



# İlıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Jeostatistiksel Değerlendirilmesi

## Geology and Geostatistical Evaluation of İlıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn Mineralization

Sermin KOÇER

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532, Ankara  
(e-posta: skocer@hacettepe.edu.tr)

Cem SARAÇ

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532 Ankara  
(e-posta: csarac@hacettepe.edu.tr)

### Öz

Bu çalışma, İlıcadere (Bayındır - İzmir) Pb - Zn cevherleşmesinin rezerv - tenor değerlendirmesini kapsamaktadır. İnceleme alanında, MTA Genel Müdürlüğü tarafından değişik yıllarda hepsi dik olarak toplam 74 adet sondaj yapılmıştır. Cevher kesen sondaj verileri dijital ortama aktarılmış ve her bir değişken için (Pb, Zn, Cu) jeostatistiksel parametreler belirlenmiştir. Veriler, kompozit edilerek jeostatistiksel uygulamalara geçilmiş ve çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak cevherleşmenin üç boyutlu değerlendirilmesi yapılmıştır. Cevherleşmenin yatay/düsey yönde variogramları hesaplanmış ve yatağın anizotropisi incelenmiştir. Cevherleşme, Pb için;  $C_0 = 20$ ,  $C = 200$ ,  $a = 75$  m., Zn için ;  $C_0 = 4$ ,  $C = 14$ ,  $a = 75$  m. ve Cu için ;  $C_0 = 0.002$ ,  $C = 0.005$ ,  $a = 75$  m. parametreleriyle küresel olarak modellenmiştir. Model parametrelerinin cevherleşmeye uygunluğu çapraz doğrulama teknikleri ile test edilerek,  $10 \times 10 \times 10$  m. blokların ortalama tenörleri jeostatistiksel blok kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Cu için veri değerlerinin oldukça küçük ve güvenilir olmamasından dolayı, Cu sadece modellenmiş ve rezerv hesabı yapılmamıştır. Kestirim sonucunda Pb ve Zn için tenör-tonaj dağılımları hesaplanmıştır. Elde edilen tenör-tonaj dağılımları yardımıyla farklı eşik tenörlere karşılık gelen rezerv miktarları ve ortalama tenor değerleri belirlenmiştir. Bu değerlendirmelere göre, İlıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn cevherleşmesinde ekonomik işletilebilirlik çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İlıcadere, Bayındır, Pb, Zn, jeostatistik, maden yatakları değerlendirme

### Abstract

This study includes grade - tonnage estimation of İlıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn mineralization. In the study area, by General Directorate of MTA, 74 vertical drillholes were made in different years. The data which were coming from drillholes transferred into computer system and statistical parameters were determined for each variable (Pb, Zn and Cu). By compositing data, three dimensional assessment of the mineralization were done using some special geostatistical softwares. The variograms of mineralization were computed for the vertical and horizontal directions, anisotropy of deposit was investigated and the mineralization was spherically modelled by the parameters for Pb;  $C_0=20$ ,  $C=200$ ,  $a=75$  m., for Zn;  $C_0=4$ ,  $C=14$ ,  $a=75$  m. for Cu;  $C_0=0.002$ ,  $C=0.005$ ,  $a=75$  m. The validity of model parameters to mineralization was tested using the back-kriging technique and the parameters were used for estimation of the average grade of the  $10 \times 10 \times 10$  m. blocks by geostatistical block kriging technique. Cu was only modelled and no further study was applied to Cu values because of the lack of data and unreliable Cu values. Grade-tonnage distributions were calculated for Pb and Zn resulting of estimation. Using the distributions, the reserve amount and average tonnage were determined for different cut-off values. According to the assessments, the results are suggesting to use for feasibility calculations of İlıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn mineralization.

**Key Words;** İlıcadere, Bayındır, Pb, Zn, geostatistics, ore deposit evaluation

## GİRİŞ

Günümüzde maden yataklarının planlanmasında ve işletilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli özellik, maden yataklarının modelinin çıkarılmasıdır. Bu model, mevcut sondaj ve diğer jeolojik bilgilerin değerlendirilerek, cevher yatağının üç boyutlu olarak ifade edilmesiyle ortaya konulmak-

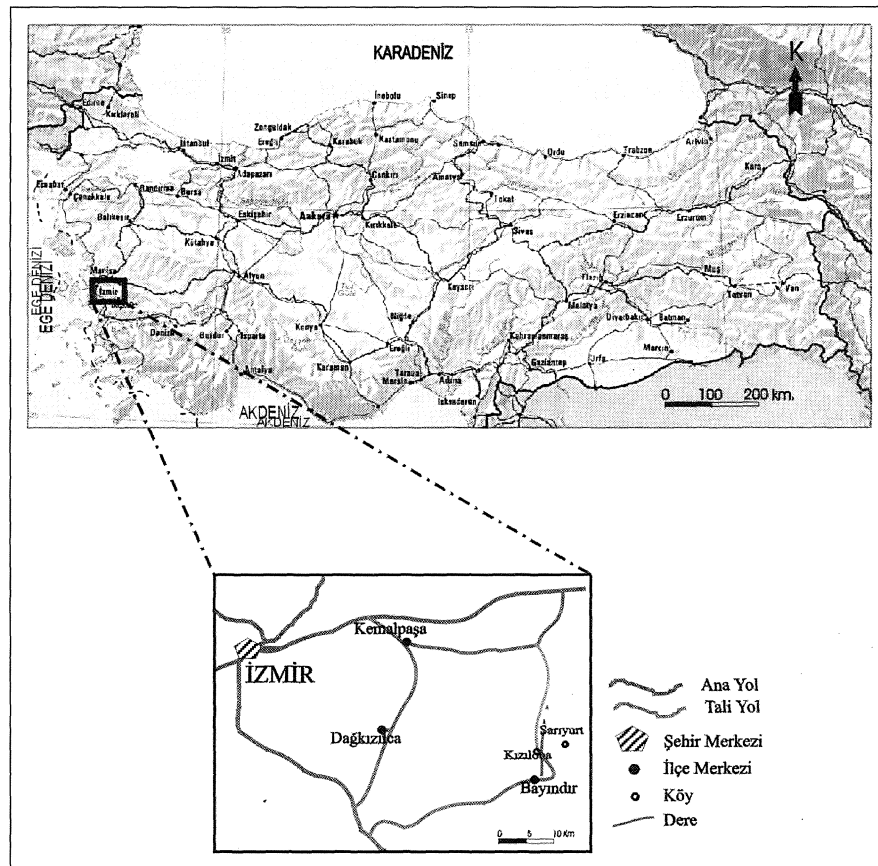
tadır. Cevherleşmenin geometrik şekli ve bu model yardımıyla cevherleşmeyle ilgili bir çok parametre belirlenmekte ve bu parametrelerden gidilerek cevherleşmenin rezervi ve tenörü hesaplanmaktadır (Dowd, 1966). Böylece cevherleşmenin ekonomikliğı; işletmeye açılıp açılmayacağı ve hangi oranda yatırım yapılabileceğı hakkında gidilmektedir.

Rezerv hesaplamalarında üçgen, poligon, kesit, izopak vb. teknikleri içeren geometrik/klasik yöntemlerin yanında; blok kriging, indikatör kriging, koşullu ve koşulsuz simulasyon vb. yöntemleri içeren jeostatistiksel yöntemler kullanılır (Wellmer, 1998). Klasik rezerv hesaplama yöntemlerinin dezavantajları genel olarak, hesaplamaların uzun sürmesi, hata yapma riskinin yüksek, elde edilen sonuçların hassasiyetinin düşük olması ve hata oranının belirlenememesi şeklinde verilebilir. Bu durum, madencilik sektöründe, yatırım riskini arttırmakta, yatırımların yüksek tenörlü yüzey mostrası olan ve derin olmayan maden yataklarına yönelmesine neden olmaktadır. Jeostatistiksel rezerv hesaplama yöntemleri, bir maden yatağının jeolojik özelliklerini dikkate alarak, rezerv hesabının güvenilirliğine ilişkin ayrıca bir ölçü vermektedirler. Bu yöntemlerin, ülkemiz madencilik endüstrisinde kabulü, kaynakların arama ve geliştirme yönündeki ilerlemeleri kadar hızlı olmamıştır. Buna neden olarak jeostatistiksel yöntemlerin, ileri düzeyde matematik, jeostatistik ve bilgisayar bilgisi gerektirmesi ve ayrıca, değerlendirme aşamasında olan bir çok maden yatağında uygulanabilmesi için yeterli sayıda

ve güvenilir veri bulunmaması verilebilir.

Çalışma alanı Şekil 1'de görüldüğü gibi Harita Genel Müdürlüğü'nün 1/25000 ölçekli İzmir L19 a3 paftasında yer almakta ve İzmir ilinin 75 km. doğusunda, Bayındır ilçesinin 25 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır. İncelenen cevherleşme, herhangi bir kuruluş veya özel sektör tarafından işletilmemektedir.

Bu çalışma kapsamında cevherleşmenin jeolojisi hakkında özet bilgi sunulduktan sonra, cevher kesen sondajlardan elde edilen veriler ayrıntılı olarak analiz edilerek, her bir değişkenin jeostatistiksel parametreleri incelenmiştir. Pb, Zn ve Cu için detaylı variogram çalışmaları yapılmış ve hesaplanan variogram fonksiyonları küresel olarak modellenmiştir. Çalışmalarda elde edilen model parametrelerinin, cevherleşme sahasına uygunluğunu belirlemek amacıyla, çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Jeostatistiksel blok kriging yöntemi uygulanarak, Pb ve Zn için rezerv - tenor dağılımı saptanmış ve cevherleşmenin işletilebilir fizibilite çalışmalarına kaynak oluşturma bu çalışma kapsamında amaçlanmıştır.



Şekil 1: Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1: Location map of study area

CEVHERLEŞMESİNİN JEOLJİSİ VE KÖKENİ

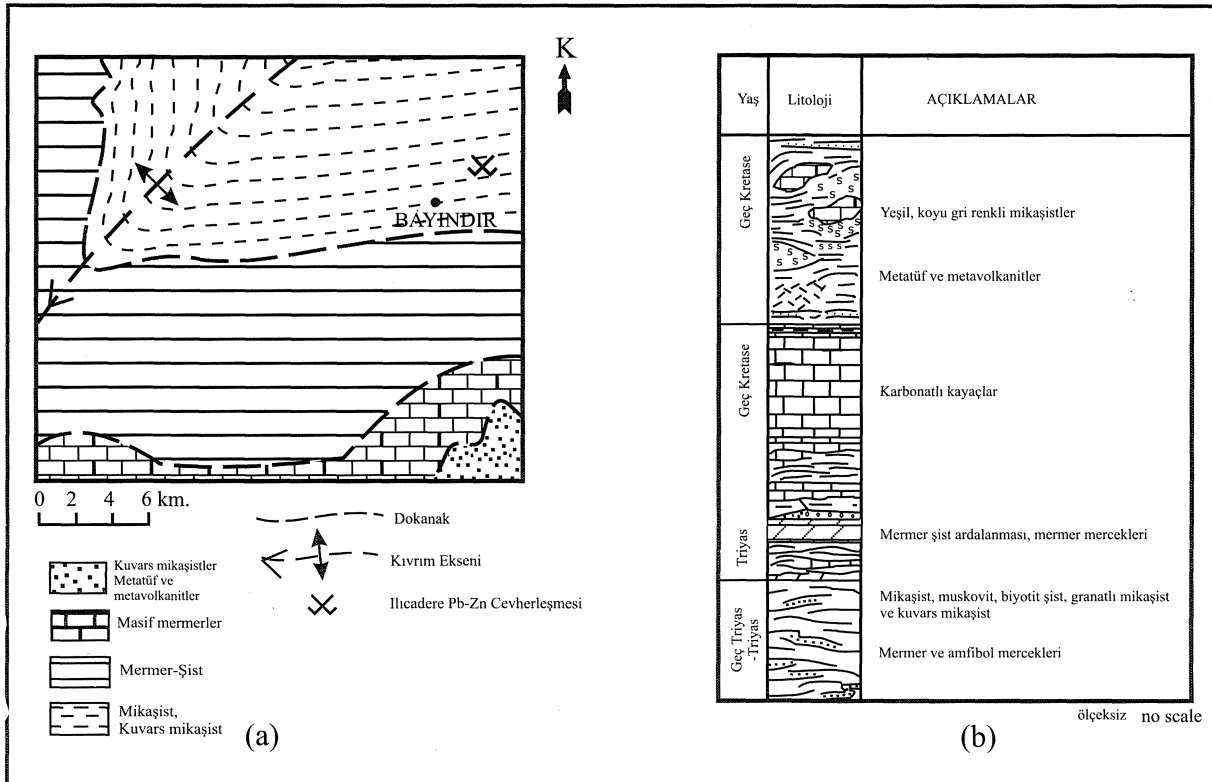
Ilıcadere Pb-Zn cevherleşmesi, Batı Anadolu'da oldukça geniş yüzlekleri olan (40 000 km<sup>2</sup>) ve kıtasal ölçekli bölgesel bir çekirdek kompleks oluşturan (Bozkurt and Park, 1994; 1997) Menderes Masifi içinde yer almaktadır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası ve stratigrafik kesiti Şekil 2'de sunulmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi inceleme alanında, en yaşlı birim olarak Menderes Masifi metamorfitlelerinden mikaşistler yer alır. Mikaşistler, muskovitler, biyotit şistler, granatlı mikaşistler ve kuvars mikaşistler bu birimi oluşturan kayaçların başlıcaları olarak verilebilir. Ayrıca ince mermer mercikleri ve amfibol mercikleri Özcan (1974) tarafından belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde yer alan Bayındır ilçesi ile sahanın güneybatısında bulunan Mahmut Dağı arasında büyük bir antiklinalin çekirdeğini oluşturan bu birime, Erdoğan ve Güngör (1992) tarafından içerdiği fosillere dayanılarak, Triyas-Geç Triyas yaşı verilmiştir.

Bu birimin üzerine düşey ve yanal yönlerde geçişler halinde karbonat kayaçların hakim olduğu bir birim gelmektedir. Alt kısımları mermer şist ardalanmasından, üst kısımları da zımparalı mermer mercikleri ardalanmasından oluşmaktadır. Erdoğan ve Güngör (1992) tarafından Kayaaltı formasyonu olarak da adlandırılan bu birime, yine aynı yazarlar tarafından Triyas-Geç Kretase (?) yaşı verilmesi önerilmektedir.

Genellikle karbonatlı kayaçların hakim olduğu bu birimin üzerine bej, koyu gri renkli mikaşistler ve bunlarla ardalanmalı metavolkanitlerden ve metaserpantinlerden oluşan bir birim gelmektedir. Özcan (1974), bu birimi rejyonal metamorfik kayaçlar olarak adlandırırken, Erdoğan ve Güngör (1992), Selçuk Formasyonu olarak isimlendirmektedir. Birim, kesin olmamakla birlikte değişik yazarlara göre Geç Kretase yaşındadır.

Bayındır ilçesi civarındaki en önemli cevherleşme Ilıcadere Pb - Zn sahası olup, Sarıyurt ve Kızıloba köyleri civarında yer almaktadır (Şekil 1). Sahada, cevherleşme üç ayrı seviye halinde bulunmaktadır ve bu cevherli seviyeler herhangi bir kılavuz seviyeyi izlememektedir (Özcan, 1974).



Şekil 2: Çalışma alanı ve yakın çevresinin a) basitleştirilmiş jeoloji haritası, b) stratigrafik kesiti (Erdoğan ve Güngör, 1992'den değiştirilerek alınmıştır).

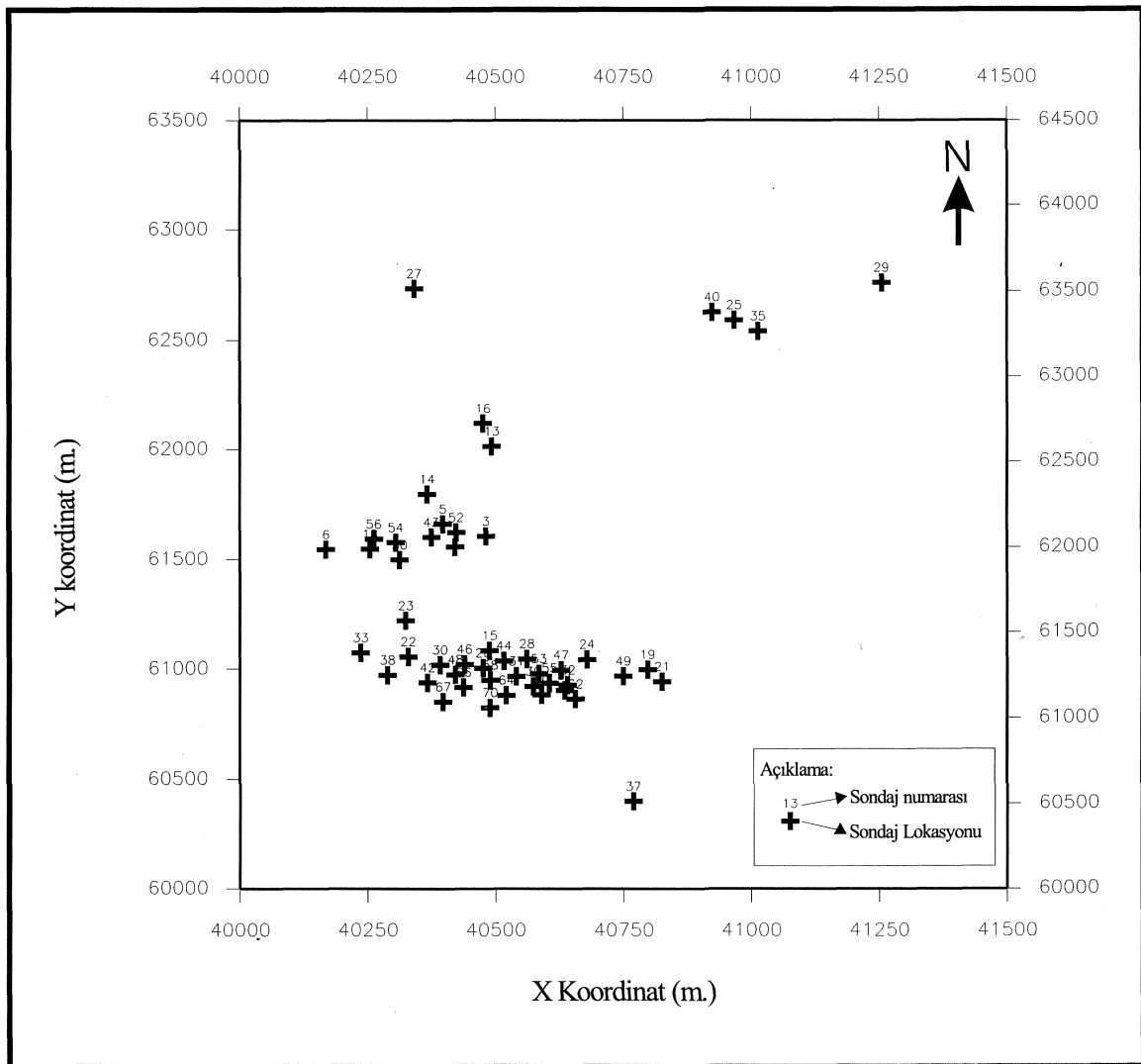
Figure 2: a) Simplified geology map, b) stratigraphic section of study area and vicinity (modified from Erdoğan and Güngör, 1992).

Cevherleşme alanında görülen en önemli cevher mineralleri, çinkoblend ve galenittir. Galenit, çinkoblende göre daha az bulunmaktadır. Saha gözlemleri ve Özcan (1974) tarafından yapılan laboratuvar incelemeleri, Sarıyurt yatağının sinjenetik (eşoluşumlu) bir yatak olabileceğine işaret etmektedir. İçinde bulunduğu şistlerin olduğu sedimanlarla aynı zaman ve koşullar altında tabakalanmaya bağlı seviyeler şeklinde yataklanan cevherleşme daha sonra, en az iki kez metamorfizmaya uğramıştır. Metamorfizmadan içinde buldukları sedimanlar gibi aynı şiddette etkilenen cevher mineralleri, rekristalizasyon geçirmişler ve metamorfizma sonucu oluşan gang mineralleriyle birlikte büyümüşlerdir. Bayındır Sarıyurt Pb-Zn yatağı ilk olarak deniz dibi volkanizmasma bağlı olarak oluş-

muş ve günümüzde tabakalanmaya bağlı metamorfik bir yatak olarak düşünülmektedir.

### VERİ ANALİZİ

Cevherleşme sahasında, MTA Genel Müdürlüğü tarafından toplam 74 adet sondaj yapılmış ve bu sondajlardan rezerv - tenor belirlemek amacı ile değişik uzunluklarda karot örnekleri alınmıştır. Hepsini dik olarak yapılan sondajların, çalışma bölgesindeki lokasyonları Şekil 3'de gösterilmiştir. Sahada yapılan 74 adet sondajdan 49 tanesi cevher kesmiştir ve hesaplamalar bu sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3: Ilıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn cevherleşme alanındaki sondaj lokasyonları

Figure 3: Drillhole locations of Ilıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn mineralization

## ILICADERE PB-ZN CEVHERLEŞMESİNİN JEOLJİSİ VE JEOİSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeoistatistik, aynı uzunluktaki örnekler üzerinde çalıştığından (Matheron, 1963) değişken uzunluktaki karot örnekleri, eşit uzunluktaki karot örneklerine dönüştürülmüş ve her biri 0.35 m. olan karot örnekleri elde edilmiştir. Eşitleme işlemi, Pb ve Zn için 10290; Cu için 8273 adet karot örneği vermiştir. Ortalaması % 5.81 Pb (11.22 standart sapma) ve ortalaması % 3.88 Zn (11.06 standart sapma) olan dağılımlar elde edilmiştir (Koçer, 2000).

### VARIÖGRAM ANALİZİ VE CEVHERLEŞMENİN MODELLENMESİ

Pb, Zn ve Cu elementleri için yatay ve düşey yönde her 30° de variogram fonksiyonları Isaaks and Srivastava (1989)'a göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmış deneysel ve model variogramlar belirlenmiştir.

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

$\gamma(h)$  : semi-variogram fonksiyonu  
 $h$  : uzaklık (metre)  
 $Z(a)$  : a lokasyonundaki rastlantı değeri

Bu variogramlar küresel olarak modellenerek, model parametreleri Journel and Huijbregts (1978)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen modeller Şekil 4'de sunulmaktadır, model parametreleri ise Pb, Zn ve Cu dağılımları için aşağıdaki gibi verilebilir:

Pb için:

$$C_0 = 20 \quad \gamma(h) = 20 + 200 \left( \frac{1}{2} \frac{h}{a(75)} - \frac{1}{4} \left( \frac{h}{a(75)} \right)^3 \right) \quad h \leq a(75)$$

$$C = 200 \quad \gamma(h) = 220 \quad h > a(75)$$

$$a = 75 \text{ m} \quad (h) = 0 \quad h = a(75)$$

Zn için:

$$C_0 = 4 \quad \gamma(h) = 4 + 14 \left( \frac{1}{2} \frac{h}{a(75)} - \frac{1}{4} \left( \frac{h}{a(75)} \right)^3 \right) \quad h \leq a(75)$$

$$C = 14 \quad \gamma(h) = 18 \quad h > a(75)$$

$$a = 75 \text{ m} \quad \gamma(h) = 0 \quad h = a(75)$$

Cu için:

$$C_0 = 0.002 \quad \gamma(h) = 0.002 + 0.005 \left( \frac{1}{2} \frac{h}{a(75)} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a(75)} \right)^3 \right) \quad h \leq a(75)$$

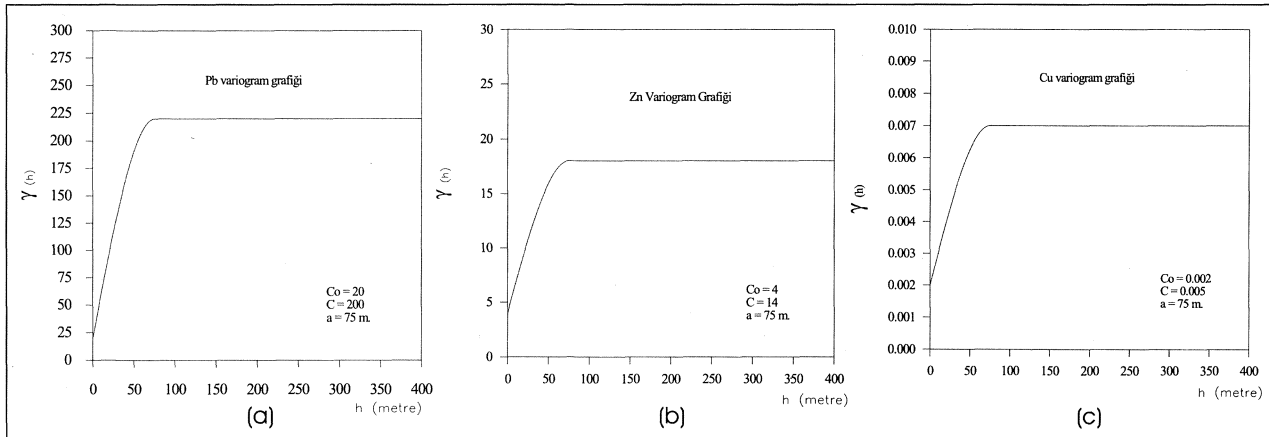
$$C = 0.005 \quad \gamma(h) = 0.007 \quad h > a(75)$$

$$a = 75 \text{ m} \quad \gamma(h) = 0 \quad h = a(75)$$

Elde edilen modellerin Ilıcadere cevherleşmesine uygunluğunun belirlenmesi amacı ile "modellerin doğrulanması" çalışması yapılmış ve bu kapsamda Tercan ve Saraç (1998)'de önerilen variogram modellerine çapraz doğrulama tekniği uygulanmıştır. Uygulanan teknikle hesaplanan modellerin, cevherleşme sahasına uyumlu olduğu belirlenmiştir. Yöntemin cevherleşme bölgesindeki uygulaması ve sonuçları hakkında ayrıntılı bilgi Koçer (2000)'de sunulmaktadır.

### BLOK KRİGİNG VE TENOR - TONAJ DAĞILIMLARI

Model parametreleri belirlenen cevherleşmeye, Saraç and Tercan (1996) ve Saraç (1998)'de önerilen blok kriging yöntemi uygulanmıştır. Blok boyutları 10 x 10 x 10 m. olarak belirlenmiş ve x yönünde 110, y yönünde 240 ve z yönünde 35 blok kestirim için kullanılmıştır. Kriging ile kestirimde örnek sayısı en az 4 en fazla 16 alınarak, her bir bloğun ortalama tenörü kestirilmiştir. Kullanılan kriging eşitliği aşağıdaki şekilde verilebilir (Soares, 1990):



Şekil 4: Cevherleşme için uyarlanan modeller a) Pb, b) Zn ve c) Cu

Figure 4: Models for mineralization a) Pb, b) Zn and c) Cu

Yukandaki eşitlikte;

$$z^*(a_0) = \sum_{i=1}^n X_i z_i^a J$$

$z^*$  : a lokasyonunda kestirilen değer

$X$  : kestirim ağırlıkları

$z(a)$  :  $a_0$  lokasyonu için kullanılan verileri göstermektedir.

Pb ve Zn için ayrı ayrı yapılan kestirimlerde Deutsch and Journel, (1996 ve 1998)' de önerilen bilgisayar yazılımları revize edilerek kullanılmış olup, Pb için toplam 35 kat (350 m. - 690 m.) için 213 blok ve aynı şekilde Zn için de 581 blok kestirilmiştir. Kestirim işleminde elde edilen sonuçlar ve David (1977)'e göre kestirim hatası varyansı Çizelge 1' de özet olarak sunulmaktadır. Rezerv dağılımının belirlenmesi amacı ile tenör-tonaj eğrileri hazırlanmıştır. İncelemede tenör-tonaj grafikleri her kat için ayrı ayrı hesaplanmayıp, tüm katlar için toplam olarak hazırlanmıştır. Pb<sup>f</sup> ye ilişkin tenör-tonaj dağılımı Şekil 5(a)'da ve farklı eşik değerler için rezerv dağılımı da Çizelge 2'de gösterilmektedir. Zn elementi için de Şekil 5(b)'de tenör-tonaj dağılımı ve Çizelge 3'de rezerv miktarı farklı eşik değerler için verilmektedir. Rezerv hesaplamalarında Pb için yoğunluk 2.97 ton/m<sup>3</sup> ve Zn için yoğunluk 3.03 ton/m<sup>3</sup> alınmıştır (Özcan, 1974).

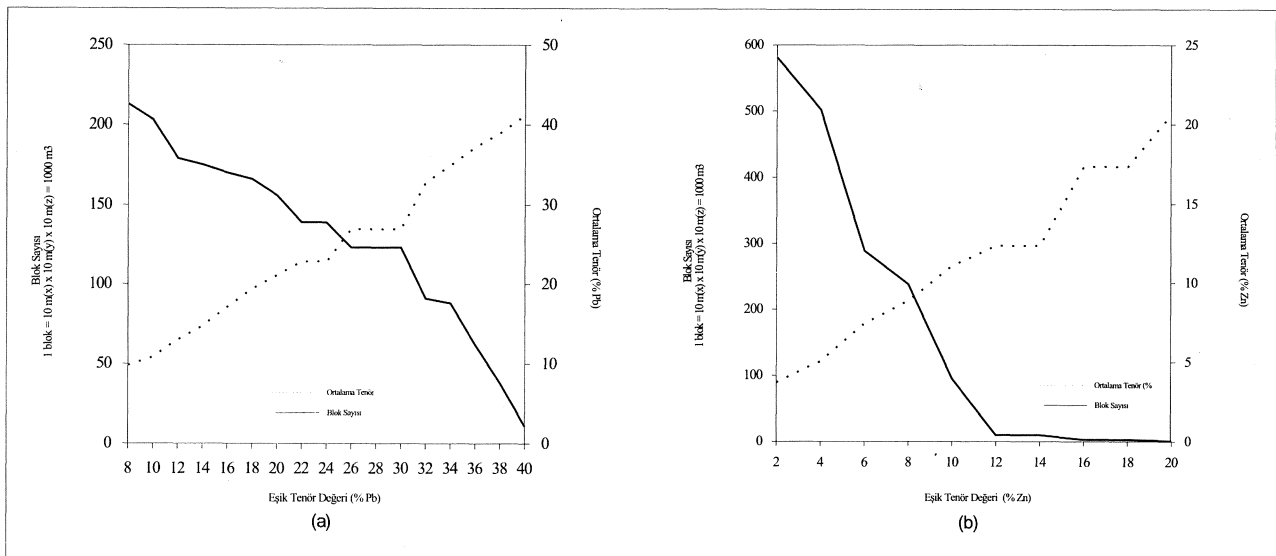
Cevherleşmede blok tenör değerleri ve tenör blok diyagramları hazırlanarak Pb elementi için Şekil 6' da, Zn elementi için Şekil 7'de verilmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İlçedere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn cevherleşmesi, deniz dibi volkanizmasma bağlı olarak oluşmuş ve bugün için tabakalanmaya bağlı metamorfik bir yatak olarak kabul edilmektedir (Özcan, 1974). Çalışma kapsamında, Pb - Zn cevherleşmesinin rezerv - tenör değerlendirilmesi, jeostatistiksel blok kriging yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Toplam 10454 m. sondaj yapılan sahada, cevher kesen sondajlardan elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve değişken uzunluktaki karot örnekleri, kompozit işlemi sonucunda eşit uzunluktaki (0.35 m.) karot örneklerine dönüştürülmüştür.

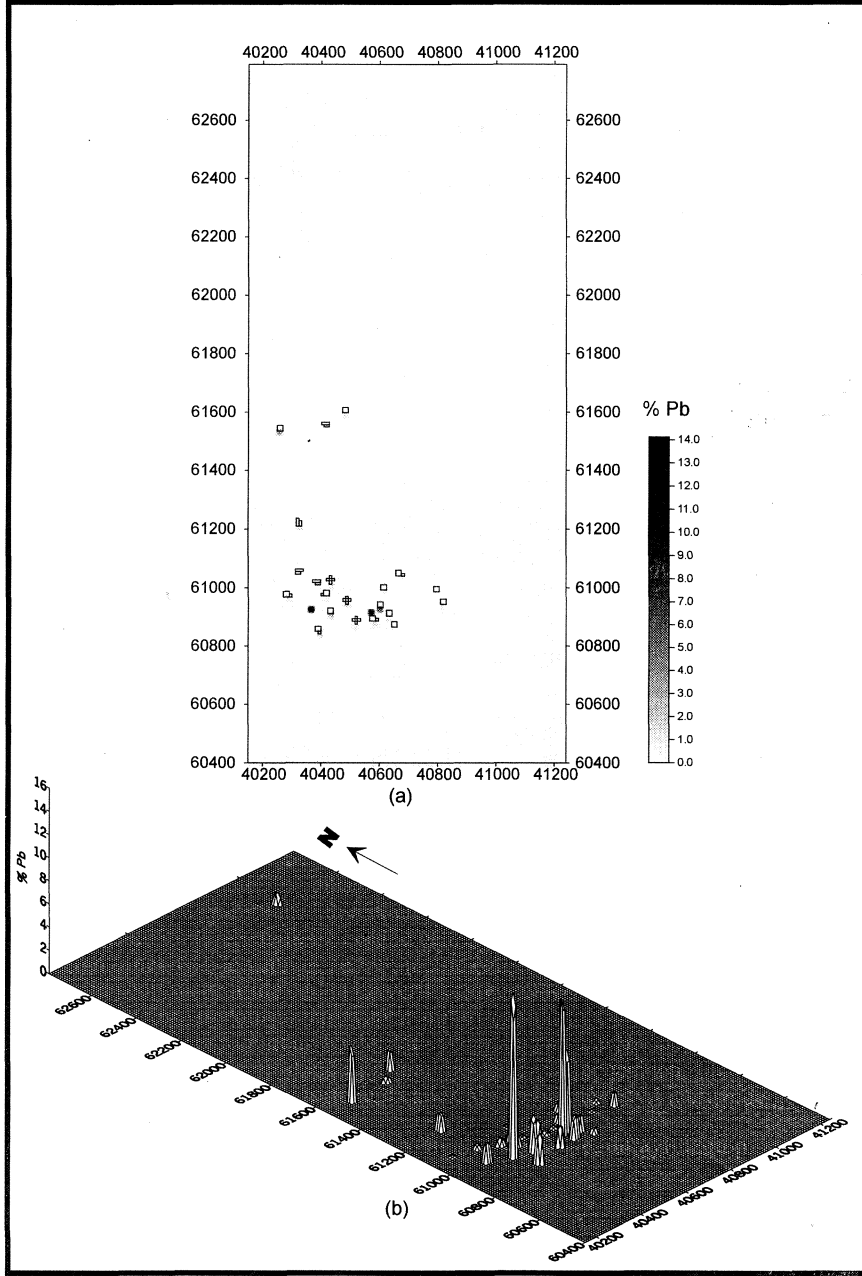
Cevherleşmedeki Pb - Zn değerlerinin alansal dağılımının matematiksel olarak incelenmesi için variogram fonksiyonu kullanılmış ve cevherleşmedeki anizotropinin araştırılması için yatay ve düşey yöndeki variogramlar hesaplanarak, grafikleri çizilmiştir. Cevherleşme, Pb için  $C_0 = 20$ ,  $C = 200$ ,  $a = 75$  m., Zn için  $C_0 = 4$ ,  $C = 14$ ,  $a = 75$  m. ve Cu için  $C_0 = 0.002$ ,  $C = 0.005$ ,  $a = 75$  m. parametreleriyle küresel olarak modellenmiştir. Cu verilerinin oldukça küçük değerli ve güvenilir olmamasından dolayı, Cu değerleri için yalnız modelleme çalışması yapılmıştır. Hesaplanan modellerin parametreleri geri kestirim tekniği uygulanarak test edilmiş ve cevherleşmeye uygunluğu belirlenmiştir.

Cevherleşmenin boyutları ve sondaj lokasyonları göz önüne alınarak, 10 (x) x 10 (y) x 10 (z) m. inceleme alan bloklara bölünerek, jeostatistiksel



Şekil 5: Tenör-Tonaj dağılım grafikleri a) Pb ve b) Zn

Figure 5: Grade-Tonnage distribution graphics a) Pb and b) Zn



Şekil 6: Cevherleşmede 350-690m. katları için a) % Pb blok tenor değerleri ve b) % Pb tenor blok diyagramı

Figure 6: a) Pb % block grade values and b) Pb % grade block diagram between 350-690 m. levels in the mineralization

blok kriging yöntemi uygulanmıştır. Pb için 213, Zn için 581 adet blok değeri kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi cevherleşme bölgesinde ortalama % 26.95 Pb ve ortalama % 7.07 Zn bulunmaktadır. Kestirilen bu değerlerden Pb ve Zn için tenör-tonaj dağılımı belirlenerek, çizilen tenör-tonaj grafikleri yardımıyla farklı eşik tenor değerlerine karşılık gelen rezerv miktarı ve ortalama tenor değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 2'de Pb değerleri için ve Çizelge 3'de Zn değerleri için farklı eşik tenörleri için rezerv dağılımı gösterilmektedir.

Bu çizelgelerden de görüldüğü gibi örneğin, Pb için eşik değeri % 24' den büyük blokların işletilmesi planlandığında, toplam 139 blok rezerv hesabına dahil edilecektir. Bu blokların ortalama tenörü % 22.84, hacmi 139000 m<sup>3</sup>, rezerv miktarı 412830 ton olarak Çizelge 2'den hesaplanabilir. Aynı şekilde Zn için eşik değeri % 10'dan büyük blokların işletilmesi planlandığında, toplam 10 blok rezerv hesabına dahil edilecektir. Bu blokların ortalama tenörü % 12.37, hacmi 10000 m<sup>3</sup>, rezervi ise 30300 ton olarak Çizelge 3'den elde edilebilir.

Ülkemiz madencilik ekonomisinin Pb ve Zn için öngördüğü eşik tenor değerler dikkate alınarak, işletilebilir rezervin Pb ve Zn için ayrı ayrı hesaplanması, ayrıca Pb ve Zn değerlerinin işletilebilir limitlerde olan "ortak blokların" belirlenmesi ve daha ayrıntılı fizibilite planlamalarının yapılması ekonomik jeoloji çalışmaları açısından oldukça yararlı sonuçlar verecektir. İşletme planlarının hazırlanma evresinde ise Tercan (1996)'da ayrıntılı olarak verilen indikatör kriging yönteminin kullanılması, cevherleşme sınırlarının hassasiyetle saptanılması açısından oldukça önem taşımaktadır.

### EXTENDED SUMMARY

Geometrical reserve estimation methods, such as polygons of influence, triangular and cross-section, do not take into account spatial correlation and therefore result in biased estimates. These methods use a weighted average of samples. The weighting coefficients are a function of the mining blocks in the deposit, but they shed no light on the variability of the orebody. Furthermore, these methods do not allow a determination of the reliability of the estimates, but geostatistical estimation techniques allow a calculation of the measure of the error associated with the estimates. It is possible to find weighting coefficients for a given mining block and also data configuration that minimizes this error. In geostatistics, the spatial variability of a regionalized variable is characterized by the variogram function.

This study describes a geostatistical evaluation of the Ilicadere Pb-Zn mineralization which is situated in Bayındır, İzmir (Turkey). A detailed location map is given in Figure 1. In the study area, by General Directorate of MTA, 74 vertical holes were drilled in different years. A simplified geology map and stratigraphic section of the study area are shown in Figure 2. Drillhole data were transferred into computer system and for each variable (Pb, Zn, Cu) statistical

Çizelge 1: Pb ve Zn için blok kriging sonuçları

Table 1: Block kriging results for Pb and Zn

	Pb	Zn
Kestirilen blok sayısı	231	581
Kestirilen blokların ortalama tenörü	26.95%	7.07%
Kestirilen blok değerlerinin varyansı	12.27	1.05
Ortalama kestirim hatası varyansı	33.64	2.58

Çizelge 2: Farklı eşik tenor değerleri için rezerv dağılımı (Pn)

Table 2: Reserve distribution for different cut-off grades (Pn)

Eşik Tenör (%Pn)	Blok Sayısı	Ortalama Tenör (%Pn)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Rezerv (ton)
>8	213	9.82	213000	632610
>10	203	10.86	203000	602910
>12	179	13.01	179000	531630
>14	175	17.73	175000	519750
>16	170	17.15	170000	504900
>18	166	19.38	166000	493020
>20	156	21.11	156000	463320
>22	139	22.84	139000	412830
>24	139	22.84	139000	412830
>26	123	29.95	123000	365310
>28	123	26.95	123000	365310
>30	123	26.95	123000	365310
>32	91	32.80	91000	270270
>34	88	34.94	88000	261360
>36	62	37.20	62000	184140
>38	38	38.95	38000	112860
>40	11	41.18	11000	32670

parameters were determined. Drillhole locations of the mineralization are given in Figure 3.

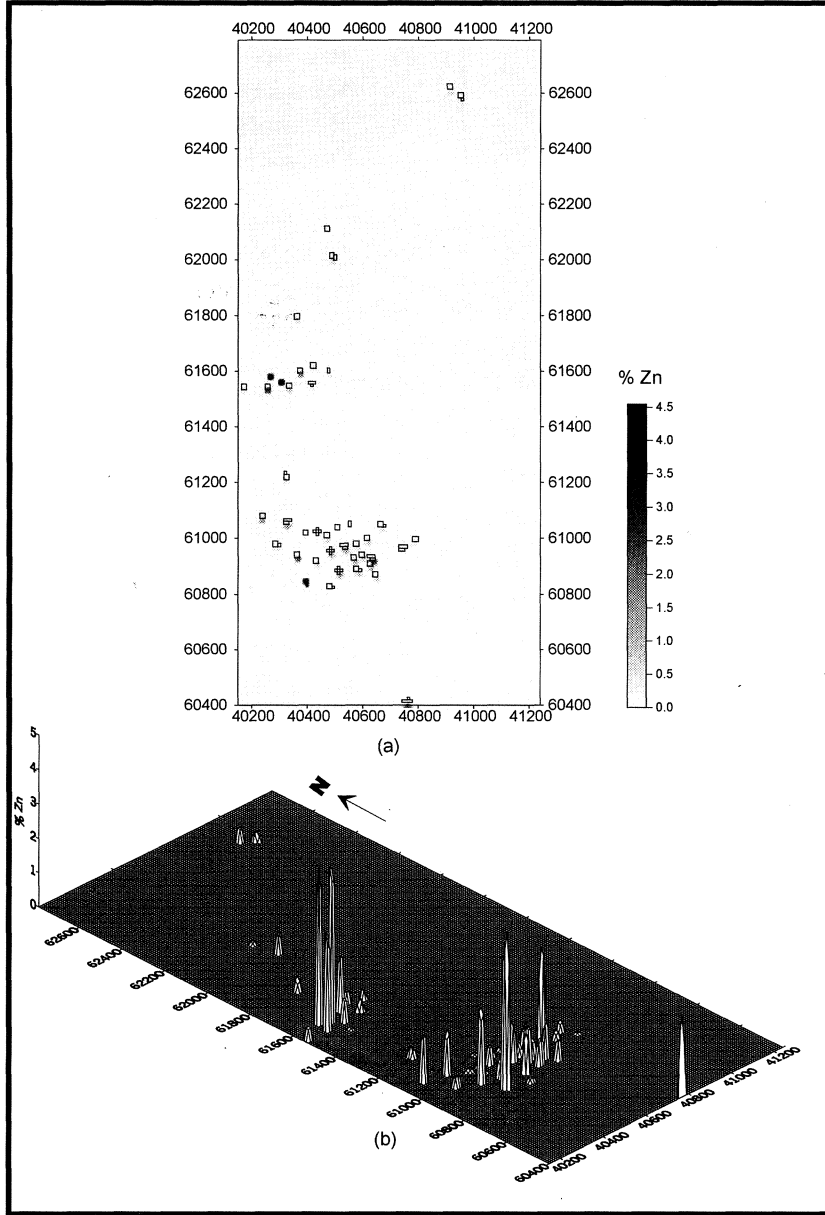
In order to calculate the improved reserve amount of the mineralization, the variogram functions were determined for the vertical and horizontal directions, anisotropy of deposit was investigated and the mineralization was spherically modelled by the parameters for Pb;  $C_0=20$ ,  $C=200$ ,  $a=75$  m., for Zn;  $C_0=4$ ,  $C=14$ ,  $a=75$  m., for Cu;  $C_0=0.002$ ,  $C=0.005$ ,  $a=75$  m. (Figure 4 a,b and c shows the models for mineralization). The validity of model parameters to mineralization was tested using the back-kriging technique and the parameters were used for estimation of the average grade of the 10x10x10 m. blocks by geostatistical block kriging technique. Table 1 shows the summarized results of the block kriging technique for Pb and Zn.

Çizelge 3: Farklı eşik tenor değerleri için rezerv dağılımı (Zn)

Table 3: Reserve distribution for different cut-off grades (Zn)

Eşik Tenör (%Zn)	Blok Sayısı	Ortalama Tenör (%Zn)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Rezerv (ton)
>2	581	3.73	581000	1760430
>4	502	5.07	502000	1521060
>6	289	7.44	289000	875670
>8	238	8.88	238000	721140
>10	95	11.08	95000	287850
>12	10	12.37	10000	30300
>14	10	12.37	10000	303000
>16	3	17.35	3000	9090
>18	3	17.35	3000	9090
>20	1	20.65	1000	3030





**Figure 7:** a) Zn % block grade values and b) Zn % grade block diagram between 350-690 m. levels in the mineralization

**Figure 7:** a) Zn % block grade values and b) Zn % grade block diagram between 350-690 m. levels in the mineralization

Cu was only modelled and no further study was applied to Cu values because of the lack of data and unreliable Cu values. Grade-tonnage distributions were calculated for Pb and Zn resulting of estimation. Using the distributions, the reserve amount and average tonnage were determined for different cut-off values. Grade-tonnage distribution graphics are given in Figure 5 and reserve distribution for different cut-off values is summarized in Table 2 for Pb and Table 3 for Zn. The grade block diagrams can be seen in Figures 6 and 7. According to the assessments, the results are suggesting to use

for feasibility calculations of Ilıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn mineralization. The kriged estimates can be used in mine planning. For example, in this study, they were used in producing grade-tonnage curves. In mining industry, the grade distribution of each block is very important as well as the average block value. Fluctuations in the grades within the Ilıcadere mineralization for different time periods may be studied using conditional simulation. Using the variogram and actual data, the model of the deposit can be made that simulates the grade of each selective mining unit.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Bozkurt, E. and Park, R.G., 1994, Southern Menderes Massif-an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey: *Journal of Geological Society*, London, 151:213-216.
- Bozkurt, E. and Park, R.G., 1997, Microstructures of deformed grains in the augen gneisses of southern Menderes Massif (Western Turkey) and their tectonic significance: *Geol. Rundsch*, 86:(1), 103-119.
- David, M., 1977, Geostatistical ore reserve estimation: Elsevier, New York, 364 p.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G., 1996, \* Geostatistical software library and user's guide: \* Oxford University Press, New York, 340 p.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G., 1998, GSLIB Geostatistical software library and user's guide: 2<sup>nd</sup> Edition, Applied Geostatistics Series, Oxford University Press, New York, 369 p.
- Dowd, P.A., 1986, Geometrical and geological controls in geostatistical estimation and orebody modeling, 19<sup>th</sup> Apcom, 81-94.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T., 1992, Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi: *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, Cilt 4, Sayı 1, Ankara, 9 - 34.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989, An introduction to applied geostatistics: Oxford University Press, New York, 561 p.
- Journel, A.G. and Huijbregts, C.J., 1978, Mining geostatistics: Academic Press, London, 600 p.
- Koçer, S., 2000, Ilıcadere (Bayındır, İzmir) Pb-Zn cevherleşmesinin rezerv-tenör değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 90s.
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics: *Economic Geology*, V: 58, 1246-1266.
- Özcan, H., 1974, İzmir - Bayındır Ilıcadere Pb - Zn madeni raporu: MTA Rapor no: 289, Ankara, 91 s.
- Saraç, C., 1998, Geology and ore reserve estimation at Sivrihisar mine (Eskişehir, Turkey): *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A-Mining Industry*, England, Vol: 107, A6-A12.
- Saraç, C. And Tercan, A.E., 1996, Grade and reserve estimation of Tulovasi borate deposit by block kriging: *International Geology Review*, No: 9, 832-837.
- Soares, A., 1990, Geostatistical estimation of ore-body geometry, morphological kriging: *International Association for Mathematical Geology*, Vol: 22, 787-802.
- Tercan, A.E., 1996, Maden yatakları sınır belirsizliğinin indikatör kriging ile değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayırı kömür yatağında bir uygulama: *Madencilik Dergisi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, No: 35-4, 3-11.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C., 1998, Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler: *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, No 48, Ankara, 137 s.
- Wellmer, F.W., 1998, Statistical evaluations in exploration for mineral deposit: Springer-Verlag, New York (Translated by D. Large), 379 p.

---

Makalenin geliş tarihi: 21.08.2000

Makalenin yayma kabul edildiği tarih: 12.01.2001

*Received September 21, 2000*

*Accepted January 12, 2001*