DÜŞEY FAYLARIN MANYETİK ANOMALİLERİNİN SÖNÜMLÜ ENKÜÇÜK KARELER ÇÖZÜMÜ

DAMPED LEAST SQUARES SOLUTION OF MAGNETIC ANOMALIES OF VERTICAL FAULTS

Davut AYDOĞAN
İ. Ü. Müh. Fak. Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar/İSTANBUL

ÖZ: Bu çalışmada, sönümlü enküçük kareler yöntemi kuramsal örnekler üzerinde denendikten sonra arazi verisine uygulanmıştır. Gözlemsel ve kuramsal veri çalışmalarında yeraltı modellenirken fay modeli kullanılmıştır. Ters modellemede, fay modeli parametrelerinin yanısıra rejyonal değişim de hesaplanmıştır. Sönümlü enküçük kareler yöntemi kullanılırken, model parametrelerinin göreceli karşılaştırılması ve hesaplamalardaki duyarlılığı artırmak için Marquardt (1963) optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Sunulan yöntem, iki kuramsal örnek üzerinde sınandıktan sonra arazi verisine uygulanmıştır. Manyetik anomali profilleri yorumlanırken, yöntemin yakınsaması, amaç fonksiyonu ve modelin değişik parametreleri yineleme sayısına göre grafiklenerek gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sönümlü enküçük kareler , manyetik anomali, düşey fay modeli.

ABSTRACT: In this study, damped least squares method is tested on theoretical examples and then it is applied to field data. Fault model is used for both in case of field data and theoretical data studies when the subsurface is modeled. The rejional magnetic anomaly values are calculated in the invers modelling apart from these the various parameters of the fault model are evaluated. Marquardt optimization technique has been used for increasing the resolution of the computations and the relative comparison of the model parameters while damped least squares method is used.

The present technique is applied to real field anomaly after testing on two theoretical examples. The convergence of the algorithm is shown by ploting the values of objective function and various parameters of the model with respect to iteration number while interpreting magnetic anomaly profiles.

Key Words: Damped least squares, magnetic anomaly, vertical fault model.

GİRİŞ

Jeofizik araştırmaların önemli bir bölümü, yeraltı olası yapılanmının modellenmesine yöneliktir. Önerilen bir yeraltı modelinin uygulanan yönteme vereceği belirtinin hesaplanmasına düz modelleme, gözlemsel veriye neden olan olası yeraltı yapısının belirlenmesi işlemine ise ters modelleme işlemi denir. Gelişigüzel yeraltı yapılanmının modellenmesi için sonsuz sayıda parametreye gereksinim duyulur. Sonsuz sayıda parametrenin belirlenebilmesi olanak dışı olduğundan, düzgün geometriye sahip model elemanları kullanılarak yeraltı yapıları idealleştirilmeye çalışılır. Bu amaca yönelik olarak seçilen fay modelleri gerek gravite ve gerekse manyetik çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır.

Manyetik anomali haritalarının yorumunda, kütle derinliği, genişliği, eğimi, konumu ve anomaliye neden olan süseptibilite farkının hesaplanması amaçlanmaktadır. Kütle parametrelerinin hesaplanmasında bazı araştırıcılar anomalilerin karakteristik noktalarından yararlanarak yorum yöntemleri gelirtirmişlerdir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir. Hutchison (1958), anomali eğrilerini tek ve çift bileşenlere ayırarak yorum yöntemlerini, McGrath ve Hood (1970), Won (1981) da eğri çakıştırma kriterine uyan değişik bilgisayar yöntemlerini geliştirmişlerdir. Moo (1965), Bruckshaw ve Kunaratnam (1963), Grant ve West (1965), Bean (1966), Rao ve Murthy (1978), anomalilerin bazı karakteristik noktalarını kullanarak yorum yöntemleri oluşturmuşlardır. Nabighian (1985), Green ve Stanley (1975), Shuey (1972), Atchuta Rao ve Ram Babu (1980a), Stanley ve Green (1976), Ram Babu ve Atchuta Rao (1991), model parametrelerinin hesaplanmasında Hilbert transform yöntemini kullanarak faydalı çalışmalar yapmışlardır. Odegard ve Berg (1965), Sharma ve Geldart (1968), Bhattacharyya (1966), Roy (1967), Eby (1972), Bhattacharyya ve Leu (1975; 1977), Bhimasankaram ve diğ. (1977), Regan ve Hinze (1976; 1978), manyetik anomalilerinin yorumunda spektral analiz yöntemlerini kullanmışlardır.

Başlangıç model parametrelerine atanacak değerlerin seçimi için manyetik anomalinin bazı karakteristik noktalarına dayalı olarak geliştirilen bağıntılardan haraketle düşey fayların manyetik anomalilerinin ters çözümü Venkata Raju (2003) tarafından yapılmıştır. Atchuta Rao ve diğ. (1985), basit geometrik şekle sahip kütlelere ait gravite ve manyetik anomali ifadelerini polinom şeklinde göstererek, model parametrelerine atanacak başlangıç değerleri için genel bağıntılar elde etmişlerdir. Ayrıca, arazi çalışmalarına yönelik olarak, veri üzerindeki rejyonal etkiyi de hesaplayabilecek bir algoritma sunmuşlardır. Albora ve diğ. (2001a, 2001b), görüntü işleme yöntemlerinden olan Hücresel Yapay Sınır Ağları (Cellular Neural Network) algoritmasını kullanarak Bouguer ve manyetik anomali haritalarından rejyonal rezidüel ayırımı yapmışlardır.

Bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak ters çözüm yöntemleri, hızlı bir şekilde gelişme sağlamış olup, prospeksiyon jeofiziğinde yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır. Bu çalışmada ise, düşey fayların manyetik anomalilerinin, (yatay, düşey ve toplam bileşen), yorumlanmasında sönümlü enküçük karaler yöntemi kullanılmıştır. Ters çözüm sürecinde, kuramsal modellere ait model parametrelerinin davranışları incelenmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Kuramsal çalışmalar sırasında modele ait süseptibilite farkı ve fayın eğiminin sisteme en çok duyarlı parametreler oldukları gözlenmiştir.Yöntem başlangıçta kuramsal örnekler üzerinde denenmiş olup arazi verisine de uygulanmıştır.

KURAMSAL İLKELER

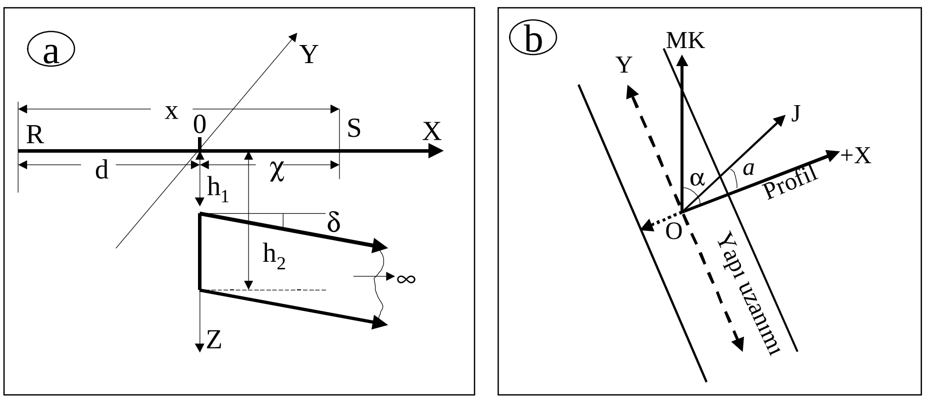
Düz Modelleme

Jeofizikte, önerilen bir yeraltı modeline ait parametre değerlerinin model fonksiyonunda yerlerine konulması ile elde edilen tepkiye düz çözüm veya düz modelleme adı verilir.

Şekil 1a' da gösterilen düşey bir fay modeline ait model fonksiyonu ifadesinin elde edilmesinde aşağıdaki simgeler kullanılmıştır. Bir kartezyen koordinat sisteminde, Şekil 1b, Y ekseni kütlenin uzanım doğrultusunda alınmıştır. Manyetik anomali profili, manyetik kuzey ile α açısı yapan ve Y eksenine dik X ekseni üzerinde seçilmiştir. I_0 , yer manyetik alan şiddetinin eğim açısını simgelemektedir. J_0 ve a, kütlenin manyetiklenmiş durumundaki J sonuç manyetizasyonunun, sırası ile, eğim ve sapma açılarıdır. K, kütle ile çevre kayaçlar arasındaki süseptibilite farkını gösterir. I' ve J', sırası ile, indüklenmiş ve sonuç alanın etkin eğim açıları olup,

$$I' = \arctan\left\{\frac{\tan I_0}{\cos\alpha}\right\}, J' = \arctan\left\{\frac{\tan J_0}{\cos a}\right\} \qquad (1)$$

şeklinde verilir (Hood, 1964).



Şekil 1. *a) Düşey fay modelinin geometrisi, b) Manyetiklenmiş bir yapının plansal görünümü.*

Figure 1. *a) Geometry of vertical fault model, b) Plan view of a magnetized body.*

İki boyutlu düşey bir fayın, uzanımına dik doğrultuda alınan X ekseni üzerinde gelişigüzel başlangıç noktası *R*'den *x* uzaklıktaki bir S(x) noktasında, oluşturacağı genel manyetik anomali ifadesi,

$$F(x) = P\left[0.5\cos Q \ln \frac{(x-d)^2 + h_2^2}{(x-d)^2 + h_1^2} + \sin Q\left\{\tan^{-1}\frac{x-d}{h_1} - \tan^{-1}\frac{x-d}{h_2}\right\}\right] + Mx + c \qquad (2)$$

şeklinde verilir (Venkata Raju, 2003).

Burada, *P*, genlik katsayısı, *Q*, indeks parametresi olup Çizelge 1 de eşdeğerlikleri manyetik anomalinin yatay, düşey ve toplam bileşenleri için verilmişlerdir. Ayrıca, *d*, referans noktasından fayın ucu (orijin noktası) arasındaki uzaklık, h_1 ve h_2, sırası ile, yatayla δ eğim açısına sahip olan üst ve alt yüzey derinlikleridir. Bağıntıda yer alan *Mx+c* terimi rejyonal etki olup, *M*, doğrusal olarak kabul edilen rejyonal değişimin eğimini, *c* ise, temel seviye sabitini simgeler.

***Çizelge 1**. Genlik katsayısı P ve indeks parametresi Q 'nün eşdeğerleri (Venkata Raju, 2003).*
***Table 1**. Equivalents of amplitude coefficient P and index parameter Q (Venkata Raju, 2003).*

Anomali	P (amplitüd katsayısı)	Q (indeks parametresi)
Yatay bileşen	$2KT\beta(1-\cos^2 I_0 \sin^2 \alpha)^{1/2}(1-\cos^2 I_0 \sin^2 a)^{1/2}$	$I' + J' - \delta - 90$
Düşey Bileşen	$2KT\beta(1-\cos^2 J_0 \sin^2 a)^{1/2}$	$J' - \delta$
Toplam bileşen	$2KT\beta\cos\alpha(1-\cos^2 J_0 \sin^2 a)^{1/2}$	$J' - \delta - 90$

- $\beta = \sin\delta$
- İndüklenmiş manyetizasyon durumunda $J_0 = I_0$, $a = \alpha$ *ve* $J' = I'$.

Yukarıda verilen 2 nolu denklemden yararlanarak düşey fay modeline ait anomali bileşenleri Çizelge 1 yardımı ile hesaplanabilir. Başlangıçta, iki boyutlu manyetik bir kütlenin plansal görünümü gözönünde tutularak etkin eğim açısı, *T*, α ve I_0 değerlerinden yararlanılarak 1 nolu denklemden hesaplatılmalıdır. Bu hesaplamadan sonra modele ait parametre değerleri 2 nolu denklem ile verilen model fonsiyonunda yerlerine konulması ile modelin tepkisi elde edilir.

Ters Modelleme

Gözlemsel değerlerden yararlanarak olası yeraltı modeline ait parametrelerin hesaplanması işlemine ters modelleme yada ters çözüm işlemi adı verilir. Jeofizik problemlerinin pek çoğunda gözlemsel değerler ile tasarlanan modele ait parametreler arasında doğrusal bir ilişki olmadığından, problemin çözümü için model fonksiyonu Taylor serisine açılarak ikinci ve daha yüksek mertebeden türevli terimler gözardı edilip doğrusallaştırma sağlanır.

Gözlemsel veri sayısının model parametre sayısından fazla olması durumunda, (aşırı tanımlı denklem sistemi), model parametrelerine ilave edilecek parametre düzeltme değerleri, genelleştirilmiş enküçük karaler çözümü (*t*, matrisin transpozesi olmak üzere),

$$dp = (A^t A)^{-1} A^t dF \qquad (3)$$

bağıntısından hesaplanabilirler.

Bu ifadede, *dF*, gözlemsel değerler ile model parametrelerine atanan değerlerin model fonksiyonunda yerlerine konulması ile elde edilen modelin tepkisi arasındaki farkı, *A*, model parametrelerine göre kısmi türevleri içeren Jacobian veya duyarlılık matrisini simgeler. 3 nolu bağıntıda verilen A^tA matrisinin determinantının sıfıra çok yakın olması durumunda çözümün sağlanabilmesi için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi Levenberg-Marquardt veya bir başka deyişle sönümlü enküçük karaler yöntemidir (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). Bu yöntemde β Marquardt bastırma katsayısı ve I birim matris olmak üzere parametre düzeltme değerleri,

$$dp = (A^t A + \beta I)^{-1} A^t dF \tag{4}$$

bağıntısından hesaplanabilmektedir.

Marquardt algoritması kullanılarak yapılan bir ters çözümde parametre değerleri yinelemeli olarak elde edilmektedir. Ters çözüm işleminde model fonksiyonu Taylor serisine açılarak problem doğrusallaştırılarak çözüldüğünden, modele ait gerçek parametreler yerine, olası model parametre değerleri hesaplanabilmektedir. Buna paralel olarak gerçek model yerine olası modelden sözedilmektedir. Olası modele yaklaşımda ters çözüm işleminin başarısı, modele atanan başlangıç parametre değerlerine, kurulan modelin tepki fonksiyonuna, gözlem değerlerinin niteliğine ve kullanılan ters çözüm tekniği ile sıkı sıkıya ilişkilidir.

Bir ölçüm profili üzerinde, farklı x noktalarındaki gözlenmiş m adet $F_{obs}(x)$ değerleri ile, modele ait n adet parametre değerlerinin model fonksiyonunda yerlerine konulması sonucu aynı x gözlem noktalarında hesaplanacak $F_{cal}(x)$ model tepkisi arasında Taylor bağıntısı gereğince, (i=1, ..,m),

$$dF(x_i) = F_{obs}(x_i) - F_{cal}(x_i) = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial F(x_i)}{\partial p_j} dp_j \tag{5}$$

denklem sistemi yazılabilir. Bu ifadede, $\Sigma\partial F(x_i)/\partial pj$ her gözlem noktasında model fonksiyonunun model parametrelerine göre kısmi türevlerini simgeleyen Jacobian matrisinin elemanlarını oluşturur. Düşey fay modeline ait model fonksiyonun P, Q, d, h_1, h_2, M ve c parametrelerine göre kısmi türev bağıntıları 2 nolu denklemden,

$$\frac{\partial F(x)}{\partial P} = 0.5\cos Q \ln \frac{(x-d)^2 + h_2^2}{(x-d)^2 + h_1^2} + \sin Q \left\{ \tan^{-1}\frac{x-d}{h_1} - \tan^{-1}\frac{x-d}{h_2} \right\} \tag{6a}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial Q} = P\left[\cos Q \left\{ \tan^{-1}\frac{x-d}{h_1} - \tan^{-1}\frac{x-d}{h_2} \right\} - 0.5\sin Q \ln \frac{(x-d)^2 + h_2^2}{(x-d)^2 + h_1^2} \right] \tag{6b}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(x)}{\partial d} = P\Bigg[& \cos Q \left\{ \frac{x-d}{(x-d)^2 + h_1^2} - \frac{x-d}{(x-d)^2 + h_2^2} \right\} + \\ & \sin Q \left\{ \frac{h_2}{(x-d)^2 + h_2^2} - \frac{h_1}{(x-d)^2 + h_1^2} \right\} \Bigg] \end{aligned} \tag{6c}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial h_1} = P\left[\frac{(x-d)\sin Q - h_1 \cos Q}{(x-d)^2 + h_1^2} \right] \tag{6d}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial h_2} = P\left[\frac{(x-d)\sin Q - h_2 \cos Q}{(x-d)^2 + h_2^2} \right] \tag{6e}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial M} = x \tag{6f}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial c} = 1.0 \tag{6g}$$

olarak bulunurlar (Venkata Raju, 2003).

Gözlem değerleri sayısının parametre sayısından fazla olması durumunda, model parametre değerlerine ilave edilecek parametre düzeltme değerleri, Marquardt-Levenberg yada bir başka deyişle sönümlü enküçük karaler yönteminde çözümün aranacağı denklem sistemi, dp_1=dP, dp_2=dQ, dp_3=dd, dp_4=dh_1, dp_5=dh_2, dp_6=dM, dp_7=dc, parametre düzeltme değerleri olmak üzere,

$$\sum_{l=1}^{7}\sum_{i=1}^{m}\frac{\partial F(x_i)}{\partial p_j}\frac{\partial F(x_i)}{\partial p_l}(1+\beta I)dp_l=\sum_{i=1}^{m}dF(x_i)\frac{\partial F(x_i)}{\partial p_j} \qquad (j=1,...,7) \tag{7}$$

şeklinde ifade edilebilir (Bhaskara Rao, 1990).

Bu ifade, yukarıda verilen 4 bağıntısının elemanlarını oluşturan denklem sistemidir. Gerçekte araranan olası model parametre değerleri ise, model parametrelerine atanacak başlangıç değerlerinden haraket ederek, *w* yineleme sayısını göstermek üzere,

$$p_j^w = p_j^{w-1} + dp_j^w \qquad (j=1,...,n) \tag{8}$$

denkleminden hesaplanabilirler.

Ters çözüm işleci süresince, bir önceki model parametrelerine ilave edilecek parametre düzeltme değerlerinin hesaplanabilmesi için modelin kuramsal tepkisi ve Jacobian matrisi değerlerinin her yineleme aşamasında hesaplatılması gerekir. Gözlemsel değerler ile modelin tepkisi arasında,

$$f=\sum_{l=1}^{m}\left\{F(x_l)_{obs}-F(x_l)_{cal}\right\}^2 \tag{9}$$

şeklinde bir amaç fonksiyonu tanımlanır. Ters çözüm işlemi süresince amaç fonksiyonunun değerini enküçük yapan olası model parametresi kümesi hesaplatılmaya çalışılır.

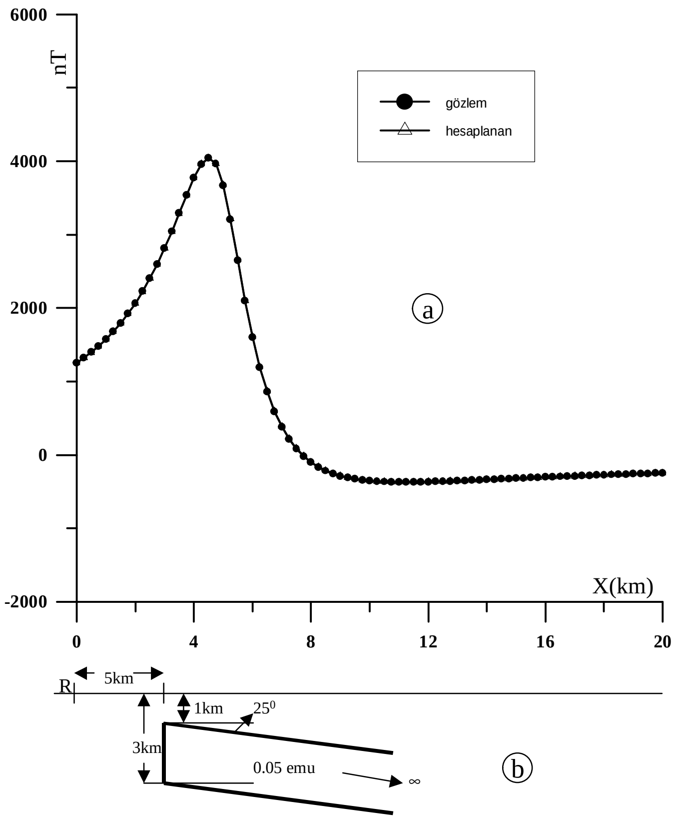
KURAMSAL ÖRNEKLER

Çalışmada açıklanan ters çözüm yöntemi iki adet kuramsal düşey fay modeline uygulanmıştır. İlk modelde rejyonal etkinin olmadığı kabul edilmiş ve M=0.0 nT/km, c=0.0 nT olarak alınmıştır. Birinci modele ait gerçek parametre değerleri, daha önce açıklanan simgelerle, d=5.00 km, h_1=1.00 km, h_2=3.00 km, $\delta=25^0$, K=0.05 emu olarak kabul edilmiştir (Çizelge 2). Ayrıca, T=45000 nT, $\alpha=0^0$ ve $I_0=50^0$ alınıp, anomali için profil uzunluğu 20 km seçilerek ölçü noktaları arası mesafe 250 m olarak alınmıştır. Etkin eğim açısı 1 nolu denklem yardımı ile hesaplandıktan sonra, yukarıda verilen gerçek parametre değerleri 2 nolu denklemde yerlerine konularak modele ait kuramsal toplam manyetik anomali değerleri 81 ölçüm noktasında hesaplatılmıştır. Modele ait kuramsal anomali değerlerine neden olan olası model parametre değerleri sönümlü enküçük kareler yöntemi kullanılarak tekrar elde edilmiştir. Olası model parametre değerleri, 18 yineleme sonucunda, d=5.05 km, h_1=1.00 km, h_2=3.00 km olarak elde edilmiştir. Modelin eğimi ve süseptibilite farkı için Çizelge 1' de verilen P genlik katsayısı ve Q indeks parametresi bağıntıları kullanılarak, $\delta=24.86^0$, K=0.049 emu bulunmuştur. Ayrıca, M=0.00 nT/km ve c=0.00 nT olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Modelin geometrisi ve kuramsal toplam manyetik anomalisi ile ters çözüm sonucu elde edilen toplam manyetik anomali değerleri Şekil 2' de grafiklenmişlerdir.

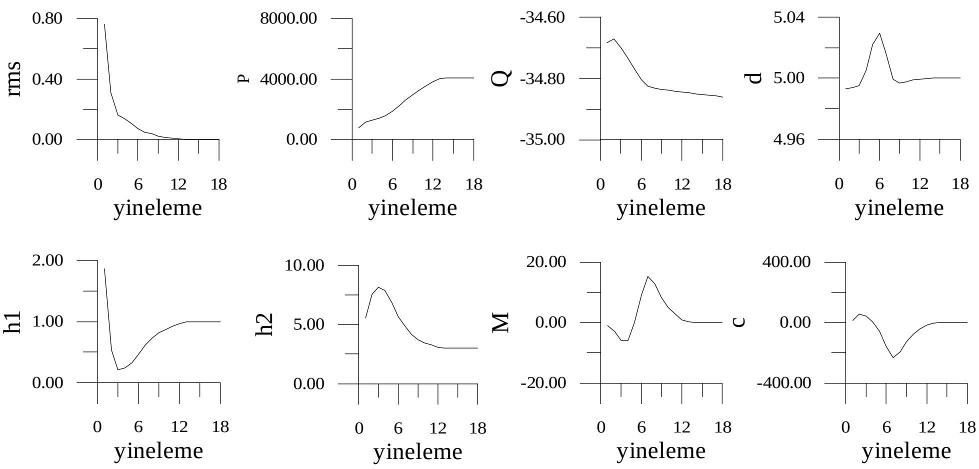
Hesaplanan olası model parametrelerinin her yineleme aşamasındaki davranışları Şekil 3' te, topluca, grafiklenmişlerdir. Şekil 3' ten de görüldüğü gibi, model parametrelerinin ters çözüm sürecindeki yineleme aşamalarında birbirinden farklı davranış içerisinde oldukları gözlenmektedir. Sisteme karşı model parametrelerin duyarlılık sıralanması d, M, c, h_1, h_2, Q ve P olarak verilebilir.

Çizelge 2. *Kuramsal model(1) için kabul edilen ve hesaplanan model parametre değerleri.*
Table 2. *Assumed and calculated model parameter values for synthetic model(1).*

Parametreler	d km	h_1 km	h_2 km	δ (^{0})	K emu	M nT/km	c nT
Kabul edilen	5.000	1.000	3.000	25.00	0.050	0.000	0.000
Hesaplanan	5.050	1.000	3.000	24.86	0.049	0.000	0.000



***Şekil 2.** a) Model (1) için kuramsal toplam manyetik anomali ve ters çözümü, b) Modelin geometrisi.*
***Figure 2.** a) Synthetic total magnetic anomaly and its inversion for model (1), b) Geometry of the model.*

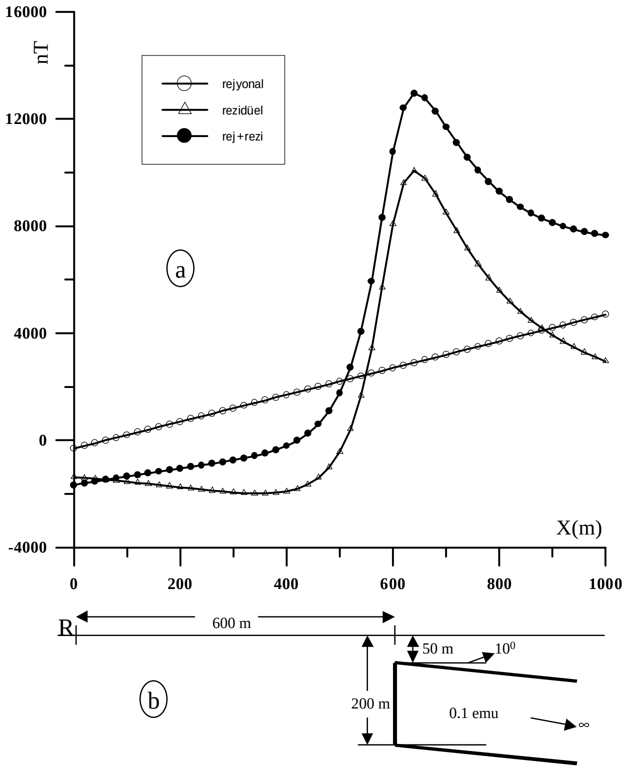


***Şekil 3.** Hesaplanan model parametreleri.*
***Figure 3.** The estimated parameters of the model.*

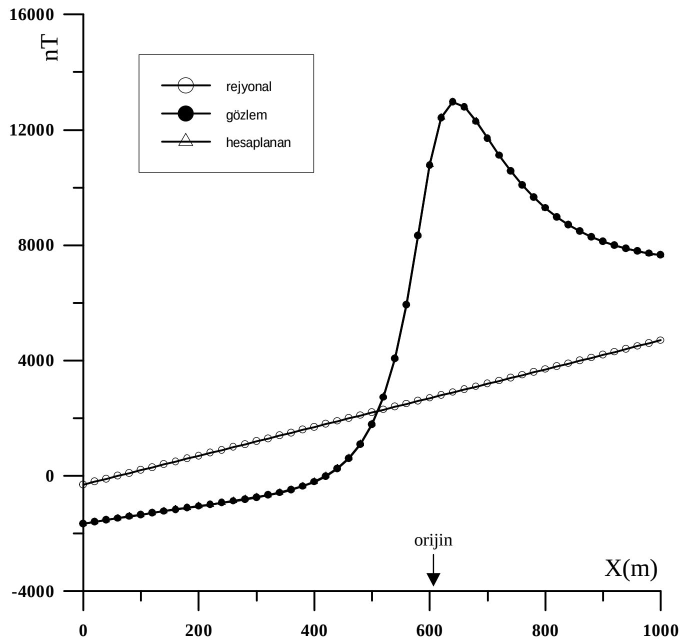
İkinci bir kuramsal modele ait düşey anomali değerleri kullanılarak modelin parametreleri hesaplatılmaya çalışılmıştır. Modele doğrusal bir rejyonal etki ilave etmek amacı ile M=5.00 nT/m, c=-300 nT alınmıştır. T=46000 nT, $I_0=60^0$ ve $\alpha=0^0$ alınarak denklem 1 den etkin eğim açısı hesaplatılmıştır. K=0.1 emu alınarak modelin gerçek geometrik parametreleri, d=600.00 m, h_1=50 m, h_2=200 m ve $\delta=10.00^0$ olup, denklem 2'den modelin kuramsal düşey rejyonal ve rezidüel manyetik anomali değerleri, 1000 m uzunluğunda ve 20 m aralıklı bir profil üzerinde, hesaplatılarak Şekil 4' te modelin geometrisi ile birlikte verilmişlerdir. Uygulanan ters çözüm sonucunda bulunması istenen parametre değerleri, d=600.00 m, h_1=50.00 m, h_2=200.00 m, K=0.098 emu, $\delta=10.16^0$, M=5.00 nT/m ve c=-300 nT olarak hesaplanmışlardır. Modelin kuramsal yanıtı ile ters çözüm sonucu elde edilen yanıtı Şekil 5' te grafiklenmişlerdir. Kuramsal modele ait kabul edilen ve hesaplanan model parametre değerleri Çizelge 3'te verilmişlerdir. Ters çözüm işlemi sırasında model parametrelerinin sisteme tepkileri, her yineleme aşamasında, Şekil 6' da grafiklenmişlerdir.

Çizelge 3. *Kuramsal model(2) için kabul edilen ve hesaplanan model parametre değerleri.*
Table 3. *Assumed and calculated model parameter values for synthetic model(2).*

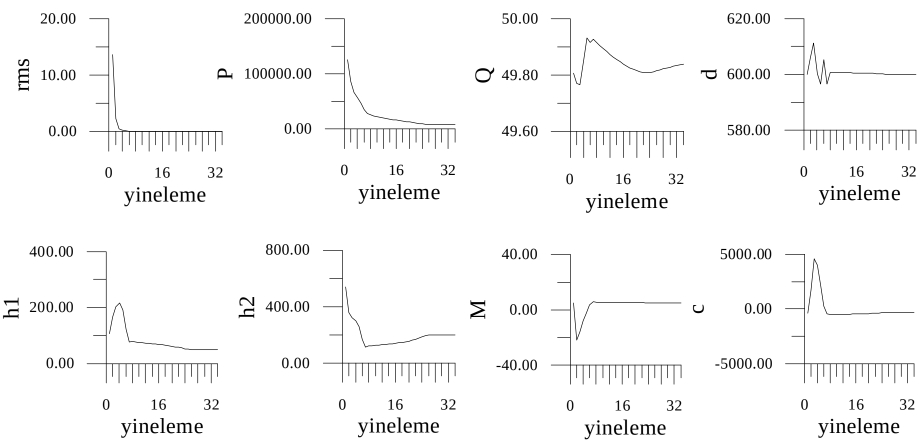
Parametreler	d m	h_1 m	h_2 m	δ (^{0})	K emu	M nT/m	c nT
Kabul edilen	600.00	50.00	200.00	10.00	0.100	5.000	-300.00
Hesaplanan	600.00	50.00	200.00	10.16	0.098	0.000	-300.00



Şekil 4. *a) Model (2) için kuramsal düşey manyetik anomaliler, b)Modelin geometrisi.*
Figure 4. *a) Synthetic vertical magnetic anomalies for model (2), b)Geometry of the model.*



***Şekil 5.** Model (2) için kuramsal düşey manyetik anomali ve ters çözümü.*
***Figure 5.** Synthetic vertical magnetic anomaly and its inversion for model (2).*



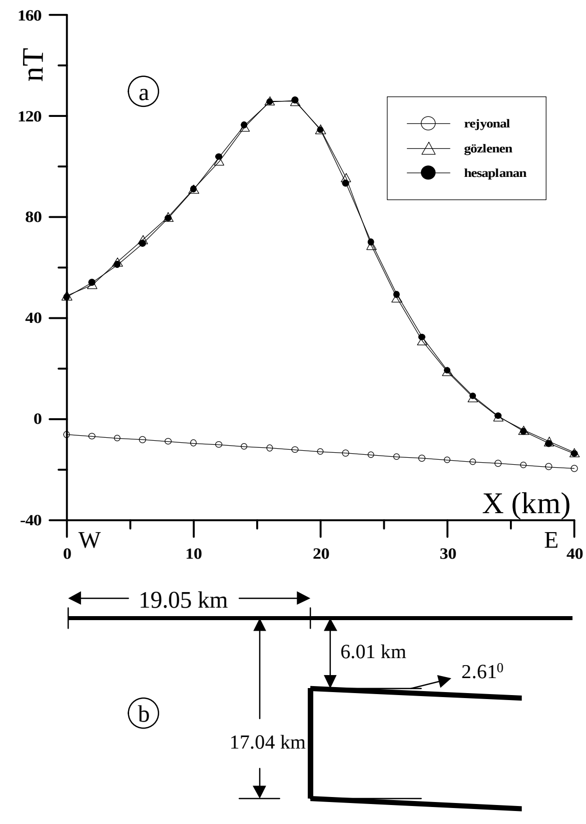
***Şekil 6.** Hesaplanan model parametreleri.*
***Figure 6.** The estimated parameters of the model.*

Manyetik veriye doğrusal bir rejyonal etkinin ilave edilmesi durumundaki ters çözüm sürecinde, d model parametresinin, (gelişigüzel bir başlangıç noktasından modelin üst ucu arasındaki uzaklık), rejyonal etki olmaması durumundakine oranla daha duyarlı davrandığı görülmüştür. Şekil 3 ve Şekil 6'daki grafiklere topluca bakıldığında, amaç fonksiyonuna ait değerin (rms) sıfıra yaklaşması durumunda hesaplanan model parametrelerinin kabul edilen model parametre değerlerine yaklaşması beklenirken, aslında böyle olmadığı açıkça görülmektedir. Örneğin, kuramsal model(1)' e ait model parametrelerinin davranışının gösterildiği Şekil 3'teki amaç fonksiyonu değeri (rms) 12. yineleme adımında sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Bu yineleme adımında hesaplanan model parametre değerleri kabul edilen model parametre değerlerine yaklaştığı söylenemez. Bunun nedeni, model parametrelerinin ters çözüm sürecinde sisteme farklı şekillerde duyarlı olmasıdır. Benzer bir açıklama Şekil 6 ve Şekil 8'deki grafikler içinde söylenebilir.

Yukarıda sunulan yöntemin arazi verilerine uygulanabilirliğini göstermek amacı ile Radhakrishna Murthy ve diğ. (2001)' de yayımlamış oldukları makaledeki arazi örneği alınmıştır. Fay uzanımına dik doğrultuda (W-E) alınan profil uzunluğu 40 km olup ölçüm noktaları aralığı 2 km olarak seçilmiştir. Sönümlü enküçük kareler tekniği ile yapılan ters çözüm 38 yineleme sonra sonlandırılmıştır. Radhakrishna Murthy ve diğ. (2001), fayın üst ve alt yüzey derinliklerini, sırası ile, 6.21 km ve 15.07 km olarak elde etmiş olup bu çalışmada ise 6.01 km ve 17.04 km hesaplanmıştır. Modelin eğimi, 2.61^0, keyfi orijin noktasından modelin ucuna kadar olan mesafe, 19.05 km, rejyonal değişimin eğimi, -0.33 nT/km, temel seviye sabiti, -6.20 nT ve modele ait süseptibilite farkı, 0.87 emu olarak elde edilmiştir. Fay modeli için hesaplanan kuramsal anomali ve gözlemsel anomali değerleri ve hesaplanan parametre değerleri Şekil 7' de gösterilmişlerdir.

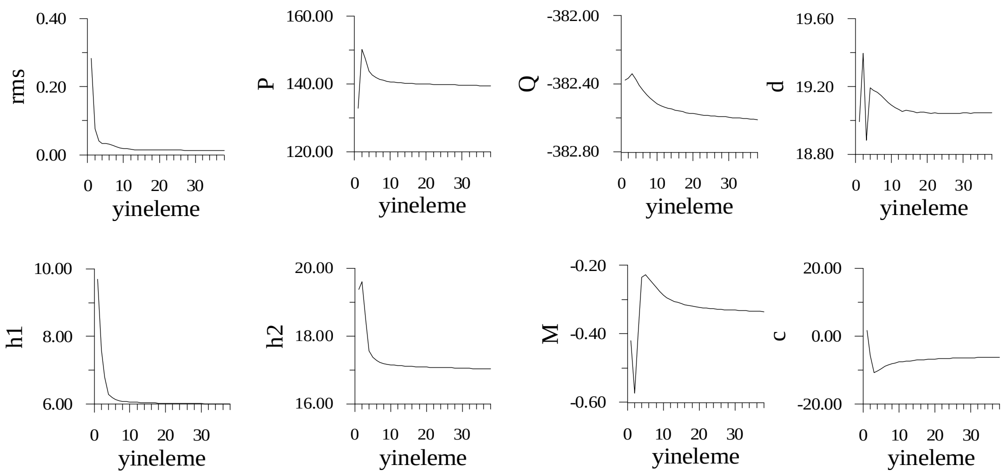
Ayrıca, 38 yineleme sonucunda elde edilen rms hata değerlerine göre model parametrelerinin yineleme aşamalarındaki hesaplanışları Şekil 8' de, topluca, verilmişlerdir.

Hesaplanan ve gözlenen anomalilerin benzerliği, hesaplanan parametreler ile yazarlar tarafından sunulan parametre değerlerinin yakınlığı, sunulan yöntemin uygulanabilirliğinin bir kanıtı olduğu düşünülebilir.



Şekil 7. *a) Avustralya Perth baseninin batı kısmının havadan manyetik anomalisi (Radhakrishna Murthy ve diğ. 2001) ve ters çözümü, b) Hesaplanan model.*

Figure 7. *a) Aeromagnetic anomaly profile on western margin of Perth Basin, Australia (Radhakrishna Murthy et al. (2001) and its inversion, b) The estimated model.*



Şekil 8. *Hesaplanan model parametreleri*
Figure 8. *The estimated parameters of the model.*

Yöntemin dezavantajı, fay modeli geometrisine uygun olarak oluşturulan model fonksiyonu gereğince düşey yada düşeye çok yakın olan fay anomalilerine uygulanabilir olması zorunluluğudur. Bu olumsuzluğa karşın, modelin üst ve alt yüzeylerinin yatay olma zorunluluğunu ortadan kaldırması bir avantaj olarak düşünülmelidir.

SONUÇ

Bu çalışmada, düşey fayların oluşturduğu manyetik anomalilere (toplam, düşey ve yatay) neden olan model parametrelerinin hesaplanmasında sönümlü enküçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Model parametrelerinin hesaplanması sırasında, gözlem değerleri ile bu değerlere karşılık gelen ölçüm noktaları yanısıra, model fonksiyonuna ait parametrelerinin başlangıç değerlerine, çalışılan yöredeki yermanyetik alan şiddeti değeri ve eğim açısına gerek duyulmaktadır.

Yapılan kuramsal çalışmalarda, veriye rejyonal etki de ilave edilerek olası model parametre değerleri hesaplatılmıştır. Rejyonal etkinin ilave edilmesi ile elde edilebilen başarılı sonuçlar neticesinde, sunulan yöntem, manyetik anomali haritalarına rejyonal ve rezidüel ayırımı yapılmaksızın kullanılabilme fırsatı vermektedir. Kuramsal modeller üzerindeki çalışmalardan tatmin edici sonuçlar elde edilmiş ve yöntem, Radhakrishna Murthy ve diğ. (2001)' de yayımlamış oldukları makaledeki arazi verisi üzerinde denenmiştir. Arazi verisinin düşeye yakın bir fay modeline ait olduğu kabul edilmiş ve sözkonusu yazarların elde etmiş oldukları parametre değerleri, sunulan yöntemle elde edilen parametre değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yöntemin uygulanışı sonucu hesaplanan manyetik anomali ile gözlemsel değerlerin uygunluğu gözönünde tutulacak olunursa, tatmin edici sonuçların elde edildiği söylenebilir.

Tasarlanan model fonksiyonunun düşey fay modeline ait olması, sunulan yöntemin sadece, düşey yada düşeye çok yakın fay anomalilerine uygulanabilir olması bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Ancak, arazi verisi için bir orijin noktası tayinine gereksinim duyulmaması, rajyonal ve rezidüel ayırım yapılmadan arazi verilerine uygulanabilmesi, fay modeline ait üst ve alt yüzey derinliklerinin yatayla paralel olma koşulunun aranmaması, yöntemin avantajları olarak sayılabilir.

SUMMARY

The main purpose of magnetic method is the modelling of subsurface mass distribution from the surface measurements. By a proper selection of an inversion technique, one can be determine the geometry of subsurface mass distributions causing the surface anomalies. While no interpretation is unambigous, a resonable interpretation is found by limiting possible solutions with known geological and physical constrain. In many interpretation problems in magnetics, the anomalies are attributed to simple geophysical model such as faults and the model parameters are determined through a properly designed inversion algorithm.

In this study, the applicability of the damped least squares algorithm to the determination of model parameters related to vertical fault model is investigated. Synthetic magnetic anomalies are modeled and compared with the observed magnetic anomalies. Errors in the initial model are refined and the process is started again. Within several iterations the errors between the model anomalies and observed anomalies are calculated and the parameters related to two synthetic models are computed. The field anomaly is taken from Radhakrishna Murthy and others (2001) and the corresponding model is estimated by using the damped least squares algorithm. The results are presented together with the results obtained by Radhakrishna Murthy and others (2001) for comparison.

The closeness of the results are proved the validity of the proposed method.

KATKI BELİRTME

Yazar bu çalışmada, olumlu eleştirilerinden dolayı sayın Prof. Dr. Muzaffer SANVER, Prof. Dr. Naci ORBAY ve Prof. Dr. Rahmi PINAR'a teşekkürlerini sunar.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Albora, A. M., Ucan, O. N., Ozmen, A., Ozkan, T., 2001a, Separation of Bouguer anomaly map using cellular neural network, Journal of Applied Geophysics, 46, 129-142.

Albora, A. M., Özmen, A., Uçan, O. N., 2001b, Residual separation of magnetic fields using a Cellular Neural Network approach, Pure and Applied Geophysics, 158, 1797-1818.

Atchuta Rao, D., and Ram Babu, H. V., 1980a, A note on the application of Hilbert transform for the transformation of Geomagnetic anomalies due to two- dimensional bodies, Curr. Sci, 49, 421-423.

Atchuta Rao, D., and Ram Babu, H. V., and Venkata Raju, D.Ch., 1985, Inversion of gravity and magnetic anomalies over some bodies of simple geometric shape, Pure and Applied Geophysics, 123(2), 239-249.

Bean, R. J., 1966, A rapid graphical solution for the aeromagnetic anomaly of the two-dimensional tabular body, Geophysics, 31, 963-970.

Bhaskara Rao, D., 1990, Analysis of gravity anomalies of sedimentary basins by an asymmetrical trapezoidal model with quadratic density function, Geophysics, 55, 266-231.

Bhattacharyya, B. K., 1966, Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body, Geopysics, 31, 97-121.

Bhattacharyya, B. K., and Leu, L. K., 1975, Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to two-dimensional structures, Geophysics, 40, 993-1013.

Bhattacharyya, B. K., and Leu, L. K., 1977, Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to two-dimensional structures, Geophysics, 42, 41-50.

Bhimasankaram, V. L. S., Nagendra, R., and Seshagiri Rao, S. V., 1977, Interpretation of gravity anomalies due to finite inclined dikes using Fourier transformation, Geophysics, 42, 51-59.

Bruckshaw, J. M., and Kunaratnam, K., 1963, The interpretation of magnetic anomalies due to dykes, Geophys.Prospect., 11, 509-522.

Eby, T. W. F., 1972, The Fourier spectrum of gravity anomalies due to two-dimensional prisms, CAN.SEG J., 8, 14-21.

Grant, F. S., and West, G. F., 1965, Interpretation Theory in Applied Geophysics, McGraw-Hill Publishing Co. Inc., New York

Green, R., and Stanley, J. M., 1975, Application of Hilbert transform method to the interpretation of surface-whicle magnetic data, Geophys. Prosp., 23, 18-27.

Hood, P., 1964, The Königsberger ratio and the dipping dike equation, Geophys. Prospect., 12, 440-456.

Hutchison, R. D., 1958, Magnetic analysis by logaritmic curves, Geophysics, 23, 749-769.

Levenberg, K., 1944, A method for the solution of certain non-linear problems in least squares, Quaterly of Applied Mathematics, 2, 164-168.

Marquardt, D. W., 1963, An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters, Journal of the Society of Ind. and Appl. Mathematics, 11, 431,441.

McGrath, P. H., and Hood, P. J., 1970, The dipping dike case: A computer curve-matching method of magnetic interpretation, Geophysics, 35, 831-845.

Moo, J. K. C., 1965, Analytical aeromagnetic interpretation: The inclined prism, Geophys. Prospect., 13, 203-224.

Nabighian, N. M., 1985, Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms, Geophysics, 49, 780-786.

Odegard, M. E., and Berg, J. W., 1965, Gravity interpretation using the Fourier integral, Geophysics, 30, 424-438.

Radhakrishna Murty, I. V., Swamy, K. V., Jagannadha Rao, S., 2001, Automatic inversion of magnetic anomalies of faults, Computers&Geosciences, 27, 315-325.

Ram Babu, H. V., and Atchuta Rao, D., 1991, Application of Hilbert transform for gravity and magnetic interpretation, Pageoph., 135, 589-599.

Rao, B. S. R., Murthy, I. V. R., 1978, Gravity and Magnetic Methods of Prospecting, Arnold-Heinemann Publishers(India) Pvt. Ltd., New Delhi, 390pp.

Regan, R. D., and Hinze, W. J., 1976, The effect of finite data length in the spectral analysis of ideal gravity anomalies, Geophysics, 41, 44-55.

Regan, R. D., and Hinze, W. J., 1978, Theoretical transforms of the gravity anomalies of two idealized bodies, Geophysics, 43, 631,633.

Roy, A., 1967, Convergence in downward continuation for some simple geometries, geophysics, 32, 853-866.

Sharma, B., and Geldart, L. P., 1968, Analysis of gravity anomalies of two-dimensional faults using Fourier transforms, Geophys. Prosp., 16, 76-93.

Shuey, R. T., 1972, Application of Hilbert transforms to magnetic profiles, Geophysics, 37, 1043-1045.

Stanley, J. M., and Green, R., 1976, Gravity gradients and the interpretation of the truncate plate, Geophysics, 41, 1370-1376.

Venkata Raju, D. Ch., 2003, LIMAT: a computer program for least-squares inversion of magnetic anomalies over long tabular bodies, Computers& Geosciences, 29, 91-98.

Won, I. J., 1981, Application of Gauss's method to magnetic anomalies of dipping dykes, Gephysics, 46, 211-215.

Yayına Geliş – *Received* : 24.01.03
Yayına Kabul-*Accepted* : 15.07.03