

## Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini

*Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting*

**Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA**

*DAMA Mühendislik A.Ş., Çayyolu, ANKARA*

Geliş (received) : 16 Mayıs (May) 2013  
Düzeltilme (revised) : 18 Haziran (June) 2013  
Kabul (accepted) : 25 Haziran (June) 2013

### ÖZ

Madencilik faaliyetlerinin planlanmasının ve takvime bağlanmasının önemi anlaşıldıkça, çıkarılacak madenin tenör ve miktarını tahmin etmek için örnekleme verilerinin kullanımında bir artış olmuştur. Buna paralel olarak güvenilir kaynak ve rezerv tahmininin önemi de artmıştır. JORC Yönetmeliği (Avustralya Rapor Etme Yönetmeliği) ile başlayan modern madencilik döneminde, maden kaynak ve rezervlerinin tahmini ve halka açık rapor edilmesi yönünde artan bir eğilim görülmektedir. Bu yönetmelikler, maden kaynak/rezervleri tahmin yöntemlerini ya da sınıflama tekniklerini düzenlemeye kalkmaz, daha ziyade jeolojik güvenilirlik ve göz önüne alınması gereken teknik/ekonomik faktörlere göre tenör ve tonaj tahminlerinin yapılabilmesi ve sınıflaması için bir sistem sağlar. Rapor etme standartları; borsa ve mali kuruluşlar tarafından, maden arama sonuçları, maden kaynakları ve rezervlerinin halka açık rapor edilebilmesi için gerekli asgari standartlar olarak kabul edilir ve bu konuda en iyi uygulamaları tanımladıkları düşünülür. Bir süredir ulusal rapor etme yönetmeliklerindeki tanım ve standartların karşılıkları için uluslararası anlaşmalar yapılmaktadır ve bu durum yaygınlaşarak devam etmektedir. Bu arada Borsa kabul koşulları, söz konusu yönetmeliğe uymayan üyesine yaptırım uygulamayı kabul eden yabancı ülke meslek örgütlerinin üyelerini de “tanınan” (ya da muteber) meslek adamı (yetkin kişi eşdeğeri) olarak tanımlamaktadır. Bu tanınma ya da kabul görme zincirinin dışında kalan meslek adamlarının bu konuda iş yapmaları gittikçe zorlaşmakta ve imkânsız hale gelmektedir. Bu derleme, hem bu noktaya dikkati çekmek, hem de maden kaynak tahmini ve rapor edilmesi konusundaki en iyi uygulamaları tanıtmak ve en son gelişmeleri özetlemek için hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** En iyi uygulamalar, JORC yönetmeliği, Raporlama standartları, Tanınan meslek adamı.

**ABSTRACT**

*As the importance of planning and scheduling of a mining operation become apparent, there has been an increasing use of sample data to estimate the grade and amount of material to be mined. Concordantly importance of reliable mineral resource and reserve estimations has increased. Since the start of the modern mining era by the JORC Code, there has been an increasing tendency to regulate estimation and public reporting of mineral resources and reserves. These codes do not attempt to regulate either the method of estimation of the resource/ore reserve or the classification technique, but rather provide a system for estimation and classification of tonnage and grade estimates according to geological confidence and technical/economic considerations. These reporting standards are considered by stock exchanges and finance organizations to represent best practice and form the minimum standard for public reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves. The national reporting codes are involved in international negotiations on reciprocity of reporting definitions and standards which have been underway for some years and are still ongoing. Meanwhile, stock exchange listing rules now define a “recognized mining professional” in similar terms to a CP, except that the person must have “membership of a recognized overseas professional body that has agreed to sanction the person if the person does not comply with rules”. This review paper has been written to summarize the latest developments in mineral resource estimation and reporting practices, describe some best practices.*

**Key Words:** *Best practices, JORC Code, Reporting standards, Recognized mining professional.*

**GİRİŞ**

Günümüzde genellikle sondaj verilerinin işlenmesi ve yorumlanmasıyla türetilen maden kaynak bilgileri; madencilik projelerinde rezerv tahmini, maden işletme tasarımı, teknolojik testlerin planlanması ve mali değerlendirme yapılırken temel alınır. Madencilik projelerinin başarısında bu temelin sağlamlığı son derecede önemlidir. Kötü kaynak tahminleri; yanlış yatırım kararları, proje maliyetinin öngörülenin üzerine çıkması, projenin geç tamamlanması, aşırı maliyetler, düşük maden üretimi gibi kötü sonuçlara yol açabilmektedir. Bundan dolayı tüm dünyada güvenilir kaynak tahminlerine büyük önem verilmekte, bu yönde uzun yıllardır çaba gösterilmektedir.

Doğru olmayan maden kaynak tahminleri için beş temel neden vardır:

- Düşük veri kalitesi (kötü örnekleme ve analiz kalitesi)
- Yatak hakkında yetersiz jeolojik kavrayış/yorum
- Tenör üzerindeki jeolojik kontrolün tam anlaşılammış olması
- Bilgisayar destekli tahmin tekniklerinin kötü uygulanması ve
- Dayanak değişiminin etkisi veya hacim-varyans etkisi, yani küçük hacimli numune tenörleri ile numunelere dayanarak tenörü tahmin edilen büyük hacimli blokların tenörlerinin (madencilikte böyle büyük

hacimlerin tenörü merak konusudur) varyansları arasındaki farklılığın etkisi.

JORC Yönetmeliği (Joint Ore Reserve Committee, Avustralya), NI 43-101 (National Instrument 43-101, Kanada), SAMREC (South African Reserve Committee, Güney Afrika), PERC (Pan European Reserve Committee, AB) gibi ulusal ve CRIRSCO gibi uluslararası düzenlemelerle maden kaynak ve rezervlerinin halka açık rapor edilmesi belirli kurallara bağlanmıştır. Bunun uzantısı olarak örneklemeden, veri işlemeye, tenör interpolasyonundan sınıflandırmaya kadar her konuda zaman zaman yenilenen (sürekli güncellenen, geliştirilen) standartlar getirilmekte, “en iyi uygulamalar” kılavuzları yayınlanmaktadır. Kaynak tahminindeki iş süreçlerinin sürekli iyileştirilmesini amaçlayan bu standartlar ve bu kılavuzlar “Bir işi en iyi o işi yapan bilir.” ilkesi esas alınarak bizzat o işi yapanların (meslek örgütlerinin) katılımı ile geliştirilmiş olup zaman zaman yenilenmektedir.

Söz konusu düzenlemelerin gerektirdiği gibi nesnel, tekrarlanabilir ve yeterince temellendirilmiş güvenilir kaynak tahminleri yapabilmek için, örneklemeden kaynak sınıflandırmasına kadar her konudaki en iyi uygulamalar hakkında genel bilgilendirme yapmak bu derlemenin ana amacını oluşturmaktadır. Yazıda özellikle, madencilik projelendirme/planlama ihtiyaçlarına cevap verebilecek kaynak modelleri nasıl türetilir, örnekleme ve tahmin hataları nasıl azaltılabilir ya da istenilen sınırlar içinde tutulabilir, kaynak sınıflandırmasında tahmin güvenilirliği düzeyleri nasıl yansıtılabilir, denetlenebilir ve tekrarlanabilir, kaynak tahminleri nasıl yapılır gibi sorular üzerinde durulmuştur.

## VERİTABANI OLUŞTURMA, VERİ DOĞRULAMA VE VERİ GEÇERLEME

Kaynak tahmini, uygun bir veritabanı oluşturulmasıyla başlar. Veritabanı oluşturulduğunda ilk iş veri doğrulama ve veri geçerlemedir. Kaynak tahmini sürecinin başarılı ya da başarısız olmasında bu adımlar çok kritik bir işlev görmektedir.

Yanlış veriden doğru bilgi türetilmez. Bu bakımdan kaynak tahmininde kullanılan verilerin doğru ve kaliteli oldukları yönünde yeterli güvenin sağlanması ya da verilerin doğrulanması büyük önem taşımaktadır. JORC benzeri yönetmeliklere göre kaynak tahmininde kullanılan analiz ve test verilerinin; örnekleme, örnek hazırlama ve analiz sürecinde veri kalitesi açısından önemli olan sapmaların QA/QC prosedürleri ile kontrol altında tutulduğundan emin olunması, jeolojik verilerin “en iyi uygulamalar” denilen uluslararası standartlara uygun şekilde üretilmiş olması ve bunun belgelenmesi zorunlu tutulmaktadır. Çünkü ancak bu şekilde doğruluğu kanıtlanmış verilere ulaşılabileceği düşünülmektedir.

“En iyi uygulama” terimi; sondaj, jeolojik loglama, örnekleme, analiz gibi veri toplama faaliyetlerinin “yeterli mesleki uygulama” için asgari gerekleri yerine getirerek gerçekleştirilmiş olmasını ifade eder. “En iyi uygulama” kavramı, niteliği bakımından dinamik bir özellik taşımaktadır. Yani gelişen teknoloji, değişen koşullar ve ihtiyaçlar nedeniyle bugünün en iyi uygulaması yarının en iyisi değildir. Bu nedenle gelişmelere paralel olarak en iyi uygulama kılavuzları zaman zaman yenilenmektedir.

Arama sürecinde toplanan verilerin doğruluğunu teyit etmek amacı ile bağımsız

gözetim ya da bağımsız gözden geçirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Arama çalışmalarıyla toplanmış verilerin kalitesini ve kaynak tahminindeki işe yararlılığını ölçmeyi ve artırmayı ya da işe yarar hale getirilmesini kapsayan “veri doğrulama” işlemleri son zamanlarda kaynak tahmin sürecinin önemli ve vazgeçilemez bir ögesi haline gelmiştir.

Kaynak tahmini süreci, jeolojik veriler (haritalama, sondaj ve diğer), jeoteknik veriler, karot verimi, mineral özellikleri (oksit, sülfür vb.), örnekleme ve analiz verileri, yoğunluk verileri gibi birçok veri takımını bütünleştiren uygun bir veritabanı oluşturulmasıyla başlar.

Öte yandan kaynak tahminlerinde genellikle büyük hacimlerde verinin kısa süreler içinde bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Bu noktada veri girişinde bazı hatalar (hatalı, eksik, tekrar eden, çelişkili veri girişleri) yapılması ihtimali olduğu unutulmamalıdır. Dolayısı ile veri tabanına girilen verilerin doğruluğunun ve bütünlüğünün teyit edilmesi, eksik verinin tamamlanması, hatalı verinin düzeltilmesi ve tutarsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. “Veri Geçerleme” denilen bu işlemler, kaynak tahminlerinde kullanılan bilgisayar paket programları ile kolayca yapılabilmektedir.

## JEOLJİK MODELLEME

Güvenilir teknik ve mâli değerlendirme ve planlama yapılabilmesi için, madencilik sırasında yerinden çıkarılacak cevher ve kaya malzemelerinin konumunun, şeklinin, boyutlarının ve özelliklerinin (tenörünün) doğru öngörülmesi (tahmin edilmesi) şarttır. Bu ihtiyaç, günümüzde yaygın olarak maden yatağındaki malzemenin şeklinin ve özelliklerinin bilgisayar

programları yardımıyla üç boyutlu jeolojik modellemesi ile karşılanır.

Jeolojik modelleme veya jeolojik olarak özellikleri farklı alanlara (alan kelimesi ile maden yatağının özellikleri birbirine benzer bölümleri ‘hacimleri’ anlatılmaktadır) ayırma, nitelendirmenin bir ön şartı ve kaynak tahmini sürecinin en önemli adımlarından biridir. Kaynak tahminleri üzerinde önemli etkilere sahiptir (Stegman, 2001).

Maden kaynakları tahmininde olağan uygulama, örneklenmemiş lokasyonlara bir tenör tahmini yapmadan ve maden kaynağını modellemeden önce mineralize gövdeyi litolojik, yapısal ve eşik tenör gibi ölçütler ile tanımlanan birkaç alan halinde bölümlere ayırmaktır. Bu modeller kaynak tahmini yapılacak yatağa ilişkin bugünkü jeolojik kavrayışı/yorumlamayı yansıtır ve bir kaynak modeli oluşturmak için tenör tahminlerinin sınırlandırılacağı alanlar belirleme ihtiyacını karşılar. Tenör tahminleri sadece mineralize olmuş olabilecek bu jeolojik alanlarla (birimlerle/yapılarla) sınırlandırılır.

Mineralize olan jeolojik alanlar sınırlandırılırken şu ölçütler esas alınır:

1. Tenör alanlarını tanımlamak için eşik tenör
2. Mineralize gövdenin asgari kalınlığı
3. Azami ara yoz kalınlığı (mineralizasyonla birlikte tel kafes içine alınan mineralize zonlar arasındaki kaya kalınlığı)
4. Azami derinlik (bu derinliğin altında kalan maden kaynakları, ekonomik olmayacakları için dışarıda bırakılır)

Jeolojik model veya tenör alanları paralel kesit yönteminden grid modelleme yöntemlerine kadar değişen birçok teknik ile yapılabilmektedir

(Şekil 1). Paralel kesit tekniğinde, her kesitte yorumlanan alanlar tel kafes içine alınıp bu kesitlerdeki tel kafeslerin birleştirilmesi ile 3D üçgenlenmiş yüzeyler türetilerek katı model oluşturulur. Bugünkü gelişmiş etkileşimli bilgisayar paket programlarıyla bir dizi paralel kesitler kolayca hazırlanabilmekteyse de yine de çok zaman almaktadır. Fakat jeoloji mühendisine yorum üzerinde daha fazla kontrol imkânı sağlaması üstün tarafıdır.

Grid veya yüzey modelleme tekniği sondajlardaki litolojik giriş çıkış kotları dikkate alınarak yüzey topoğrafyaları oluşturup birleştirme teknikleriyle yapılmaktadır (Carr vd., 2001; Cowan vd., 2003, 2011). Bu model, bazı yazılım programlarında veri tanımlamaları yapıldıktan sonra otomatik olarak çok hızlı yapılabilmektedir. Günümüzdeki ticari programlarla tenör kabukları oluşturma birkaç saatten daha az zamanda gerçekleştirilebilir.

Uygulamada, makul tenör alanları üretmek için bu iki uç yaklaşımın bir dizi halinde kullanılması da oldukça yaygındır.

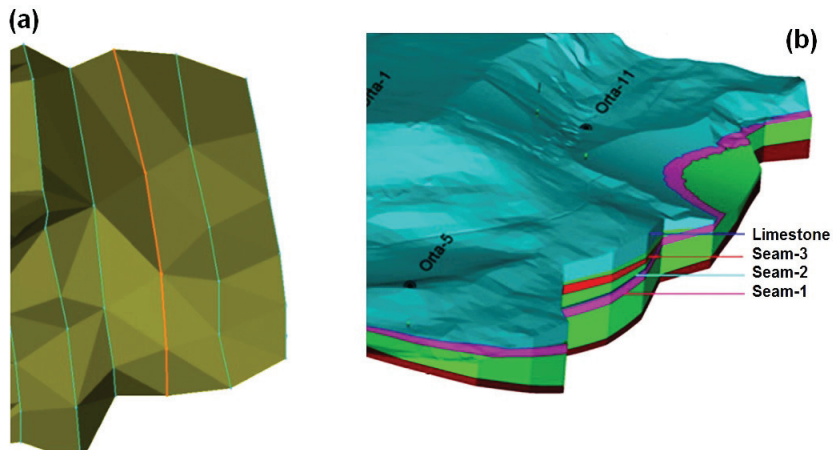
Tenör alanlarına ayırma yaklaşımının kavramsal sınırlamaları, özellikle komşu alanlar arasındaki mekânsal bağımlılığı göz önüne almayı ve alan sınırlarındaki belirsizlik olgusu birçok çalışmada vurgulanmıştır (Emery ve Ortiz, 2005). Bu yaklaşımın, alanları tanımlayan eşik tenöre duyarlı olduğu ve kriging haritalarında, histogramlarda, gerçek ve tahmin edilen tenörler arasındaki örümcek diyagramlarında yapaylıklara ve maden kaynak sınıflamasını etkileyebilen bir özellik olan düşük kriging varyansına yol açtığı da gösterilmiştir.

## VERİ ANALİZİ

Derlenen veriler üzerinde herhangi bir işlem uygulanmamışsa bunlara “ham veri” denir. Veri analizinden önce ham veriler üzerinde yapılması gereken iki önemli işlem vardır: Kompozitleme ve kümelenme etkilerinin giderilmesi.

## Kompozit Numune Oluşturma

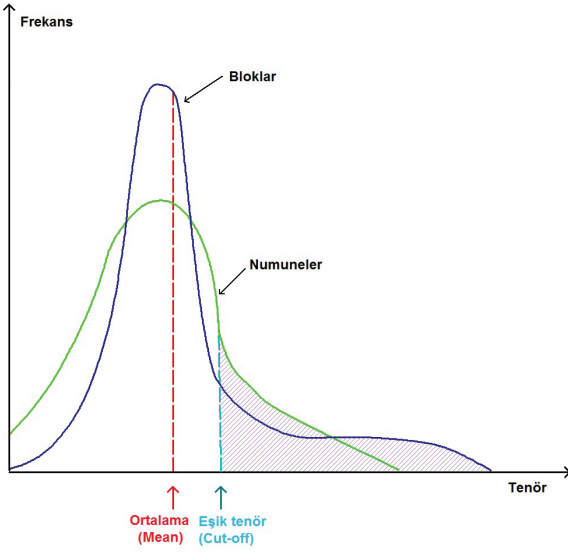
Veri analizinin ilk önkoşulu tüm numunelerin eşit bir hacmi temsil etmesidir. Buna numune



Şekil 1. Paralel kesit (a) ve yüzey modelleme (a) teknikleri ile 3 boyutlu jeolojik modelin oluşturulması.

Figure 1. The Construction of the 3D geological model using parallel cross-sections (a) and surface (Grid) modeling (b) techniques.

dayanağı denilir (Şekil 2). Bir alan içindeki tüm numunelerin eşit dayanakta olmalarını sağlamak için, genellikle değişik uzunluklarda sondaj karotlarını temsil eden numunelere ait analiz dosyası eşit aralıklara bölme işleminden geçirilerek kompozit dosyası oluşturulur. Kompozit yapma için çeşitli algoritmalar vardır.



Şekil 2. Dayanak etkisi (Deraisme, 1996).

Figure 2. Support effect (Deraisme, 1996).

Kompozit numune uzunluğu, genellikle ortalama numune uzunluğu veya en sık tekrarlanan orijinal numune uzunluğu tespit edilerek belirlenir. Kompozit üretmek için orijinal numune uzunlukları, daha küçük uzunluklar hâlinde parçalara ayrılmamalıdır. Çünkü daha küçük uzunluklarda kompozitler halinde parçalara ayrılırsa, komşu kompozitler birbiriyle aynı değerlere sahip olacağından, yapay olarak daha küçük varyansa yol açacaktır.

Seyrelme hesaplarında daha iyi sonuç alınabileceği için, kompozit numunelerin daima

madencilik basamak yüksekliğine eşit olması gerektiğini düşünenler de vardır. Bununla birlikte, sondajların madencilik basamaklarına göre çeşitli derecelerde açılı yönlenmiş olduğu durumlarda (özellikle sondajlar yataya yakın düşük açılı olduğunda), bu farklı kompozitler için farklı dayanak uzunluklarına yol açabilir. Kaynak tahmininin gerçek üç boyutlu yöntemleri egemen oldukça (bu yöntemde her bir kompozit üç boyutlu uzayda yönlenmeye bakmaksızın bir noktayı temsil ettiğinden) daha az önemli olmaya başlamıştır.

Kompozit yapma yöntemi uyarlanırken mineralizasyon biçimi ve sınır gerekleri de göz önüne alınmalıdır. Örneğin keskin sınırlı dar bir damarda, aşırı yüksek veya düşük seyrelmeden sakınmak için zonlara göre kompozit yapmak esastır. Bu, sınırların dereceli geçişli olduğu durumlarda sonuca daha az etkilidir.

### Mekânsal Kümelmenin Giderilmesi

Veri analizinden önce ele alınıp çözülmesi gerekli bir başka problem de verilerin tercihli kümelenmesidir. Yüksek tenörlü yatak bölümlerine daha fazla sondaj yapma ve daha fazla numune alma eğilimi olduğundan dolayı, kümelenme veya numunelerin çok farklı hacimleri temsil etmesi sık karşılaşılan bir durumdur.

Veri kümelenmesi sadece istatistiksel analizi etkilemez, yanlı (tarafgir) variografiye de yol açabilir (Glacken ve Snowden, 2001). Bunu düzeltmek için alanlara ayırma zorunlu olabilir. Başka bir çözüm seçeneği olarak, istatistiksel analiz için her bir numunenin eşit hacmi temsil etmesini sağlayacak çeşitli kümelenme giderici yaklaşımlar geliştirilmiştir. Verilerin tercihli

kümelenmesini göz ardı etmek, yanlış tutan sonuçlara yol açabilir. Aynı alanın içindeki değişik sondaj tipleriyle (karotlu ve kırıntılı sondaj) elde edilmiş verilere farklı şekilde işlem de uygulanabilir.

### İstatistiksel Analizin Yorumlanması

Ham verilere kompozitleme ve kümelenme giderilmesi işlemleri uygulandıktan sonra istatistiksel veri analizine geçilebilir. İstatistiksel analiz, jeolojik model veya başka yaklaşımlarla tanımlanmış alanların içinde yapılmalıdır. Bu alanların her birindeki veri dağılımlarının özelliklerini yansıtan istatistiksel parametreler, yani ortalama, ortanca, tepe değer, geometrik ortalama gibi merkezi eğilim ölçüleri ile varyans ortalama mutlak sapma ve çeyrek ayrılışlar gibi dağılım ölçüleri hesaplanır ve histogram ve birikimli olasılık şeklinde tanımlanır. Alanlar içinde bir verinin sergilediği eğilimin ve birkaç değişkenin olması durumunda veriler arasındaki ilişkilerin belirlenmesine ve yorumlanmasına çalışılır, değişik numune tiplerinin özellikleri karşılaştırılır. Cevher yoğunluğu ile ilgilenilen metalin/mineralin tenörü arasında pozitif korelasyon saptandığında, tenör tahmininde kullanılan numuneler, uzunlukları yanı sıra yoğunluklarıyla da ağırlıklandırılır. Bir başka seçenek de tenör değişken(ler)i ile birlikte genel yoğunluğun da doğrudan interpolasyonudur (Glacken vd., 2001).

İstatistiksel analiz, veri ile ilgili problemleri tanımayaya yardım eder. İstatistiksel analiz, örneğin aşırı yüksek varyasyon katsayısı veya çok popülasyonlu olasılık grafikleri şeklinde bazı alanların çok karışmış popülasyonlar olduğuna işaret edebilir. Bu durum, daha fazla

veya değişik şekilde alanlara ayırma ihtiyacının bir işareti olabilir. Örneğin istatistiksel analiz, aykırı değerlerin veya aşırı değerlerin ortaya çıkarılmasını sağlar. Aykırı değerler, tipik değerlerden önemli ölçüde farklı olan değerlerdir. Aykırı değerler, veri giriş hataları veya farklı jeolojik alanların karışması sonucu olabilir. Aykırı ya da aşırı veriler tespit edildiğinde, ya ayrı alan içine konulmalı ya da üstten kesme uygulanmalıdır. Üstten kesme uygulanmasına gerek olup olmadığına ve hangi değerlerin üzerindeki kayıtlara uygulanması gerektiğine istatistiksel analize göre karar verilir.

İstatistiksel analiz, uygun interpolasyon tekniğinin seçimine yarar. Mesafenin tersi (IDW), kriging gibi interpolasyon teknikleri normal olasılık dağılımı özelliği gösteren veriler üzerinde doğru sonuçlar verebilmektedir. Bunun için verilerin normal dağılım özellikleri gösterdiğinin belirlenmesi veya normal dağılıma dönüşümleri ile mümkündür.

### DEVAMLILIK ANALİZİ (VARYOGRAM ANALİZİ)

Bir maden kaynak tahmininin kalitesi, jeolojik ve tenör devamlılığının ne kadar iyi bilindiğine bağlıdır. JORC ve benzer diğer yönetmeliklerde “devamlılık” maden kaynak ve rezervlerin tanımlanmasında en büyük merak konusudur (Guibal, 2001; Dominy vd., 2003a). Devamlılık analizi, litolojik/mineralize birimler arasındaki sınırların tiplerini tayin eder, jeolojik alanlar içinde değişik tenör dağılımlarının kavranmasını sağlar (Dominy vd., 2003b).

Genel olarak, maden kaynaklarının tahmini çerçevesinde iki tip devamlılık tanımlanmıştır (Sinclair ve Vallée, 1994; Dominy vd., 2003a):

Özkan, Akbaba

1. Jeolojik devamlılık: Mineralizasyona ev sahipliği yapan jeolojik yapının/yapıların veya zonun/zonların geometrik devamlılığı (örneğin cevher gövdesi kalınlığı ve eğim yukarı/aşağı devamı);
2. Tenör devamlılığı: Özel bir jeolojik zon içinde var olan tenörün devamlılığı, bazen değer devamlılığı da denir.

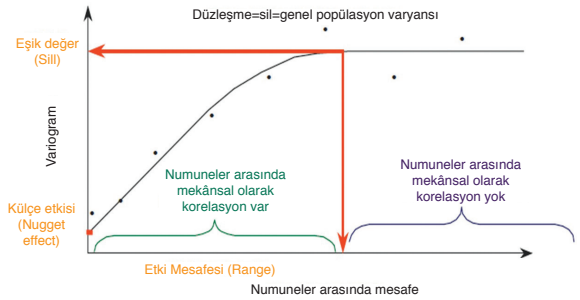
Tenör devamlılığı ve jeolojik devamlılık ölçeğe bağlı bir özelliktir. Bir mineralizasyonun bağlı olduğu (içinde yer aldığı) jeolojik birim ya da yapının devamlılığı binlerce metreden daha büyük olabilirken, bu büyük yapının içinde iyi mineralize olmuş bölümler (ekonomik olabilecek tenöre erişmiş kesimler) onlarca metre büyüklüğünde olabilir.

Jeolojik devamlılık tonaj tahmini üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tenör devamlılığının tenör tahminindeki önemi ise açıktır. Jeolojik devamlılığın üç boyutta göz önüne alınması özellikle önemlidir. Bir maden yatağı, yatay ve düşey yönde büyük devamlılığa sahip iken, kalınlığı yerel ölçekte hem düzensizce hem de önemli oranda değişiyorsa ve sondaj yoğunluğu bu değişimleri yakalamak için yetersizse, tonaj tahmini kötü olabilir.

Devamlılık analizinin temel yöntemi, varyogram analizidir. Yeterli veri olması durumunda her bir alan için doğrultu, eğim ve dalım yönlerinde varyogram grafikleri çıkartılarak eşik değeri, kontrolsüz etki varyansı, külçe etkisi ve etki mesafesi değerleri tespit edilir. Yarıvaryogramların yapısal uzaklıkları yöne göre değişiklik gösteriyorsa, yatağın ilgili değişken için anizotrop olduğu söylenir. Anizotropi durumuna bakmak için öncelikle belirlenen arama çapı, açısı ve açısız, mesafe

toleransa göre bir teorik yarıvaryogram modeli uyarlanır (Şekil 3, 4).

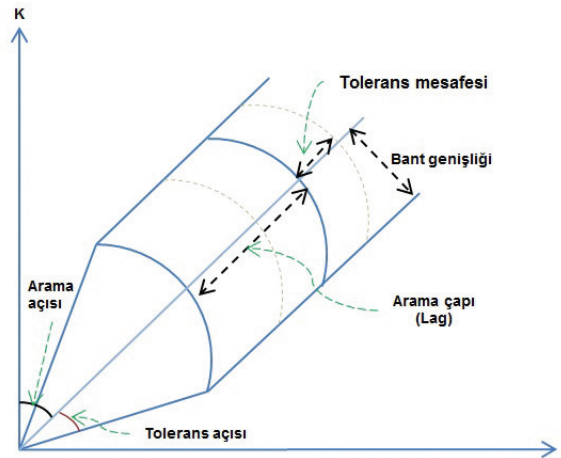
Yarıvaryogram modelinin testi ve kabullü için çapraz doğrulama testi uygulanır. Bu testle, geri besleme yapılarak aynı zamanda uygun varyogram yöntemi ve grafiği de elde edilmiş olur.



Şekil 3. Deneysel yarıvaryogram grafiği ve küresel model (Snowden, 2000).

(Sill: Eşik; Nugget: Kontrolsüz etki varyansı; Range: Etki mesafesi; Lag: Numune çiftleri arasındaki mesafe)

Figure 3. Experimental semivariogram and spherical model (Snowden, 2000).



Şekil 4. Örnek çifti seçim konisi.

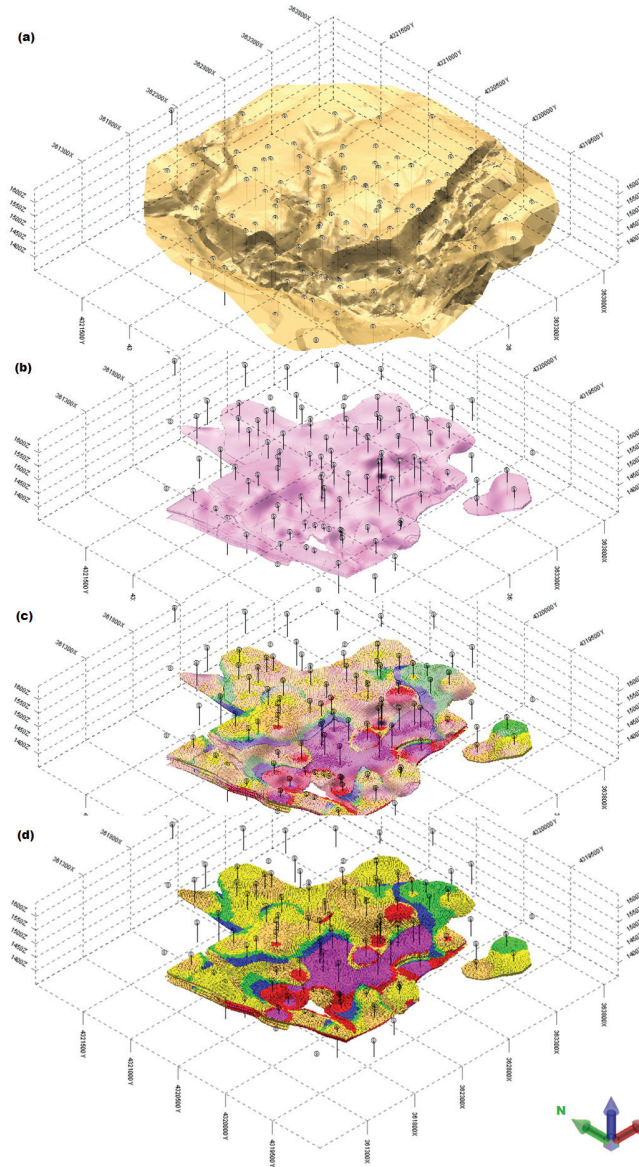
Figure 4. Selection of the sample pair cone.



## BLOK MODEL

Oluşturulan jeolojik model (alanlar) içine bilgisayar programları yardımıyla üç boyutlu sanal blok model yerleştirilmesi yerel kaynak tahmini için standart uygulamadır. Bu blokların

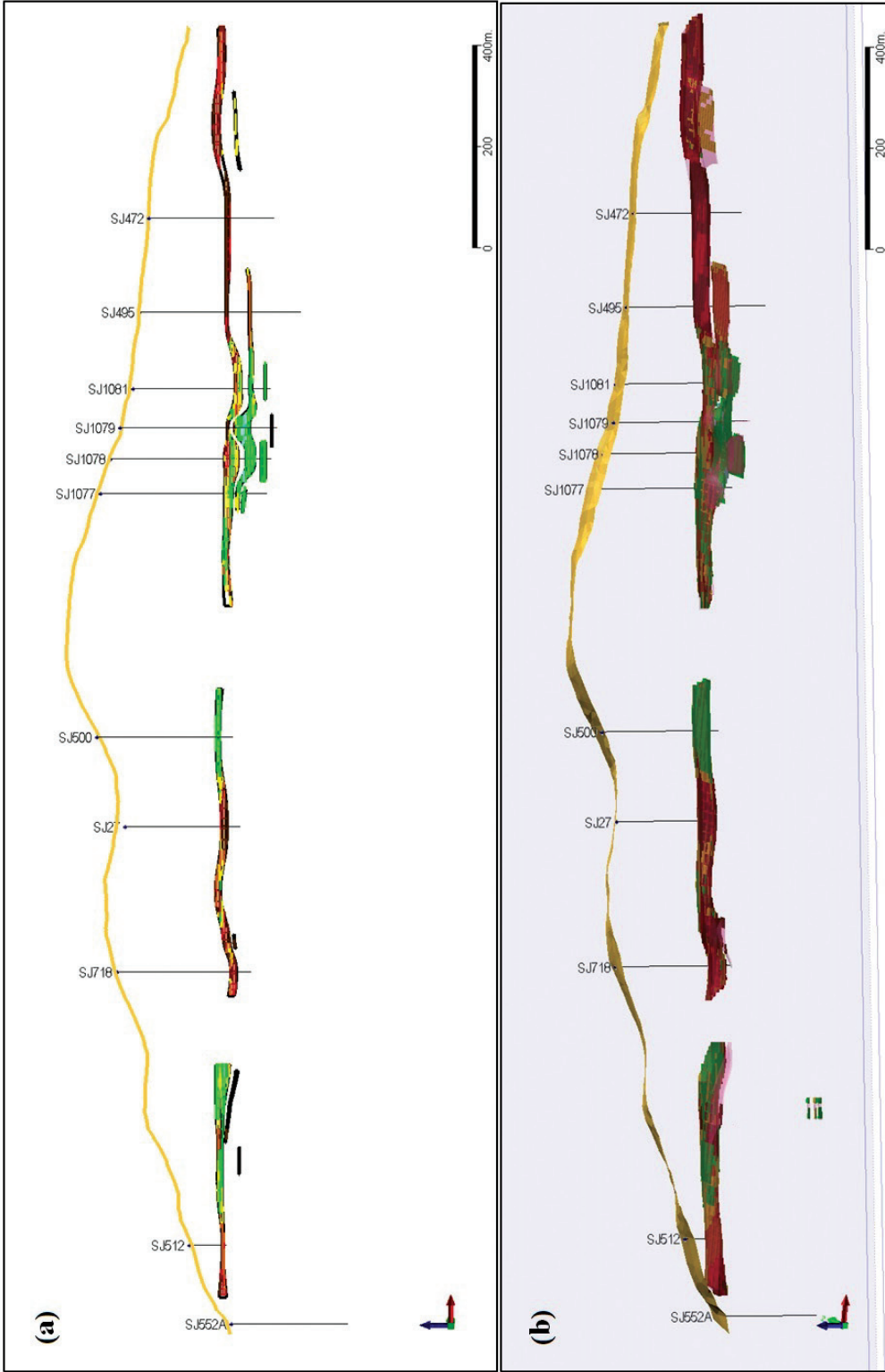
şekli, boyutları ve yönelimi, kaynak tahmininin kalitesi üzerinde etkilidir. Tarama elipsoidi parametrelerini optimize etmeden önce, blok boyutunu seçmek, ana blok boyutunu optimize etmek gerekir (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Jeolojik ve blok modelin 3 boyutlu perspektif gösterimine bir örnek. Yukarıdan aşağıya; (a) Sondaj verisi + Topografya; (b) Katı model; (c) Katı model + Blok model; (d) Blok model.

Figure 5. An Example of three-dimensional perspective representation of the geological and block model. From top to bottom; drill-hole data + Topography (a), Solid model (b), Solid model + Block model (c), Block model (d).

Özkan, Akbaba



Şekil 6. Blok modelin tel kafes (jeolojik model) içine yerleştirilmesine bir örnek: (a) Kesit görünümü, (b) Kesitin perspektif görünümü.

Figure 6. An example of the fitting of block model into the wireframe. (a) Cross-section view, (b) Perspective view of the cross-section.

Çözünürlüğü arttırmak (mineralize zon içindeki kısa mesafeli tenör değişimlerini algılayabilmek), cevher-yoztaş sınırlarını elverdiğince dar biçimde tanımlamak amacıyla, olabildiğince küçük boyutlu bloklar seçilmesi ve bu küçük bloklara tenör interpolate edilmesi istenmektedir. Ancak blok boyutu tahmin kalitesini büyük oranda etkiler. Doğrusal tahmin yöntemleri küçük bloklar için elverişli değildir. Kriging formülüne bakıldığında bloklar ne kadar küçük ise, kriging hatasının o kadar büyük olacağı anlaşılabilir. Varyogram etki mesafesine ve numune aralığına kıyasla küçük bloklara interpolasyonla bulunan sonuçlar gerçek durumdan büyük sapmalar gösterebilmektedir.

Armstrong ve Champigny (1989), birkaç yalın örnekleme deseni için, blok boyutu, varyogram etki mesafesi ve kriging sonuçlarını incelemiş ve örnekleme aralığının yarısından az varyogram etki mesafesi için krige edilmiş blok tahminlerinin gerçek değerlerle ilişkisiz olduğunu kanıtlamıştır. Çok küçük bloklara krige edilmiş tahminlerin aşırı yumuşatıldığı vurgulayarak böyle tahminlerin rezerv hesaplarında kullanılmaması için uyarılmışlardır.

Bu durumda şu sorular akla gelmektedir: Blok boyutları seçerken hangi parametrelere bakmak gerekir? Bu konuda bir standart var mıdır?

Tahmin edilmek istenen en küçük ölçek (hacim) ile yataktaki değişkenliğin nicelenebileceği en büyük ölçeğin uzlaştırılması bu konuda genel ilkedir. Bu genel ilke çerçevesinde belirli bir örnekleme gridi için blok boyutu seçerken şu hususların göz önüne alınması gerekir:

- Amaç
- Yatağın değişkenliği
- Ortalama örnekleme aralığı

Maden planlaması için, seçimli madencilik birimi boyutlarında blok seçimi tercih edilir ve blok boyutu, genellikle ekipman boyutuna ve ekonomik ölçütlere (örneğin açık ocak basamak yüksekliğine) göre belirlenir. Ancak seçimli madencilik birimi boyutlarında bloklardan oluşan bir blok model için çok sayıda sondaj yapmak gerekir. Arama evresinde genellikle bu mümkün olmaz ve çoğunlukla daha büyük blok boyutları seçmek zorunda kalınır. Madencilik sırasında çok daha sık veriler (patlatma kuyuları, sıklaştırma sondajları) var olduğunda, daha küçük blok boyutları seçilebilir.

Diğer bir yaklaşım, blok boyutu seçerken yatağın değişkenliğini dikkate almaktır. Bu yaklaşımda, blok boyutu, varyogram etki mesafesinin kabaca %25'inden küçük olmamalıdır. Değişkenlik ölçüt alındığında, her bir alan için değişik blok boyutu seçmek gerekebilir.

Coombes (2008)'e göre, blok boyutları ortalama numune aralığının (düşey sığ sondajlar durumunda sondaj aralığının) yarısından daha küçük olmamalıdır. Eğer blok boyutu, örnekleme gridinden çok daha küçük belirlenirse o zaman tahmin varyansı yüksek olacak ve tahmin güvenilirliği azalacaktır. İki sondaj arasındaki blok sayısının 4 ya da 5'i geçmemesi de uygulamada yaygın kabul edilen bir kuraldır. Tecrübeler ortalama sondaj aralığının %20'sinden daha küçük blok boyutu kullanmanın tahmin kalitesini riske atabileceğini göstermektedir. Blok yüksekliklerinin de kompozit numune uzunluğunun iki katı kadar alınması da yaygın görülen bir uygulamadır.

## TENÖR TAHMİNİ

Blok modeli oluşturan blokların her birine, numune değerleri kullanılarak interpolasyonla tenör ya da yoğunluk değerleri atanır. İnterpolasyon, değeri bilinmeyen özel bir konumdaki noktalara/bloklara, değeri bilinen noktalardaki değerler (numune verileri) kullanılarak değer tahmin etme işlemidir.

Mükemmel bir tenör tahmini, sonsuz sayıda numune verisini gerektirir. Bu mümkün olamayacağına göre, kabul edilebilir düzeyde bir hatayla tahmin yapabilmeye yeterli sayıda numune ile yetinmek zorunludur. Yani amaç, hatasız tahmin yapmak değil, hata düzeyini kabul edilebilir sınırlar içinde tutmaktır.

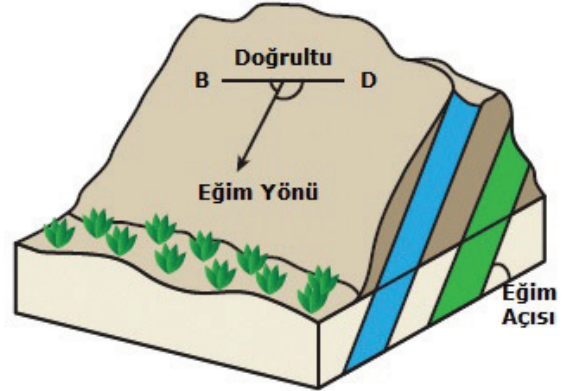
İnterpolasyon yöntemleri yerel ya da küresel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Küresel interpolasyon yöntemleri, değerleri bilinmeyen noktalara/bloklara tahmin yapmak için eldeki bütün verileri kullanır. Yerel interpolasyon yöntemleri ise sadece tahmin yapılacak noktaya/bloka komşu numune bilgilerini kullanır. Küresel interpolasyon yöntemleri, tenör dağılımındaki trendleri sileceğinden dolayı pek tercih edilmez.

Maden kaynak tahminlerinde en fazla kullanılan interpolasyon teknikleri “uzaklığın (genellikle karesi ile) ters orantılı ağırlıklandırma” ve kriging teknikleridir. Bu derlemenin amacı interpolasyon tekniklerini tanıtmak değildir. Ancak kısaca belirtmek gerekirse “uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma” tekniği, yakın noktalara uzak noktalardan daha yüksek ağırlık değeri atayan deterministik bir interpolasyon yöntemidir. Yerel tahminler sağlar fakat tahmin hatasının büyüklüğü hakkında bir fikir vermez. Kriging, ileri jeostatistik teknikleri kullanan ve bir bloğun değişken değerini (örneğin tenör), tahmin

hataları varyansını en küçükleyerek tahmin eden özel bir yerel interpolasyon tekniğidir.

Aynı verilerle bile değişik interpolasyon yöntemleriyle değişik sonuçlar bulunabileceği vurgulanmalıdır.

Tahmin hatalarını, semi-varyogram fonksiyonu ile ifade edilen mineralizasyonun özelliği, tenör ya da yoğunluk değeri tahmin edilen bloğun şekli ve boyutları yanı sıra kullanılan numunelerin sayısı, konumu, (ek olarak daha önce belirtildiği gibi büyüklüğü ve aykırı değerler) de önemli derecede etkilemektedir (Dominy vd. 2002). Bu nedenle, herhangi bir bloğa değer atamada (interpolasyonda) yararlanılacak numuneleri tanımlamada kullanılan tarama elipsoidinin boyutu ve yönlenmesi de önemlidir (Şekil 7).



Şekil 7. Düzlemsel jeolojik yönelimin geometrik gösterimi (Price, 2013).

Figure 7. Geometric representation of planar orientation of geological features (Price, 2013).

Tarama elipsoidinin duruşu, cevherin doğrultusu ve eğimi; boyutları ise, belirli yönlere jeolojik devamlılık (varyogram parametreleri) ve sondaj yoğunluğu dikkate

alınarak belirlenir. Bu amaçla seçilen interpolasyon tekniği kullanılarak değişik boyutta birkaç tarama elipsoidi ile tahminler yapılır ve en uygun (gerçeğe en yakın tahminler yapmaya elverişli) tarama çapı, deneme-yanılma yöntemiyle seçilir. Söz gelişi Kriging yöntemiyle yapılan interpolasyonda, en uygun numune tarama çapının belirlenmesinde kullanılan ölçütler; kriging varyansı, kestirilmeyen blokların sayısı, negatif ağırlıkların birikimli toplamı ve gerçek blok tenörünün tahmin edilen blok tenörüne karşı çizilen regresyonun eğimidir (Khakestar vd., 2011; De-Vitry, 2003). Tarama çapı arttırılarak yapılan denemelerde tarama elipsoidinin boyutundaki artışın, tahmini önemli oranda iyileştirmediği (yani gerçek ve tahmin edilen tenörler arasındaki regresyon yamacının önemli oranda artmadığı, kriging varyansının düştüğü ve negatif kriging ağırlıkları sayısının arttığı) noktada en uygun tarama elipsoidi boyutu belirlenir. Bu noktadaki boyutlar en uygun tarama elipsoidi boyutu olarak seçilir (De-Vitry, 2003).

### BLOK MODEL GEÇERLEME

Tenör ataması yapılmış blok modeli doğrulamak için blok model geçerlemesi işlemi uygulanır. Bu işlem başlıca şu yollarla gerçekleştirilir:

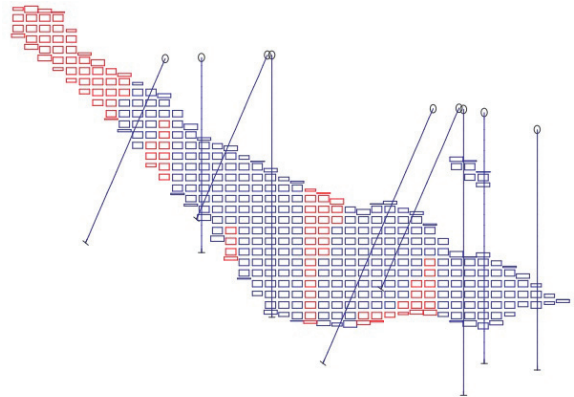
- Blok modelin kompozit ve analiz dosyasıyla istatistiksel karşılaştırması, (çapraz doğrulama)
- Yatay ve düşey kesitler alınarak görsel karşılaştırma
- Alternatif yöntemlerle kaynak tahminler yapılarak blok modelin doğruluğunun test edilmesi

Bu geçerlemenin sağlanamaması durumunda tarama elipsoidi parametresinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir.

### KAYNAK SINIFLANDIRMA

Belirlenen kaynaklar artan güvenilirlik ya da azalan jeolojik belirsizlik derecesine göre, çıkarsanmış, gösterilmiş ve ölçülmüş kaynaklar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Maden kaynak ve rezervlerini sınıflandırmanın esas amacı, tahmin güvenilirliğini değerlendirmektir (Royle, 1977; Emery vd., 2006). Bu değerlendirmede göz önüne alınması gerekli ölçütler başlıca şunlardır:

- Jeolojik karmaşıklık
- Veri yoğunluğu
- Veri kalitesi/güvenilirliği
- Tahmin edilen blok modelin kalitesi



Şekil 8. Kaynak sınıflandırmasını gösteren kesit, kırmızı: ölçülmüş kaynak, mavi: gösterilmiş kaynak (Snowden, 2000).

Figure 8. Drill-hole section showing resource classification categories, blue: measured, red: indicated (Snowden, 2000).

Genel olarak jeolojik ve tenör sürekliliğini kesinleştirmeye yetecek sıklıkta ve kalitede

verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar “Ölçülmüş Kaynak” sınıfına sokulur (Şekil 8). Verilerin sayısı ve dağılımı, jeolojik ve/veya tenördeki sürekliliği kesin olarak ortaya koymak için geniş ya da uygun olmayan aralıkta, buna karşılık sürekliliğin varsayılabilmesi için yeterli aralıkta ise, bu verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar “Gösterilmiş Kaynak” sınıfında nitelenir (Şekil 8). Değeri sınırlı ya da belirsiz nitelik ve güvenilirlikte verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar ise “Çıkarılmış Kaynak” olarak tanımlanır.

Rapor edilen kaynakların madencilik, metalürjik, ekonomik, sosyal ve yasal faktörler göz önüne alınarak **çıkarılabilirliği** (işletilebilirliği) yönünde makul bir beklentinin olması da şart koşulmaktadır.

En iyi uygulamalar olarak kabul edilen sınıflama ölçütleri başlıca şunlardır:

### **Komşuluk Kısıtlamaları**

Bu ölçüt blokları geometrik sınırlamalara göre, yani belli bir komşuluk içinde bulunan verilerin sayısına ve konfigürasyonuna göre sınıflamaya dayanır. IDW ve Kriging yöntemleriyle tahmin edilmiş kaynaklara uygulanır. Burada gittikçe daha büyük tarama çapları kullanılarak tenör tahminleri yapılır. En küçük tarama çapları (en kısıtlayıcı komşuluk kuralı) kullanılarak tahmin edilmiş bloklar “ölçülmüş kaynak”; ikinci seferde daha büyük tarama çapları kullanılarak tahmin edilmiş bloklar “gösterilmiş kaynak”; bu iki seferde tahmin edilenlerin dışında kalan bloklar da “çıkarılmış kaynaklar” olarak sınıflanır (Sinclair ve Blackwell, 2002).

### **Kriging Varyansı**

Bu ölçüt, Kriging yöntemiyle yapılmış tahminlere uygulanabilir. Her bir blok, sadece komşu olan verilerin niceliğini ve kofigürasyonunu değil, aynı zamanda varyogramlarından ölçülen mekânsal tenör devamlılığını da göz önüne alan kriging varyansına göre sınıflanır. Çünkü kriging varyansı, jeostatistik parametreler üzerinden geometrik ve jeolojik bilgileri birleştirir. Pratikte ölçüt, kaynak sınıfları arasında bir eşik varyans tanımlanmasını gerektirir (Royle, 1977; Sabourin, 1984; Froidevaux vd., 1986). Bunu yapmak için, o sınıfın üst sınırı olarak alınmak üzere belirli bir örnekleme gridinin merkezinde bulunan bir blokun kriging varyansı hesaplanır (kriging varyansı veri değerlerine bağlı olmadığından, tenör varyogramı modellenince varyans hesabı yapılabilir).

Kriging varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir. Veri sayısının ve veriler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Kriging varyansı, bu özelliğinden dolayı gerçekte sondaj yapılmadan önce olası lokasyonları test edip, bunlar arasından optimum olanları belirlemek amacıyla da kullanılabilir (Saraç, C. ve Tercan, A. E., 1996).

### **Koşullu Varyans**

Bu ölçüt, benzetimle (simülasyon) tahmin edilmiş kaynaklara uygulanmakta olup, kriging varyansının yerine koşullu varyansın alınması dışında önceki ölçüte benzerdir. Bununla birlikte, kriging varyansı sadece mekânsal konfigürasyona bağımlı ve verilerin değerinden bağımsız olduğundan dolayı yerel ortalamadan bağımsız iken koşullu varyans yerel ortalamaya güçlüce bağımlıdır. Bundan dolayı bu iki yöntemin sonuçları değişik olur.

### Nispi Kriging Varyansı

Kriging yöntemiyle yapılmış tahminlere uygulanabilir. Bu ölçüte göre sınıflamada; her bir bloğun kriging varyansı yerine, belirsizliğin standardize edilmiş boyutsuz bir ölçüsünü veren nispi oranı kullanılır (David, 1988; Blackwell, 1998).

### Nispi Koşullu Varyans

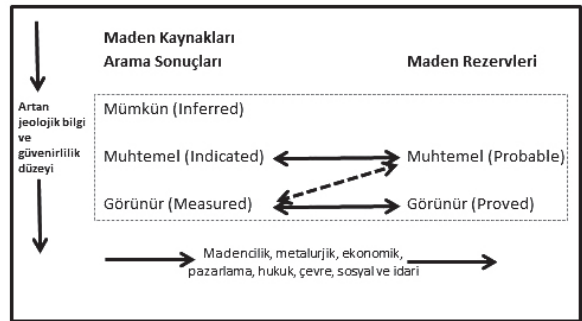
Bu ölçüt de benzetimle (simülasyon) tahmin edilmiş kaynaklara uygulanır. Nispi koşullu varyans, varyansın ortalamaların karesine bölünmesiyle bulunan bir değerdir. Önceki ölçütteki eşik değer gibi kaynak sınıflarını tanımlamada kullanılır. Bu standardizasyon, onu kriging varyansına benzer kılarak, belirsizlik ölçüsündeki yerel ortalama tenörün etkisini gideriyor olarak anlaşılabilir.

Kaynak sınıflarını tanımlayan ölçütler değiştirildiğinde veya belirli bir ölçütü etkileyen parametrelerin değerleri değiştirildiği zaman büyük değişiklikler görülebilir. Bütün bu yöntemlerin hepsi uluslararası yönetmeliklerle tanımlanan geçerli çerçeve içinde geçerli yöntemler olarak kabul edilmektedir.

### KAYNAK RAPORLAMA

Kaynak tahminleri, seçilen eşik değer(ler) e ya da ocak optimizasyonuna göre raporlanır. Tahmin tablosu hem kaynak sınıflarına göre, hem de jeolojik alanlara göre ayrı ayrı raporlanmalıdır. Çıkarılmış kaynaklar, tanımı gereği rezerv tahminlerinde kullanılamazlar, ölçülmüş ve gösterilmiş kaynaklarla toplanamazlar. Ölçülmüş ve gösterilmiş kaynaklara ek olarak (onların dışında) rapor edilmelidirler.

Kaynak raporlarında, veri noktalarından azami uzatma mesafesi, blok boyutlarını belirleme ölçütleri, değişkenler arasındaki korelasyon hakkındaki kabuller vurgulanmalıdır. Maden kaynaklarının çeşitli güvenilirlik sınıflarına ayrılmasında kullanılan ölçütler belirtilmelidir (Şekil 9).



Şekil 9. Arama sonuçları ile maden kaynakları ve maden rezervleri arasındaki ilişki.

Figure 9. General relationship between exploration results, mineral resources and mineral reserves.

### SONUÇLAR

JORC ve benzeri yönetmelikler, kaynak tahminlerinde uyulması zorunlu katı bir reçete değil, aslında ilkeleri belirleyen ve bu ilkelerin uygulamaya nasıl yansıtılacağıın yolunu yordamını “yetkin kişi” denilen işin uzmanının takdirine bırakan bir yönetmeliktir. Projeye uygun yol ve yöntemin seçimi ve uygulanması yetkin kişinin takdir ve sorumluluğundadır.

Birinci ilke “açıklık” ya da “saydamlık”tır. Hangi çalışmalar yapılmış ve ne sonuçlar alınmışsa, bunların hepsinin açıklanması gerekir. Alınan sonuçların bazılarını vermemek, değiştirmek gibi bir davranış açıklık ilkesine sığmaz.

İkinci ilke “kapsamlılık” ya da “sağlam temellendirme” olarak ifade edilmektedir. Hazırlanan kaynak raporlarında verilen bütün bilgilerin, bunlar için gerekli olan bütün verilerin ve kullanılan veri işlemlerinin belirtilmesi istenmektedir.

Üçüncü ilke olarak raporu hazırlayanların konularında yeterlilik sahibi olmaları gereğidir. Kaynak tahminine dayanak oluşturan çalışmaların o konuda yeterli bilgi ve tecrübeye sahip bir yetkin kişi tarafından yapılmış olması ya da kontrol edilerek doğrulanmış olması şartı aranmaktadır. Halka açık raporlarda, bu rapordan sorumlu olan yetkin kişinin isminin belirtilmesi zorunludur.

Yetkin kişi, teknik raporların kurallara uygun hazırlanmasından ve içindeki bilgilerin doğruluğundan sorumlu, muteber (tanınan) meslek örgütlerinden birine üye jeoloji mühendisi, maden mühendisi veya jeofizik mühendisidir. Muteber meslek örgütü ise, JORC benzeri standartlara ve meslek ahlakı kurallarına uymayı şart koşan ve bu konuda üyelerinin gözetimini yapan, uymayanları üyelikten atma ve disiplin cezası verme gücüne sahip (yerli veya muteber bir yabancı) meslek örgütüdür.

Günümüzde dünya ekonomisini büyük oranda ellerinde tutan ülkelerde ilgili kamu kuruluşları, borsa kurulları, bankalar hem kendi ülkelerindeki hem de yabancı ülkelerdeki meslek örgütlerini, ancak bu ölçütleri karşıladıkları zaman “muteber meslek örgütü” veya “muteber yabancı meslek örgütü” olarak kabul etmektedir.

Böylece meslek örgütleri için, bu uluslararası denklik (akreditasyon) zincirine katılmak önemli hâle gelmiştir. Bu gelişmelerin uluslararası denkliğin önemini giderek daha da arttıracığı

görülmektedir. Çünkü denkliği olmayan meslek örgütü üyelerinin mesleklerini yapması gittikçe daha fazla engellenecektir. Bundan dolayı maden kaynak ve rezervleri hakkında güvenilir tahmin ve raporlar hazırlanmasını temin etmek için, uluslararası standartlara uyumlu ulusal düzenlemeler yapılması; hem yatırımcıların korunması, hem de uluslararası akreditasyon zincirine katılmak suretiyle Türk mühendislerine iş piyasalarında getirilen engellerin kaldırılması bakımından büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Armstrong, M., Champigny, N, 1989. A Study on Kriging small blocks: CIM Bulletin, 82, 128-133.
- Blackwell, G. H., 1998. Relative kriging errors – a basis for mineral resource classification: Exploration and Mining Geology, 7 (1-2), 99-106.
- Carr, J.C., Beaton, R.K., Cherrie, J.B., Mitchell, T.J., Fright, W.R., McCallum, B.C., Evans, T.R. 2001. Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Function. In: ACM SIGGRAPH, 12-17 August 2001, Los Angeles.
- Cowan, E.J., Beatson, R.K., Ross, H.J., Fright, W.R., McLennan, T.J., Evans, T.R., Carr, J.C., Lane, R.G., Bright, D.V., Gillman, A.J., Oshust, P.A., Titley, M. 2003. Practical Implicit Geological Modelling. In: Dominy, S. (ed.) 5th International Mining Geology Conference, Bendigo, Victoria, November 17-19, 2003, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No. 8, 89-99.
- Coombes, J., 2008. The art and science of resource estimation : a practical guide for geologists and engineers. Coombes Capability, 231 p.



- Cowan, E.J., Spragg, K.J., Everitt, M.R. 2011. Wireframe-Free Geological Modelling – An Oxymoron or a Value Proposition? In: Eighth International Mining Geology Conference, Queenstown, New Zealand, 22-24 August 2011, 13 p.
- David, M., 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Scientific, Amsterdam, 216 p.
- Deraisme J., de Fouquet, C., 1996. A geostatistical approach for reserves: Mining Magazine, May 1996.
- De-Vitry, Chris, 2003. Resource classification – a case study from the Joffre-hosted iron ore of BHP Billiton's Mount Whaleback operations: A196 Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A), Volume 112.
- Dominy, S.C., Annels, A.E., Platten, I.M., Raine, M.D., 2003a. A review of problems and challenges in the resource estimation of high-nugget effect lode-gold deposits. In Proceedings, Fifth International Mining Geology Conference. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 279-298.
- Dominy, S.C., Platten, I.M., Raine, M.D., 2003b. Grade and geological continuity in high-nugget effect gold-quartz reefs: Implications for resource estimation and reporting. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 112, 239-259.
- Dominy, S.C., Noppé, M.A., Annels, A.E., 2002. Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation-the importance of getting it right. Exploration and Mining Geology 11 (1-4), 77-98.
- Emery, X., Ortiz, J. M., 2005. Estimation of mineral resources using grade domains: critical analysis and a suggested methodology: The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 105, 247-256.
- Emery, X., Ortiz, J.M., Rodriguez, J.J., 2006. Quantifying uncertainty in mineral resources by use of classification schemes and conditional simulations. Mathematical Geology, 38(4), 445-464.
- Froidevaux, R., Roscoe, W. E. and Valiant, R. I., 1986. Estimating and classifying gold reserves at Page-Williams C zone- a case study in nonparametric geostatistics: In: Ore reserve estimation: methods, models and reality, Montreal, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, p. 280-300.
- Glacken, I.M., Sommerville, B. L. and Arnold, C. G., 2001. Reserve Estimation at Kambalda Nickel Operations from 1970 to 2000, in *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice* (Ed: A C Edwards), pp237-248 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Glacken, I.M., Snowden, D.V., 2001. Mineral Resource Estimation, in *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice* (Ed: A C Edwards), 189-198 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Guibal, D., 2001. Variography – A Tool for the Resource Geologist. In: Edwards, A.C. (Ed.) *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*. The Australian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne.
- Khakestar, M. S., Hassani, H., Angorani, S., 2011. A Hybrid Strategy to Optimize the Search Ellipsoid Dimensions: Case Study from Anomaly No 12A Iron Deposit in Central Iran: *Yerbilimleri*, 32 (1), 51-58.
- Price M., 2013. Strike it rich with maplex: Labeling oriented structure point labels in ArcGIS 10.1
- Royle, A. G., 1977. How to use geostatistics for ore reserve classification: *Eng. Min. Journal*, February, 52-55.

- Sabourin, R., 1984. Application of a geostatistical method to quantitatively define various categories of resources. In: *Geostatistics for Natural Resource Characterization*, Verly, G., M. David, A. G. Journel, and A. Maréchal (eds.), Dordrecht: Reidel, 1, p. 201-215.
- Saraç, C., Tercan, A. E., 1996. Grade and reserve estimation of the Tulovasi borate deposit by block kriging, *International Geology Review*, 38(9), 832-837.
- Stegman, C.L., 2001. How domain envelopes impact on the resource estimate – case studies from the Cobar Gold Field, NSW, Australia. In: Edwards, A.C. (Ed.) *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Sinclair, A.J. and Vallée, M., 1994. Reviewing continuity: An essential element of quality control for deposit and reserve estimation: *Exploration and Mining Geology*, 2, 95-108.
- Sinclair, A. J., Blackwell, G. H., 2002. *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge: Cambridge University Press, 381 p.
- Snowden, D. V., 2000. *Practical interpretation of mineral resource and ore reserve classification guidelines: mineral resource and ore reserve estimation-the AusIMM guide to good practice (Monograph 23)*..