

**DENİZLİ-TAVAS-ULUKENT MANGANEZ AÇIK İŞLETMESİNİN  
JEOİSTATİSTİK YÖNTEMLE REZERV-TENÖR İLİŞKİSİNİN  
BELİRLENMESİ****Determination of Reserve-Grade Relation of Denizli-Tavas-Ulukent Manganese Open Pit  
Mine Using Geostatistics****Cengiz KIRMANLA  
Erkin NASUF<sup>(\*\*)</sup>****Anahtar Sözcükler:** Jeoistatistik, Rezerv-Tenör ilişkisi, Kriging**ÖZET**

Bu çalışmada, Denizli-Tavas-Ulukent açık işletmesinde istatistik ve jeoistatistik yöntemler kullanılarak saha rezervi belirlenmiş ve rezerv-tenör ilişkisi araştırılmıştır. Sondajlardan elde edilen kalınlık ve farklı tenör değerleri istatistiksel olarak incelendikten sonra detaylı variogram analizleri yapılmıştır. Sahadaki tenör dağılımları ve rezerv miktarı kriging yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, sahadaki tenör dağılımı %1 Mn aralıklarla incelenmiş ve her bir tenör aralığındaki rezerv miktarları ayrı ayrı belirlenerek grafiksel olarak sunulmuştur. Sonuç olarak sahanın ekonomik tenörü %32 Mn olarak belirlenmiş ve bu tenörün altında 3 428 303 ton ve üstünde 3 494 411 ton olmak üzere sahada toplam 6 922 714 ton rezerv bulunmaktadır.

**ABSTRACT**

In this study, ore reserve of Denizli-Tavas-Ulukent open pit mine is determined using statistical and geostatistical methods and reserve-grade relation of the orebody is investigated. Thickness and different grades obtained from drillholes are investigated statistically and detailed variogram analysis are made. Using kriging, the distributions of grades in the field are determined and total reserve of the mine is calculated. Grade distributions with 1% Mn interval is investigated and the results of the reserve quantities in each grade level are calculated and given graphically. As a result, the cut-off grade is determined to be 32% Mn and the reserve above and under this grade are calculated as 3 428 303 ton and 3 494 411 ton respectively, giving the total reserve of 6 922 714 of the mine.

<sup>\*</sup> Araş.Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Böl., İstanbul.

<sup>^</sup> Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Böl., İstanbul.

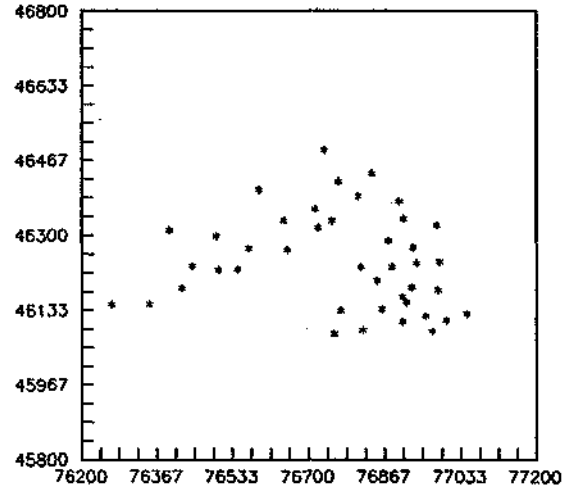
## 1. GİRİŞ

Klasik sistemle yapılan rezerv hesaplama yöntemleri ile sahadaki cevherleşme yapısı hakkında tam bilgi sahibi olma imkanı olmadığı için jeostatistik yöntemle rezerv hesaplama yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Klasik yöntemler, bir mineral yatağın rezervinin yaklaşık olarak hesaplanmasında bir sonuç verebilirler. Ancak jeostatistik yöntemle rezerv hesaplama ile mineralleşme ve jeolojinin de dikkate alınması, sadece güvenilir bir sonuç vermekle kalmayıp hesaplanan blok tenörleri için belirli hata sınırları içerisinde blok blok cevher yatağının rezervinin elde edilmesine olanak sağlar. Bloklara değer atama, atama yapılacak blok etrafındaki bütün noktaları göz önüne aldığı ve diğer yöntemlere nazaran daha düşük tahmin hatası yapıldığı için jeostatistiksel yöntemler klasik yöntemlere kıyasla daha üstündür (Eskikaya vd., 1986, 1991; Isaaks ve Srivastava, 1989; Nasuf, 1987).

Sahada yapılmış olan sondajlardan elde edilen verilere göre jeostatistik yöntem kullanılarak yapılan rezerv analizlerinde, cevherleşmenin yapısı, büyüklüğü ve cevher yatağı içindeki mineralleşme zonlarının dağılımı daha gerçekçi olarak elde edilir ve bu selektif madencilik için oldukça önemlidir (Nasuf vd., 1997; Önal vd., 1994).

Bu çalışmada, coğrafi koordinatları 76200-77200 kuzey-güney ve 45800-46800 doğu-batı olan Denizli-Tavas-Ulukent Manganez açık işletmesi incelenmiştir. Sahada yapılmış olan 54 adet sondaj bulunmaktadır. Bu sondajlardan 42 adedi cevher kesmiş ve 12 adedi ise cevher kesmemiştir. Bu sondajlara ait koordinat, kalınlık, kalınlık ağırlıklı olarak %Mn, %SiO<sub>2</sub>, %Fe, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %S parametre değerleri istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Böylece saha rezervi belirlenmiş ve cevher hazırlama çalışmalarının temelini teşkil eden rezerv-tenör ilişkisi

araştırılmış ve farklı tenör guruplarındaki rezerv dağılımı ortaya çıkarılmıştır (Ateşok vd., 1996).

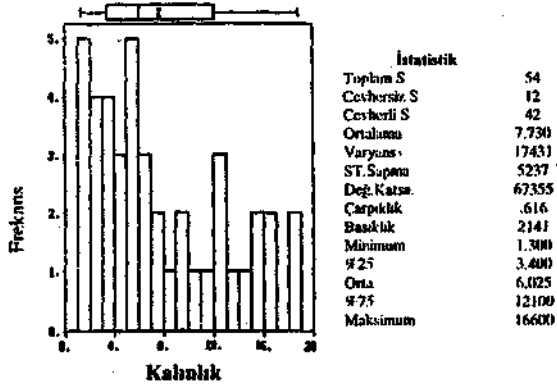


Şekil 1. Sahaya ait sondaj lokasyonları

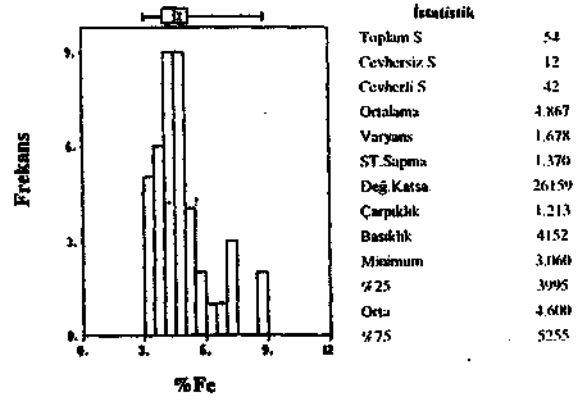
## 2. SAHANIN İSTATİSTİKSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeostatistiksel incelemeden önce sahanın karakteristiğini belirlemek amacıyla sondajlara ait kalınlık ve kalınlık ağırlıklı tenör verileri değerlendirilerek, temel istatistik çalışması olan frekans dağılımları ve kümülatif yüzde dağılım değerleri bilgisayar yardımıyla çizdirilmiştir. Sahaya ait kalınlık frekans dağılımları incelendiğinde dağılımın log-normal bir özellik gösterdiği, aritmetik ortalamasının  $7,73 \pm 5,24$  m olduğu ve değişim katsayısının (%CV) %68 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 2).

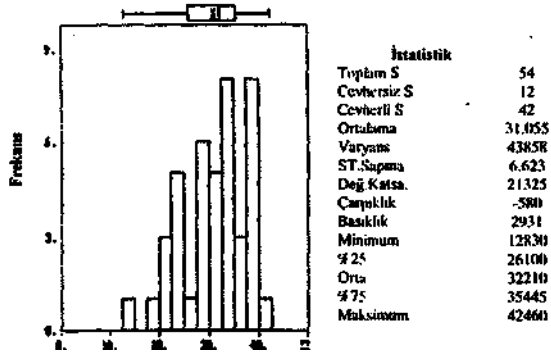
Verilerin jeostatistik incelemelerde kullanabilmesi için dağılımların normal dağılım özelliği göstermesi gereklidir. Bu amaçla log-normal dağılım gösteren verilerin logaritmaları alınarak tekrar frekans ve yüzde kümülatif değerleri çizdirilerek dağılımların normal hale gelip gelmedikleri incelenmiştir. Logaritmaları alınmış kalınlık değerlerinin



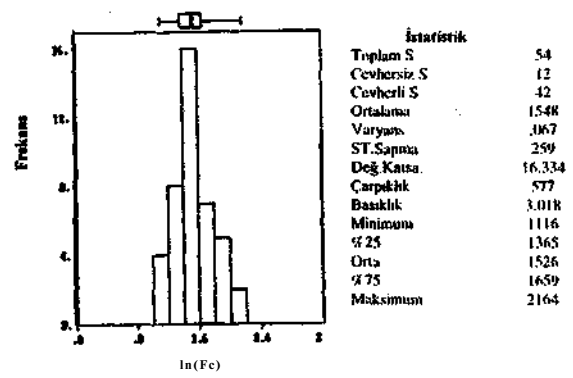
Şekil 2. Tavas sahası kalınlık histogramı



(a) normal



Şekil 3. Tavas sahası %Mn histogramı



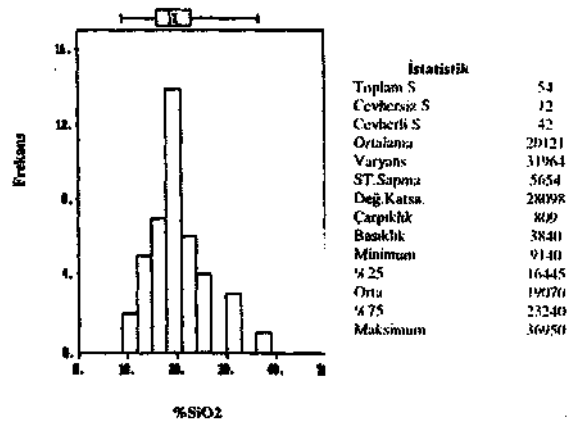
(b) logaritmik

Şekil 4. Tavas sahası %Fe histogramı

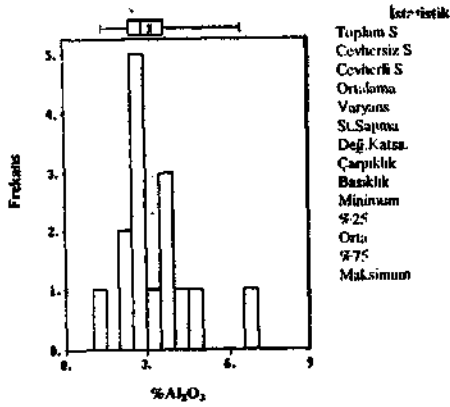
ortalaması geometrik ortalama olup 5,98 m'dir.

%Mn değerlerinin frekans dağılımı ise Şekil 3'de sunulmuştur. %Mn değerleri normal dağılım özelliği göstermekte olup aritmetik ortalaması  $31,06 \pm 6,62$  %Mn'dır, Variogram analizlerinde bu değerlerin kendileri kullanılmıştır.

%Fe, %SiO<sub>2</sub>, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %S parametre değerleri için elde edilen grafikler detaylı olarak açıklanmamış ve sırasıyla Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7'de verilmiştir. Parametrelere ait dağılım özellikleri ve ortalama değerler ile logaritmik dağılım gösteren parametrelerin

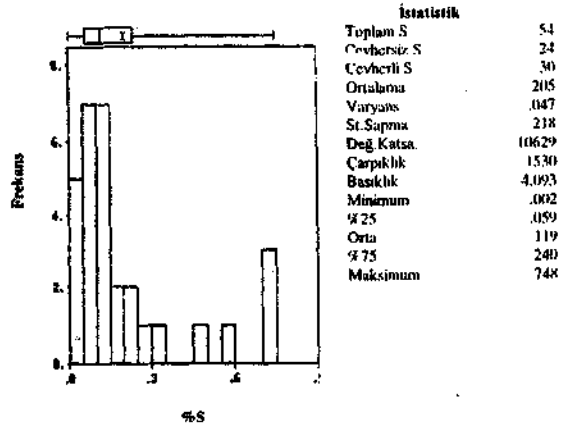


Şekil 5. Tavas sahası %SiO<sub>2</sub> histogramı



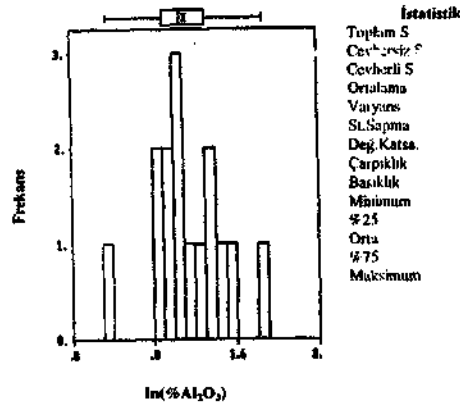
İstatistik	
Toplam S	54
Cevhersiz S	39
Cevherli S	15
Ortalama	1134
Varyans	125
St.Sapma	354
Değ.Katsa.	31177
Çarpıklık	-0.22
Baskılık	3531
Minimum	358
%25	914
Orta	1085
%75	1320
Maksimum	1876

(a) normal



İstatistik	
Toplam S	54
Cevhersiz S	24
Cevherli S	30
Ortalama	205
Varyans	047
St.Sapma	218
Değ.Katsa.	10629
Çarpıklık	1530
Baskılık	4093
Minimum	002
%25	059
Orta	119
%75	240
Maksimum	748

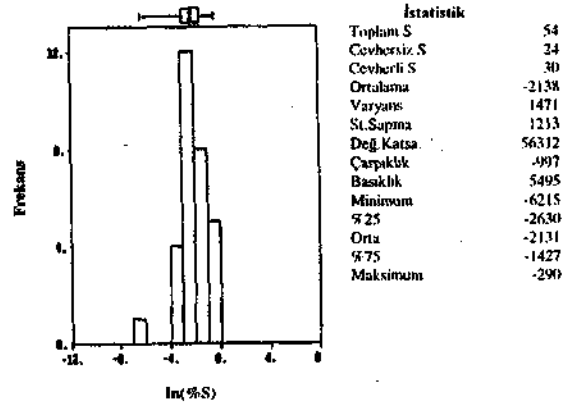
(a) normal



İstatistik	
Toplam S	54
Cevhersiz S	39
Cevherli S	15
Ortalama	1134
Varyans	125
St.Sapma	354
Değ.Katsa.	31177
Çarpıklık	-0.22
Baskılık	3531
Minimum	358
%25	914
Orta	1065
%75	1320
Maksimum	1675

(b) logaritmik

Şekil 6. Tavas sahası %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> histogramı



İstatistik	
Toplam S	54
Cevhersiz S	24
Cevherli S	30
Ortalama	-2138
Varyans	1471
St.Sapma	1213
Değ.Katsa.	56312
Çarpıklık	-997
Baskılık	5495
Minimum	-6215
%25	-2630
Orta	-2131
%75	-1427
Maksimum	-290

(b) logaritmik

Şekil 7. Tavas sahası %S histogramı

Çizelge 1. Tavas Sahasına Ait İstatistiksel Değerlendirme Sonuçları

Parametre	Dağılım	Aritmetik Ort.	Geometrik Ort.
Kalınlık	logaritmik	7,73	5,98
%Mn	normal	31,06	-
%Fe	logaritmik	4,87	4,70
%SiO <sub>2</sub>	normal	28,12	-
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (>3)	logaritmik	3,30	3,11
%s	logaritmik	0,21	0,12

verilerinin logaritmaları alındıktan sonra elde edilen gerçek ortalama değerleri Çizelge 1'de toplu olarak verilmiştir.

## 2.SAHANIN VARIÖGRAM ANALİZİ

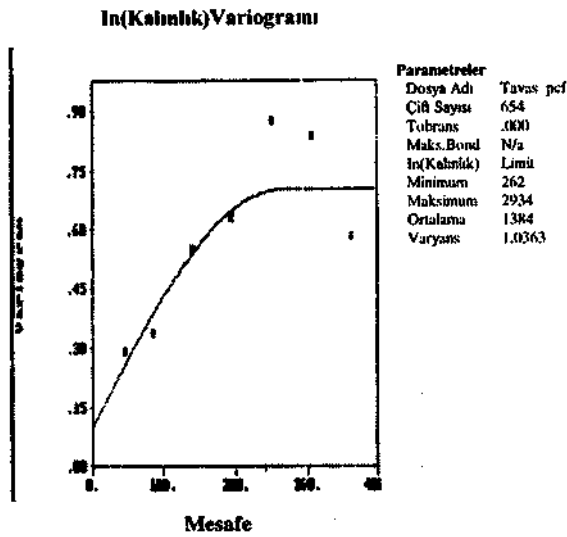
Variogram analizi, sondajlardan elde edilen parametre değerlerinin birbirleri arasındaki değişim değerleri ve etki mesafeleri hakkında bilgi veren bir analizdir. Variogram grafiği ile bir parametrenin mesafeye bağlı olarak nasıl değiştiği izlenebilir. Variogram analizleri GEO-EAS paket programı yardımı ile yapılmıştır.

Sondaj parametrelerinin variogramları, sahada yapılmış olan 54 adet sondajın istatistiksel açıdan incelemesinden elde edilen parametre değerlerinin özellikleri göz önüne alınarak 20

m'lik uzaklık aralıkları ile çizdirilmiştir. Variogramlar ve bunlara ait değerlendirmeler sırasıyla verilmiştir.

### Kalınlık Variogramı

Variogram fonksiyonun eldesi için kalınlık değerlerinin logaritmaları kullanılmıştır. Variogram fonksiyonu, her bir aralığa düşen sondaj çifti sayısı ile bunların değerleri incelenerek küresel tip (Spherical) olarak tanımlanan matematiksel modele uyarlanmış ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Variogram parametreleri olan Nugget (külçe etkisi), Sili (kısmi varyansı), Range (sondajların etkisi mesafesi) değerleri ise sırasıyla 0,10, 0,60, 260'dır.

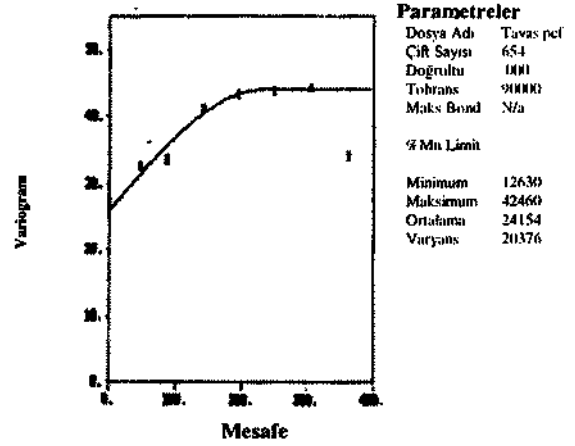


Şekil 8. Kalınlık variogram fonksiyonu

### %Mn Variogramı

%Mn değerlerinin kendileri kullanılarak çizdirilen variogram küresel tip matematiksel modele uymaktadır. Variogram fonksiyonu Şekil 9'da verilmiştir. Modele ait olan parametrelerden Nugget 26, Sill 18 ve Range ise 230 m olarak elde edilmiştir.

### %Mn Variogramı



Şekil 9. %Mn variogram fonksiyonu

### %Fe Variogramı

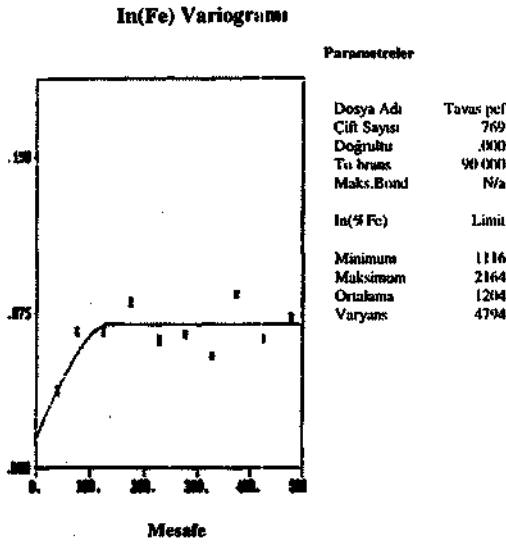
Sahaya ait %Fe değerlerinin logaritmalan kullanılarak çizdirilen variogram fonksiyonu küresel tip matematik modele uyarlanmıştır. Nugget 0,015, Sill 0,055 ve Range ise 140 m. olarak elde edilmiş ve variogram fonksiyonu Şekil 10'da sunulmuştur.

### % SiO<sup>2</sup> Variogramı

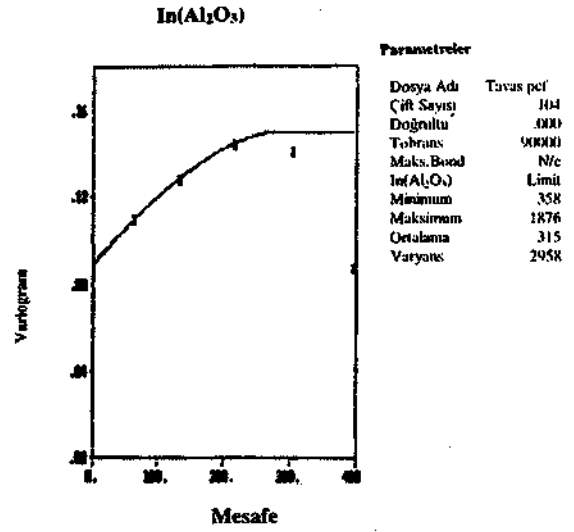
Sahaya ait olan %SiO<sub>2</sub> değerlerinin kendileri için çizdirilen variogram fonksiyonu diğer variogramlara göre farklı bir özellik göstererek rastgele değişken fonksiyon (random type) adı verilen tipe uymuştur. Şekil 11'de verilen variogram fonksiyonundan da görüldüğü üzere Nugget değeri 30'dur.

### % Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup> Variogramı

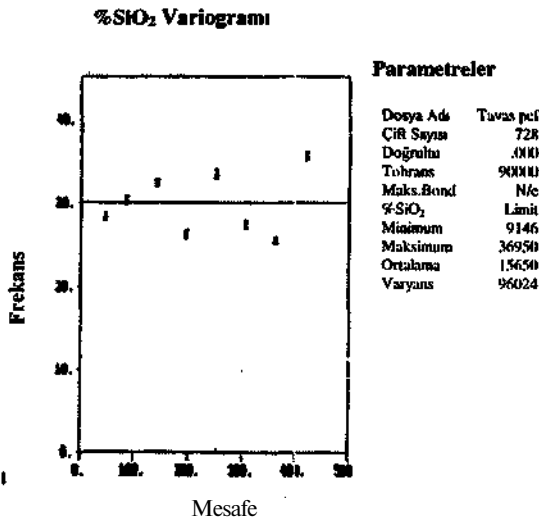
%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri de logaritmalan alınarak variogram analizinde kullanılmıştır. Şekil 12'de verilen Variogram fonksiyonu küresel tip matematik modele uymaktadır. Model parametreleri olan Nugget 0,090, Sill 0,060 ve Range değeri ise 290 m.'dir.



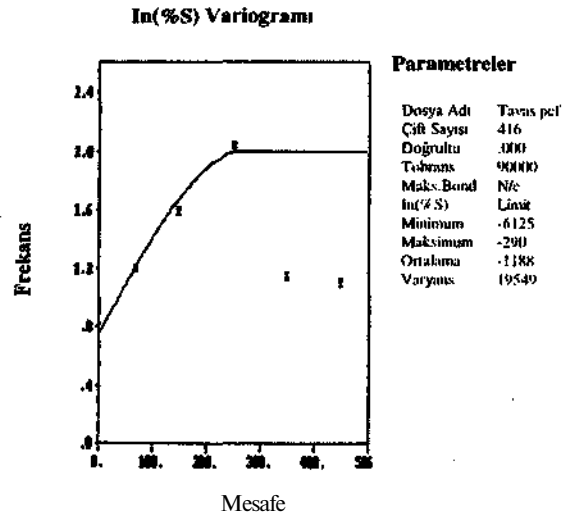
Şekil 10. %Fe variogram fonksiyonu



Şekil 12. %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variogram fonksiyonu



Şekil 11. %SiO<sub>2</sub> variogram fonksiyonu



Şekil 13. %S variogram fonksiyonu

### %S Variogramı

Logaritmalan alınarak kullanılan %S değerlerinin variogram fonksiyonu da küresel tip modele uymaktadır. Fonksiyon Şekil 13'de verilmiş ve model parametreleri olan Nugget değeri 0,75, Sili 1,250 ve Range 270 m olarak elde edilmiştir.

### 3.SAHAYA AİT KRIGING (BLOKLARA DEĞER ATAMA) ÇALIŞMALARI

Kriging, bloklara değer atama işlemidir. Bloklara ayrılmış olan bir sahada, her bir bloğa atanan sondaj parametre değeri, bloğun kendi içindeki ve belli bir yarıçaplı etki mesafesine kadar çevresinde olan veriler ile orantılı olarak

atanmaktadır.

Kriging çalışması için 10m'lik basamak yüksekliği esas alınarak saha 10m'lik katlara ayrılmış ve 1105-805 kotları arasında 31 adet kat oluşturulmuştur. Bütün katlara sondaj parametreleri kalınlık ağırlıklı olarak aynı şekilde hesaplanarak atanmış ve katlara göre yapılan rezerv hesaplamalarındaki sapma oranları en aza indirilmiştir.

Oluşturulan veri tabanına göre 31 adet kattan 8 adedinde veri bulunmamakta olup bunlar 1085, 1065, 1055, 1035, 1025, 845, 835 ve 825 katlarıdır. Her kat 20x20x10 m'lik bloklara ayrılmış ve toplam 2500 adet blok oluşturulmuştur. Katlar için oluşturulan sondaj parametre değerleri ile variogram modeli ve parametreleri kullanılarak bloklara değer atama işlemi (kriging) yapılmıştır.

Cevher yoğunluğu tüm cevher yatağı için 3,18 t/m<sup>3</sup> sabit alınarak her katın rezervi hesaplanmış ve katlara göre rezerv dağılımı ise Çizelge 2'de verilmiştir.

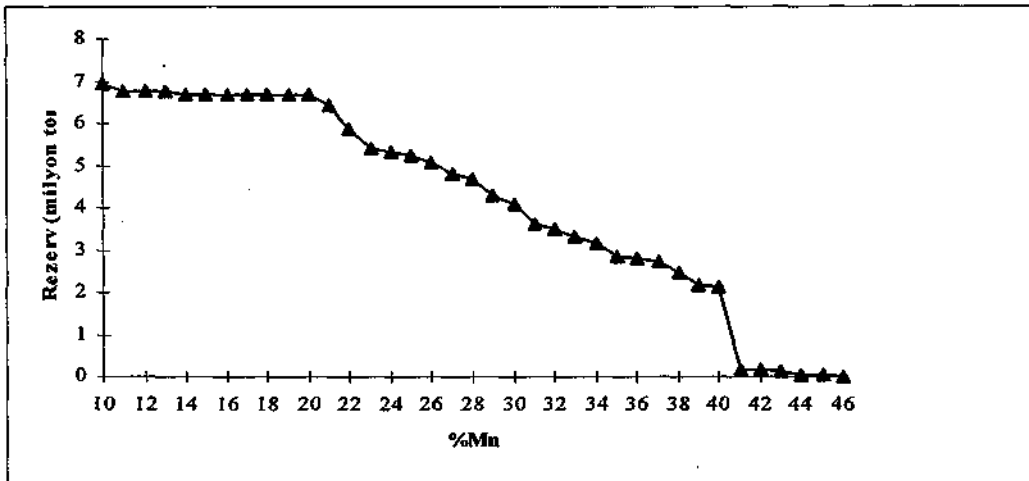
Toplam 8 adet kat sondaj verisi eksikliğinden dolayı değerlendirmeye alınmamıştır. Ancak bu katların altında ve üstünde rezerv

bulunduğu için bu katlarda da rezerv olacağı açıktır. Bu katlardaki rezerv aritmetik yaklaşımla kestirilmiş ve olası rezerv miktarları hesaplanarak Çizelge 2'de (\*) işaretli katlar olarak verilmiştir.

Cevher genel olarak 965-855 katları arasında yoğunlaşmaktadır. Katlara ait rezerv toplam olarak ve kestirilerek elde edilen rezerv miktarı ise kestirim olmak üzere Çizelge 2'de verilmiştir. 845-825 katları arasındaki mesafe bu tür bir kestirim için çok büyük olduğu için bu katlara rezerv atanması yapılmamıştır. Buna göre toplam rezerv 6 922 714 ton'dur. Kestirilerek elde edilen cevher rezervi ise 1 378 194 ton'dur. Kestirilen rezerv miktarı, alt ve üst katlarında cevher bulunmasına karşılık kestirim olarak cevher atanmayan 845-825 katlarından gelecek olan rezervle daha da artacaktır.

#### 4. REZERV - TENOR İLİŞKİSİ

Jeoistatistik'in temel uygulamalarından birisi de rezerv-tenör ilişkisinin belirlenmesi yani belirli bir tenör aralığında veya belirli bir tenörden itibaren (ekonomik tenör) sahada ne kadar



Şekil 14. Tavas-Ulukent Manganez sahası %Mn değerine göre rezerv-tenör ilişkisi (den-çok rezerv dağılımı)

Çizelge 2. Katlara Göre Rezerv Dağılımı

Katlar	Rezerv (ton)
1105	5 316,96
1095	224 762,40
1085*	203 290,36
1075	181 018,32
1065*	195 277,44
1055*	195 277,44
1045	209 536,56
1035*	170 988,60
1025*	170 988,60
1015	132 440,64
1005	173 225,39
995	90 146,64
985	199 351,47
975	138 482,64
965	566 742,38
955	226 495,36
945	705 986,76
935	1 066 175,03
925	375 640,94
915	375 558,30
905	582 267,44
895	415 883,33
885*	442 371,27
875	468 859,20
865	263 672,88
855	305 483,52
845*	
835*	
825* •	
815	115 370,40
805	100297,20
Toplam	6 922 713,75
Kestirim(*)	1 378 193,71

Çizelge 3. Tenor Dağılımına Göre Rezerv Miktarları

Tenor (%Mn)	Rezerv (ton)	Kümülatif Rezerv (ton)
10	0	0
11	152 258	152 258
12	0	152 258
13	11448	163 706
14	81268	244 974
15	0	244 974
16	2 900	247 875
17	0	247 875
18	0	247 875
19	7 657	255 532
20	0	255 532
21	235 638	491 170
22	551 781	1042 951
23	469 932	1512 883
24	73 035	1 585 918
25	89 579	1 675 496
26	192 529	1 868 025
27	230 368	2 098 393
28	133 992	2 232 386
29	385 387	2 617 773
30	218 437	2 836 210
31	466 396	3 302 606
32	125 697	3 428 303
33	183 471	3 611 774
34	142 241	3 754 016
35	319 980	4 073 996
36	25 288	4 099 284
37	79 996	4 179 280
38	261 494	4 440 774
39	332 406	4 773 181
40	26 587	4 799 767
41	1933 440	6 733 207
42	23 659	6 756 867
43	19 402	6 776 268
44	117 342	6 893 610
45	0	6 893 610
46	29 103	6 922 714



rezerv olduğunun belirlenmesidir. Böyle bir araştırma sahanın tenor dağılımını çıkartmakta ve yapılacak olan cevher hazırlama işlemleri için ön bilgi vermektedir.

Bu yöntem kullanılarak Denizli-Tavas-Ulukent manganez açık işletmesi değerlendirilmiştir. %Mn değerleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda % 10-46 Mn tenor değerleri arasında toplam olarak 6 922 714 ton rezerv bulunduğu belirlenmiştir. %1 Mn'lık artışlarla her tenor aralığındaki rezerv miktarları detaylı olarak hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir.

%Mn için rezerv-tenör ilişkisi değerleri (den-çok rezerv dağılım eğrisi) çizilerek grafiksel olarak Şekil 14'de verilmiştir. Şekil 14'den izlendiği üzere %20 Mn değerinden sonra %40 Mn değerine kadar sahada hızlı bir rezerv artışı görülmektedir. %41 Mn değerinde ise sahada yaklaşık olarak 2 milyon ton rezerv bulunduğu Şekil 14'deki sıçrama ile görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Cevher hazırlama çalışmaları ve pazarlama için baz teşkil eden saha ekonomik tenörü %32 Mn olarak kabul edilmiştir. Sahada bulunan %28-32 Mn arası cevher işletilebilir nitelikte cevher olarak belirlenmiş olup sahada 1 195 917 ton rezerv bulunmaktadır.

%22-28 Mn arası ise düşük tenörlü cevher olarak belirlenmiş ve bu tenor aralığında 1 189 435 ton rezerv bulunduğu hesaplanmıştır. Çok düşük tenörlü cevherler olarak verilen %22 Mn'dan az tenörlü cevher rezervi ise 1 042 951 tondur. Ekonomik tenor olan %32 Mn değerinin üzerinde ise 3 494 411 ton olmak üzere sahada toplam olarak 6 922 714 ton rezerv bulunmaktadır. Kestirimi yapılan cevher miktarları tenöre göre rezerv belirlenmesinde göz önüne alınmamıştır.

## KAYNAKLAR

Ateşok,G. ve Nasuf,E.. 1996; "Denizli-Tavas-Ulukent Yöresi Manganez Cevherinin Zenginleştirilmesi Olanaklarının Araştırılması ve Ferromanganez Üretimi", İTÜ Maden Müh.Böl., Nihai Rapor, İstanbul, 127s,

Eskikaya,Ş. ve Nasuf,E.,1986; "Etibank Küre Aşıköy Cevher Yatağı Rezervlerinin Jeostatistik Yöntemleri Kullanarak Hesaplanması Projesi", Proje No: 16/86, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Basımevi, 46s.

Eskikaya,Ş., Nasuf,E., Bilgin,N., Çopur,H., 1991; "KBİ Çakmakçaya-Damar Sahalarının Kısa ve Uzun Vadeli Maden Planlaması için Jeostatistiksel Olarak İncelenmesi ve Sahada Oluşabilecek Evlerin Stabilizasyonu Etüdü", İTÜ Maden Fakültesi Ofset Basımevi.

Isaaks,E,H., Snavstava,R,M., 1989; "Applied Geostatistics", Oxford University Press, 561s.

Nasuf,E., 1987; "Jeostatistik Yöntemle Rezerv Hesaplama Seminer Notları", Etibank Matbaası, Ankara.

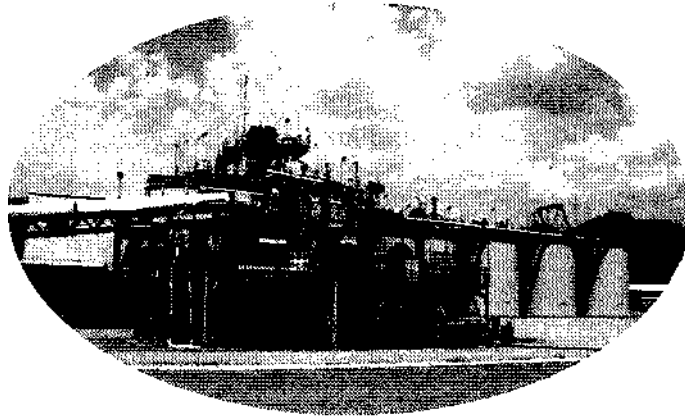
Nasuf,E., Vecihi.G., Önal,G., Kırmanlı,C., Çelik,K,A., 1997; "Geostatistics in Mineral Process Design-Küre Aşıköy Copper Mine, Turkey", 7<sup>th</sup> Balkan Conference on Mineral Processing, Vol 1, Romania, s. 57-62

Önal.G. ve Atak,S., Nasuf,E, 1994; "Küre Bakırlı Pirit İşletmesi Müessesesi Bakır Yatağının Jeostatistik Yöntemle Değerlendirilmesi, Flotasyon Tesisi Bakır Konsantre Tenorunun Yükseltilmesi ve Kolon Flotasyon Uygulaması", İTÜ Maden Fakültesi Ofset Basımevi.

## MİSYONUMUZ

- Yöre İnsanlarıyla karşılıklı güven içinde olmak ve değerlerine saygı göstermek
  - Yörenin sosyal ve ekonomik gelişmesine katkıda bulunmak
    - « Mevcut en yüksek çevre standartlarını uygulamak
      - Mevcut en iyi teknolojiyi kullanmak
        - Kalıcı ve ekonomik katkısı yüksek bir altın madenciliği geliştirmek

*Bu tesis, 1997 Aralık ayından beri  
DENETİM beklemektedir.*



*(Bu to-pmkCarm atunda aut duran zenginlikleri yeryüzüne  
çtkgnp değerkndirmekı Bize gurur verecek ^ ayncaak.£ı Bir  
görevdir.*

• urogoM Madencilik AmŞ«