



Manyetik verilerin iki-boyutlu ters-çözümü ve parametre değişim fonksiyonu

Two-dimensional inversion of magnetic data and parameter variation function

Yunus Levent EKİNCİ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, 17020
ÇANAKKALE

Geliş (received) : 11 Nisan (April) 2008
Kabul (accepted) : 21 Temmuz (July) 2008

ÖZ

Bu çalışmada, gravite verilerinin iki-boyutlu (2B) ters-çözümü için geliştirilmiş odaklama tekniğinin manyetik veriler üzerinde uygulanabilirliği irdelenmiştir. Bu amaçla MATLAB tabanlı 2B ters-çözüm algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile yeraltı birbirlerine eşit boyutlarda bloklara bölünmektedir. Miknatıslanma şiddeti dağılımının alanı en küçüğe indirgenerek, kaynak yapı etrafında odaklanması sağlanmaktadır. Ayrıca ters-çözüm aşamasında problemin az-tanımlı doğası gereği, ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki çakışmanın denetimi hedef modelle uyumlu sonuçlar üretmeyebilir. Bu nedenle, gerekli olan yineleme sayısının belirlenebilmesi amacıyla durdurma koşulu olarak geliştirilen parametre değişim fonksiyonunun başarısı denetlenmiştir. Kuramsal modellerle gerçekleştirilen uygulamalar, odaklama tekniğinin manyetik verilerle de başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışmanın diğer bir sonucunda da, parametre değişim fonksiyonunun en küçük değeri aldığı yineleme sonunda hesaplanan miknatıslanma şiddeti dağılımının kullanılan test modelleri sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İki-boyutlu ters-çözüm, manyetik, odaklama tekniği, parametre değişimi.

ABSTRACT

In this study, the applicability of the focusing technique, developed for two-dimensional (2D) inversion of gravity data, was tested on magnetic data. For this purpose, MATLAB based 2D inversion algorithm was developed. The subsurface is divided into ensemble of equal sized blocks by the developed algorithm. The focusing is obtained around the source structure by minimizing the area of the intensity of magnetization. In addition, during the inversion stage, compatible results with the objective model may not be produced by controlling the fit between measured and calculated data due to the under-determined nature of the problem. Therefore, the success of the parameter variation function, which is developed as a stopping criterion, was investigated to find the required number of iteration. Applications on synthetic models showed that the focusing technique fields successful results on magnetic data as well. The other result of the study is that the calculated distribution of the intensity of magnetization provides test models when the parameter variation reaches to a minima against the iteration number.

Keywords: Two-dimensional inversion, magnetic, focusing technique, parameter variation.

GİRİŞ

Gravite ve manyetik alan verileri, genelde spektral yöntemler veya ters-çözüm çalışmalarıyla analiz edilir. Spektral yöntemler, dikdörtgen blokların veya prizmatik yapıların ortalama derinliğini bulabilmek için belirtilerin enerji spektrumlarının kullanımı esasına dayanmaktadır (örn. Spector ve Grant, 1970; Okuba vd., 1985; Dolmaz vd., 2005; Aydın vd., 2005). Ancak bu yöntemlerle elde edilen model parametrelerinin üreteceği yapay verinin gerçek veri ile benzeşimi göz önüne alınmazken, ters-çözüm çalışmalarında ise bu benzeşim denetlenmektedir. Belirtiye neden olan parametrelerin yeraltındaki herhangi bir fiziksel dağılımı temsil ettiği düşünülerek uygun ters-çözüm yaklaşımlarıyla doğru modele ulaşılmaya çalışılmaktadır. Potansiyel alan yöntemlerinde, model tepkisi bir dizey denklemi olarak ifade edilebilmekte ve model parametreleri doğrudan hesaplanabilmektedir. Ancak verinin model parametrelerinin tam çözümü için gerekli bilgiyi kapsamamasından dolayı, problem az-tanımlıdır (Menke, 1984). Sonucun tekil olmaması, veri ile benzeşen model tepkisinin aranmasında bazı kısıt tekniklerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu kısıt tekniklerine; değiştirgen uzayındaki başlangıç modelden olan uzaklığın en küçük yapılması veya yineleme yöntemini kullanarak tek yoğunluk çözümüne ulaşılması (Green, 1975), doğrusal programlama ile yoğunluk dağılım momentlerinin birlikte kullanılması (Safon vd., 1977), yoğunluk dağılımlarının alanlarını veya hacimlerini en küçükleme çalışarak dağılımın kaynak kütle etrafında odaklandırılması (Last ve Kubik, 1983), bilinen uzanımaya yönelmesi (Barbosa ve Silva, 1984), blokları derinliğin tersi bir fonksiyon ile ağırlıklandırarak derinlik dengelemesi yapılması (Li ve Oldenburg, 1996 ve 1998), dalgacık dönüşümü ve logaritmik bariyer kullanımı (Li ve Oldenburg, 2003) gibi örnekler verilebilir.

Bu çalışmada; kısıt tekniklerinden, belirtiye neden olan fiziksel parametre (yoğunluk) dağılımının kaynak kütle üzerinde yoğunlaştırılması esasına dayanan odaklama tekniği üzerinde durulmuştur. Odaklama tekniği, gravite verileri üzerinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Last ve Kubik, 1983; Sarı ve Ergün,

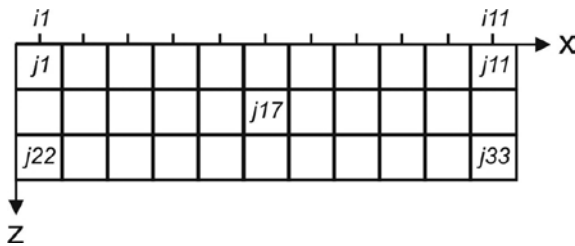
1988). Bu çalışmanın amacı ise, odaklama ters-çözümü tekniğinin manyetik veriler üzerindeki uygulanabilirliğinin irdelenmesidir. Bu amaçla yeraltı, sonlu sayıda ve birbirlerine eşit boyutlarda bloklara bölünerek manyetik belirtiye neden olan mıknatıslanma şiddeti dağılımının kaynak bloklar üzerinde yoğunlaştırılmasına çalışılmıştır. Kullanılan odaklama tekniğinin başarısı, en yoğun odaklanmanın sağlandığı yinelemenin belirlenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla ilk yinelemeden başlayarak, algoritmanın her yineleme sonunda durdurulup hesaplanan model denetlenebilmekte ve hedeflenen çözüme ulaşılamamışsa yineleme sayısı artırılarak işlemlere devam edilebilmektedir. Ancak fazla sayıda yineleme gerektiren çalışmalarda bu yaklaşımın uygulanması oldukça güçtür. Ters-çözüm çalışmalarında, yinelemelerin durdurulması amacıyla genellikle ölçülen ve hesaplanan verilerin birbirleriyle çakışıp çakışmadığını denetleyen bir ölçüt saptanmaktadır (örn. uyum, karekök hata). Bu ölçüt değerinin önceden belirlenen bir değerden daha küçük olması durumunda, yineleme işlemine son verilebilir (Başokur, 2002). Odaklama tekniğinin, az-tanımlı denklem sistemiyle çözülmesi ve bu sisteme ağırlık fonksiyonunun da eklenmesinin etkisiyle, ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki çakışma her yineleme sonunda sağlanabilmesine karşın, mıknatıslanma şiddeti dağılımının yoğunlaştığı yineleme belirlenmemektedir. Bu nedenle, her yineleme sonunda ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki çakışmanın denetimi yerine, hesaplanan veriyi üreten mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının değişimine göre belirlenen bir ölçüt geliştirilmiştir. Parametre değişimi veya parametre normu adı verilen bu fonksiyon, ardışık yinelemelerden elde edilen mıknatıslanma şiddeti dağılım değerlerinin farklarının normuyla hesaplanmıştır.

Odaklama tekniğinde, yineleme sayısı arttıkça mıknatıslanma şiddeti dağılımı kaynak bloklar üzerinde yoğunlaşırken, diğer bloklar üzerinde indirgenmekte ve yinelemeler devam ettikçe mıknatıslanma şiddeti değerine sahip blok sayısı azalmaktadır. Bu nedenle, en yoğun dağılımın sağlandığı yinelemeden sonra daha fazla yoğunlaşma sağlanamayacağı ve son iki yinelemede hesaplanan mıknatıslanma şidde-

ti değerleri arasındaki farkın en küçük olacağı varsayımı yapılmıştır. Bu düşünceden yola çıkılarak geliştirilen parametre normu, ters-çözüm algoritmasında durdurma koşulu olarak denemiştir. Ters-çözüm aşamasında kullanılan kuramsal modellerin üreteceği manyetik belirtilerin hesaplanmasında Leite ve Leao (1985) tarafından önerilen bağıntılardan yararlanılmıştır. Uygulamalar, geliştirilen MATLAB tabanlı 2B ters-çözüm algoritması ile farklı geometri ve mıknatıslanma şiddeti dağılımlarına sahip modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, odaklama tekniğinin manyetik veriler üzerinde de başarılı sonuçlar ürettiğini ve parametre normunun en küçük değeri aldığı yineleme sonunda bloklara ait mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının kuramsal modelleri sağladığını ortaya koymuştur.

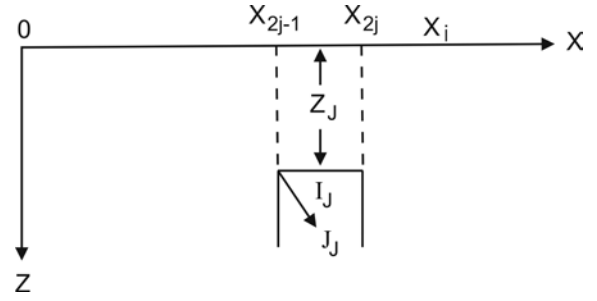
İKİ-BOYUTLU YAPILARIN OLUŞTURACAĞI MANYETİK BELİRTİLERİN HESAPLANMASI

İki-boyutlu (2B) mıknatıslanma şiddeti dağılımının oluşturacağı belirtilerin hesaplanması amacıyla yeraltı birbirlerine eşit boyutlarda kare bloklara bölünmüş ve kendi içerisinde tekdüze olduğu varsayılan blokların mıknatıslanma şiddeti değerleri değişken olarak alınmıştır. Örneğin, Şekil 1'de verilmiş olan yeraltı yapısı için her bir gözlem noktasında bütün blokların mıknatıslanma şiddeti değerlerinin toplam etkisi hesaplanmaktadır. x_i gözlem noktasında, kenarları x_{2j-1} ve x_{2j} olan sonsuz kalınlıktaki blok modelinin derinliği z_j , mıknatıslanma şiddeti ise J_j ile tanımlanırsa (Şekil 2), bu yapının oluşturacağı manyetik alan şiddeti Eşitlik 1'den hesaplanabilmektedir (Leite ve Leao, 1985).



Şekil 1. Gözlem noktaları ve 33 adet bloğa bölünmüş yeraltı modeli.

Figure 1. Observation points and the subsurface model divided into 33 blocks.



Şekil 2. Prizmatik yapı ve parametreleri (Leite ve Leao, 1985).

Figure 2. Prismatic body and its parameters (Leite and Leao, 1985).

$$\Delta T_j(x_i) = 2J_j \{ A_{oj} [\tan^{-1}(C_{ij}/z_j) - \tan^{-1}(D_{ij}/z_j)] + 0.5B_{oj} \ln(E_{ij}/F_{ij}) \} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen değişkenler ise,

$$A_{oj} = \alpha_0 \alpha_j - \gamma_0 \gamma_j, \quad B_{oj} = \alpha_0 \gamma_j + \alpha_j \gamma_0,$$

$$C_{ij} = x_{2j-1} - x_i, \quad D_{ij} = x_{2j} - x_i,$$

$$E_{ij} = D_{ij}^2 + z_j^2, \quad F_{ij} = C_{ij}^2 + z_j^2,$$

$$\alpha_j = \cos I_j \cos D_j, \quad \gamma_j = \sin I_j$$

ile tanımlanır. Burada, α_j ve γ_j yapının manyetizasyon vektörünün, α_0 ve γ_0 ise yer manyetik alan vektörünün doğrultman kosinüsleridir (Leite ve Leao, 1985). Böylece i gözlem noktası, M yapı sayısı ve ΔT_0 ise toplam manyetik alan değeri olmak üzere, bütün yapıların gözlem noktalarında oluşturacağı belirti,

$$\Delta T(x_i) = \sum_{j=1}^M \Delta T_j(x_i) + \Delta T_0, \quad i = 1, N \quad (2)$$

eşitliğinde hesaplanır. Eşitlik 1, sonsuz kalınlıktaki blok yapılar için geçerlidir. Bu çalışmada ise, sonlu kalınlıktaki bloğa ait belirtinin hesaplanabilmesi için yapının üreteceği belirti iki farklı derinlik için hesaplanmış ve aralarındaki fark alınmıştır. Böylece eşit boyutlarda kare blokların herhangi bir gözlem noktasında oluşturacağı manyetik belirti elde edilmiştir.

İKİ-BOYUTLU ODAKLAMA TERS-ÇÖZÜMÜ

Odaklama tekniği, belirtiyeye neden olan yoğunluk dağılımını belirleyebilmek amacıyla parametre fonksiyonunu en küçük yapan ağırlıklı en küçük kareler yöntemini kullanmakta ve böylece yoğunluk dağılımının alanı en küçükğe indirgenerek belirtiyeye neden olan kaynak yapı merkezi etrafında yoğunlaşma sağlamaktadır (Last ve Kubik, 1983). Bu çalışmada, odaklama tekniğinin manyetik veriler içinde kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla kaynak yapıları ait yoğunluk değerleri yerine mıknatıslanma şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu teknikte, kendi içinde tekdüze olduğu varsayılan blokların mıknatıslanma şiddetleri değişken olarak alınmakta ve genel çözüm olarak aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$[G] = [A][M] \quad (3)$$

Burada; G gözlem değerleri, A her bir gözlem noktasında blokların manyetik alan değerine olan katkıları, M ise her bir bloğun mıknatıslanma şiddetini ifade etmektedir. Mıknatıslanma şiddeti dağılımını en küçük yapan fonksiyon Eşitlik 4 ile verilir (Last ve Kubik, 1983).

$$q = \sum_{j=1}^M w_{m_j} m_j^2 \rightarrow \text{en küçük} \quad (4)$$

Burada; $w_{m_j} = f_m(m_j) / m_j^2$ olarak ifade edilir ve ağırlık fonksiyonunu tanımlamaktadır, m_j ise blokların mıknatıslanma şiddetini ifade etmektedir. Ayrıca, m fonksiyonunun Eşitlik 5'te verilen özelliğinden dolayı, boyutları d ve h olan 2B yapının alanı aşağıdaki eşitlikle tanımlanır (Last ve Kubik, 1983).

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} m^2 / (m^2 + \beta) = 0; \quad m = 0 \quad (5)$$

$$= 1; \quad m \neq 0$$

$$\text{alan} = dh \lim_{\beta \rightarrow 0} \sum_{j=1}^M m_j^2 / (m_j^2 + \beta) \quad (6)$$

Burada, β oldukça küçük bir değeri ifade etmekte ve ağırlık fonksiyonu,

$$W_{m_j} = (m_j^2 + \beta)^{-1} \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Az-tanımlı denklem sistemleri için çözüm Eşitlik 8 ile tanımlandığına göre, eşitliğe ağırlık fonksiyonunun da eklenmesiyle Eşitlik 9 elde edilmektedir.

$$M = A^T (AA^T)^{-1} G \quad (8)$$

$$M = W_m^{-1} A^T (AW_m^{-1} A^T)^{-1} G \quad (9)$$

İlk yinelemede, $W_m = I$ (birim matris) seçilir ve çözüm Eşitlik 8 yardımıyla sağlanır. Böylece belirtiyeye neden olan mıknatıslanma şiddeti dağılımı bütün bloklara gelişigüzel dağıtılır. Ancak bu durum jeolojik olarak kabul edilemeyecek mıknatıslanma şiddeti dağılımlarına neden olabilmektedir. Çünkü sadece Eşitlik 8'in kullanılmasıyla belirtiyeye neden olan bloklarla birlikte belirtiyeye neden olmayan bloklara da mıknatıslanma şiddeti değeri atanır. Bu nedenle, ağırlık fonksiyonunun ilk yinelemeden sonraki yinelemelerde işleme sokulması gerekmektedir (Last ve Kubik, 1993; Sarı ve Ergün, 1988). Bu durumda i . yineleme sırasında çözüm Eşitlik 10 ile sağlanmakta ve her yinelemede kullanılan ağırlık fonksiyonu, bir önceki yineleme sonunda elde edilen mıknatıslanma şiddeti dağılımıyla Eşitlik 11'de verildiği gibi yeniden hesaplanmaktadır (Last ve Kubik, 1983).

$$M^{(i)} = \left[(W_m^{i-1})^{-1} A^T (A (W_m^{i-1})^{-1} A^T)^{-1} \right] G \quad (10)$$

$$\left[W^{i-1} \right] = \left(\left[m_j^{i-1} \right]^2 + \beta \right)^{-1} \quad (11)$$

Böylece ters-çözüm aşaması en küçük kareler çözümü ile başlamakta ve 2. yinelemeden itibaren ağırlık fonksiyonunun her adımda kullanılmasıyla da mıknatıslanma şiddeti dağılımı yoğunlaşmaktadır. Diğer bir deyişle, belirtiyeye neden olan kaynak yapı etrafındaki blokların mıknatıslanma şiddetleri artarken, diğer blokların ise azalmakta ve yineleme sayısı arttıkça dağılımın alanı küçülerek kaynak yapı üzerinde odaklanmaktadır.

Ters-çözüm algoritmalarında durdurma koşulu, genellikle ölçülen ve hesaplanan verinin birbirlerine olan benzerliği ile denetlenmektedir. Bu benzerlik, bir çakışmazlık ölçütü olarak aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$Uyum = \frac{\left(\sum_{i=1}^{ND} (d^{ölç} - d^{hes})^2 \right)^{1/2}}{\left(\sum_{i=1}^{ND} (d^{ölç})^2 \right)^{1/2}} \quad (12)$$

$$Karekök\ hata = \frac{\left(\sum_{i=1}^{ND} (d^{ölç} - d^{hes})^2 \right)^{1/2}}{ND} \quad (13)$$

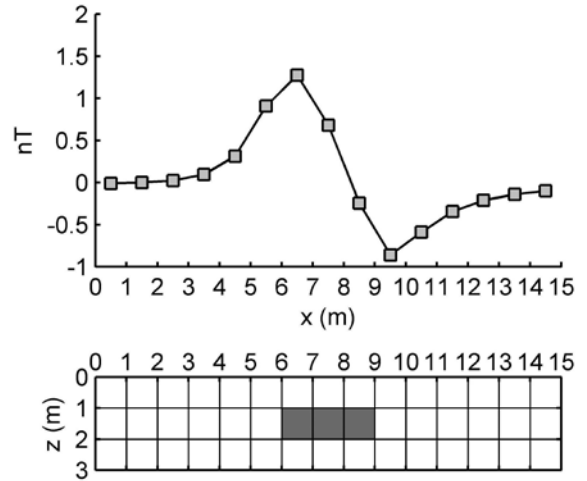
Burada, ND veri sayısını, $ölç$ ölçülen veriyi ve hes ise hesaplanan veriyi ifade etmektedir. Ancak az-tanımlı denklem sistemleriyle ifade edilebilen problemlerde sonsuz adet çözüme ulaşılabileceğinden, ters-çözümün ölçülen ve hesaplanan verinin birbirlerine olan benzerliği ile denetlenmesi hatalı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, uygulama aşamasında durdurma koşulu olarak parametre normu olarak adlandırılan bir fonksiyon kullanılmıştır. Fonksiyon, ardışık yinelemeler sonunda hesaplanan mıknatıslanma şiddeti değerlerinin farklarının normuyla hesaplanmıştır. Bu durumda, m bloklara ait mıknatıslanma şiddetlerini göstermek üzere k . yineleme sonunda, parametre normu Eşitlik 14'ten hesaplanmaktadır.

$$parnorm = \left(\sum_{i=1}^{ND} (m^k - m^{k-1})^2 \right)^{1/2} \quad (14)$$

KURAMSAL MODELLER VE UYGULAMALAR

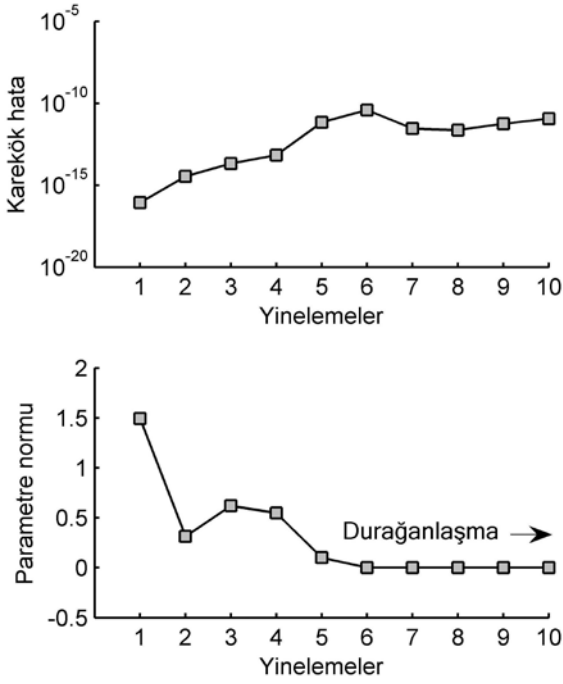
Geliştirilen ters-çözüm algoritmasının manyetik veriler üzerindeki başarısının denetlenmesi amacıyla uygulamalar kuramsal modeller yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kuramsal modellerin üreteceği belirtiler Leite ve Leao (1985) tarafından önerilen bağıntılarla geliştirilen MATLAB tabanlı 2B düz-çözüm algoritması ile hesaplanmıştır. Uygulamalarda, 1×1 m boyutlarında 3×15 blokla temsil edilen 3 adet farklı yeraltı modeli kullanılmıştır. Bütün modellerde veri örnekleme aralığı 1 m olarak alınmış ve toplam manyetik alan değeri ihmal edilmiştir. İlk modelde yeraltında bulunduğu varsayılan kaynak yapı 3×1 m bo-

ylarında ve 1 m derinlikte konumlandırılmış ve 3 blokla gösterilmiştir. Hesaplamalar; bloklara ait mıknatıslanma şiddeti 1 El (cgs), yer manyetik alanının eğim ve sapma açısı ise sırasıyla 60° ve 0° olacak şekilde yapılmıştır. Manyetizasyon vektörünün eğim ve sapma açıları yer manyetik alanının eğim ve sapma açlarına eşit olacak şekilde seçilmiştir. Model 1 ve ürettiği veri Şekil 3'de verilmiştir. Model 1'den üretilen veri, ölçü-



Şekil 3. Model 1 için kaynak yapı ve üretilen veri.
Figure 3. The causative body and the generated data for Model 1.

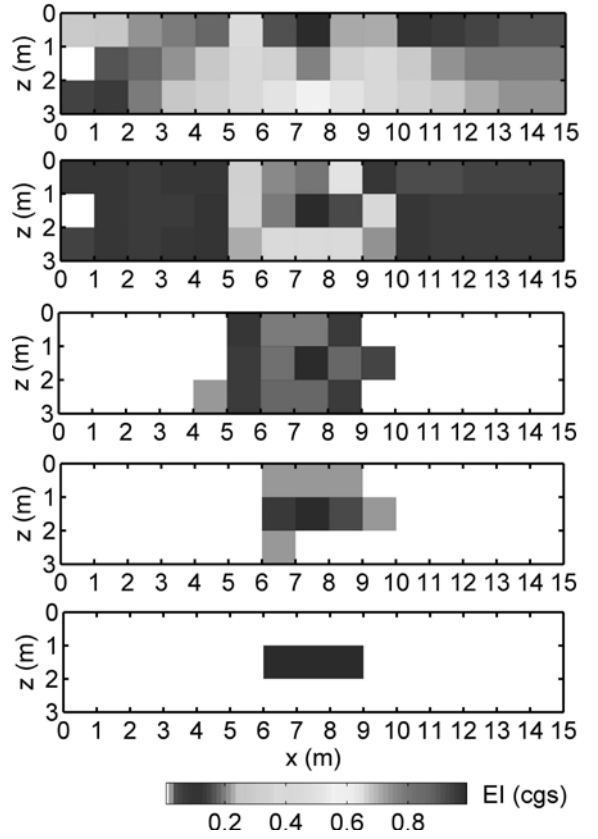
len veri olarak ters-çözüm işlemine sokulmuştur. İlk modelde yineleme sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Her yineleme sonunda ölçülen ve hesaplanan veriler arasındaki karekök hata ile birlikte ardışık yinelemelerden hesaplanan parametre normu değerleri de hesaplanmıştır. Burada amaç, iki farklı fonksiyonun durdurma koşulu olarak etkisinin karşılaştırılması olmuştur. Şekil 4'te 10 yineleme için her iki fonksiyonun aldığı değerler verilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki karekök hata değerlerinin 10×10^{-10} ile 10×10^{-16} arasında değiştiği gözlenmektedir. Diğer bir ifadeyle, ters-çözüm aşamasında elde edilen 10 farklı modelden hesaplanan veri ile ölçülen veri oldukça düşük bir hata oranıyla çakışmaktadır. Bu nedenle, karekök hatanın incelenmesiyle, bulunan modellerden hangisinin gerçek modeli (Model 1) sağladığı belirlenemmiştir. Diğer taraftan, 6. yinelemeden itibaren



Şekil 4. Model 1 için yineleme sayısına göre karekök hata ve parametre normu.
Figure 4. Root mean square error and parameter norm against iteration number for Model 1.

parametre normunun yaklaşık sıfır değerini alıp durağanlaştığı gözlenmiştir. Buna göre, 5. yinelemeden sonra mıknatıslanma şiddeti değerlerinde bir değişiklik olmadığı ortaya konmuştur. Böylece, belirtiyeye neden olan hedef blokların mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının en yoğunlaştığı yinelemenin 5. yineleme olduğu belirlenmiştir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, ilk yineleme sonunda belirtiyeye neden olan mıknatıslanma şiddeti dağılımı bütün bloklara gelişigüzel şekilde dağılmış, ikinci yinelemeden itibaren ağırlık fonksiyonunun da hesaplamalara katılmasıyla birlikte dağılım yoğunlaşmaya başlamış ve 5. yineleme sonunda mıknatıslanma şiddeti dağılımını kaynak bloklar üzerinde odaklanarak gerçek model belirlenmiştir.

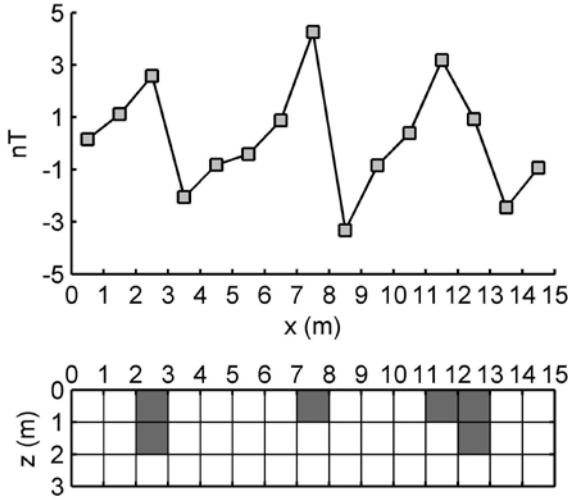
Model 2'de, 3 farklı yapıyı temsil eden 6 adet blok kullanılmıştır. Modelde, mıknatıslanma şiddetleri tek blokla temsil edilen yapı için 2 El (cgs), diğer bloklar için ise 1 El (cgs) olarak alınmış ve farklı mıknatıslanma şiddeti değerlerine sahip yapılar üzerinde algoritmanın başarısı de-



Şekil 5. Model 1 için 5 yineleme boyunca hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları.
Figure 5. The distribution of the intensity of magnetization calculated during 5 iterations for Model 1.

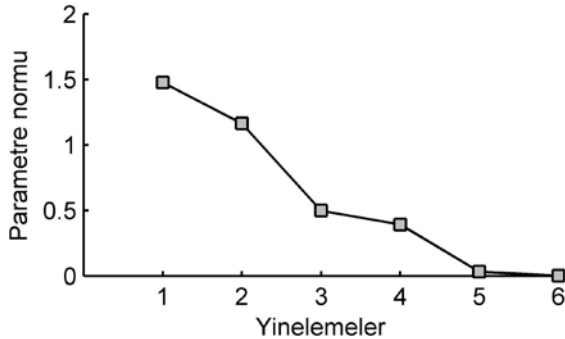
netlenmiştir. Model 2'nin üreteceği belirtinin hesaplanmasında, yer manyetik alanının ve manyetizasyon vektörünün eğim ve sapma açıları sırasıyla 60° ve 0° olacak şekilde tasarlanmıştır. Model 2 ve ürettiği veri Şekil 6'da verilmiştir. Model 1'de olduğu gibi, ters-çözüm aşamasında yineleme sayısı arttıkça mıknatıslanma şiddeti dağılımı kaynak bloklar etrafında yoğunlaşmaya başlamış ve 6. yineleme sonunda parametre normunun en küçük değerini almasıyla algoritma durmuştur (Şekil 7). Böylece, mıknatıslanma şiddeti dağılımının en yoğunlaştığı yineleme belirlenmiştir. 5 yinelemede hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları Şekil 8'de verilmiştir.

Son modelde ise, birbirlerinden farklı mıknatıslanma şiddetindeki 3 farklı yapı kullanılmıştır. Kaynak yapılar ait mıknatıslanma şiddetleri sı-

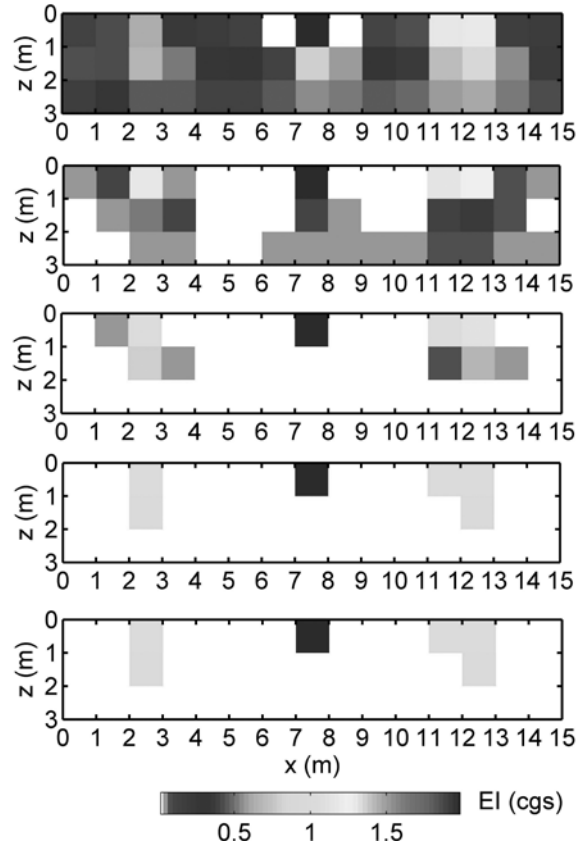


Şekil 6. Model 2 için kaynak yapı ve üretilen veri.
Figure 6. The causative body and the generated data for Model 2.

rasıyla 1, 1.2 ve 1.5 EI (cgs) olarak alınmıştır. Bu modelde hesaplamalar, yer manyetik alanının ve manyetizasyon vektörünün eğim açıları 90° , sapma açıları ise 0° alınarak yapılmıştır. Model 3 ve ürettiği veri Şekil 9'da verilmiştir. Ters-çözüm aşaması, parametre normunun en küçük değerini aldığı 10. yineleme sonuna kadar devam etmiştir. Böylece, en yoğun mıknatıslanma şiddeti dağılımının 9 yinelemeyle gerçekleştiği belirlenmiştir. Yineleme sayısına göre parametre normu ve hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları ise, sırasıyla Şekil 10 ve 11'de verilmiştir. Şekil 11'den de görüldüğü gibi, ilk yine-



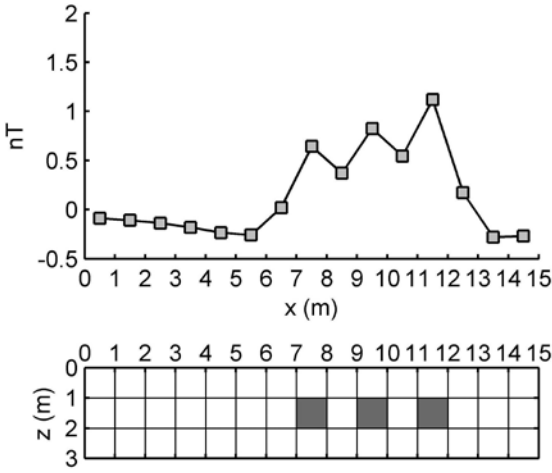
Şekil 7. Model 2 için yineleme sayısına göre parametre normu.
Figure 7. Parameter norm against iteration number for Model 2.



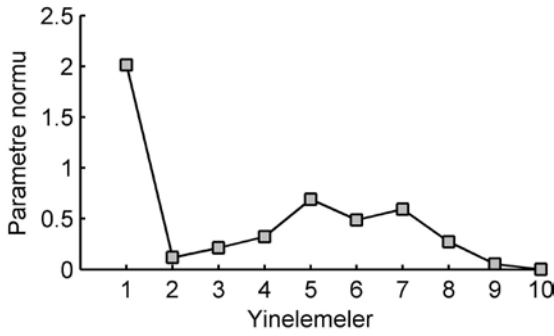
Şekil 8. Model 2 için 5 yineleme boyunca hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları.
Figure 8. The distribution of the intensity of magnetization calculated during 5 iterations for Model 2.

lemeden sonra kaynak blokların mıknatıslanma şiddeti değerleri artarken, diğer bloklarda ise azalmaya başlamış ve 9. yineleme sonunda mıknatıslanma şiddeti dağılımı kaynak bloklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yinelemede blokların mıknatıslanma şiddeti değerleri 1, 1.2 ve 1.5 EI (cgs) olarak hesaplanmıştır. Her 3 modelde, ilk ve son yinelemeler sonunda hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları Çizelge 1'de verilmiştir.

Kuramsal modeller kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda odaklama yönteminin manyetik veriler üzerinde de başarılı sonuçlar verdiği ve ters-çözüm aşamasında en uygun yinelemenin parametre normu yardımıyla belirlenebildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, yöntemin başarısının β seçimiyle de ilgili olduğu ve bu sabit sayının Model 1'de 10^{-4} 'ten, Model 2'de 10^{-5} 'ten



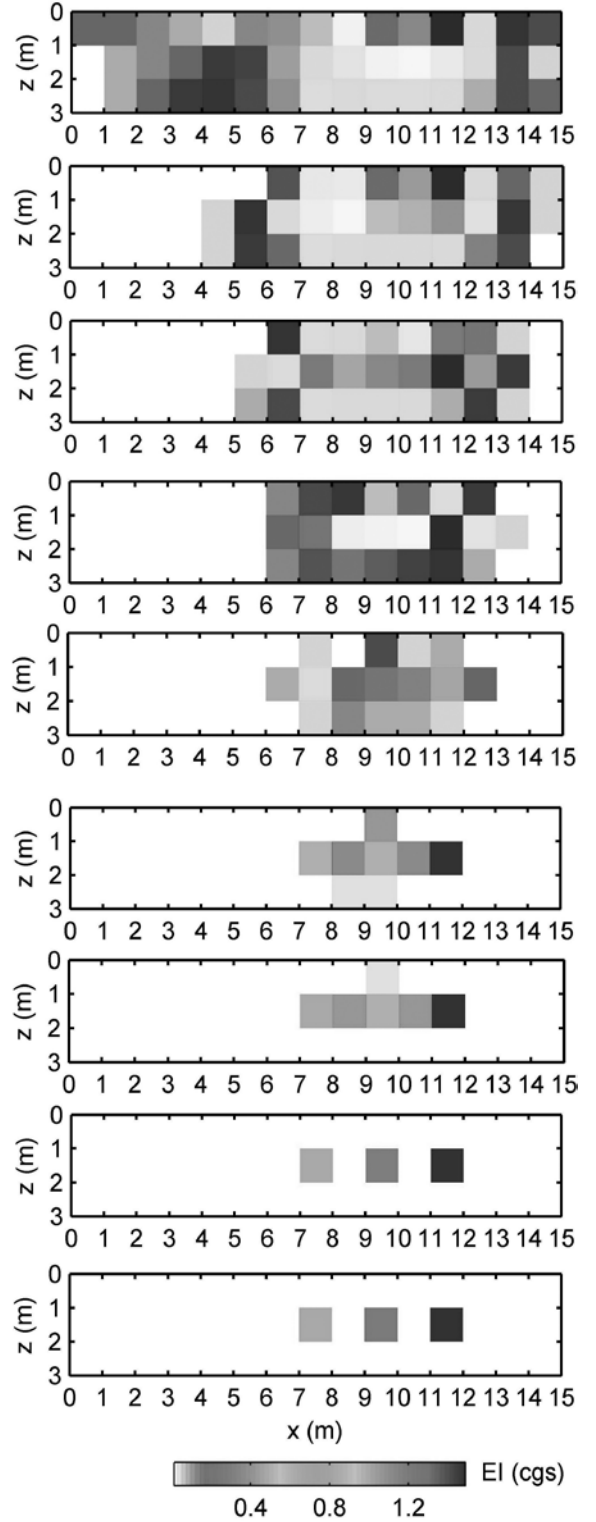
Şekil 9. Model 3 için kaynak yapı ve üretilen veri.
Figure 9. The causative body and the generated data for Model 3.



Şekil 10. Model 3 için yineleme sayısına göre parametre normu.
Figure 10. Parameter norm against iteration number for Model 3.

ve Model 3'te ise 10^{-6} 'dan büyük seçilmemesi durumunda başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle, farklı mıknatıslanma şiddetindeki yapı sayısının artmasıyla β değerinin azaltılması gerekmiştir. Bu çalışmada, her 3 modelin ters-çözümünde β değeri 10^{-8} olarak seçilmiştir. Ayrıca, 10^{-8} değerinin farklı mıknatıslanma şiddetindeki yapı sayısının fazla olması durumunda da başarılı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Kullanılan ters-çözüm algoritmasında, kullanıcının belirleyeceği bir mıknatıslanma şiddeti kısıtlaması da ön bilgi olarak kullanılabilir.



Şekil 11. Model 3 için 9 yineleme boyunca hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları.
Figure 11. The distribution of the intensity of magnetization calculated during 9 iterations for Model 3.

Çizelge 1. Model 1, 2 ve 3 için ilk ve son yineleme sonunda hesaplanan mıknatıslanma şiddeti dağılımları (EI(cgs)).

Table 1. Intensity of magnetization distributions calculated after the first and the last iteration for Model 1, 2 and 3 (EI(cgs)).

Model 1														
1. Yineleme														
0.04	0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.13	0.38	0.42	0.26	0.01	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-0.02
-0.11	-0.03	-0.01	-0.00	0.03	0.11	0.24	0.29	0.24	0.12	0.03	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
-0.08	-0.04	-0.01	0.01	0.05	0.10	0.16	0.18	0.16	0.11	0.06	0.02	0.01	0.00	-0.00
5. Yineleme														
						1.00	1.00	1.00						
Model 2														
1. Yineleme														
0.05	0.08	1.09	-0.10	-0.13	-0.17	-0.30	1.60	-0.32	-0.23	-0.26	0.79	0.91	-0.16	-0.13
-0.24	-0.07	0.33	0.19	-0.02	-0.05	0.05	0.45	0.24	-0.04	0.04	0.35	0.50	0.21	0.01
-0.14	-0.01	0.11	0.10	0.05	0.05	0.11	0.20	0.17	0.10	0.13	0.22	0.26	0.18	0.08
5. Yineleme														
		1.00					2.00				1.00	1.00		
		1.00										1.00		
Model 3														
1. Yineleme														
0.01	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.08	0.22	0.19	0.28	0.24	0.33	0.13	0.02	0.01
-0.02	-0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.09	0.14	0.17	0.19	0.19	0.18	0.12	0.05	-0.01
-0.02	-0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.14	0.14	0.13	0.09	0.05	0.00
9. Yineleme														
							1.00		1.20		1.50			

Böylece, alt ve üst limit değerlerini aşan bloklar algoritma içinde dondurulmakta ve yerine ön bilgi olarak verilen limit değerleri yerleştirilebilmektedir. Kısıtlanmalı durumda mıknatıslanma şiddeti limit değerleri gerçeğe yakın belirlenebilirse, çözüm daha az yinelemeyle tamamlanabilir. Kuramsal modellerle gerçekleştirilen uygulamalardan da görüleceği gibi, algoritma ilk yinelemede Eşitlik 8'in doğasından dolayı dağılımı gelişigüzel değerlerle gelişigüzel bloklara atamaktadır. Böylece gerçek modelde bulunmayan düşük veya yüksek mıknatıslanma şiddeti değerleri bir sonraki yinelemede çözüme girebilmektedir. Kullanılacak limit değerleri yardımıyla, bu saçılmalar gerçekleşmez ve çözümün gerçek modele yakınsaması hızlandırılabilir. Özellikle siğ amaçlı yapılan manyetik çalışmalarda,

manyetik belirtilerden bölgesel etkilerin çıkarılmasıyla elde edilen yerel etkilerin oluşturduğu belirtilerin en düşük ve en yüksek değerlerinden yapılabilecek bir yaklaşımla bir mıknatıslanma şiddeti kısıtlaması ön bilgi olarak belirlenebilir. Ayrıca çalışma alanında yapılmış sondaj varsa, bu sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılabilecek ölçümlerin sonuçlarına göre bir kısıt belirleyebilmek mümkündür.

SONUÇLAR

Bu çalışma, gravite verilerinin 2B ters-çözümü için geliştirilen odaklama tekniğinin, manyetik verilere uygulanması durumunda ne derece başarılı sonuçlar alınabileceğini saptamak için yapılmıştır. Bu amaçla, 2B yapıların ürettiği

manyetik belirtilere neden olan mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının belirlenebilmesi için geliştirilen MATLAB tabanlı 2B ters-çözüm algoritması kuramsal modeller üzerinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, ters-çözüm aşamasında en uygun yinelemenin hızlı bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla durdurma koşulu olarak geliştirilen bir ölçüt kullanılmıştır. Parametre normu adı verilen bu ölçüt, ardışık yinelemeler sonunda elde edilen mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının farklarının normuyla hesaplanmıştır. Uygulamalar, parametre normunun en küçüklendiği yineleme sonunda mıknatıslanma şiddeti dağılımlarının başarılı bir şekilde belirlenebildiğini göstermiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, parametre normunun tamamen odaklama tekniğinin doğasıyla uyumlu bir durdurma koşulu olduğudur. Bu nedenle, diğer ters-çözüm tekniklerinde de başarılı sonuçlar vermesi beklenmemelidir. Bu çalışmanın diğer bir sonucu ise, ters-çözüm algoritması içinde ağırlık fonksiyonunun hesaplanması sırasında kullanılan β değerinin seçiminin oldukça önemli olduğunun ortaya konmasıdır. Bu değer yapacak çalışmalarda 10^{-8} 'den büyük seçilmemesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, özellikle arkeojeofizik gibi sığ amaçlı manyetik çalışmalarda, belirtilere neden olan hedef yapıların düzgün bir geometri ve güçlü mıknatıslanma şiddeti değerlerine sahip olmaları durumunda, bu yapıların yatay ve düşey geometrilerinin belirlenebilmesinde odaklama tekniğinin parametre normuyla birlikte kullanımının araştırmacı için hızlı bir yorumlama olanağı sağlayabileceği düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesi sırasında fikir ve önerilerinden yararlandığı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'nden Dr. Emin U. Ulugergerli'ye teşekkürlerini sunar. Yazar ayrıca yayının son haline gelmesinde gösterdikleri katkılardan dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi'nden Prof. Dr. Coşkun Sarı'ya, Prof. Dr. Mahmut G. Drahor'a ve ismi belirtilmeyen diğer hakeme teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Aydın, I., Karat, H.I., and Koçak A., 2005. Curie-point depth map of Turkey. *Geophysical Journal International*, 162, 633-640.
- Barbosa, V.C.F., and Silva, J.B.C., 1994. Generalized compact gravity inversion. *Geophysics*, 59, 57-68.
- Başokur, A.T., 2002. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters-çözümü. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, No. 4.
- Dolmaz, M.N., Hisarlı, Z.M., Ustaömer, T., and Orbay, N., 2005. Curie point depths based on spectrum analysis of aeromagnetic data, West Anatolian extensional province, Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 571-590.
- Green, W.R., 1975. Inversion of gravity profiles by use of Backus-Gilbert approach. *Geophysics*, 40, 763-772.
- Last, B.J., and Kubik, K., 1983. Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 713-721.
- Leite, L.W.B., and Leao, J.W.D., 1985. Ridge regression applied to the inversion of two-dimensional aeromagnetic anomalies. *Geophysics*, 50, 1294-1306.
- Li, Y., and Oldenburg, D.W., 1996. 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*, 61, 394-408.
- Li, Y., and Oldenburg, D.W., 1998. 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63, 109-119.
- Li, Y., and Oldenburg, D.W., 2003. Fast inversion of large scale magnetic data using wavelet transforms and a logarithmic barrier method. *Geophysical Journal International*, 152, 251-265.
- Menke, W., 1984. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Academic Press, V. 45.
- Okubo, Y., Graf, J.R., Hansen, R.O., Ogawa, K., and Tsu, H., 1985. Curie point depths of the Island of Kyushu and surrounding areas, Japan. *Geophysics*, 53, 481-494.

Safon, C., Vasseur, G., and Cuer, M., 1977. Some applications of linear programming to the inverse gravity problem. *Geophysics*, 42, 1215-1229.

Sarı, C. ve Ergün, M., 1988. Yinelemeli ters çözüm yöntemi ile yeraltı yoğunluk dağı-

lıminin saptanması. *Jeofizik*, 2 (1), 27-43.

Spector, A., and Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293-302.

