



3 BOYUTLU CEVHER YATAĞI MODELLEMESİ; ETİ GÜMÜŞ A.Ş. KÜTAHYA-GÜMÜŞKÖY UYGULAMASI

Yrd. Doç. Dr. Kaan ERARSLAN* - Hamdi AKÇAKOCA*
Sunay BEYHAN*

ÖZET

Yeraltında, göremediğimiz cevher yataklarının hacmi, kapladığı alan ve şekli, açılacak bir açık ocağın niteliklerini de birinci dereceden etkilemektedir. Teknik ve ekonomik açıdan ocak tasarımı için, öncelikle cevherin yapısını bilmek gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli yöntemler geliştirilmiş, sondaj kuyularından yararlanılarak, 3 boyutlu cevher modeli, bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Bu uygulamalı araştırmada, ETİ GÜMÜŞ A.Ş. Kutahya-Gümüşköy gümüş yataklarının, jeostatistiksel yöntemler kullanılarak, 3 boyutlu model tabanının oluşturulması ve hesaplanan atama değerlerinin pratik bir yöntemle görüntülenmesi üzerinde çalışılmıştır. Bölgeye ait sondaj kuyuları kullanılarak önce cevher yatağının variogram modeli geliştirilmiş ve kriging yöntemiyle tenör, kalınlık gibi değerler sahayı sembolize eden blok modele yayılmıştır. Daha sonra, DXF formatı olarak bilinen görüntüleme yöntemi kullanılarak 3 boyutlu cevher modeli elde edilmiştir. DXF formatı işleyebilen sistemlerin sağladığı bütün imkanları kullanan yaklaşımla, fotoğraf kalitesinde görüntüleme yapmak mümkün olmuştur.

* Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43100, Kutahya, TÜRKİYE

1. GİRİŞ

Gerek açık ocak işletmeciliğinde, gerekse yeraltı ocak işletmeciliğinde, bu yüksek maliyetli yatırıma karar vermeden önce çok detaylı, dikkatli araştırma yapmak zorunluluğu vardır. Yanlış rezerv hesaplarına, yanlış cevher şekline dayalı bir ocak tasarımının ve buna dayandırılacak bir işletmenin teknik ve ekonomik açıdan ne kadar sağlıklı olacağı şüphelidir. Dolayısıyla, bütün teknik ve ekonomik planların önce cevherin doğru olarak tanımlanmasına dayalı olduğunu söylemek mümkündür.

Görünmeyen, nasıl ve ne kadar olduğu bilinmeyen cevher yatağı, sondaj kuyularından elde edilen verilerle tanımlanmaya çalışılmaktadır. Kuyu kesitleri, kuyular arası kesitler, kuyu verilerinin çeşitli yöntemlerle sahaya 2 veya 3 boyutlu olarak yayılması ve nihayet, 3 boyutlu olarak cevherin görüntülenmesi ve modellenmesi, bir maden işletmesinin tasarım temelini oluşturan işlemlerdir.

Sondaj kuyuları, genellikle, sahada düzensiz olmayan bir dağılımla açıldıklarından, elde edilen bilgiler de kuyu koordinatlarına bağlı olarak düzensiz olmayan bir yapı sergilemektedirler. Arama sondajı, maliyetli bir araştırma yöntemi olduğundan, belli bir bütçeyle sınırlandırılmakta ve bu da kuyu sıklığını etkilemektedir. Bu durumda karşılaşılan uygulama, düzensiz dağılmış olan kuyu veri tabanını, koordinatları sabit aralıklarla birbirini takip eden düzenli bir veri yapısına çevirebilmektir. Bu işlem aynı zamanda sınırlı sayıdaki veriyi çoğaltma imkanı da tanımaktadır. Oluşturulan yeni veri tabanı ile, alan, hacim ve rezerv hesapları, 2 ve 3 boyutlu görüntüleme ve modelleme işlemleri yapılmaktadır (Weiss ve O'Brein, 1971).

3 boyutlu modelleme olarak bilinen ve cevheri 3 boyutlu olarak temsil etmek ve görüntülemek şeklinde ifade edilebilen bu tür çalışmalar, bilgisayar destekli araştırmalardan önce de mevcuttu. Tabii olarak, yeraltındaki bu meçhul şekilli yeraltı kaynağının niteliği, araştırma çalışmalarında cevabı aranan ilk sorulardandır. İki boyutta çizilen jeolojik yeraltı haritaları ve kesitlerini birleştirerek elde edilen 3 boyutlu şekiller, bugün bilgisayar ortamında çok kısa sürelerde gerçekleştirilebilmektedir.

Bilgisayar destekli ocak tasarımının temeli olarak görülebilecek modelleme işlemi için son 30 yılda çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemler esas olarak sondaj verilerini sahaya yaymaya dayanmaktadır.

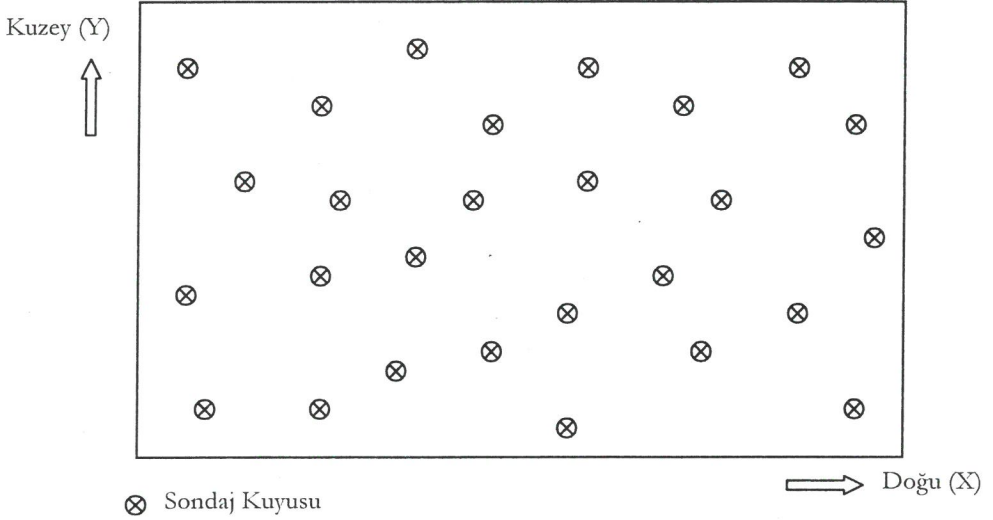
Bu çalışmada jeostatistiksel yaklaşımlar uygulanarak, ETİ Gümüş A.Ş. bölgesinin üç boyutlu cevher modelinin oluşturulması ve özgün bir görüntüleme tekniğiyle görüntülenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle veri yayma yöntemleri hakkında bir derleme yer alan çalışmada, daha sonra uygulama ve sonuçları yer almaktadır.

2. VERİ YAYMA YÖNTEMLERİ

Sahada düzensiz dağılım gösteren sondaj kuyu verilerini (Şekil 1) yayma yöntemleri, 4 grupta sınıflandırılabilir;

- klasik yöntemler
- mesafenin tersi yöntemleri
- jeostatistik yöntemler
- yapay sinir ağları

Yukarıdaki sıralamanın aynı zamanda kronolojik bir yapıda olduğu da söylenebilir. Özellikle jeostatistiksel yaklaşım ve yapay sinir ağları, bilgisayara dayalı yöntemler olarak geliştirilmişlerdir.



Şekil 1. Düzensiz yayılmış sondaj kuyuları.

2.1. Klasik Yöntemler

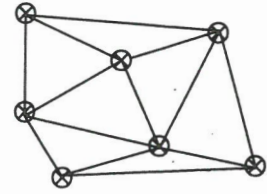
Klasik veri yayma yöntemleri olarak;

- Poligon yöntemi
- Üçgen yöntemi

sayılabilir (Knudsen, 1990). Bu yöntemler, veri yayma işleminin elle yapıldığı uygulamalarda sıklıkla kullanılırken, bilgisayarın madencilikte kullanımını takip eden yıllarda önce bilgisayar ortamında kullanıldılar, daha sonra ise, tamamen bilgisayar destekli çalışan algoritmalara yerlerini terk ettiler. Poligon yönteminde kuyu aralarının orta noktalarının birleştirilmesi ile (Şekil 2a), oluşturulan alanlara merkezdeki kuyunun taşıdığı tenör, kalınlık, vs. gibi değerlerin taşınması meyzu bahistir. Buradan hacim ve rezerv hesaplarına da gidilebilir. Üçgen yönteminde ise, saha, kenarlarını kuyuların oluşturduğu üçgenlere bölünmüştür (Şekil 2b). Kenardaki kuyu değer ortalamaları, üçgenin kapladığı alana yayılır.



Şekil 2a. Poligon yöntemi

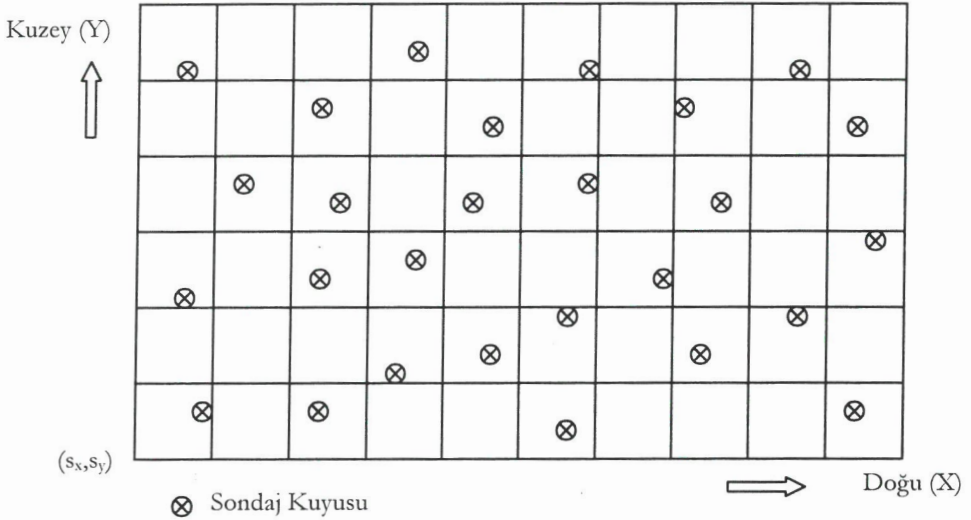


Şekil 2b. Üçgen yöntemi

Klasik yöntemlerin, çok homojen bir tenör veya kalori değeri taşıyan, cevher yatağı kalınlığının fazla değişiklik göstermediği tip jeolojik oluşumlarda kullanılabilen ve hata oranı çok yüksek yöntemlerdir.

2.2. Mesafenin Ters Yöntemleri

Bu yöntemler genellikle bilgisayar ortamında kullanılacak tarzda geliştirilmişlerdir. Bunun nedeni, düzensiz kuyu verilerini düzenli bir yapıya kavuşturacak şekilde tasarlanmış olmalarıdır (Knudsen, 1990, Parker, 1990). Saha, ızgara tabir edilen, balık ağını da andıran bir ağıla kaplanır. Ağ üzerinde her düğüm noktasının (x,y) koordinat çifti hesaplanabilmektedir (Şekil 3).

Şekil 3. Referans noktası (s_x, s_y) olan sahaya ağ kaplanması.

n adet x ve m adet y hattından oluşan ağda toplam $m \times n$ adet düğüm noktası bulunacaktır. Her bir noktayı $p(i,j \mid i=1,2,\dots,n \ j=1,2,\dots,m)$ ile gösterirsek, $p(i,j)$ değerleri;

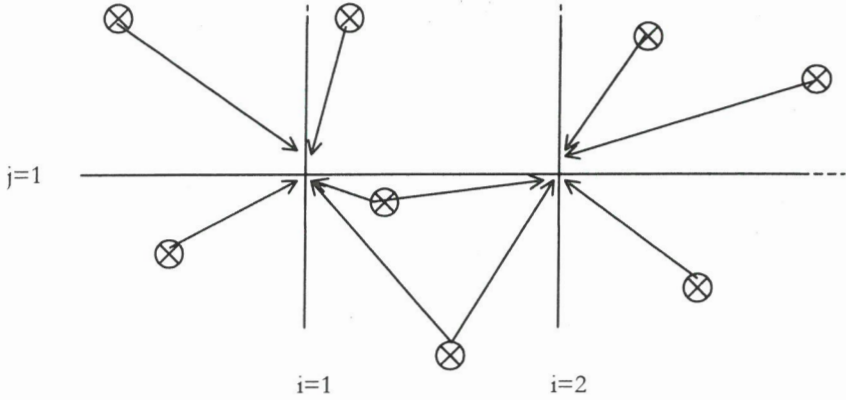
$$p(i,j) = f(x_i, y_j) \quad (1)$$

x_i ve y_j 'nin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Burada x_i , i . kolonun doğu koordinatı ve y_j , j . satırın kuzey koordinatıdır. x_i ve y_j ise;

$$x_i = s_x + i * \Delta x \quad (2)$$

$$y_j = s_y + j * \Delta y \quad (3)$$

burada, Δx ve Δy , sırasıyla x ve y hatları arasındaki mesafe farkıdır. Bütün düğüm noktalarının x ve y koordinatları belirlendikten sonra, bu noktalara taşınmak istenen veriler, çevredeki sondaj kuyularından, aradaki mesafeyle ters orantılı ağırlıklı ortalama ile hesaplanır (Şekil 4);



Şekil 4. Mesafenin tersi yöntemiyle, sondaj kuyularından düğüm noktalarına değer atanması.

$$d(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{d_k}{(\Delta_{(i,j)}^k)^\alpha}}{\sum_{k=1}^K \frac{1}{(\Delta_{(i,j)}^k)^\alpha}} \quad (4)$$

burada,

$d(i,j)$ = i kolonu ve j satırındaki düğüm noktasına atanan değer (tenör, kalınlık, vs.).

d_k = k numaralı kuyunun taşıdığı değer.

$\Delta_{(i,j)}^k$ = k numaralı kuyuyla (i,j) düğümü arasındaki mesafe.

α = mesafenin tersi işleminin kuvveti ($\alpha=2$ ise yöntem mesafenin tersinin karesi adını alır).

Mesafenin tersi yöntemleri, bilgisayar ortamında sıklıkla kullanılmış ve tenör, kalori, kalınlık değeri gibi parametreleri çok ani değişimler göstermeyen cev-

her yataklarında olumlu sonuçlar vermiştir. Yöntem sadece x-y düzleminde kullanılmayıp, sahanın katlara bölünmesi yoluyla, 3 boyutlu değer atamalarında da kullanılabilir (Elevli, Yüksek ve Demirhan, 1995).

2.3. Jeostatistiksel Yöntemler

1960'lı yıllarda geliştirilmeye başlayan jeostatistiksel yöntemler, mesafenin tersi yöntemlerindeki gibi, değer atamalarında sadece mesafe faktörünü değil, aynı zamanda yön faktörünü de dikkate almıştır. Bunun dışında, jeostatistiksel yöntemlerde kuyularla atama yapacak nokta ve kuyularla-kuyular arasındaki kovaryans değerleri de hesaplamalarda kullanılmakta, böylelikle, hem kuyu-atama noktası, hem kuyular arası jeostatistiksel değişim (varyans) yapılan atamaya yansıtılabilmektedir. Jeostatistiksel yöntem, öncelikle hakkında bilgi elde ettiğimiz kuyu verilerinin, rastgele mi, yoksa, bölgesel değişken yapısı mı gösterdiğini belirlemeye çalışır. Bu maksatla, variogram olarak adlandırılan, mesafe-varyans ilişkisini gösteren grafiğin çizimini gerektirir. Genel formuyla (David, 1977, Davis, 1973);

$$2\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^n [Y(i+j) - Y(i)]^2}{n} \quad (5)$$

burada,

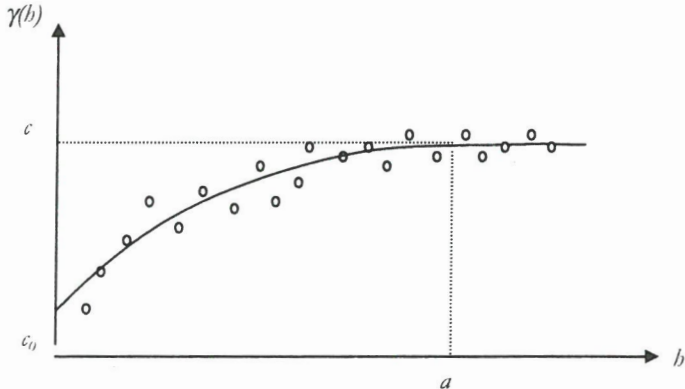
$2\gamma(h)$ = h mesafeli veriler arasındaki varyans

$Y(i+j)$ = i numaralı kuyudan j mesafe uzaklıktaki kuyunun taşıdığı değer (tenör, kalınlık, vs.)

$Y(i)$ = i numaralı kuyunun taşıdığı değer ($i=1,2,\dots,n$)

$h, 2h, 3h, \dots, qh$ mesafeleri için önce, aralarında belli bir toleransla bu mesafelerde bulunan kuyu çiftleri bulunur. Daha sonra, bu çiftlerle, Eşitlik-5 uygulanarak karşılık gelen varyans değerleri hesaplanır. h mesafelerine karşı varyans değerleri çizilerek variogram adı verilen grafik elde edilir.

Variogram için, mesafeye bağlı varyans değişim grafiği tanımlı da yapılabilir. Bundan sonra, işaretlemeler neticesinde ortaya çıkan nokta dağılımının matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Diğer bir değişle, $h(\text{mesafe})$ -varyans ilişkisini gösterecek bir matematiksel model geliştirilecektir (Şekil 5).



Şekil 5. h - $\gamma(h)$ çiftleri için geliştirilen variogram modeli.

İşaretlenen $h-\gamma(h)$ çiftlerini en iyi ifade edebileceği düşünülen ve klasikleşmiş bulunan modeller olarak; küresel model, doğrusal model, eksponansiyel modeller görülmektedir. Nokta dağılımını incelenerek, genelde bu modellerden birine karar verilmektedir. Modellerin genel eşitlikleri;

Küresel model

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{a^3} \right) + c_0 & h \leq a \\ c + c_0 & h > a \end{cases} \quad (6)$$

Doğrusal Model

$$\gamma(h) = a \cdot h \quad (7)$$

Eksponansiyel Model

$$\gamma(h) = c (1 - e^{-h/a}) \quad (8)$$

burada,

c = Sill değeri (varyansın belli bir mesafede ulaştığı sabit değer).

c_0 = Nugget etkisi (külçe değeri, mesafenin sıfır olduğu durumdaki varyans değeri; ideal durumda sıfır olması gereklidir).

a = Etki mesafesi (varyansın sabitlendiği mesafe)

Variogram modeli geliştirmekteki amaç, varyansı mesafenin cinsinden ifade edebilmek ve kriging işleminde oluşturulacak kovaryans matrislerini hesaplamada kullanılacak matematik modeli geliştirmektir. Kriging işlemi, değer ataması yapılacak noktayla çevreleyen değerler arasında ve atamada kullanılacak değerlerin kendi içinde, mesafeye bağlı varyans hesabına dayalı bir değer yayma yöntemidir (David, 1988). Genel değer atama eşitliği;

$$z^*(i, j) = \sum_{k=1}^n w_k \cdot z(x_k) \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k = 1 \quad (10)$$

burada,

$z^*(i, j)$ = (i, j) düğüm noktasına, etraftaki n adet kuyu kullanılarak atanan değer

$z(x_k)$ = x_k kuyusunun taşıdığı değer

w_k = k kuyusunun ağırlık değeri

Eşitliklerin pratikte kullanılan şekli matris formundadır;

$$[\sigma_{xy}] \cdot [w_x] = [\sigma_{yx}] \quad (11)$$

burada,

$[\sigma_{xx}]$ = atamada kullanılacak kuyular arası kovaryans matrisi

$[\sigma_{vx}]$ = kuyularla atama noktası arası kovaryans matrisi

$[w_x]$ = ağırlık değer matrisi (son satırında Lagrange çarpanı olan μ yer almaktadır)

Matrislerde yer alan σ varyans değerleri, kuyuların birbirine (Δ_{xx}) ve kuyularla atama noktası arasında (Δ_{vx}) olan uzaklığın, geliştirilen variogram modelinde h değişkeninin yerine konmasıyla bulunur. İki koordinat arasındaki uzaklık hesabı basitçe;

$$\Delta_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (12)$$

formülü ile hesaplanır. Burada,

Δ_{ij} = i ve j noktaları arasındaki mesafe

x_i = i noktasının x koordinatı

y_i = i noktasının y koordinatı

x_j = j noktasının x koordinatı

y_j = j noktasının y koordinatı

Jeoistatistik yöntemler diğer yöntemlerle kıyaslandığında, daha doğru atama değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Pek çok uygulamanın mevcut olduğu bu yöntemde (Elevli, Demirhan ve Yüksek, 1995) temel problem olarak karşımıza, variogram modelinin belirlenmesindeki görecelilik ve göze ve yoruma dayalı olması gelmektedir. Az sayıda veri ile sağlıklı sonuç elde etmenin mümkün olduğunu söylemek ise güçtür.

2.4. Yapay Sinir Ağları

Veri yayma yöntemleri içinde en son olarak geliştirilen yapay sinir ağları görülmektedir (Wu ve Zhou, 1994, Lippmann, 1987). Öncelikle, mevcut bilgilerin sisteme belli bir eğitime metodu ile öğretilmesine ve sistemin eğitilmesinden sonra, verilerin sahaya, oluşturulan matematik modele göre yayılmasına dayalıdır. Her veri noktası eğitim sonrası bir ağırlık değerine sahip olur. Bu ağırlık değerlerine göre, sahanın her hangi bir koordinatına atama yapılabilir. Formül gösterimi;

$$y = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n = \sum_{j=1}^n w_jx_j \quad (13)$$

şeklinde. Burada, y atanan değer, w_j , j numaralı numunenin ağırlık değeri ve x_j , j numaralı numunenin yayılacak değeridir. Ağırlık değeri (w_j) hesaplamaları, *eğitim* olarak adlandırılan bir tekrar zinciridir. Başlangıçta, numune değerlerine rasgele verilen w_j değerleriyle, bizzat numunelerin bulunduğu koordinatlara atama yapılır. Toplam hata numunelere yayılarak, yeni bir iterasyon yapılır ve yeni ağırlık değerleri bulunur. Bu değerlerle yapılan atamalarda hata bir önceki tekrardan (iterasyondan) daha küçüktür. Yeniden toplam hata dağıtılarak işlem belirlenen bir hata derecesine ulaşana kadar devam ettirilir. Hata yayma işleminde ekspanansiyel-sigmoidal bir fonksiyon kullanılır;

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (14)$$

Her tekrarlamada işlemde, *küçülen* toplam hata kontrol edilerek, istenilen hata seviyesinin altına düşene kadar işlem devam ettirilir. Yüzbinlerce, hatta, milyonlarca tekrar (iterasyon) gerekebilir. Toplam hata miktarı belirlenen düzeyin altına indiğinde sistemin veri tabanını *öğrendiği* ve her numune için hesaplanan w_j değerlerinin atamada kullanılabileceği anlaşılmış olur. 13. denklem uygulanarak sahadaki noktalara değer atamaları yapılabilir.

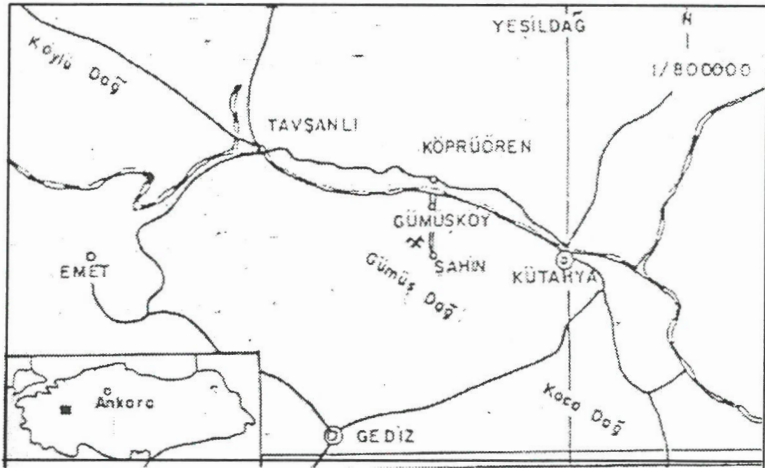
Son yıllarda bir *Yapay Zeka* tekniği olan yapay sinir ağlarındaki gelişmeler, sondaj bilgileriyle direkt olarak eğitilen modelleri kullanarak, bilgileri sahaya çok daha etkin biçimde yayılabileceği için, tüm maden yatağının 3 boyutlu modelinin de oluşturulabileceği düşüncesine zemin hazırlamıştır. 3 boyutlu blok model oluşturmaya yönelik çalışmalara ve bunların jeostatistiksel çalışmalarla kıyaslanması noktasına gelinmiştir. Matematiksel olarak, jeostatistiksel yöntemlerden daha başarılı olacağı görülen yapay sinir ağları, uygulamaya yönelik çalışmaların tamamlanmasıyla, pratikte de üstünlüğünü gösterebilecektir.

3. ETİ GÜMÜŞ A.Ş. UYGULAMASI

Bu çalışmada, ETİ GÜMÜŞ A.Ş. Gümüşköy gümüş madeni açık işletmesinde açılan 59 adet sondaja ait örnek tenör (gr/ton Ag) ve kalınlık verileri, 3 boyutlu (3-D) görüntü alabilmek için gerekli bilgileri de (x, y, z koordinatları) kullanarak, jeostatistiksel yöntemlerle irdelenmiş ve maden yatağının 3-D modelleri geliştirilmiştir.

3.1. Coğrafi konum ve ulaşım

İşletme sahası Kütahya il merkezinin batısında, Kütahya – Tavşanlı karayolunun 25. km'sindeki Köprüören nahiyesinin güneyine düşmektedir (Çakır, 1997, Alpergun, 1996), (Şekil 6).



Şekil 6. ETİ A.Ş. yer bulduru haritası.

3.2. Genel Jeoloji

Bölgede aktif madencilik çalışmalarına 1975 yılında Etibank Genel Müdürlüğü tarafından Arama Şantiye Müdürlüğü'nce başlanmıştır. 1975 yılından itibaren sondaj, yarma galeri, jeolojik etüdler ve harita alımlarıyla arama çalışmaları yapılmaktadır.

Maden sahasında yükseklikler 1150 m. ile 1400 m. arasında değişmektedir. Sahada masif ve eski cevher olarak adlandırılan iki tür cevher mevcuttur. Eski cevher veya pasa cevher olarak adlandırılan, fakat tenörün en yüksek olduğu (35-400 gr/ton Ag) Aktepe'deki (1388 m) cevher, tahminen 3900 yıl önceki madencilik çalışmalarının işletme artığıdır. Ortalama kalınlığı 2 m. dir.

3.3. Stratigrafi

Aktepe ve yöresi kayaçlarının yaşlıdan gence doğru yerleşimi; Kristalin şistler (Palezoik), Mermerler (Palezoik), Karmaşık seri (Mesozoik), Bozulmuş tüfit ve tuf (Senozoik - Tersiyer), Silisleşmiş tuf (Senozoik - Tersiyer), Dolomitli kireçtaşı ve kireçtaşları (Senozoik - Tersiyer), Bazalt (andezit - bazalt) (Senozoik), Alüvyon (Senozoik - Kuvaterner) olarak tespit edilmiştir.

3.4. Tektonizma

Maden sahası tektonizma yönünden oldukça hareketli bir yörede yer almaktadır. Sahada tesbit edilen iki önemli ana fay vardır. Genel olarak eğik atımlı faylardır. Eğimleri dik veya dike oldukça yakındır. Ayrıca şistler ve dolomitlerde kıvrımlar görülmektedir.

3.5. Jeostatistiksel Yöntemlerle 3 Boyutlu Modelleme

3 boyutlu modelleme amacıyla, tenör dağılımlarının belirlenebilmesi için yapılan istatistiksel analizlerde, tenörlerin en uygun dağılım tipinin *lognormal* dağılım olduğu görülmüştür. Daha sonra 20 kata ayrılan sahada her kat için iki boyutlu deneysel ortalama ve yönsel semivariogramlar hesaplanmış ve bunlara uygun küresel semivariogram model parametreleri belirlenmiştir.

Ortalama semivariogram parametreleri ele alınarak, cevherleşmenin sürekliliği ve rassallığı ile örneklerin etki alanı analiz edilmiştir. Yönsel semivariogram model parametreleri ele alınarak da, cevherleşmenin yönsel gelişimi (anizotropi) analiz edilmiştir. Bunun sonucunda, her katta elde edilen tenör ve kalınlık örneklemelerinin yeterliliği irdelenmiş ve neticede, ancak yukardan aşağı 4 ile 10 numaralı katlarda yeterli örnek değeri olduğu belirlenmiş ve bu 7 katta kriging atamaları v.s. yapılabilmektedir.

En uygun variogram modelleri belirlenerek Tablo 1'de elde edilen külçe, sil ve etki mesafe değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, bazı katlarda jeostatistiksel yaklaşım uygulamanın mümkün olmayıp, rasgele değişkenlik özelliğinin bulunduğu, dolayısıyla normal istatistik yöntemlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bazı yönlerde ise, yeterli sayıda *h-γ* çifti elde edilememiştir.

Tablo 1. ETİ Gümüş A.Ş. Jeostatistiksel Uygulama Sonuçları.

Kat no	Açı	Tenör				Kalınlık				
		Külçe değeri	Sill	Etki mesafesi	Model	Külçe değeri	Sill	Etki mesafesi	Model	
Kat-4	N	0.005	0.0075	575	Küresel	0	0.005	1050	Küresel	
	0 ⁰	0.009	0.002	800	Küresel	0	0.005	900	Küresel	
	45 ⁰	0.008	0.002	600	Küresel	0.0005	0.0024	750	Küresel	
	90 ⁰	0	0.015	600	Küresel	0.0001	0.0015	500	Küresel	
	135 ⁰	0	0.024	675	Küresel	0.00049	0.0042	875	Küresel	
Kat-5	N	0.0024	0.018	500	Küresel	0	0.0042	350	Küresel	
	0 ⁰	0.0004	0.025	600	Küresel	0.0003	0.0048	450	Küresel	
	45 ⁰	0.003	0.011	550	Küresel	0.0008	0.0022	480	Küresel	
	90 ⁰	0.0045	0.025	350	Küresel	0.0005	0.0042	375	Küresel	
	135 ⁰	0.0038	0.024	350	Küresel	0	0.005	300	Küresel	
Kat-6	N	0.004	0.01	300	Küresel	0.0035	0.0007	650	Küresel	
	0 ⁰	Sadece bir nokta var				Sadece bir nokta var				
	45 ⁰	İstatistiksel bir değişim var				İstatistiksel bir değişim var				
	90 ⁰	0.0043	0.01	400	Küresel	İstatistiksel bir değişim var				
	135 ⁰	İstatistiksel bir değişim var				İstatistiksel bir değişim var				
Kat-7	N	0.004	0.01	250	Küresel	0.0007	0.0042	350	Küresel	
	0 ⁰	0	0.014	260	Küresel	0.0013	0.004	500	Küresel	
	45 ⁰	0.004	0.01	400	Küresel	0.001	0.004	620	Küresel	
	90 ⁰	0.0075	0.0075	400	Küresel	0.001	0.004	450	Küresel	
	135 ⁰	0.006	0.011	260	Küresel	0.0022	0.003	500	Küresel	
Kat-8	N	İstatistiksel bir değişim var				-	0.0003	0.007	0.150	Küresel
	0 ⁰	İstatistiksel bir değişim var				-	0.0006	0.007	0.200	Küresel
	45 ⁰	Sadece bir nokta var				-	Sadece bir nokta var			-
	90 ⁰	Nokta yok				-	Nokta yok			-
	135 ⁰	Nokta yok				-	Nokta yok			-
Kat-9	N	İstatistiksel bir değişim var				-	0.0015	0.006	0.250	Küresel
	0 ⁰	İstatistiksel bir değişim var				-	0.0020	0.0065	0.200	Küresel
	45 ⁰	Nokta yok				-	Sadece bir nokta var			-
	90 ⁰	Nokta yok				-	Sadece bir nokta var			-
	135 ⁰	Sadece bir nokta var				-	Sadece bir nokta var			-
Kat-10	N	0.0007	0.002	250	Küresel	İstatistiksel bir değişim var				
	0 ⁰	Sadece bir nokta var				Küresel	Sadece bir nokta var			
	45 ⁰	Nokta yok				Küresel	Nokta yok			
	90 ⁰	0.0007	0.002	250	Küresel	İstatistiksel bir değişim var				
	135 ⁰	Nokta yok				Küresel	Nokta yok			

Tablo 1'den açıkça görülüyor ki, bölge cevher tenör dağılımının yorumlanması son derece güç ve bazı katlarda izotropiden bahsetmek mümkün değildir. Kuyular arasında, hatta çok kısa mesafeler arasında tenör değişimi tahmin edilemeyecek derecede hızlı değişmekte, adeta adımdan adıma farklılık gösterebilmektedir. Böyle bir sahada veri yayma yöntemlerinin mutlaka yüksek hata payıyla atama yapacağı söylenebilir. Verilerin bölgesel değişken özelliği yerine normal istatistiksel özellik göstermesi ve yetersiz nokta çifti olması gibi nedenlerle variogram modeli geliştirilemeyen yönler, atamalar sırasında kullanılmamıştır.

Her yön için ayrı variogram modeli tanımlanarak yapılan kriging işlemiyle, 3 boyutta oluşturulan bloklara sondaj kuyu verileri yayılmıştır. Tenör dağılımını gösteren blok modeli kullanılarak yapılan rezerv hesaplaması neticesinde 198 gr/ton tenörlü 23.322.198 ton gümüş cevherinin varlığı belirlenmiştir.

3.6. 3-Boyutlu Cevher Modeli ve Görüntülenmesi

Görüntüleme maksadıyla kullanılan çeşitli madencilik yazılımları mevcuttur (Gemcom, 1992, Geostat, 1992, Surpac, 1992, Medsystem, 1992). Ancak, özel jeolojik durumlarda, tasarımcı bir mühendisin kendi görüntüleme sistemini oluşturması gerekli olabilmektedir. Bu çalışmada, her program dili kullanabilen mühendisin geliştirebileceği bir görüntüleme sistemi olan DXF formatı kullanılmıştır.

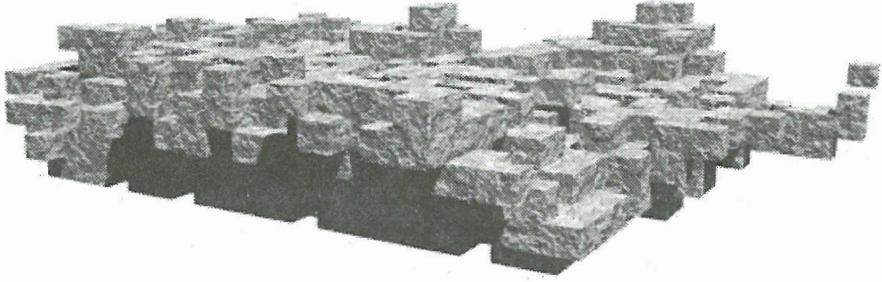
Atamalar sonrası, pratikte 50 gr/ton Ag gibi bir sınır tenörü kabulüyle, 3 boyutlu model verileri elde edilmiştir. DXF formatı olarak bilinen ve bazı çizim paketlerince işlenebilen (AutoCAD, 3DStudio MAX, Bryce, vs.) özel çizim formatı kullanılarak 3 boyutlu bir görüntüleme mümkün olmuştur. Bloklar, katı cisim olarak tasarlanmış, böylelikle, elde edilen iskelet görüntüler, daha sonra kaplanabilmiştir.

DXF formatı, her bir cisim (entity) için tanımlamaları olan bir görüntüleme yöntemidir. Tekniğin kavranması durumunda, kompüter grafiği çizim kurallarını iyi bilmeyen bir mühendisin dahi kolaylıkla şekil tasarımı yapabileceği bir metoddur. 2 veya 3 boyutlu ortamda bulunan her cismin bir (x,y,z) koordinatının olduğunu düşünürsek, DXF formatlı şekil çiziminde, cisimlerin sadece koordinatlarının doğru hesaplanması ve uygun şekil tanımlarıyla ifade edilmesi, kaplama sonrası fotoğraf kalitesinde görüntü almak için yeterli olabilmektedir. Onbinlerce bloğun olduğu bir çizimin tek tek elle yapılması mantıklı olmadığından dolayı, teknik her hangi bir program dili kullanılarak uygulanabilir ve saniyeler içinde büyük modeller elde edilebilir. İskeleti oluşturulan şekil, DXF işleyebilen bir çizim ortamına aktarıldıktan sonra, çizim paketinin sunduğu bütün imkanlardan yararlanabilir.

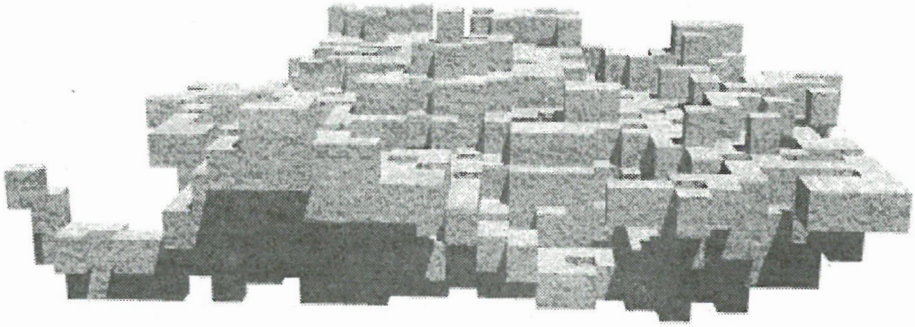
ETİ Gümüş A.Ş. Gümüşköy sahasının 3 boyutlu görüntüleri de, çalışmada, C++ diliyle geliştirilen bir sistemle elde edilmiştir. İskelet görüntüler, DXF işleyebilen bir programla kaplanarak, cevher modeli elde edilmiştir (Şekil 7 ve 8).

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ETİ Gümüş A.Ş. Gümüşköy-Kütahya, gümüş cevher yatağının 3 boyutlu blok modeli geliştirilmiştir. Model, sondaj kuyularının jeostatistiksel yöntemlerle variogram modelinin oluşturulması ve sonrasında verilerin sahaya yayılmasıyla meydana getirilmiştir. Cevherin çok düzensiz bir tenör dağılımı göstermesi nedeniyle, variogram modeli oluşturulurken güçlük çekilmiş, anizotropik bir yapının varlığı açıkça görülmüştür. Geliştirilen variogram modellerinin uygun olanlarıyla, kriging uygulaması yapılmış ve sondaj verileri, sahayı temsil eden bloklara atanmıştır. Yapılan kriging çalışmaları neticesinde oluşturulan blok model, AutoCAD, 3D Studio MAX, Bryce, vs. gibi çizim paketlerinde işlenebilen, DXF formatında görüntülenmiştir. Bu format, her hangi bir programlama dilinde şekil tasarımı yapabilmeyi sağlamaktadır. Çizim sistemine aktarılan ETİ Gümüş A.Ş. cevher modeli üzerinde, sistemin sunduğu bütün imkanları kullanmak mümkün olabilmektedir (şeklin istenilen yönlere döndürülmesi, ekleme ve çıkarma yapılması, renklendirme, malzeme kaplanması, vs.). Elde edilen 3 boyutlu görüntülerle, daha sağlıklı bir açık ocak tasarımı yapmak mümkün olacaktır.



Şekil 7. 3 Boyutlu, kaplanmış cevher modeli.



Şekil 8. Cevher modelinin bir başka yönden görünüşü.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Alpergun, G.T., 1996. Etibank 100. Yıl Gümüş Maden İşletmelerinde Açık İşletme Üretim Kontrolü ve Cevher Hazırlama Tesislerine Uygun Stoklanması, Yüksek Lisans Tzezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 63 s.
- AutoDESK, Inc., 1987. The AutoCAD Drafting Package, Installation and Performance Guide: 426 s.
- Çakır, T., 1997. Kütahya Etibank Gümüş Madenindeki Cevherlerin Nemliliğinin Araştırılması ve Hammadde Stok Sahasının Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 92 s.
- David, M., 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, New York: 364 s.

- David, M., 1988. **Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation**, Elsevier, New York.
- Davis, J.C., 1973. **Statistics and Data Analysis in Geology**, John Wiley, New York, 550 s.
- Eagles, 1992. **Morrison and Knudsen Co., Inc.**, Idaho, USA.
- Elevli, B., Demirhan, S. ve Yüksek, S., 1995. **Ulaş Sölestin Yatağının Jeostatistiksel Yöntemlerle Jeolojik Blok Modelinin Çıkarılması**, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, İzmir: s. 31-36.
- Elevli, B., Yüksek, S. ve Demirhan, S., 1995. **Poligon ve Mesafeyle Ters Ağırlıklı Yöntemlerle Jeolojik Blok Model Çıkarılması**, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, İzmir: s. 25-30.
- Gemcom, 1992. **Gemcom Services Inc.**, Vancouver, Canada.
- Geostat, 1992. **Geostat International, Inc.**, Montreal, Canada.
- Knudsen, H.P., 1990. **Computerized Conventional Ore Estimation Methods**, Surface Mining, 2nd.ed., Kennedy, B.A., ed., AIME: s. 293-300.
- Koch, G.S. and Link, R.F., 1970. **Statistical Analysis of Geologic Data**, Wiley, New York, 2 Cilt.
- Lippmann, R.P., 1987. **An Introduction to Computing with Neural Nets**, IEEE - ASSP Magazine, April: s. 36-52.
- Medsystem, 1992. **Mintech, Inc.**, Tucson, Arizona, USA.
- Parker, H.M., 1990. **Reserve Estimation of Uranium Deposits**, Surface Mining, 2nd.ed., Kennedy, B.A., ed., AIME: s. 355-375.
- Surpac, 1992. **Surpac Inc.**, Nothingam, UK.
- Weiss, A. and O'Brain, D.T., 1971. **Practical Aspects of Computer Methods in Ore Reserve Analysis, Decision Making in the Mineral Industry**, CIM Bull., Spec Vol. 9: s. 109-113.
- Wu, X. and Zhou, Y., 1994. **Use of Neural Networks in the Analysis and Interpretation of Site Investigation Data**, Computers and Geotechniques, Vol. 16: s. 105-122.