

Jeoistatistik

Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Simülasyon Yöntemlerinin Kullanılması

Usage Of The Geostatistical Simulation Methods In Minem Deposit Evaluation

Cem SARAÇ
Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06532 Beytepe ANKARA

Öz

Jeostatistiksel simülasyon yer bilimlerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde etkin bir yöntem olarak son yıllarda çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Genel jeolojik özelliklerin saptanmasında, litolojik birimler arasındaki kimyasal kompozisyonunu incelemesinde geçirgenlik ve gözeneklilik gibi hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesinde hidrojeolojik modellemelerde, maden işletme planlarının yapılmasında ve tonaj dağıtıcılarının saptanmasında jeostatistiksel simülasyon etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada jeostatistiksel simülasyon genel olarak verildikten sonra, koşullu-koşulsuz simülasyon ve değişik simülasyon yöntemlerine sırasıyla değinilecektir. Araştırmada uygulama olarak Kızılyüksek-Yataardıç (Karsantı) Adana krom cevherleşmesi incelenmiştir. Toplam uzunluğu 4772 metre olan 26 sondajdan elde edilen krom analiz değerleri kullanılarak veri analizi yapılmıştır. Veri analizi sonucunda % 4.40 ortalama, % 2.43 standart sapma ve 0.55 değişim katsayısı gösteren verilerde pozitif bir dağılım gözlenmiştir. Cevherleşmenin 3 temel yönünde variogramlar hesaplanarak, tenor dağılımı uzaklığa bağlı olarak modellenmiş ve model parametreleri de ayrıca modelin güvenilirliğinin saptanması için geri kestirim yöntemi ile kontrol edilmiştir. Son aşamada da cevherleşme koşullu simüle edilerek, sonuçlar ve tenor blok haritaları hazırlanmıştır.

ABSTRACT

The simulation approach to geological problems has received considerable attention the last few years. Applications include determination of major geologic patterns, chemical compositions of different lithological units, hydrogeological parameters such as porosity and permeability, hydrogeological modelling, determination of mine planning and grade-tonnage curves.

After a preliminary review of geostatistical simulation, conditional and non-conditional simulation and different simulation methods will be given. Kızılyüksek-Yataardıç (Karsantı) Adana chromium mineralisation has been considered as a case study. The data is derived from 26 drillholes distributed over the area. The total depth of the 26 drillholes was 4772 m. Using a basic statistics treatment of data, a positive low skew distribution with the mean of 4.40%, the standard deviation of 2.43%, and the coefficient of variation of 0.55 has been observed. Experimental variograms representing three main directions were calculated, and the kriging estimation technique. Finally, conditional simulation was done and the results and the simulation maps were prepared.

1. GİRİŞ

Simülasyon ilk defa, 1940 yılında John Neuman'ın Monte Carlo analiz yöntemini nükleer reaktörlerin yalıtımı ile ilgili problemlere uygulamasıyla kullanılmaya başlamıştır (Harbaugh and Bonham-Carter, 1970). Bundan önce simülasyon, bilinmeyen bir şeyin ne olabileceğini tahmin etme olarak kullanılmaktaydı. Daha ileri

yıllarda yüksek kapasiteli, hızlı bilgisayarların gelişmesi ve ayrıca matematiksel modellemelerin önemi arttıkça, simülasyonun bir çok, değişik alanda kullanılmaya, başladığı görülmektedir. Bu araştırma da, simülasyonun yalnız yer bilimlerindeki önemine değinilecek ve maden yataklarının değerlendirilmesi açısından bir uygulama sunulacaktır.

2, SİMÜLASYON TANIMI VE SİMÜLASYON TEKNİKLERİ

Simülasyonun amacı, elimizdeki mevcut bilgilerden yararlanarak, bu bilgilere uygun veriler üretmektir. Bu araştırmada, simülasyon tekniklerini koşullu ve koşulsuz simülasyon olarak, genelde 2 kısma ayırabiliriz:

i) Koşulsuz simülasyon: istenilen ortalama ve kovaryansda veri üretimidir.

ii) Koşullu simülasyon; Örneklenmiş lokasyonlardaki verilerle aynı değerlere sahip veri üretimidir.

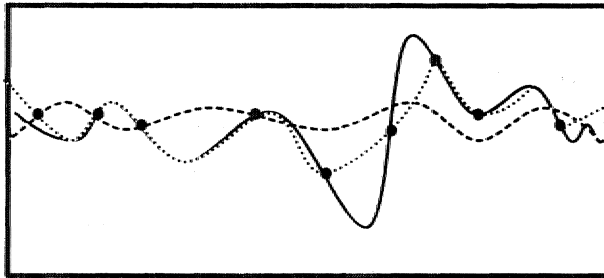
Simile edilmiş bir maden yatağının göstereceği özellikleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

i) Gerçek verilerle aynı dağılıma sahiptirler (aynı histogram özelliği, eşit ortalama ve eşit varyans).

ii) Uzaklığa bağlı ilişki, gerçek verilerle aynıdır (aynı variogram özelliği).

iii) Örneklenmiş lokasyonlarda gerçek değerlerle, simülasyon sonucu üretilen, değerler tamamen eşit olacaktır.

Yukarıdaki özelliklerden 1 ve 2. maddeleri, içeren teknik koşulsuz simülasyon, bütün özellikleri içeren simülasyon tekniği, ise koşullu simülasyon olarak adlandırılır. Şekil F de koşullu ve koşulsuz simülasyon arasındaki fark gösterilmeye çalışılmıştır. Koşullu simülasyonda elde edilen sonuçlar, maden yatağında önceden örneklenip, gerçek, değeri bilinen lokasyonlardaki sonuçlarla aynı değeri gösterirler. Yalnız, bu özelliğe dayanarak da, koşullu simülasyonun sadece veri ürettiğini söylemek yanlış olacaktır; örneklenmemiş lokasyonlarda gerçeğe yakın olası bir değer, örneklenmiş lokasyonlarda ise gerçek değeri verdiği söylenebilir.



- Örneklenmiş Gerçek Değer
- Gerçek
- - - - - Koşulsuz Simülasyon
- Koşullu Simülasyon

Şekil F» Koşullu ve Koşulsuz Simülasyon

3, SİMÜLASYONUN MATEMATİKSEL İFADESİ

Maden yatağı MY simgesi ile gösterilirse, maden

yatağının her bir noktasındaki gerçek tenor değeri. $z_q(x)$ $\{x \in MY\}$ olacaktır. Bu noktaların kestirim ile elde edilen değerleri de $z_k(x)$ ile gösterilebilir. Bu iki değer arasındaki fark, bilinmeyen bir kestirim hatasını verecektir.

$$\text{hata} = z_q(x) - z_k(x)$$

Buradan

$$z_k(x) = z_q(x) - \text{hata}$$

$$z_k(x) = z_q(x) - [z_q(x) - z_k(x)]! \dots \dots \dots (1)$$

elde edilir.

Kestirim hatası, koşullu simülasyon teorisine anahar olabilecek, bir özelliğe sahiptir. Arzu edilen koşullu simülasyon, (1) nolu eşitlikteki bilinmeyen kestirim hatasını, aynı dağılımsal özelliklere sahip ve bağımsız kestirim hatası olan $[z_q(x) - z_k(x)]$ ile yer değiştirerek bulunur.

$$z_{ks}(x) = z_k(x) + [z_q(x) - z_k(x)]$$

Burada $z^{\wedge}(x)$, x noktasındaki koşullu simülasyon değerini, $z_q(x)$ aynı noktadaki koşulsuz simülasyon değerini ve $z_{ks}(x)$ ise: yalnız koşulsuz simülasyon değerleri kullanılarak kestirilen, kestirim değerlerini göstermektedir.

Çeşitli yöntemler aracılığı ile yukarıdaki koşullu simülasyon eşitliğini kullanmamız mümkündür, yaygın olarak kullanılan simülasyon yöntemleri arasında: dönen bantlar metodu (Journel and Huijbregts, 1978), çok boyutlu spektral yöntemler (Mantoglou, 1987) kovaryans matrisi dekompozisyonu yöntemi (Davis, 1987), matrislerin halka dekompozisyonu yöntemi (Saraç and Dowd, 1993) ve Neural Networklere bağlı simülasyon yöntemi (Dowd and Saraç, 1993) örnek olarak verilebilir.

4. SİMÜLASYON VE KRİGING KESTİRİM TEKNİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

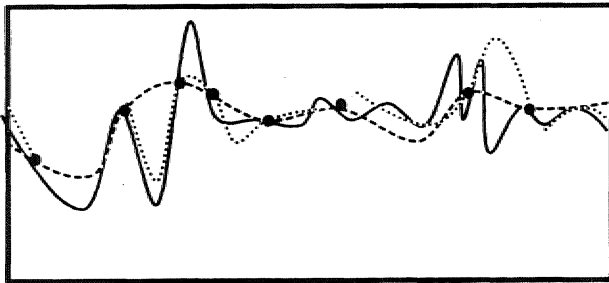
Bir maden yatağında* simülasyonla istenilen, bütün lokasyonlardaki değerleri belirlemek mümkündür. Bu durumda "jeostatistiksel olarak birçok kriging kestirim yöntemi varken, simülasyonu kullanmanın avantajı nedir ya da kriging kestirimi ile simülasyon arasında ne gibi bir fark vardır" şeklinde bir soru sorulabilir.

Buna verilebilecek, en iyi yanıt aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Kriging kestirim teknikleri, ve simülasyonun değişik amaçları vardır. Her ikisinde amaçlar farklıdır, Jeostatistiksel kriging kestirim yöntemlerinin amacı, maden yataklarında istenilen Mer lokasyonda tenör değerini kestirmektir, yani bilinmeyen gerçek tenör

değerlerine en yakın değerleri saptarla". Böyle bir kestirim doğruluğu da karesel hata, yansızlık ve kestirim varyansı gibi parametrelerle ölçülebilir.

Simüle edilmiş bir maden yatağında ise, üretilen değerler, mevcut verilerle aynı variogram ve istatistiksel dağılım özelliklerine sahiptir.

Şekil 2 de simülasyonla, kriging tekniklerinin arasındaki fark gösterilmiştir... Devamlı eğriyle, maden yatağındaki gerçek tenör dağılımı şematize edilmiştir. Noktalar ise örnek aldığımız, lokasyonlardaki tenör değerlerini temsil etmektedir. Kesikli eğriyle gösterilen kriging kestirim dağılımı, örnek alınan lokasyonlardaki tenör değerlerine oymasına rağmen, gerçek dağılımı yansıtmamaktadır. Bunun yanısıra, noktalı eğri ile gösterilen simülasyon eğrisi, gerçeğe daha yakın bir dağılım göstermektedir. Anımsanması gereken bir önemli nokta da, pratikte gerçek tenör dağılımının sadece, örnek alınan noktalarda bilinmesidir.



● Örneklenmiş Gerçek Değer
— Gerçek
- - - - - Kriging
..... Koşullu Simülasyon

Şekil 2. Kriging ve Koşullu Simülasyon

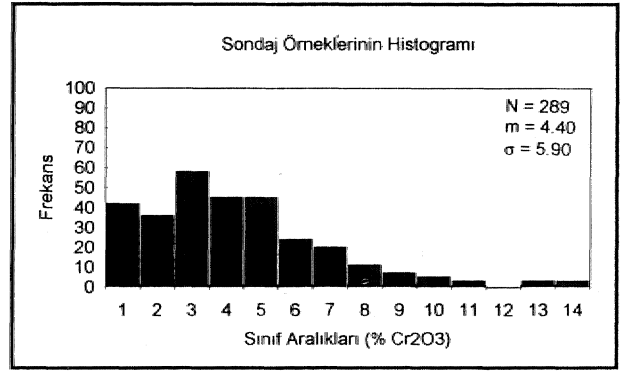
5. UYGULAMA

Adana ili, Karsanti ilçesi, Dardık köyünde 2,5 km. kuzey batısında yer alan Karsanti krom cevherleşmesi, Pözümlü-Karsanti ofiyolitik kompleksi içinde, kümülat dünitlerin en üst seviyesini oluşturur (Akın, 1987). Cevherleşme de MTA tarafından yapılmış olan 26 adet sondajın toplam uzunluğu 4772 metredir. Ortalama olarak, sondajlar 160 metre derinliktedirler. Sondajlardan, alınan örnekler % Cr₂O₃, % Fe₂O₃, % MgO, % Al₂O₃ ve % SiO₂ içeriği açısından analiz edilmişlerdir. Bu çalışmada yalnız Cr₂O₃ incelenmiştir.

Birinci adımda sondajlardan alınan örneklerin boy- lan, eşitlenerek yani kompozit edilerek, 2,89 eş uzun- luklu örnek elde edilmiştir. Örneklerin uzunluklarını eşitleme de dikkat edilen en önemli unsur ortalama kar- rot uzunluğudur.

Jeoloji Mühendisliği

289 örneğini tenör değerleri, pozitif yönlü bir dağı- lım, göstermektedir (Şekil 3). Bu dağılım % 4.40 ortalama- ya, % 2,43 standart, sapmaya ve 0.55 değişim katsa- yısına sahiptir.



Şekil 3. Sondaj Örneklerinin Histogramu

Cevherleşmenin 3 temel yönünde variogramlar he- saplanarak, cevherleşme uzaklığa bağlı olarak model- lenmiştir. Elde edilen variogramlar genel olarak % 5.5 tepe değeri (sill) göstermektedirler. Yığılım varyansı (nugget variance) ise % 2.5 olarak hesaplanmıştır (Şe- kil 4).

Elde edilen variogramlara küresel tip bir model uy- gulanmıştır (Journel and Huijbregts, 1978):

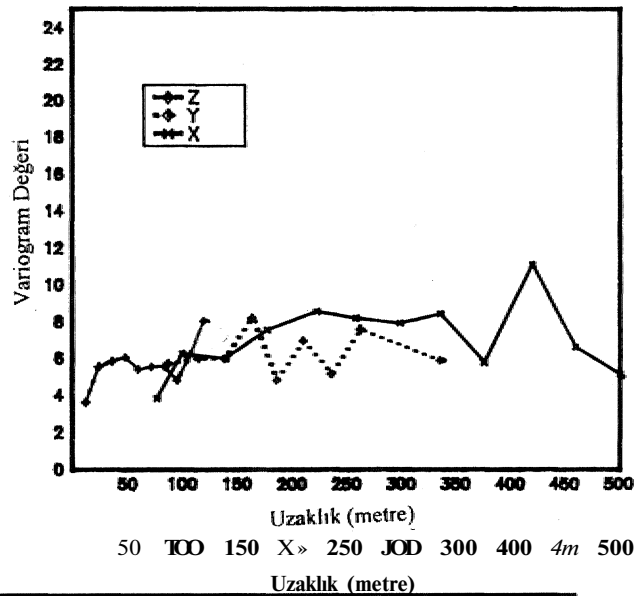
$$\gamma(h) = C_0 + C(1.5h/a - 0.5h^3/a^3) \quad h \leq a \text{ olduğu durumlarda}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a \text{ olduğu durumlarda}$$

$$\gamma(h) = 0 \quad h = a \text{ olduğu durumlarda}$$

Model parametreleri ise:

CEVHERLEŞMENİN YÖNSEL VARIOGRAMLARI



Şekil 4. Cevherleşmenin Yönsel Variogramları

$$C_0 = 2.5$$

$$C = 3.0$$

x eksenindeki uzunluk=120 m.

y eksenindeki uzunluk= 120 m.

z eksenindeki uzunluk=30 m. olarak hesaplanmıştır.

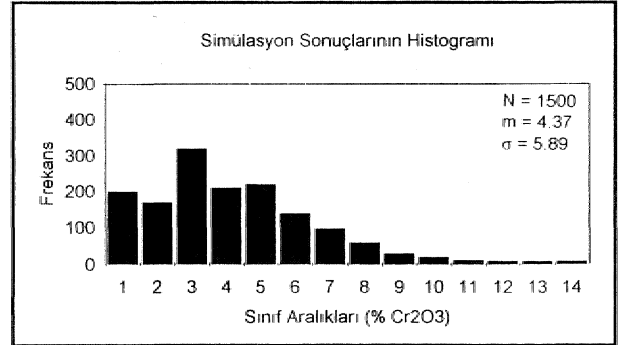
Uyarlanan bu model parametreleri, modelin geçerliliğini kanıtlamak açısından geri kestirim (back kriging) yöntemiyle de incelenmiştir. Geçerli bir model de, tenör değerleri üzerindeki doğrusal regresyon 45° ye yakın olmalıdır. Yani orijindeki kesişim 0 değerine yaklaşmalı, eğim ise yaklaşık 1 olmalıdır. Ortalama kestirim hatası varyansı ile, kestirim varyansı da yaklaşık olarak eşit olmalıdır (Saraç and Tercan, 1992). Kullanılan model parametrelerinin geçerliliğine ait sonuçlar Çizelge I' de özet olarak gösterilmiştir.

Çizelge I. Kullanılan Modelin Geçerliliği

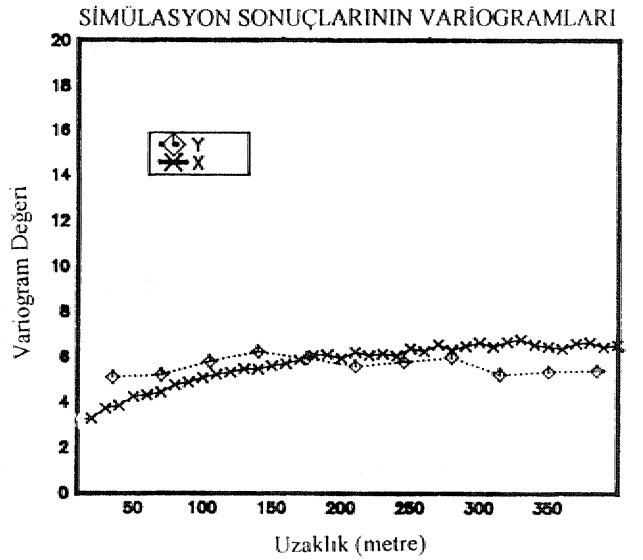
Mutlak Farklılık	1.62
Farklılık	0.00
Ortalama Kestirim Hatası Varyansı	6.42
Kestirim Varyansı	6.20
Orijindeki Kesişim	0.12
Eğim	0.97

Cevherleşmenin koşullu simülasyonu halka dekompozisyonu yöntemi ile yapılmıştır. Cevherleşmenin 1100 metre katı için 100 m, kat kalınlığında yapılan simülasyonda grid boyları, cevherleşmenin x eksenı boyunca 10 m., y eksenı, boyunca da 35 m. olarak alınarak, x yönünde 50, y yönünde ise 30 blok için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Buna göre her biri 35.000 m^3 hacmi olan, toplam 1500 bloğun tenörleri simülasyonla hesaplanmıştır. Sonuçları koşullandırma da, sondajlardan elde edilen bütün veriler kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının histogramı ve variogramları (Şekil 5 ve 6), sondajlardan elde edilen 289 örneğin, gösterdiği histogram ve variogramlarla tamamen aynı özelliktedir,

Şekil T de cevherleşmenin i 100 metre katı için hazırlanan tenör-blok haritası sunulmaktadır.



Şekil 5. Simülasyon Sonuçlarının Histogramu

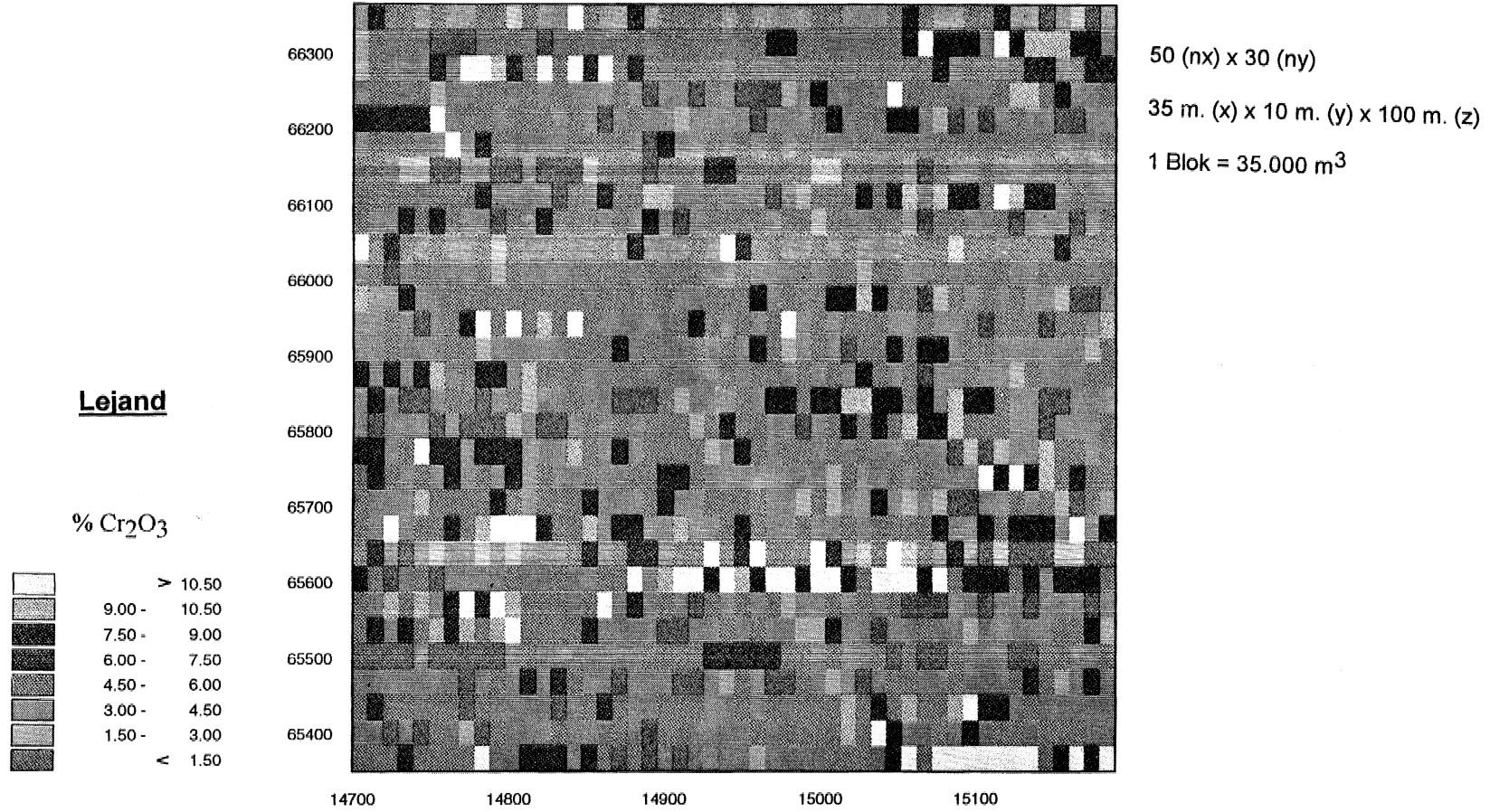


Şekil 6. Simülasyon Sonuçları run Variogramı,

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin maden yataklarının değerlendirilmesi açısından önemi gösterilmeye çalışılmıştır. Jeostatistiksel simülasyon, özellikle son yıllarda, yer bilimlerinde etkin bir yöntem, olarak kullanılmaya başlamıştır. Araştırmada, simülasyon genel olarak tanıtıldıktan sonra, sırası ile koşullu ve koşulsuz simülasyon' teknikleri, simülasyonun matematiksel ifadesi, kriging teknikleri ile arasındaki fark verilmektedir. Uygulama olarak da, bir 'krom cevherleşmesinde örnek bir kat seçilerek,, halka, dekompozisyonu yöntemi ile koşullu simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve seçilen kat için hazırlanan tenör blok haritası son elmadır.

1100 metre KATI İÇİN SİMÜLASYONLA ÜRETİLEN BLOK-TENÖR HARİTASI



Şekil 7. 1100m. Katı Blok - Tenör Haritası

Jeostatistik

KAYNAKLAR

- Akın, A.J.C. (1987) Kızıyüksək - Yataaidıç- (Karsantı/ Adana) **ÖİR**, 634 nolu Sahanın Madem, Jeoloji Raporu, MTA, Geiel Müdürlüğü, Rapor no: 2252.
- Davis, M, (1987) .Frod.cti.on of Conditional Simulations via the LU Triangular Decomposition of the covalance Matrix, Journal of Mathematical Geology, Vol.. 19, No 2, pp 91-98.
- Dowd, P.A.. and Saraç, C. (1993) Geostatistical Simulation Based, oo Neural Networks , The International Association for Mathe.matic.al Geology,, 25* Anniversary Meeting, 10-15 October 1993, Prague.
- Harbaugh, J.W. and Bohham - Carter, G, (1970) Computer Simulation in Geology, John Wiley and SODS, Inc., New York..
- Journal, A.G. And Huijbregts, ChJ. (1978) Mining Geostatistics, Academic Press, New York.
- Mantoglou, A. (1987) Digital Simulation of Two-and Three-Dimensional Stochastic Processes with a Spectral Turning Bands Method, Journal, of Mathematical Geology, Vol.. 19, No 2, pp. 129-150.
- Saraç, C. and Tercan, E, (199:2) A Geostatistical Case Study of Kızıyüksək-Yataaidıç Chromium Orebody, Geosound-Yerbilimleri, No 20, pp. 219-230.
- Saraç, C and Dowd, P.A. (1993) A Modified Approach • to Large Scale Geostatistical Simulation, via the LU Decomposition Method, Leeds. University Mioieg Association Journal» pp. 95-102