



BAĞIRKAÇDERE (ÇANAKKALE) PB-ZN YATAĞI'NIN 3B CEVHER BLOK MODELLEMESİ

Sinan AKISKA^{1*}, Elif AKISKA¹

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

Özet: Bağırkaçdere Pb-Zn yatağı Edremit (Balıkesir)'in yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Yatak özellikle son 30 yıldır aralıksız işletilmektedir. Bölgede yüzlek veren birimler; şist, metakumtaşı ve mermer mercerlerinin bulunduğu metamorfik birimler ile cevherleşme zonuna ait cevher-alterasyon kayalarındır. Bölgedeki faylar çoğunlukla KB-GD yönelimli olup cevherleşmeler de bu yönere uyumlu olarak gözlenmektedir. Bu çalışmada çalışma alanında yer alan 19 adet sondajda kesilen cevherli zonlar ve bunlara ait %Pb ve %Zn değerleri modellenmiştir. Yeraltında tespit edilen cevherli alanlar arasında, %Pb ve %Zn'nin işletme tenörü üzerinde kalan alanlarının kesişim bölgeleri belirlenmiş (26.337.500 hacimsel küp) ve bu parametreler yardımı ile yorumlanmış bir galeri haritası çizilmiştir. Bu modelleme çalışmasında Ters Mesafe Ağırlıklı interpolasyon algoritması kullanılmış ve modelleme çalışmasının parametreleri test edilmiştir. %Pb için optimal parametreler, güç değeri ve komşu değeri olarak 3'tür. %Zn için optimal parametreler ise sırasıyla güç değeri ve komşu değeri olarak 3 ve 2'dir. %Pb için Ortalama Mutlak Hata 2,00 ve Kare Kök-Ortalama Hata 4,25 iken, %Zn için Ortalama Mutlak Hata 1,14 ve Kök-Ortalama-Kare Hata 2,95'dir. Yapılan bu çalışma ile bir maden sahasında açılması planlanan bir maden ocağının yeri ve yönü tahmin edilebilmektedir. Ayrıca, metal fiyatlarındaki dalgalanmalar veya diğer artan maliyetler gibi önemli finansal değişiklikler olması durumunda, çalışma sırasında bu modelleme çalışmaları kullanılarak yeraltı madencilik operasyonları yeniden tasarlanabilir.

Anahtar kelimeler: Üç boyut, Blok model, Ters mesafe ağırlıklı, Galeri, Maden

3D Ore Block Modeling of the Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn Deposit

Abstract: Bağırkaçdere Pb-Zn deposit is located approximately 10 km northeast of Edremit (Balıkesir). The deposit has been operated continuously for the last 30 years. The metamorphic units (schist, metasandstone, and marble lenses) and ore-alteration rocks are outcropped in the region. The faults in the region are mostly NW-SE oriented and mineralizations are observed in accordance with these directions. In this study, the ore zones cut in 19 boreholes and their %Pb and %Zn values were modeled. Among the ore zones detected in the subsurface environment, the intersected areas of %Pb and %Zn above the cutoff grades were determined (26,337,500 voxel) and an interpreted gallery was drawn using these parameters. In this modeling study, Inverse Distance Weighted interpolation algorithm was used and the parameters of the modeling study were tested. The optimal parameters for Pb% are 3 both as power value and neighbor value, while the optimal parameters for Zn% are 3 and 2 as power value and neighbor value, respectively. Mean Absolute Error is 2.00 and Root-Mean-Square Error is 4.25 for Pb%, while Mean Absolute Error is 1.14 and Root-Mean-Square Error is 2.95 for Zn%. With this study, the location and the direction of an ore adit, planned for opening in a mining area, can be estimated. In addition, underground mining operations can be redesigned using these modeling studies during work in case of any important financial changes such as fluctuations in metal prices or other increasing costs.

Keywords: Three dimension, Block model, Inverse distance weighted, Gallery, Ore

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

E mail: akiska@eng.ankara.edu.tr (S. AKISKA)

Sinan AKISKA <https://orcid.org/0000-0001-8262-7349>

Elif AKISKA <https://orcid.org/0000-0002-6180-4710>

Gönderi: 24 Eylül 2022

Received: September 24, 2022

Kabul: 01 Kasım 2022

Accepted: November 01, 2022

Yayınlanma: 01 Ocak 2023

Published: January 01, 2023

Cite as: Akiska S, Akiska E. 2023. 3D Ore block modeling of the Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn deposit. BSJ Eng Sci, 6(1): 10-17.

1. Giriş

Maden yataklarının değerlendirilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, yeraltının tamamına ait gözlem olmamasıdır. Ancak sondajlar, kuyu logları ve jeofiziksel ölçümlerden elde edilen veriler bize yer altı hakkında önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Sondajlardan elde edilen verilerin yer altının tamamının yorumlanması için kullanımı ancak bu verilerin uygun interpolasyon yöntemleri ile bir araya getirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu sebeple uygun interpolasyon yöntem seçimi doğruya en yakın tahmin için oldukça önemlidir. Yapılan interpolasyon çalışmaları ile birlikte

elde edilen hata tahmin verileri ve çapraz doğrulama teknikleri ile yapılan interpolasyon çalışmalarının doğrulukları denetlenebilmektedir (Johnston ve ark., 2001; Li ve Heap, 2008; Akiska ve ark., 2013a).

Jeolojik verilerin tam boyutunun belirlenmesi 1990'larda 3D yazılımı geliştirilmeden önce neredeyse imkansızdı. 3D rekonstrüksiyon için hazırlanan yazılımların son zamanlardaki gelişimi (örn. Lynx, GeoModeller, gOcad, LeapFrog, Rockworks), dünya biliminde her türlü jeolojik yapının mekansal uzantısının ve 3D sanal modellerin n-boyut analizine yol açan yeni sınırları açmıştır. Günümüzde, CBS, veritabanı ve 3B görselleştirme



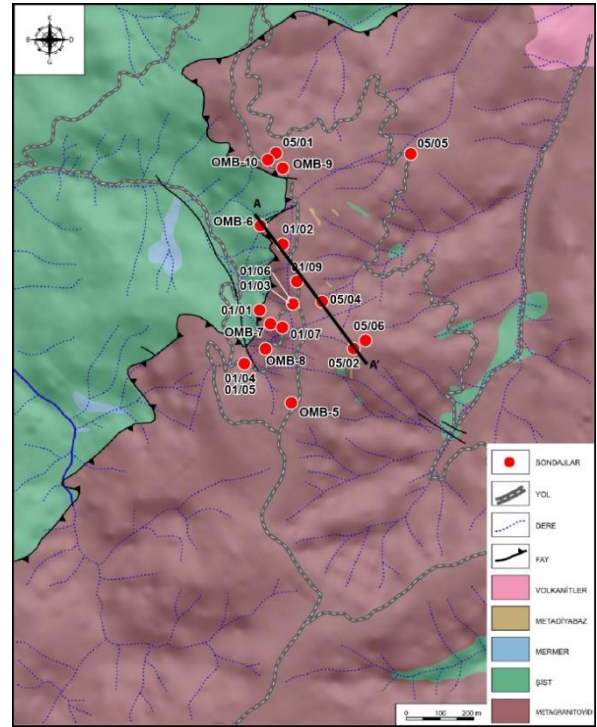
yazılımı, jeolojik bilginin jeolojik verileri görüntülemesi, analiz etmesi, sentezlemesi, modellemesi ve yorumlaması için kullanılan yaygın araçlardır (Zanchi ve ark., 2009). Yeryüzü madenlerinin gün geçtikçe azalması ile özellikle son yıllarda yeraltı madenlerinin araştırılması birçok ülkede ana hedef haline gelmiştir (Zhao ve ark., 1992). Genellikle cevher kütlelerinin tahmini geleneksel yöntemlerden, bilgisayar sektörünün de gelişmesi ile, daha ayrıntılı hesaplamalara ve tahminlere doğru kaymıştır. Basit 2B tahminlerin yerini 3B tahminler almıştır. Şu anda yeraltı maden tahminine ilişkin 3B teknikler ve teoriler, 3B bilgi alma, 3B tahminler ve 3B görselleştirme teknolojilerinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır (Chen ve ark., 2007). Yeraltının modellenmesi için birçok özel bilgisayar programı maden arama, madencilik ve petrol ve gaz endüstrilerinde geliştirilmiştir. Madencilik sektörü, genellikle büyük miktarlarda sondaj verilerine dayanarak, coğrafi ve cevher kütlelerinin mekansal modellenmesine odaklanmıştır (Turner, 1992; Houlding, 1994; Loudon, 2000). Veri interpolasyon teknikleri ve cevherin 3B modellenmesi de dahil, madenlerin görselleştirilmiş 3B jeolojik modellenmesi ile ilgili daha önceden gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır (örn. Wang vd., 2005; Feltrin vd., 2009; Ming vd., 2010). Geçtiğimiz 30 yıl boyunca 3B bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile birlikte birçok araştırmacı 3B teknolojisi kullanarak cevher kütlesi rezerv hesaplaması ve 3B gösterimi (örn. Zhang, 2006; Akıska ve Akıska, 2018a; Akıska ve Akıska, 2018b), 3B jeolojik haritalama (örn. Zhang ve ark., 1999), 3B yapısal unsurların modellenmesi (örn. Zanchi ve ark., 2009; Dhont ve ark., 2012) gibi birçok çalışma yapmışlardır.

Bu çalışma ile yeraltında tespit edilen bir gömülü cevheri kazanmak için en optimum yeraltı galerisinin modelleme yardımı ile nasıl çizilebileceğine dair bir çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel ve çapraz doğrulama yöntemleri ile de denetlenmiştir. Bunun için de polimetalik bir cevherleşme olan Bağırkaçdere Pb-Zn-Cu cevherleşmesine ait sondaj verileri kullanılmıştır.

2. Bölgesel Jeoloji

Son 30 yılda aktif olarak işletilen Bağırkaçdere Pb-Zn yatağı Biga Yarımadası'ndaki (KB Türkiye) önemli baz metal yataklarından biridir. Cevher oluşumu, yan kayaç karakteristikleri ve cevherleşme sırasındaki fizikokimyasal şartlar göz önüne alındığında son yıllarda yapılan çalışmalarda bölge cevherleşmelerinin distal Pb-Zn skarn tipi cevherleşmeler oldukları ortaya koyulmuştur (Akıska, 2010; Akıska ve ark., 2013b; Akıska, 2020). Çamlık metagranitoyidi, Karakaya metamorfik birimleri ve skarnlar bölgede gözlenen kayaçlardır. Çamlık metagranitoyidi, Sakarya kıtası içerisinde yüzlek veren Paleozoyik granitoidlerinden bir tanesidir (Delaloye ve Bingöl, 2000; Okay ve ark., 2006, Topuz ve ark., 2007). Yaşı, Okay ve ark. (1996) tarafından 399 ± 13 my (Devoniyen) olarak tespit edilmiştir. Karakaya metamorfik birimleri Permo-Triyas yaşlı düşük

dereceli metasedimanter kayaçlar ve metadiyabazlardan oluşmakta olup protolitleri Karakaya Okyanusu'nun denizel sedimanlarıdır (Okay ve ark., 1990). Çalışma alanının batısında Oligo-Miyosen yaşlı Eybek plütünü tarafından kesilmiş iken doğuda Çamlık metagranitoyidi ile ilişkisi tartışmalıdır (Okay ve ark., 1990; Aysal ve ark., 2012). Karakaya metamorfik istifi, cevherleşme zonlarını da içeren şist, metakumtaşı ve mermer merclekleridir. Fayların genel eğilimleri KB-GD'dir. Bölgedeki cevherleşmelerin konumu genellikle bu yönlerle uyumludur. Bağırkaçdere galerisi içindeki ana cevherli zon kuzeybatı-güneydoğu yönlü olup, zon yapısal kontrollüdür. Şistozite düzlemleri ve bu düzlemlere paralellik gösteren daha genç faylar cevherin yerleşmesi için uygun alanları oluşturmuştur (Akıska, 2010) (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Çetinkaya, 1983a).

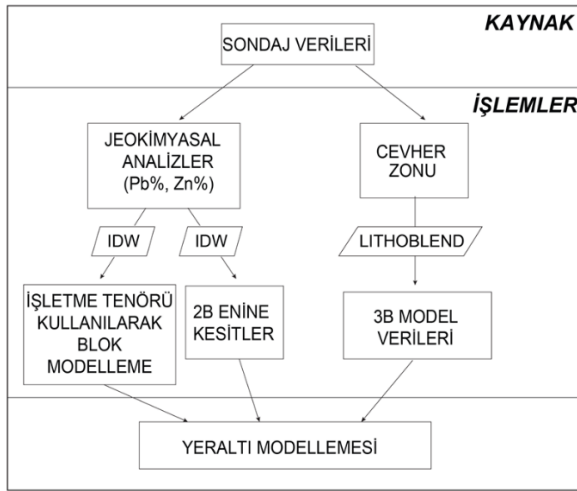
Çamlık metagranitoyidi üzerinde yapılan makroskopik incelemelerde genellikle sarı-kahverengi renklere sahip olduğu görülmektedir. Zayıf yapraklanma gösteren grantioidik kayaçta kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve muskovit taneleri makroskobik olarak izlenmektedir. Bazı kayaçlarda şistozite düzlemine paralel veya onu kesen ikincil çatlaklar ve bunları dolduran kuvars ve kalsit damarları da gözlenmektedir. Karakaya metamorfik birimleri genellikle klorit şist, biyotit şist, serizit-klorit şist ve serizit grafit-şist şeklinde gözlenmekte olup bu birimler içerisinde boyutları birkaç metreden birkaç yüz metrelere kadar oluşan metakumtaşı, metadiyabaz ve mermer merclekleri içermektedir (Yücelay, 1976; Çetinkaya ve ark., 1983a; Çetinkaya ve ark., 1983b). Çalışma alanında ise çoğunlukla grafit şistler ve serizit-grafit şistler yüzlek

vermektedir. Belirgin şistozite düzlemlerine sahip bu birimler içerisinde hem şistoziteye paralel hem de şistoziteyi kesen ikincil kuvars ve kalsit damarları görülmektedir. Ana mineraller kuvars, grafit ve serizit iken tali olarak da epidot ve kloritler görülmektedir. Metakum taşları genellikle açık sarı ve beyazımsı renklere görülmektedir. Çoğunlukla silisleşmeler gösteren kayacıkta kuvars, ortoklas, plajiyoklas mineralleri ana mineraller olarak izlenmekte iken klorit ve serizit ise tali minerallerdir. Mermerler ise mozayik doku gösteren orta taneli kalsitlerden oluşmaktadır.

3. Yöntem

3.1. İnterpolasyon Algoritması

Modelleme çalışmalarında çalışma içeriğine, veri frekanslarına ve veri doğruluklarına göre farklı interpolasyon algoritmaları kullanılabilir. Bir modelleme çalışmasında bu interpolasyon algoritmaları test edilir ve en iyi sonuçlar seçilir. Bu modelleme çalışmasında da, çeşitli interpolasyon algoritmaları test edilmiş ve ardından “Cevher Zonu” katı modellemesi için Lithoblend algoritması ve %Pb ve %Zn modellemesi için Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntem seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Modelleme işlemlerinin akış şeması.

En yakın komşu jeo-uzamsal algoritması olan Lithoblend algoritması, litolojik modelleme için özel olarak tasarlanmıştır (Rockware, 2008). Algoritma, her bir litolojinin etrafındaki yatay düzlemi araştırır ve her bir litolojinin etrafında büyüyen bir daireyi izleyerek, halihazırda interpolasyon yapılmış bir düğüme çarpmadığı sürece, karşılık gelen sayısal değeri (litoloji tablosunda tanımlanan) bir sonraki düğüme yinlemeli olarak atar (Rockware, 2008). Bunun dışında, sondaj verileri, %Pb ve %Zn işletme sınır dereceleri kullanılarak IDW yöntemi ile interpolasyona tabi tutulmuştur. IDW, en basit ve en yaygın kullanılan deterministik yöntemlerden birisidir. IDW yöntemi, iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğunu varsayar (Isaaks ve Srivistava, 1989; Li ve Heap, 2008). Bu nedenle bilinmeyen bir nokta tahmin edilirken, yakın noktalar

çok ve uzak noktalar ise az ağırlıklandırılarak tahmin yapılır (Franke ve Nielson, 1980). IDW Eşitlik 1'deki formülle ifade edilir;

$$\vartheta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} \vartheta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (1)$$

ϑ , öznitelik değeri tahmin edilecek noktayı; n, ölçüm noktasının toplam sayısını; d, noktalar arası mesafeyi; ϑ_i , i'inci konumdaki öznitelik değerini ifade eder. Tahminde kullanılan ağırlıklar, mesafeye ters orantılı olarak herhangi bir üssü (p: power) ile ifade edilir. Bu değer özellikle devamlılığın az olduğu durumlarda daha yüksek tutulur. IDW'nin doğruluğunu etkileyen ana faktör p parametresinin değeridir (Burrough ve McDonnell, 1998). Optimal p değeri seçimi için bu çalışmada minimum RMSE'ye karşılık gelen 3 değeri seçilmiştir.

3.2. Yazılım Özellikleri

Bu çalışmada yeraltı modellemesini kullanan Rockworks 15® yazılımı, iki farklı jeolojik veri setini kullanır: litolojik ve/veya stratigrafik. Sondaj verilerindeki tüm birimler yazılıma girildikten sonra litolojik birimler kullanılarak modelleme işlemleri yapılır. Yeraltı modellemesi için stratigrafi kullanılıyorsa, litolojik birimler yorumlanmalıdır. Stratigrafiye dayalı modelleme ile litolojiye dayalı modelleme arasındaki temel fark, stratigrafik birimlerin dizide asla tekrarlanmaması ve üst ve alt birimler arasındaki ilişkilerinin değişmez olmasıdır. Oysa litolojik birimler tekrarlanabilir. Yazılım, litoloji tabanlı modelleme için voxel (Volumetric piXEL) tabanlı blok modelleme yöntemini kullanır. Blok modelleme, düzensiz aralıklı verilerden türetilen düzenli aralıklı düğümlerden bir küp oluşturan üç boyutlu bir ızgara işlemidir. 3B modelleme sırasında, yeraltı, voxel adı verilen belirli boyutlara sahip hücrelere bölünür ve bu hücrelere karşılık gelen jeolojik birimler küpleri oluşturur. Oluşturulan her voxel, düğüm adı verilen köşe noktalarıyla tanımlanır. Her düğümün bir x, y ve z (konum koordinatı) ve g (bu çalışmada, litoloji g değerine atanmıştır) değerleri vardır (Rockware, 2008).

4. Sonuç

4.1. Cevherleşmenin 3B Modellemesi

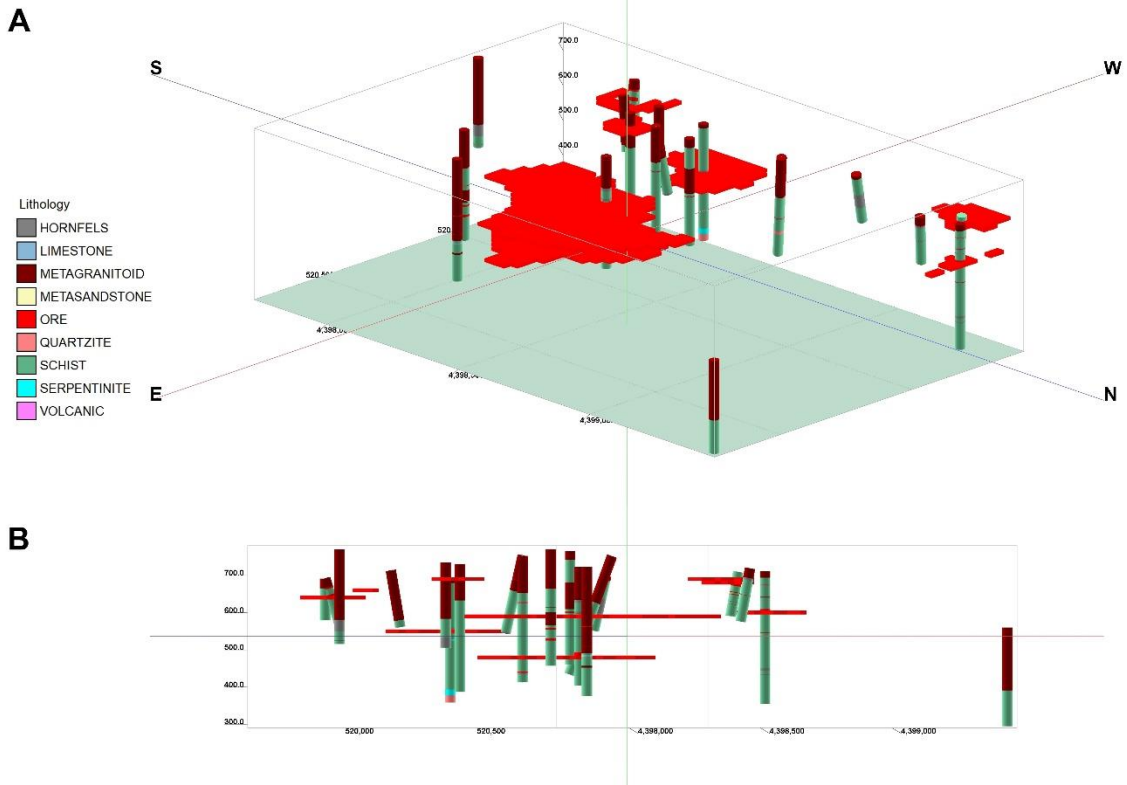
Çalışma alanı yaklaşık 3 km²'lik bir alanda yer almakta olup düzensiz bir topografyaya sahiptir. Bölgede toplam 1100 metre uzunluğunda üç adet galeri yer almaktadır. Yeraltı modellemesi oluşturmak için 19 adet sondaj verisi Çetinkaya (1983) ve Oreks Madencilik Ltd. Şti.'den alınmıştır. En sığ sondaj 60 m (S-01) ve en derin sondaj 245,65 m'dir (S-13). Toplam sondaj derinliği 4761,8 m, ortalama sondaj derinliği 250,62 m'dir. 19 sondaj kuyusunun 14'ünde cevher zonları görülmektedir. Lithoblend ve IDW algoritmaları sırasıyla “ORE ZONE” ve %Pb ve %Zn değerlerine uygulanmıştır. 10x10x6m boyutlarında hem %Pb hem de %Zn için 4.161.802 voxel oluşturulmuştur. Her eleman için güç değeri (p) “3”

olarak seçilmiştir. Komşu sayıları sırasıyla %Pb ve %Zn için 3 ve 2'dir. Veriler için bölgesel otokorelasyon üzerinde herhangi bir yön etkisi olmadığı için dairesel sektör kullanılmış ve anizotropi faktörü "1" olarak alınmıştır.

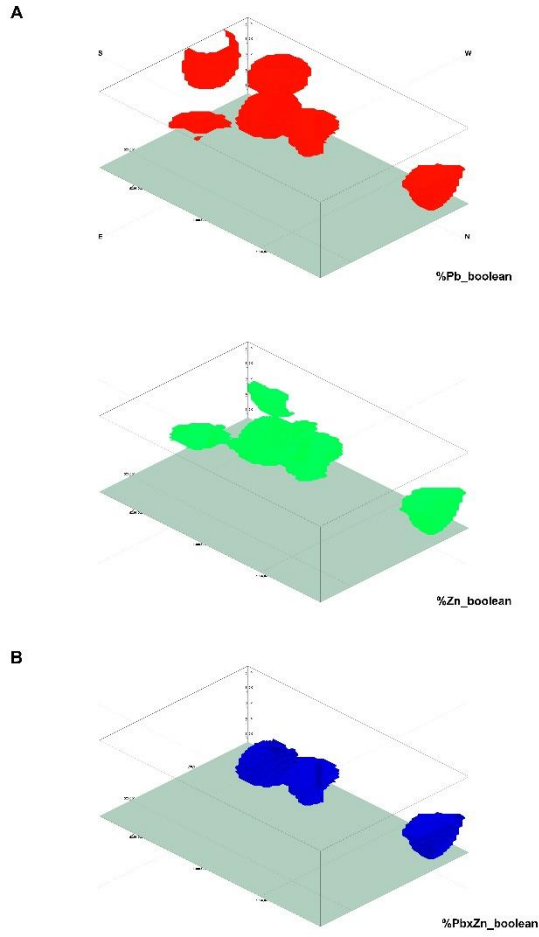
Bu çalışmada istifteki tüm birimler (serizit-grafit şistler, kalkıştler, mermerler, meta-diyabazlar, meta-kumtaşları ve cevher zonları) aynı stratigrafik birim içinde olup, bazıları tekrarlıdır. Bu nedenle, stratigrafi tabanlı modelleme yerine litoloji tabanlı modelleme tercih edilmiştir. Bu çalışmada yalnızca cevherli alanlara odaklanıldığı için jeolojik birimler arasında yalnızca cevher zonu (ORE ZONE) modelleme sonuçları 3B olarak gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde cevher zonu ile temsil edilen alanların oldukça geniş alanları kapsadığı görülmektedir.

Bunun sebebinin de özellikle sondaj sayısının oldukça yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yalnızca bu çalışma ile belirli bir alana odaklanmak oldukça zor görünmektedir. Bu durumda, modelleme çalışmasını desteklemek için yazılıma %Pb ve %Zn verileri girilmiş ve bu elemanların yeraltı ortamındaki dağılımı 3 boyutlu olarak modellenmiş ve hem Pb hem de Zn elementlerinin bölgedeki işletme tenörü (Pb için %7, Zn için %4 işletme tenörü) üzerinde kalan alanları model çalışması ile tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4a). Hem %Pb hem de %Zn için farklı alanlar burada ayrı ayrı değerlendirilebilir. Ancak bu çalışmadaki amaç ilk etapta en olası cevheri en uygun şekilde yeraltından alabilmek

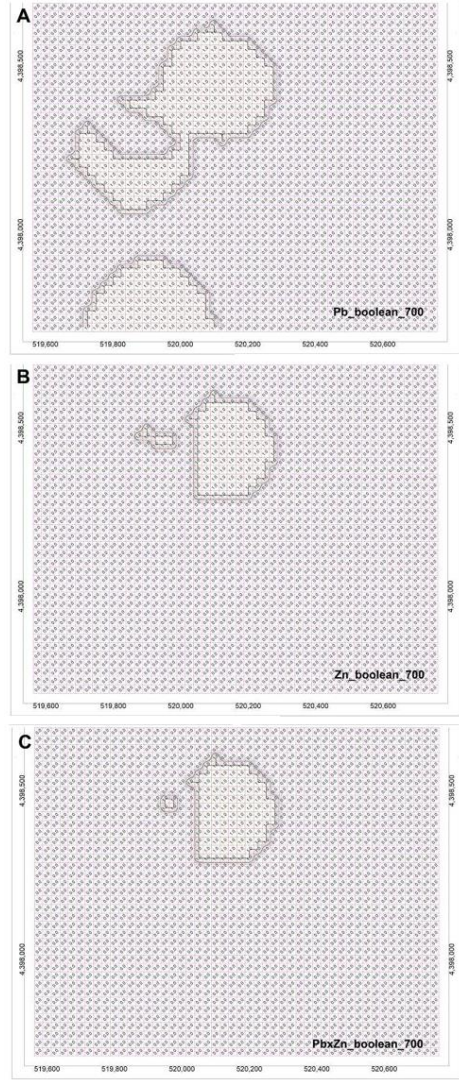
için bir galeri oluşturmaktır. Bunun için de her iki cevher elementinin de birlikte bulunduğu alanlara ilk başta odaklanmak daha mantıklı olacaktır. Bu sebeple kesişen alanlar tespit edilmiş ve olası cevher zonları belirlenmiştir (Şekil 4b). Kesişim alanları oluşturabilmek için %Pb ve %Zn model dosyaları ikili (Boolean) model dosyalarına çevrilmiştir. Bu alanlar saptanırken her bir kübün köşe koordinatı ve burada yer alan değerlerin işletme sınırının üstünde olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu dosyalarda, işletme sınırının üstündeki değerlere 1, altındaki değerlere ise 0 değeri atanır. Daha sonra Pb boolean ve Zn boolean model dosyalarına çarpma işlemi uygulanarak her ikisinde de 1 değerine sahip olan alanlar tespit edilmiştir (Şekil 5). Oluşturulan PbxZn boolean dosyası daha sonra MS Excel'e aktarılmıştır. MS Excel'de yazılan bir makro ile bu dosyada yer alan değerlerin yalnızca "1" olanları alınmış diğerleri ise modelleme çalışmasının dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak, Şekil 4b'den de görüleceği gibi iki farklı kesişen bölge tespit edilmiştir. Birinci bölge, yaklaşık 500 ila 700 metre arası kotlarda ve 01/02, 01/08, 01/09 ve 05/04 sondajları ile sınırlı alanda, ikinci bölge ise yaklaşık 350 ila 500 metre kotlarda ve 05/01, OMB-9 ve OMB10 sondajları ile sınırlı alanda gözlenmektedir. Bu çalışmada çalışma alanının merkezinde yer alan ilk bölgeye odaklanılmıştır. Bu cevher zonunu içine alan mevcut sondaj noktaları arasında bir adet A-A' enine kesit çizilmiş olup (Şekil 1) kesişim bölgeleri için 2 boyutlu olarak mekansal dağılımı modellemesi (%Pb ve %Zn için) yapılmıştır (Şekil 6).



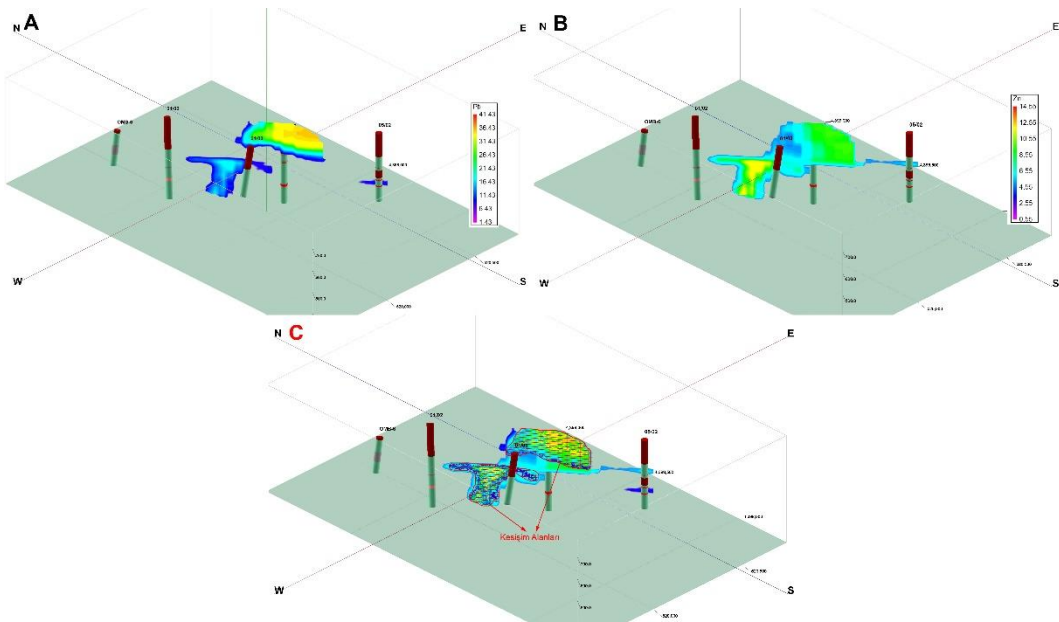
Şekil 3. Lithoblending algoritması ile modellenen sondaj kuyularının ve "Cevher Zonu"nun genel görünümü; A. KD'dan görünüm (yatay düzlemde 20° açılı), B. GD'dan görünüm (yatay düzlem).



Şekil 4. A) İşletme tenörlerinin üzerindeki %Pb ve %Zn değerlerinin genel görünümü, B) hesaplanan kesişim alanı.



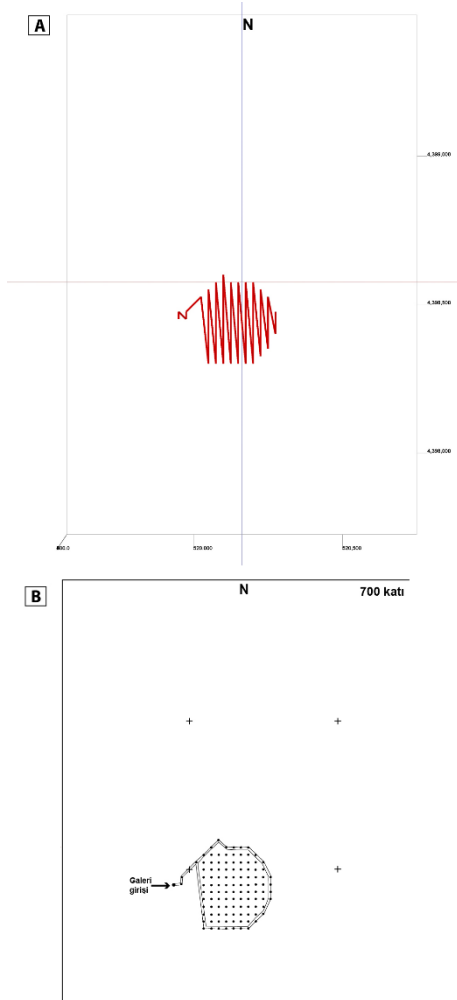
Şekil 5. A) Pb ve B) Zn Boolean dosyalarının şematik gösterimi (700 katı) ve C) 700 katı için kesişen alanların tespiti.



Şekil 6. A-A' kesit hattı boyunca A) Pb ve B) Zn değerlerinin işletme sınırı üstünde kalan alanları, C) her iki elementin kesiştiği alanlar.

4.2. Galerinin Tasarlanması

Yapılan keşişim işlemleri sonucunda galeri doğrultu ve yönelimi, keşişim yöntemi kullanılarak elde edilen değerler yardımı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple 700 kotu için bir galeri haritası oluşturulmuştur. 700 seviyesindeki keşişim noktalarının galeri hattının üstten görünümü ve yorumlanmış galeri haritası Şekil 7a ve 7b'de verilmiştir. Şekil 7b'de gösterilen seviyedeki her nokta cevherin bulunduğu alanı ifade etmektedir. Ancak bu çalışmada sadece galerinin dış sınırları çizilmiştir. Şekil 7b'deki noktalar göz önüne alındığında birbirine paralel hatlar oluşturularak buradaki cevher alınabilir ancak bölgedeki yapısal unsurların da dikkatle incelenip modele eklenmesi ile daha hassas galeri haritası oluşturulabilir. Galerinin ilk giriş doğrultusu yaklaşık D, genel yönelimi ise D-GD'dur. Galeri giriş noktası burada varsayımsal olarak ifade edilmiştir. Tespit edilen bu nokta tam olarak yüzeyde olmayabilir. Bunun nedeni ise bölgenin üç boyutlu topoğrafik model dosyasının bulunmamasıdır. Burada verilen ve galerinin girişi olarak belirlenen nokta cevher içermiyorsa yüzeye en yakın cevheri içeren nokta tespit edilerek buna göre galerinin girişi belirlenebilir.

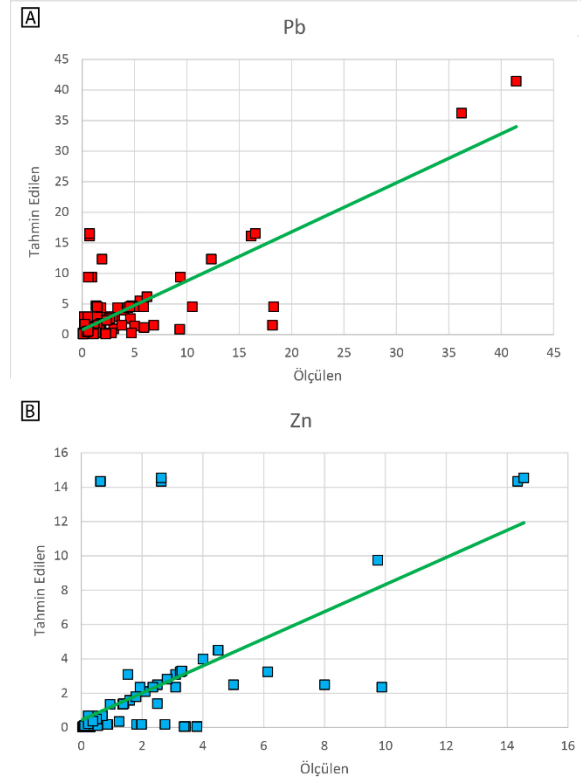


Şekil 7. A) 700 katına ait keşişim noktalarının bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş ham harita, B) Yorumlanmış galeri haritası.

5. Modelleme Çalışmasının Doğruluğu

Çapraz doğrulama, bir çalışmanın belirtilen hedeflere ulaşip ulaşmadığını test etme sürecidir (Olea, 1999) ve interpolasyonun doğruluğunu kontrol etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir (Voltz ve Webster, 1990). Bu yöntem, seçilen modelin güvenilirliğini, örnek noktaların değerlerini, çevredeki değerlerle tahmin ederek ve gerçek değerleri tahmin edilen değerlerle karşılaştırarak test eder (Davis, 1987). Bu yöntemde, çalışma alanı veri setinden değeri bilinen noktalar geçici olarak hariç tutulur ve çevreleyen verileri kullanarak çıkarılan noktaların değerleri tahmin edilir. Bu nedenle gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki hata payları ölçülür. Bu işlem kalan tüm numuneler için tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Gereksiz veri yükünü ortadan kaldırmak için çapraz doğrulama çok önemlidir (Olea, 1999; Webster ve Oliver, 2001).

Yukarıda belirtildiği gibi IDW, %Pb ve %Zn modelleme çalışması için en uygun interpolasyon algoritması olarak seçilmiştir. Modelleme sonuçları istatistiksel olarak ve çapraz doğrulama işlemleri kullanılarak kontrol edilmiş ve istatistiksel parametreler ve çapraz doğrulama sonuçları sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. A) %Pb ve B) %Zn değerlerine uygulanan Ters Mesafe Ağırlıklı yöntem için çapraz doğrulama diyagramları.

Tablo 1. Ters mesafe ağırlıklı yöntemi ile yapılan modelleme çalışmasında kullanılan parametreler ve tahmin hataları

	Pb (%)	Zn(%)
Güç Değeri (P)	3	3
Komşuluk Adeti	3	2
Korelasyon Katsayısı	0,81	0,63
Ortalama Mutlak Hata (ME)	2,00	1,14
Karekök Ortalama Hata (RMSE)	4,25	2,95

4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn cevherleşmesine ait sondaj verileri ve bu verilerden elde edilen %Pb ve %Zn değerlerini kullanarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde yeraltındaki cevherli zonlar tespit edilmiş ve daha sonra ise bölgedeki işletme tenörü kullanılarak %Pb ve %Zn değerleri modele eklenmiştir. Bu değerlerin kesiştiği bölgeler model üzerinde yapılan matematiksel işlemler aracılığı ile tespit edilmiştir. Kesişim alanlarının belirlenmesindeki amaç, sahada ilk olarak odaklanılacak en uygun bölge olması sebebiyledir. Modelleme çalışması sonucunda sahanın merkezinde ve kuzeyinde iki zon tespit edilmiş olup bu zonlar toplam 26.337.500 hacimsel küpten (voxel) oluşmuştur. Bu veriler yardımı ile 700 kotunda bir galeri haritası çizilmiştir. Bu haritada da yine kesişim alanlarının bulunduğu yerlere odaklanılmıştır. Yapılan modelleme çalışmasının doğruluğunu tespit etmek amacı ile çapraz doğrulama ve bazı istatistik parametreler kullanılmıştır. Buna göre %Pb için ölçülen tahmini değerler arasındaki korelasyon katsayı değeri 0,81 olup bu değer %Zn için 0,63'tür. Ortalama Mutlak Hata (MAE) değerleri %Pb için 2,00, %Zn için 2,14; Karekök Ortalama Hata (RMSE) değerleri ise %Pb için 4,25, %Zn için 2,95'dir.

Bu çalışmanın en önemli amacı, ümitli bir sahada yapılan rezerv hesaplamaları ve yeraltında 3B cevherin ortaya konulmasından sonra arazide çalışmaya ilk olarak hangi bölgeden başlanması gerektiği hususunda önemli bilgiler sağlamaktır. Bir nevi kağıttan araziye geçilmesinde ara bir yardımcı araç olarak görülmelidir. Yapılan çalışmada tespit edilen alan dışında da işletilebilecek cevher bulunan birçok alan olması muhtemeldir. Ancak burada odaklanılan alan hem Pb hem de Zn için işletme sınırı üstünde kalan ortak alandır. Bu sebeple ilk olarak bu bölgelerde işletmeye başlanması daha yüksek kazanç sağlanacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca, metal fiyatlarındaki değişiklikler, döviz kurları vs. gibi işletme tenörünün değişebileceği durumlar olabilir. Bu sebeple ilgili modelde parametreler değiştirilerek daha farklı odak noktaları da tespit edilebilir.

Bu çalışmada elde edilen veriler çapraz doğrulama yöntemleri ve bazı denetleme parametreleri ile denetlenmiştir. Ancak bir bölgede yeraltı galerisi açılması

planlanırken mutlaka maden jeolojik ve yapısal unsurlar gibi jeolojik parametreler öncelikle ortaya koyulmalıdır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.A.	E.A.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
L	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, L= literatür tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- Akıska S, Akıska E. 2018a. An ore adit planning with the help of three dimensional ore body modeling: A case study from Çulfa Çukuru Pb-Zn-Cu-Ag deposit. Bull Miner Res Explor, 157: 191-206.
- Akıska S, Akıska E. 2018b. Reserve estimation of Bağırkaçdere Pb-Zn deposit (Çanakkale/Turkey) by Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method. 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, May 7-11, 2018, Antalya, Türkiye, pp: 202.
- Akıska S, Sayılı İS, Demirela G. 2013a. 3D Subsurface modeling of mineralization: A case study from Handeresi (Çanakkale, NW Turkey) Pb-Zn-Cu deposit. Turk J Earth Sci, 22: 574-587.
- Akıska S, Sayılı İS, Demirela G. 2013b. Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn±Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. J Geosci-Czech, 58(4): 379-396.
- Akıska S. 2010. Cu-Pb-Zn occurrences of the Yenice (Çanakkale) area. PhD Thesis, Ankara University, Ankara, Türkiye, pp: 254.
- Akıska S. 2020. Crystallization conditions and compositional variations of silicate and sulfide minerals in the Pb-Zn skarn deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. Ore Geol Rev, 103322 DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103322.
- Aysal N, Ustaömer T, Öngen S, Keskin M, Köksal S, Peytcheva I, Fanning M. 2012. Origin of the Early-Middle Devonian magmatism in the Sakarya Zone, NW Turkey: geochronology, geochemistry and isotope systematics. J Asian Earth Sci, 45: 201-222.
- Burrough PA, McDonnell RA. 1998. Creating continuous surfaces from point data. In: Burrough PA, Goodchild MF, McDonnell RA, Switzer P, Worboys M. (Eds.), Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Çetinkaya N, Karul B, Önal R, Yenigün K 1983b. Çanakkale-Yenice-Kalkım Handeresi Pb-Zn-Cu yatağı jeoloji raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:7822,

- Ankara, Türkiye.
- Çetinkaya N, Karul B, Önal R, Yenigün K. 1983a. Çanakkale-Yenice-Kalkım Bağırkaç Dere jeoloji raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7814, Ankara, Türkiye.
- Chen J, Lu P, Wu W, Zhao J, Hu Q 2007. A 3-D prediction method for blind orebody based on 3-D visualization model and its application. *Earth Sci Front*, 14(5): 54-62.
- Davis BM. 1987. Uses and Abuses of cross-validation in geostatistics. *Math Geol*, 19(3): 241-248.
- Delaloye M, Bingöl E. 2000. Granitoids from western and northwestern Anatolia: Geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *Int Geol Rev*, 42: 241-268.
- Dhont D, Monod B, Hervouët Y, Backé G, Klarica S, Choy JE. 2012. 3D geological modeling of the Trujillo block: Insights for crustal escape models of the Venezuelan Andes. *J S Am Earth Sci*, 39: 245-251.
- Feltrin L, McLellan JG, Oliver NHS. 2009. Modelling the giant, Zn-Pb-Ag century deposit, Queensland, Australia. *Comput and Geosci*, 35: 108-133.
- Franke R, Nielson G. 1980 Smooth interpolation of large sets of scattered data. *Int J Numer Methods Eng*, 15: 1691-1704.
- Houlding SW. 1994. 3D Geoscience Modeling: Computer Techniques for Geological Characterization. Springer, Berlin, Germany, pp: 309.
- Isaaks EH, Srivastava RM. 1989. Applied geostatistics. Oxford University Press, Oxford, UK, pp: 561.
- Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K, Lucas N. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst. ESRI Press, Redlands, CA, US.
- Li J, Heap A. 2008. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Record 2008/23*, Geoscience Australia, Canberra, Australia.
- Loudon TV. 2000. Geoscience after IT: a view of the conventional geoscience information system. *Comput and Geosci*, 26: A75-A85.
- Ming J, Pan M, Qu H, Ge Z. 2010. GIS: A 3D geological multibody modeling system from netty cross-sections with topology. *Comput and Geosci*, 36: 756-767.
- Okay Aİ, Satır M, Maluski H, Siyako M, Monie P, Metzger R, Akyüz S. 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. Yin, A., Harrison, M. (Ed.). *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp: 420-441.
- Okay Aİ, Satır M, Siebel W. 2006. Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. In: Gee DG, Stephenson RA (Eds.), *European Lithosphere Dynamics*. Geol Soc London, 32: 389-405.
- Okay Aİ, Siyako M, Bürkan KA. 1990. Biga yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeol Dern Bült*, 2: 83-121.
- Olea RA. 1999. *Geostatistics for engineers and earth scientists*. Kluwer Academic Publishers, London, UK, pp: 303.
- Rockware. 2008. *Rockworks15*. Rockware Golden Co., US, pp: 310.
- Topuz G, Altherr R, Schwartz WH, Dokuz A, Meyer, HP. 2007. Variscan amphibolites-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey). *Int J Earth Sci*, 96: 861-873.
- Turner AK. 1992. Three-dimensional modelling with geoscientific information systems. In: *Proceedings of the NATO Adv. Res. Workshop*, S.Barbara, California. Kluwer, Dordrecht, pp: 443.
- Voltz M, Webster R. 1990. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *Eur J Soil Sci*, 41: 473-490.
- Wang ED, Li Y, Bao YB. 2005. Visualized 3-D modeling of orebodies. *J Northeast Univ*, 26: 890-892.
- Webster R, Oliver MA. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons, New York, US, pp: 360.
- Yücelay MA. 1976. Çanakkale-Kalkım-Handeresi Pb-Zn-Cu bölgesinin etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 5720, Ankara, Türkiye.
- Zanchi A, Francesca S, Stefano Z, Simone S, Graziano G. 2009. 3D reconstruction of complex geological bodies: examples from the Alps. *Comput and Geosci*, 35: 49-69.
- Zhang XY. 2006. Research on key technologies of reserve calculation analysis system based on geo-spatial 3-D visualization, of earth probing and information technology. Doctoral Dissertation, Jilin University, Changchun, China, pp. 143.
- Zhang ZW, Cai KQ, Xu ZH. 1999. Large-scale metallogenic prediction method. *Earth Sci Front*, 6(1): 12.
- Zhao PD, Li ZJ, Hu GD. 1992. Three dimensional statistical prediction of deposit in key metallogenic region: an example from Yueshan area in Anhui Province. *University of Geosciences Press*, Wuhan, China, pp: 107.