Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **20** (2020) 055801 (908-916) AKU J. Sci. Eng. **20** (2020) 055801 (908-916)

DOI: 10.35414/akufemubid.653347

Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Bor Sahasının Rezervinin Belirlenmesine Damar Yüzeylerinin Farklı Tekniklerle Modellenmesinin Etkisi

Ali ATAŞ[1], İrfan Celal ENGİN[2*]

[1] *Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Balıkesir.*

[2] *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.*

[1] *e-posta: ali.atas@etimaden.gov.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7877-1492*

Sorumlu yazar [2] *e-posta: icengin@aku.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1793-901X*

Geliş Tarihi: 30.11.2019 Kabul Tarihi: 31.10.2020

Öz

Madencilik faaliyetlerindeki öngörülebilirliğin artırılması amacıyla maden yataklarının rezervlerinin belirlenmesi ve uzun vadeli ocak planlamasında bilgisayarlı modelleme tekniği son yıllarda önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmada, Netcad NETPRO/Mine madencilik yazılımı ile bir bor sahasının katı modeli oluşturulmuş, katı model oluşturulmasında kullanılan "damar yüzeylerinden katı model oluşturulması" yönteminde; farklı kestirim teknikleri ile damar yüzeylerinin modellenmesinin rezerv hesabına etkisi araştırılmıştır. İlk olarak, topoğrafik ölçümlerle elde edilen sayısal verilerle sahanın topoğrafyası bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Daha sonra, sahada önceden yapılmış olan 71 adet sondaja ait veri ilgili yazılımın veri tabanına aktarılmıştır. Son olarak, sahanın rezervini hesaplamak için sondaj verileri kullanılarak sahanın 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Katı modelleme esnasında farklı yöntemlerden saha için uygun görülen "damar yüzeylerinden katı model oluşturulması" yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemde damar yüzeyleri farklı kestirim teknikleri ile modellenerek katı modeller oluşturulmuş ve bu katı modellerin hacmi kullanılarak her kestirim yöntemi için sahanının rezervi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda rezerv miktarını en fazla hesaplayan kestirim yöntemi "Ters uzaklık" olup bunu "en yakın komşu", "kriging" ve "üçgenleme" yöntemleri izlemiştir. Hesaplamalar sonucunda çıkan kestirim yöntemleri kıyaslanmış ve bor sahasının özelliklerine uygun kestirim yöntemi seçilmiştir.

Anahtar kelimeler

Bor; Rezerv Hesabı; Yüzey Modelleme; Katı Modelleme; Yazılım; Yöntem

The Effect of Modelling Vein Surfaces with Different Techniques on the Determination of Reserve of a Boron Field

Abstract

In order to increase the predictability of mining activities, computerized modeling technique has gained an important place in the determination of mineral reserves and long term mine planning. In this study, a solid model of a boron field was created with Netcad NETPRO / Mine mining software. The effect of modeling of vein surfaces with different estimation techniques in reservoir calculation by creating a solid model from vein surfaces was investigated. First of all, the topography of the field was built in computer by using numerical data obtained from topographic measurements. Then, the data of 71 drillings which were made in the field were transferred to the database of the related software. Finally, a 3-D solid model of the site was created using drilling data to calculate the reserve of the site. During solid modeling, 'solid model formation from vein surfaces' method, which is deemed suitable for the field from different methods, was used. In the method used, the vein surfaces were modeled with different estimation techniques and solid models were formed and the reserve of the site for each estimation method was calculated separately by using the volume of these solid models. In the calculations, 'Inverse distance' is the prediction method that calculates the reserve amount at the maximum, followed by 'nearest neighbor', 'kriging' and 'triangulation' method. As a result of the calculations, the prediction methods were compared and the suitable one was selected according to the mine deposit properties of the boron field.

Keywords

Boron; Reserve Calculation; Surface Modeling; Solid Modeling; Software; Method

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Ülkemiz madencilik sektöründe gerek ihracat getirisi gerekse stratejik öneminden dolayı en önemli ürünlerden biri bor cevheridir. Tüm maden kaynakları gibi bor madenleri de tükenebilir kaynaklar arasındadır. Bu nedenle, planlı ve en verimli şekilde üretilmesi gerekmektedir.

Dünya bor rezervinin % 74'ü ülkemizde bulunmakta, üretiminin ise % 80'e yakını Türkiye ile birlikte ABD'de yapılmaktadır. Kolemanit, tinkal, üleksit bor mineralleri üretilen ham cevherler arasında yer alırken, bu cevherlerden elde edilen ticari ürünler ise boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, borik asit, sodyum perborat monohidrat ve susuz boraks olup çoğunlukla yurt dışına satılmaktadır. Ülkemizde bor cevherinin üretimi ve pazarlaması kamu yararı gözetilerek devlet eliyle yapılmakta olup Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Ülkemizin bor cevheri ve ürünleri ihracatı 2018 yılı itibariyle 900 milyon dolara yaklaşmıştır (Int Kyn. 1).

Teknolojik gelişimin her sektöre etkisi olduğu gibi madencilik sektörüne de olumlu etkileri olmuştur. Maden yataklarının bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak modellenmesi ve böylece cevherin konumu, tenör dağılımı, rezerv miktarı hakkında daha detaylı bilgiye ulaşılması bu gelişmelerden biridir. Cevher modelleme işlemleri madencilik faaliyetleri ile uğraşan kişilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İki boyutlu maden alanlarının modellenmesi ile ruhsat sınırları ile mera, orman, ÇED alanlarının ilişkilerinin kontrolü ve takibi kolaylaşmıştır. Cevher katı modelleme ve blok modelleme ile maden yatağının xyz koordinat eksenleri içerisinde yönelimi, hacmi, tenör/kalori/kalınlık dağılımı gibi bilgilerin hızlı ve etkin biçimde incelenmesi mümkün olmaktadır. Bir sonraki aşamada ise maden yatağının üretim planlaması yapılarak uzun vadede açık işletme veya yeraltı işletmesiyle nasıl üretileceği detaylandı-rılmaktadır. Bilgisayar yazılımları tüm bu işlemlerin hızlı ve verimli bir şekilde yapılmasına imkân vererek teknik elemanların işlerini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Özdemir 2013).

Konuma bağlı olarak değer alan değişkenler ilk olarak Matheron (1978) tarafından araştırılmış ve bölgesel değişkenler olarak isimlendirilmiştir. Maden yataklarının detaylı incelenmesinde kullanılan en iyi yöntem sondaj tekniğidir. Bununla birlikte maden sahasının her noktasında sondaj verisinin bulunması pratik olarak mümkün değildir. Bu nedenle maden sahasında sondaj verilerinin bulunmadığı noktalar için talep edilen bölgesel değişkenlerin değerlerinin tahmin edilmesi gerekir. Bu tahminde, mevcut sondaj noktalardaki bölgesel değişkenlerin bilinen değerleri kullanılır ve bu işlem de kestirim olarak adlandırılır. Kestirim işleminde kullanılmak üzere bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı konumsal değişimlerini matematiksel fonksiyonlar şeklinde ifade etmek oldukça zordur (Mert 2010). Bölgesel değişkenlerin kestiriminde kullanılan çeşitli teknikler mevcuttur. Jeoistatistiksel kestirim bu problemi çözmede kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Jeoistatistik, tanımlanan bir inceleme alanı içerisindeki bölgesel değişkenler arasında konumları ve aldığı değerleri kullanıp bir yapı tanımlayarak, istenen noktalarda değişkenlerin bilinmeyen değerlerinin kestirimini sağlar (Keskiner 2008).

Bu çalışmada, hâlihazırda açık ocak üretim yöntemi ile üretim yapılan bir bor sahasının NETPRO/Mine madencilik yazılımı kullanarak modellemesi yapılarak farklı tekniklere göre belirlenen rezerv miktarları arasındaki farklar irdelenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde, sahaya ait 71 adet sondaj verisinden yararlanılmıştır. Öncelikle, sondaj verileri ve sayısal topoğrafya verileri değerlendirilerek yazılım veri tabanına aktarılmıştır. Çalışma sahasındaki cevherin katı modelini oluşturmak için damar yüzeylerden katı model oluşturma yöntemi seçilmiş ve bu yöntemde farklı kestirim teknikleri kullanılarak cevher katı modelleri oluşturulmuş, uygun olan teknik seçilmeye çalışılmıştır.

2. Literatür Taraması

Maden yataklarındaki rezervlerin güvenirlik seviyesine göre çeşitli şekillerde tanımlanması uzun yıllardır yapılagelmektedir (McKelvey 1972, Caner 1976, USGS 1980, Caner 1983, Oygür vd. 1992, Noble 1993, Yüksek 1996, Fidan 2011). Dünya genelinde en son kabul gören tanımlama ülkemizde de UMREK Kodu olarak ifade edilen kaynak/rezerv tanımlaması ve sınıflama yöntemidir (UMREK 2018).

Maden üretiminin ilk aşaması cevher kütlesinin miktarının, tenör dağılımının ve diğer özelliklerinin doğru tespitiyle başlamaktadır. Cevher kütlesinin miktarı olarak ifade edilebilecek rezerv, teorik olarak maden yatağı işletilip cevher bitmeden tam olarak tespit edilemeyecektir. Bu sebeple herhangi

bir maden yatağındaki rezerv miktarının belirlenmesi genellikle rezerv kestirimi olarak ifade edilmektedir. Rezerv kestirimi işlemi ne kadar başarılı olursa maden üretimi planlaması ve ekonomik analizler de o kadar güvenilir olacaktır.

Rezerv kestirimi için maden yatağına ait çok sayıda sondaj verisi ve bunların içerdiği bilgilerin maden yatağının tümünü temsil edebilmesi için doğru bir kestirim metodu ile her noktaya atanması gerekmektedir. Maden yatağındaki verilerin tüm sahaya yayılmasında uygulanan klasik yöntemlerin başında poligon ve üçgen yöntemleri gelmektedir (Knudsen 1990, Erarslan vd. 1999). Bu yöntemlerle daha çok elle hesaplama yapıldığı dönemlerde ve uygulamalarda karşılaşılmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin kullanılmaya başlanmasından sonra uzaklığı tersi ve jeoistatistik gibi daha detaylı hesaplama yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (David 1977, Matheron 1978, David 1988, Knudsen 1990, Parker 1990, Elevli vd. 1995, Çetin 1996, Tercan 1996, Kırmanlı ve Nasuf 1998, Saraç ve Tercan 1998, Erarslan vd. 1999, Tercan ve Özçelik 2000). Günümüzde, maden yataklarına ait büyük miktardaki veriler, farklı kestirim metodları kullanılarak bilgisayar ortamında kestirilmekte ve rezerv hesaplamaları yüksek güvenilirlikle yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yazılımlar arasında; Datamine, Minex, NETPRO/Mine, Vulcan, Surfer, Micromine, Surpac sayılabilir (Üredi 2018).

Bilgisayar destekli maden rezerv kestirimi ile ilgili çalışmalar ülkemizde de yoğun ilgi görmüş; killi kalker sahasında (Katırcıoğlu 1998), dolomit sahasında (Aydın 2010), doğaltaş sahasında (Özyurt 2014, Aksoy 2018), kömür madeninde (Erdoğan 1998, Doğruöz 2003, Öngen 2008, Altınbaş 2017, Üredi 2018), bor madeninde (Selimoğlu 2004, Urazel 2018, Ataş 2019), bakır madeninde (İşleker 2009, Aliyazıcıoğlu 2011), kurşun-çinko madeninde (Toka 2015), demir madeninde (Açan 2013) ve asfaltit madeninde (Çakır 2011) çeşitli yazılımlar kullanılarak rezerv kestirimleri yapılmıştır.

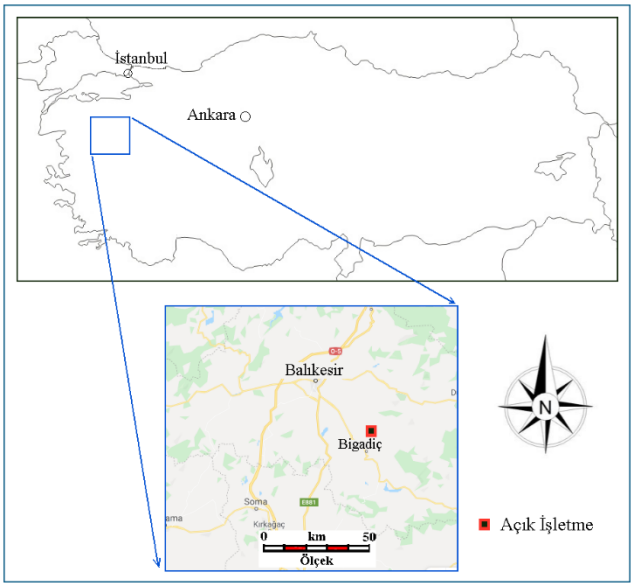
3. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, Etibank uhdesinde bulunan Bigadiç Bor İşletmesine ait bor sahasında yapılan sondajlardan elde edilen veriler yardımıyla farklı damar yüzey modelleme teknikleri kullanılarak cevher rezervleri hesaplanmıştır.

İlgili maden sahası bor cevherini içermekte olup, bu cevher tabakalı bir yapı göstermektedir. Maden sahasındaki alt boratlı zonda Yeşil, Sarı, Kristal, 4. Damar isimlerinde 4 ayrı kolemanit cevher damarı ve 1 adet üleksit cevher damarı bulunmaktadır. Cevher damarları kil, killi kireçtaşı ve kireçtaşı tabakaları ile birbirinden ayrılmaktadır. Maden sahasında, cevher damarları içerisinde tenörün değişiklik göstermediği tespit edilmiştir.

Bilgisayar yazılımlarıyla rezerv kestiriminde izlenen yöntem katı model oluşturma, kompozitleme ve blok model oluşturma safhalarını içermektedir. Bununla birlikte, ilgili maden sahası için rezerv hesabında tenör dağılımı düzgün olduğundan cevherin miktarı diğer bir deyişle tonajı ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle rezervi doğrudan etkilediği düşünülen damar yüzeylerinin farklı modellenmesinin rezerv miktarı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla sadece Kristal ismi verilen kolemanit cevher damarı üzerinde görünür rezerv hesaplaması yapılmıştır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Cevher rezervinin ve sınırlarının belirlenebilmesi için mevcut cevherin sondaj verileri kullanılarak katı model haline getirilmesi gerekmektedir. Maden yatağının katı modellemesi yapılırken farklı madencilik programlarında farklı yöntemler mevcuttur, bunlardan maden yatağının özelliklerine uygun olanı seçilmelidir. Katı modelleme işleminde uygulanacak yöntemin seçiminde, cevherin türü ve özellikleri, sondaj yerleşim planları, sahanın jeolojisi, gibi birçok değişken göz önünde bulundurulmalıdır.

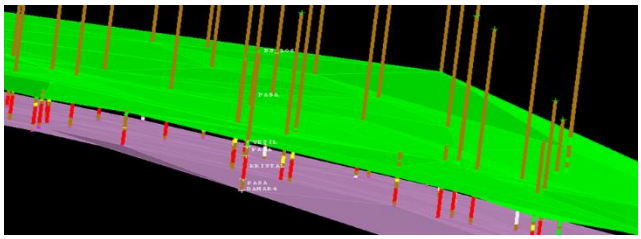
Çalışmada kullanılan NETPRO/Mine madencilik yazılımında katı model oluşturma için damar yüzeylerinden katı model oluşturma ve en

kesitlerden katı model oluşturma seçenekleri mevcuttur. Çalışma sahası için yüzeyler arası katı model yöntemi; cevherin tabakalı yapısı, bölge jeolojisi ve sondaj yerleşim planları göz önünde bulundurulduğunda güvenilir sonuçlar vereceği düşünülerek tercih edilmiştir.

Damar yüzeylerinin oluşturulmasında dört farklı teknik kullanılarak bunların seçimi halinde kestirilecek rezerv miktarları hesaplanarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

3.1 Yüzeyler Arası Katı Modelleme Yöntemi

Yüzeyler arası katı modelleme yöntemi, maden yatağındaki cevher kütlesinin alt ve üst sınırlarını belirleyen iki yüzeyin Şekil 2' de görüldüğü gibi 3 boyutlu olarak modellenmesi ve bu iki yüzeyin arasını dolduracak katı modelin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır.



Şekil 2. Yüzey Modelleme İşlemi

Yüzeyler arası katı model oluşturabilmek için öncelikle damar yüzeylerinin oluşturduğu yüzey modellenmelidir. Damar yüzeylerinin modellenmesi işleminde ilgili madencilik programı bünyesinde farklı yöntemler bulunmaktadır. İleriki bölümlerde bu işlemler detaylarıyla verilmektedir.

3.2 Damar Yüzeylerinin Modellenmesi

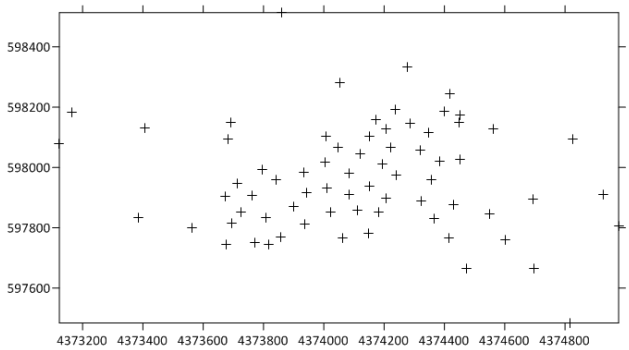
Yüzeylerin modellenmesi işleminde kullanılacak olan yöntemin seçimi katı model oluşturulması işleminde de olduğu gibi cevherin türü ve özellikleri, sondaj yerleşim planları, sahanın jeolojisi, kullanılacak yazılım gibi birçok parametreden etkilenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan NETPRO/Mine madencilik yazılımı farklı tekniklerle yüzey modellemesine imkân tanımaktadır. Yüzey modelleme işlemlerinde, "Poligon-Üçgenleme", "En Yakın Komşu", "Ters Uzaklık" ve "Krigleme" kullanılabilmektedir. En yakın komşu enterpolasyonu, en basit enterpolasyon yaklaşımlarından biridir. Bazı ağırlıklandırma kriterleri ile ortalama bir değer hesaplamak veya karmaşık kurallara dayalı bir ara değer üretmek yerine, bu yöntem basitçe "en yakın" komşu kompozit değerini belirler ve kestirim değeri olarak atar. Ters uzaklık enterpolasyonunda ise kestirimi yapılacak noktanın değeri kestirimde kullanılacak kompozit verilerin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Ortalamada kullanılacak ağırlıklar, kestirilecek nokta ve gözlem noktaları arasındaki uzaklıkların tersi ile orantılı olacak şekilde hesaplanır. Krigleme adından anlaşılacağı üzere kriging enterpolasyon yöntemini ifade etmektedir. Kriging, bilinmeyen alanlardaki değerleri tahmin ederken bilinen veri noktaları arasındaki mesafeyi ve değişkenlik derecesini dikkate alan bir jeoistatistik enterpolasyon tekniğidir. Öncelikle ilgili sahada değişkene ait variogram analizi yapılmalıdır. Bu yöntemde, değeri bilinmeyen noktanın kestiriminde kullanılacak gözlem değerlerine verilecek ağırlık kestirim hataları ortalamasını sıfır ve varyansı en küçük yapacak şekilde belirlenir. Bu sebeple, diğer enterpolasyon yöntemleriyle kıyaslandığında istatistiksel olarak en az hata üreten yöntem olarak kabul edilmektedir (Int. Kyn. 2)

Bu çalışma kapsamında, NETPRO/Mine madencilik programı bünyesindeki her bir teknikle ayrı ayrı katı modeller yapılarak rezervleri hesaplanmış ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.

4. Bulgular

Yüzeyler arası katı modelden hacim ve rezerv hesaplanırken, dört farklı yöntem kullanılmış ve her bir yöntem için ayrı ayı rezerv hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Çalışma alanına ait sondaj noktalarının dağılımı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Sondaj lokasyonlarının dağılım haritası

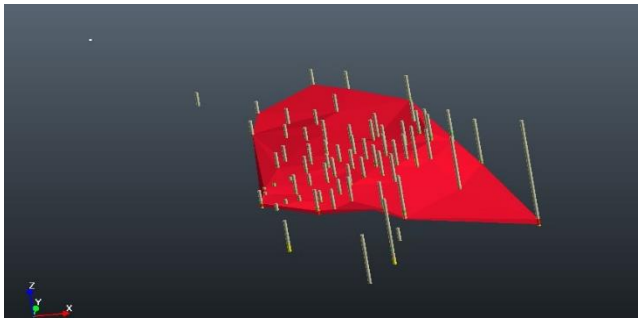
Karotlu sondajlarla 4 farklı cevher kesilmiş olup kalınlığı ve yayılımı en fazla olan kristal isimli cevher damarı bu çalışmada rezervi hesaplanmak üzere kullanılmıştır.

Rezerv hesaplaması damar alt ve üst noktalarının kullanılmasıyla oluşturulan yüzeylerin arasında kalan hacimlerin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Yüzeylerin oluşturulmasında poligon-üçgenleme, en yakın komşu, ters uzaklık ve kriging yöntemleri kullanılmıştır.

Sahada toplamda 71 adet karotlu sondaj verisi bulunmakla birlikte kristal isimli cevher damarını kesen 62 adet sondaj bulunduğundan yüzey modellemelerinde bu sondaj verileri kullanılmıştır.

4.1 Üçgenleme (Poligon) Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Üçgenleme işleminde, gözlem noktaları birbiri üzerine binmeyen Delaunay üçgenler ile birleştirilir. Her köşe noktası bir diğer köşe noktasıyla ilişkili olarak kabul edilir. Bu ilişki çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Herhangi bir noktadaki bilinmeyen parametre değeri, içinde bulunduğu üçgenin üzerinde oluşturulan fonksiyon ile kestirilmektedir. Aynı gözlem değerleri kullanılarak sistematiği olan fonksiyon olarak modellenebilen üçgenlemeler yapılabildiği gibi daha basit üçgenlemeler de yapılabilir (Lee ve Preparata 1984). Özetle, noktalarının işlenerek üçgenler ağı oluşturulmasına dayanır. Sahadaki bor cevherinin üçgenleme yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 4'de verilmektedir.

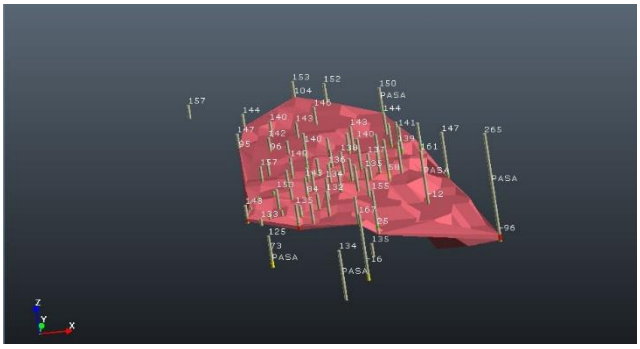


Şekil 4. Üçgenleme yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini üçgenleme tekniğiyle oluşturulduktan sonra iki yüzey arasında elde edilen katı hacim, 5.175.846 m^3 olarak hesaplanmıştır.

4.2 En Yakın Komşu Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Bu yöntemde, kestirim yapılacak noktaya en yakın gözlem değeri, kestirim değeri olarak atanır. (Int Kyn. 2). Sahadaki bor cevherinin en yakın mesafe yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 5'de görüldüğü gibidir.

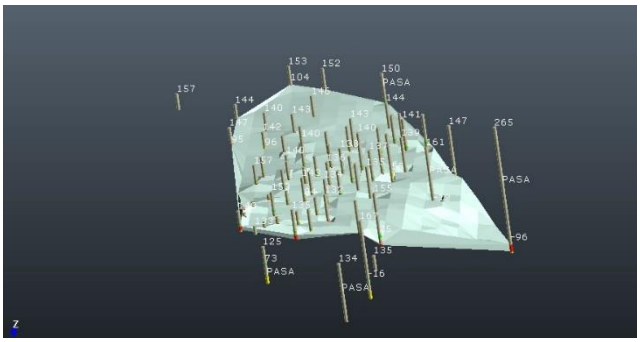


Şekil 5. En yakın mesafe yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini en yakın mesafe tekniğiyle oluşturulduktan sonra elde edilen hacim, 5.324.204 m^3'tür.

4.3 Ters Uzaklık Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Herhangi bir noktadaki kestirilen değer, gözlem noktalarında mevcut olan değerlerin ağırlıklı bir ortalaması ile hesaplanır. Hesaplamada kullanılan ağırlıklar, kestirim yapılacak nokta ve gözlem noktası arasındaki uzaklığın tersi ile orantılı olacak şekilde belirlenir. Sahadaki bor cevherinin ters uzaklık yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 6. Ters uzaklık yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini ters uzaklık tekniğiyle oluşturulduktan sonra damar yüzeyleri arasındaki katı model için elde ettiğimiz hacim, 5.561.346 m^3'tür.

4.4 Kriging ile Kestirimin Sonucu

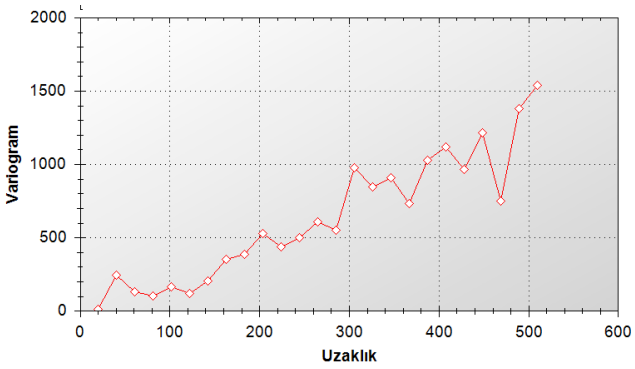
Krigleme ile yüzey kestirimi yapabilmek için öncelikle kullanılacak krigleme parametreleri girilmesi gerekmektedir. Bunun için önce çalışma sahası için variogram modeli oluşturulmuştur.

Variogram analizinde, en uygun model ve parametreler seçilerek deneysel variogram modeli

belirlenmiştir. Mesafe ve yöne bağlı damar kotları değeri değişiminin matematiksel fonksiyonunu belirleyebilmek için elde edilen deneysel variogram yapısına karşılık teorik variogram modellerinden en uygunu olarak lineer model görülmüştür. Netcad'te karşılığı olarak en yakın olan üstel model seçilmiştir. Sahaya ait damar üst kotları için deneysel yönlü variogram Şekil 7'de verilmiştir.

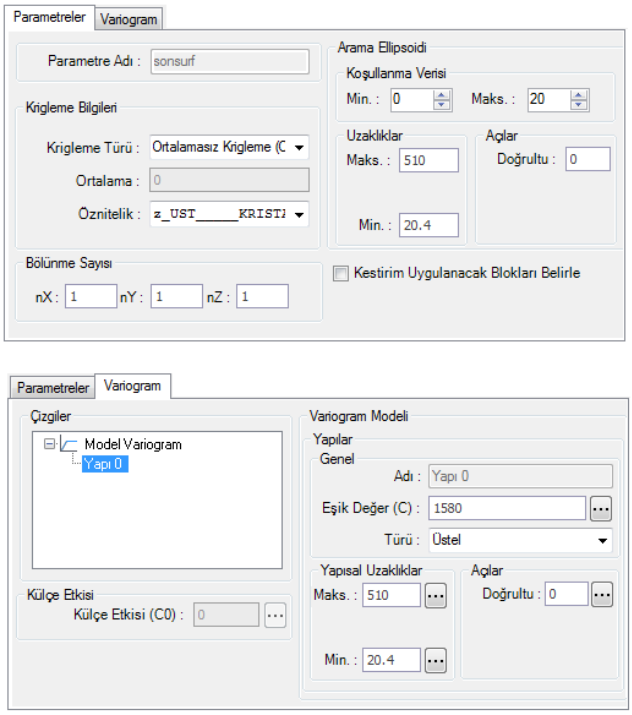
Variogram modeli seçilerek kriging işlemi gerçekleştirilmiş olup, kriging parametreleri ise Şekil 8'de verilmiştir.

Kriging uygulamasında variogram eşik değeri olarak 1580, yapısal uzaklık (etki mesafesi) ise 510 m olarak alınmıştır.

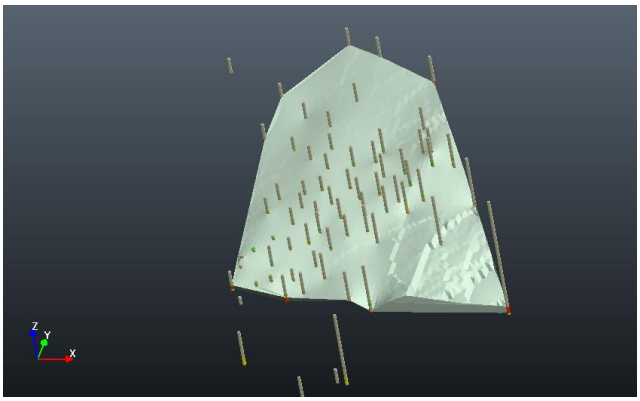


Şekil 7. Sahaya ait deneysel variogram

Damar yüzeyleri kriging tekniğiyle oluşturulduktan sonra damar yüzeyleri arasındaki katı model için elde edilen hacim, 5.208.228 m^3'tür. Elde edilen katı modelin görünümü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Kestirimde kullanılan kriging verilerinin Netcad kriging veri girişi pencereleri şeklinde görünümü



Şekil 9. Kriging yöntemi ile yapılan katı modelleme

4.5 Farklı Yüzey Modelleme Teknikleri ile Yapılan Kestirim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan yüzey modelleme tekniklerinin parametre değerleri Çizelge 1'de görülmektedir. Üçgen sayılarına bakıldığında en az üçgen sayısının üçgenleme yöntemi ile yapılan çalışmada olduğu diğer tekniklerde ise değişken oranlarda fazla olduğu görülmektedir. Üçgen sayısındaki azlığın yapılan hesaplamalardaki hassasiyeti azaltmakta olduğu düşünülmektedir. X ve Y genişliğine baktığımızda ise hesaplamaların sondaj sınırlarında son bulduğu için eşit olduğu Z ortalama genişliğinin ise modelleme tekniğine göre değiştiği ve bunun hacim hesabına doğru

orantılı olarak yansıdığı görülmektedir.

Öte yandan daha önceleri anlatıldığı gibi en yakın komşu yönteminin genel prensibi neticesinde, oluşturulan modelde kestirim yapılacak noktaya en yakın sondaj değeri doğrudan atanmıştır.

Ters uzaklık yönteminde ise kestirim yapılacak noktaya değerler gözlem noktalarına olan mesafenin tersi oranında ağırlıklar verilerek atanmıştır. Kriging yönteminde ise sahaya ait variogram modeli kullanılarak kriging kestirimi yapılmıştır. Yüzey modellemede en yüksek üçgen sayısı krigingle yapılan modellemede elde edilmiştir.

Çizelge 1. Yüzey modelleme parametreleri

Kullanılan Teknik	Üçgen sayısı	X Genişliği (m)	Y Genişliği (m)	Ortalama Z Genişliği (m)	Hacim (m^3)	Rezerv (ton cevher)
Üçgenleme (Poligon)Yöntemi	246	850,35	1.303,36	7,086	5.175.846	11.386.861
En Yakın Komşu yöntemi	1.390	850,35	1.303,36	7,289	5.324.204	11.713.249
Ters Uzaklık yöntemi	1.390	850,35	1.303,36	7,614	5.561.346	12.234.961
Kriging Yöntemi	17.474	850,35	1.303,36	7,134	5.208.228	11.458.102

5. Tartışma

Damar üst ve alt noktalarının kullanılmasıyla damar yüzeylerinin modellenmesi sonucu elde edilen yüzeyler incelendiğinde ilk üç yöntem olan, üçgenleme, en yakın komşu ve ters uzaklık yöntemleriyle yapılan modellemelerde yüzeylerin kırık düzlemlerden birleşik bir yapıya sahip olduğu gözlenmektedir.

Oysaki jeolojik oluşum itibariyle de bir cevher tabakasının üst sınırını veya alt sınırını belirleyen tabaka sınırı düzleminin daha yumuşak kıvrımlar içermesi ve fay vb. tektonik yapılarla kesilmediği sürece bir süreklilik arz etmesi beklenir.

Yüzey modelleme sonuçları incelendiğinde, üçgenleme (poligon) yönteminde 246, en yakın komşu yönteminde 1.390, ters uzaklık yönteminde ise 1.390 üçgen ile yüzeylerin oluşturulduğu görülmektedir. Kriging yönteminde ise 17.474 üçgen ile cevher kütlesinin üst ve alt düzlemleri (yüzeyleri) oluşturulmuştur.

Modellenen yüzeylerin görünümleri incelendiğinde kriging ile oluşturulan yüzeylerin ve dolayısıyla katı modelin daha yumuşak hatlara sahip jeolojik yapıyı daha iyi yansıtan bir özellikte olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada tespit edilen rezerv, sondaj noktaları ile çevrili alan içerisinde kalan tüm cevher kütlesini yansıtmaktadır. İşletilebilir (üretilebilir) cevher miktarı bu rezervin açık ocak sınırı olarak belirlenen alan içinde kalan kısmı olarak daha sonra yeniden değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada irdelenen rezerv kestirim yöntemleri kullanım kolaylıkları bakımından karşılaştırıldığında üçgenleme yöntemi öne çıkmaktadır. Kriging yöntemi en ideal yöntem olmakla birlikte uygulayabilmek için belli bir bilgi alt yapı gereksinimi söz konusudur. Bu bağlamda, jeoistatistik bilgisi yetersiz olan bir maden mühendisinin yöntemi uygulaması ve uygun parametreleri seçmesi zor olacaktır. Ancak diğer yöntemlerin uygulaması için böyle bir bilgiye gereksinim duyulmamaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada damar üst ve alt noktaları kullanılarak yapılan yüzey modelleme uygulamasında, modelleme tekniklerinin maden yatağındaki hacim/rezerv hesabına etkisi irdelenmiştir. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiği zaman üçgen sayılarında ve rezerv hesaplamalarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Tekniklerin farklı rezerv sonuçları vermesi, ufak hataların ve sapmaların ciddi sonuçlar ve maliyetler ortaya çıkardığı bor madenciliği sektörü düşünüldüğünde rezerv hesaplama işleminde seçilecek yöntem ve tekniğin önemini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmaların sonucunda daha fazla üçgen oluşturarak daha hassas bir hesaplama yapılmasını, sondajlar arasında korelasyon sağlaması özelliği ve sedimanter bir yapıya sahip olan bor cevheri için tabaka yüzeyini daha iyi yansıttığından dolayı kriging yönteminin diğer yöntemlere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, sondaj verilerinin kullanımı ile ilgili müsaadeleri dolayısıyla Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ve NETPRO/Mine yazılımının kullanılması konusundaki desteklerinden dolayı Netcad Yazılım A.Ş.'ne müteşekkirdir.

Kaynaklar

Açan, H. 2013. Bir Demir Sahasının Surpac Madencilik Entegre Yazılımı ile Değerlendirilmesi., İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 184.

Aksoy, K. 2018. Jeoistatistiksel yöntemler kullanarak bir mermer yatağındaki seleksiyonların değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 92.

Aliyazıcıoğlu, Ş. 2011. Örnek bir bakır madeninin SURPAC programı ile modellenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 95.

Altınbaş, H. 2017. Çanakkale-Çan kömür yatağının SURPAC programı kullanılarak ekonomik değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ekonomik Jeoloji Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 169.

Ataş, A. 2019. Bigadiç bor açık işletmesinin bilgisayar yardımıyla modellenerek revizyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 98.

Aydın, S. 2010. Bir dolomit açık işletmesinde üç boyutlu modelleme ile üretim kalitesinin kontrolü, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98.

Caner, G. 1976. Rezerv, Tenör ve İşletilebilirlik Kavramları, MTA Yayınları No.158, Ankara.

Caner, G. 1983. Mineral (Maden) Kaynak ve Rezervlerinin Sınıflandırılması (Kavram, Terim ve İlkeleri), MTA Yayınları No.188, Ankara.

Çakır, B. 2011. Silopi (Harbul-Üçkardeşler) asfaltit filonunun micromine madencilik tasarım programı kullanılarak incelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 129.

Çetin, M. 1996. Jeoistatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi, Örnek Havza Uygulamaları, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 130.

David, M. 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, New York: 364.

David, M. 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, New York.

Doğruöz, C. 2003. T.K.İ. Seyitömer linyit sahasının SURPAC vision madencilik programı ile değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 102.

Elevli, B., Yuksek, S. ve Demirhan, S. 1995. *Poligon ve Mesafeyle Ters Ağırlıklı Yöntemlerle Jeolojik Blok Model Çıkarılması,* Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, İzmir, 25-30.

Erdoğan, T. 1998. Madencilikte bilgisayar uygulamaları ve SURPAC 2000 yazılımı ile bir saha çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 118.

Fidan F. 2011. Hınıs-Zırnak (Erzurum) Yöresi Linyit Yatağının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 102.

İşleker, H. 2009. Bir maden yatağının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 76.

Katırcıoğlu, İ.G. 1998. Çimento hammaddelerinin özellikleri, optimizasyonu ve SURPAC 2000 ile bir saha çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 154.

Keskiner, A.D. 2008. Farklı Olasılıklı Yağış ve Sıcaklıkların CBS Ortamında Haritalanmasında Uygun Yöntem Belirlenmesi ve M. TURC Yüzey Akış Haritasının Geliştirilmesi: Seyhan Havzası Örneği, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 100.

Kırmanlı, C. ve Nasuf, E. 1998. Denizli-Tavas-Ulukent Manganez Açık İşletmesinin Jeoistatistiksel Yöntemle Rezerv-Tenör İlişkisinin Belirlenmesi, *Madencilik Dergisi*, **37**, 3, 19-27.

Knudsen, H.P. 1990. Computerized Conventional Ore Estimation Methods, Surface Mining, 2nd ed., Kennedy, B.A. (ed.), AIME, 293-300.

Lee, D.T., Preparata, F.P. 1984. Computational Geometry - A Survey, IEEE Transactions On Computers, **c-33**, 12.

Matheron, G. 1978. L'estimation globale des re´serves re´cupe´rables, course notes C-75, Centre de Ge´ostatistique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, 28.

McKelvey, V.E. 1972. Mineral resource estimates and Public Policy, *American Scientist*, **60**, 32-40.

Mert, B.A. 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 323.

Noble, A.C. 1993. Geologic Resources vs. Ore Reserves, Mining Engineering, Technical Papers, 173-176.

Oygür, V., Eyyubuğlu, T., Bektimuroğlu, O., Cengiz, E., Emre, E. ve Bumin, M. 1992. Kaynak ve Rezerv Sınıflandırmaları ile Hesaplamalarının Temel ilkeleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 27, Teknik Klavuzlar Serisi:3, Ankara.

Öngen, Ö. 2008. Madencilikte bilgisayar uygulamaları ve Surpac yazılımı ile bir ocak planlaması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 139.

Özdemir, A. 2013. Yüzey Modelleme Teknikleri ve Kömür Yatağına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 39.

Özyurt, U. 2014. Bir mermer yatağı için ayrıntılı rezerv hesaplamasının bir madencilik modelleme yazılımı ile gerçekleştirilmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, 105.

Parker, H.M. 1990. Reserve Estimation of Uranium Deposits, Surface Mining, 2nd ed., Kennedy, B.A. (ed.), AIME, 355-375.

Saraç, C., ve Tercan, A.E., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeoistatistiksel Yöntemler, Ankara, TURKEY.

Selimoğlu, Ö. 2004. Bilgisayar destekli entegre açık işletme tasarımı ve planlaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98.

Tercan, A. E. and Ozcelik, Y. 2000. Geostatistical Evaluation Of Dimensionstone Quarries, *Engineering Geology*, **58**, 25-33.

Tercan, A. E., 1996. Maden Yatakları Sınır Belirsizliğinin İndikatör Kriging ile Değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayı Kömür Yatağında Bir Uygulama, *Madencilik*, Aralık. **4**, 3-11.

Toka, E. 2015. Geostatistical evaluation of lead and zinc ore body in Balya-Hastanetepe mine in Turkey, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 129.

UMREK 2018. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Kodu, Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK), The Natıonal Code For Publıc Reportıng of Exploratıon Results, Mıneral Resources And Mıneral Reserves Of Turkey (THE UMREK CODE), 92.

Urazel, F. 2018. Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya Açık Ocağı'nda bilgisayar destekli orta vadeli üretim planlaması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 113.

USGS 1980. The U.S. Department of Enterion Resource/ Reserve Classification Method, United State Geological Survey, Circular 831, Washington, 5.

Üredi, T. 2018. Bilgisayar destekli cevher modellemesi ve açık işletme tasarımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 86.

Yüksek, S., 1996. Divriği demir yatağının üç boyutlu (3D) jeolojik blok modelinin çıkarılması ve rezerv hesaplamaları, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas, 132.

İnternet Kaynakları:

1. http://www.etimaden.gov.tr, 13.10.2018
2. http://www.netcad.com.tr/netpromine, 16.11.2018