

JEOLOJİ VE MADENCİLİK SİSTEMİ (JMS) VE BİR BAKIR SAHASININ DEĞERLENDİRMESİ

The Geology and Mining System (JMS) and Valuation of a Copper Field

Kaan ERARSLANⁿ

ÖZET

Bu çalışmada, jeolojik modelleme ve maden değerlendirme konularında kullanılmak üzere Jeoloji ve Madencilik Sistemi (JMS) olarak adlandırılan bir yazılım paketi geliştirilmiş ve bir bakır sahasının değerlendirmesinde uygulaması yapılmıştır. JMS, işlevleri açısından kendi alanındaki yazılımların temel hesaplama ve görüntüleme imkanlarını sunmaktadır. Veri tabanı oluşturma, sondaj kuyu kesit çizimi, harita çizimleri, 3B yüzey çizimleri, yüzey kesit çizimleri, 3B cevher modelleme, açık ocak tasarımı ve görüntülenmesi yanı sıra, kompozit hesapları, variogram modelleme ve hacim hesapları da sistem tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Sistem, bir bakır sahasında uygulanmış, elde edilen sonuçlar sistemin jeolojik modelleme ve maden değerlendirmede kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Jeolojik Modelleme, Maden Değerlendirme, Açık Ocak Tasarımı, 3 Boyutlu Cevher Görüntüleme.

ABSTRACT

In this study, a geological modeling and mine valuation software package, namely Geology and Mining System (JMS), has been developed and applied to a copper district. JMS provides the basic estimation and visualization functions of similar software. Database preparation, drill hole sectioning, contour mapping, 3D surface drawing, surface sections, 3D ore body modeling, open pit design and visualization could be realized by the system as well as compositing, variogram modeling and volume calculations. The system has been applied to a copper field and the results have revealed that it could be used for geological modeling and mine valuation.

Keywords: Geological Modeling, Mine Valuation, Open Pit Design, 3D Ore Body Visualization.

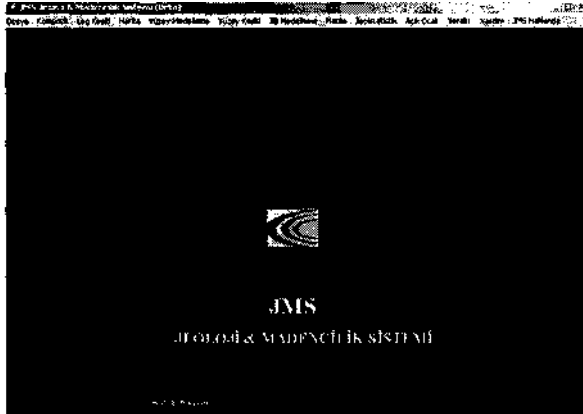
1. GİRİŞ

Jeolojik modelleme ve maden değerlendirme konularında, bilgisayar destekli ticari pek çok yazılım bulunmaktadır (Surpac, 2003, DataMine, 2003, Vulcan, 2003, MicroMine, 2003, MicroLynx, 2003, BRGM, 2003, RockVare, 2003, MinTec, 2003). Temel işlevleri incelendiğinde, ticari yazılımların sondaj verilerinden veri tabanı oluşturma ve yönetimi, kompozit değer hesaplamaları, kuyu log kesit çizimi, harita çizimi, 3 boyutlu yüzey modelleme, kesit çıkarma, 3 boyutlu cevher modelleme, ocak tasarımı, alan ve hacim hesapları gibi işlevlere sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, benzer sistemlerde yer alan en temel özellikleri içeren, Türkçe bir paket program geliştirilmiştir. Jeoloji ve Madencilik Sistemi (JMS) olarak adlandırılan yazılım sistemi, örnek veri tabanlarında ve hipotetik bir bakır sahasına ait sondaj verileri üzerinde uygulanmıştır.

2. JEOLOJİ VE MADENCİLİK SİSTEMİ (JMS)

JMS, bilgisayar destekli jeolojik modelleme ve maden değerlendirme yapmak amacıyla geliştirilmiştir. C++ Builder diliyle geliştirilen JMS, kullanıcı dostu menüleri ile pratik ve kolay bir kullanım sağlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. JMS ana menüsü

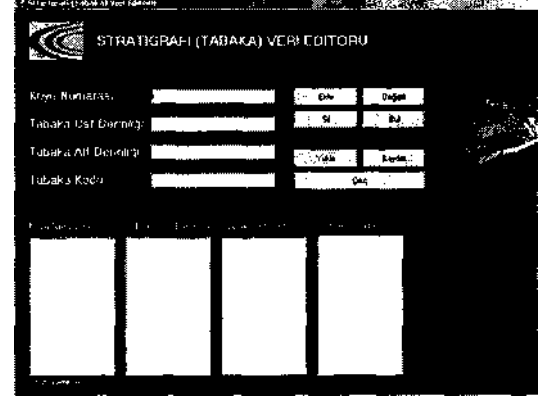
Sistemin temel işlevleri şu şekildedir:

- Sondaj verilerinden topoğrafik, stratigrafik ve analiz veri tabanları oluşturmak
- kuyu ve basamak kompozit hesapları yapmak

- 2 boyutlu kuyu log kesiti ve 3 boyutlu grup kuyu log kesiti çıkarmak
- eş yükseklik, eş kalınlık, eş tenor haritaları çizmek
- topografya, cevher tavanı, cevher tabanı için 3 boyutlu yüzey modellemesi yapmak
- 3 boyutlu yüzeylerden paralel kesitler çıkarmak
- 3 boyutlu cevher modellemesi yapmak
- cevher ve açık ocak için alan ve hacim hesapları yapmak
- topoğrafik veriler için variogram modeli geliştirmek
- açık ocak tasarımı yapmak
- yeraltı hazırlık çalışmalarından kuyu, galeri ve lağım tasarımlarını, damar yapılı cevherler için yapmak.

2.1. Veri Tabanı Oluşturma

JMS ile dört veri kütüğü oluşturulmaktadır. Bunlar, kuyu koordinat (topografya) bilgilerinin yer aldığı sondaj veri kütüğü, stratigrafik bilgilerin yer aldığı tabaka veri kütüğü, laboratuvar değerlerinin yer aldığı analiz veri kütüğü ve jeolojik kod tanımlarının yer aldığı jeoloji veri kütüğüdür (Şekil 2).

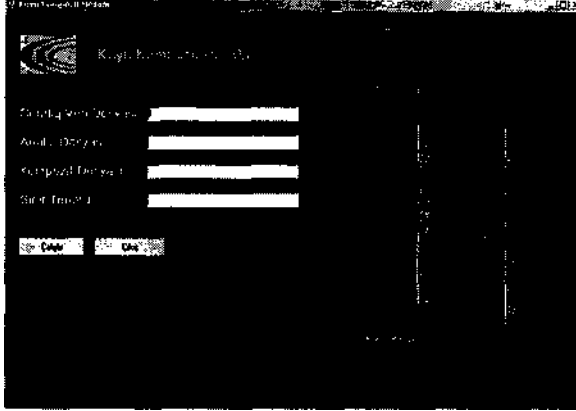


Şekil 2. Tabaka veri editörü

Kuyulara ait topoğrafik bilgiler, tabakalara giriş ve çıkış derinlikleri, tabakaların kullanıcı tarafından tanımlanan jeolojik kod numaraları ve karşılık gelen jeolojik tanımlar, cevher analiz değerleri bu veri tabanlarına girilebilmektedir. Sistemin dosya menüsünde ayrıca kullanıcı tarafından yeni parametreler tanımlamasına, elde hazır jeolojik kesitler varsa bunların poligon olarak tanımlamasına, açık ocak taban poligonu oluşturmasına olanak sağlayan özellikler de yer almaktadır.

2.2. Kompozit Hesapları

JMS, kuyu ve basamak kompozit hesabı yapmaktadır. Kompozit değeri alınacak olan parametrenin sınır değeri (tenor) kullanıcı tarafından belirlenerek ve en az ayırt edilebilir tabaka kalınlığı dikkate alınarak bütün kuyuya ait olan ya da kullanıcının belirttiği basamak yüksekliklerine karşılık gelen katlardaki kompozit değerleri hesaplanmaktadır (Şekil 3).

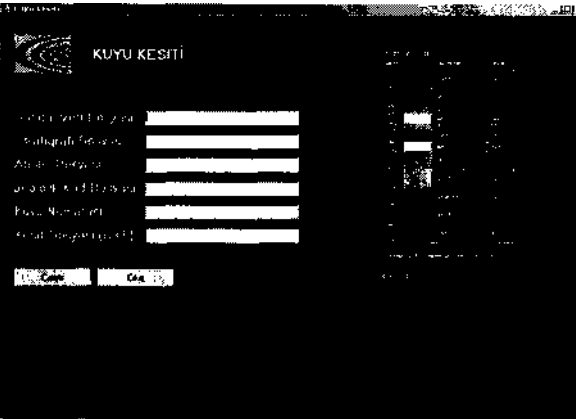


Şekil 3. JMS, kuyu kompozit programı

Hesaplamalarda "kalınlıkla ağırlıklı ortalama" yöntemi kullanılmaktadır.

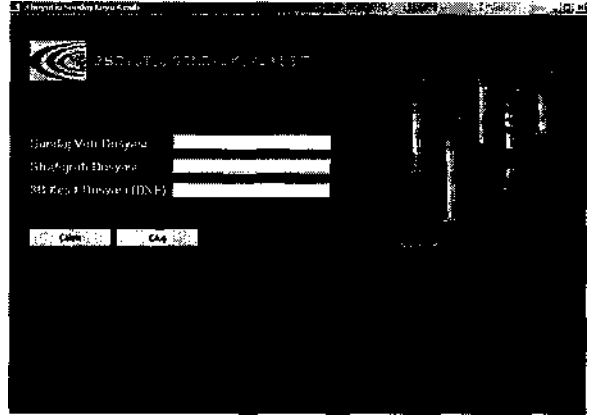
2.3. Kuyu Log Kesitleri

JMS, her bir kuyu için log kesiti çıkarabilmektedir. Bu kesitte kuyuya ait topoğrafik koordinatlar, tabaka bilgileri, jeolojik bilgiler ve analiz değerleri yer almaktadır. Her tabaka ayrı bir renkle gösterilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. JMS, kuyu kesit programı

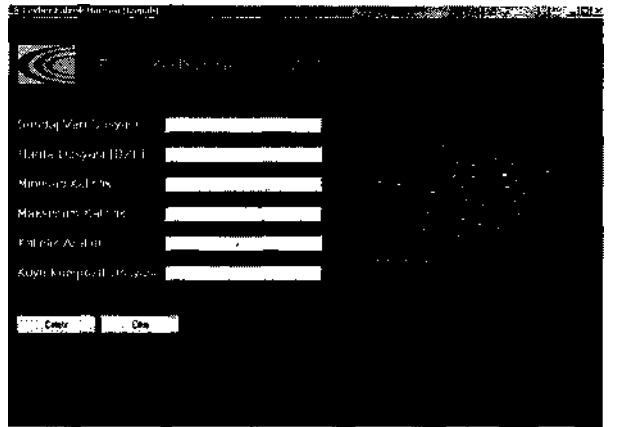
Bu modülde bütün kuyuların log kesitlerinin 3 boyutlu olarak görüntülenmesi de mümkündür (Şekil 5).



Şekil 5. JMS, 3 boyutlu kuyu kesit programı

2.4. Haritalar

Sistem, eş yükseklik, eş kalınlık ve eş tenor eğrilerinin yanı sıra kullanıcının tanımladığı parametrelere ait eş değer eğrilerini de çizebilmektedir (Şekil 6). Program, Watson'un (1982) De Launay üçgenleme algoritmasından ve kodundan yararlanılarak geliştirilmiştir.



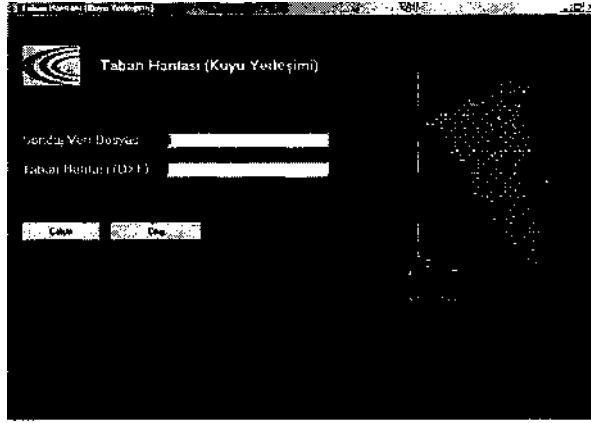
Şekil 6. JMS, eş kalınlık haritası programı

Sistem kuyuların sahaya dağılımını görüntüleyen bir taban haritası programına da sahip bulunmaktadır (Şekil 7).

2.5. Yüzey Modelleme

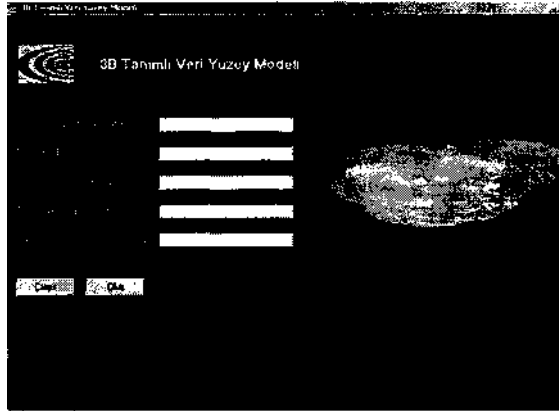
JMS, sondaj verileri, tabaka ve analiz değerlerinden yararlanarak topografya, çevre

kalınlığı ve tenor değerlerine ait yüzey modelini geliştirmektedir.



Şekil 7. JMS, taban harita programı

Oluşturduğu bir ağ sistemine ters mesafe karesi yöntemiyle atamalar yapan sistem daha sonra her ağ hücrelerini bir yüzey olarak tanımlamaktadır. Kullanıcı tarafından tanımlanan parametrelerin de bu modülde yüzey modellemesi yapılabilmektedir (Şekil 8).



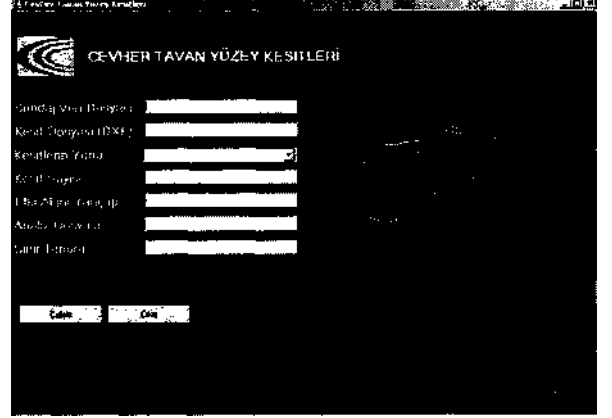
Şekil 8. JMS, kullanıcı tanımlı parametreye ait yüzey modeli

2.6. Yüzey Kesitleri

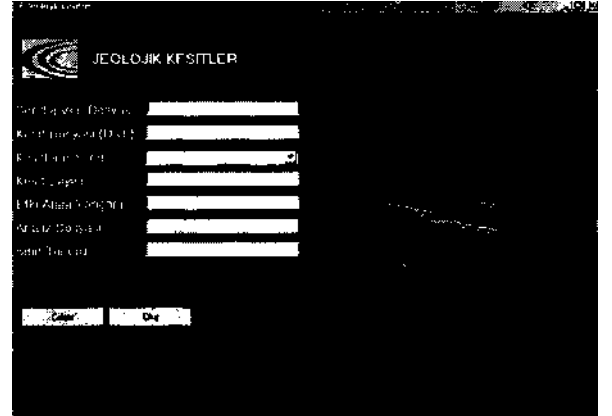
JMS, oluşturulan yüzeylerden Doğu ve Kuzey yönlerinde kesitler çıkarmaktadır. Kullanıcı tarafından sayısı belirlenen kesitler birbirine eşit aralıklı ve paralel olarak çizilmektedir. Paralel çizgiler üzerinde oluşturulan düğüm noktalarına, ters mesafe karesi yöntemiyle, tesir alanındaki kuyulardan değer ataması yapılmaktadır. Topografyanın yanı sıra cevher tavan ve taban yüzeylerinden kesitler alınabilmektedir (Şekil 9).

Tek bir damara ait jeolojik kesitler de sistem tarafından çizilmektedir (Şekil 10).

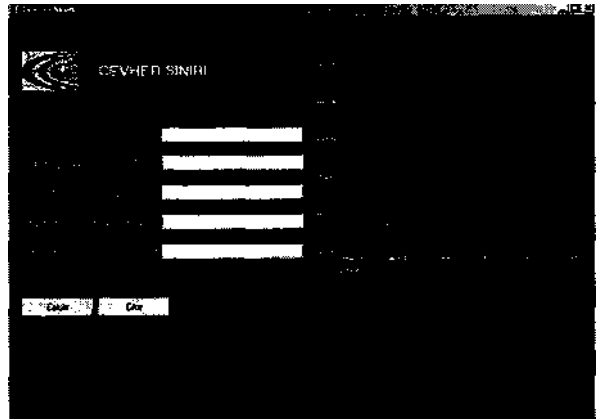
Sistem ayrıca cevherin yayıldığı en geniş sınırları da bularak görüntüleyebilmektedir (Şekil 11).



Şekil 9. Cevher tavan yüzey kesit programı



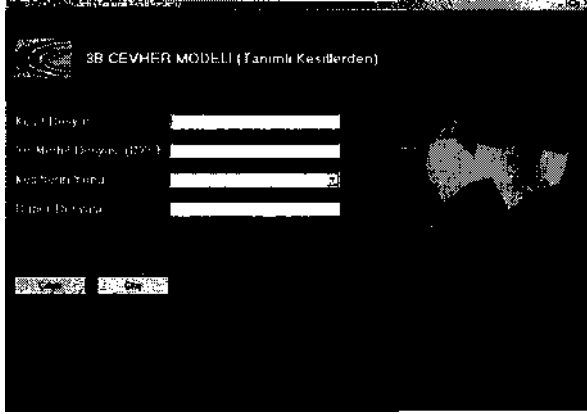
Şekil 10. JMS, jeolojik kesit programı



Şekil 11. JMS, cevher sınır programı

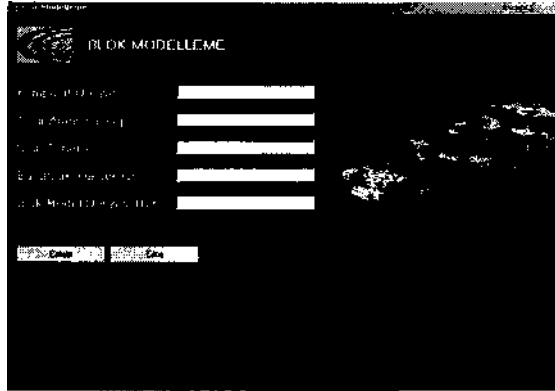
2.7. 3 Boyutlu Cevher Modeli

JMS, iki değişik yaklaşımla cevher modellemesi yapmaktadır. Kullanıcının kontrolüne dayalı olan ilk yaklaşıma göre, sistem kullanıcıyı jeolojik kesit çizimlerini kapalı poligon olarak sisteme girebilmekte ve sistem bu ardıl kesitleri birleştirerek 3 boyutlu cevher modelini geliştirmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. JMS, 3B cevher model programı

Diğer yaklaşımda, basamak kompozit değerleri kullanılarak cevher blok modeli oluşturulmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. JMS, blok modelleme programı

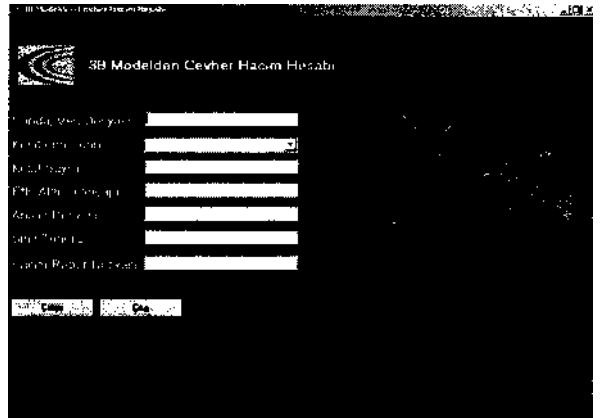
Blok değerleri, basamak kompozitlerinde yer alan değerlerin ters mesafe karesi yöntemiyle taşınması sonucunda atanmaktadır. JMS'nin jeostatistik modülü tamamlandığında kriging yöntemiyle de atama yapılabilecektir.

Sistemde 3 boyutlu cevher modelleri topografya ile birlikte de görüntülenebilmekte olup, cevher

yatağıyla yüzey arasındaki ilişki ve konumu gözlemlenebilmektedir.

2.8. Hacim Hesapları

JMS, dört değişik yöntemle cevher hacim hesabı yapmaktadır. İlk olarak, kullanıcı tarafından poligon şeklinde tanımlanan kesitlerin alanları ve aralarındaki hacimler hesaplanmaktadır. İkinci yaklaşımla, sistemin tek damarlı yapılar için birbirine paralel olarak çıkardığı kesitler için alan ve hacim hesabı yapılabilmektedir. Diğer yöntemde, JMS'nin oluşturduğu cevher blok modelinde bulunan cevher hacmi sistem tarafından bulunmaktadır. Dördüncü bir yöntem olarak JMS, cevherin yayıldığı alanı ve ortalama cevher kalınlığını hesaplayarak bir cevher hacmi bulabilmektedir. Sistem ayrıca, bir açık ocak tasarımı yapılmışsa ocağın yaklaşık hacmini de hesaplayabilmektedir (Şekil 14).



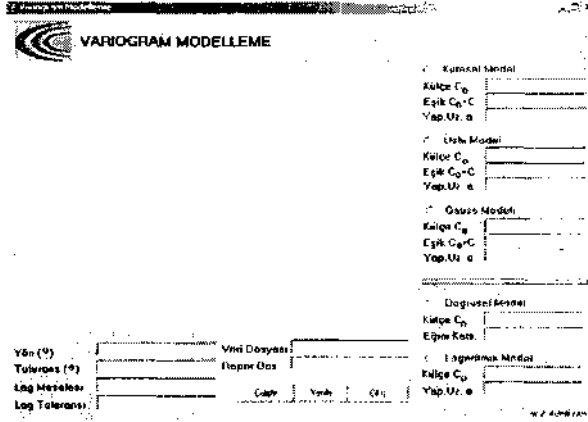
Şekil 14. JMS, 3B modelden hacim hesaplama programı

Ticari yazılımlarda karşılaşılan hacim hesaplama yaklaşımlarından biri olan dijital saha modeli (Digital Terrain Model-DTM), JMS'ye eklenme safhasındadır. DTM modülüyle 3 boyutlu yüzey modellemesi de yapılabilecektir. DTM ile oluşturulan kalınlık yüzeylerinin altında kalan hacim aynı zamanda cevher hacmini de verecektir.

2.9. Variogram Modellemesi

Sistemde jeostatistik işlemlerde ilk adım sayılan variogram modellemesi için bir program yer almaktadır. Program, deneysel variogramı çizmekte ve kullanıcıya küresel, Gauss, üssel, doğrusal ve logaritmik modellerden birini

kullanarak variogram modeli geliştirme olanağı sağlamaktadır (Şekil 15).

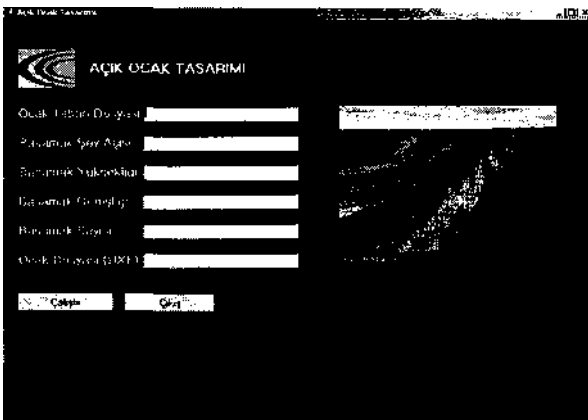


Şekil 15. Variogram modelleme programı

JMS'deki bu özellik henüz sadece topoğrafik veriler üzerinde uygulanmakta olup her türlü parametre için uygulanabilir hale getirilecektir. Ayrıca kriging programı da geliştirilmektedir.

2.10. Açık Ocak Tasarımı

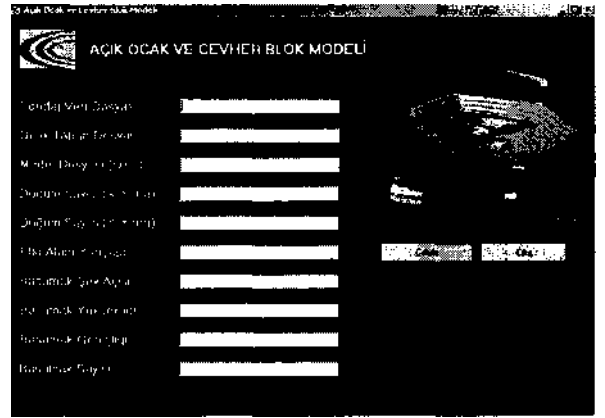
JMS, kullanıcıya bir ocak taban poligonu hazırlama imkanı sunarak, oluşturulan taban poligonu üzerinde ocağın açılımını yapmaktadır. Kullanıcı tarafından basamak yüksekliği, genişliği, basamak şev açısı gibi bilgiler girildikten sonra sistem tarafından ocak 3 boyutlu olarak tasarlanmaktadır (Erarslan, 2000), (Şekil 16).



Şekil 16. Açık ocak tasarım programı

JMS, taban poligonu üzerindeki düğüm noktalarının (x,y,z) koordinatlarını dikkate alarak,

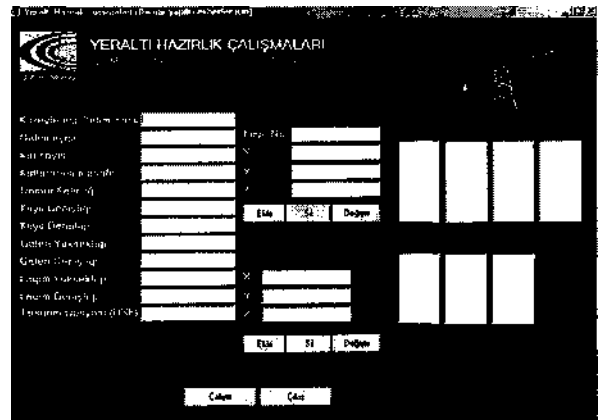
her kattaki basamak uç ve taban koordinatlarını hesaplamakta, daha sonra ardışık noktaları yüzeyler oluşturacak şekilde çizime aktarmaktadır. Yine aynı modül, ocakla topografyanın kesiştirilmesini ve son şeklini almasını da sağlamaktadır. Sistem, Gauss poligon alan formülüyle her kat için alan ve ortalama alanlar yöntemiyle katlar arası hacim hesabı yapmaktadır. Ayrıca, ocakla cevher blok modeli birlikte görüntülenerek ocağın cevherin ne kadarını içine aldığı da görülebilmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Açık ocak ve blok model programı

2.11. Yeraltı Hazırlık İşleri

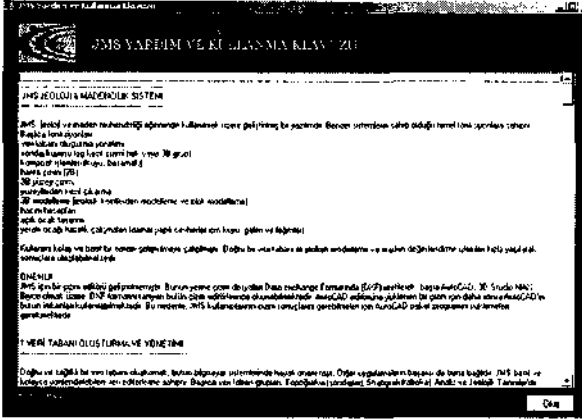
Sistem, damar yapılı ve geometrisi belirli cevher yatakları için kuyu, galeri ve lağım tasarımı yapma imkanı sağlamaktadır. Kullanıcıdan kuyu koordinatları, galeri kot farkları gibi bilgilerin yanı sıra, cevher damarının üst koordinatları, yatım yönü ve dalım açısı gibi bilgiler de istenmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Yeraltı hazırlık programı

2.12. Yardım ve Kullanım Kılavuzu

JMS, kolay kullanılabilen bir yapıda hazırlanmıştır. Bununla birlikte, kullanıcının ihtiyaç duyabileceği kullanım bilgileri ve örnek cevaplar yardım ve kullanma menüsünde yer almaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. JMS yardım ve kullanım klavuzu

Sistem kendisini kurabilme ve kaldırma özelliğine sahiptir. Jeoloji ve madencilik meslek eğitiminde kullanılmak üzere JMS 1.0 (Beta) sürümü hazırlanmıştır.

JMS, Windows 95 ve üstü işletim sistemlerinde ve Pentium 200 MMX ve üstü işlemcilerle kullanılabilir.

JMS için ayrıca bir yazım editörü geliştirilmemiş olup, çizim dosyaları Data exchange Format (DXF) adı verilen formatta üretilmektedir. Bu formattaki dosyalar, AutoCAD, 3D Studio Max, Bryce vs. gibi çizim paketlerinde görüntülenebilmekte ve bu çizim sistemlerinin sağladığı bütün özelliklerden yararlanmak mümkün olmaktadır. Ayrıca DXF formatı, doğrudan ya da WRL formatına çevrilerek sanal gerçeklik (virtual reality) programlarında da kullanılabilir.

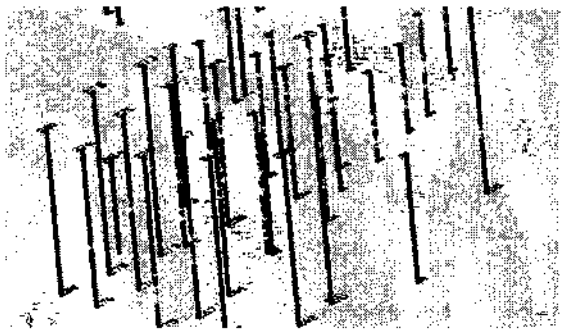
3. JMS'NİN BİR BAKIR YATAĞINA UYGULANMASI

JMS, değişik örnek veri tabanları üzerinde denendikten sonra gerçek bir bakır sahasına ait olan ve koordinat değerleri değiştirilerek yeni bir jeolojik yapı elde edilen hipotetik veriler üzerinde de uygulanmıştır. 39 sondaj kuyusu alınan yatakta 1960 adet tabaka bilgisi (stratigrafik veri)

ve analiz değeri ile veri tabanı oluşturulmuştur. Tabaka isimlendirmeleri Tenor sınırı 0,5 g/t alınarak kuyu kompozit değerleri, basamak yüksekliği 20 m alınarak basamak kompozitleri hesaplanmıştır. Kuyu log kesitleri her bir kuyu için alınabildiği gibi (Şekil 20), 3 boyutlu görünümü de elde edilmiştir (Şekil 21).

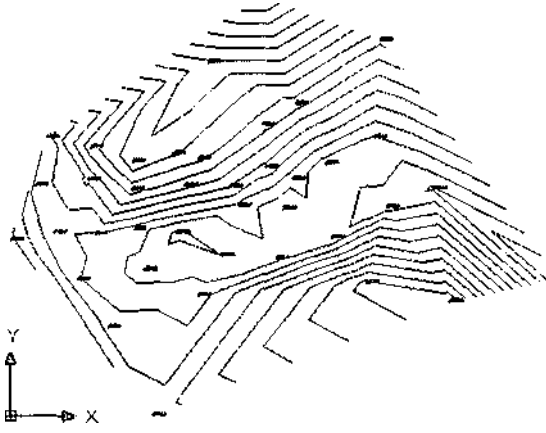
KUYU NO 49		
Derinlik	Tabaka	Tenor
80	Tabaka0	0,0
100	Tabaka0	0,1
130	Tabaka3	0,3
180	Tabaka3	0,3
230	Tabaka3	0,4
280	Bakır1	0,5
330	Tabaka2	0,2
380	Tabaka4	0,5
430	Tabaka1	0,2
480	Tabaka1	0,1
520	Tabaka1	0,2
570	Tabaka2	0,2
620	Tabaka2	0,2
670	Tabaka1	0,2
700	Tabaka0	0,1
750	Tabaka0	0,0
800	Tabaka0	0,1
850	Tabaka0	0,0
900	Tabaka1	0,1
990	Tabaka0	0,0
1040	Tabaka0	0,0
1090	Tabaka0	0,0
1140	Tabaka0	0,0
1190	Tabaka0	0,0
1220	Tabaka0	0,0
1260	Tabaka0	0,0
1310	Tabaka0	0,0
1360	Tabaka0	0,0
1410	Tabaka0	0,0
1450	Tabaka0	0,1

Şekil 20. Kuyu 49'un log kesiti

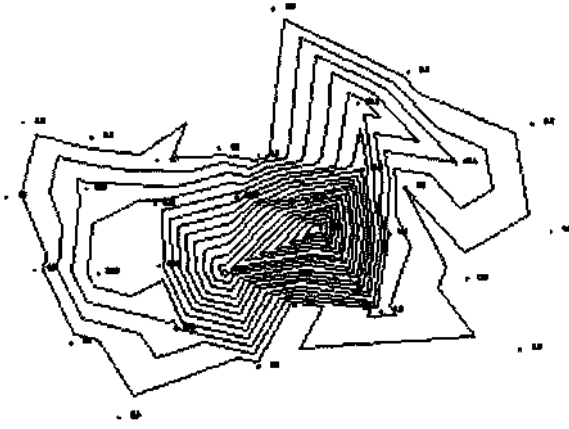


Şekil 21. 3 boyutlu kuyu log kesitleri

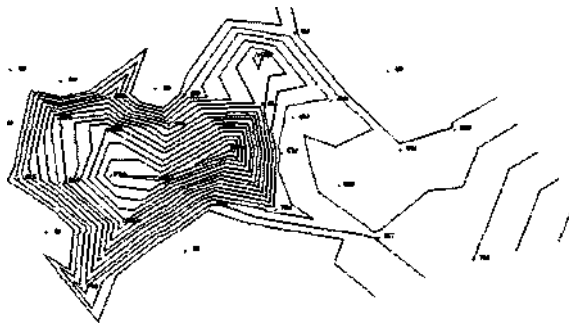
Sahanın topoğrafik haritası (Şekil 22), eş kalınlık eğrileri (Şekil 23) ve eş tenor eğrileri çizilmiştir (Şekil 24).



Şekil 22. Eş yükseklik haritası

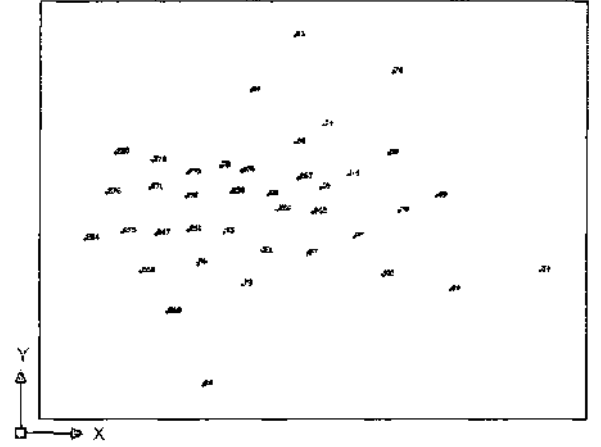


Şekil 23. Eş kalınlık eğrileri



Şekil 24. Eş tenor eğrileri

Şekil 25'te kuyuların sahadaki dağılımının yer aldığı taban haritası görülmektedir.



Şekil 25. Taban haritası

Bakır sahasına ait topoğrafik yüzey dışında (Şekil 26), eş kalınlık yüzeyi (Şekil 27) ve eş tenor yüzeyi de çıkarılmıştır (Şekil 28).

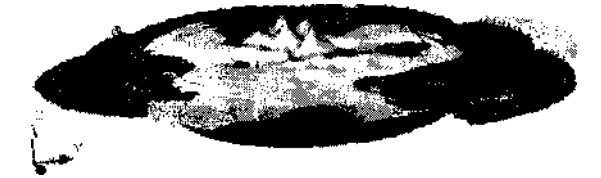


Şekil 26. Topoğrafik yüzey (170x170)

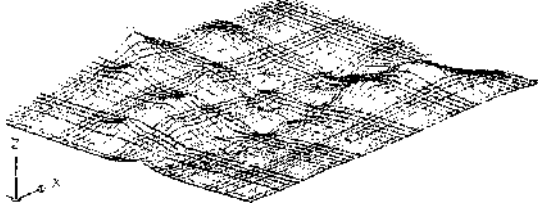
Topoğrafik veriler kullanılarak elde edilen, x ve y yönlerinde alınan paralel kesitler, Şekil 29'da görülmektedir.



Şekil 27. Eş kalınlık yüzeyi (170x170)



Şekil 28. Eş tenor yüzeyi (170x170)



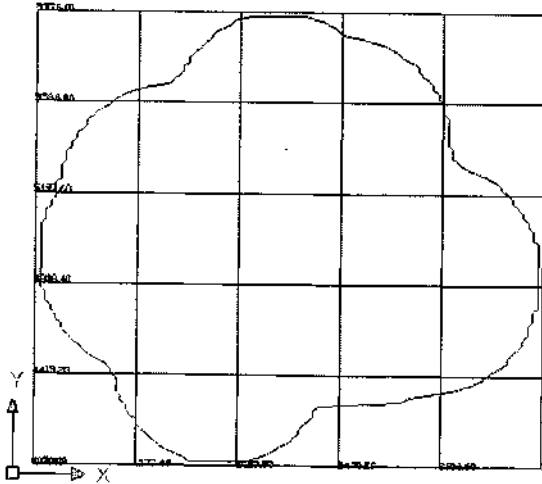
Şekil 29. x ve y yönünde alınan 50 kesitin AutoCAD'de üst üste bindirilmiş görüntüsü

Cevherin 3 boyutlu jeolojik kesitleri Şekil 30'da görülmektedir.



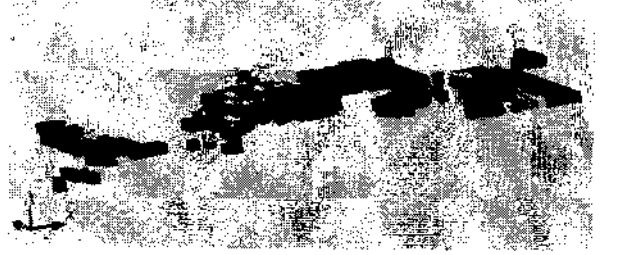
Şekil 30. Cevher jeolojik kesitleri

Bakır cevherine ait en geniş sınırlar Şekil 31'de görülmektedir.



Şekil 31. Cevher sınırı

JMS'de cevherin 3 boyutlu blok modeli de geliştirilmiştir (Şekil 32).



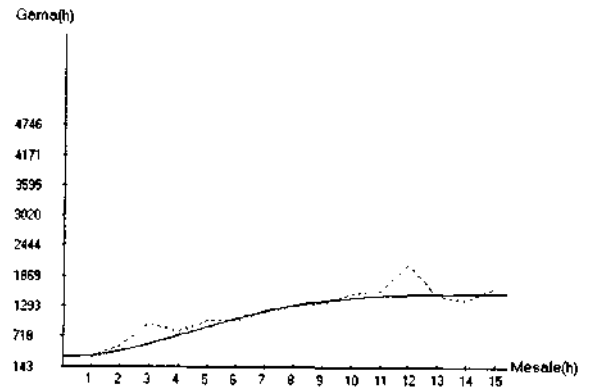
Şekil 32. Cevher blok modeli

Görüldüğü gibi sınır tenörü aşabilen kübik bloklar 50 m boyutlu olarak çıkarılmıştır. Muntazam olmayan, çok düzensiz ve karmaşık bir yapıda olduğu görülmektedir.

JMS ile ortalama cevher kalınlığı 12,18 m, cevherin yayıldığı alan 2942702,25 m² ve hacim 35842113,41 m olarak hesaplanmıştır.

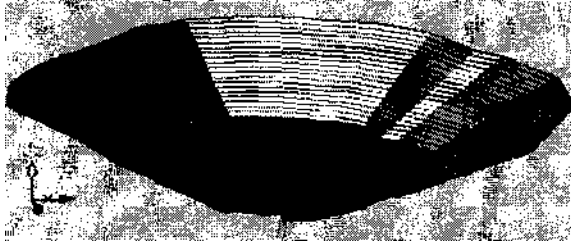
Saha topografyasına ait (x,y,z) koordinatları kullanılarak çizilen deneysel variogram ve geliştirilen Gauss variogram modeli Şekil 33'te görülmektedir.

Külçe etkisi 200, eşik değeri 1425 ve yapısal uzaklık değeri 500 m olarak belirlenmiştir. Sistemin bu modülü her türlü parametre için çalışacak şekilde uyarlandığında tenor değeri için de variogram modeli geliştirilebilecek ve kriging atamaları yapılabilecektir.



Şekil 33. Topoğrafya (z-koordinatı) için variogram modeli

Cevher sınırı esas alınarak hazırlanan ocak taban poligonu üzerinde, 70 derece basamak şev açısı, 20 m basamak yüksekliği, 30 m genişliği ile bir ocak tasarımı yapılmıştır (Şekil 34).



Şekil 34. Açık ocak tasarımı

Daha sonra ocak ve topografya çakıştırılmış ve cevher blokları tasarlanan ocak ile birlikte görüntülenmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Açık ocak ve blok modeli

Plan görüntüsündeki cevher sınırı ocak taban sınırı olarak kullanıldığından, cevherin tamamı ocak içinde yer almaktadır.

Ocak hacmi sistem tarafından yaklaşık olarak 4.618.572.800 m³ olarak hesaplanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada jeolojik modelleme ve maden değerlendirme amaçlı geliştirilen ilk Türkçe yazılım olan JMS (Jeoloji ve Madencilik Sistemi) tanıtılmış ve hipotetik bir bakır sahasında uygulanmıştır. Sistemin, mevcut yapıyla kullanıcı dostu ve madencilik eğitimini destekleyecek yapıda olması hedeflenmiştir. Çalışmada topoğrafik, tabaka ve analiz veri tabanları oluşturulmuş, kuyu ve basamak kompozit hesapları yapılmış, 2 ve 3 boyutlu kuyu log kesitleri çıkarılmış, topografya, eş kalınlık, eş tenor eğri haritaları çizilmiş, 3 boyutlu yüzey modellemeleri yapılmış, yüzeylerden 3 boyutlu

kesitler çıkarılmış, 3 boyutlu cevher modeli geliştirilmiş, hacim hesapları yapılmış ve açık ocak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem fonksiyonlarının bakır gibi karışık bir cevher yatağı üzerinde, doğru bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Bilgisayar destekli modelleme ve tasarım yazılımları 1980'li yıllardan bu yana sürekli bir gelişim içindedir. Yazılımlar, konusunda uzman araştırmacılardan meydana gelen ekiplerce geliştirilmektedirler. Bugün ulaştıkları içerik, düzey ve işlevler incelendiğinde, JMS'nin gelişmiş entegre yazılımların ancak en temel fonksiyonlarını içerdiği ve geliştirilmesi gereken pek çok fonksiyonun olduğu görülmektedir. Mevcut yapıyla JMS, gerek eğitim ve gerekse madencilik sektöründe yaygın kullanımı olan bir sistem oluşturma yolundaki ilk adımı teşkil etmektedir. Sistem, bir ekip çalışmasıyla, sahasında uzman olan ve bilimsel araştırma yürütecek araştırmacıların katkıları, teorik ve yazılım çalışmalarıyla ileri düzeye ulaştırılabilecektir.

NOT

JMS'nin eğitim amaçlı sürümü JMS 1.0 (Beta), mf.dumlupinar.edu.tr/JMS adresinden, ingilizce sürümü olan GMS, mf.dumlupinar.edu.tr/GMS adresinden indirilebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, Prof.Dr. Neş'e Çelebi, Prof.Dr. A. Günhan Paşamehmetoğlu ve Prof.Dr. i. Göktay Ediz'e, katkı ve desteklerinden dolayı teşekkürlerini arz eder.

KAYNAKLAR

BGRM, 2003. www.brgm.fr

DataMine, 2003. www.datamine.co.uk

Erarslan, K., 2000. "A Practical Approach for Open Pit Design and Visualisation", Mineral Resources Engineering, Cilt 9, Sayı 3, s. 287-299.

GemCom, 2003. www.gemcomsoftware.com

GeoStat, 2003. www.geostat.com

Lnyx, 2003. www.lynxmining.com.au

MicroMine, 2003. www.micromine.com.au

MinTec, 2003. www.mintec.com

RockWare, 2003. www.rockware.com

Surpac, 2003. www.surpac.com

Vulcan, 2003. www.vulcan3d.com

Watson'un, D.F., 1982. "Acord: Automatic Countouring of Raw Data", Computers and Geosciences, Cilt 8, Sayı 1, s. 97-101.