

## **ÇAPRAZIMSIVARİOGRAMLARLA KÖMÜR YATAKLARI SINIRLARININ OLASILIKSAL KESTİRİMİ**

### **PROBABILISTIC ESTIMATION OF THE BOUNDARY OF COAL DEPOSITS USING PSEUDO-CROSS VARIOGRAMS**

**A.Erhan TERCAN**, *Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği, 06532 Beytepe*

#### **ÖZET**

Kömür yatakları sınırlarının kestirimi kömür rezervinin hesaplanacağı ve ocak planının yapılacağı alanın belirlenmesi açısından önemlidir. Bu makalede kalınlık değişkeni ikinci bir değişken olarak gözönüne alınmış ve sınırların olasılıksal kestiriminde çaprazımsı variogram ile olasılık kriging yöntemi kullanılmıştır. Kangal kömür yatağı sınırları bu yöntemle değerlendirilmiştir.

#### **ABSTRACT**

Estimation of the boundary of coal deposits is important to establish the area in which coal reserve is to be estimated and mine design is to be planned. This paper introduces the thickness variable as a covariable and uses probability kriging with pseudo-cross variograms in estimating the conditional probability of occurrence of the boundary. The boundaries of the coal deposit of Kangal are assessed by this technique.

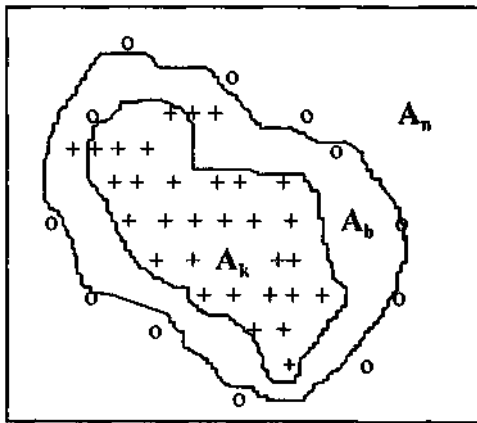
## 1.GİRİŞ

Kömür yataklarının sınırları, yeterli sayıda veri olmayışından dolayı tam olarak belirlenemeyebilir ve bu durum sınır belirsizliğine yol açar. Kömür rezervinin kestirileceği, ocak planının yapılacağı sahanın belirlenmesi açısından sınır belirsizliğini değerlendirmek gerekir.

Sınır belirsizliği, veri olmayan bir lokasyonda sınırın görünme olasılığını hesaplayarak değerlendirilir. Bu olasılıkların hesaplanmasında indikatör kriging (Journel, 1983) ve olasılık kriging (Sullivan, 1984) gibi doğrusal olmayan jeostatistiksel teknikler kullanılabilir. Örneğin indikatör kriging kullanarak kömür sınırlarının kestirimine yönelik bir çalışma Tercan (1996) tarafından yapılmıştır. Ancak bu çalışmada kömür kalınlığının olasılıkların kestirimi üzerindeki etkisi gözönüne alınmamıştır. Olasılık kriging tekniği ile bu etkiyi gözönüne almak mümkündür. Tercan (1998), bu yönde bir çalışma yapmış ve uzaklığa bağlı ilişkiyi modellemede kovaryans fonksiyonlarını kullanmıştır. Şimdiki makalede ise kovaryans fonksiyonları yerine çaprazımsı (pseudo-cross) variogramların kullanımı önerilmiş ve Sivas, Kangal kömür yatağı sınır belirsizliği bu yöntemle değerlendirilmiştir.

## 2. SINIR BELİRSİZLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sınır belirsizliğinin değerlendirilmesine yönelik yaklaşımlar, temel verinin sondajlardan ibaret olduğunu ve bu sondajlarında kömür sahasını kömürlü, kömürsüz ve belirsizlik şeklinde üç farklı zona ayırdığını kabul eder (Şekil 1).



- $A_k$ ; sondajların çoğunlukla kömür kestiği bölge
- $A_b$ ; sondaj içermeyen belirsizlik bölgesi
- $A_n$ ; Sondajların kömür kesmediği bölge

Şekil 1. Sondajlara dayanarak kömür sahasının bölgelere ayrılması

Sınır belirsizliğini değerlendirmedeki amaç, veri olmayan bir lokasyonda sınırın görünme olasılığını hesaplamaktır. Bu olasılıklar, örneklenmemiş lokasyonun hangi bölgeye ait olduğunu tanımlamada kullanılır. Örneğin 0 olasılığına sahip bir lokasyon, kömürsüz zona aittir. 1 olasılık değeri sınırın geçildiğini ve lokasyonun kömürlü sahaya ait olduğunu gösterir. 0 ve 1 arasındaki olasılık değerleri ise içinde gerçek sının

bulunduğu belirsizlik zonunu tanımlar. Ayrıca O'a yakın olasılık , örneklememiş lokasyonun kömürsüz sahaya , l'e yakın olasılık ise kömürlü sahaya yakınlığını gösterir. Eğer olasılık 0.5'e eşitse, lokasyonun kömürlü yada kömürsüz zona ait olduğu konusunda hiçbir şey söylenemez.

### 3. KOŞULLU OLASILIK FONKSİYONLARI

Birikimli (kümülatif) olasılık fonksiyonu yada kısaca olasılık fonksiyonu  $T(z_c)$ , Z değişkeninin herhangi bir  $z_c$  değerine eşit yada yüksek olma olasılığını gösteren bir fonksiyondur.

$$T(z_c) = \Pr(Z \geq z_c) \quad [1]$$

Bu fonksiyon belirli sayıda veri kullanarak ve belirli lokasyonlar için hesaplandığında koşullu olasılık fonksiyonu adını alır ve

$$T(x; z_c | Z(x_1), \dots, Z(x_n)) = \Pr[Z(x) \geq z_c | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)] \quad [2]$$

yada kısaca  $T(x; z_c | Z_n)$  ile gösterilir. Bir noktadaki sınırın görünme olasılığı, gerçekte bu noktadaki kalınlığın sıfırdan büyük olma olasılığına eşittir. Dolayısıyla sınır görünme olasılığı, koşullu olasılık fonksiyonları ile ifade edilebilir.

$$\Pr [Z(x) > 0 | Z_n] = T(x; 0 | Z_n) \quad [3]$$

### 4. KOŞULLU OLASILIK FONKSİYONLARININ KESTİRİMİ

Koşullu olasılık fonksiyonları indikatör kriging ile kestirilebilir. Bunun için ilk olarak sondajın kömür kesip kesmemesi durumuna göre bir indikatör değişken tanımlanır:

$$I(x) = \begin{cases} 0, & Z(x) = 0 \\ 1, & Z(x) > 0 \end{cases} \quad [4]$$

[4] eşitliğinde  $Z(x)$ , x noktasındaki kömür kalınlığını ifade etmektedir. Daha sonra, bu indikatör değerler kullanılarak örneklememiş bir  $x_0$  noktasındaki indikatör değer krigingle kestirilir:

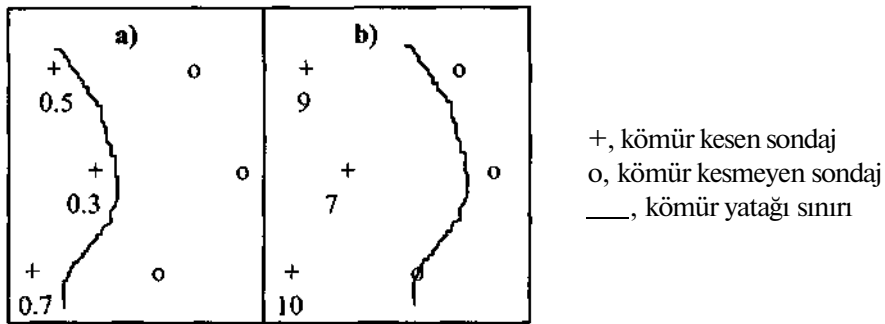
$$I^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda(x_\alpha) I(x_\alpha) \quad [5]$$

Kestirilen bu indikatör değer,  $x_0$  noktasındaki koşullu olasılık fonksiyonunun bir değeri olarak alınır:

$$T(x_0; 0 | Z_n) = I^*(x_0) \quad [6]$$

[5] eşitliğindeki  $X(x_a)$  değerleri  $x_a$ ,  $a=1, \dots, n$  noktasındaki indikatör değerlere verilecek ağırlığı ifade etmektedir. Bu ağırlıklar, indikatör kriging sisteminin çözümünden elde edilir (Tercan, 1996)

Sınırın görünme olasılığının hesaplanmasında indikatör kriging sondajların yalnızca kömür kesip kesmeme durumunu gözönüne alır. Bununla birlikte kömür kesen sondajlardaki kömür kalınlığının olasılıkların hesaplanmasında önemli bir etkisi vardır ve bunları da kestirim algoritması içine dahil etmek gerekir. Örneğin belirsizlik bölgesinin Şekil 2'de gösterilen iki durumunu göz önüne alalım. Şekil 2a ve 2b, birbirinden kömür kesen sondajlardaki kömür kalınlıkları açısından ayrılmaktadır. İlk durumda kömürlü lokasyonlar düşük kalınlık değerlerine sahipken, ikinci durumda yüksek kalınlık değerleri içermektedir.



Şekil 2. Belirsizlik bölgesinin iki durumu: sınırlar yüksek kalınlık değerleri ile daha ileriye kaymaktadır.

Kalınlığın bu zon içinde düzgün bir şekilde azaldığını varsayalım. Yüksek kalınlık değerleri içeren Şekil 2-b de yatak sınırları kömürsüz zona doğru yaklaşacak ve bu kesimde sınırın görünme olasılığı artacaktır. Tersisi durumda yani sondajlar düşük kalınlık değerleri içerdiğinde kömürsüz zona yakın kısımda olasılık değerleri nisbeten düşük çıkacaktır. Kalınlık değişkenini kestirim algoritması içine dahil etmenin bir yolu olasılık kriging tekniğini kullanmaktır.

#### 4.1. Olasılık Kriging

Olasılık kriging, koşullu olasılıkların, indikatör verilerle kalınlık verilerinin birlikte dikkate alınarak hesaplandığı kısmi bir cokriging (cokriging) yöntemidir. Ancak, indikatör verilere göre çok farklı değerler içereceğinden dolayı, kalınlık değerleri doğrudan kullanılmaz, 0 ve 1 arasında değişen tekbiçimli (uniform) dağılıma dönüştürülür. Olasılık kriging ile  $x_0$  noktasındaki koşullu olasılık değeri

$$I^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda(x_\alpha) I(x_\alpha) + \sum_{\beta=1}^m \nu(x_\beta) U(x_\beta) \quad [7]$$

ile kestirilir. [7] eşitliğinde,  $U(x_\beta)$ , tekbiçimli rastlantı değişkeninin  $x_\beta$  noktasındaki değeridir.  $v(x_\beta)$  ise bu değere verilecek ağırlığı ifade etmektedir. Tekbiçimli değerler, kalınlık değerlerini küçükten büyüğe doğru sıralayıp, bunlara sıra değeri vererek elde edilir. Örneğin 25, 8, 11, 20, 9 kalınlık değerlerinin tekbiçimli karşılıkları

Z(x)	8	9	11	20	25
U(x)	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5

dir.  $\lambda(\lambda_a)$  ve  $v(x_\beta)$  ağırlıkları, matris formunda ifade edilen olasılık kriging sistemini [8] çözerek elde edilir:

$$\begin{bmatrix} \gamma'_{11} & \gamma'_{12} & \dots & \gamma'_{1n} & \gamma^{IU}_{11} & \gamma^{IU}_{12} & \dots & \gamma^{IU}_{1m} & 1 & 0 \\ \gamma'_{21} & \gamma'_{22} & \dots & \gamma'_{2n} & \gamma^{IU}_{21} & \gamma^{IU}_{22} & \dots & \gamma^{IU}_{2m} & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma'_{n1} & \gamma'_{n2} & \dots & \gamma'_{nn} & \gamma^{IU}_{n1} & \gamma^{IU}_{n2} & \dots & \gamma^{IU}_{nm} & 1 & 0 \\ \gamma^{U}_{11} & \gamma^{U}_{12} & \dots & \gamma^{U}_{1n} & \gamma^{U}_{11} & \gamma^{U}_{12} & \dots & \gamma^{U}_{1m} & 0 & 1 \\ \gamma^{U}_{21} & \gamma^{U}_{22} & \dots & \gamma^{U}_{2n} & \gamma^{U}_{21} & \gamma^{U}_{22} & \dots & \gamma^{U}_{2m} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma^{U}_{m1} & \gamma^{U}_{m2} & \dots & \gamma^{U}_{mn} & \gamma^{U}_{m1} & \gamma^{U}_{m2} & \dots & \gamma^{U}_{mm} & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_m \\ \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma'_{10} \\ \gamma'_{20} \\ \dots \\ \gamma'_{n0} \\ \gamma^{IU}_{10} \\ \gamma^{IU}_{20} \\ \dots \\ \gamma^{IU}_{m0} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [8]$$

[8] sisteminde  $\gamma'(x_\alpha - x_\beta) = \gamma'_{\alpha\beta}$ ,  $x_\alpha$  ve  $x_\beta$  noktaları arasındaki indikatör variogramı;  $\gamma^U(x_\alpha - x_\beta) = \gamma^U_{\alpha\beta}$ , tekbiçimli kalınlık variogramı ve  $\gamma^{IU}(x_\alpha - x_\beta) = \gamma^{IU}_{\alpha\beta}$ , indikatör ve tekbiçimli kalınlık değerleri arasındaki çapraz variogramı göstermektedir,  $\mu_1$  ve  $\mu_2$ , Lagrange çarpanlarıdır. Bu değerlerin koşullu olasılıkların kestirimi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Çapraz variogram teorik olarak

$$\gamma^{IU}(x_\alpha - x_\beta) = 0.5 E[\{I(x_\alpha) - I(x_\beta)\} \{U(x_\alpha) - U(x_\beta)\}] \quad [9]$$

ile ifade edilir ve herhangi bir veri için

$$\gamma^{IU}(x_\alpha - x_\beta) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [I(x_\alpha) - I(x_\alpha + h)][U(x_\alpha) - U(x_\alpha + h)] \quad [10]$$

ile kestirilir. N(h), h uzaklığındaki çapraz variogram değerini hesaplamada kullanılan veri çifti sayısıdır.

Kömür arama ve geliştirmeye yönelik sondaj çalışmalarında hedef kömürlü saha olduğu için genelde kömür kesen sondajların sayısı kesmeyenlere göre oldukça fazladır. Ayrıca,

kömür kesen sondajlar, kömürlü saha üzerinde yoğunlaşırken, kesmeyenlerde bunların çevresinde yeralır (Şekil 1). Kömür kesmeyen sondaj sayısının az oluşu, belirsizlik zonuna göre kömürlü sahanın beklenenden büyük kestirilmesine yol açabilir. Bu nedenle, Pawlowsky ve diğ. (1993)'in önerdiği gibi kömürsüz bölgede fazladan indikatör veri (doğal olarak 0'a eşit) tanımlamak gerekir. Bu veriler, mevcut sondaj düzenine uyumlu bir şekilde oluşturulan bir grid ağı üzerinde yer alır.

## 5. ÇAPRAZIMSIZ VARIÖGRAM FONKSİYONLARI

Yalnızca sınır kestirimi problemine özgü olarak, [8] sisteminde iki değişken arasındaki uzaklığa bağlı çapraz ilişkiyi modellemede çapraz variogramların kullanımı doğru bir seçim değildir. Çünkü çapraz variogramlar [10], aynı bir noktada hem indikatör hemde kalınlık verilerinin olmasını gerektirir ve bu koşul, kömür kesmeyen sondaj sayısının azlığından dolayı sağlanamaz. Gerçekten indikatör veriler, kalınlığın 0 yada 1 şeklinde kodlanmasına dayandığından her lokasyonda hesaplanabilir. Ancak kalınlık verileri yalnızca kömür kesen sondajlarla sınırlıdır. Her ne kadar kömür kesmeyen lokasyonlarda kalınlık değerleri sıfıra eşit olsada bunlar pozitif kalınlık değerlerinden farklı bir popülasyon oluşturacağından gerek variogram analizi ve gerekse kestirim problemlerinde kullanılmazlar. Bu durumda variogram hesabında kullanılacak indikatör veriler yalnızca birlerden ibaret olacak ve çapraz variogramlar hep sıfır değerini alacaktır. Bu problem uzaklığa bağlı çapraz ilişkiyi belirlemede diğer seçenekleri gözönüne almayı gerektirir. Çaprazimsiz variogram fonksiyonları (Myers ,1991; Ven Hoef ve Cressie, 1993) farklı türdeki verilerin aynı bir lokasyonda bulunmasını gerektirmediklerinden bu problemin çözümünde en uygun seçeneği oluştururlar. Bu fonksiyonlar

$$\tau^{IU}(x_\alpha - x_\beta) = 0.5 \text{Var}[I(x_\alpha) - U(x_\beta)] \quad [11]$$

ile ifade edilir ve

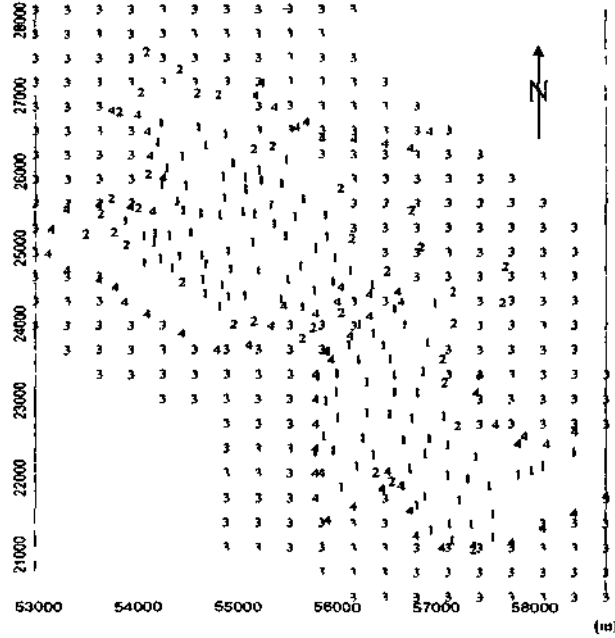
$$\tau^{IU}(x_\alpha - x_\beta) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [I(x_\alpha) - U(x_\alpha + h)]^2 \quad [12]$$

ile hesaplanırlar. Bu durumda, [8] ile ifade edilen olasılık kriging sisteminde -çapraz variogramların yerine çaprazimsiz variogramlar kullanılır.

## 6. VERİLER

Sivas, Kangal, Kalburçayırı kömür yatağı bu çalışmada gözönüne alınan yataktır. Bu kömür yatağı Kangal-Uzunyayla molas havzasının güneyinde yer alan bir paleokörfez olup iki adet kömür damarı içerir. Kömürler altta çakıllı seri, üstte ise bıcır formasyonunun arasında yer almakta olup, kömürlü seviyeler, alttan üste doğru kil, kömürlü kıl, kömür, kil ve mam şeklinde bir dizilim gösterirler (MTA, 1976). Arama ve geliştirme amacıyla Kalburçayırı kömür sahasında toplam 154 adet sondaj yapılmış ve

bunlardan 118 adeti kömür kesmiştir. Üst damara ilişkin kömür kalınlıkları bu çalışmada kullanılan temel verilen oluşturmaktadır. Sondajlar aralıklı olarak yapıldığından kömür yatağı sınırları kesin olarak bilinmemekte ancak paleoyükseltiler bazı yerlerde sınırları kontrol etmektedir. Örneğin doğu, batı ve kuzey doğu yönlerinde yüksek paleotemel nedeniyle damarlar incelenerek sona ermektedir. Sahanın ortasından geçen Kalburçayırı fayı kömür kalınlığının artmasına yol açmıştır ancak kömür sınırı üzerinde bir etkisi yoktur. Şekil 3, sahada yapılan sondajların lokasyonlarını, paleoyükselti sınırlarını ve kömürsüz sahada tanımlanan extra indikatör (kontrol) veri lokasyonlarını göstermektedir.



Şekil 3 Kalburçayırı kömür sahası sınır kestiriminde kullanılan verilerin lokasyonları  
1, kömür kesen sondajlar; 2, kömür kesmeyen sondajlar;  
3, kontrol verilen; 4, paleoyükselti sınırları

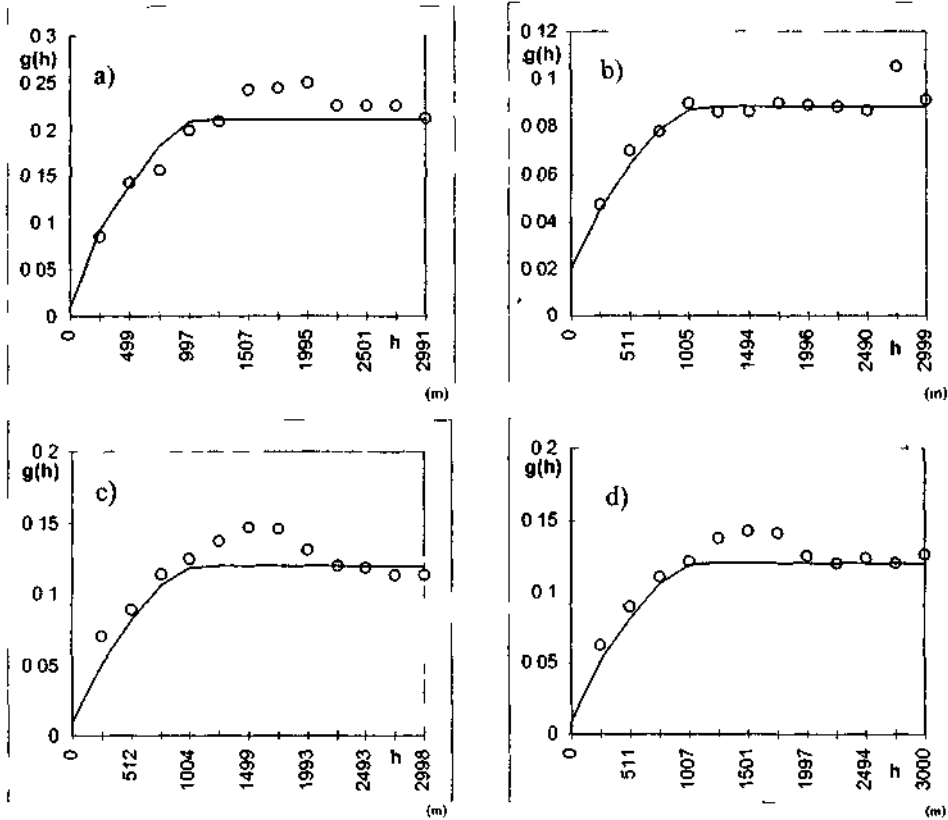
### 6.1 Variogram Analizi

Olasılık krigeing tekniği, koşullu olasılıkları kestirebilmek için indikatör ve tekbiçimli kalınlık değerlerinin variogramlarını ve ayrıca bunlar arasındaki çaprazımsı variogram fonksiyonlarının hesaplanması ve modellenmesini gerektirir.

[8] sisteminin bir çözümünün olabilmesi için sol taraf matrisinin pozitif tanımlı yani determinantının sıfırdan büyük olması gerekir. Çapraz variogramlar kullanıldığında, variogram modelleri arasında [13] ile verilen eşitsizlik sağlanıyorsa sol taraf matrisinin pozitif tanımlılığı garanti edilebilir (Goovaerts, 1997).

$$i K_{\beta} K_{\beta} Y''' \quad [13]$$

Bununla birlikte, uzaklığa bağlı çapraz ilişki, çaprazımsı vanogram fonksiyonları ile modelendiğinde [13] ile verilen eşitsizliğin geçerli olup olmadığı henüz bilinmemektedir. Çaprazımsı vanogram fonksiyonları kullanıldığında kırığn sisteminin pozitif tanımlılığı halen yoğun araştırmaların yapıldığı bir konudur. Şekil 4, ındıkator, tekbiçimli kalınlık ve bunlar arasındaki çaprazımsı variogramları göstermektedir. Deneysel variogramlar, bütün yönlerde hesaplanan variogramların ortalaması (omnidirectional) olup küresel model ile modellenmiştir. Variogramlara ilişkin model parametreleri gen kestirim tekniği (Tercan, 1994) kullanarak belirlenmiş ve Çizelge 1 'de verilmiştir.



Şekil 4 Deneysel ve model variogram fonksiyonları a) ındıkator variogram, b)tekbiçimli variogram, c) ındıkator ve tekbiçimli değerler arasındaki çaprazımsı variogram, d) tekbiçimli ve ındıkator değerler arasındaki çaprazımsı variogram

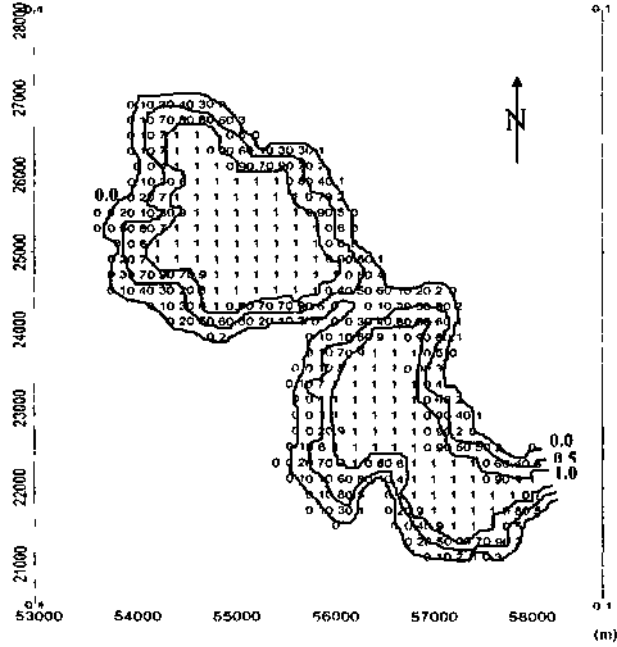
Çizelge 1 Variogram model parametreleri

vanogram	Co	C	a(m)
I	001	0 200	1100
U	0 02	0 068	1100
IxU	001	0 110	1100
Uxl	001	0110	1100



## 6.2 Sınır Görünme Olasılıklarının Kestirimi

Olasılık kriging tekniği kullanarak Kalburçayı kömür yatağı sınır görünme olasılıkları (kömür kalınlığının sıfırdan büyük olma olasılıkları) yatak üzerinde düzenli aralıklarda belirlenmiştir. Negatif kriging ağırlıklarından dolayı 7 lokasyonda olasılık değerleri sıfırdan küçük 21 lokasyonda ise birden büyük çıkmıştır. Geçerli olasılıklar ancak 0 ve 1 arasında değerler alabileceğinden sıfırdan küçük olan kestirim değerleri sıfır, büyük olanlarda bir olarak düzeltilmiştir. Şekil 5, kestirilen olasılık değerlerini ve 0.0, 0.5 ve 1.0 olasılıklarına ilişkin konturları göstermektedir. Şekil 5'de 0.0 olasılık değerleri gösterilmemiştir. 1.0 (en içteki) kontur ile sınırlanmış alan içindeki bütün noktalar %100 olasılıkla kömürlü sahaya, 0.0 (en dıştaki) konturun dışında kalan bütün noktalar ise kömürsüz sahaya aittir. Gerçek sınırı içeren belirsizlik bölgesi ise bu iki kontur arasında yer almaktadır.



Şekil 5. Kalburçayı kömür yatağı sınır görünme olasılıkları

Olasılık kriging yöntemi ile indikatör kriginge göre daha büyük bir belirsizlik bölgesi elde edilmiştir. Bu sonuç, Tercan ve Dowd (1995)'in olasılık ve indikatör kriging tekniklerini karşılaştıran teorik çalışmaları ile tutarlılık arz etmektedir. Tercan ve Dowd (1995), olasılık kriging tekniğinin indikatör kriging yöntemine göre daha düzgün olasılık değerleri (yani düşük olasılık değerleri normalden daha büyük, yüksek olasılık değerleri ise normalden daha düşük kestirilir) verdiğini göstermiştir.

## 7. SONUÇLAR

Kalınlık değişkenini sınır görünme olasılıklarının kestiriminde kullanmak gerekir. Kangal kömür yatağı üzerinde yapılan çalışmalar, çaprazmsı variogram fonksiyonları

ile olasılık kriging tekniğinin bu amaçla kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak bu durumda kestirilecek ve modellenecek variogram sayısı artmakta ve kestirim işlemi daha karmaşık hale gelmektedir. Bu ise yöntemin sakıncalı tarafını oluşturmaktadır. Daha basit yöntemler, değişkenler arasındaki uzaklığa bağlı çapraz ilişkiyi ortadan kaldıracak veri dönüşümlerini içerir ve bu yöndeki çalışmalar devam etmektedir.

### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma YDABÇAG-492 projesi kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

### **KAYNAKLAR**

**Goovaerts, P., (1997),** Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press, 483.

**Journel, A.G., (1983),** Nonparametric Estimation of Spatial Distributions, Mathematical Geology, 15, 3, 445-468.

MTA, (1976), Sivas-Kangal Kömür Yatağı Fizibilite Araştırma Raporu, Cilt 2 (Rezerv)

Myers, D.E., (1991), Pseudo-Cross Variograms, Positive Definiteness, and Cokriging, Mathematical Geology, 23, 6, 805-816.

**Pawlowsky, V., Olea, R.A. ve Davis, J.C. (1993),** Boundary Assesment under Uncertainty: a Case Study, Mathematical Geology, 25, 2, 125-144.

**Sullivan, J. (1984)** Conditional Recovery Estimation through Probability Kriging: Theory and Practice, Geostatistics for Natural Resources Characterization , Reidel, Dordrecht, 1,365-384.

**Tercan, A.E. (1994),** Tülovası Borat Yatağı Rezervinin Jeostatistiksel Kestirimi, Madencilik, Haziran, 19-24.

**Tercan, A.E. ve Dowd, P.A. (1995),** Approximate Local Confidence Intervals under Change of Support, Mathematical Geology, 27, 1, 149-172.

**Tercan, A.E. (1996),** Maden Yatakları Sınır Belirsizliğinin Indikator Kriging ile Değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı Kömür Yatağında bir Uygulama, Madencilik, Aralık, 3-11.

**Tercan, A.E. (1998),** Assessment of Boundary Uncertainty in a Coal Deposit Using Probability Kriging, IMM, (Yayınlanacak).

**Ven Hoef, J.M. ve Cressie, N. (1993),** Multivariate Spatial Prediction, Mathematical Geology, 23,6, 805-816.