

Manyetik Anomalilere Neden Olan Basit Şekli Yer Altı Yapılarının Derinlik ve Geometrilerinin Analitik Sinyal Tekniği Kullanılarak Tahmini

Erdoğan ÖKSÜM*1, Mustafa Nuri DOLMAZ1

1Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32240, Isparta

(Alınış / Received: 12.09.2017, Kabul / Accepted: 09.01.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 21.02.2018)

Anahtar Kelimeler

Manyetik alan,
Analitik sinyal,
Derinlik,
Yapısal indeks

Özet: Manyetik anomalilere neden olan jeolojik yapıların derinlik ve geometrilerinin (yapısal indeks) belirlenmesi manyetik prospeksiyon çalışmalarının değerlendirme aşamasındaki temel hedeflerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, manyetik anomalilere sebep olan dayk, kontakt veya yatay silindir gibi basit geometrik şekillere sahip jeolojik yapıların derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin birlikte tahmini için kullanılacak interaktif bir bilgisayar kodu (SASASDEP) sunulmuştur. Matlab tabanlı olarak geliştirilen ve basit bir arayüze sahip olan programın derinlik ve yapısal indeks parametreleri çözüm algoritması manyetik anomalilerin Analitik Sinyal ve bunların türevlerinden oluşan kombinasyonlarına dayanmaktadır. Değerlendirme aşamasında algoritmanın manyetisasyon yönlerinden bağımsız olması ve ön bilgi olarak sadece yapı lokasyonunu gerektirmesi yöntemin avantajını oluşturmaktadır. Geliştirilen kodun verimliliği kuramsal model parametreleri ile üretilen sentetik manyetik anomalilerin değerlendirilmesiyle test edilmiştir. Test analizleri sonucunda hesaplanan model parametreleri gerçek model parametrelerini yeterli ölçüde sağlamıştır.

Estimation of the Depth and Geometry of Simple Shaped Subsurface Magnetic Structures Causing Magnetic Anomalies Based on Analytical Signal Technique

Keywords

Magnetic field,
Analytic signal,
Depth,
Structural index

Abstract: In interpretation of magnetic anomaly data, obtaining the depth and geometry (structural index) of the causative source is a major acquisition. In this study, an easy-to-use graphical user interface (Gui) designed in Matlab was developed for estimating the depth and the nature of isolated simple shaped magnetic structures. The proposed algorithm is based on the combination of the analytic signal and its total gradient to estimate the depth and the nature. In practice, the algorithm is independent of the magnetization and ambient field directions and the advantage of the method is that only the structure location is required as the pre-information where this can be ascertained simply by the peaks of the analytic signal. The efficiency of the developed code was tested by evaluating synthetic magnetic anomalies produced by theoretical model parameters. The model parameters calculated at the end of the test analyzes are sufficient to provide the real model parameters.

1. Giriş

Yer manyetik alan verilerinin değerlendirme aşamasında genel olarak manyetik anomalilere sebep olan yeraltı yapılarının yatay konumları, derinlikleri ve geometrik özellikleri gibi parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Nabighian [1] ve Atchuta vd. [2] manyetik anomalilerin yatay ve düşey türevlerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen Analitik Sinyal (AS) genliklerinin 2B ortamda

yapıların mıknatıslanma yönlerinden bağımsız olduklarını ve dolayısıyla kalıntı mıknatıslanmalara sahip yapılara ait parametrelerinin belirlenmesinde kullanışlı olduklarını ifade etmişlerdir. Bu bağlamda pek çok araştırmacı manyetik anomalilerin türevlerinden elde edilen AS verilerinin özel noktalarını kullanarak, yeraltında manyetik kontrasta sahip yapıların konumlarını ve derinliklerini tahmin etmeye yönelik çeşitli yöntemler ileri sürmüşlerdir [3, 4, 5, 6]. Hsu vd. [7] kontak veya tabaka türü

modelleri oluşturan jeolojik yapıların derinlik tayinleri için AS verisi ile yüksek mertebedeki türevleri arasındaki oranların kullanılmasını önermiştir. AS verisinden yararlanarak anomaliye sebep olan yapı derinliğinin belirlenmesinin yanı sıra, anomaliye sebep yapısal indeks katsayısının belirlenerek yapı türünün saptanmasına yönelik çalışmalar da söz konusu olmuştur [8, 9]. Ancak önerilen yöntemlerin uygulaması yüksek duyarlılıkta elde edilmiş veriler gerektirmekle birlikte manyetik anomalinin üçüncü dereceden türevlerinin hesaplamalarına da ihtiyaç duymaktadır. Salem vd. [10] manyetik anomaliye sebep olan kaynağın derinliğinin ve türünün tahmini için AS genliklerine ve bunların türevlerine dayanan bir lineerleştirilmiş en küçük kareler yöntemi geliştirmiştir. Li [11] ise 3B AS verisinin manyetizasyon yönüne bağımlı olduğunu göstermiştir. Analitik sinyal verisi ve bunların türevlerini esas alarak manyetik anomalilere neden olan yapıların derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin birlikte belirlenmesini hedefleyen bir diğer yöntem ise Ma ve Du [6] tarafından önerilmiştir. 2B ortam için önerilen bu yöntemde söz konusu hedef parametrelerinin tahminleri daha çok istatistiksel hesaplamalara dayanmaktadır. Manyetik anomalilerin değerlendirilmesine yönelik öne sürülen derinlik hesaplama yöntemlerinin çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda AS verilerine odaklanan tekniklerin oldukça yoğun ilgi gördüğü anlaşılmaktadır. Ancak uygulamada yöntemlere ilişkin kullanıcıya hazır bilgisayar yazılımlarının sayısı oldukça sınırlı sayıdadır.

Bu çalışmada, manyetik anomalilere neden olan yapıların derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin tahmininde kullanılabilecek bir bilgisayar kodu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda Ma ve Du [6] tarafından önerilen algoritma esas alınarak Matlab 2013b (Mathworks Inc.) yazılımı ile basit bir arayüze sahip interaktif bir program oluşturulmuştur. Geliştirilen kodun verimliliği kuramsal modellere ait sentetik manyetik anomalilerin değerlendirilmesiyle test edilmiştir. Test analizleri sonucunda kuramsal ve hesaplanan model parametrelerinin kabul edilebilir nicelikte uyumlu olduğu görülmüştür.

2. Metot

Ma ve Du [6] izole manyetik anomalilere neden olan yapı derinliği ve yapısal indeks katsayısı tahminini aşağıda izleyen algoritma ile tanımlamışlardır. Buna göre AS genliği 2B olarak

$$AS(x, z) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir [1]. Burada T manyetik anomali şiddetidir. 2B manyetik kontak, dayk ve yatay silindir modelleri için analitik sinyal ifadeleri ise

$$\begin{aligned} AS(x, z) &= \frac{\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (\text{Kontak}) \\ AS(x, z) &= \frac{\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]} \quad (\text{Dayk}) \\ AS(x, z) &= \frac{2\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \quad (\text{Yatay silindir}) \end{aligned} \quad (2)$$

ile verilmiştir. Burada, α yapı manyetizasyonuna bağlı bir sabittir. Salem vd. [10] ise tanımlanan eşitlikleri aşağıdaki şekilde genelleştirmiştir,

$$AS(x, z) = \frac{k}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{(N+1)/2}} \quad (3)$$

Burada k, kaynağın manyetizasyonuna bağlı genlik faktörü ve N ise manyetik kaynağın türünü tanımlayan yapısal indeks katsayısıdır. Kontak veya dayk türü yapı modelleri için yapısal indeks değeri N=1, yatay silindir modeli için ise N=2 olmaktadır [12]. 3 nolu eşitliğin yatay (x) ve düşey (z) yönünde türevleri alındığında,

$$\frac{\partial AS(x, z)}{\partial x} = k \frac{(N+1)(x-x_0)}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{(N+3)/2}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial AS(x, z)}{\partial z} = k \frac{(N+1)(z-z_0)}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{(N+3)/2}} \quad (5)$$

elde edilir. Eşitlik (4) ve (5)'in karelerinin toplamının karekökü hesaplandığında SAS,

$$SAS = k \frac{(N+1)}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{(N+2)/2}} \quad (6)$$

elde edilir. Eşitlik (6)'nın Eşitlik (3)'e bölünmesiyle

$$\frac{SAS}{AS} = \frac{(N+1)}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (7)$$

SAS/AS genlikleri elde edilir. Burada $x=x_0$ ve $x=x_0+b$ yatay uzaklıkları için Eşitlik (7) aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$\frac{SAS}{AS} \Big|_{x=x_0} = \frac{N+1}{[z_0^2]^{1/2}} \quad (8)$$

$$\frac{SAS}{AS} \Big|_{x=x_0+b} = \frac{N+1}{[b^2 + z_0^2]^{1/2}} \quad (9)$$

Eşitlik (8)'in Eşitlik (9)'a bölümünden derinlik parametresi z_0 ,

$$z_0 = \sqrt{\frac{b^2}{\left[\frac{SAS/AS|_{x=x_0+b}}{SAS/AS|_{x=x_0}}\right]^2 - 1}} \quad (10)$$

elde edilebilir. Burada manyetik yapının yatay konumu (x_0) AS genliğinin tepe noktasının yatay mesafedeki konumu ile belirlenebilir. Yapısal indeks katsayısı (N) için Eşitlik (8) ve Eşitlik (9) yeniden düzenlenirse,

$$N = \sqrt{\frac{b^2}{\left(\frac{1}{SAS/AS|_{x=x_0+b}}\right)^2 - \left(\frac{1}{SAS/AS|_{x=x_0}}\right)^2} - 1} \quad (11)$$

elde edilir.

Ma ve Du [6] uygulamada Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) ifadelerinin giderek artan b mesafe değerleri için tekrarlı olarak hesaplanmasını ve elde edilen sonuçların istatistiksel ortalamalarının alınmasını önermişlerdir. Araştırmacılar ayrıca yöntemin gürültülü verilerde sağlıklı sonuçlar vermediğini ancak verideki gürültünün yukarı analitik uzanım gibi ön veri işlem teknikleri ile azaltılması durumunda daha doğru sonuçların elde edilebileceğini vurgulamışlardır.

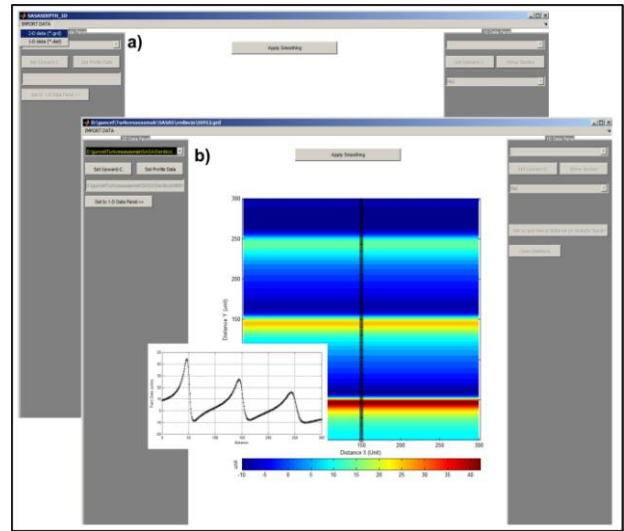
3. SASASDEP Bilgisayar Programı

Bu çalışmada Matlab tabanlı olarak geliştirilen "SASASDEP" bilgisayar kodu 2B manyetik anomalilere (T(x)) neden olan yapıların derinlik (z0) ve yapısal indeks (N) parametrelerinin tahminine yönelik olarak Ma ve Du [6] tarafından önerilen algoritmayı kullanmaktadır. Programın çalıştırılmasıyla açılan ara yüz penceresi Surfer (Golden Software) yazılımının desteklediği hem T(x,y) harita (*.grd) hem de T(x) kesit (*.dat) olarak iki türde verinin yüklenmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 1a). T(x,y) harita verisi yüklenmesi durumunda değerlendirme yapılacak olan noktalar arasındaki T(x) manyetik kesit verisi interaktif olarak oluşturabilmektedir (Şekil 1b). Giriş verisindeki sinyal/gürültü oranının artırılması için SASASDEP ara yüzünde yer alan yukarı analitik uzanım veya ortalama değer hesaplayan hareketli pencere işlem menüleri kullanılabilir. SASASDEP işlem akışında doğrudan yüklenen veya harita verisinden türetilen T(x) manyetik anomali değerlerinin yatay ve düşey türevlerini, AS, SAS ve SAS/AS genliklerini otomatik olarak hesaplar ve grafiksel gösterimlerini sunar. Manyetik anomaliye sebep olan kaynağın derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin istatistiksel sonuçları ise hesaplanan AS grafiği üzerinde yapının x0 yatay konumunun ve bu konumdan sonraki maksimum b mesafesinin interaktif olarak işaretlenmesi sonrasında hesaplanır. Buna göre kullanıcı tarafından belirlenen x0-bmax uzaklıkları arasında veri örnekleme aralığında artış gösteren b mesafeleri için Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) tekrarlı olarak hesaplanır ve sonuçlar b-z0 ve b-N ilişkisini gösteren grafikler ve bunlara ait istatistiksel sonuçlar ile sunulur (Şekil 2).

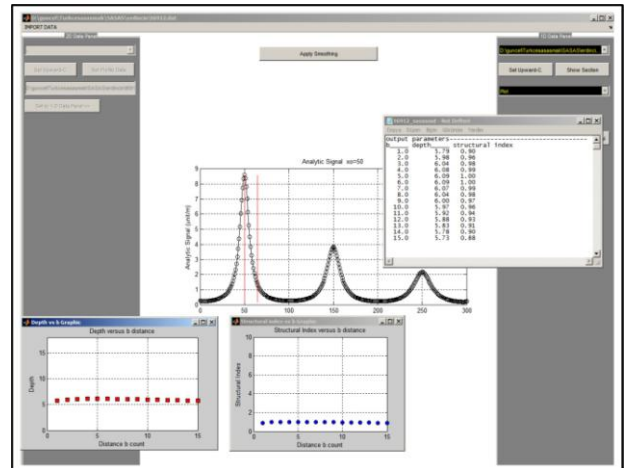
4. Sentetik Veri Uygulaması

Algoritmanın doğruluğunu test etmek için Kuzey-Güney yönünde aralarında 100 m mesafe bulunan (x01=50 m; x02=150 m ve x03=250 m) ve derinlikleri sırasıyla 6 m, 9 m ve 12 m olan Doğu-Batı uzanlı kuramsal dik dayk (N=1) modelleri (Model- 1, 2, 3) kullanılmıştır. Teorik modellerin manyetizasyon

şiddetleri 20 A/m ve indüklem manyetik alanın eğim ve sapma açıları sırasıyla 55° ve 0° olarak alınmıştır. Teorik model parametrelerinden elde edilen sentetik manyetik anomali haritası Şekil 3' de gösterilmektedir. Modellerin iz düşüm konumları harita üzerinde kesikli çizgiler ile belirtilmiştir. Anomalilere neden olan yapıların derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin hesaplanması için sentetik manyetik anomali haritasından K-G yönünde etken yapıları dik olarak kesen bir manyetik anomali kesiti (Şekil 3; A-A' kesiti) alınmıştır (Şekil 4a).



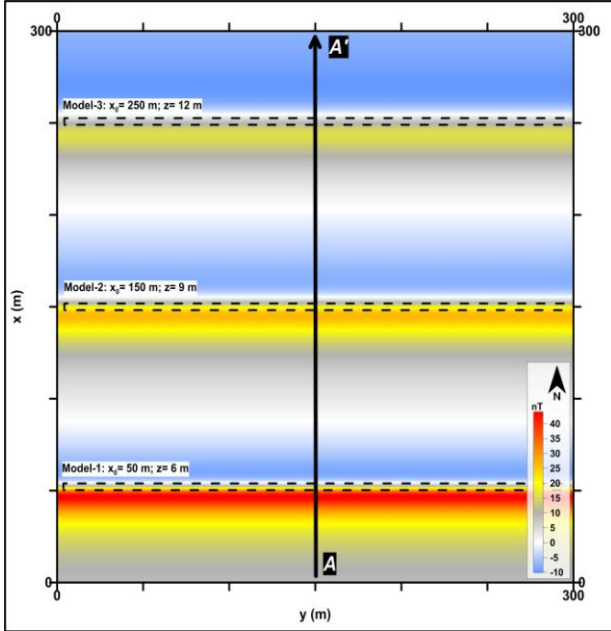
Şekil 1. SASASDEP arayüz ekran görüntü örnekleri, a) kesit veya harita verisi yükleme, b) harita verisi üzerinde interaktif olarak kesit oluşturma.



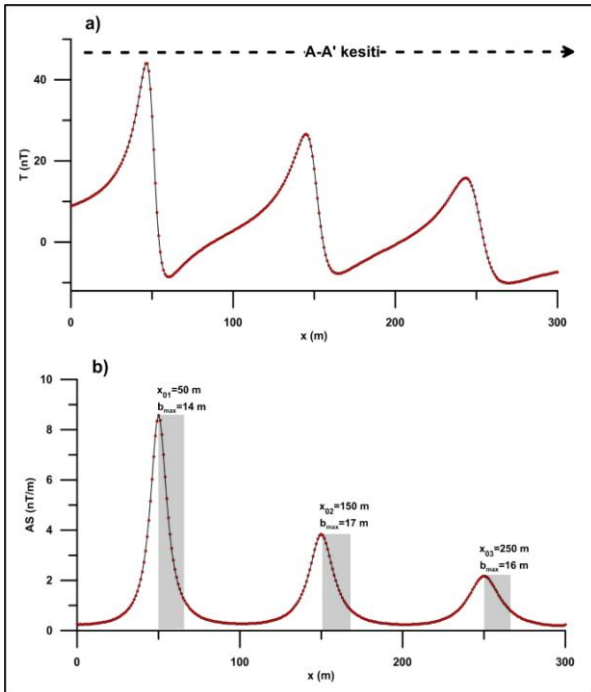
Şekil 2. SASASDEP değerlendirme aşamasında AS verisi üzerinde interaktif olarak yapı konumunun ve maksimum b mesafesinin işaretlenmesiyle elde edilen işlem sonuçlarının ekran görüntüsü.

Elde edilen manyetik anomali değerlerinin yatay ve düşey türevlerinden hesaplanan AS genlikleri ise Şekil 4b'de verilmiştir. Buna göre analitik sinyal grafiği üzerinde Güney-Kuzey (A-A') doğrultusu boyunca konumları sırasıyla x01=50 m, x02=150 m ve x03=250 m olmak üzere üç adet pik sinyal ayırt edilebilmektedir. Belirlenen her bir yapı lokasyonu için Eşitlik (10) ve (11)'in artan b mesafelerine göre tekrarlı olarak hesaplanmasıyla elde edilen derinlik (b-z0) ve yapısal indeks (b-N) grafikleri Şekil 5'te

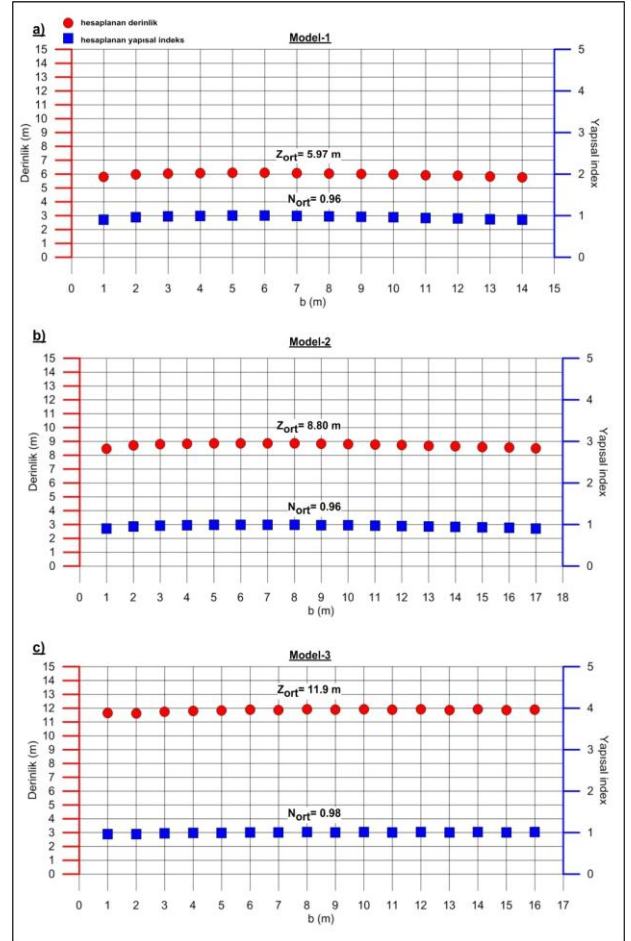
verilmiştir. Buna göre Model-1 için tahmin edilen derinlik ve yapısal indeks ortalama değerleri sırası ile 5.97 m ve 0.96 (Şekil 5a), Model-2 için 8.80 m ve 0.96 (Şekil 5b) ve Model-3 için 11.90 m ve 0.98 (Şekil 5c) olarak hesaplanmıştır. SASASDEP programı kullanılarak yapılan test değerlendirmesi sonucunda kuramsal ve hesaplanan model parametrelerinin kabul edilebilir nicelikte uyumlu olması program algoritmasının doğruluğunu göstermiştir.



Şekil 3. Doğu-Batı uzanımlı kuramsal dayk modellerine ait sentetik manyetik anomali haritası. A-A' kesiti SASASDEP



Şekil 4. a) Şekil 3'te görülen A-A' kesitinin manyetik anomali haritası, b) A-A' kesitinin Analitik Sinyal genlikleri. SASASDEP değerlendirme aşamasında her bir yapı konumu için ilgili sinyal genliğinden kullanılan veri aralığı (x_0 - b_{max}) gölgeli alanlar ile belirtilmiştir.



Şekil 5. SASASDEP test değerlendirmesi sonucunda konumları (x_0 - b_{max}) Şekil 4b'de gösterilen genliklerden hesaplanan ortalama derinlik ve yapısal indeks parametreleri.

5. Sonuçlar

Manyetik anomalilere sebep olan basit geometrik şekillere sahip yapıların derinlik ve yapısal indeks parametrelerinin tahmini için Matlab tabanlı interaktif bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Programın kullandığı algoritma manyetik anomalilerin Analitik Sinyal ve bunların birinci dereceden türevlerinden elde edilen değerlerinin oransal ilişkilerine dayanmaktadır. Değerlendirme aşamasında algoritmanın yapı manyetizasyonu yönlerinden bağımsız olması ve ön bilgi olarak sadece yapı lokasyonunu gerektirmesi yöntemin avantajını oluşturmaktadır. Geliştirilen kodun verimliliği kuramsal modellere ait sentetik manyetik anomalilerin değerlendirilmesiyle test edilmiştir. Test değerlendirmeleri sonucunda hesaplanan parametreler ile kuramsal parametreler arasında yeterli ölçüde uyumluluk elde edilmiş ve algoritmanın doğruluğu ortaya konmuştur. Buna göre bu çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar kodunun manyetik prospeksiyon amaçlı çalışmalarda anomalilere neden olan yapıların derinlik ve geometrilerinin tahmininde hızlı sonuç alınabilecek verimli bir araç olabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Nabighian, M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37 (1972), 507-517.
- [2] Atchuta, R.D., Ram-Badu, H.V., Sanker-Narayan, P.V. 1981. Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: The complex gradient method. *Geophysics*, 46 (1981), 1572-1578.
- [3] Roest, W.R., Verhoef, J., Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57 (1992), 116-125.
- [4] Macleod, I.N., Jones, K., Dai, T.F. 1993. 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. *Exploration Geophysics*, 24 (1993), 679-688.
- [5] Bastani, M., Pedersen, L.B. 2001. Automatic interpretation of magnetic dike parameters using the analytic signal technique. *Geophysics*, 66 (2001), 551-561.
- [6] Ma, G., Du, X. 2012. An improved analytic signal technique for the depth and structural index from 2D magnetic anomaly data. *Pure and Applied Geophysics*, 169 (2012), 2193-2200.
- [7] Hsu, S.K., Coppens, D., Shyu, C.T. 1998. Depth to magnetic source using the generalized analytic signal. *Geophysics*, 63 (1998), 1947-1957.
- [8] Debeglia, N., Corpel, J. 1997. Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. *Geophysics*, 62 (1997), 87-96.
- [9] Salem, A., Ravat, D. 2003. A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data. *Geophysics*, 68 (2003), 1952-1961.
- [10] Salem, A., Ravat, D., Mushayandebvu, M. F., Ushijima, K. 2004. Linearized least-squares method for interpretation of potential-field data from sources of simple geometry. *Geophysics*, 69 (2004), 783-788.
- [11] Li X. 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71 (2006), 13-16.
- [12] Florio, G., Fedi, M. and Pasteka, R. 2006. On the application of Euler deconvolution to the analytic signal. *Geophysics*, 71 (2006), 87-93.