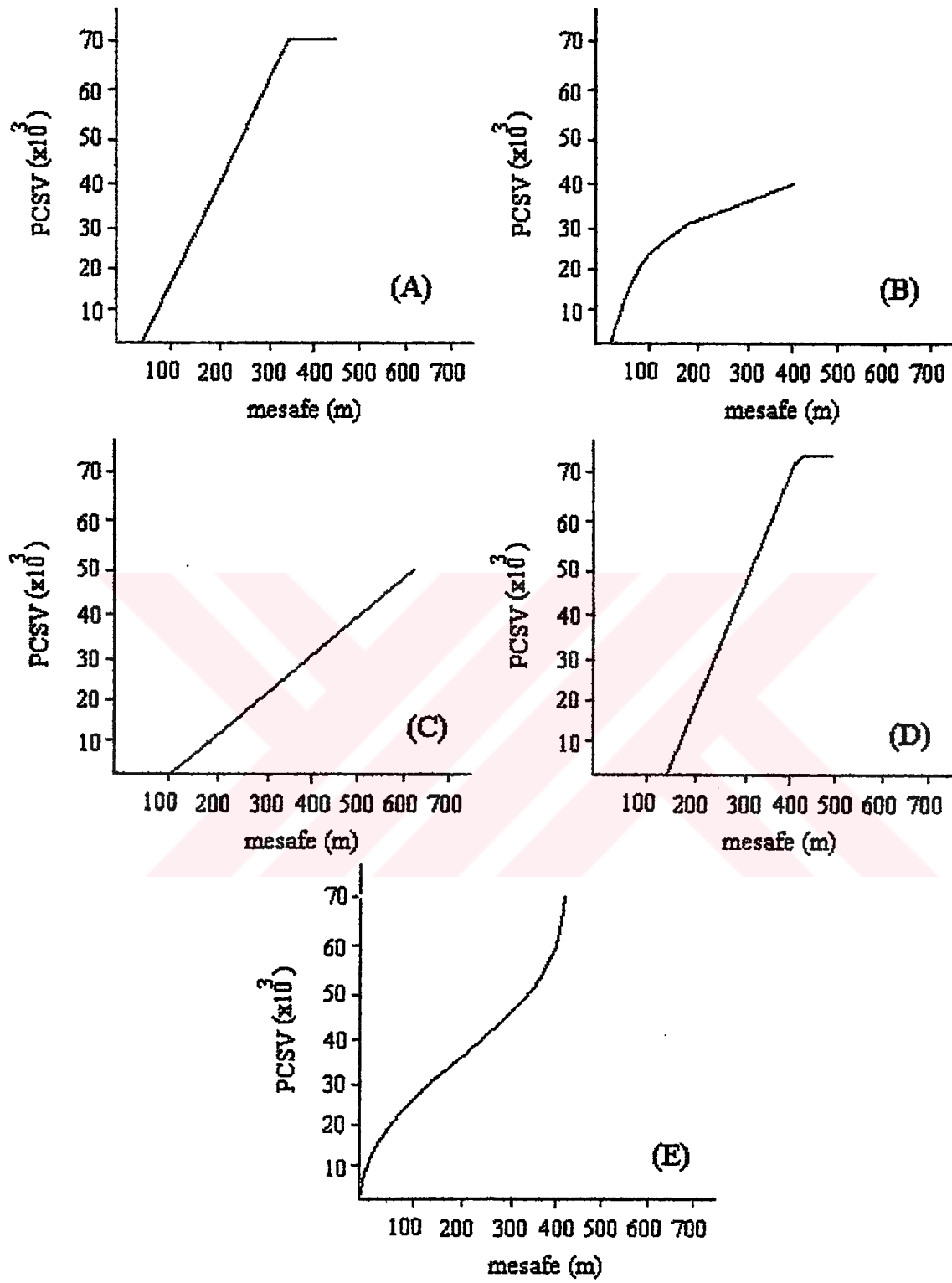
B grubunda ise, eğri gene x eksenini kesmekte, ancak bu noktadan sonra parabolik olarak artmaktadır. Bu durum kısa mesafeli bir homojen durumdan sonra meydana gelen heterojenliği göstermektedir.

C grubunda benzer olarak PCSV eğrisi x eksenini 100. m' de kestikten sonra lineer olarak artış göstermektedir. Bu durumda tıpkı A grubunda olduğu gibi lineer olarak meydana gelen değişimi gösterir, ancak bu grun A grubundan farkı meydana gelen değişimin A grubuna nazaran çok daha az olmasıdır, yani bu grubu oluşturan örnek noktalarından itibaren meydana gelen değişim daha az olmaktadır.

D grubu A grubu ile benzer özellik göstermektedir. Ancak farkı x eksenini daha uzun mesafede kesmesinden dolayı homojen olan bölgenin daha büyük bir çapta gerçekleşmiş olmasıdır.

E grubunda ise PCSV eğrisi yatayla 45° lik açı yapan bir çizgi etrafında geniş dalgalanma göstermektedir. Bu durum klasik jeostatistikteki külçe etkisi ile aynı anlama gelmektedir. Bu durum ise bu bölgelerde heterojenliğin çok yüksek olduğunu gösterir.

Sonuç olarak sahada kükürt içeriğinin dağılımını incelemeye yönelik yapılan çalışma ile, kükürt dağılımının bakır dağılımına benzerlik gösterdiği ancak bakıra oranla biraz daha homojen olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 4.23. : Kükürt içeriğine ait PCSV grafikleri.

iii)Cevher kalınlığı dağılımının PCSV tekniği ile kestirilmesi ;

İncelenilen sahada cevher kalınlığı değişiminin tespit edilebilmesi içinde PCSV tekniği kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada elde edilen 129 PCSV grafiği 8 ayrı grupta toplanmıştır. Elde edilen bu gruplar şekil 4.24.' de gösterilmiştir.

A grubunda eğri x eksenini kestikten sonra küçük bir parabolik artış, daha sonra lineer bir artış, meydana geldikten sonra bu olay iki kere kendisini tekrar etmiştir. Bu durum sondaj noktalarından 80 m. mesafede cevher kalınlığının sabit olduğunu daha sonra ise hızlı değişimin meydana gelmesini sağlayan bir bölgenin varlığını ve eşit oranda artış veya azalışların meydana gelmesini sağlayan bir başka bölgenin varlığını gösterir. Sonuç olarak sondaj noktalarından belli mesafeler itibariyle birbiri içerisinde aynı özelliğe sahip bölümlerin olduğunu gösterir. Bu davranış tekrarlanması ise bu bölümlerin sayısını gösterir.

B grubunda ise eğri x eksenini kestikten sonra parabolik bir artış meydana gelmektedir. Bu durum A grubunda hareket edilerek ortaya konulan tezi desteklemektedir. Basamak sayısının azlığı ise bu grubu oluşturan bölgeselleştirilmiş değerlerin saha genelinde daha yaygın olmasından kaynaklanmaktadır.

C ve D grubunda benzer bir davranış söz konusudur. Her iki grupta da eğri x eksenini kısa bir mesafede kesmektedir ve daha sonra lineer olarak bir artış göstermektedir. Sürekli lineer olarak meydana gelen bu artış değişimin varlığını ve bu değişimin belli kurallar içersinde olduğunu gösterir. İkisinin farkı ise D grubundaki lineer eğrinin yatayla yaptığı açının daha yüksek olmasıdır. Bu durumda D grubundaki değişim miktarının daha çok olmasından kaynaklanmaktadır.

E grubunda eğri x eksenini keser kesmez, parabolik şekilde artan bir özelliğe göstermektedir. Bu durum, sondaj noktalarından belli mesafe sonra bölgeselleştirilmiş değişkenin değerinde meydana gelen önemli değişimleri göstermektedir. Ancak, 250

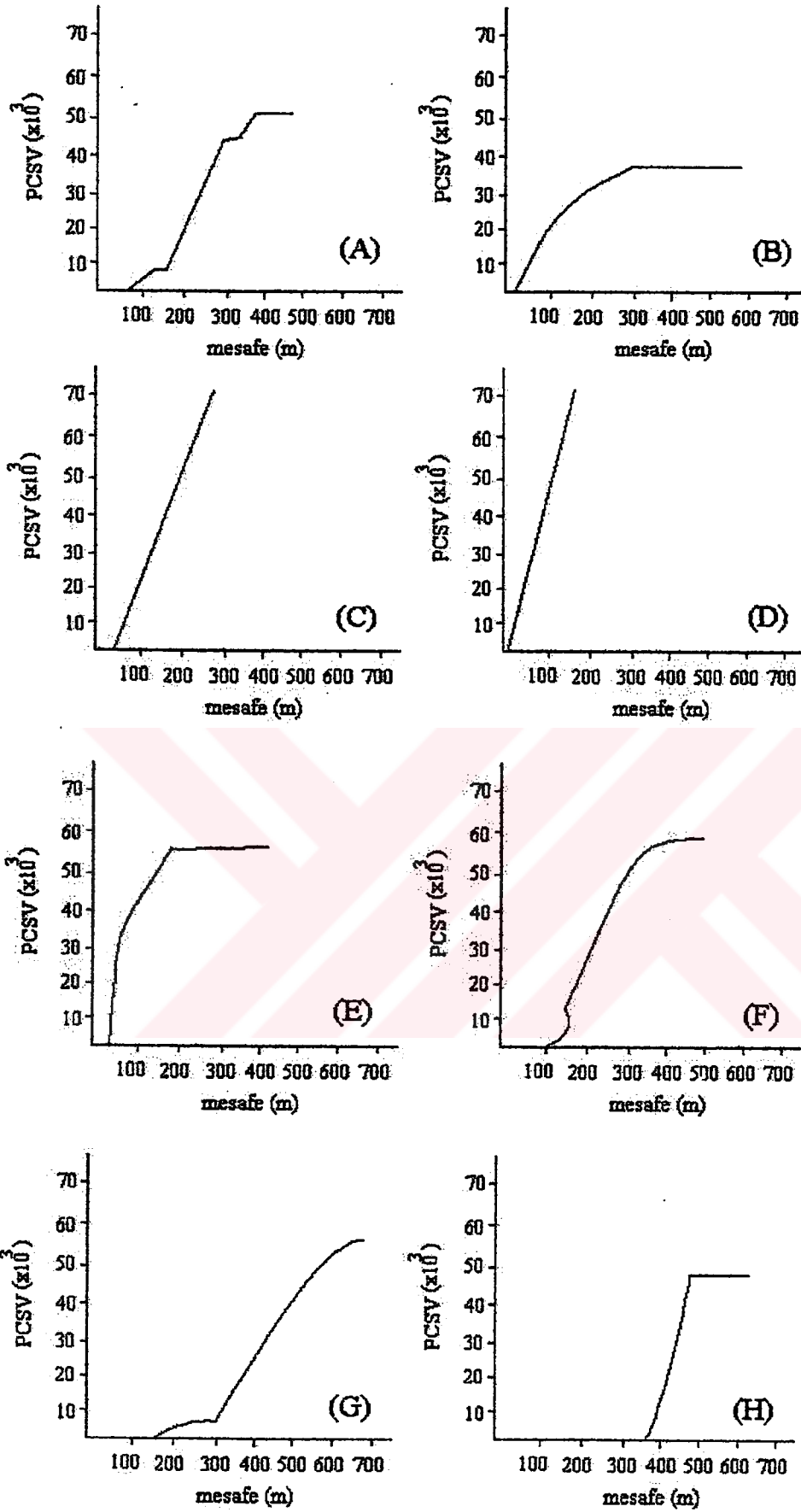
m sonra meydana gelen yatay lineer davranış, belli bir mesafe sonra cevher kalınlığının sabit hale geldiğini ve değişimin olmadığını gösterir.

F grubunda eğri x eksenini kestikten sonra parabolik bir davranış, daha sonra lineer artan bir davranış ve son olarakda tekrar parabolik azalan bir davranış göstermiştir. Bu durum A grubunda meydana gelen davranış ile benzeşmektedir. Bu durumda sahada kendi içersinde belli özellikler gösteren grupların biraraya geldiğini gösterir.,

G grubundaki davranışda F grubundaki davranışa benzemektedir. Ancak x eksenini daha uzun mesafede kesmiş olması cevher kalınlığının daha uzun mesafe boyunca değişime uğramadığını gösterir. Ancak bu mesafeden sonra tekrar meydana gelen farklı açılardaki parabolik artışlar diğer bölümlere girildiğini gösterir.

H grubunda ise eğri x eksenini oldukça uzun mesafede kesmiştir. Bu durum uzun bir mesafede homojen bir davranışı gösterir bunun yanında akabinde meydana gelen hızlı artış büyük değişimi gösterirki, bu durum saha içersindeki en yoğun cevher kalınlığı değerinden sonra meydana gelen değişimi göstermektedir.

Sonuç olarak, cevher kalınlığı sahanın belli bölgelerinde benzer olmasına karşın bazı bölgelerde çok önemli değişimlerin meydana gelmesini sağlayacak derecede farklıdır. Bu durumsa kendi içersinde homojen olan grupların birleşmesi ile ortaya çıkan heterojen grubu temsil etmektedir. Bunun yanında sahada en yaygın olan cevher kalınlığına ait olan grup x eksenini 350 m' de kesen H grubudur.



Şekil 4.24. : Cevher kalınlığına ait PCSV grafikleri.

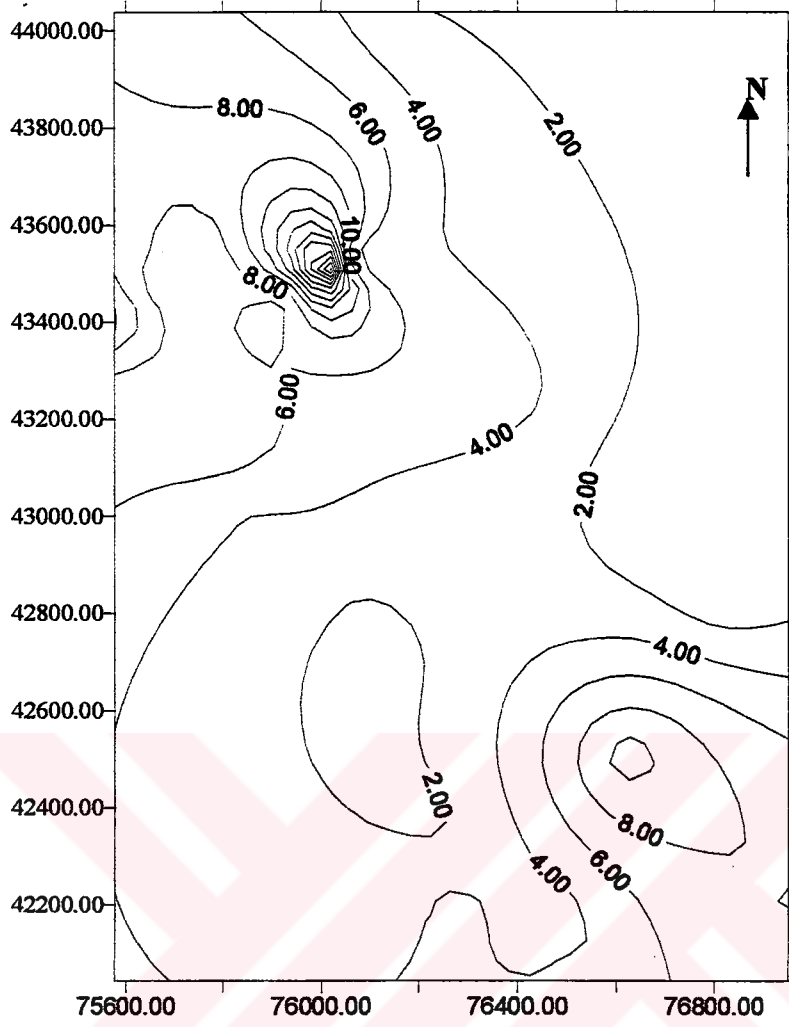
4.3. PCSV Tekniği Kullanılarak Tahmin Problemlerinin Çözümü

Yeniköy kömür maden ve Asiköy bakır sahası için yapılan çalışmalar sonucunda söz konusu sahalarda incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenlere ait PCSV grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler kullanılarak incelenilen değişkenin dağılımına yönelik yorumlar ilgili bölümlerde yapılmıştır. Ancak, hangi noktada ne tarz bir heterojenitenin varlığının belirlenmesi için PCSV değerlerinden hareket edilerek sahada konturlama yapılmıştır. Konturlama işlemi aşağıda anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir ;

Konturlama işlemine geçilmeden önce sahada hangi mesafe aralıklarında PCSV değerlerinin değişiminin inceleneceği belirlenir. Bu değer afaki olabileceği gibi semivariogram grafiklerinden elde edilen etki alanı değeri olarak da seçilebilir. Bu değeri (h) tespit edildikten sonra bütün PCSV – h grafikleri için saptanan h değerine tekabül eden PCSV değeri okunarak o noktaya ait x-y koordinata yazılır. Bu işlem bütün veri noktaları için yapılarak bütün veri noktalarına ait PCSV değerleri belirlenir. Bu işlemten sonra oluşturulan bu yeni veri seti surfer programına girilerek sahanın kontur haritası çıkarılır. Bu sayede sahadaki veri noktalarından hareket edilerek her nokta için PCSV değeri tespit edilir.

i) Kömüre Giriş Kotuna Ait PCSV Kontur Haritası

Kömüre giriş kotu için saptanan h mesafesi değeri 600 m olmuştur. Bu işlemten sonra tüm data noktaları için PCSV değerleri belirlenmiş ve yukarıda belirtildiği üzere konturlama işlemi yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen kontur haritası şekil 4.25' de verilmiştir.

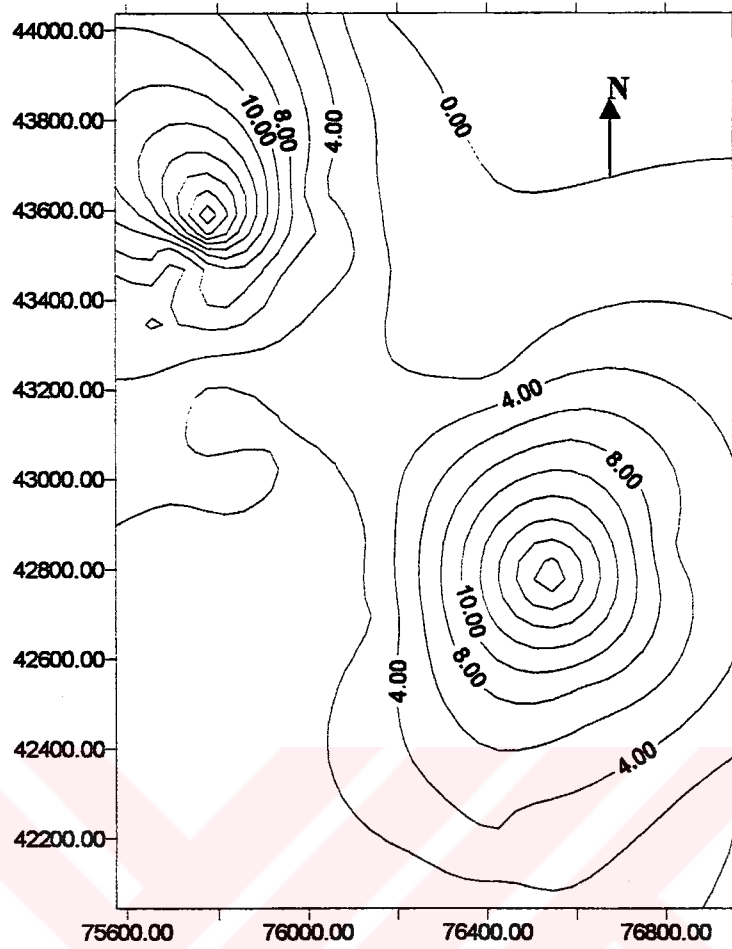


Şekil 4.25 : 600 m mesafeye göre bulunan kömüre giriş kotuna ait PCSV kontur haritası (kontur değerleri 10000' bölünmüştür).

Yukarıda konturlama ilemi de göstermiştir ki, sahanın özellikle kuzey batı kesiminde değişim oranı hızla artmakta doğu batı çizgisinde ise daha homojen bir yapı arz etmektedir.

ii) Kömür Kalınlığına Ait PCSV Kontur Haritası

Benzer şekilde kömür kalınlığına bağlı olarak elde edilen PCSV kontur haritasıda şekil 4.26' da verilmiştir.



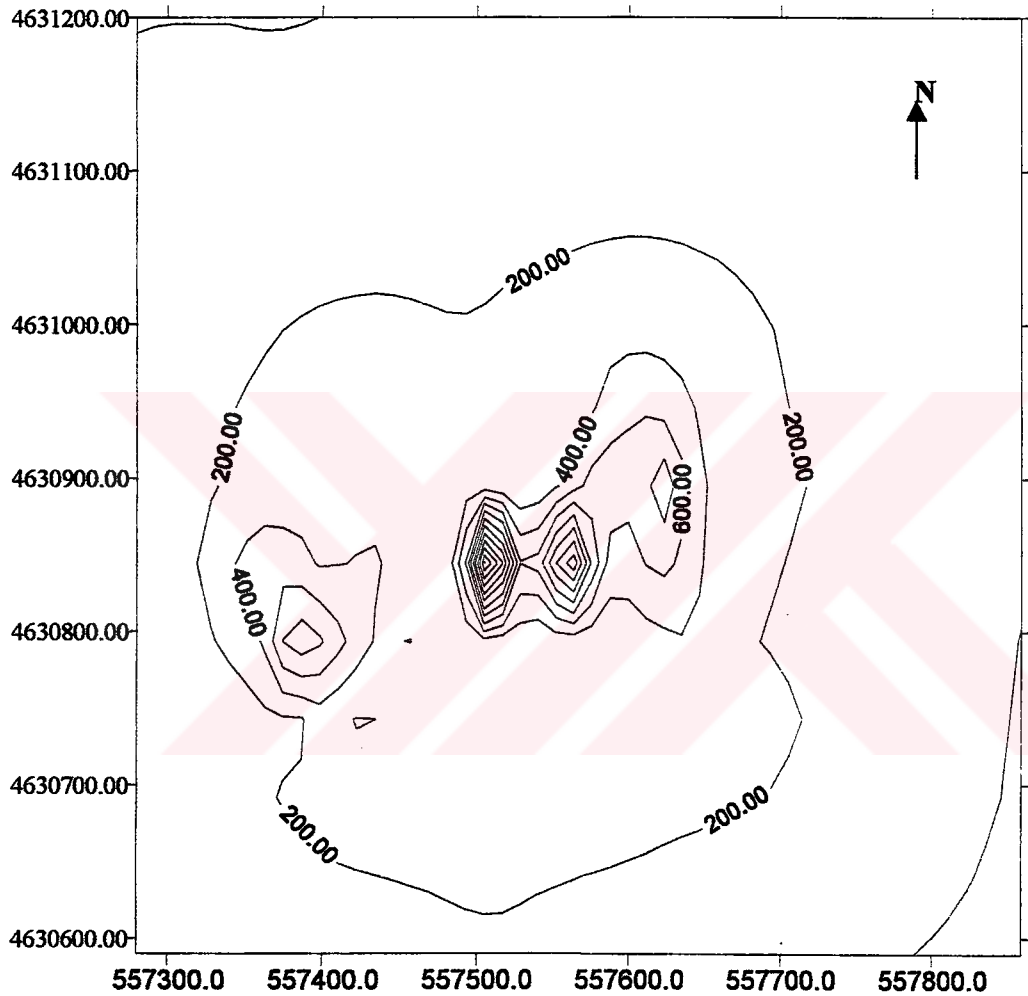
Şekil 4.26 : Kömür kalınlığına ait PCSV kontur haritası.

Kömür kalınlığına ait PCSV haritası oluşturulurken mesafe aralığı 300 m olarak belirlenmiştir. Bu değer etki alanının üzerinde olmasına karşın çıkarılan kontur haritası ile kriging tekniğinin çalıştırılması sonucunda elde edilen harita arasındaki benzerlik gerek yapılan yorumların doğruluğuna gerekse PCSV tekniği kullanılarak elde edilen kontur haritasının doğruluğuna işaret etmektedir.

iii) Bakır Tenörüne Ait PCSV Kontur Haritası

Küre Asiköy bakır cevheri maden yatağı için yapılan PCSV grafiklerinden elde edilen kontur haritalarında bu bölümde sunulmuştur. Bakır içeriğinin dağılımına yönelik yapılan çalışma sonucunda elde edilen PCSV grafiklerinde mesafe 225 m alınarak tekabül eden PCSV değerleri okunmuş ve kontur haritasının çizimi için gerekli olan

veri dosyası hazırlanmıştır. Bu çalışmayı müteakiben elde edilen bakıra ait PCSV kontur haritası şekil 4.27’ de verilmiştir. Sahada yapılan çalışmalarda sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin sahanın doğu kesiminde önemli değişimler gösterdiği buna karşı batı kesiminde bir değişim olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu sonuçtan hareket ederek PCSV kontur haritasıda sahanın doğu kesimi için çıkarılmıştır



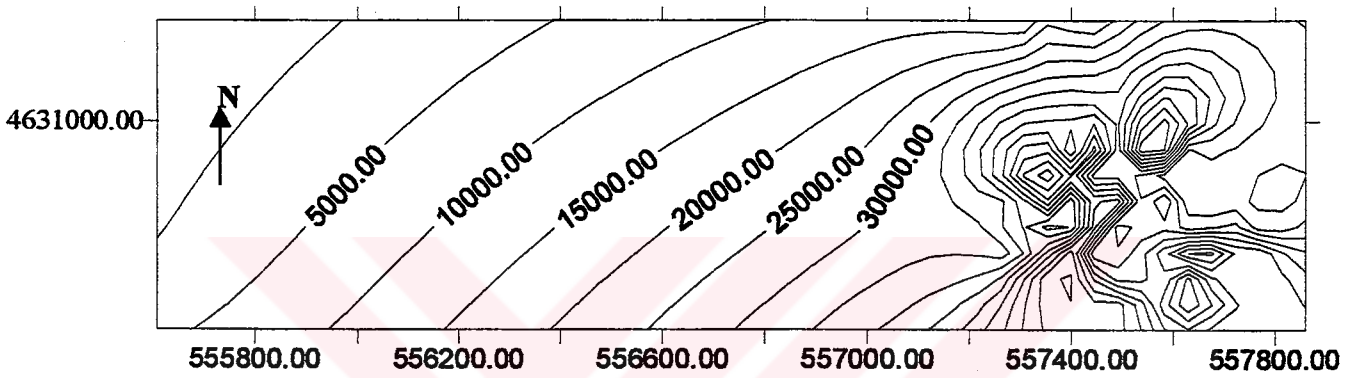
Şekil 4.27 : Bakır içeriğine ait PCSV kontur haritası.

Yukarıdaki harita incelendiğinde, sahanın özellikle doğu bölümünün bakır içeriği açısından heterojenlik arz ettiği ve maksimum ve minimum bakır değerlerine sahanın bu bölgesinde ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum semivariogramdan yararlanılarak elde edilen kriging haritasında da benzer bir sonuç çıkarmaktadır. Sahada bakır içeriğinin maksimum ve minimum değerlere ulaştığı bölümler sahanın doğu

kesimidir. Özellikle bu kesimde iki ayrı bölgede adese şeklinde bir yapılanma dikkat çekicidir. Bu durum kriging ile elde edilen haritanın sonucu ile örtüşmektedir.

iv) Kükürt İçeriğine Ait PCSV Kontur Haritası

Asiköy sahasında bölgeselleştirilen bir diğer değişken olan kükürt içeriği içinde PCSV kontur haritaları 355 m mesafe için çıkarılmıştır. Bu çıkarımların sonucunda elde edilen kontur haritası şekil 4. 28’ de verilmiştir.

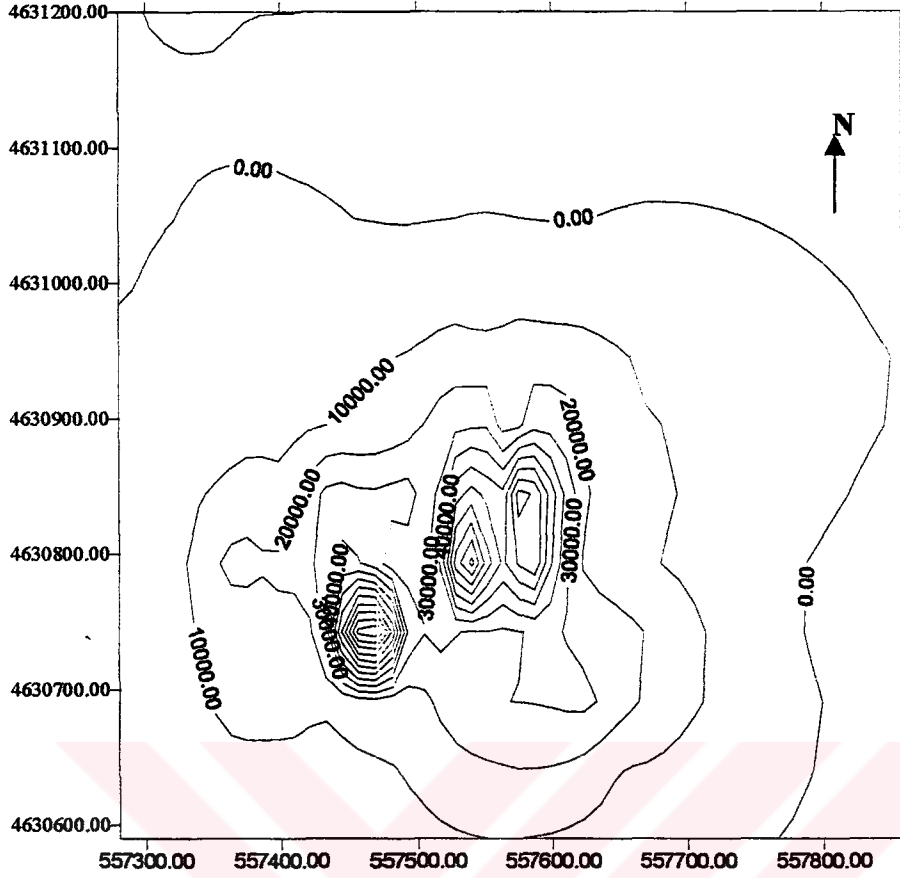


Şekil 4. 28 : S içeriğine ait PCSV kontur haritası.

Bu harita ile kükürte ait kriging haritasının karşılaştırılması da bizi benzer sonuçlara ulaştırmaktadır. Sonuç olarak, sahanın kükürt içeriği açısından incelenmesi ile değişkenin sahanın özellikle doğu bölümünde önemli değişimlere sahip olduğu görülmektedir.

v) Cevher Kalınlığına Ait PCSV Kontur Haritası

Sahada cevher kalınlığının değişimine ilişkin çıkartılan PCSV grafiklerinden PCSV kontur haritasını elde etmek için mesafe aralığı 125 m olarak seçilmiştir. Bu işlemten sonra elde edilen PCSV kontur haritası şekil 4.29’ da verilmiştir. Kriging uygulamalarında sahada cevher kalınlığı açısından incelenme gereksinimi olan bölge sahanın doğu kesimi çıkmıştır. Bu sebepten dolayı, PCSV kontur haritası sahanın doğu kesimi için çıkarılmıştır.



Şekil 4. 29 : Kömür kalınlığına ait PCSV kontur haritası.

Bu haritada kriging haritasına benzer bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Keza bu dağılım bakır içeriği dağılımı ilede örtüşmektedir. Metal maden yataklarında olması beklenen adese şeklindeki yapılanmanın izleri bu kontur haritalarında kendini göstermektedir.

5.KARŞILAŞTIRMA

Belirlenen bir uzay içersinde bir değişkenin nasıl dağıldığını saptamak amacıyla bugüne değin çok farklı teknikler geliştirilmiştir. Bu tezde bu tekniklerden ikisi olan kriging tekniği ve PCSV tekniği kullanılmıştır. Her iki tekniğinde amacı belirtildiği gibi tahmin problemine çözüm üretebilmektir.

Karşılaştırma yapabilmek için bir kömür sahası ve bir metal madeni seçilmiş ve 4. bölümde uygulamalar yapılmıştır.

i) Kömür yatağı için yapılan çalışmaların karşılaştırılması

Kömür madeninde kömüre giriş kotu ve kömür kalınlığı bölgeselleştirilmiş değerler olarak incelenmiştir. Yapılan istatistiksel inceleme kömüre ait elde edilen değişkenlerin beklenilenin tersine bir davranış göstererek heterojen bir ortamın varlığına işaret etmiştir.

Kömüre giriş kotuna göre 12 PCSV grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu grafikler yorumlandıkları zaman ortaya çıkan sonuç şu olmuştur ; Bölgede belli bir mesafede homojen bir davranış söz konusu iken bu homojen davranışı bozan jeolojik bir olay (faylanma, tektonizma) yüzünden bir heterojenlik söz konudur.

Kömür kalınlığı içinde benzer çalışma yapılmış ve yapılan bu çalışma sonucunda 10 farklı PCSV grubu elde edilmiştir. Gerek kömüre giriş kotu gerekse kömür kalınlığı için elde edilen grup sayısının fazlalığı dahi heterojenliğe işaret etmektedir. Bunun yanında kömür kalınlığı için yapılan nihai yorum sahada kömür kalınlığının kendi içersinde homojen olan grupların birleşmesi sonucunda meydana gelen heterojen bir yapının varlığı mevcuttur şeklinde olmuştur.

PCSV çalışmasının yapılması ile gerek kömür kalınlığının gerekse kömüre giriş kotunun değişimine ilişkin global yorumlar elde etmek mümkün olmuştur. Bu sayede kömür yatağında incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenlerin heterojenlik arz ettiği ve mevcut jeolojik bir olaydan bu heterojenliğin yüksek olduğu izlenimi ortaya çıkmıştır. Ancak, incelenilen saha içersinde hangi bölgenin heterojen hangi bölgenin ise homojen bir yapı arz ettiğinin tespit edilmesi için PCSV değerlerinden hareket edilerek kontur haritaları çizdirilmesine gerek duyulmuştur. Bu amaçla çizdirilen ve şekil 4.26 ve 27' de verilen kömüre giriş kotuna ve kömür kalınlığına ait kontur haritaları incelendiğinde, bölgede kuzey-batı güney-doğu kısımlarında heterojen bölgelerin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kriging tekniği kullanılarak yapılan çalışma sonucunda ise, kömüre giriş kotu için sahada özellikle kuzeybatı ve güneydoğu bölümlerinde mavi ile gösterilen bölümlerde bir göçük olduğu izlenimi ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında diğer bölümlerde belli oranlarda artış ve azalış meydana gelmektedir. Bu durum PCSV tekniği kullanılarak yapılan yorumları destekler niteliktedir. Şöyleki o bölümdede homojenliğin belli oranlarda artışlar ve azalışlar ile meydana geldiği ancak bazı bölgelerde homojenliği bozacak kendi içersinde homojen olan grupların varlığından bahsedilmiştir. Şekil 4.7.' de verilen haritada özellikle mavi renkle gösterilen gruplar bu tezi destekler.

Kömür kalınlığına göre çizdirilen haritadan hareket edilerek kömür kalınlığının sahanın genelinde 0,8 m dolayında olduğu ancak bazı bölgelerde bu değer 0,4 ile 3,6 m arasında değiştiği görülmektedir. Bu durumda gene PCSV tekniği kullanılarak yapılan yorum ile aynıdır.

Sonuç olarak PCSV ve kriging tekniği karşılaştırmak amacıyla kömür yatağında yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ; gerek kömüre giriş kotu için gerekse kömür kalınlığı için PCSV tekniğine dayandırılarak yapılan yorumlar kriging tekniği kullanılarak elde edilen haritada kendini göstermiştir. Keza bu durum PCSV kontur haritalarının incelenmesi ile de pekiştirilmiştir. Bu durum bu tarz yataklar için PCSV tekniği kullanılarak global yorumların yapılabileceğini

gösterirken, diğer taraftan değişimlerin hangi sınırlar içerisinde nasıl olduğunun tam olarak saptanamadığıda gözlenmiştir.

ii) Metal maden yatağı için yapılan çalışmaların karşılaştırılması

PCSV ve kriging tekniklerinin metal madenlerinde uygulamalarının karşılaştırılması amacıyla Küre Asiköy bakır cevheri yatağında çalışma yapılmıştır ve yapılan bu çalışmanın sonuçları bir önceki bölümde verilmiştir.

Daha önceden de belirtildiği üzere bakır içeriği, kükürt içeriği ve cevher kalınlığı değerleri bölgeselleştirilerek belirlenen uzay içerisinde nasıl dağıldıklarının tespitine çalışılmıştır.

PCSV tekniği kullanılarak bakır içeriğinin dağılımının araştırılması sonucunda 6 ayrı PCSV grafiği ile sahada bakırın dağılımı hakkında yorumlar yapılmıştır. Yapılan yorumlar sonucunda elde edilen nihai değerlendirme bakırın sahanın belli bir bölgesinde homojenlik gösterdiği diğer bölgelerde ise büyük değişimlerin meydana geldiği yorumu çıkmaktadır. Heterojenitenin hangi bölgelerde yoğun olduğunun anlaşılması amacıyla yapılan kontur çizdirme çalışmasının sonucunda, bu bölgenin sahanın batı yakası olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.28).

Kriging tekniği kullanılarak yapılan araştırmada ise sahanın batı yakasında bakır içeriğinde meydana gelen küçük değişimlere nazaran doğu yakasında büyük değişimler söz konusudur. Haritaya bakarak yapılan bu değerlendirme ile PCSV tekniği ile yapılan değerlendirme birbirine yakın olmaktadır. PCSV grafiklerinden hareket edilerek çizdirilen kontur haritasıda kriging tekniğinin çalıştırılması sonucunda elde edilen harita ile benzer bir yapı arz etmektedir.

Sahada incelenilen bir diğer önemli parametre kükürt içeriğidir. PCSV tekniği kullanılarak yapılan çalışma sonucunda 5 grafik elde edilmiş ve bu grafik sonuçlarına dayandırılarak yorumlar yapılmıştır. Bu yorumlar sonucunda, kükürt içeriğinin dağılımının bakır içeriğine benzediği, yani sahanın bir bölgesinde az değişim var iken başka bir bölgesinde daha büyük oranda değişimler söz konusudur. Ancak

kükürt içeriğinin dağılımı bakıra nazaran daha rassal gelişmiştir. Bunun sebebi ise özellikle E grafiğinde görülen belirsizliktir. Bu çalışmayı müteakiben yapılan ve şekil 4.29' da verilen PCSV kontur haritasında kükürt içeriğinin sahanın batı kısmında daha hızlı değişimler gösterdiğini işaret etmektedir. Bakır içeriği ile karşılaştırıldığında ise doğu kesiminde daha rassal olarak dağıldığı görülmektedir.

Kriging tekniği ile yapılan çalışmada benzer sonucu elde etmek mümkün olmuştur. Gerçektende sahanın batı bölgesinde uzun mesafelerde küçük değişimler olmasına karşın doğu yakasında çok daha kısa mesafelerde daha büyük değişimler gerçekleşmiştir. Örneğin B grubuna ait grafikteki parabolik artış kısa mesafede meydana gelen bu değişimleri desteklemektedir. Lineer artışlar ve bu artışlardan sonra meydana gelen yatay çizgilerde gene bu durumu desteklemektedir.

Metal maden yatağı için yapılan son çalışma cevher kalınlığının değişiminin incelenmesi olmuştur. Cevher kalınlığına ait değerlerin diğerlerine nazaran daha büyük bir skala içersinde değişmesi sonucunda PCSV tekniği ile elde edilen grup sayısı diğerlerine nazaran daha çok olmuştur. Elde edilen 8 grafiğin yorumlanması sonucunda ortaya çıkan değerlendirme göre, sahada cevher kalınlığı için kendi içersinde homojen olan grupların birleşmesi sonucunda oluşan bir heterojen yapı söz konusudur. Bu durum metal madenlerindeki adese şeklindeki yataklanmalar dikkate alındığında yapılan değerlendirmenin doğruluğu ortaya çıkmaktadır. Çizdirilen kontur haritası incelendiğinde ise batı yakasında son derece homojen bir yapının varlığı ortaya çıkmaktadır. Buna nazaran doğu yakası daha heterojen bir yapıya sahiptir.

Kriging tekniği kullanılarak elde edilen haritadan yola çıkarak yapılan değerlendirme sonucunda sahada cevher kalınlığının sahada belli bölgelerde grupların kendi içersinde dağıldığı görülmektedir (şekil 4.22-b). Bu durum yukarıda öne sürülen tezi destekler niteliktedir. Keza PCSV kontur haritası ve kriging tekniği ile elde edilen harita karşılaştırıldığında da son derece benzer sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, gerek kömür sahası gerekse metal madeni için karşılaştırma amacıyla yapılan çalışmalar şunu göstermiştir ; Gerek PCSV gerek kriging tekniği ile bir saha

içersinde bölgeselleştirilmiş değerin nasıl dağıldığına dair sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır. PCSV tekniği ile yapılan yorumlar kriging tekniği ile yapılan değerlendirmeler ile karşılaştırıldığında yapılan değerlendirmelerin doğruluğu dikkat çekicidir. Bunun yanında kriging tekniği kullanıldığı zaman x-y koordinat sisteminde istenilen bölgedeki değişim hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Buna karşın, PCSV tekniği yapılan yorumlar global olup incelenilen değişkenin o saha içersinde nasıl değiştiği hakkında fikir sahibi olunurken noktasal anlamda tahmin yapmak söz konusu değildir.



6.SONUÇLAR

Giriş bölümünde de anlatıldığı üzere jeostatistik yaklaşık 40 senedir tahmin problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Klasik jeostatistiğin çözüm aşamalarından biri semivariogram diğeri ise krigingdir. Semivariogram elde etmeden kriging tekniğinin çalıştırılması söz konusu değildir. Semivariogramlar ise önce deneysel olarak elde edildikten sonra teorik semivariogramlara dönüştürülmektedir. Eşit aralıklı veri kümesi için düşünüldüğü zaman, yüksek korelasyonda bir semivariogram fonksiyonu elde etmek genelde mümkün olmaktadır. Ancak, özellikle madencilik uygulamalarında kullanılan veri kümesinin eşit aralıklı olmayan verilerden oluşması sonucunda, çoğu zaman yüksek korelasyona sahip bir semivariogram fonksiyonu elde etmek mümkün olmamaktadır. Bunun sonucu olarakda hata varyansı kabul edilebilecek sınırlar içersinde olan bir tahmin yapmak mümkün olmamaktadır. Klasik jeostatistiğin bu dezavantajlarına karşın bu sistem kullanılarak özellikle izotropik uygulamalarda düşük hata varyansına sahip saha analizi yapılmaktadır. Ancak incelenilen değişkenin yönlerle bağlı olarak nasıl dağıldığını tespit etmek amacıyla yapılan, anizotropinin araştırılması çalışmalarında, yüksek korelasyona sahip bir semivariogram fonksiyonu bulmak çok zor olmaktadır. Bunun sonucu olarak genelde sahada incelenilen bölgeselleştirilmiş değişkenin saha genelinde dağılımını bulmak mümkün olurken, anizotropi hakkında fikir sahibi olmak mümkün olmamaktadır.

Bu dezavantajları yüzünden farklı araştırmacılar tarafından farklı uygulamalar yapılarak bu dezavantajları ortadan kaldıracak yöntemler bulunmaya çalışılmıştır. Bu yöntemlerden biride ŞEN, Z. tarafından geliştirilen noktasal kümülatif semivariogram tekniğidir.

Bu teknikte bulunan semivaryans değerlerinin kümülatif toplamaları alınarak mesafeye göre grafikler elde edilir. Bu sayede her zaman sürekli artan bir fonksiyon

elde edileceği için düşük korelasyonda semivariogram elde etme durumu söz konusu değildir. PCSV tekniğini kriging tekniğinden ayıran diğer önemli özellik ise tahmin problemine çözümün tek aşamada gerçekleşmesi ve bu aşamada sadece variogram eğrisinin elde edilmesidir. PCSV eğrisinin elde edilmesini müteakiben incelenilen saha içinde değişkenin dağılımı hakkında değerlendirmeler yapmak mümkün olur. Bu tekniğin diğer önemli avantajı ise, diğer tekniğe nazaran çok daha basit oluşu ve hızlı bir şekilde uygulama imkanına sahip oluşudur. Ancak, bu teknikte kriging tekniğinden farklı olarak yapılan yorumlar global olup noktasal olarak değerlendirme yapılması söz konusu değildir. Bu dezavantajı açısından PCSV tekniğinin mühendislik projelerinden uygulanması sınırlı kalmaktadır.

Her iki tekniğin karşılaştırılmasının yapılması amacıyla, iki farklı maden yatağında yapılan uygulamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, uygulamalardan çıkan sonuçlar bu teorik değerlendirmeleri destekler nitelikte olmaktadır.

Gerek kömür gerekse metal maden yatağında izotropik semivariogramları elde etmek kolay olmuş ve buna bağlı olarak kriging tekniği çalıştırılarak bölgede incelenilen değişkenlerin dağılımı tespit edilmiştir. Ancak anizotropinin tespit edilebilmesi için yapılan yönlerle bağlı semivariogramlar çok küçük korelasyon katsayısına sahip olduğu için sahalarda incelenilen değişkenlerin yönlerle bağlı olarak nasıl değiştiğini incelemek mümkün olmamaktadır.

Bu çalışmada karşılaştırma parametresi bir değişkenin belirlenen bir uzay içersinde nasıl dağıldığının tespit edilmesini araştıran iki farklı tekniğin karşılaştırılmasıdır. Kriging tekniği ile yukarıda da anlatıldığı üzere noktasal tahmin yapılmasını sağlayabilecek sonuçlar elde etmek gerekli şartlar yerine getirildikten sonra mümkün olmaktadır. PCSV tekniğinde ise, yapılan çalışma sonucunda elde edilen PCSV grafiklerinden faydalanılarak değişkenin nasıl dağıldığı hakkında yorumlar yapılabilmekte ve sahadaki heterojenite hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Grafiklerin yorumları saha için son derece doğru sonuç vermektedir. Ancak, hangi bölgelerde heterojenitenin yoğun olduğu sorusunun cevabı için PCSV kontur haritaları çizdiirilmesi gerekmektedir. Bu haritalardan hareket ederek incelenilen

değişkenin saha içersinde değişimi hakkında bölgesel yorumlar mümkün olmaktadır. Sistemin kriging tekniğinden en önemli farkı ise, kriging tekniğinde olduğu gibi noktaya değer atanması işleminin yapılabilme olanağının olmamasıdır.



KAYNAKLAR

- [1] Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., 1989. An Introduction To Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York.
- [2] Journel, A. G. and Huijbregts, Ch. J., 1978. Mining Geostatistic, Academic Press, London.
- [3] Journel, A. G., 1974. Geostatistic for conditional simulation of ore bodies : *Economic Geology*, v. 68, p. 673-687
- [4] Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics : *Economic Geology*, v. 58, p. 1246-1266.
- [5] Subyani, A. M., 1997. Geostatistical analysis of precipitation in southwest Saudi Arabia, doktora tezi Colorado State University ABD.
- [6] Tercan, E. ve Saraç, C., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, TMMOB Jeoloji müh. Odası, Ankara.
- [7] Rendu, J. M., 1981. An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation, South African Institute of mining and metallurgy monograph series.
- [8] Journel, A. G., 1989. Fundamentals Of Geostatistics In Five Lessons, The American Geophysical Union Washington.
- [9] Clark, I., 1979. Practical Geostatistic, Applied Science Publisher LTD, London.
- [10] Nasuf, E., 1987. Jeostatistik yöntem ile rezerv hesaplama seminer notları, Etibank matbaası, Ankara.
- [11] Burges, T. M., and Webster, R., 1980. Optimal interpretation and isarithmic mapping of soil properties. 1. The semivariogram and punctual kriging : *Jour. Soil Science*. v. 31. P. 315-331.

- [12] Krige, D.G., 1962. Statistical Applications in Mine Valuation, The journal of institute of mine surveyors of South Africa.
- [13] Groenigen, J.W., 2000. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging, *Geoderma*, p. 223-236.
- [14] Carr, J. R., Loken, T. and Jhonson, L., 1991. Use of subjective information with geostatistics for countouring geotechnical parameters, *Bull. Of The Ass. Of Eng. Geologists*, v. 28, p.171-181.
- [15] Gambolati, G., and Volpi, G., 1979. Groundwater contour mapping in Venice by stochastic interpolators. 1. Theory : *Water Resources Res.*, v. 15, p. 281–290.
- [16] Kitadinis, P. K., and Vomvoris, E. G., 1983. A geostatistical approach to the inverse problem in groundwater modeling (steady state) and one-dimensional simulation : *Water Resources Res.*, v. 19, p. 677–690.
- [17] Myers, D. E., Begovich, C. L., Butz, T. R., and Kane, V. E., 1982. Variogram models for regional groundwater chemical data : *Mathematical Geology*, v. 14, p. 629–644.
- [18] Lajaunie, G., 1984. A geostatistical approach to air pollution modeling, in Verly, G., David, M., Journel, A. G., and Marechal, A., eds., *Geostatistics for natural resources characterisation* : Reidel, Dordrecht, p. 877–891.
- [19] Şen, Z. and Eissa, E. A., 1991. Cumulative Semivariogram Technique For Identification Of Intact Length Correlation Structure : *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, v. 28, p. 421–429.
- [20] Şen, Z., 1998. Point cumulative semivariogram for identification of heterogeneities in regional seismicity of Turkey : *Mathematical Geology*, v. 30, p. 767 – 787.
- [21] Subyani, A. M. and Şen, Z., 1989. Geotstatistical modelling of the Wasia aquifer in central Saudi Arabia, : *Journal Of Hydrology*, p. 295-314.
- [22] Anh, V. Duc, H. and Shannon, I., 1997. Spatial variabiliy of Sydney air quality by cumulative semivariogram, *Atmospheric Environment*, v.31, p.4073-4080

- [23] Şen, Z., 1999. Terrain topography classification for wind energy generation, *Renewable Energy*, p. 904-907
- [24] Şen, Z. and Şahin, A. M., 1998. Regional wind energy evaluation in some parts of Turkey, *J. Of Wind Eng. And Industrial Aerodynamics*, p.345-353.
- [25] Şen, Z. and Habib, Z. Z., 1997. Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions, *Journal Of Hydrology*, p. 81-91
- [26] Şen, Z., 1989. Cumulative Semivariogram Models Of Regionalized Variables: *Mathematical Geology*, v. 21, p. 891–903.

