

## **Kriging Yarıçapının Önemi ve Rezerv Tahminine Etkisi: Örnek Bir Uygulama**

The Importance of Kriging Radius and the Effect on the Reserve Estimation: A Case Study

Ercüment YALÇIN (\*)

### ÖZET

Kriging metoduyla kömür rezerv tahmini sırasında seçilen kriging yarıçapının tesbiti çok önemlidir. Bu çalışmada, optimum kriging yarıçapının seçimi için izlenecek yöntem, kriging yarıçapının kömür kalınlık ve rezerv tahmini üzerine etkileri örnek bir uygulama üzerinde anlatılmıştır.

### ABSTRACT

The selection of kriging radius during the coal reserve estimation by kriging method is very important. In this study, the method used in the selection of optimum kriging radius, the effect of kriging radius on the coal thickness and reserve estimation is described using a coal deposit as a case study.

(\*)Dr. Maden Yük. Müh., Arş. Gör., ODTU Maden Müh. Böl., ANKARA

## 1. GİRİŞ

Günümüzde cevher rezervinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan metodların başında, jeostatistiksel bir yöntem olan kriging metodu gelmektedir. Kriging metodu, kömür rezervlerinin hesaplanmasında da başarılı sonuçlar vermektedir. özellikle uzun vadeli üretim planlamasında, örtükazı / kömür ayırımının çok hassas bir şekilde yapılabilmesi için, sahanın gridlere bölünmesiyle meydana getirilen blokların içerdiği kömür kalınlıklarının gerçek kalınlıklara çok yakın olması gerekmektedir. Bu da kriging metoduyla mümkün olmaktadır.

Kriging metoduyla yapılan tahminlerin doğruluğunu etkileyen faktörlerden en önemlileri variogram parametreleri (sili değeri, külçe etkis, etki mesafesi) ile seçilen kriging planıdır (1,2). Kriging planının seçiminde belirli bir kural olmamasına rağmen, sahadan alınan numune sayısı ve numune noktalarının birbirine uzaklığı kriging planının seçimi sırasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli etkenlerdir (3).

Kriging planı, genelde kriging yarıçapını ve tahmin sırasında kullanılacak olan en fazla numune sayısını ifade eder. Eğer numune sayısı yeterince fazla ve numune yerleri birbirine çok yakın ise kriging yarıçapı kısa, numune sayısı az ve birbirinden uzak ise kriging yarıçapı uzun alınır (4). Kriging yarıçapının çok uzun olması durumunda, blok değerinin tahminindeki hassasiyetin artmasına karşın,

sahanın bölgesel mineralojik yapısından uzaklaşılır (5,6).

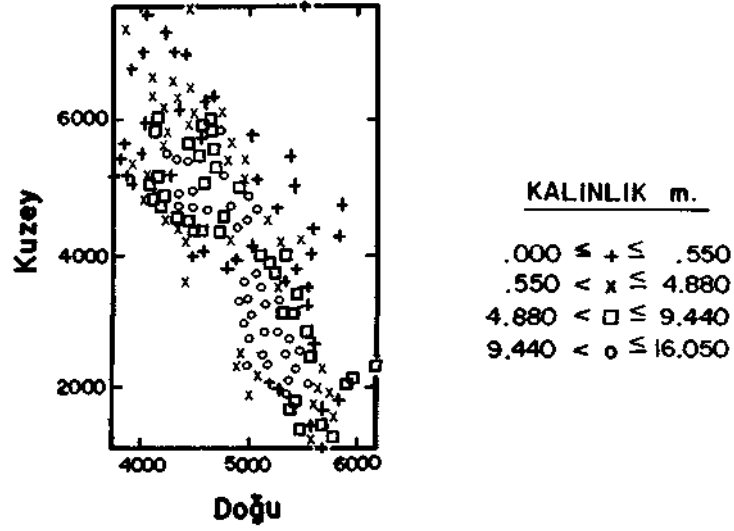
Bu çalışmada, herhangi bir kömür sahasında kriging metoduyla blok kömür kalınlıkları ve rezerv tahmini sırasında kullanılacak olan kriging yarıçapının seçiminde izlenecek yöntemler anlatılmaktadır. Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür sahasında yapılan ve üst damar için bulunmuş olan sondaj verileri (7) kullanılarak, kriging yarıçapının kömür kalınlık ve rezerv tahminine etkisi araştırılmıştır.

## 2. DATA ANALİZİ VE VARIÖGRAM MODELİ

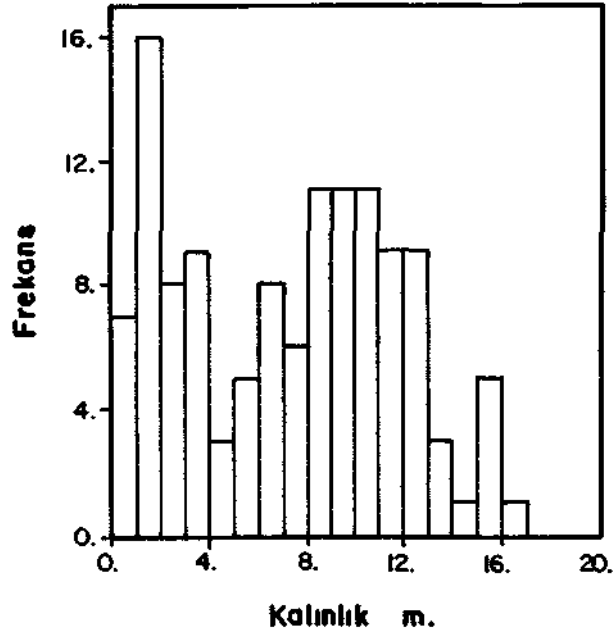
Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür sahasında değişik yıllarda 162 adet sondaj yapılmış ve bunlardan 123 tanesi üst damarda kömür kesmiştir. Sahada yapılan sondajların lokasyonları Şekil 1' de verilmiştir. Sondajlar arasındaki ortalama uzaklık 200 m civarındadır. Kesilen kömür kalınlıkları 0,55 m ile 16,05 m arasında değişmektedir. Sondajlardan elde edilen kömür kalınlıklarının istatistiksel değerlendirilmesi ve histogramı çizelge 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kalburçayırı-üst damara ait istatistiksel sonuçlar

	Bütün Sondajlar	Kömür Kesen Sondajlar
Sondaj sayısı	162	123
Ortalama kalınlık	5,516	7,265
Varyans	24,267	19,214
Standard sapma	4,926	4,383

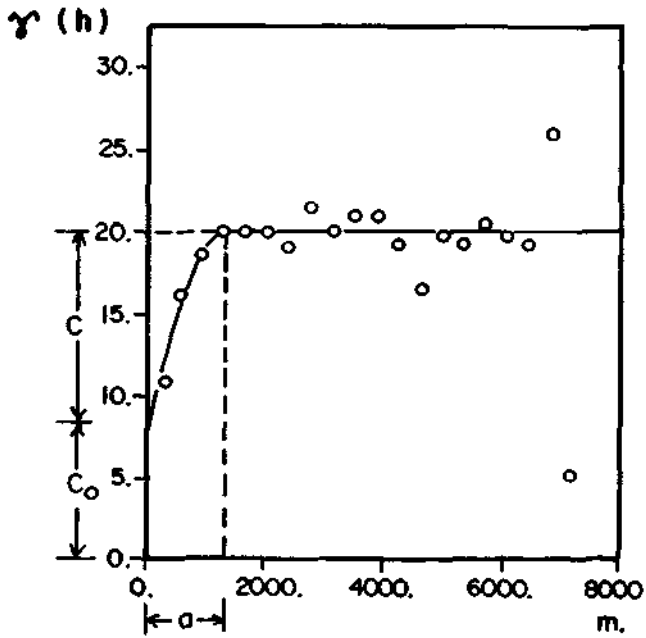


Şekil 1. Kalburçayırı sahasında yapılan sondajların lokasyonları



Şekil 2. Kalburçayırı-üst damar kömür kalınlıklarının histogramı

üst damara ait sondaj verileri kullanılarak sahanın Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yönlerinin ortalaması olan variogram değerleri hesaplanmış ve bunun sonucunda variogram modelinin küresel tip olduğu görülmüştür. Sili değeri  $(C+C_0)$ , külçe değeri  $(C_0)$  ve etki mesafesi  $(a)$  sırasıyla 20,2, 8,0 ve 1300 m olarak bulunmuştur. Şekil 3.



Şekil 3. Kalburçayı-üst damara ait variogram modeli

### 3. KRIGING YARIÇAPININ KÖMÜR KALINLIK TAHMİNİNE ETKİSİ

Kriging yarıçapının kömür kalınlık tahminine etkisini bulmak amacıyla, nokta kriging tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte sondaj yapılan noktalardaki kömür kalınlık değerleri bilgisayar programına girdi olarak verilmekte ve sırasıyla şu işlemler yapılmaktadır; önce kömür kalınlığı bilinen noktadaki kömür kalınlığının bilinmediği kabul edilmekte ve sahaya ait variogram modeli ile çevresinde bulunan noktaların kömür kalınlık değerleri kullanılarak, bu noktanın kömür kalınlığı kriging metoduyla tahmin edilmektedir. Sonra tahmin edilen kömür kalınlığı, gerçek kömür kalınlığıyla karşılaştırılmakta ve gerçek kalınlıktan tahmin edilen kalınlık çıkarılarak tahmin hatası hesaplanmaktadır. Ayrıca her nokta için kriging varyansı da hesaplanmaktadır. Bu işlem bütün sondaj noktalarına uygulanmakta ve tahmin hatalarının istatistiksel analizi yapılarak en iyi tahmini yapan kriging yarıçapı seçilmektedir (8).

Yukarıda anlatılan işlemler değişik kriging yarıçapları kullanılarak Kalburçayırı kömür sahasındaki üst damara uygulanmış ve Çizelge 2'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama hata, artı ve eksi hataların toplamının tahmin yapılan nokta sayısına bölümünden elde edilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi, tahmin yapılan nokta sayısı, toplam nokta sayısından azdır ve kriging yarıçapı büyüdükçe artmaktadır. Bunun nedeni, bazı noktaların tahmini sırasında belirtilen kriging yarıçapı

içerisinde hiçbir sondaj verisinin bulunmamasıdır. Tahmin sırasında kullanılacak olan en fazla sondaj sayısı rastgele olarak 16 seçilmiştir.

Çizelge 2. Kömür kalınlığı tahmin hatalarının istatistiksel sonuçları

N= 162				
Kriging Yarıçapı m	Nokta Sayısı	Ortalama Hata m	Standard Sapma	Kriging Standard Sapma
200	-	-	-	-
250	134	0,123	3,759	4,197
300	146	0,074	3,599	3,914
350	151	0,261	3,475	3,753
400	155	0,252	3,400	3,692
450	157	0,196	3,355	3,655
500	161	0,140	3,340	3,661
550	161	0,094	3,312	3,637
600	162	0,067	3,296	3,638
650	162	0,081	3,292	3,628
700	162	0,068	3,280	3,624
750	162	0,057	3,271	3,615
800	162	0,055	3,266	3,610
850	162	0,049	3,264	3,610
900	162	0,045	3,261	3,607

Çizelge 2'den de görüldüğü gibi kriging yarıçapı arttıkça ortalama hata 400 m ye kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Azalma miktarı 600 m ye kadar yüksek iken bu uzaklıktan sonraki değişiklik fazla olmamaktadır. En düşük ortalama hata ise kriging yarıçapının 900 m olması durumunda elde edilmektedir. Benzer durum, kriging standard sapma miktarlarında da görülmektedir. Diğer bir nokta da kriging işlemine tabi tutulan nokta sayısıdır. Toplam nokta sayısı 162 olmasına rağmen kriging yarıçapının 600 m den küçük olması durumunda, bu noktaların bazısında kömür kalınlık tahmini yapılamamakta ve tahmin yapılan nokta

sayısı 162 den az olmaktadır. Bunun nedeni daha öncede açıklandığı gibi, kalınlık tahmini yapılamayan nokta ile kendisine en yakın nokta arasındaki mesafenin 550 m den daha fazla olmasıdır ve bu noktalar genellikle saha kenarlarında yer alan noktalardır.

Değişik kriging yarıçaplarında sondaj noktalarında tahmin edilen kömür kalınlıklarının içerdiği hata miktarına göre noktaların frekans dağılımları Çizelge 3'de verilmiştir.

çizelge 3. Tahmin hatalarının frekans dağılımları

		N=162								
Frekans Aralığı		Kriging Yarıçapı, m								
		250	300	350	400	450	500	550	600	
0 - 1		35	44	42	35	40	40	45	45	
1 - 2		24	29	24	30	29	27	23	24	
2 - 3		23	15	24	35	33	37	37	35	
3 - 4		15	17	18	13	13	13	16	16	
4 - 5		9	17	19	20	22	25	21	24	
5 - 6		13	9	13	11	11	10	11	10	
6 - 7		7	6	5	6	3	4	3	4	
7 - 8		1	3	2	1	3	2	3	2	
8 - 9		6	5	3	3	2	1	-	-	
9 - 10		1	1	1	-	-	1	1	1	
10 - ∞		-	-	-	1	1	1	1	1	
Toplam		134	146	151	155	157	161	161	162	
		650	700	750	800	850	900			
0 - 1		44	44	44	44	45	45			
1 - 2		26	25	25	25	24	25			
2 - 3		36	36	37	37	37	36			
3 - 4		15	17	17	17	17	17			
4 - 5		23	22	22	22	22	22			
5 - 6		10	10	9	9	9	9			
6 - 7		4	4	4	4	4	4			
7 - 8		2	2	2	2	2	2			
8 - 9		-	1	1	1	1	1			
9 - 10		1	-	-	-	-	-			
10 - ∞		1	1	1	1	1	1			
Toplam		162	162	162	162	162	162			



çizelge 3'deki tahmin hatalarına göre noktaların frekans dağılımları incelendiğinde, tahmin edilen kömür kalınlıklarındaki hata miktarının büyük çoğunluğunun 0-1 m ve 1-2 m aralıklarında olduğu ve kriging yarıçapı arttıkça bu aralıkların frekansının arttığı görülmektedir.

Gerçek kömür kalınlıklarıyla, tahmin edilen kömür kalınlıkları arasındaki ilişkiyi görmenin diğer bir yolu da doğrusal regrasyon analizidir. Değişik kriging yarıçaplarında tahmin edilen kömür kalınlıklarının gerçek kalınlıklara göre doğrusal regrasyon sonuçları çizelge 4'de verilmiştir.

çizelge 4. Değişik kriging yarıçaplarında elde edilen regrasyon sonuçları (N=162)

Kriging Yarıçapı	Eğim	Kesim Noktası	Korrelasyon Katsayısı	Tahmin Edilen Nokta Sayısı
250	0,591	2,614	0,617	134
300	0,521	2,943	0,686	146
350	0,495	3,207	0,708	151
400	0,493	3,159	0,725	155
450	0,497	3,057	0,732	157
500	0,496	2,932	0,738	161
550	0,493	2,903	0,745	161
600	0,491	2,872	0,749	162
650	0,490	2,892	0,750	162
700	0,492	2,873	0,753	162
750	0,493	2,852	0,754	162
800	0,493	2,852	0,756	162
850	0,493	2,851	0,757	162
900	0,492	2,845	0,757	162

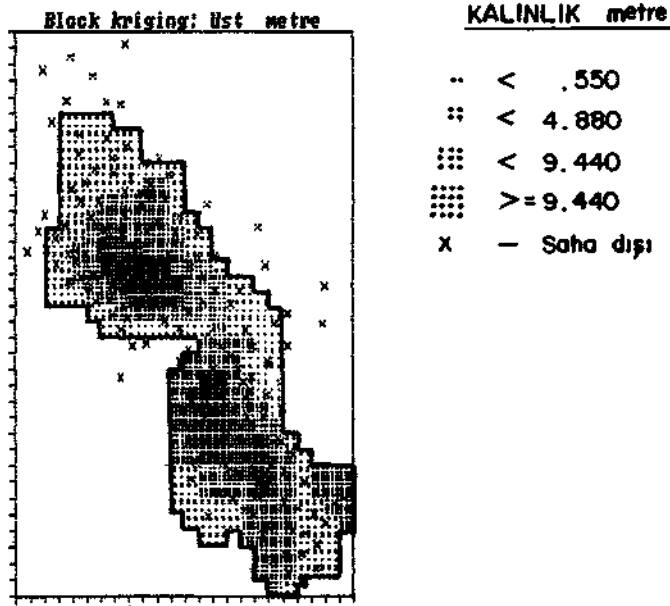
çizelge 4'de görüldüğü gibi, kriging yarıçapı arttıkça korrelasyon katsayısı artmakta ve regresyon doğrusunun eğimi 400 m yarıçapa kadar azalmakta, daha sonra fazla bir değişiklik olmamaktadır. Kesim noktası ise 400 m ye kadar

artmakta ve bu noktadan sonra azalmaya başlamaktadır. 600 m den sonra ise tekrar bir miktar artıp azalmaktadır. Teorik olarak regresyon doğrusunun eğiminin ve korrelasyon katsayısının 1 'e, kesim noktasının ise 0 'a çok yakın olması gerekmektedir (6,9). çizelgede en yüksek eğim ve en küçük kesim noktası değeri 250 m'lik kriging yarıçapında elde edilmesine karşın korrelasyon katsayısı çok küçüktür. Kriging yarıçapı arttıkça korrelasyon katsayısıda artmakta, artış miktarı 600 m ye kadar büyük olmakta ve bu uzaklıktan sonra artış miktarı azalmaktadır. Bütün bu verilerin ışığı altında, Kalburçayırı kömür sahası-üst damar için optimum kriging yarıçapı 600 m olarak seçilebilir.

#### 4. KRİĞİNG YARIÇAPININ KÖMÜR REZERV TAHMİNİNE ETKİSİ

Kriging metoduyla sahadaki kömür rezervinin hesaplanması sırasında kullanılan kriging yarıçapının, kömür rezerv tahminine etkisini bulmak - amacıyla saha sınırları Şekil 4'de görüldüğü gibi tesbit edilmiş ve 200 m x 200 m boyutundaki bloklara bölünmüştür. Sahada toplam olarak 285 blok yer almaktadır. Seçilen sınır dışında kalan sondajlar kömür kesmediği için sınır dışında tutulmuştur. Kriging işlemi sırasında sahada yer alan faylar göz önüne alınmamıştır.

Kriging metoduyla blokların içerdiği kömür kalınlıklarının tahmini sırasında variogram parametreleri olan sili değeri 20,2, külçe değeri 8,0 ve etki mesafesi



Şekil 4. Bloklara ayrılan saha sınırları

1300 m olarak alınmıştır. Kriging planının bir parametresi olan kullanılabilir en fazla numune sayısı 16 olarak seçilmiştir. Kriging yarıçapı ise 200 m den 900 m ye kadar her defasında 50 m arttırılarak işlem tekrarlanmış ve Çizelge 5'da verilen sonuçlar elde edilmiştir. Blokların içerdiği kömür tonajı, blok yüzey alanı ile tahmin edilen kömür kalınlığının çarpımından elde edilen sonucun kömür yoğunluğu ile çarpımından elde edilmiştir. Kalburçayırı kömür sahası için kömür yoğunluğu 1,3 Ton/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (7).

çizelge 5. Değişik kriging yarıçaplarında elde edilen rezervler

Kriging Yarıçapı m	Toplam Blok Sayısı	Ortalama Kriging Standard Sapma	Tahmin Edilen Rezerv Ton
200	244	2,626	81 128 320
250	268	2,346	85 900 360
300	279	2,100	89 222 120
350	284	1,985	91 095 680
400	285	1,886	90 615 720
450	285	1,814	90 211 680
500	285	1,778	90 391 080
550	285	1,763	89 974 040
600	285	1,753	90 060 360
650	285	1,744	89 510 720
700	285	1,741	89 402 040
750	285	1,740	89 471 720
800	285	1,738	89 306 360
850	285	1,737	89 306 880
900	285	1,736	89 390 600

çizelge 5'de görüldüğü gibi, sahada yer alan toplam blok sayısı 285 olmasına rağmen, seçilen kriging yarıçapının 400 m den az olması durumunda kriging işlemi uygulanan blok sayısı toplam blok sayısından az olmaktadır. Tahmin edilen kömür rezervi, kriging işlemi uygulanan blok sayısındaki artışa paralel olarak 350 m kriging yarıçapına kadar artmakta ve 350 m kriging yarıçapında 91 095 680 ton olarak tahmin edilmektedir. Sonraki kriging yarıçaplarında bir miktar azalarak 89 306 360 - 90 615 720 ton arasında tahmin edilmektedir. Buna karşılık blok kömür kalınlık tahminindeki kriging standard sapması ise küçük kriging yarıçaplarında çok yüksek çıkmakta ve kriging yarıçapı arttıkça azalmaktadır. Azalma miktarı 600 m den sonra çok düşük olmaktadır. Kriging yarıçapı arttıkça kriging

Standard sapmasında meydana gelen azalmanın tahmin edilen kömür rezervine aynı oranda yansımadağı ve tahmin edilen rezervlerin özellikle 600 m kriging yarıçapından sonra birbirine çok yakın olduğu görölmektedir.

## 6. SONUÇ

Kriging metoduyla kömür rezerv tahmini sırasında, sahada yer alan kömür damarının variogram parametrelerinin hassas bir şekilde bulunmasının yanısıra, üzerinde durulması gereken diğer bir önemli nokta da kriging yarıçapının doğru seçilmesidir. Seçilen kriging yarıçapının optimumdan küçük seçilmesi durumunda tahmin edilen kömür kalınlıklarının ve rezervin kriging varyansları yüksek olmaktadır. Büyük olması durumunda ise kriging varyansı düşük olmakla beraber sahanın bölgesel mineralojik yapısından uzaklaşmaktadır. Bu /örnek uygulamada kriging yarıçapının 600 m ve daha yüksek olması durumunda tahmin edilen kömür tonajının gerçek tonaja çok yakın olacağı ve tahmin hatasının fazla olmayacağı kanısına varılmıştır.

Uzun vadeli kömür üretim planlarının gerçekleşmesi, planlama sırasında eldeki bilgilerin ve özellikle sahanın değişik bölgelerindeki kömür kalınlıkları tahmininin doğru olmasına bağlıdır. Bu nedenle, rezerv tesbit çalışmalarını sırasında yukarıda belirtilen hususlara çok dikkat edilmelidir.

Optimum kriging yarıçapının seçimi, sahada yer alan sondaj sayısına, sondajlar arasındaki mesafeye ve variogram etki mesafesine bağlı olduğu için, bu çalışmada uygun olduğu kabul edilen 600 m kriging yarıçapı sadece Kalburçayırı kömür sahası-üst damara özgüdür ve diğer kömür sahaları ve damarları için yazıda anlatılan yöntemler kullanılarak en uygun kriging yarıçapları bulunmalıdır.

#### KAYNAKLAR :

1. BROOKER, P. I., A Parametric Study of Robustness of Kriging Variance as a Function of Range and Relative Nugget Effect for Spherical Semivariograms, Math. Geol., Vol. 18, No 5, 1989, s. 477-488.
2. CHAOOAI, N. E. ve FYTAS, K., 1991, A Sensitivity Analysis of Search Distance and Number of Samples in Indicator Kriging, CIM Bulletin, Vol. 84, No 948, 1991, s. 37-43.
3. DAVID, M., Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Scientific Publishing Company, 1982, 364 s.
4. JOURNEL, A. ve HUIJBRECHTS, C. J., Mining Geostatistics, 1978, 600 s.
5. RIVOIRARD, J., "Two Key Parameters when Choosing the Kriging Neighborhood", Math. Geol., Vol. 19, No 8, 1987, s 851-856.
6. ARMSTRONG, M. ve CHAMPIGNY, N., A Study on Kriging Small Blocks, CIM Bulletin, Vol. 82, No 923, 1989, s. 128-133.
7. MTA, Sivas-Kangal kömür yatağı Fizibilite Araştırma Raporu, Cilt 2, rezerv, 1976, 31 s.
8. LONERGAN, J.E., Developing Variogram Models of Thickness and Ash Values for the Lucern #8 Coal Deposit: A Case Study, App. of Geostatistics to Coal Resource Characterization and Mine Planning, U. S.Dept. of Energy, Pitsburg, PA, 1981.
9. KIM, Y. C, MEDHI, P. K. ve RADITIS, I.S., Performance Evaluation of Indicator Kriging in a Gold Deposit, Min. Eng., Vol. 39, 1987, s. 947-952.