

MANYETİK ANOMALİ VEREN KÜTLELERİN DÜŞEY GEOMETRİSİNİN BULUNMASI KONUSUNDA BİR DENEME

An Attempt to Define the Vertical Geometry of Bodies Cause Magnetic Anomalies

İbrahim AYDIN*

ÖZET

Manyetik anomali veren kütlelerin düşey geometrisinin saptanmasına ilişkin ters çözüm çalışmaları model ve arazi örnekleri üzerinde denenmiştir.

Yeraltının iki boyutlu prizmalarla temsil edilmesi esasına dayanan teknik, anomaliye sebep olan mıknatıslanma şiddeti yüksek prizmaların konumunun bulunmasını hedefler. Mıknatıslanma şiddeti yüksek olan prizmaların meydana getirdiği kütlelerin profile dik kesitindeki yüzeyinin minimum olması ve anomali eğrisi ile model eğrisinin en iyi bir şekilde çakışması iteratif bir ters çözümle gerçekleştirilmektedir. Model çalışma sonuçlarının olumlu olmasına rağmen arazi örneklerinden elde edilen sonuçlar çok tatminkar değildir. Fakat sonuçlar, kütlelerin geometrisinin kabaca belirlenmesinde yeterli sayılabilir.

ABSTRACT

An iterative inverse solution technique to define the vertical geometry of the bodies which cause magnetic anomalies was studied on the theoretical and real field examples.

Main principles of the technique are to represent the ground by two dimensional prisms and locate the highly magnetized prisms.

The technique minimizes the volume of the body which consists of prisms and compares the curves of anomaly and model for best fit.

It has not been found satisfactory in fair determination of vertical geometry of magnetic bodies, but well enough in rough estimation.

GİRİŞ

Manyetik anomaliden giderek anomaliye sebep olan kütlelerin derinlik, kalınlık, dalm v.b. parametrelerinin saptanmasında oldukça ileri bir aşamaya gelinmiştir.

Gerek uzaysal ortamda olsun gerek frekans ortamında olsun aranan parametre yüzde 20 hata ile hesaplanabilmektedir. Fakat yine de problemin tek çözümlü olmadığı her zaman gözönüne almak gerekmektedir.

Kütlelerin alt derinliğinin hesaplanması bir başka deyişle kütlelerin düşey geometrisinin modellenmesi düzgün mıknatıslanmış basit geometrik şekilli küre, silin-

dir veya prizmalar kullanarak yapılabilmektedir. Kütleler 2,2 1/2 veya 3 boyutlu bir geometrik yapı olarak modellenilebilirler. Manyetik kütlelerin geometrik şekilleri modellenmesi, sına -yanılma tekniği veya lineer olmayan bir dizi denklemlerin gradyan, Newton-Gauss, Marquardt veya Powell teknikleri ile çözümlenmesi şeklinde olmaktadır. Uzaysal ortamda çalışan Talwani ve Heirtzler (1964), Bhattacharya (1964), Talwani (1965), Johnson (1969), Whitehill (1973) ve Pedersen (1977) kütlelerin düşey geometrisinin belirlenmesi konusunda bazı teknikler önermişlerdir. Nabighian (1972), Bhattacharya ve Leu (1975, 1977) ve Pedersen (1978) potan-

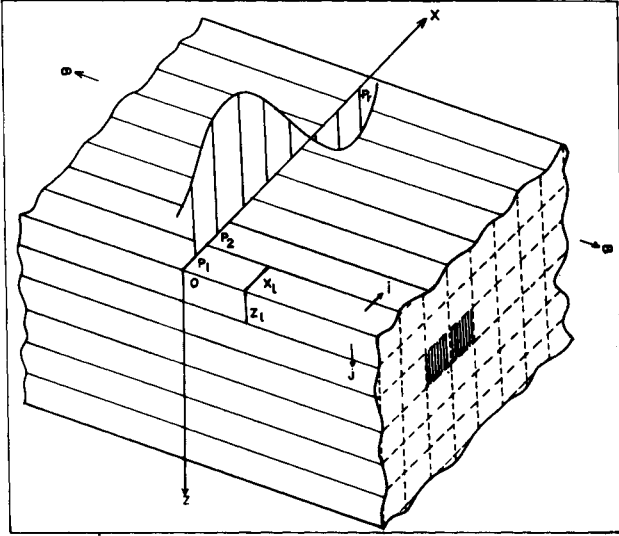
* MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Dairesi - ANKARA

siyel verinin frekans ortamında işlenmesini ve kütlelinin alt derinliğinin bulunmasını tanıtmışlardır.

Burada tanıtılan çalışma, Last ve Kubik (1983)'in gravite verilerine uyguladıkları bir tekniğin manyetik verilere uygulanabilirliğinin ve uygulama şartlarının araştırmasını içermektedir. Yeraltının 2 boyutlu prizmalarla temsil edilmesi (Şekil 1) ve manyetik anomaliye sebep olan prizmaların konumunun bulunması esasına dayanan teknik, bir iteratif ters çözüm tekniğidir. Manyetik alan eşitliği (1) herbir kare veya dikdörtgen prizmanın manyetik alanının toplamları şeklinde verilmekte ve mıknatıslanma şiddeti herbir prizma için lineer bir çarpan durumdadır.

$$T_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot F_{ij}(x, z, x_1, z_1, D, I, C) \quad (1)$$

Burada $p = 1, 2, \dots, r$ ölçü noktaları, U mıknatıslanma şiddeti ($k \cdot T$ veya polarizasyon şiddeti), F temel etkidir.



Şekil 1. İki boyutlu prizmalara bölünmüş yeraltının 3 boyutlu gösterilişi

Temel etki F , kütlelinin geometrisine, konumuna, yermanyetik alanın eğim (I), sapma (D) ve profil ile manyetik kuzey arasındaki açıya (C) bağlıdır. Eğer kalıntı mıknatıslanma varsa, I ve D polarizasyon vektörünün eğim ve sapma açılarını simgeleyecektir.

MODEL EŞİTLİKLERİ, PROBLEM VE ÇÖZÜM

Model çalışmaları için Talwani ve Heirtzler (1964)'in manyetik alan eşitliği sadeleştirilerek 2 boyutlu prizma eşitliğine dönüştürülmüştür.

$$F^V = 2 \cdot \cos I \cdot \cos(C-D) \cdot \ln(R_2/R_1) - \sin I \cdot (Q_2 - Q_1) \cdot \frac{x_1}{x_1 + x_1} \quad (2)$$

$$F^H = 2 \cdot \cos(C-D) \cdot (Q_2 - Q_1) - \sin I \cdot \ln(R_2/R_1) \cdot \frac{x_1}{x_1 + x_1} \quad (3)$$

$$R_1 = (x_1^2 - z_1^2)^{1/2} \quad Q_1 = \tan^{-1}(z_1/x_1) \quad (4)$$

$$R_2 = (x_1^2 + (z_1 + z_2)^2)^{1/2} \quad Q_2 = \tan^{-1}(z_1 + z_2/x_1)$$

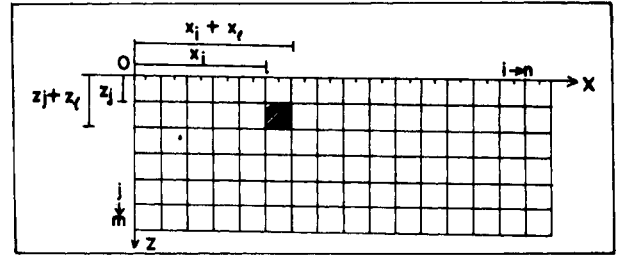
Eşitlik (2) ve (3) sırasıyla prizmanın düşey ve yatay manyetik alan bileşenlerinin temel eşitliklerini ifade etmektedir. Eşitlik (5) ise toplam manyetik alanın temel eşitliği olup eşitlik (2) ve (3)'ün mıknatıslanma şiddetleri ile çarpımı sırasıyla düşey manyetik alan ve yatay manyetik alan eşitlikleri (6), eşitlik (5)'in mıknatıslanma şiddeti ile çarpımı ile de prizma için toplam manyetik alan eşitliği (7) elde edilmektedir.

$$F = \sin I \cdot F^V + \cos I \cdot \cos(C-D) \cdot F^H \quad (5)$$

$$V = U \cdot F^V \quad (6)$$

$$H = U \cdot F^H \quad (6)$$

$$T = U \cdot F \quad (7)$$



Şekil 2. Yeraltının iki boyutlu prizmalar, prizma sıraları ve birim boyutları ile gösterilişi.

Prizmanın konum parametreleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir. n ölçü değeri ve $n \times m$ sayısında prizmadan oluşan bir sistemde, prizmaların bilinmeyen mıknatıslanma şiddetlerinin bulunması (9) eşitliğinin çözümü ile gerçekleştirilmektedir. Eşitlik (8)'de bir prizmanın toplam alanı T , mıknatıslanma şiddeti U ile temel faktör F 'nin çarpımına bir gürültü faktörü ϵ ilave edilerek ifade edilmiştir.

$$T = U \cdot F + \epsilon \quad (8)$$

$$U = W^{-1} \cdot F^T \cdot (F \cdot W^{-1} \cdot F^T + W\epsilon^{-1}) \cdot T \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da F^T F 'nin transpozunu, W^{-1} W 'nin inverisidir. Last ve Kubik (1983), eşitlik (9)'da verilen sistemin çözümünün potansiyel alanı yaratan prizmaların oluşturduğu hacmin, bu sistemde iki boyutlu çalışıldığı için alanın, en küçük olması ilkesine dayanan iteratif bir yaklaşımla olabileceğini göstermişlerdir. Eşitlik (9)'da W prizmaların mıknatıslanma şiddetlerinin ağırlık matrisini,

F temel etki eşitliği matrisini, W_e gürültü matrisini ve T ölçü değerlerinin oluşturduğu matrisi ifade etmektedir. W de önceden saptanan veya kestirilen gürültü - sinyal oranı ile $FW^{-1} F^T$ 'nin çarpımına eşittir.

Sistemin iteratif bir çözüme sahip olduğu göz önüne alınarak (10) eşitliğinde

$$U^k = [W^{k-1}]^{-1} \cdot [F^T] \cdot [F] \cdot [W^{k-1}]^{-1} \cdot [F^T] + [W_e^{k-1}]^{-1} \cdot [T] \quad (10)$$

yer alan k-1 indisleri bir önceki iterasyonda çözümlenen değerleri k indisleri ise son çözümde bulunan değerleri ifade etmektedir. İterasyonların başlangıcında prizma için ağırlık matrisi W ve mıknatıslanma şiddetleri matrisi U birim matrisler olarak alınmaktadır.

Bir sonraki iterasyona giren mıknatıslanma şiddetleri matrisi eşitlik (11)'deki gibi alınmıştır.

$$[W^{k-1}]^{-1} = [U^{k-1}]^2 + \epsilon \quad (11)$$

Burada ϵ küçük bir sayıdır. Buna benzer sistemlerin çözümü söz konusu olduğunda, hata dağılım kurallarına göre ağırlık matrisi aranan niceliğin varians-kovarians matrisi olarak alınabilmektedir (Aydın 1982). Konu edilen çözüm sistemi örneğinde olduğu gibi prizmaların mıknatıslanma şiddetlerinin birbirinden bağımsız ve birbirinden etkilenmediği varsayılarak kovarians elementleri sıfır değere sahip alınabilmektedir.

MODEL ÇALIŞMALARI

Kuramsal model çalışmaları, birden fazla prizmanın oluşturduğu basit ve karmaşık model eğrilerinin konu edilen sistemle çözümlenerek yeniden oluşturulması şeklinde olmuştur.

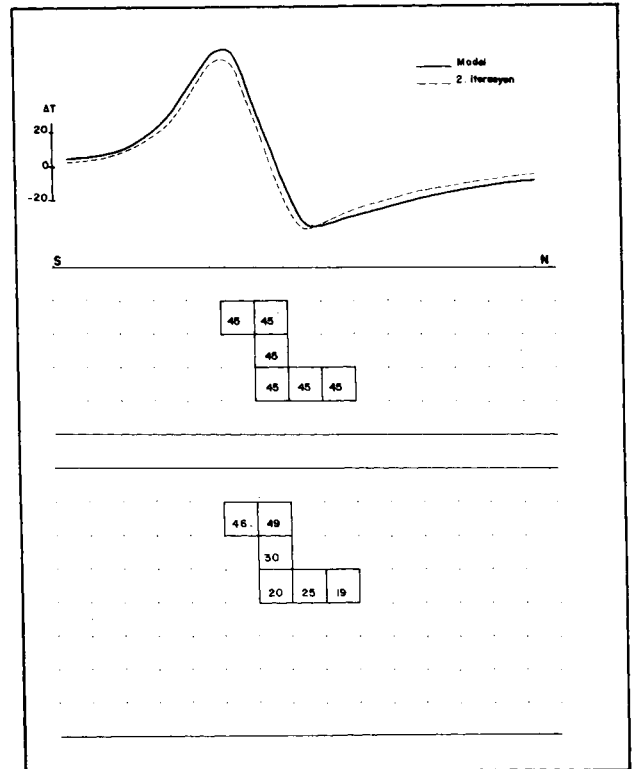
Talwani ve Heirtzler (1964) tekniğinin kullanıldığı model verilerinin elde edilmesinde; etkiyen manyetik alan 45 bin gama, prizmaların süsebtibilitesi 0.001 cgs.emu ve kalıntı mıknatıslanmanın olmadığı kabul edilmiştir.

Anomali verilerinin ters çözümünde ise sinyal-gürültü oranı 0.025 alınarak, herbir iterasyon sonunda bulunan mıknatıslanma şiddetlerinin belli bir pozitif değerin üstünde olanlarının ortalaması alınmıştır. Bu ortalamanın altında olanların değerleri sıfıra eşitlenmiştir. Sınır şartı olarak konulan bu yaklaşımla pozitif mıknatıslanma aranmak istenmiş ve karmaşık modellerin 100'lere varan iterasyonundan kurtulmak istenmiştir. Anomali ve çözüm eğrileri arasındaki çakışma kök ortalama kare (RMS) ile kontrol edilmiş ve RMS'nin minimum olduğu iterasyonla elde edilen modelin en uygun çözüm olduğu kabul edilmiştir.

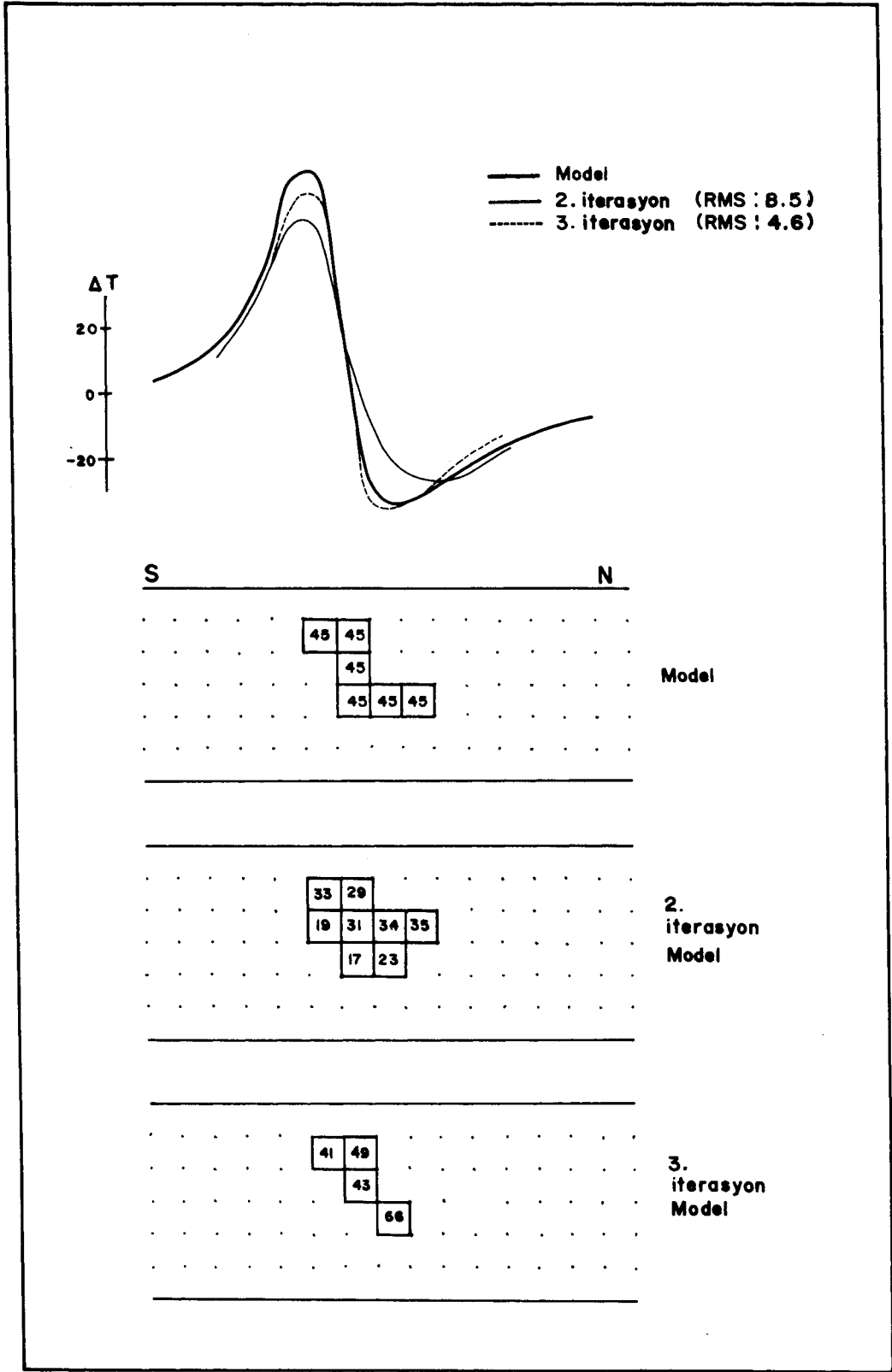
Şekil 3'de basit bir kütle ve ikinci iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrileri görülmektedir. Şekil 4'de aynı basit kütle için eksik veri kullanılması halinde elde edilen model ve eğrileri yer almıştır. Şekil 5'de ise yanal

olarak dizilmiş birden fazla basit kütlelerin anomalisinin çözümünde ikinci ve üçüncü iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrileri görülmektedir. Şekil 6'da birden fazla kütlelerin karmaşık dizilimi sonucu elde edilen anomalinin çözümünden elde edilen modeller ve eğrileri verilmiştir. Aynı kütlelerin daha sık olması halinde kütle ayrıntılarının anomaliye yansması ve bunun çözümünden alınan sonuç modeller ve eğrileri Şekil 7'de verilmiştir.

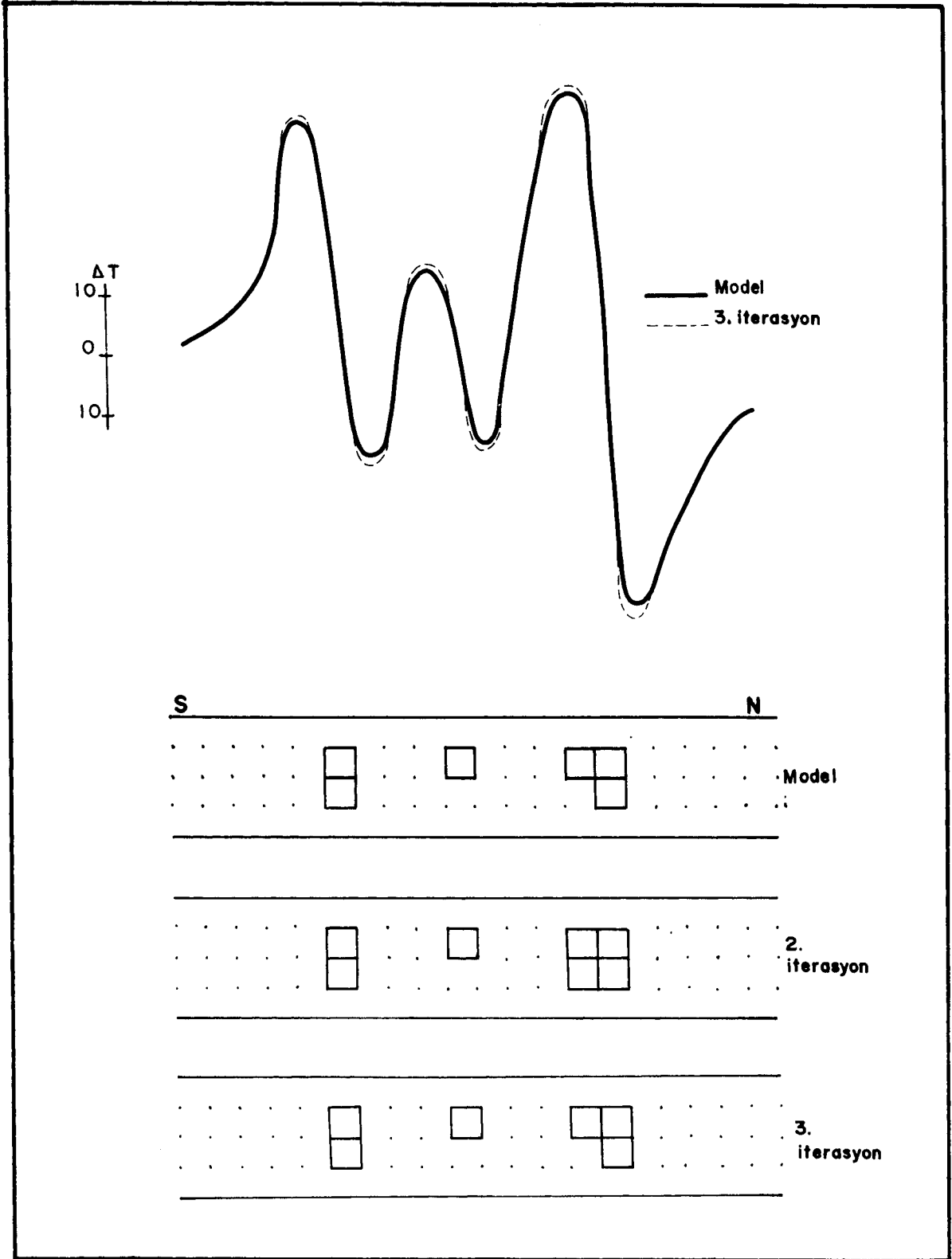
Bu teknikte ek bilgi (sondaj, jeolojik ve jeofizik bilgiler) kullanmak da mümkündür. Böylece ek bilgi sahibi olunan prizmaların mıknatıslanma şiddetleri iterasyon esnasında doldurulabildiği gibi, ağırlık matrisinde de bu prizmalara karşılık gelen değerlere birinci iterasyondan itibaren diğer prizmalara verilen ağırlıktan 2 veya 3 kat fazla ağırlık verilebilir. Ağırlığın daha da artırılması halinde kütle ağırlık verilen prizmalar etrafında yoğunlaşmakta ve yanlış çözüme ulaşılmaktadır. Şekil 8'de verilen model çözümünde bazı prizmalara başlangıçta 2 kat ağırlık verilmiş ve iterasyon süreci içinde hesaplanan ortalama mıknatıslanma şiddetleri prizmaların ağırlık matrisindeki karşılığına aktarılmıştır.



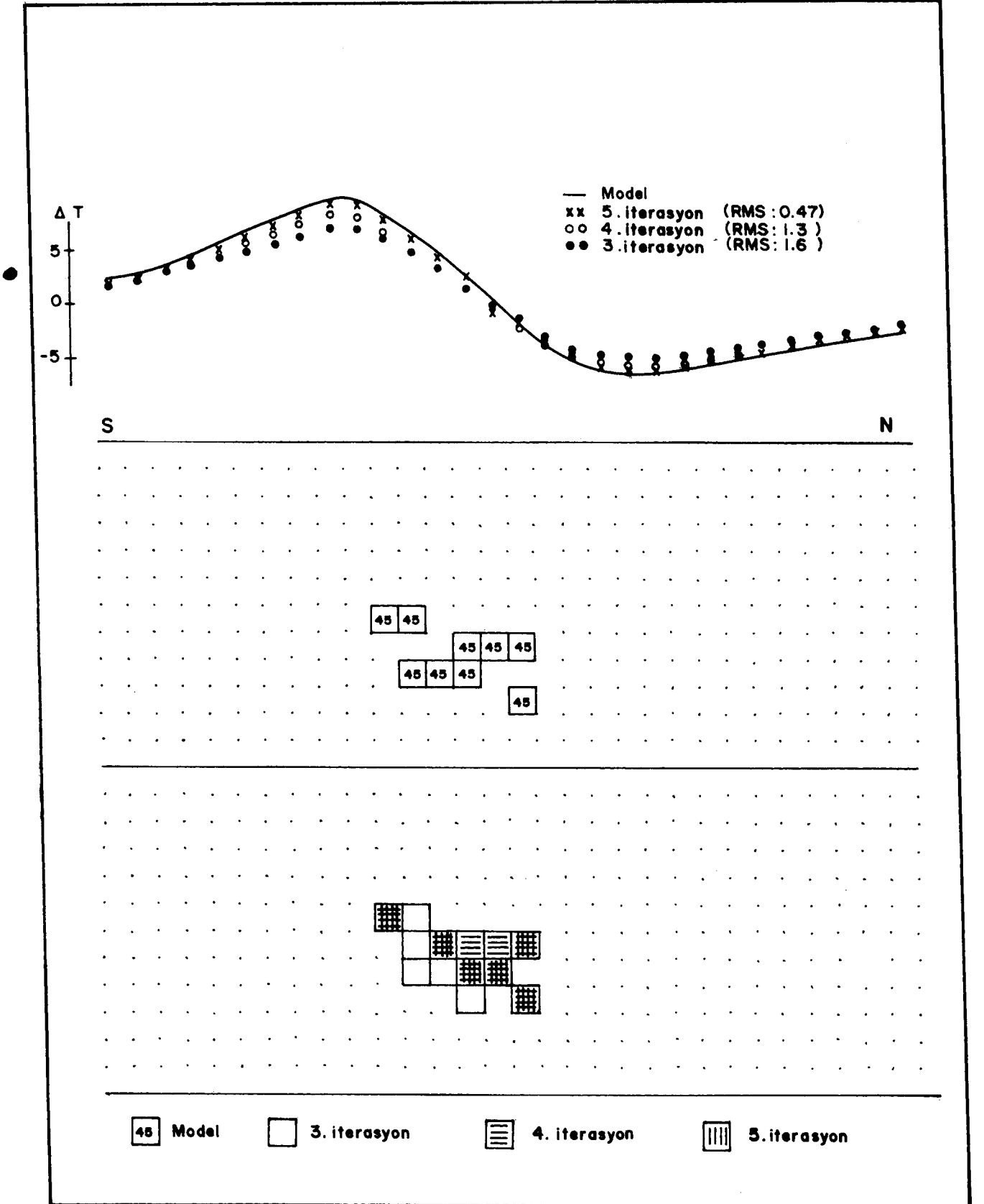
Şekil 3. Basit model ve 2. iterasyon sonunda elde edilen model. Prizmalar içindeki rakamlar mıknatıslanma şiddetini göstermektedir.



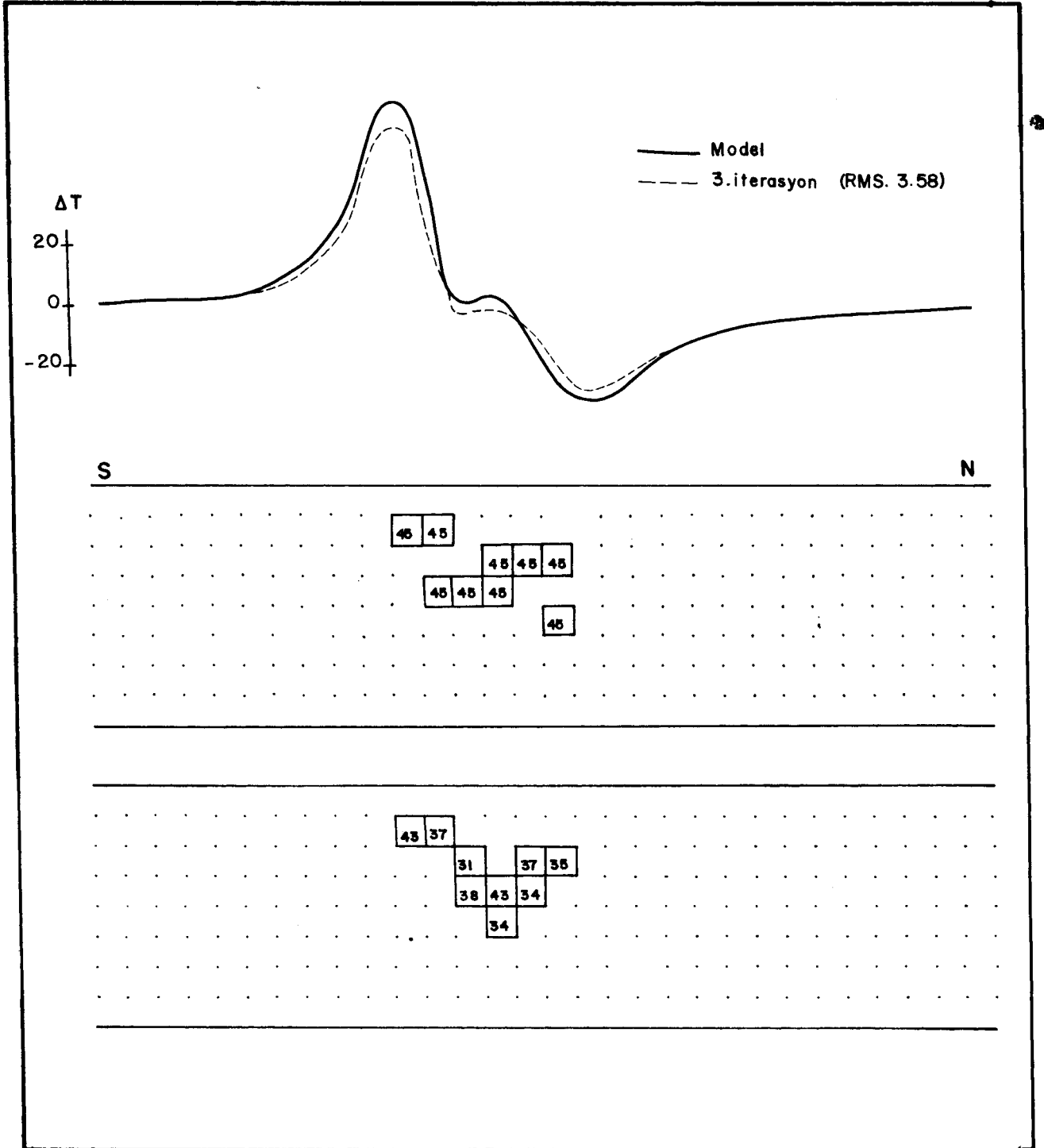
Şekil 4. Model ve eksik veri kullanılması halinde elde edilen modeller.



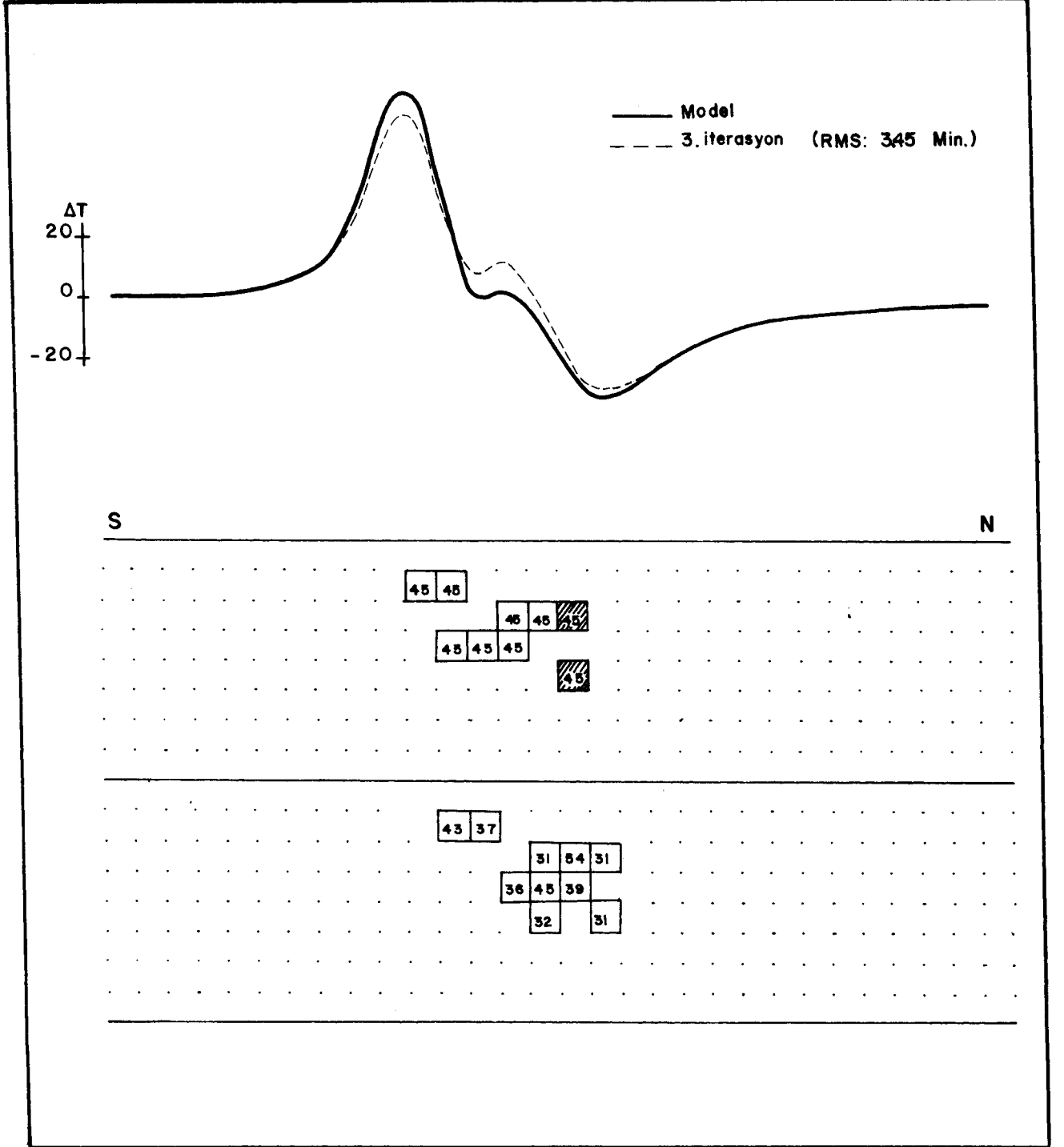
Şekil 5. Az sayıda prizmalarla oluşturulan bloklar ve bunların birden fazla anomalisini kullanarak elde edilen 2. ve 3. iterasyon modelleri.



Şekil 6. Karmaşık model ve iterasyonlardan sonra elde edilen modeller ve eğrileri.



Şekil 7. Kütleye 5 birim yaklaşarak elde edilen hesaplanmış eğri ve 3. iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrisi.



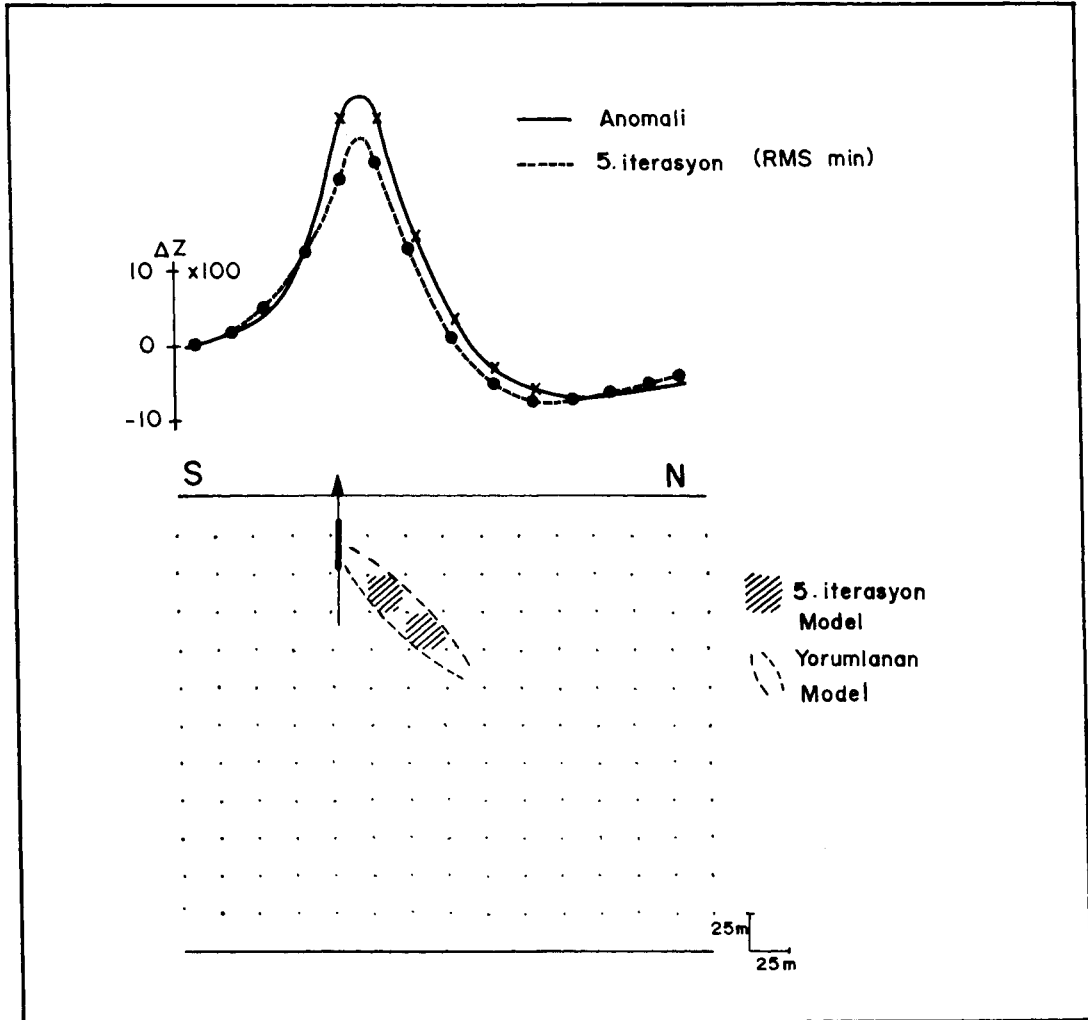
Şekil 8. Karmaşık modelin ek bilgi kullanılarak (taralı prizmaları) elde edilen model ve eğrisi.

UYGULAMA ÖRNEKLERİ

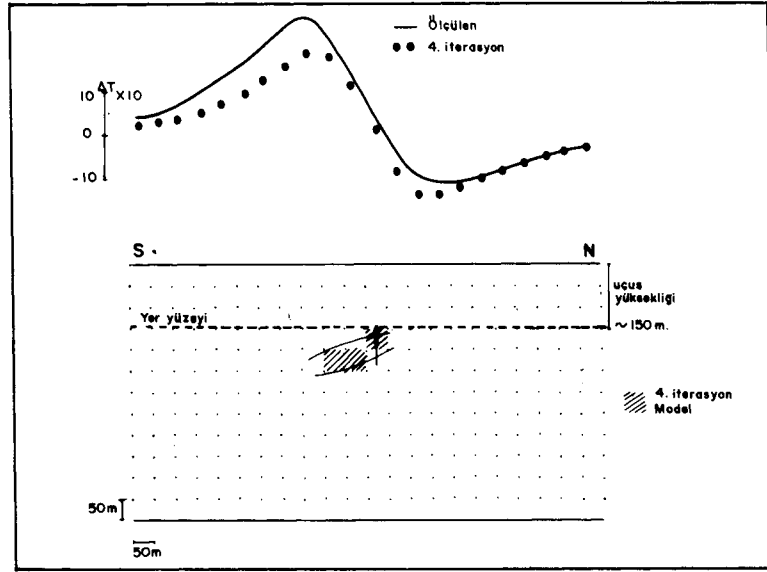
Kuramsal model çalışmalarında elde edilen sonuçlar mekanik sondajlarla düşey geometrisi hakkında bilgi sahibi olunan bazı demir madeni sahalarından alınan kesitler üzerinde denenmiş ve yorumlanmıştır. Büyükviran-2 sahasının yerden ve havadan elde edilen anomalileri ve model çözümleri sırasıyla Şekil 9'da ve Şekil 10'da yer almaktadır. Hava anomalisinin çözümünün yer anomalisinin çözümünden farklı oluşunu, cevherleşmenin aksi yönündeki bir granitik sokulumun hava anomalisi üzerindeki etkisi ile açıklamak mümkündür. Nitekim sondaj 78.00 m de granit girmiş ve durdurulmuştur (Kayaoğlu 1977). Şekil 11'de Büyükviran-3 sahası anomalî haritasının bir bölümü görülmektedir. Şekil 12'de ise Büyükviran-3 sahasından alınan bir kesitte sondajların cevher kesilen kısımları gösterilmekte, anomalî ve model çözümü yer almaktadır. Sahada yapılan sondajlarla altta granit üstte ise gnaysların yer aldığı belirlenmiştir. Cevherleşme gnayslar içinde veya en üstteki sedimanlarla gnayslar içindedir (Kayaoğlu 1977). Şekil 12'de yer alan

model çözüm cevherleşme zonunun NE'ye uzanımı ve daha geniş olabileceğini göstermektedir. Ancak artık anomalî elde ederken granitik sokulumların etkilerinin iyi denetlenmediği kanısı vardır. Dönentaş sahasının yerden yapılan manyetik etüdünde saptanan anomalî, sondajlarla belirlenen manyetik yatağının bir kesiti (Yıldırım ve Hamarat 1985) ve model çözümü Şekil 13'de verilmiştir. Üçüncü ve dördüncü iterasyonlarla çözümlenen model daha çok kütle merkezinde toplanmıştır.

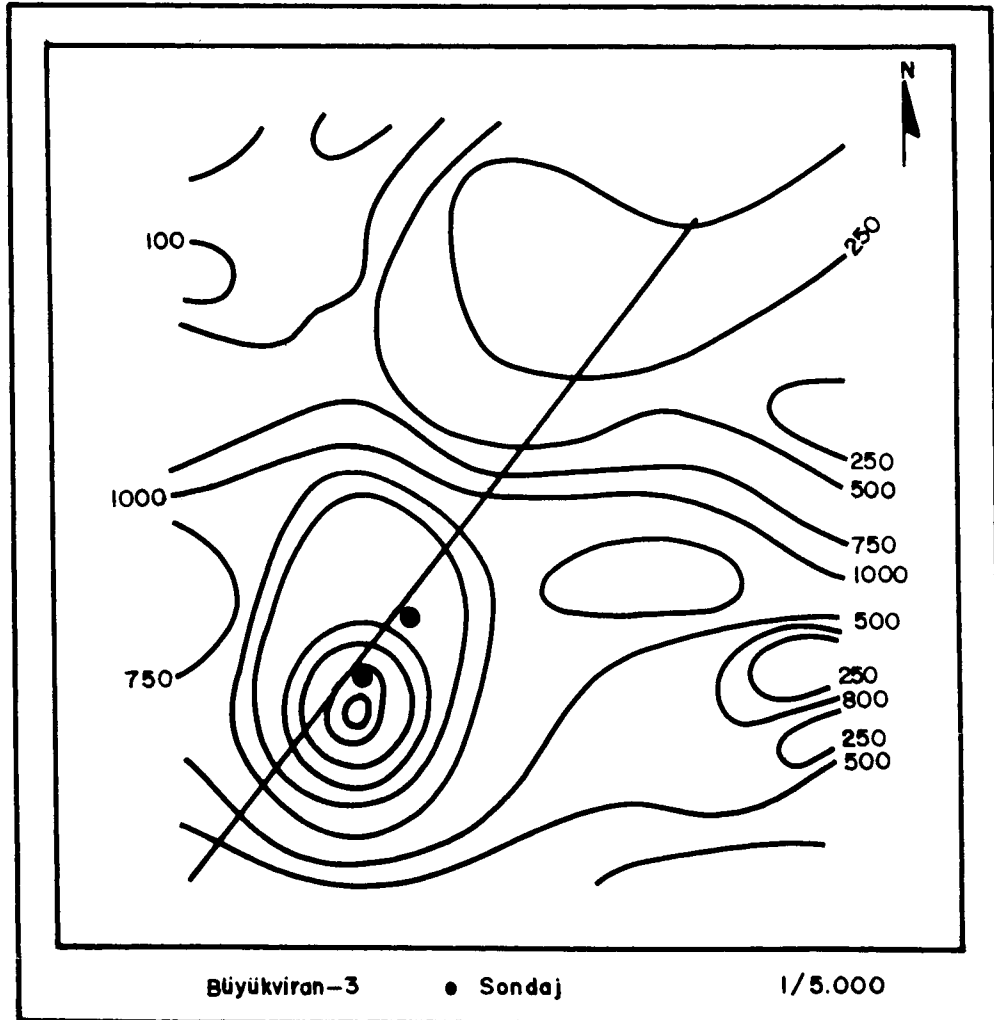
Ek bilgi kullanılarak elde edilen model ve eğrisinden de beklenen daha iyi sonuç alınamamıştır (Şekil 14). Şekil 15, Söke-Germencik arasında yer alan bir havadan manyetik anomalî ve model çözümü eğrisini göstermektedir. Daha önce spektral teknik ile bu anomalîye sebep olan kütlein üst derinliği 6 km alt derinliği ise 9 km bulunmuştur. Bu çözüm tekniği ile üst derinlik 5 km alt derinlik 10 km bulunmuştur. Prizma boyutları 5 x 5 km alınmış olmasının bir etkisinin olabileceğini göz önüne almak gerekirse de her iki çözüm arasında iyi bir uyumun varlığından söz etmek mümkündür.



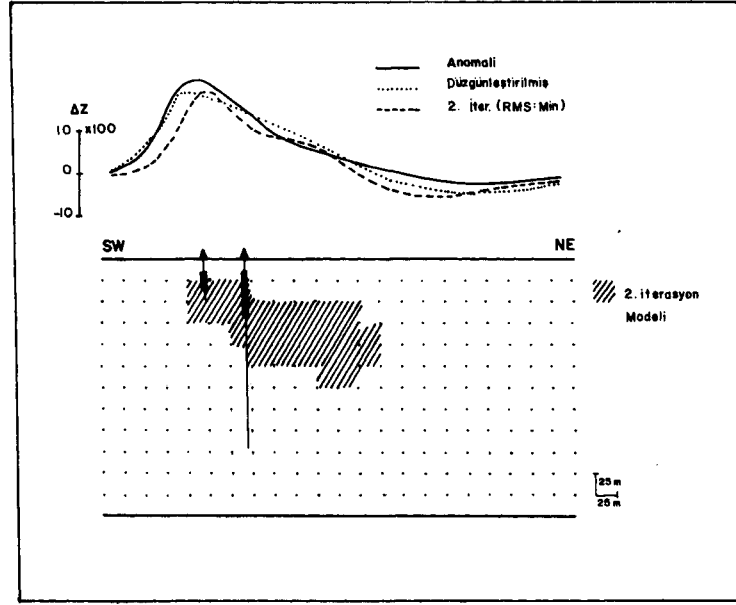
Şekil 9. Büyükviran-2 sahası anomalîsi ve 5. iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrisi.



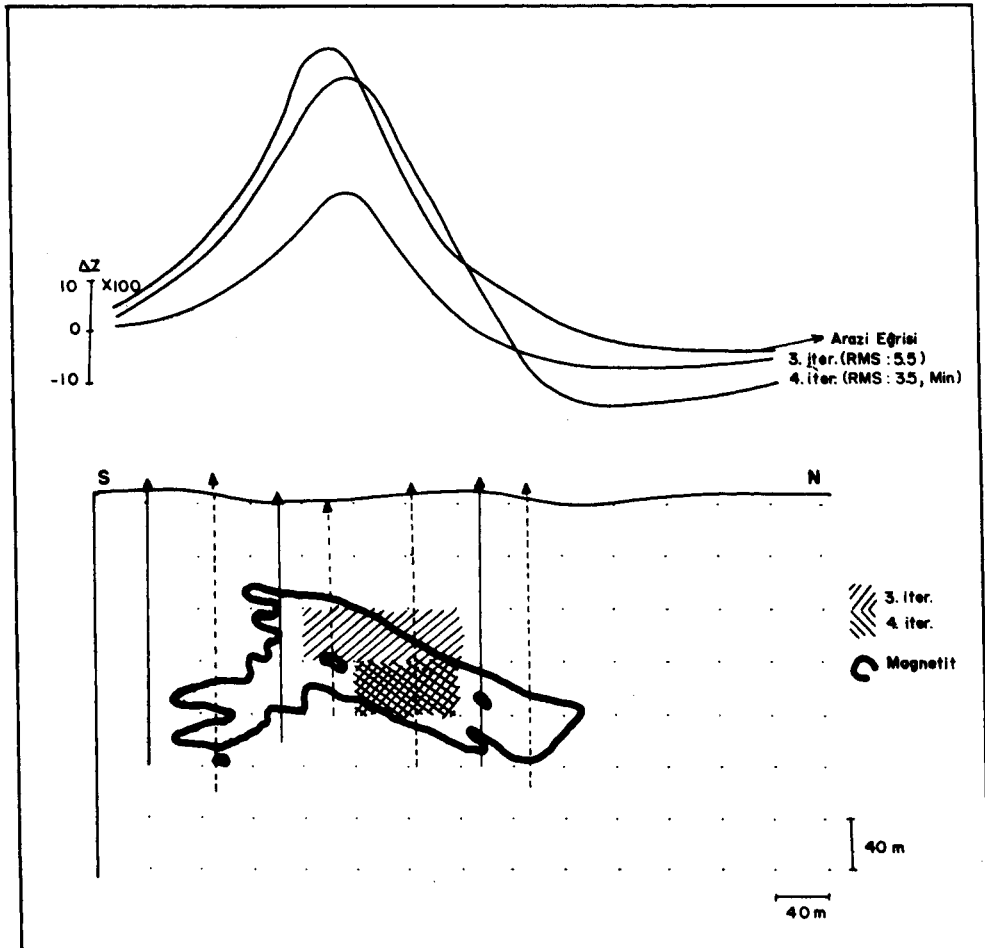
Şekil 10. Büyükviran-2 sahasının havadan manyetik anomalisi ve 4. iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrisi.



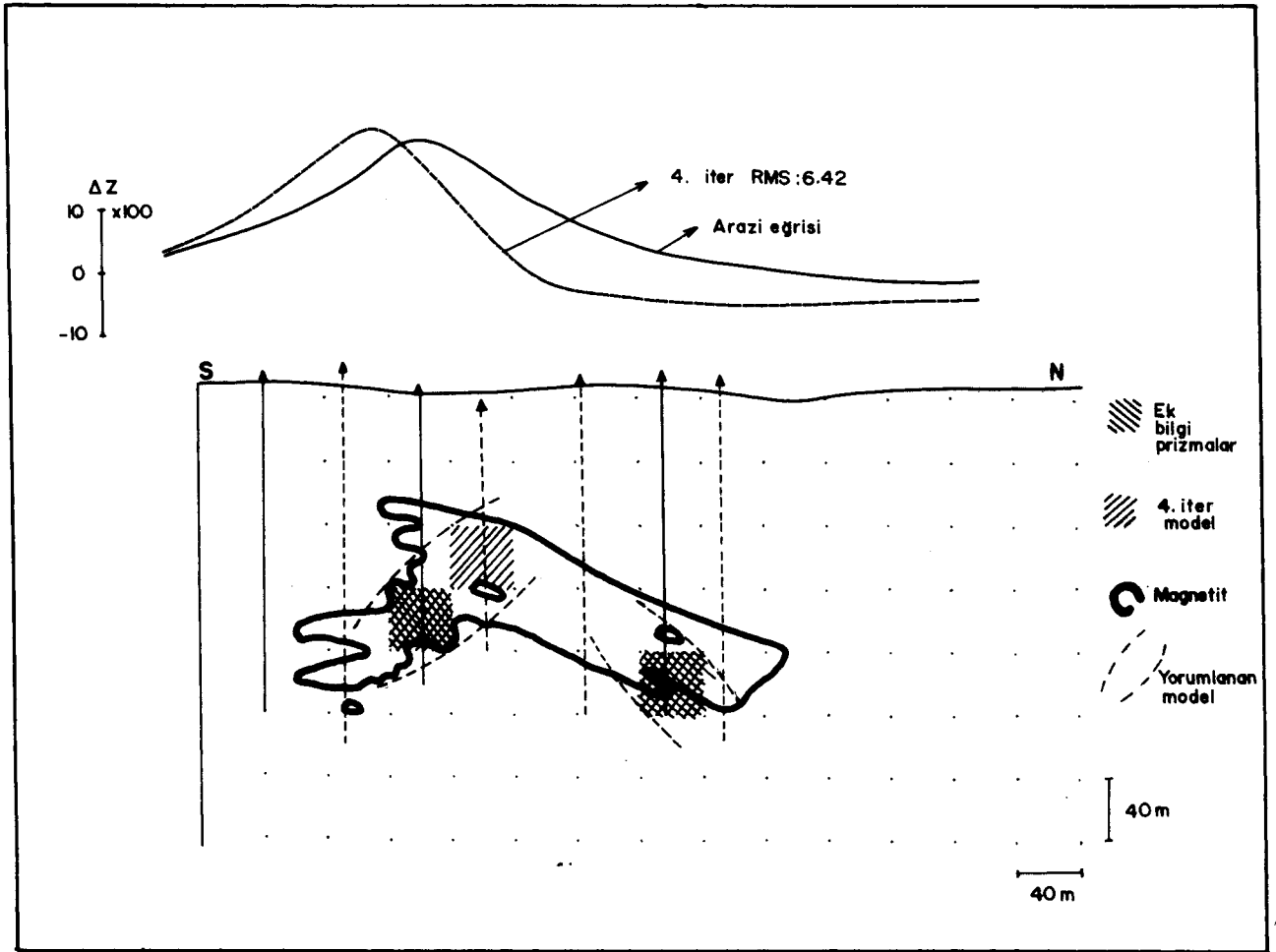
Şekil 11. Büyükviran-3 sahası anomalisi.



Şekil 12. Büyükviran-3 sahası düşey bileşen anomali ve 2. iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrisi.



Şekil 13. Dönentaş anomalisinin 3. ve 4. iterasyon modelleri



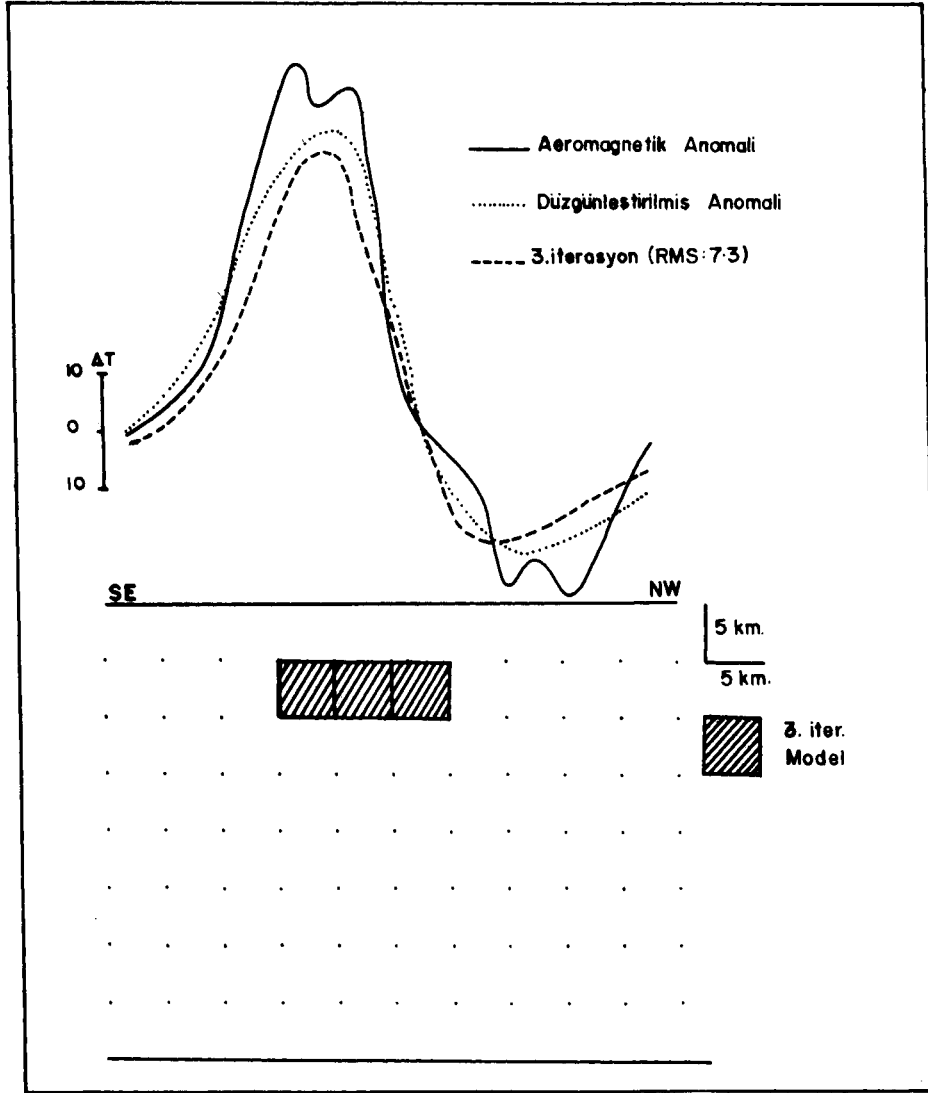
Şekil 14. Dönentaş anomalisi ve iki prizma için ek bilgi kullanılarak elde edilen model.

SONUÇLAR

Söz konusu tekniğin arazi verilerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar, model verilerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar kadar başarılı olmamıştır. Bu tekniğin uygulanacağı anomalinin yan etkilerden çok iyi bir şekilde arındırılması gerektiği kanısına varılmıştır. Zaten manyetik kütlelerin iki kutuplu olarak mıknatıslanmaları bunun sonucu olarak da anomalilerinin bir pozitif, bir negatif kanatlarının oluşu problemi oldukça karmaşık hale getirmektedir. Buna paralel olarak da anomali ve model eğrilerinin pozitif ve negatif kanatlarına aynı zamanda çakışması zorlaşmaktadır. Bu yüzden tekniğin gravite anomalilerine uygulanması daha başarılı sonuçlar vermektedir. Madenlerin düşey geometrisinin saptanmasında ise 2 boyutlu yerine $2^{1/2}$ veya 3 boyutlu model eşitlikleri ile çalışılarak daha başarılı sonuçlara ulaşılabılır.

Kütlelerin ayrıntılı düşey geometrisini bulmak için yeraltının daha çok prizma ile temsil edilmesi daha büyük matrislerle işlemler yapmaya ve yuvarlatma hatalarına neden olmakta, sonuçta bazı belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir. Bunun için daha az veri ve yanal yönde daha az prizma ile anomaliye neden olan kütlelerin düşey geometrisini kabaca belirlenmesine çalışmak daha sağlıklı sonuç verebilir.

Bu teknik Curie ısı derinliğini bulmak için kullanılabilir. Fakat uygulanacak sahanın jeolojik ve tektonik özelliklerini de göz önüne almak gerekmektedir. Konu edilen teknikte elde edilecek bir modelin daha sonra uygulanacak diğer iteratif çözüm usulleri için bir başlangıç model olarak alınması ile daha iyi sonuçlara ulaşılabilir.



Şekil 15. Söke -Germencik arasındaki havadan manyetik anomali, 3. iterasyon sonunda elde edilen model ve eğrisi.

KAYNAKLAR

- Aydın, İ. 1982, En küçük karalar çözümlü bir dengeleme işlemi, Jeofizik 9, 53-68.
- Bhattacharya, B.K. 1964, Manyatic anomalies due to prismshaped bodies with arbitrary polarization, Geophysics 29, 517-531.
- Bhattacharya, B.K. and Leu, L.K. 1975, Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to two dimensional structures, Geophysics 40, 993-1013.
- Bhattacharya, B.K. and Leu, L.K. 1977, Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to rectangular prismatic bodies, Geophysics 42, 41-50.
- Johnson, W.W. 1969, A least-squares method of interpreting magnetic anomalies caused by two-dimensional structures, Geophysics 34, 65-74.
- Kayaoğlu, A. 1977, Yozgat Bölgesi Demir Yataklarının Manyetik Raporu, MTA raporu, derleme no. 5914 (yayınlanmamış).
- Last, B.J. and Kubik, K. 1983, Compact gravity inversion, Geophysics 48, 713-721.
- 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, 85-92.
- Pedersen, L.B. 1977, Interpretation of potantiel field data a generalized inverse approach, Geophysics 43, 943-953.
- Pedersen, L.B. 1978, A statistical analysis of potential fields using a vertical cylinder and a dike, Geophysics 43, 943-953.
- Talwani, M. and Heirtzler, J.R. 1964, Computation of magnetic anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary, shape, in Computers in the mineral industries, part 1, Stanford University publ. Geol. Sciences 9, 464-480.
- Whitehill, D.E. 1973, Automated interpretation of magnetic anomalies using vertical prism model, Geophysics 38, 1070-1087.
- Yıldırım, A. ve Hamarat, O. 1985, Erzincan - Kemaliye - Bizmişen Demir Madeni Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA raporu (yayınlanmamış).