

MADEN ARAMALARINDA GRAVİTE VE MANYETİK ÇÖZÜMLERİN İNCELENMESİ

Investigation of Gravity and Magnetic Solutions in Ore Exploration

Mehmet Onur MATARACIOĞLU¹ ve Metin AŞÇI²

ÖZET

Bu çalışmada bir boyutlu gravite ve manyetik verilerinin modellenmesinde nelere dikkat edileceği araştırılmıştır. Parametre olarak modellerin orijin noktası ve derinlikleri incelenmiştir. Bunun için gravitede; küre, yatay uzun silindir, ince çubuk, yatay çubuk ve kalın düşey silindir modelleri kullanılırken manyetikte; ince levha ve dayk modelleri kullanılmıştır. Çözümler birbirine yakın sonuçlar vermekle birlikte, derinliklerde bazı farklılıklar görülmüştür. Orijin noktasında ise tüm modeller yaklaşık aynı sonuca ulaşmıştır. Aynı anomaliler, alt ucu sonlu prizmatik kütlelerle birlikte çözülmüş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

In this study, the important points of modeling of one dimensional gravity and magnetic data have been investigated. The origin point and depth have been analyzed as parameters. For gravity method; sphere, horizontal cylinder, thin rod, horizontal rod, thick vertical cylinder models and for magnetic method; thin sheet and dike models have been used. Solutions are nearly same but there are some differences for the depth. All models approximately gave nearly same results at origin point. Some anomalies have been solved with prismatic mass and all results have been composed.

GİRİŞ

Gravite ve manyetik verilerinin modellenmesinde bugüne kadar birçok çözüm geliştirilmiştir. Gravitede nokta kaynak kökenli modeller kullanılırken manyetikte, çift kutuplu modellerin kullanımı daha öncelik kazanmıştır.

Bu çalışmada Aydın – Çavdar bölgesi demir madenine ait MTA verileri kullanılmıştır. Bu verilerden uygun görülen kesitler alınarak hem gravite çözümlenmeleri hem de manyetik çözümlenmeler, çeşitli modeller için yapılmıştır. Çözümleme sırasında Marquardt (1963) ters çözüm tekniği kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler, sonuçlarda tartışılmıştır.

ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ

Çalışma sahası olan Aydın – Çavdar bölgesinin ana kayacı gnays ve mikaşistlerdir. Mikaşistler tektonik olarak eğik bir kıvrılma sonucu oluşan biri Demirtepe'yi içine alan S-N doğrultusunda, diğeri batı tarafından SW-NE doğrultusunda sahayı kesen iki parça halinde gnayslarla çevrilmiş olarak bulunmaktadır. Söz konusu mikaşistler içinde, sedimanter orijinli metamorfizma esnasında kısmen manyetikleşmiş hematitlerin mevcut olduğu yerler vardır. Bunların yüzeye kadar çıkmış

¹ Jeofizik Mühendisi. e-mail: onurmataracioglu@yahoo.com

² Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü 41300, İzmit / Kocaeli. e-mail: masci@kocaeli.edu.tr

olanlarının görünen kısımları önceden işletilmiştir. Ayrıca bölgede magmatik orijinli hematit ve manyetitin varlığına ait bir belirtiye rastlanmamıştır (Sertçelik, 1994).

YÖNTEM

Çalışma sırasında alınan gravite ve manyetik yöntem ile alınan arazi ölçüleri 5 adet gravite ve 2 adet manyetik model üzerine uygulanmıştır. Bu modellerin potansiyel bağıntıları Bağıntı 1-5 ve Bağıntı 6-7’de görüldüğü gibidir.

Gravite yöntemi için seçilmiş modeller ve potansiyel bağıntıları (Çizelge 1) de verilmiştir.

Çizelge 1. Model potansiyel bağıntıları

Table 1. Potential formulas of models

| | | |
|-----------------------------|---|---------------------|
| Küre Modeli | $g = G \cdot \frac{m \cdot h}{((x-D)^2 + h^2)^{3/2}} + (Mx + c)$ | (Telford, 1981) (1) |
| Yatay Uzun Silindir Modeli | $g = \frac{2 \cdot G \cdot m}{(x-D)^2 + h^2} + (Mx + c)$ | (Telford, 1981) (2) |
| İnce Çubuk Modeli | $g = \frac{G \cdot \rho \cdot A}{[(x-D)^2 + h^2]^{1/2}} + (Mx + c)$ | (Telford, 1981) (3) |
| Yatay Çubuk Modeli | $g = \frac{2 \cdot G \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2}{h \cdot [1 + (x-D)^2 / d^2]} + (Mx + c)$ | (Telford, 1981) (4) |
| Kalın Düşey Silindir Modeli | $g = 0.04191 \cdot \rho \cdot \left[\begin{array}{l} L + [(x-D)^2 + h^2 + R^2]^{1/2} \\ - \left([(x-D)^2 + h^2 + L]^2 + R^2 \right)^{1/2} \end{array} \right] + (Mx + c)$ | (Telford, 1981) (5) |

Manyetik yöntem için seçilmiş modeller ve potansiyel bağıntıları (Çizelge 2) de verilmiştir.

Çizelge 2. Model potansiyel bağıntıları

Table 2. Potential formulas of models

| | | |
|-------------------|---|------------------|
| İnce Levha Modeli | $F(x) = P \frac{(x-D) \cdot \sin Q + H \cdot \cos Q}{(x-D)^2 + H^2} + (Mx + c)$ | (Raju, 2003) (6) |
| Dayk Modeli | $F(x) = P \left[0,5 \cdot \cos Q \cdot \ln \frac{(x-D)^2 + H_2^2}{(x-D)^2 + H_1^2} + \sin Q \cdot \left(\tan^{-1} \frac{x-D}{H_1} - \tan^{-1} \frac{x-D}{H_2} \right) \right] + (Mx + c)$ | (Raju, 2003) (7) |

Model çözümlerinde her modelin potansiyel bağıntılarının her bir parametresine göre kısmi türevleri alınarak türev matrisleri oluşturulmuş ve çözüm sırasında Marquardt (1963) sönümlü en küçük kareler ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem,

$$\Delta p = A \Delta g \quad (8)$$

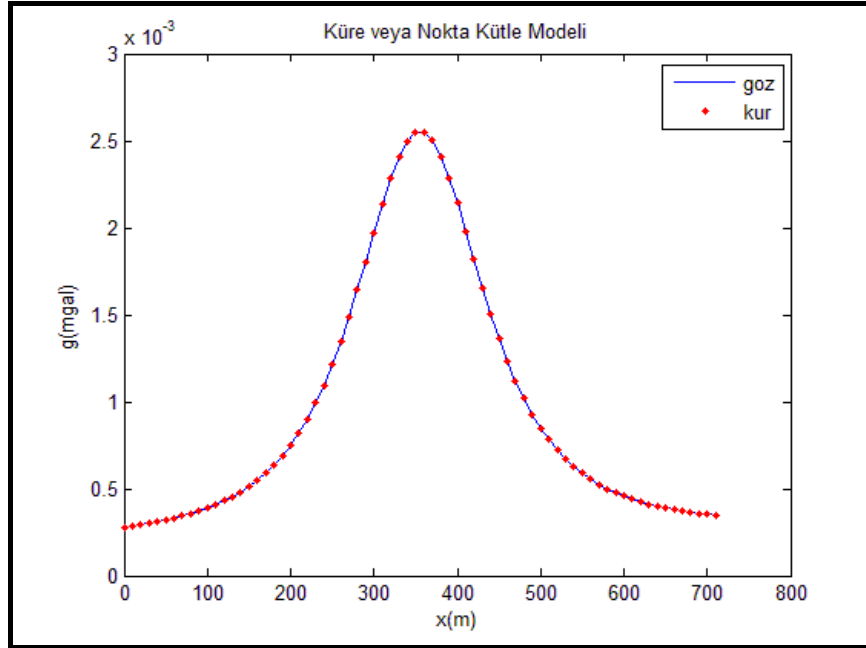
$$\begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial A_1}{\partial p_1} & \frac{\partial A_1}{\partial p_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial A_1}{\partial p_n} \\ \frac{\partial A_2}{\partial p_1} & \frac{\partial A_2}{\partial p_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial A_2}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial A_m}{\partial p_1} & \frac{\partial A_m}{\partial p_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial A_m}{\partial p_n} \\ \frac{\partial p_1}{\partial p_1} & \frac{\partial p_2}{\partial p_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial p_n}{\partial p_n} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta g_m \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\Delta p = (A^T A + \lambda I)^{-1} A^T \Delta g \quad (10)$$

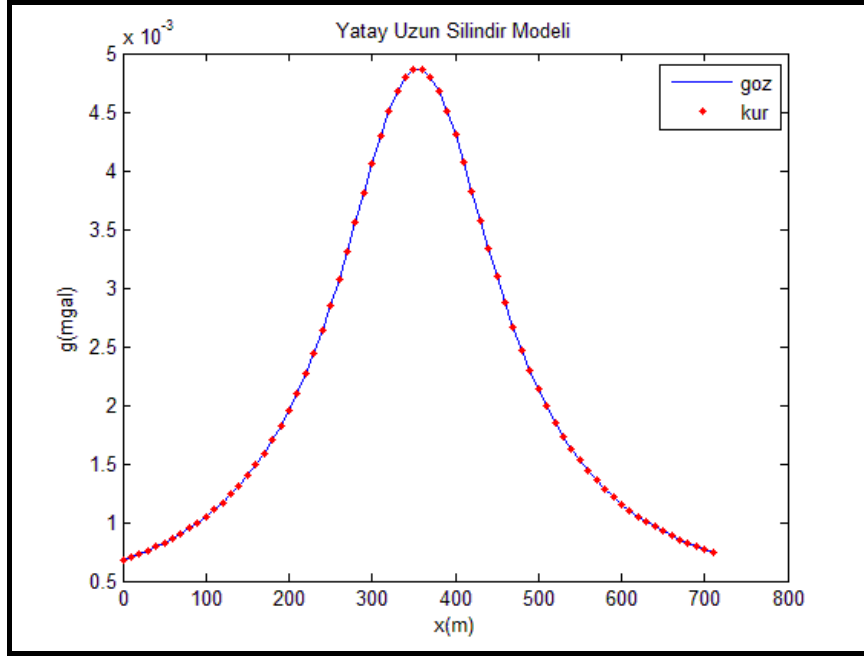
şeklinde verilmiştir Marquardt (1963). Burada “A” türev matrisini göstermektedir. Türev matrisinin sütunları parametrelerden oluşurken, satırları da gözlem sayısı kadardır. Ayrıca Δg , gözlemsel veri ile teorik veri arasındaki farkı, Δp ise parametrelerin düzeltme katsayılarını göstermektedir.

Genelleştirilmiş ters çözüm işleminde “tekil değer sorunu” yani türev matrisinin asal köşegen değerlerinden herhangi birinin sıfıra yakınsaması veya sıfır olması halinde, türev matrisinin determinantının sıfır olması ve bu nedenle matrisin tersinin alınamaması sorunu ile karşılaşma riski mevcut olduğundan, Marquardt’ın sönümlü en küçük kareler ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde Marquardt faktörü olan “ λ ” birim matris (I) ile çarpılarak türev matrisine eklenmiş, böylece; tekil değer sorunundan kaçınılmaya çalışılmaktadır. “ λ ” bu çalışmada başlangıçta “2” olarak alınmış, her yakınsama durumunda bu değer ikiye bölünmüş, her ıraksama durumunda ikiyle çarpılmıştır. Model çalışma sonuçları (Çizelge 3) de gösterilmiştir.

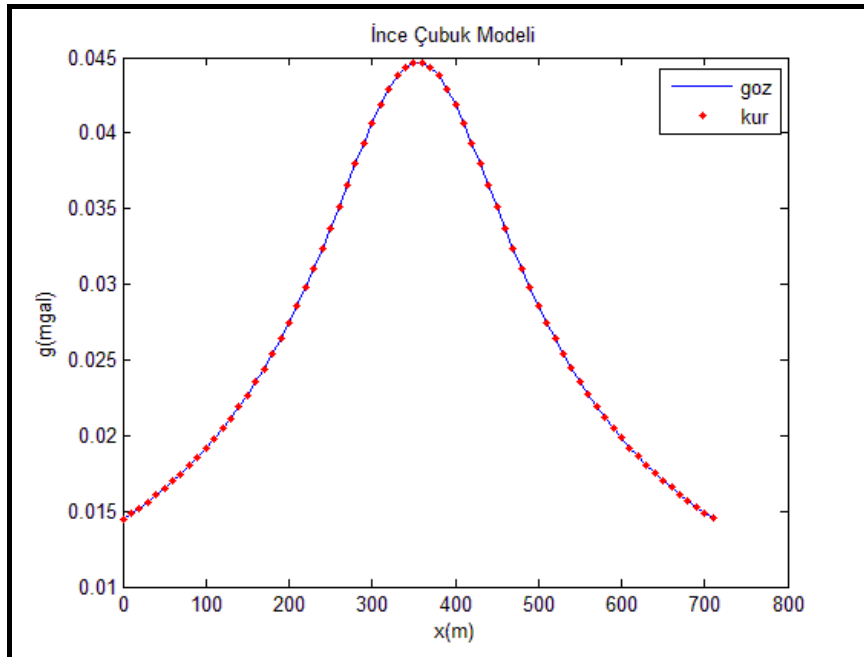
MODEL ÇALIŞMASI



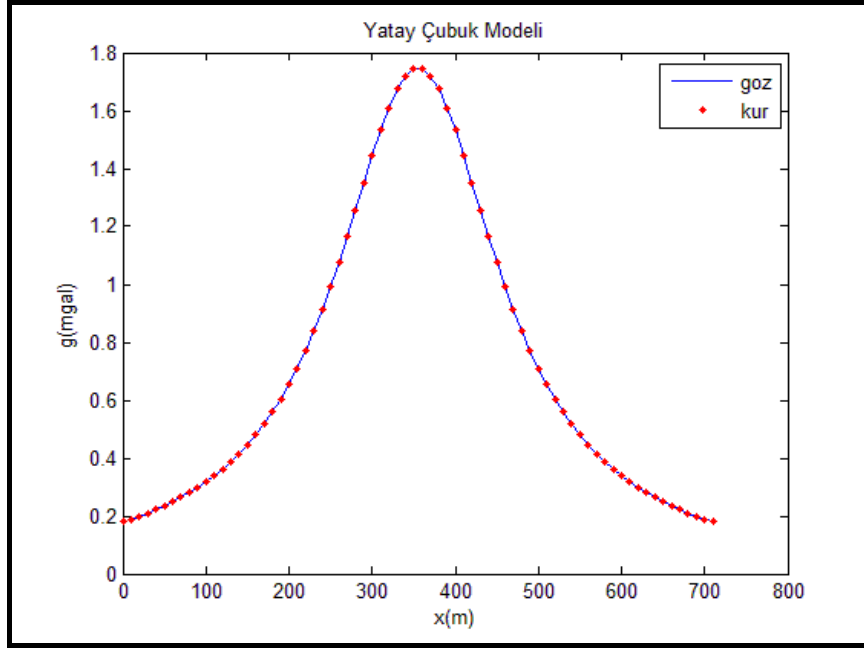
Şekil 1. Küre veya nokta kütle modeli
Figure. 1. Sphere or point mass model



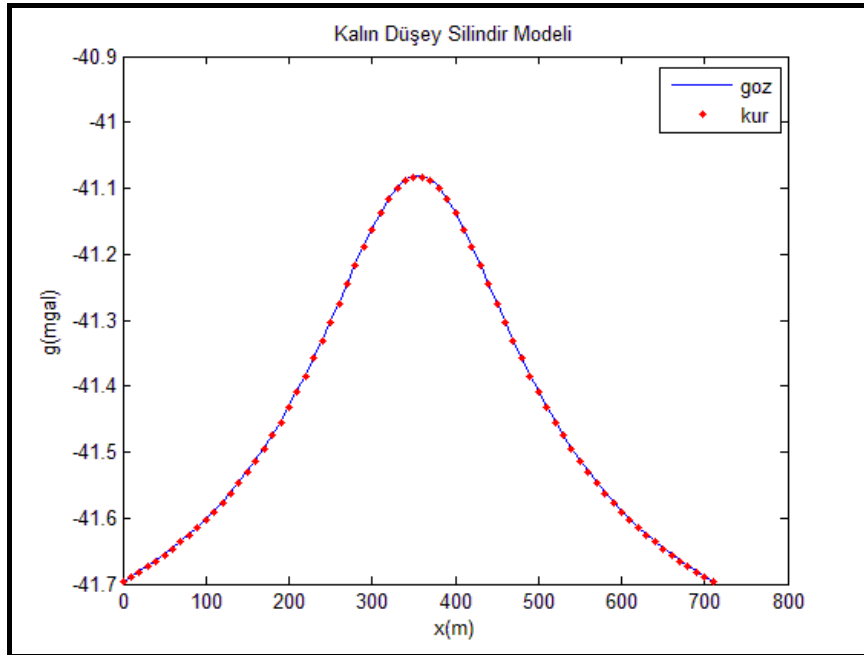
Şekil 2. Yatay uzun silindir modeli
Figure 2. Horizontal long cylinder model



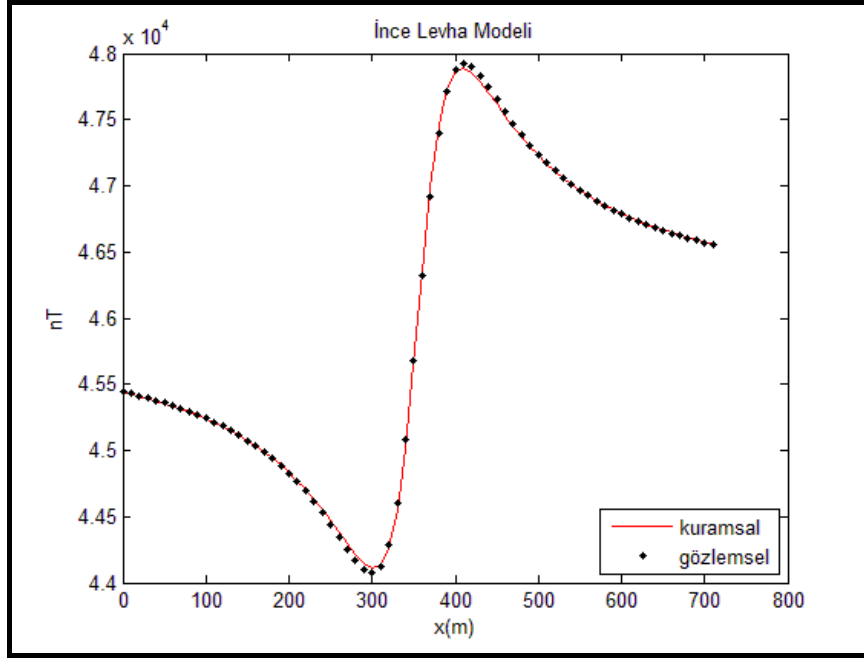
Şekil 3. İnce çubuk modeli
Figure 3. Thin rod model



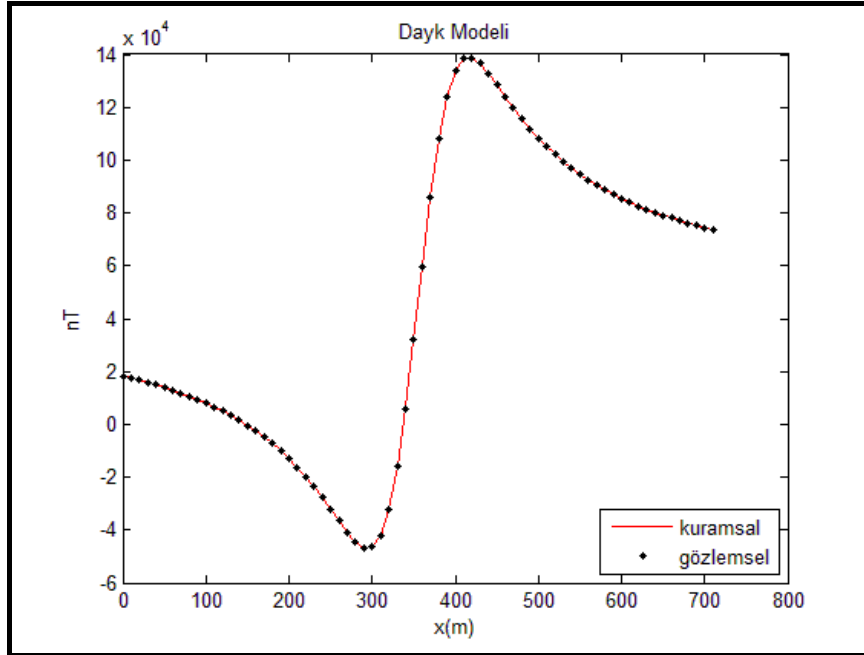
Şekil 4. Yatay çubuk modeli
Figure 4. Horizontal rod model



Şekil 5. Kalın düşey silindir modeli
Figure 5. Thick vertical cylinder model



Şekil 6. İnce levha modeli
Figure 6. Thin sheet model



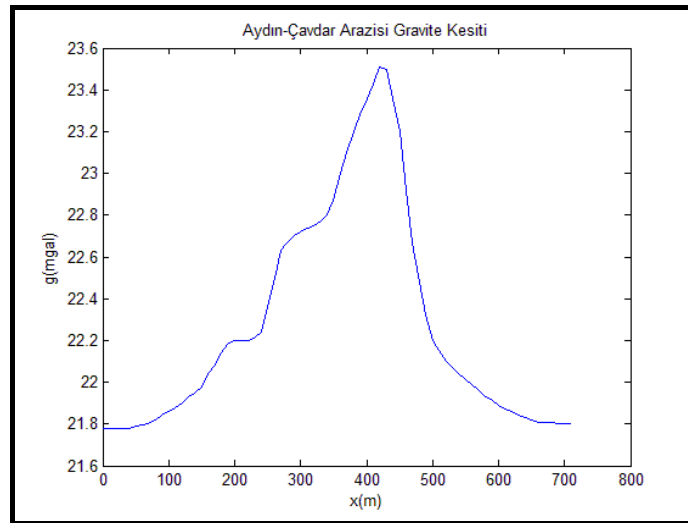
Şekil 7. Dayk modeli
Figure 7. Dike model

Çizelge 3. Model çalışması sonuçları
Table 3. Results of model surveys

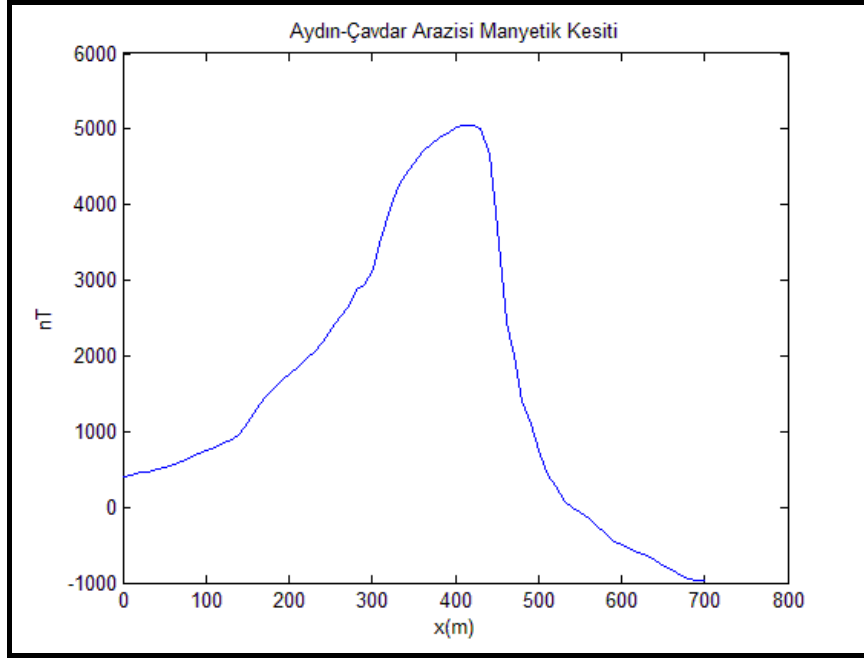
| Model | Veri | h | D | RMS |
|----------------------|-------------------------|----------|-----|--------------------------|
| Küre | Model Parametreleri | 120 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 500 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 120 | 355 | $2,4015 \times 10^{-11}$ |
| Yatay Uzun Silindir | Model Parametreleri | 120 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 500 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 120 | 355 | $2,7894 \times 10^{-12}$ |
| İnce Çubuk | Model Parametreleri | 120 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 500 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 120 | 355 | $3,4672 \times 10^{-11}$ |
| Yatay Çubuk | Model Parametreleri | 120 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 500 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 120 | 355 | $1,4446 \times 10^{-9}$ |
| Kalın Düşey Silindir | Model Parametreleri | 120 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 500 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 124,3185 | 355 | $1,7493 \times 10^{-4}$ |
| İnce Levha | Model Parametreleri | 50 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 400 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 53,471 | 355 | 0,95123 |
| Dayk | Model Parametreleri | 50 | 355 | |
| | Başlangıç Parametreleri | 70 | 400 | |
| | Hesaplanan Parametreler | 51,103 | 355 | 12,163 |

ARAZİ ÇALIŞMASI

Aydın – Çavdar bölgesine ait gravite – manyetik ölçülerden elde edilen haritalardan alınan kesitler Şekil 8’de ve Şekil 9’da görüldüğü gibidir.

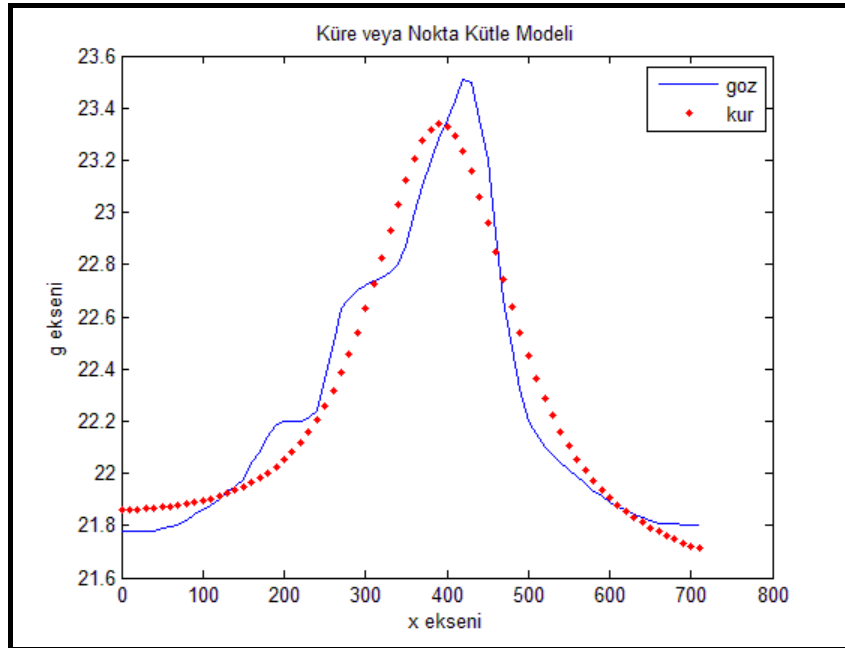


Şekil 8. Gravite kesiti
Figure 8. Gravity cross-section



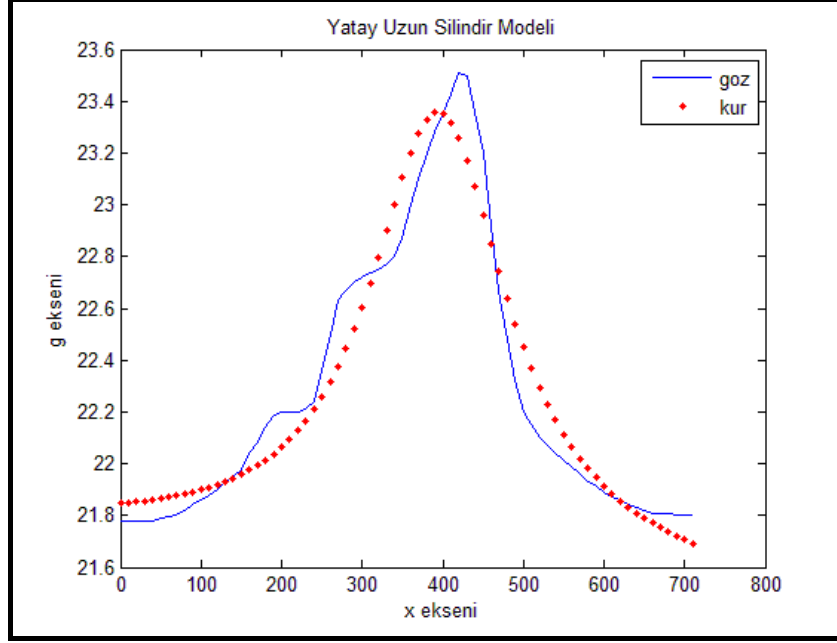
Şekil 9. Manyetik kesiti
Figure 9. Magnetic cross-section

Şekil 8’de ve Şekil 9’da görülen gravite ve manyetik kesitleri üzerinde belli modeller için yapılan ters çözüm çalışmaları, bize şu sonuçları vermiştir. Kesitlerden de anlaşılacağı gibi manyetik anomalisi gravite anomalisine göre daha düzgündür. Doğal olarak manyetik çözümler gravite çözümlerine göre daha başarılı uyum göstermiştir.

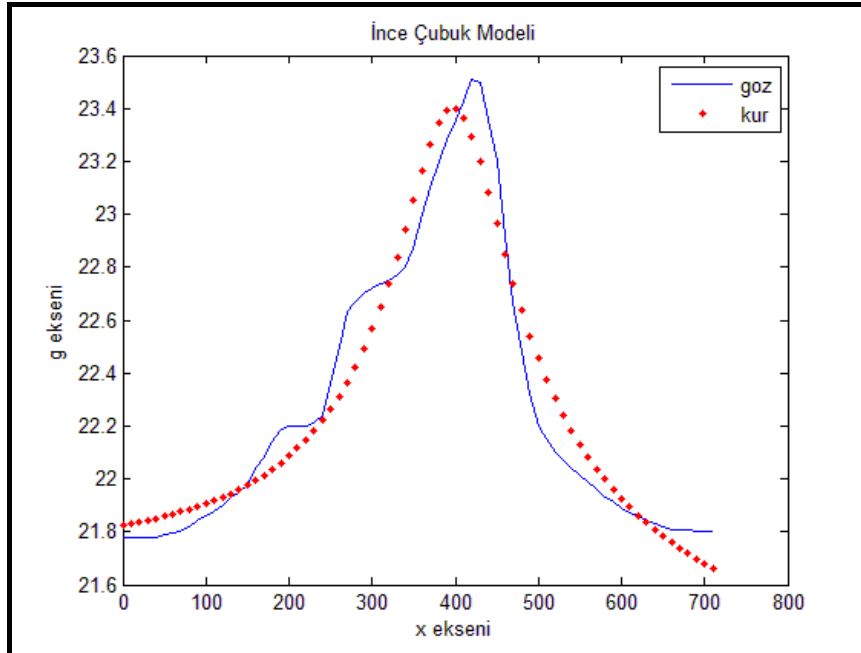


Şekil 10. Küre modeli (Gravite)
Figure 10. Sphere model (Gravity)

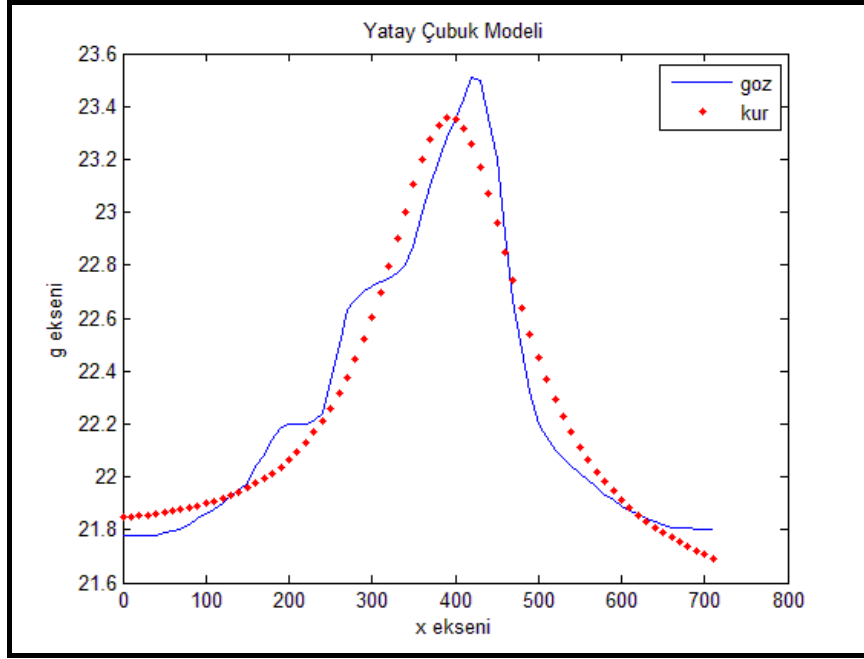
Yapılan çözümler kendi aralarında incelenirse, yatay çubuk ve ince çubuk modelleri daha başarılı sonuçlar verirken, küre ve yatay uzun silindir modelleri daha az başarılı sonuçlar vermiştir.



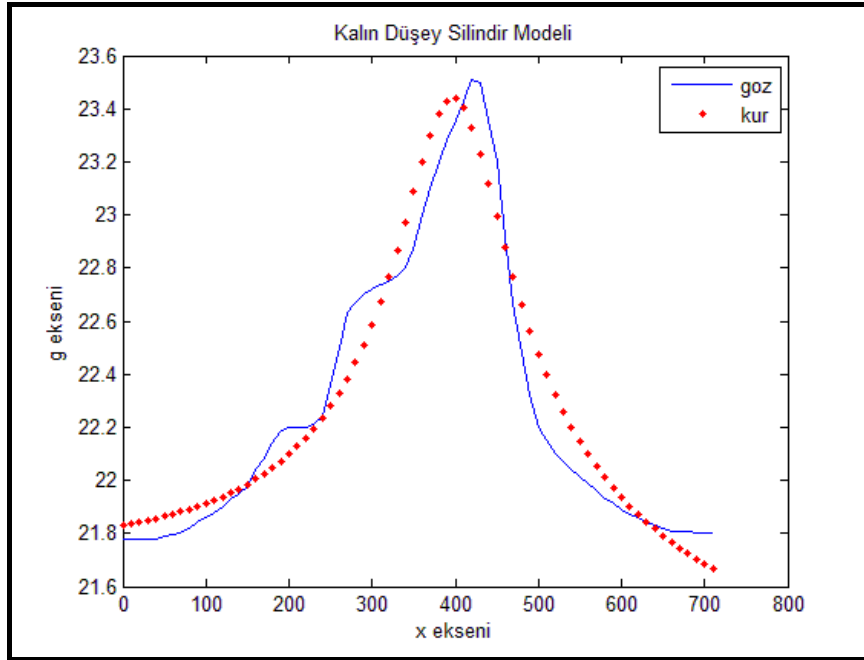
Şekil 11. Yatay uzun silindir modeli (Gravite)
Figure 11. Horizontal long cylinder model (Gravity)



Şekil 12. İnce çubuk modeli (Gravite)
Figure 12. Thin rod model (Gravity)

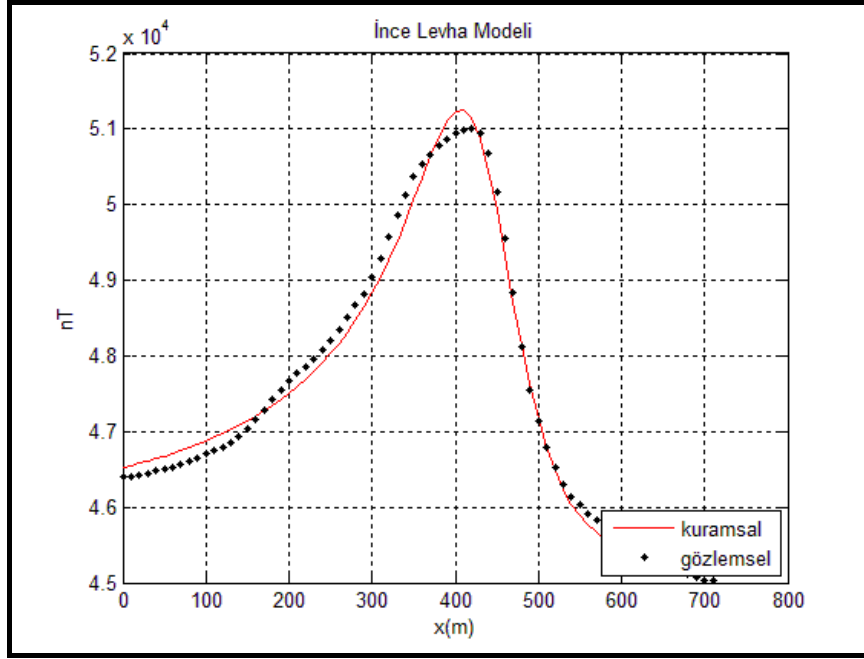


Şekil 13. Yatay çubuk modeli (Gravite)
Figure 13. Horizontal rod model (Gravity)

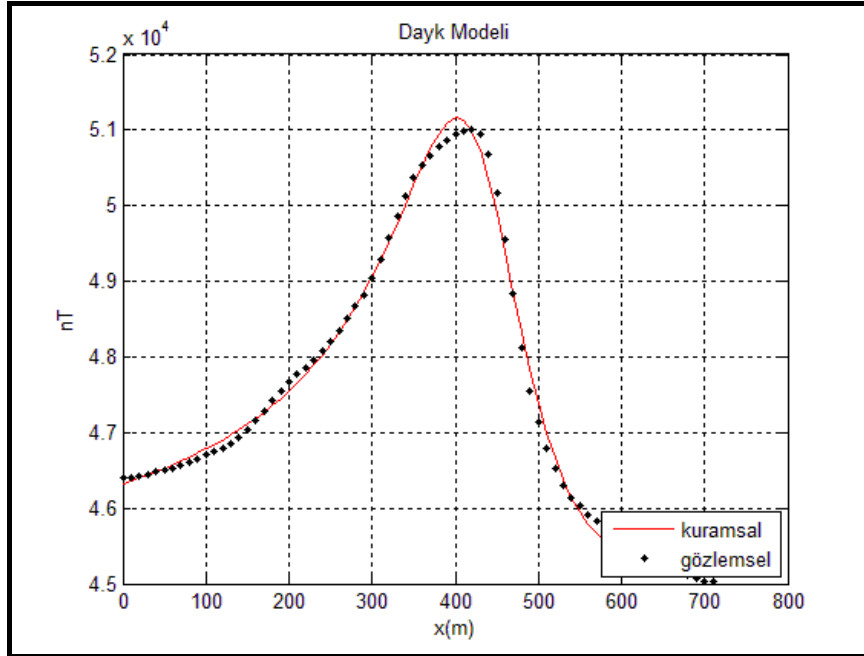


Şekil 14. Kalın düşey silindir modeli (Gravite)
Figure 14. Thick vertical cylinder model (Gravity)

En iyi uyumu ise kalın düşey silindir modeli vermektedir. Bu durum gravite verilerine göre yer altında bulunan yapının kalın düşey silindire benzediği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu model kütlenin üst derinliğini bulmakta olup, genelde ikincil başarı gösteren ince çubuk modeli de kütlenin üst derinliğini vermektedir.



Şekil 15. İnce levha modeli (Manyetik)
Figure 15. Thin sheet model (Magnetic)



Şekil 16. Dayk modeli (Manyetik)
Figure 16. Dike model (Magnetic)

Manyetik sonuçlar kendi aralarında incelenirse, dayk modeli ince levha modeline göre daha iyi uyum göstermiştir.

Hem gravite hem de manyetik değerlendirme sonucunda graviteden kalın düşey silindir manyetikten de dayk modellerinin daha başarılı olması yer altındaki yapının geniş ve uzun ekseninin düşey doğru olduğunu gösterir.

Çizelge 4’de, yapılan çözümlerinin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4. Arazi değerlendirme sonuçları

Table 4. Results of field evaluation

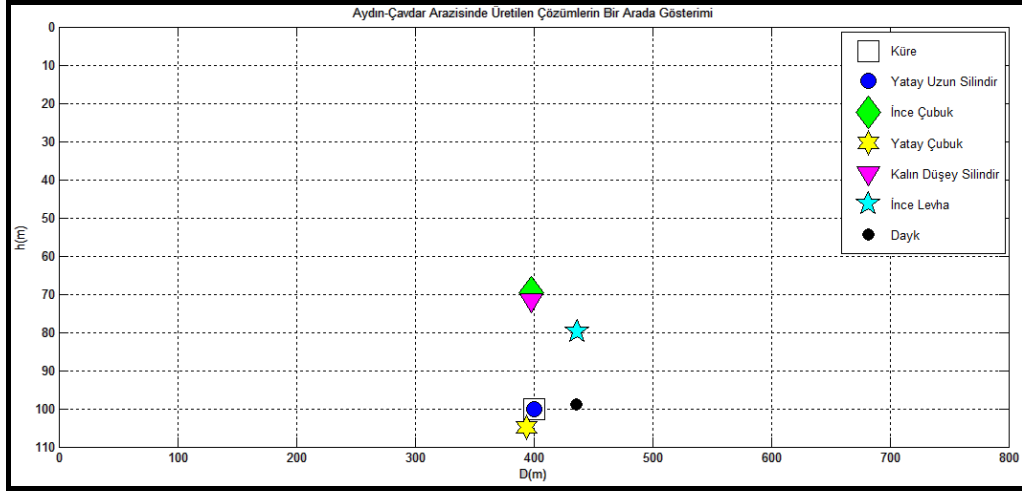
| Model | Veri | h | D | RMS |
|--------------------------------|-------|---------|--------|--------|
| Küre (Gravite) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 100 | 400 | 0,0156 |
| Yatay Uzun Silindir (Gravite) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 100 | 400 | 0,0153 |
| İnce Çubuk (Gravite) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 69,6 | 397,7 | 0,015 |
| Yatay Çubuk (Gravite) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 104,843 | 394,6 | 0,0153 |
| Kalın Düşey Silindir (Gravite) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 61,5 | 397,7 | 0,0152 |
| İnce Levha (Manyetik) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 85,017 | 436,14 | 1,642 |
| Dayk (Manyetik) | Giriş | 80 | 355 | |
| | Sonuç | 98,997 | 436,04 | 1,281 |

Elde edilen sonuçlara göre bulunan derinlikler ve kütle merkezinin yerleri Şekil 17’de birlikte işaretlenmiştir.

Kütle merkezlerinin yeri (orijin) ve bulunan derinlikler Şekil 17’de gösterilmiştir. Kullanılan modeller gereği bazıları yapının üst derinliğini, bazıları ise yapının merkez derinliğini vermektedir. Bu farklılık modellerin potansiyel bağlantılarından kaynaklanmaktadır.

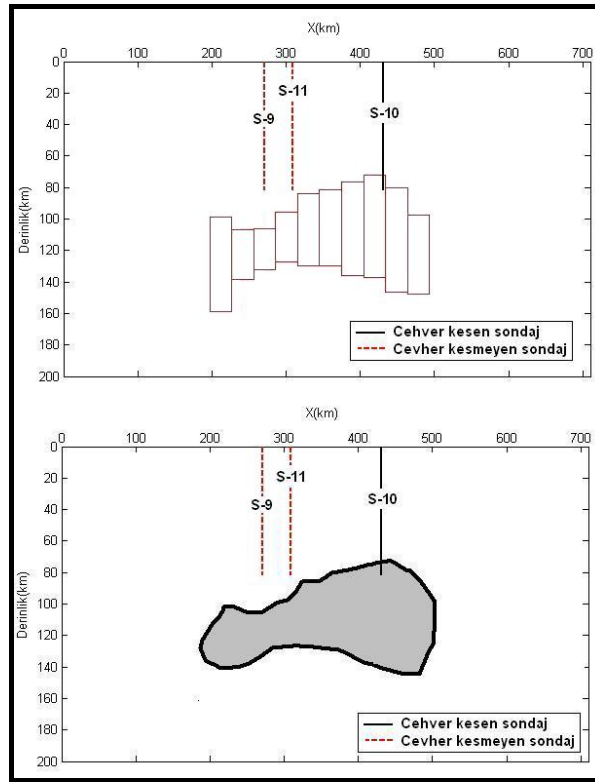
Seçilen model ne olursa olsun derinlikler değişebilirken, kütle merkezinin yeri her model için aynı değerde bulunabilmektedir.

İnceleme alanında MTA tarafından yapılmış olan sondajlardan; bazı sondajlar cevheri kesemezlerken, bazıları 80 m. dolayında cevheri kesebilmişlerdir (Sertçelik İ., 1994). Bu durum, yapılacak modellemenin tek bir modele bağlı kalınarak yapılmasının sakıncalı olacağını göstermiştir.



Şekil 17. Gravite ve Manyetik çözümlerinden bulunan kütle merkezlerinin yeri ve derinlikleri
Figure 17. Position and depth of the centre of mass which was found by gravity and magnetic solutions

Aynı anomalileri, modeli prizmatik kütlelerle kuran ve “birleşik ters çözüm” yoluyla çözen Yas ve Aşçı (2006) nın modeline göre, cevheri kesen ve kesmeyen bazı sondajlar Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Birleşik ters çözüm yöntemi sonucu bulunan yeraltı yapısı ve MTA’nın yapıyı kesen ve kesmeyen sondajları (Yas ve Aşçı, 2006)
Figure 18. Underground structure determined by joint inversion method and drillings which cut or uncut structure of MTA.

SONUÇLAR

Özellikle maden sahalarında, madenin oluşum koşullarına bağlı olarak elde edilmiş kesitlerde bir kütlenin veya birkaç kütlenin etkisi birlikte görülebilmektedir. Bu kesitleri modellerken hangi eğriye hangi model ile yaklaşım yapılacağı önemlidir. Bu çalışmada bu durum incelenmiştir. Eğer yalnızca kesit üzerinden modelleme yapılacaksa seçilen model ne olursa olsun, kütle merkezinin yeri ve kütlenin derinliği hemen hemen başarıyla bulunabilmektedir. Diğer kütle parametrelerinde sapmalar olabilmektedir. Bir veri grubunu çözerken diğer bir veri grubunu da kullanmak çözümü gerçeğe daha yakın hale getirecektir.

TEŞEKKÜR

Kullandığımız verilerden ötürü Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

MARQUARDT, D.W, 1963, "An algorithm for least squares estimation of non linear parameters, Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics" 11,431-441.

RAJU, D.C.V., 2003, "A computer program for least-squares inversion of magnetic anomalies over long tabular bodies", Computers & Geosciences, 29, 91-98.

SERTÇELİK, İ., 1994, "Rezidüel anomaliler arasındaki korelasyon faktörleri ile manyetik ve gravite yorumu", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

TELFORD, W.M., L.P. GELDART, R.E. SHERIFF and D.A. KEYS, 1981, "Applied Geophysics", Cambridge University Press, London

YAS T., AŞÇI M., 2006, "Aydın-Çavdar Demir Cevherine ait Gravite ve Manyetik Anomalilerin Birleşik Ters Çözümü", Türkiye 17. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara