

MADEN YATAKLARI SINIR BELİRSİZLİĞİNİN İNDİKATOR KRİGING İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SİVAS-KANGAL-KALBURÇAYIRI KÖMÜR YATAĞINDA BİR UYGULAMA

Assessment of Boundry Uncertainty of Ore Deposits by Indicator Kriging and Its Application to the Coal Deposit of Kalburçayırı, Kangal, Sivas

A.Erhan TERCAN

Anahtar Sözcükler: Jeostatistik, İndikatör Variogram, Koşullu Olasılık Dağılımları

ÖZET

Maden yataklarının sınırları yetersiz veriden dolayı tam olarak bilinmez. Yatak sınırlarının belirlenmesine yönelik standart yaklaşımların hepsi bir dereceye kadar keyfiyet içerir. Sınır belirsizliğinin değerlendirilmesine yönelik olarak keyfiyetten uzak, kuramsal bir temele dayanan indikatör kriging yöntemi önerilmiştir. Yöntem, Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağı sınırlarının incelenmesinde uygulanmıştır.

ABSTRACT

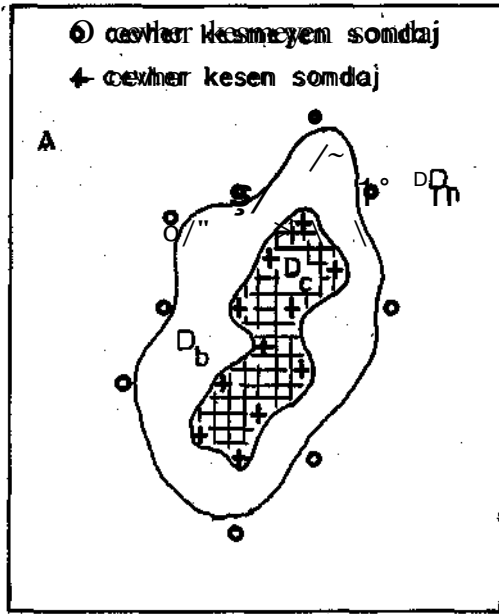
Exact boundry of ore deposits is not known because of the lack of information. All the standard approaches to the boundry assessment control, to some extent, the ore deposit boundry through a subjective process. Indicator kriging method, which has a sound theoretical basis is recommended. The method was applied to the study of the boundry of the coal deposit of Kalburçayırı, Kangal, Sivas.

o Yrd.Doc.Dr., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06532, Beytepe, ANKARA

1.GİRİŞ

Bir maden yatağı sonsuz bir şekilde devam etmez, belirli bir sınırdan sonra son bulur. Bu sınırlar kapsamlı olarak belirlenmemişse iki problem ortaya çıkar; ilki rezerv ve tenor hesaplan çok geniş bir alana yayılır, ikincisi hesaplanan değerler gerçek değerlerle uyuşmayabilir.

Bu çalışmada, sınır belirsizliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak temel verinin arama ve geliştirme sondajlarından ibaret olduğu ve bu sondajların da sahayı cevherli, cevhersiz ve belirsizlik şeklinde üç farklı zona ayırdığı kabul edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Sondajların cevher kesip kesmemesine göre sahanın bölgelere ayrılması;

- D_c, çoğunlukla cevherin kesildiği bölge,
- D_{,,}, cevherin kesilmediği bölge,
- D_b, sondajsız belirsizlik bölgesi.

Bu kabuller altında sınırların belirlenmesine yönelik standart yaklaşımların hepsi, sıfır kalınlığında bir kontur tanımlamakta ve bu konturu 'yatak sınırı' olarak almaktadır. Örneğin, bir yöntem, cevhersiz ve belirsizlik zonu içinde çok sayıda cevher kesmeyen hipotetik sondaj tanımlamakta, bunları ve ayrıca cevher kesen sondajları kullanarak sıfır kalınlığındaki konturu belirlemektedir. Diğer

bir yaklaşım ise yalnızca gerçek sondajlar kullanmakta ancak sıfır kontur çizgisini, cevher kesmeyen sondajlara negatif kalınlıklar atayarak hesaplamaktadır (Jones ve diğerleri, 1986). Bu tür yaklaşımların hepsi bir şekilde keyfiyet unsuru içermektedir.

Sınır belirsizliğinin değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım keyfiyetten uzak olmalı ve kuramsal bir temele dayanmalıdır. İndikatör kriging (Journel,1983) koşullu olasılık dağılımlarının kestiriminde kullanılan parametrik olmayan jeostatistiksel bir tekniktir. Matematiksel olarak basit ve ayrıca veri dağılımına bağlı olmamasından dolayı, yöntem, işletilebilir lokal rezervlerin kestiriminden (Journel,1985) çevresel madencilik problemlerine (Tercan ve Mamurekli, 1996) kadar uzanan pek çok alanda uygulanmıştır; Yöntem, ayrıca sınır belirsizliğinin değerlendirilmesine de uygulanabilir. Örneğin, bu yöntemle, keyfi bir sınır belirlemekten çok, sınırın görünme olasılığının 0' dan 1'e doğru düzgün bir şekilde değiştiği bir belirsizlik zonu tanımlanabilir. Bu zon içinde 0 olasılığı sınıra ulaşılmadığını, 1 olasılığı ise sınırın geçildiğini ifade eder. Bu yönde bir çalışma Pawlowsky ve diğerleri (1993) tarafından yapılmış ancak yöntem, petrol rezervuarlarına uygulanmıştır. Bu makalenin amacı ise indikatör kriging yöntemini belirsizlik zonu içeren yatak sınırlarının değerlendirilmesine uygulamaktır. Bu amaçla ilk olarak jeostatistik teorisinin temelleri üzerinde durulmuştur. Yazının kendi kendine yeterli olması için teori açıklıkla ifade edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra koşullu olasılık dağılımlarının indikatör kriging yöntemi ile kestirimine değinilmiş, son olarak, Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağındaki sınır belirsizliği bu yöntemle incelenmiştir.

2. BÖLGESEL DEĞİŞKENLER VE RASTLANTI FONKSİYONU MODELİ

Jeostatistik, temelleri durağan rastlantı fonksiyonlarına dayanan bölgesel değişkenler teorisinin yerbilimleri problemlerine

uygulanması şeklinde tanımlanır. Bölgesel değişkenler teorisi ilk olarak Matheron (1963) tarafından ortaya atılmış, daha sonra Journel ve Huijbreghts (1978), Cressie (1991) ve diğer araştırmacıların katkılarıyla şimdiki düzeyine erişmiştir. Teorinin aşağıda verilen özeti, bu yazarların çalışmalarına dayanmaktadır.

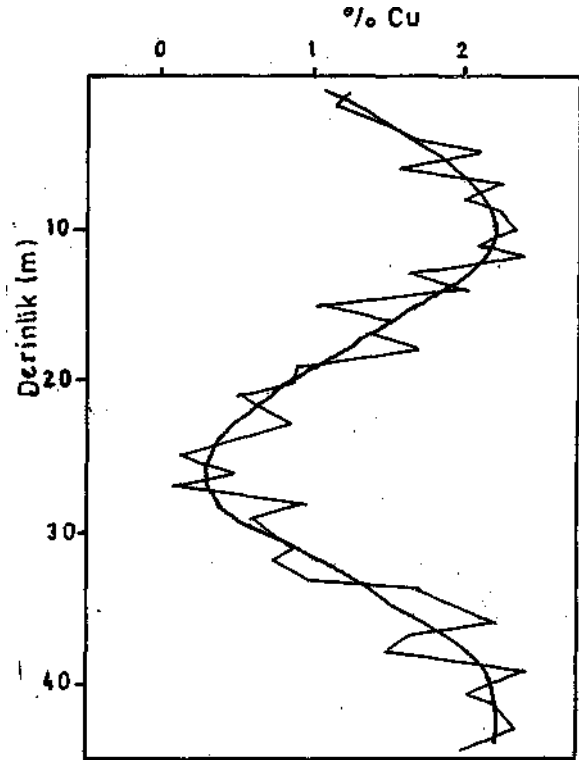
Maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan tenor, kalınlık gibi değişkenlerin temel bir özelliği bunların belirli bir bölgeye özgü olmaları ve en azından bir koordinatla ifade edilebilmeleridir. Bu özelliğinden dolayı bu tür değişkenler bölgesel değişkenler olarak adlandırılır. Bölgesel değişkenlerin aldığı değerler, maden yatağının yalnızca örneklenmiş noktalarında bellidir, örneklenmemiş noktadaki bilinmeyen değerleri hesaplamak gerekir. Bilinmeyen bir değer hesaplanmasında örneklenmiş noktalardaki bilinen değerler yardımıyla yapılır ve bu işlem kestirim olarak adlandırılır.

Genel kestirim problemi içinde, bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel (deterministik) gösterimle ifade edilemeyecek kadar karmaşık ve düzensizdir. Gerçekten, bölgesel değişkenler lokal olarak çok düzensiz buna karşın global ölçekte yapı gösteren bir davranış sergilerler. Bunun tipik bir örneğini, bir sondaj boyunca alınan karot örnekleri oluşturur. Şekil 2, bir bakır yatağında karot örneklerinin bakır tenörlerinin sondaj boyunca nasıl değiştiğini göstermektedir.

Bakır tenörleri lokal olarak (1-2 m ölçeğinde) oldukça düzensiz bir davranış gösterirken, global ölçekte (20-40 m ölçeğinde) zengin ve yoksul bölgeler şeklinde yapı gösteren bir davranışta sergilemektedir. Bu davranış şekli bakır tenörlerinin yalnızca düşey yöndeki değişimine özgü değildir. Yatağın hemen her kesiminde buna benzer davranışlar gözlemek mümkündür.

Bölgesel değişkenlerin birbirine zıt bu iki özelliği (yapısal ve gelişigüzel davranış)

dikkate alındığında, uzaklığa bağlı değişimleri modelleyecek en ideal yaklaşımın olasılıksal bir dil kullanan yaklaşım olduğu ortaya çıkar.



Şekil 2. Bakır tenörlerinin sondaj boyunca değişimi

Jeostatistikte, bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri durağan rastlantı fonksiyonlarının olasılıksal çatısı altında modellenir. Önce yatağın her x noktasında bir $Z(x)$ rastlantı değişkeni tanımlanır ve bu noktadaki değeri, $Z(x)$ rastlantı değişkeninin bir değeri olduğu kabul edilir. Maden yatağı içinde tanımlanan rastlantı değişkenlerinin tümü durağan bir rastlantı fonksiyonunu oluşturur ve bölgesel değişkende rastlantı fonksiyonunun aldığı bir değer şeklinde ortaya çıkar.

Maden yatağının bir noktasından yalnızca birdefa örnekleme yapılabilir ve bu nedenle yalnızca bir gözlem vardır. Tek bir gözlemler ortalaması, varyans gibi istatistikler belirlenemeyeceğinden durağan rastlantı fonksiyonları altında bu istatistiklerin, yatağın bir noktasından diğer bir noktaya

değişmediği ve ayrıca $Z(x)$ ve bundan h kadar mesafede tanımlanan $Z(x+h)$ rastlantı değişkenleri arasındaki ilişkinin, x ve $x+h$ noktalarına değil, bunlar arasındaki h uzaklığına bağlı olduğu varsayılır.

Rastlantı fonksiyonlarının çatısı altında bölgesel değişkenin lokal ölçekteki gelişigüzel davranışı rastlantı değişkeni, global ölçekteki yapı gösteren davranışı ise rastlantı değişkenleri arasındaki uzaklığa bağlı korelasyon derecesi ile modellenir.

2.1. Uzaklığa Bağlı İlişki (Variogram) Fonksiyonu

P^u anu değişkenlerinin tanımladığı noktalar arasındaki uzaklık ile bu noktadaki değerleri arasında bir ilişki vardır ve normal olarak uzaklık azaldıkça, değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması beklenir. Başka bir deyişle bölgesel değişkenlerin değerleri arasındaki fark, bu değerler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur.

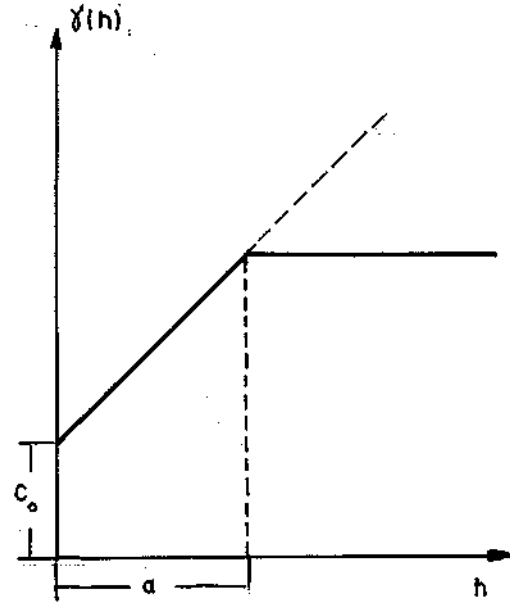
Jeostatistikte, bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonksiyonu rastlantı değişkeninin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve $2\gamma(h)$ ile gösterilir.

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

Variogram fonksiyonu, maden yatağının ilgili bölgesel değişkeni için ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin, bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenebilir.

teorik olarak, $h=0$ olduğunda variogramın değeri sıfıra eşittir [$\gamma(0)=0$]. Bununla birlikte, uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği sınır bir uzaklık vardır. Bu sınır uzaklık, bütün mevcut örnekler içinde, birbirine en yakın iki örnek arasındaki

uzaklıktır. Pratik olarak, bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi, veri olmadığından belirlenemez ve bu durum variogramın orijininde bir süreksizliğe (sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına) yolaçar. Orijindeki süreksizliğin diğer bir nedeni de örnekleme ve analiz hatalarıdır. Eğer aynı bir noktadan iki örnek almak mümkün olsaydı, bu örneklerin değerleri arasında, örnekleme ve analiz hatalarından dolayı bir fark olurdu. Süreksizliğin bu iki kaynağını birbirinden ayırt etmek mümkün değildir ve variogramda bu durum külçe etki (C_0) şeklinde ortaya çıkar (Şekil 3).



Şekil 3. Variogram fonksiyonu

Variogramın kısa mesafelerdeki (orijine yakın) davranışı, bölgesel değişkenin homojenlik derecesi hakkında bir bilgi verir. Eğer bölgesel değişken kısa mesafelerde ani değişiklik gösteriyorsa, variogram orijine yakın yüksek değerler alır. Benzer şekilde, variogramın büyük h mesafelerindeki davranışı, bölgesel değişkenin düzenlilik derecesini karakterize eder. Eğer uzak mesafelerde bölgesel değişken düzenli (sürekli bir şekilde artan yada azalan) bir değişim gösteriyorsa, variogram artan h uzaklığı ile sürekli bir şekilde artar. Eğer bölgesel değişken bir geçişli yapı gösteriyorsa

(zengin ve yoksul bölgeler şeklinde) variogram belirli bir a mesafesinden sonra artışını durdurur ve belirli bir değer (bu değer teorik olarak örnek değerlerinin varyansına eşittir) çevresinde değerler alır. Yapısal uzaklık olarak adlandırılan bu a mesafesinden sonra örnek değerleri arasında hiç bir ilişki kalmaz. Yapısal uzaklık, bir örneğin etki mesafesine karşılık gelir.

Variogramların yapısal uzaklıkları yöne göre değişiklik gösteriyorsa, yatağın ilgili değişken için anizotrop olduğu söylenir.

2.2. Optimal Doğrusal Kestirim (Kriging)

Variogram fonksiyonu, bölgesel değişkenin çeşitli özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesinin yanında, örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin kestiriminde de kullanılabilir. Genel olarak kestirim işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır. Matematiksel olarak bu

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

formunda ifade edilir. (2) Eşitliğinde $Z^*(x_0)$; x_0 noktasında bilinmeyen ancak kestirilen değeri, $Z(X)$; x_0 noktasının kestiriminde kullanılacak değişkenin değerlerini, X ise değişkenin değerlerine verilecek ağırlıkları ifade etmektedir. Normal olarak, X noktalarındaki değişkenin değerleri bellidir ancak bunlara verilecek ağırlıkları hesaplamak gerekir. Jeostatistikte, bu ağırlıklar, kestirim hatalarının ortalaması sıfır (yansızlık koşulu) ve varyansı en küçük (en küçük varyans koşulu) olacak şekilde belirlenir. x Noktasının kestiriminde n adet veri kullanılıyorsa, bu iki koşul $n+1$ adet doğrusal denklemler sistemine yolaçar.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x_0) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad , j = 1, \dots, n$$

Matris formunda bu sistem,

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{01} \\ \gamma_{02} \\ \dots \\ \gamma_{0n} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. (4) Sisteminde yy ; X ve X noktaları arasındaki variogram değerini, u ; optimizasyon sabitini göstermektedir. Bu sistemi çözerek optimum X ağırlıkları hesaplanabilir. Bilinmeyen değerlerin bu şekilde, yansız ve en küçük hata varyansı ile kestirime kriging adı verilir. Uygulamada, kriging ile kestirimin, verilerin dağılımına bağlı olduğu şeklinde bir inanç vardır. Örneğin, veriler lognormal dağılıyorsa, verilerin logaritmaları alınır ve bu logaritmik değerler üzerinde çalışılır. Gerçekte verilerin dönüştürülmesi kriging ile kestirimin bir istemi değildir. Dağılımın şekli ne olursa olsun, ham veriler krigingde* kullanılabilir. Verileri dönüştürmenin amacı, variogramların doğru bir şekilde kestirimine yardımcı olmaktır.

2.3. İndikatör Değişken

İndikatör değişken, rastlantı değişkeninin bir sınır değer gözönüne alınarak 0 yada 1 şeklinde kodlandığı değişkendir. Örneğin x noktasındaki $Z(x)$ tenor değeri, bir z_s sınır değerinden küçük yada eşitse bu noktada indikatör değişken 1, büyükse 0 değerini alır.

$$I(x; z) = 1, Z(x) < z, \quad (5)$$

$$I(x; z) = 0, Z(x) > z_s$$

Verilerin 0 yada 1 şeklinde kodlanması aynı zamanda bir olasılık ifadesi olarakta görülebilir.

$$I(x; z_s) = \Pr[Z(x) < z_s | Z(x) = z(x)] \quad (6)$$

x Noktasındaki z(x) değeri bilindiğinde, Z(x)'in z_s ye eşit yada z_s den küçük olmasının (koşullu) olasılığı 1, büyük olmasının (koşullu) olasılığı ise 0 dır.

3. İNDİKATÖR KRİGİNG VE KOŞULLU OLASILIKLARIN KESTİRİMİ

Tenor, kalınlık gibi bölgesel değişkenlerin krigingle kestirimine benzer şekilde indikatör değişkenlerde kestirilebilir. İndikatör değerler, koşullu olasılık fonksiyonları olarak yorumlandığında, kestirilen indikatör değerlerde koşullu olasılık fonksiyonunun kestirimleri olarak ortaya çıkar.

$$\begin{aligned} \Pr[Z(x) < z_s | Z(x_1) = z(x_1), \dots, Z(x_n) = z(x_n)] = \\ = I^*(x; z_s) = \sum_{j=1}^n A_j I(x_j; z_s) \end{aligned} \quad (7)$$

(7) Eşitliğinde, A_j'ler I(X_j; Z_s), j=1, ..., n indikatör verilere atanacak ağırlıklardır ve bunlar indikatör kriging sisteminin çözümünden elde edilir. İndikatör krigingde indikatör veriler kullanıldığından kriging sistemindeki variogramların yerini indikatör variogramlar alır.

4. SINIR BELİRSİZLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

N farklı lokasyonda kalınlık değerlerinin ölçüldüğü bir A alanı ve bu alan içinde değerlerin pozitif olduğu bir D bölgesi göz önüne alalım. Ayrıca bu D bölgesi dışında ölçülen kalınlık değerleri sıfır olsun. Bu koşullarda, D bölgesi cevherli zona karşılık gelir ancak lokasyonlar arasındaki mesafenin büyük olmasından dolayı sınırlar tam olarak bilinmez. Bununla birlikte içinden gerçek

sınırın geçtiği bir belirsizlik bölgesi yada zonu belirlemek mümkündür.

Bunu gerçekleştirmenin bir yolu, gözlem noktalarında, kalınlığın sıfır yada pozitif olması durumuna göre bir indikatör değişken tanımlamaktır.

$$I(x_j) = 0, Z(x_j) = 0$$

•(8)

$$I(x_j) = 1, Z(x_j) > 0$$

Bu indikatör değişkene dayanarak, A alanı üç farklı bölgeye ayrılabilir. 'I'e eşit indikatör değerlerin tanımladığı cevherli bölge (D_c), '0'a eşit indikatör değerlerin tanımladığı cevhersiz bölge (D_n) ve hiç bir bilginin olmadığı belirsizlik bölgesi (D[^]) (Şekil 1).

İndikatör kriging tekniği kullanılarak örneklenmemiş noktaların cevherli, cevhersiz ve belirsizlik bölgesine ait olma olasılıkları hesaplanabilir. Eğer örneklenmemiş bir noktadaki kestirilen indikatör değer 'I'e eşit yada büyükse nokta, D_c bölgesine, '0'a eşit yada küçükse D_n bölgesine ve 0 ile 1 arasında ise D[^] belirsizlik bölgesine aittir. Kestirilen olasılıklara, sınır belirsizliği açısından da bakılabilir. Bu durumda, kestirilen indikatör değer 0 yada 'I'e eşitse bu noktanın bir bölgeye ait olması konusunda hiçbir belirsizlik yoktur. Değerler 0 yada 'I'e yakınsa küçük bir belirsizlik vardır. Eğer değer 0.5'e eşitse belirsizlik en yüksek seviyesine erişir. Bu durumda, noktanın D_c mi yoksa D_n mi ait olduğu konusunda hiçbir şey söylenemez.

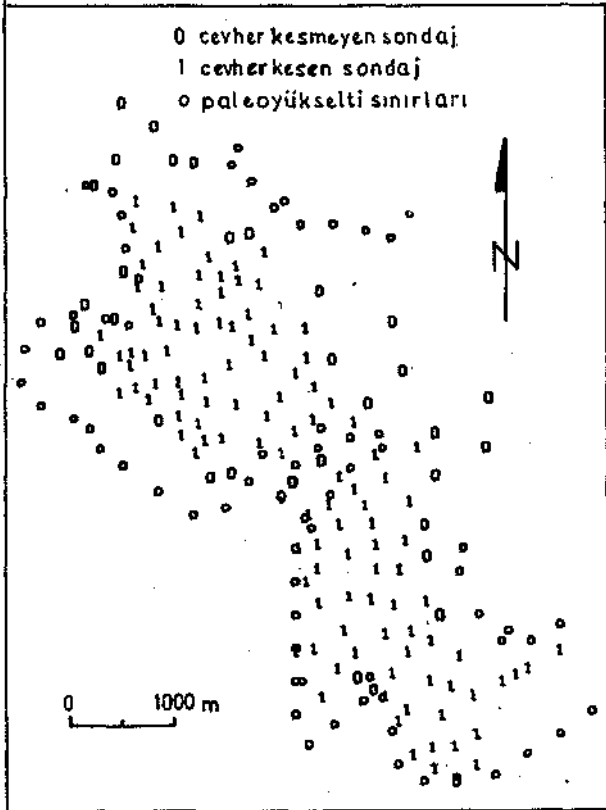
5. SİVAS-KANGAL-KALBURÇAYIRI KÖMÜR YATAĞI SINIRLARINA İLİŞKİN BİR UYGULAMA

Kalburçayırı linyit havzası, Kangal-Uzunyayla molas havzasının güneyinde yeralan bir paleokörfez olup iki adet kömür damarı içerir. Kömürler altta çakıllı seri, üstte ise bıcır formasyonunun arasında yer almakta olup.

kömürlü horizonlar, alttan üste doğru kiKömürlü kil, kömür, kil ve marn şeklinde birdi/ilim gösterirler (MTA.1976).

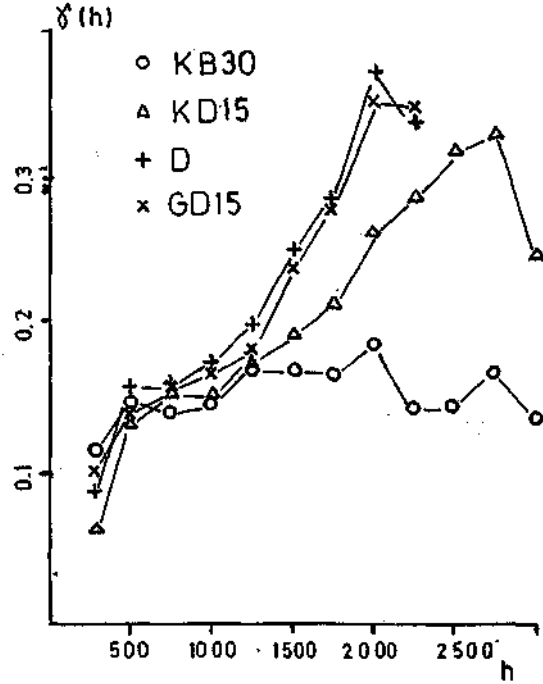
Arama ve geliştirme amacıyla Kalburçayırı kömür sahasında toplam .154 adet sondaj yapılmış ve bunlardan 118 adeti kömür kesmiştir (MTA, 1976). Üst damara ilişkin kömür kalınlıkları bu çalışmada kullanılan temel verileri oluşturmaktadır. Sondajlar aralıklı olarak yapıldığından kömür sınırları tam olarak bilinmemektedir ancak paleoyükselti 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 4, 154 sondaj lokasyonuna ilişkin indikatör verilerle birlikte paleoyükseltilerin

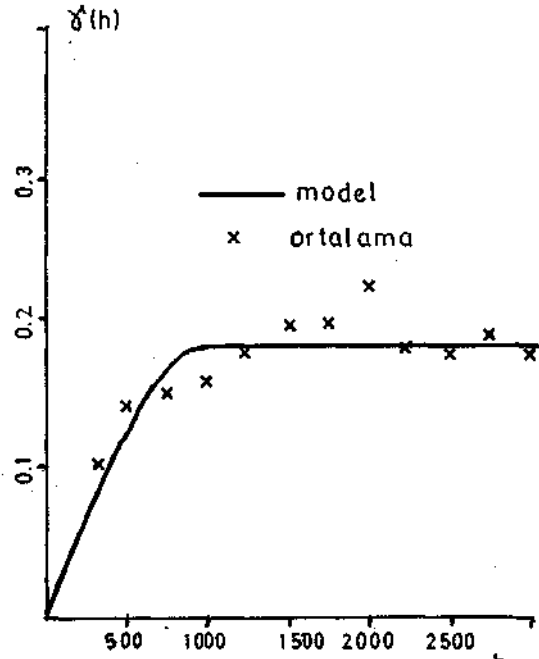


Şekil 4. Kalburçayırı kömür sahası için kullanılan veriler

sınırlarını göstermektedir. Normal olarak, kömür damarının bu sınırların ötesinde devamlılığı yoktur.İndikatör verilerin dört farklı yönde hesaplanan variogramları Şekil 5'de gösterilmiştir. 1200 Metreye kadar variogramların izotropik olduğu ve küresel variogram modeli ile modellenebileceği görülmektedir.



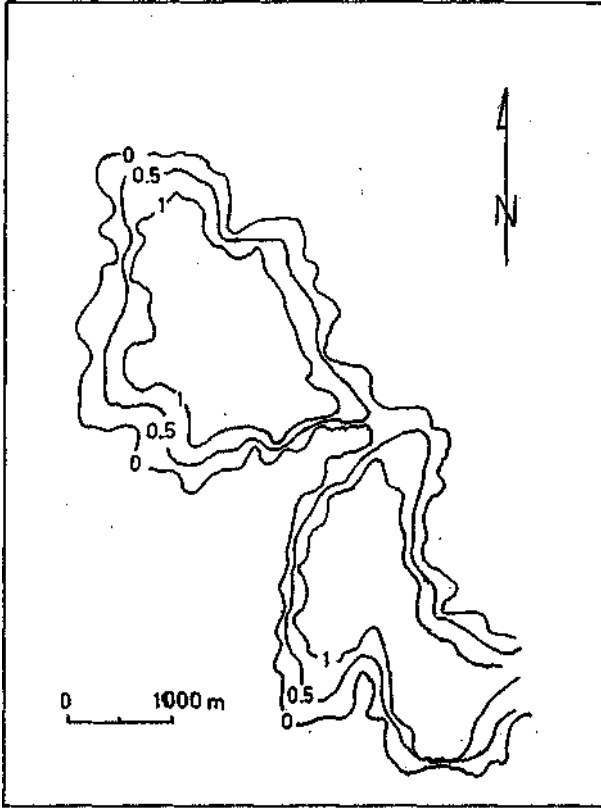
Şekil 5. Yönel indikatör variogram



Şekil 6. Model ve ortalama indikatör variogram

Nugget etkisi sıfır ve yapısal uzaklık 1000 m civarındadır. Şekil 6, model ve ortalama deneysel variogramı göstermektedir. İndikatör veriler, indikatör variogram modeli ve •paleoyükseltilerdeki kontrol verileri kullanılarak, saha üzerinde düzenli aralıklarda koşullu olasılık değerleri kestirilmiştir. Kestirim komşuluğu 700 m olarak alınmış ve bu komşuluk içinde oktant veri arama işlemi (Deutsch ve Journel, 1992) kullanılmıştır. Kestirim komşuluğu içinde en çok örnek sayısı 6 dır.

Şekil 7, bu olasılıkların kontur haritasını göstermektedir. En içteki kontur, olasılığın 1'e eşit olduğu konturdur ve bu konturun belirlediği alan içindeki herhangi bir noktada kömür kesme olasılığı %100 dür. En dışdaki konturun dışında kalan bütün lokasyonlar ise kömürsüz bölgeye aittir. Bu ikisi arasında bir belirsizlik zonu vardır ve gerçek sınır bu zon içinde yer almaktadır. Ortadaki kontur (0.5) ise belirsizliğin en yüksek olduğu kontur göstermektedir.



Şekil 7. Olasılıksal sınırlar

Bu kontur üzerindeki bir noktanın kömürlü zona ait olma olasılığı, kömürsüz zona ait olma olasılığına eşittir.

6. SONUÇLAR

İndikatör kriging, örneklenmemiş lokasyonlardaki koşullu olasılık değerlerinin kestiriminde kullanılan, veri dağılımına bağlı olmayan jeostatistiksel bir tekniktir. Teknik, verilerin, var yada yok şeklinde kodlanmasına dayandığından her türlü (sondaj, jeolojik, tektonik) bilgiyi kullanabilir. Bu çalışmada örneklenmemiş lokasyonlardaki olasılık değerleri Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağındaki sınır belirsizliğini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Yöntemin uygulaması sadece tabakalı yataklarla kısıtlı değildir, belirsizlik zonu içeren her türlü yatağın sınır belirsizliği bu yöntemle değerlendirilebilir.

İndikatör kriging, olasılıkların kestiriminde gerçek kalınlık değerlerini dikkate almaz. İndikatör verilerle birlikte gerçek kalınlık değerleride göz önüne alındığında kokriging tipi bir kestirici kullanmak gerekir. Bu yöndeki çalışmalar sürmektedir.

KAYNAKLAR

CRESSIE, N.A.C., 1991; " Statistics For Spatial Data ", John Wiley and Sons, New York, s.900

DEUTSCH, C.V. ve JOURNEL, A.G., 1992; " GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide", Oxford University Press, s.340

JONES, TA., HAMILTON, O.E., ve JOHNSON, C.R., 1986; " Contouring Geological Surfaces With The Computer ", Van Nostrand Reinhold Co., New York, s.314

JOURNEL, A.G. ve HUIJBREGTS, Ch. J., 1978, " Mining Geostatistics ", Academic Press, s.600

JOURNEL, A.G., 1983; " Nonparametric Estimation of Spatial Distributions Mathematical Geology, v. 15, n.3, s. 445-468.

JOURNEL. A.G., 1985; " Recoverable Reserves Estimation- The Geostatistical Approach ". Mining Engineering, v.37, n.6, s.563-567.

MATHERON, G., 1963; " Principles of Geostatistics ", Economic - Geology, 58, s. 1246-1266

MTA. 1976; " Sivas-Kangal Kömür Yatağı Fizibilite Araştırma Raporu ", Cilt 2 (Rezerv), s. 3 2

PAWLOWSKY, V., OLEA, R.A. ve DAVIS, J.C.. 1993; " Boundry Assessment Under Uncertainty: A Case Study ", Mathematical Geology, v.25. n.2, s. 125-144.

TERCAN. A.E ve MAMUREKLİ, D., 1996; " Indicator. Kriging As A Decision Tool In Coal Mine Planning Considering Ash Content: A Case Study ", The First International Symposium On Mine Environmental Engineering ", Kütahya.

**TÜRKİYE
15. MADENCİLİK
KONGRESİ VE
SERGİSİ**

**6-9 MAYIS 1997
ANKARA**

Başvuru:
Prof.Dr.Tevfik GÜYAGÜLER
TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
Selanik Caddesi No: 19/3 06650 Kızılay, ANKARA
Tel: 0.312.425 10 80 - 418 36 57 Fax: 0.312.417 52 90



**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**