

# Veledler Sırtı / Kurtşeyh (Sivrihisar - Eskişehir) sepiyolit cevherleşmesinin rezerv - tenör değerlendirilmesi

**Cem Saraç,**  
**Taner İrkeç,**

**Hakan Gençoğlu,**  
**A. Erhan Tercan,**

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., Beytepe, Ankara  
Anadolu Endüstriyel Madencilik (AEM), Ankara  
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara  
Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Beytepe, Ankara

*Bu çalışmada Eskişehir - Sivrihisar - Kurtşeyh Köyü - Veledler Sırtı sepiyolit cevherleşmesinin görünür rezervi kesit yöntemi ile, mümkün rezervi de jeoistatistiksel yöntemlerle kestirilmiştir. Kesit yönteminde sondajların ve yarma gruplarının etki alanları yine jeoistatistiksel olarak belirlenmiştir. Cevherleşmede görünür rezerv 604783 m<sup>3</sup>, mümkün rezerv ise 18996000 m<sup>3</sup> olarak saptanılmış ve maden işletme planlarına temel oluşturacak rezerv - tenör dağılımı hesaplanmıştır.*

## Giriş

Jeoistatistik, bölgesel değişkenler kavramının cevherleşmelerin değerlendirilmesine uygulanması şeklinde tanımlanabilir (Matheron, 1971). Bölgesel değişken matematiksel açıdan, üç boyutlu bir uzayın her noktasında belirli bir değer alan fonksiyondur. Bu fonksiyonun değişimi son derece düzensiz olduğu için matematiksel açıdan direkt olarak incelemek mümkün değildir ve raslantı fonksiyonları ile değerlendirilmesi gerekir (Journel and Huijbregts, 1978). Genellikle bütün cevherleşmelerde lokal olarak zengin ve düşük tenörlü zonlar ayırt etmek mümkündür. Zengin zondan alınan örnekler yüksek bir tenör değeri gösterirken, fakir bir zondan alınan örnekler düşük tenör verecektir. Buradan da görüldüğü gibi bölgesel değişkenin değeri uzamsal konuma bağlı olacaktır. Jeoistatistik ile klasik maden yatakları değerlendirme yöntemleri, bu noktada birbirinden ayrılırlar. Jeoistatistiksel yöntemlerde: örneğin alındığı yer, konum, etki alanı, cevherleşmenin sürekliliği, homojenliği ve anizotropisi gibi uzaklığa bağlı

özellikler hesaplamalarda kullanılırken, klasik yöntemlerde cevherleşmenin uzaklığa bağlı dağılımı dikkate alınmamaktadır. Bu çalışma kapsamında jeoistatistik, görünür rezev hesaplamalarında sondajların ve yarma gruplarının etki uzaklıklarını belirlemede ve mümkün rezervin saptanılmasında kullanılmıştır.

## Jeoloji

Cevherleşme alanı İç Anadolu Neojen Baseninin Yukarı Sakarya Kesiminde bulunmaktadır (Şekil 1). Buradaki istif Üst Miyosen yaşlı İlyaspaşa formasyonu ve Pliyosen yaşlı Sakarya formasyonlarından oluşmaktadır (İrkeç ve Gençoğlu, 1994).

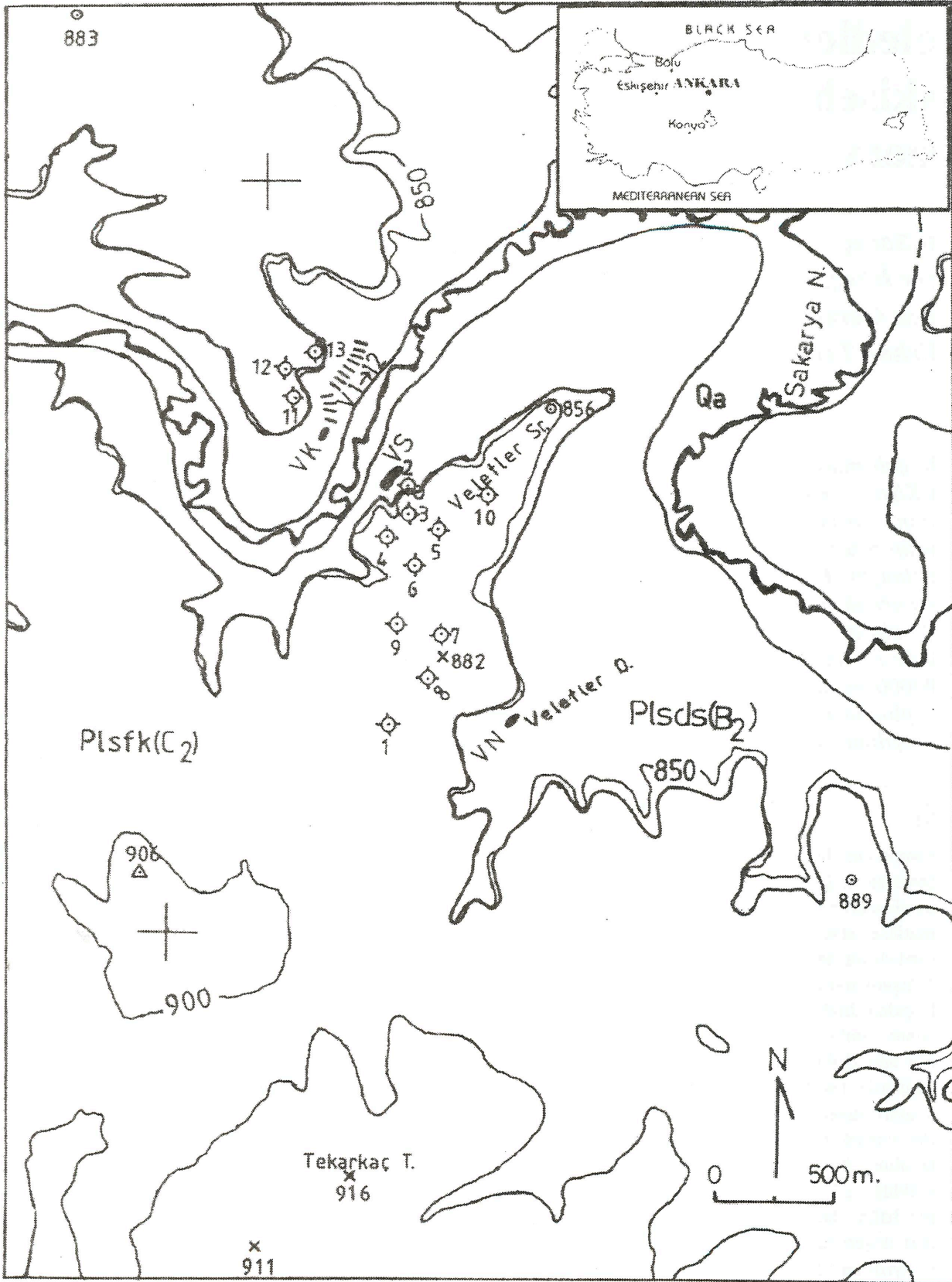
Evaporitik ağırlıklı fluviyatil - göl kompleksinden oluşan Sakarya formasyonu iki sekans olarak ayrılmıştır: Her bir sekans "jipsli yeşil kil", "dolomit - sepiyolit" ve "fosilli kireçtaşı" birim çökellerinden oluşmaktadır.

	Birim çökeli	Kod
2.Sekans	fosilli kireçtaşı	Plsfk - C <sub>2</sub>
	dolomitik - sepiyolit	Plsds - B <sub>2</sub>
	jipsli yeşil kil	Plsfk - A <sub>2</sub>
1.Sekans	fosilli kireçtaşı	Plsfk - C <sub>1</sub>
	dolomit - sepiyolit	Plsds - B <sub>1</sub>
	jipsli yeşil kil	Plsfk - A <sub>1</sub>

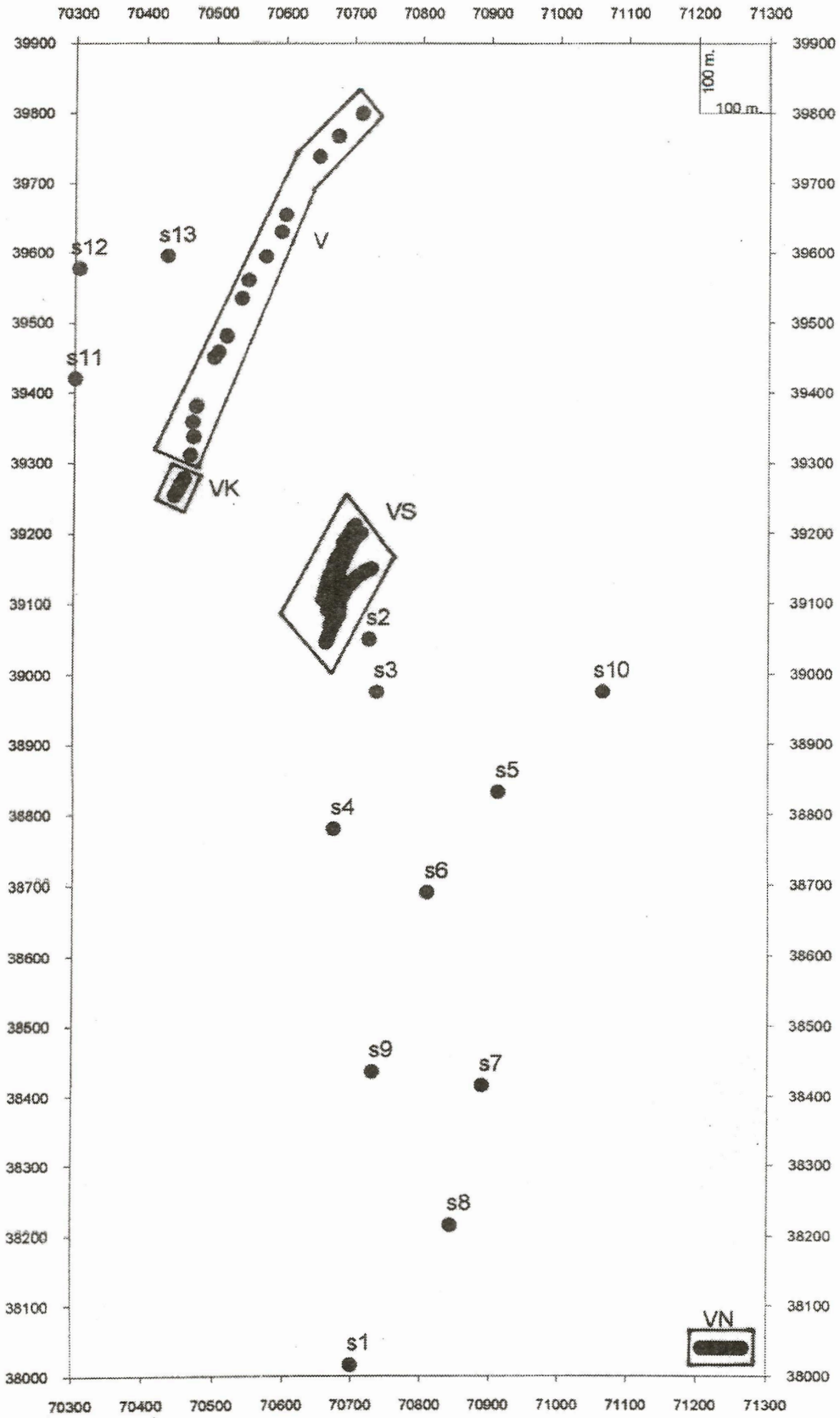
Yöredeki ekonomik sepiyolit oluşumları, 2. sekansa ait dolomit - sepiyolit birim çökeli içerisinde merccekler şeklinde bulunmaktadır.

## Veri analizi

Rezerv belirleme çalışmalarında, ayrıntılı mineralo-



Şekil 1. Yer bulduru haritası



Şekil 2. İnceleme alanındaki sondaj ve yarımlar.



jik açılımları İrkeç ve Gençoğlu 1994'de bulunan 13 sondaj ve 4 yarma grubu değerlendirilmiştir. Şekil 2'de sondaj ve yarma gruplarının topoğrafik izdüşümleri görülmektedir. Burada V, VK, VS ve VN simgeleri ile yarma grupları, S simgesi ile de sondajlar gösterilmiştir. Bunlardan VK, VS ve VN yarmaları yanal, V yarmaları dikey yönde açılmış dozer yarmalarıdır.

Bu çalışmada sondajlardan 97 adet, yarma gruplarından 337 adet örneğin % sepiyolit içerikleri değerlendirilmiştir. Sepiyolit içeriği % 50 üzerine olan cevherleşmeler hesaplamalarda kullanılmıştır. Ayrıca kalınlıkları 0.2 m'den daha ince olan oluşumlar dikkate alınmamıştır. Sondaj ve dikey yarmalarda, her bir cevherli seviyenin başlangıç / bitiş kotları, yanal yarmalarda ise örnek alınan kesimdeki (1 - 4 m aralıkla) cevherleşme kalınlıkları ile başlangıç / bitiş kotları değerlendirilmiştir. Burada mercer başlangıç ve bitiş noktalarında kalınlık - tenör sıfır kabul edilmiştir.

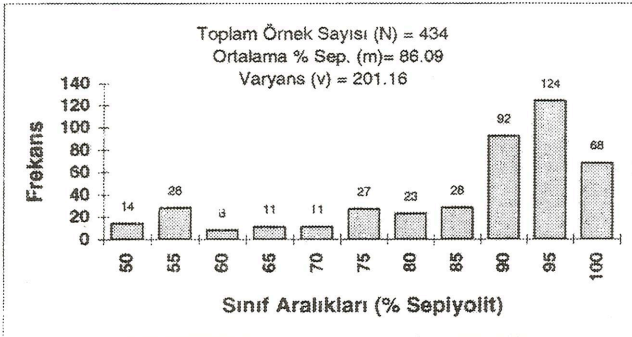
Toplam 434 örneğin göstermiş olduğu histogram Şekil 3'de verilmektedir. Sol yönlü (negatif) bir dağılım gösteren örneklerin ortalaması %86.09, varyansı da %201.16 olarak saptanmıştır. Örnekler 0.20 metre ortalama eş uzunlukta kompozit edilerek, jeostatistiksel olarak kullanıma hazırlanmıştır.

## Variogram analizi

Variogramlar jeostatistiksel rezerv hesabının ilk ve en önemli adımını oluştururlar. Cevherin sürekliliği, homojenliği, anizotropisi, örneklerin etki alanı, konumu ve birbiriyle ilişkisi gibi bütün parametreleri nicel olarak variogramlarda görmek mümkündür (David, 1977) ve matematiksel olarak

$$g(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

eşitliği ile gösterilirler. Eşitlikte



Şekil 3. Örneklerin histogramı

$n(h)$ : birbirinden  $h$  kadar uzaklıkta yeralan iki nokta arasındaki, örnek çifti sayısını,

$Z$ : veri değerlerini,

$x$ : lokasyonu,

$g(h)$ : uzaklığa bağlı olarak variogram değerini göstermektedir.

Sivrihisar sepiyolit cevherleşmesinde variogramlar, cevherleşmenin  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönleri boyunca hesaplanarak, Şekil 4'de sunulmaktadır.

Variogramlar genelde orijinde bir süreksizlik göstermemektedir. Bununla birlikte geometrik ve zonal anizotropiler söz konusudur.  $X$  yönündeki 40 - 45 metrelik etki uzaklığı ve  $y$  yönündeki 10 - 15 metre arasındaki etki uzaklığı yatay olarak geometrik bir anizotropinin varlığını işaret etmektedir. Düşey yöndeki variogram 1 metrelik daha küçük bir etki uzaklığına sahiptir. Ayrıca  $y$  yönündeki variogram 20 - 25'lik tepe değeri (sill) ile bir zonlanma göstermektedir.

Variogramlar, Journel and Huijbregts (1978)'e göre aşağıda formülü verilen, küresel anizotropik variogram ile modellenmiştir (Şekil 4).

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

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \forall h \geq a$$

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0$$

Model parametreleri: nugget varyans  $C_0 = 0.0$ , yapılanmış varyans  $C = 85.0$  ve  $a(x) = 40$  m,  $a(y) = 10$  m,  $a(z) = 1$  m olarak belirlenmiştir.

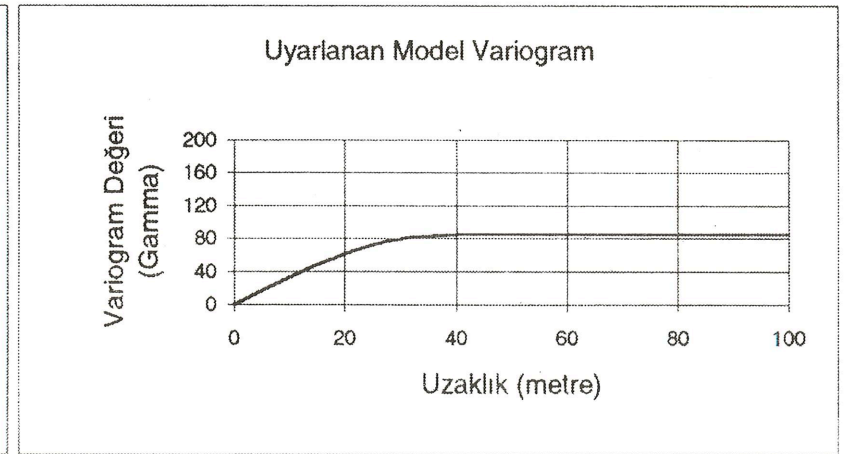
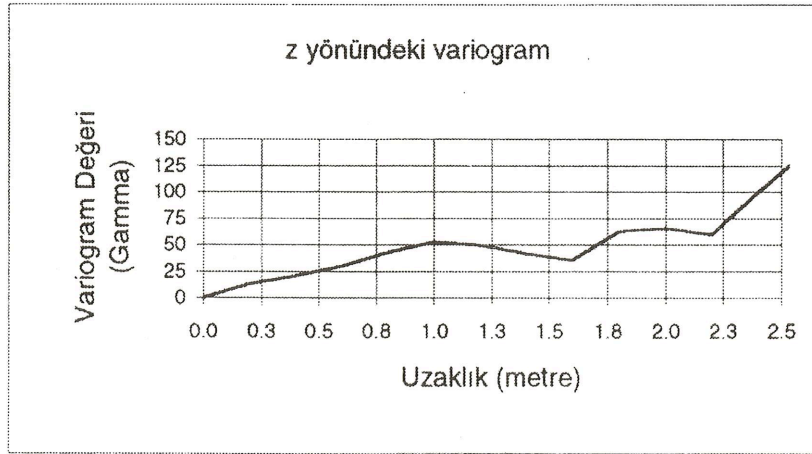
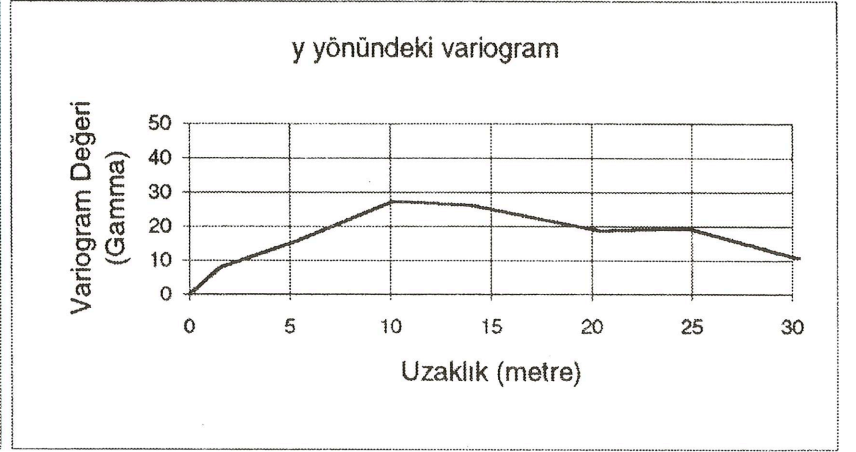
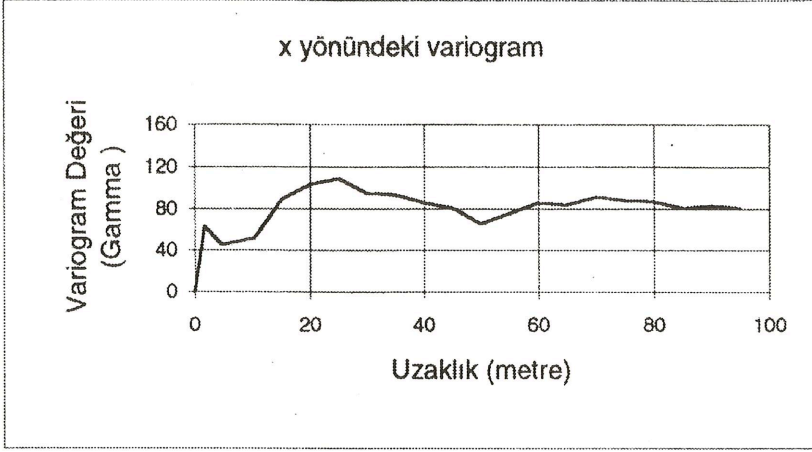
Elde edilen model parametreleri geri kestirim (back kriging) yöntemiyle, modelin geçerliliğini saptamak için kontrol edilmiştir. Örneklerden herbiri sırası ile veri setinden uzaklaştırılmış ve geri kalan örnekler kullanılarak uyarlanan model aracılığı ile bu örneklerin değeri yeniden kestirilmiştir. Geçerli bir model de; kestirim varyansı ile hataların kareler ortalamaları birbirine yakın ve gerçek değerlerin kestirilen değerler üzerindeki regresyonu da 1'e yakın olmalıdır (Saraç ve Tercan, 1992). Yukarıda parametreleri gösterilen sepiyolit cevherleşmesine uyarlanan model de geri kestirim yöntemi ile incelenerek, geçerliliği belirlenmiştir.

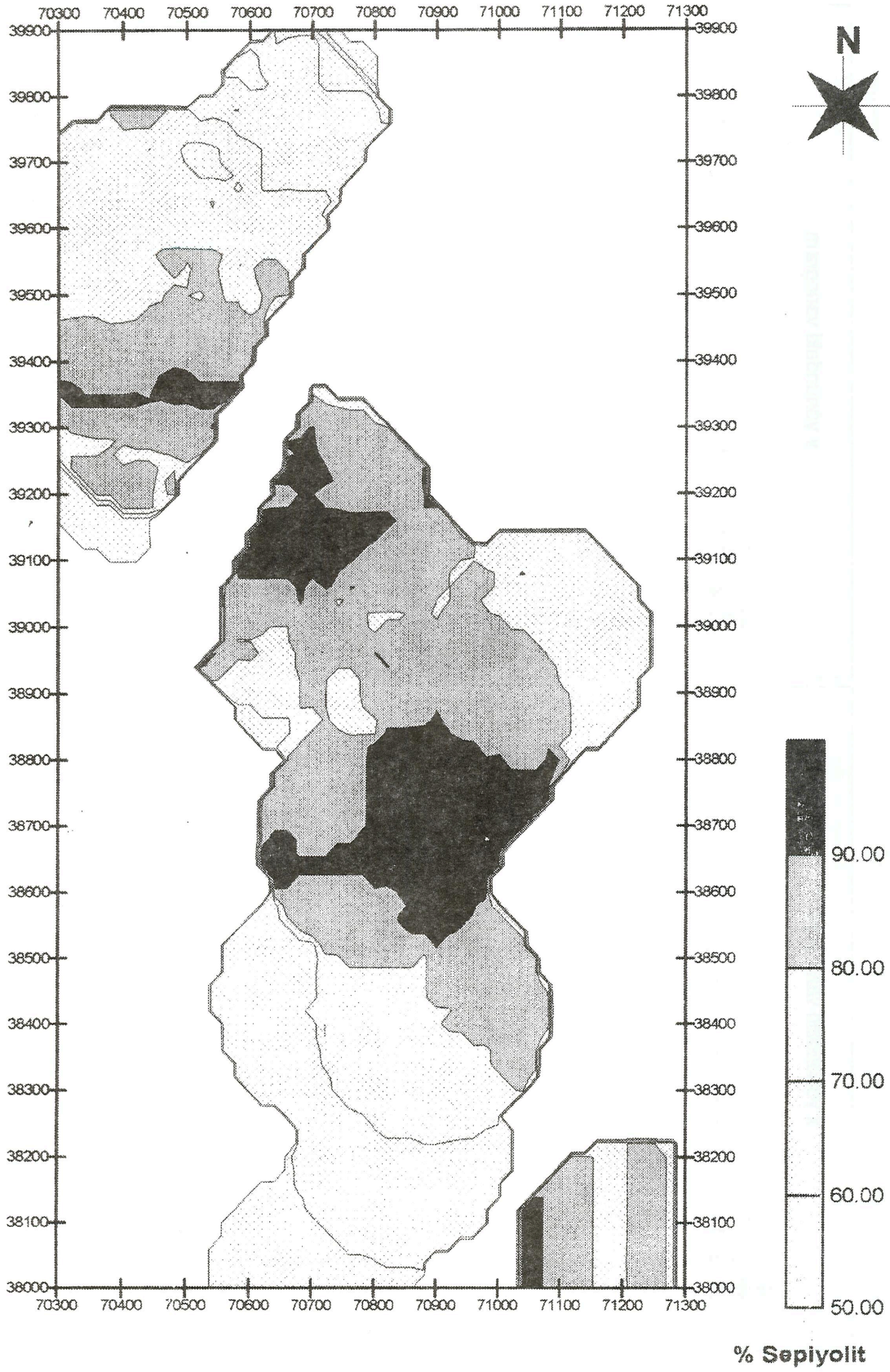
## Görünür rezerv

Görünür rezerv çalışmasında, International Atomic Energy Agency (1985)'e göre kesit yöntemi kullanılır.



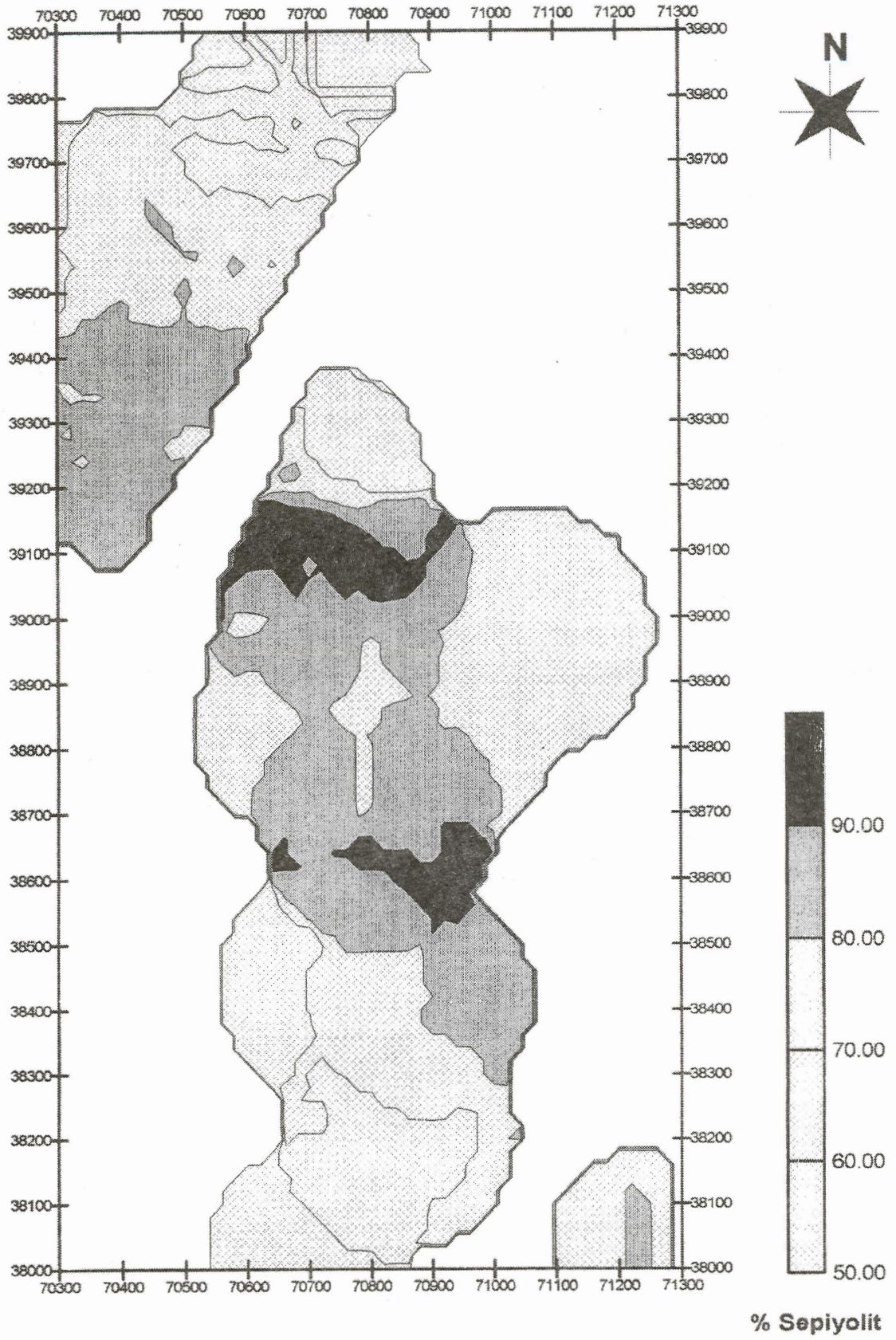
Şekil 4. Cevherleşmenin x,y,z yönlerindeki variogramlar ve uyarılan model variogramı.





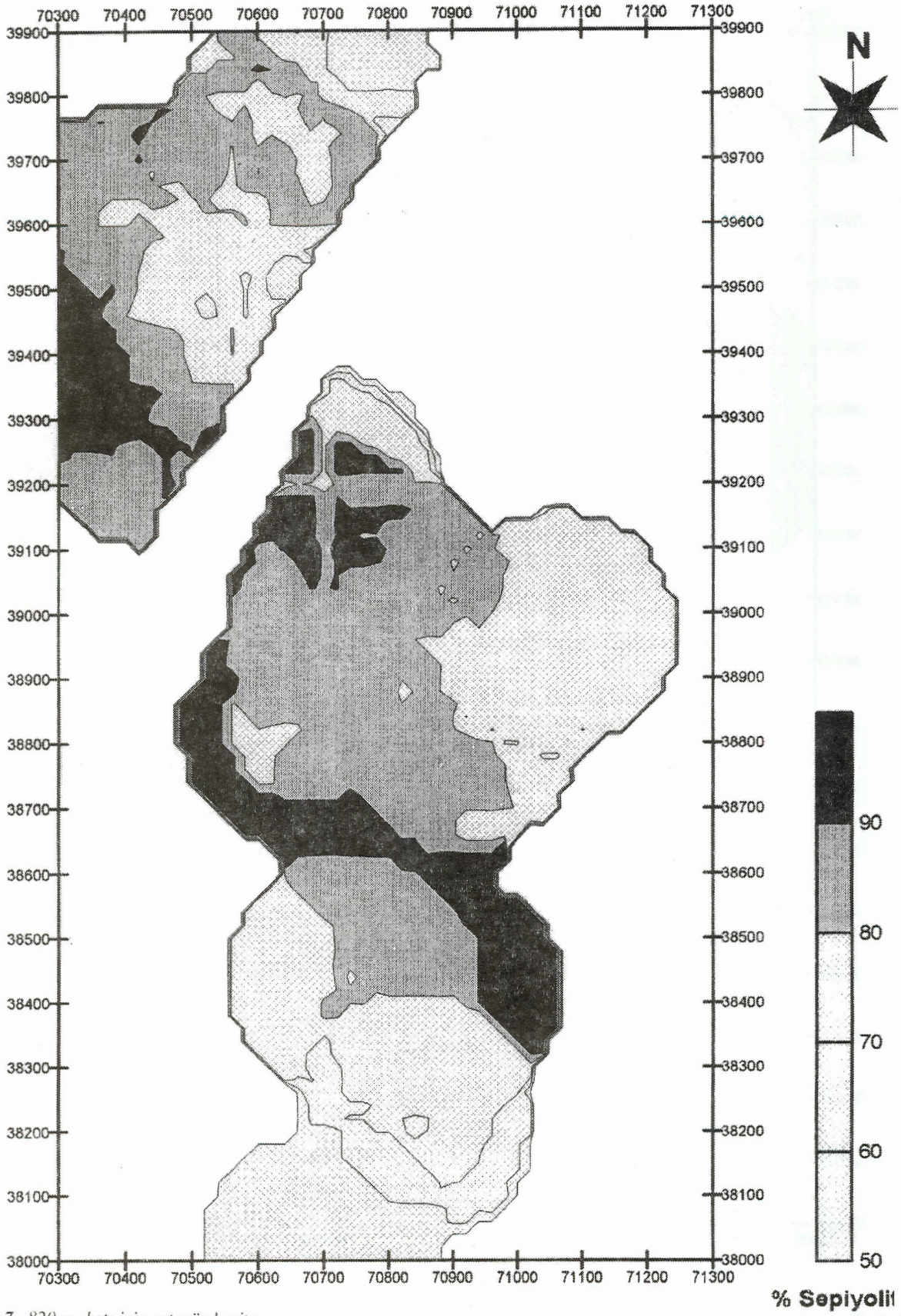
Şekil 5. 830 m. katı için eşenör haritası.



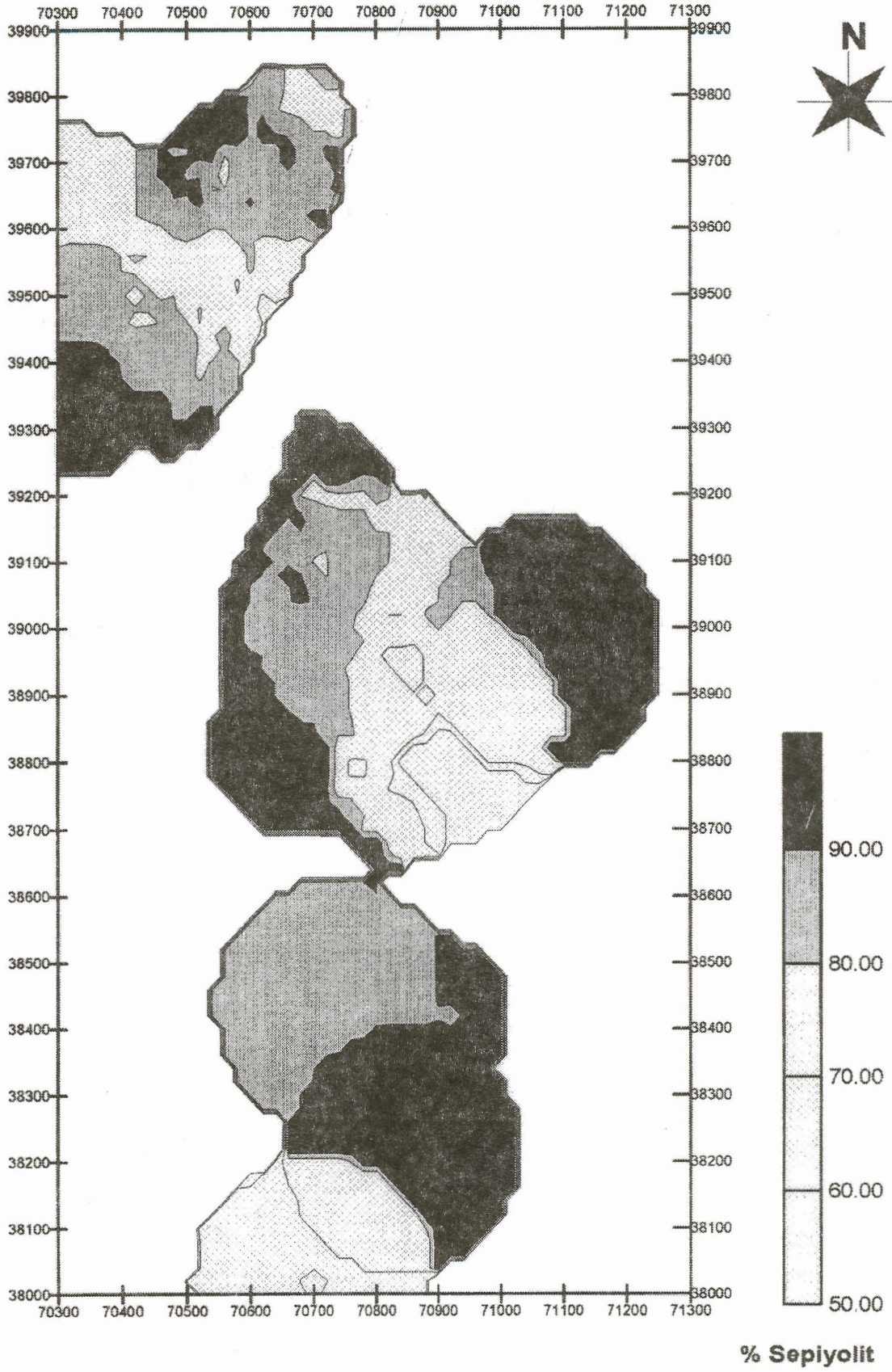


Şekil 6. 825 m. katı için eşenör haritası.



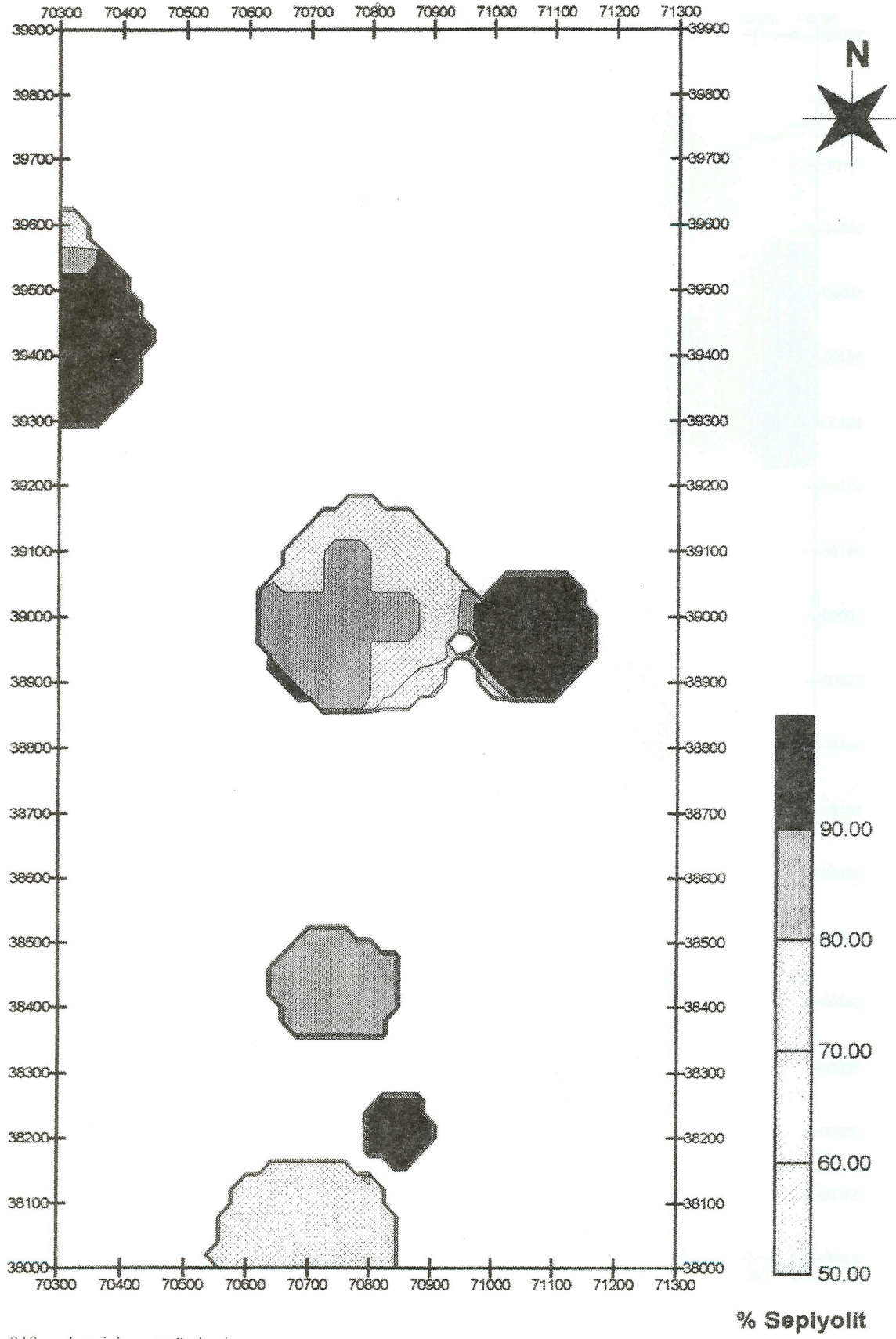


Şekil 7. 820 m. katı için eştenör haritası.



Şekil 8. 815 m. katı için eşenör haritası,





Şekil 9. 810 m. katı için eştenör haritası,



mıştır. 6 adet kesit kullanılarak yürütülen hesaplamalarda etki uzaklığı olarak, variogram analizi kısmında model variogramda 40 metre olarak bulunan etki uzaklığı alınmıştır. Sondaj verileri ve yarma verileri kullanılarak yapılan değerlendirmede, sondaj sonuçlarına dayanarak 263820 m<sup>3</sup> ve yarma sonuçlarından giderek 340963 m<sup>3</sup>, toplam 604783 m<sup>3</sup> (ortalama sepiyolit içeriği %81.28) görünür rezerv saptanmıştır. Çalışmada kesitler arasındaki rezerv miktarı ve ortalama tenör, International Atomic Agency (1985)'e göre hesaplanmıştır. Bölgedeki sepiyolitlerin yoğunluğu 0.80 ile 1.20 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Ortalama olarak yoğunluk 1.00 gr/cm<sup>3</sup> alındığında metre küp cinsinden verilen rezervler ton olarak geçerli olacaktır.

## Mümkün rezerv

Cevherleşmenin mümkün rezerv değerlendirmesi kriging tekniği ile yürütülmüştür. Jeostatistikün en önemli unsurlarından bir olan kriging, bir bloğun gerçek değerini mevcut bütün örneklerden yararlanarak belirleyen jeostatistiksel bir tekniktir. Kriging kestiricisi

$$z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

eşitliği ile verilir (Journel, 1989). Formülde  $\lambda$  simgesi ile gösterilen kriging ağırlıkları, hataların ortalaması sıfır ve varyansı da minimum olacak şekilde belirlenmiştir. Eşitlikte  $z^*(x)$ ,  $x$  noktasındaki bloğun kriging ile kestirilen değeri;  $z(x_i)$ ,  $x_i$  noktalarındaki data değeridir.

Yukarıdaki algoritma kullanılarak sepiyolit cevherleşmesinde  $x$  eksenini boyunca 20 metrelik 50 blok,  $y$  eksenini boyunca 20 metrelik 96 blok ve  $z$  ekseninde de 5 metrelik 6 kat için blokların kriging ile kestirimi yapılmıştır. 830 m, 825 m, 820 m, 815 m ve 810 m katlarında gerçekleştirilen kriging işleminde her bir katta 4800 blok bulunmaktadır. Tek bir bloğun hacmi 20 m ( $x$  eks.) x 20 m ( $y$  eks.) x 5 m (kat kalınlığı  $z$  eks.) = 2000 m<sup>3</sup> dür. 830 metre ve 810 metre katları arasında yapılan değerlendirme de elde edilen sonuçlar, blok tenör sonuçları ve eştenör haritaları şeklinde hazırlanarak, her bir kat için Şekil 5→9'de sunulmaktadır.

## Rezerv - tenör dağılımı

Gerçek blok değerlerinin dağılım varyansı, kestirilen değerlerin varyansından büyük olduğu için 20 x 25 x 5 m. blokların krigingle elde edilen sonuçlarının rezerv - tenör eğrileri, aşağıdaki eşitlik kullanılarak düzeltilmiştir.

Rezerv - tenör belirlenmesinde kullanılan eşitlik:

$$Z^2(V/D) = Z^2(V^*/D) + \sigma_k^2 - 2\bar{\mu}$$

şeklinde verilebilir. Eşitlikte:

$Z^2(V/D)$ : Gerçek blok değerlerinin cevherleşme içindeki dağılım varyansı

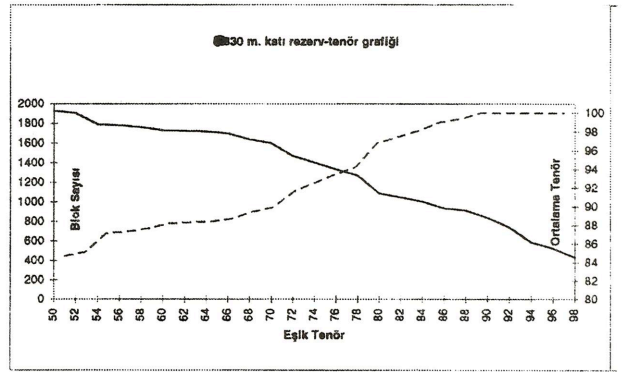
$Z^2(V^*/D)$ : Kestirilen blok değerlerinin cevherleşme içindeki dağılım varyansı

$\sigma_k^2$ : Kriging varyanslarının ortalaması

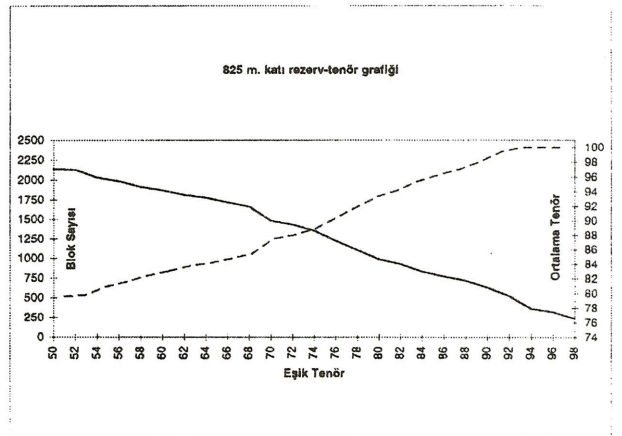
$\mu$ : Lagrange çarpanlarının ortalaması

Maden işletme planlarının yapılmasında temel oluşturacak rezerv - tenör grafikleri ve yukarıda verilen eşitliğe göre hesaplanan rezerv - tenör dağılımı her bir kat için sırası ile Şekil 10→14'de verilmektedir.

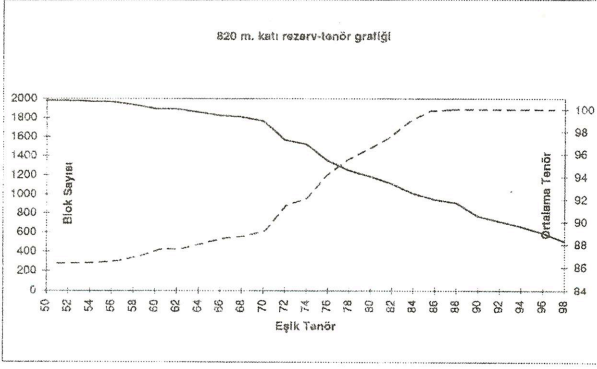
Rezerv - tenör dağılımından elde edilen bilgilere göre katlara göre hazırlanan mümkün rezerv ve ortalama tenör değerleri Tablo 1'de topluca gösterilmiştir.



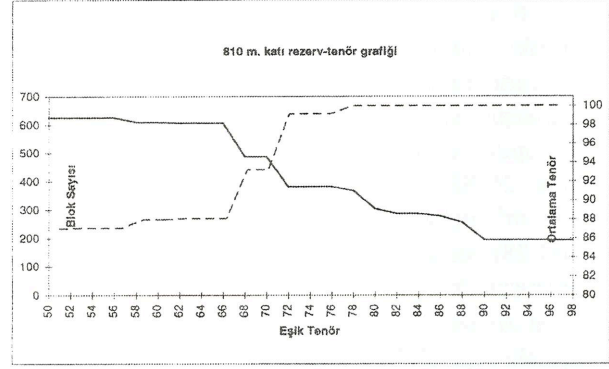
Şekil 10. 830 m. katı rezerv-tenör grafiği.



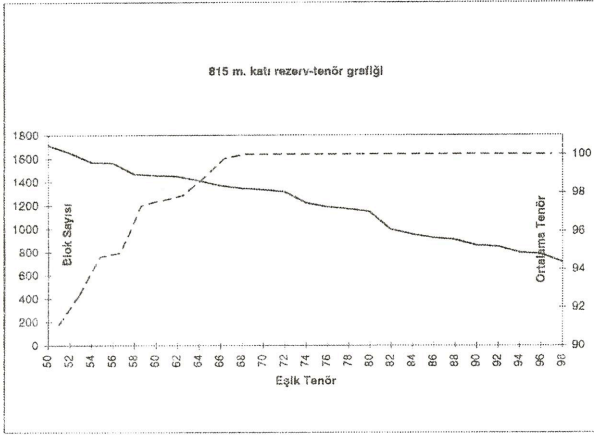
Şekil 11. 825 m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 12. 820m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 14. 810 m. katı rezerv-tenör grafiği.



Şekil 13. 815m. katı rezerv-tenör grafiği.

## Sonuçlar

Veledler Sırtı / Kurtşeyh (Sivrihisar) sepiyolit cevherleşmesinin, rezerv - tenör değerlendirilmesi jeostatistiksel yöntemler kullanarak yapılmıştır. Araştırmada görünür rezerv kesit yöntemi ile, mümkün rezerv ise kriging tekniği kullanarak belirlenmiştir. Maden işletme planlarının yapılmasında ve rezerv - tenör eğrilerinin belirlenmesinde kullanılacak veriler sunulmaktadır. İncelemede sonuç olarak toplam 604783 m<sup>3</sup> görünür rezerv ve mümkün rezerv olarak da %50'den yüksek sepiyolit içeren 9498 blok (toplam 18996000 m<sup>3</sup>) ve bu blokların ortalama sepiyolit içeriği de % 85.43 olarak belirlenmiştir. İstenilen % sepiyolit içeriğine göre mümkün rezerv miktarı ve ortalama tenör içeriği grafiklerle ve ayrıca tablo halinde verilmektedir.

Tablo 1. İnceleme alanındaki mümkün rezerv-tenör dağılımı

Sepiyolit içeriği	830 m katı			825 m katı			820 m katı		
	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )
> % 50	84.58	1928	3856000	79.56	2139	4278000	86.34	1877	3954000
> % 60	88.21	1729	3458000	83.73	1870	3740000	87.60	1893	3786000
> % 70	89.91	1601	3202000	87.44	1481	2962000	89.21	1762	3524000
> % 80	96.80	1090	2180000	93.32	987	1974000	96.44	1180	2360000
> % 90	100.00	837	1674000	98.05	631	1262000	100.00	765	1530000

Sepiyolit içeriği	815 m katı			810 m katı			TOPLAM		
	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )	ortalama tenör	Blok sayısı	Rezerv (m <sup>3</sup> )
> % 50	91.06	1715	3430000	87.06	627	1254000	85.74	8386	16772000
> % 60	97.59	1457	2914000	87.96	609	1218000	89.02	7558	15116000
> % 70	100.00	1333	2666000	93.24	487	974000	91.96	6664	13328000
> % 80	100.00	1147	2294000	100.00	304	608000	97.31	4708	9416000
> % 90	100.00	857	1714000	100.00	193	386000	99.61	3283	6566000

## DEĞİNİLEN BELGELER

- David, M., 1977, Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- International Atomic Energy Agency, 1985, Methods for the Estimation of Uranium Ore Reserves, An Instruction Manual, Technical Reports Series No: 255, Vienna.
- Journel, A.G., 1989, Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, Volume 8 Short Course in Geology, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Journel, A.G. and Huijbregts, Ch. J., 1978, Mining Geostatistics, Academic Press, London.
- Matheron, G., 1971, The Theory of Regionalized Variables and its Application, Centre de Morphologie Mathématique, Fontainebleau.
- Saraç, C. ve Tercan, E., 1992, A geostatistical Case Study of the Kızılyüksek - Yataardıç Chromium Orebody, Geosund, no. 20, pp 219 - 229.
- İrkeç, T. ve Gençoğlu, H. 1994, Eskişehir - Sivrihisar - Sığircık/ Kurtşeyh Köyleri ÖİR 5342 No'lu sepiyolit sahasına ait maden jeolojisi raporu: MTA Gn. Md. Derleme 311s.