

GRAVİTE ANOMALİLERİNİN ÜÇ BOYUTLU (3-B) MODELLENMESİNE DAYANILARAK YAPI DERİNLİĞİNİN BELİRLENMESİNE BİR YAKLAŞIM

AN ATTEMPT TO DEFINE DEPTH OF THE STRUCTURE BASED ON THREE DIMENSIONAL (3-D) MODELING OF GRAVITY ANOMALIES

Erdinç ÖKSÜM¹, M.Nuri DOLMAZ², Ali ETİZ²

¹⁾SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Müh. A.B.D./ İSPARTA

²⁾SDÜ Müh.Mim. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü / İSPARTA

ÖZ: Yeraltı yapılarının meydana getirdiği gravite anomalileri iyi bir yaklaşımla üç boyutlu (3-B) olarak modellenebilmektedir. Gravite anomalilerine neden olan yeraltı yapılarının modellenmesi için, bir çok yöntemde yoğunluk bilgilerinin yanı sıra derinlik bilgilerinin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin gerçeğe yakın değerlerde kullanılması yapılan modellemenin güvenilirliği açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, derinlikleri bilinen teorik yer altı yapılarının (prizma, piramit ve küre) gravite verilerine, üç boyutlu gravite modelleme tekniğinde kullanılan yapı derinliği hakkında bilgi veren istatistiksel bir analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu modelleme tekniğinde tanımlanması gereken referans derinliğinin farklı değerleri için, teorik ve hesaplanan veriler arasındaki optimum “rms” uyum değerleri elde edilmiştir. Rms grafiklerinin istatistiksel analizi yapı derinliği (referans derinliği) hakkında bilgi vermektedir. Rms eğrisinin eğim yaparak sapma gösterdiği derinlik, yapının gerçek derinlik değerine karşılık gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gravite verisi, 3-B modelleme, derinlik.

ABSTRACT: Gravity anomalies which is caused by subsurface structures can be modeled as a three-dimensional by successive approximations. For modelling of the subsurface structures caused gravity anomaly data, both the density and depth information are required in many techniques. It is important applying true values of these parameters for the confidence of modeling. A statistical analysis which gives information about the depth of the structure (reference depth) used to the 3-D gravity modeling technique was applied to gravity data of theoretical subsurface structures (prism, pyramid, and sphere) known their depths. The optimum “rms” fitness values between the theoretical and the calculated data have been obtained by modifying the reference depths which have to specified in that modelling technique. The statistical analysis of rms graphics give information about the depth of the structure (reference depth). It can be seen that the rms curve declined at the accurate value of this depth.

Key Words: Gravity data, 3-D modeling, depth.

1. GİRİŞ

Gravite anomali değerlerinden iyi bir yaklaşımla anomaliyi verecek 3 boyutlu yapısal modellerin hesaplanması olanaklıdır. Bu amaçla Cordell ve Henderson (1968) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bu tür bir hesaplama tekniğine ilişkin Cordell ve Henderson (1968) tarafından geliştirilmiş olan bu yöntem irdelenmeye çalışılmıştır. Bu teknik günümüze kadar da birçok çalışmada kullanılmıştır (Cordell ve Henderson, 1968; Kearey, 1991; Ateş ve

Kearey, 1995; Büyüksaraç ve diğ., 1998). Bu teknikte anomaliye sebep olan yapı modelinin alt veya üst yüzeyinin düz veya merkezinden geçen yatay bir düzlem çevresinde simetrik olması kabul edilir. Yani seçilen bu referans düzlemi, model yapının taban derinliğini, üst yüzey derinliğini veya merkez derinliğini sınırlamaktadır. Yapı için ilk yaklaşım modeli Bouguer slab bağıntısından elde edilmektedir. Burada her bir grid noktası düşey prizmatik bir modelin merkezi olup her biri için bir kalınlık hesaplanır ve belirlenen referans

derinliğine oturtularak başlangıç modeli oluşturulur. Elde edilen ilk modelin gravite alanı hesaplanarak, her bir grid noktasında ölçülen değer ile teorik olarak hesaplanan gravite değeri arasındaki orandan bir sonraki adımda kullanılacak model elde edilmeye çalışılır. Bu işlem ölçülen ve hesaplanan gravite verileri arasında en iyi uyum sağlanıncaya kadar yinelemeli olarak sürdürülür.

Tekniğin uygulanmasında model yapının çevresine göre yoğunluk farkının homojen dağılmış olduğu ve ayrıca yapının belirli bir derinlikte bir referans düzlemi boyunca sınırlandırıldığı varsayılmıştır. Bu durumda bu teknikte anomaliyi veren yapının optimum olarak modellenmesi için yoğunluk bilgisinin yanı sıra modelin üzerine oturtulacağı referans derinliğinin de doğru olarak belirlenmesi gerekir. Aksi takdirde, çoğu jeofizik probleminde olduğu gibi, çok çözümlülüğünden dolayı aynı anomaliyi bir çok modelin verebilmesi yanılgılara sebep olabilecektir. Gravite ve manyetik yöntemlerde anomaliyi veren kütlelerin modellenmesi için ihtiyaç duyulan derinlik bilgileri, çoğu kez verilerin frekans ortamına dönüştürülmesiyle yapılan güç spektrumu analizlerinden elde edilmeye çalışılır (Spector ve Grant, 1970; Davis, 1973). Bu analizler sonucu elde edilen derinlikler, anomaliye sebep olan kütlelerin ortalama alt ve üst derinlik bilgileridir. Daha sonra elde edilen bu derinlikler doğrultusunda kütlelerin şeklini verecek modelleme aşamasına gidilir. Bu çalışmada ise, Cordell ve Henderson (1968) tekniğinin uygulanabilmesi için gerekli olan derinlik bilgileri, doğrudan tekniğin kendi içerisinde yapılan istatistiksel analizler sonucu elde edilmeye çalışılmıştır.

İteratif yöntemlerin çoğu 3 aşamadan oluşmaktadır:

- Başlangıç modelin belirlenmesi,
- Modelin vereceği teorik gravite etkisinin hesaplanması,
- Ölçülen gravite değerleri ile hesaplanan teorik gravite değerleri arasındaki uyuma göre yeni bir model oluşturulması.

İkinci ve üçüncü aşama, ölçülen ve teorik gravite verileri arasındaki uyumun seçilen bir kriteri sağlanıncaya kadar yinelenir. 3-B modellemede referans derinlik bilgisi girilmesi istenirken, bu çalışmada öne çıkan fark bir aralıkta girilen derinlikler için elde edilen çözümlerden yapı derinliğinin (referans derinliği) saptanabilmesidir.

2. ÜÇ BOYUTLU (3-B) MODELLEME TEKNİĞİ

Üç boyutlu modelleme yönteminin uygulaması gravite anomalisinin kare veya dikdörtgen olarak gridlenmesi ile başlar. Burada her bir grid noktasının düşey prizmatik bir yapının merkezi olduğu düşünülürse, prizmaların enine kesit boyutları grid

aralıkları kadar olacaktır. Bu durumda veri sahası, grid noktası sayısı kadar eşit prizma modellerine bölünmüş olur. Homojen yoğunluğa sahip oldukları varsayılan bu prizmaların kalınlıkları, $t_{n,q}$ ile ifade edilir. Burada n yineleme adımını, q ise q 'uncu grid noktasındaki prizma elementini göstermektedir. Her birinin başlangıç kalınlıkları, Bott (1960) tarafından önerilen

$$t_{1,q} = K \cdot g_{obs,q} \quad (1)$$

bağıntısından elde edilebilir. Burada

$$K = \frac{1}{2\pi\gamma\rho}$$

olarak tanımlanır. γ gravite sabiti, ρ yoğunluk, D referans düzleminin derinliği ve M grid noktalarının toplam sayısı olmak üzere tüm grid noktaları için ilk modelin p inci grid noktasındaki oluşturduğu gravite değerleri,

$$g_{calc,1,p} = \sum_{q=1}^M \gamma \cdot \Delta f(P, Q, t_{1,q}; \rho, D) \quad (2)$$

genel bağıntısından hesaplanabilir. Burada

$$\Delta f_{calc,n,p} \approx \gamma \cdot \rho \cdot W^2 \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{R^2_{p,q} + d^2_{n,q}}} - \frac{1}{\sqrt{R^2_{p,q} + (d_{n,q} + t_{n,q})^2}} \right] \quad (3)$$

bağıntısından hesaplanır. (3) no'lu denklemde,

W = grid aralığı

$R_{p,q}$ = P ve Q noktaları arasındaki uzaklık

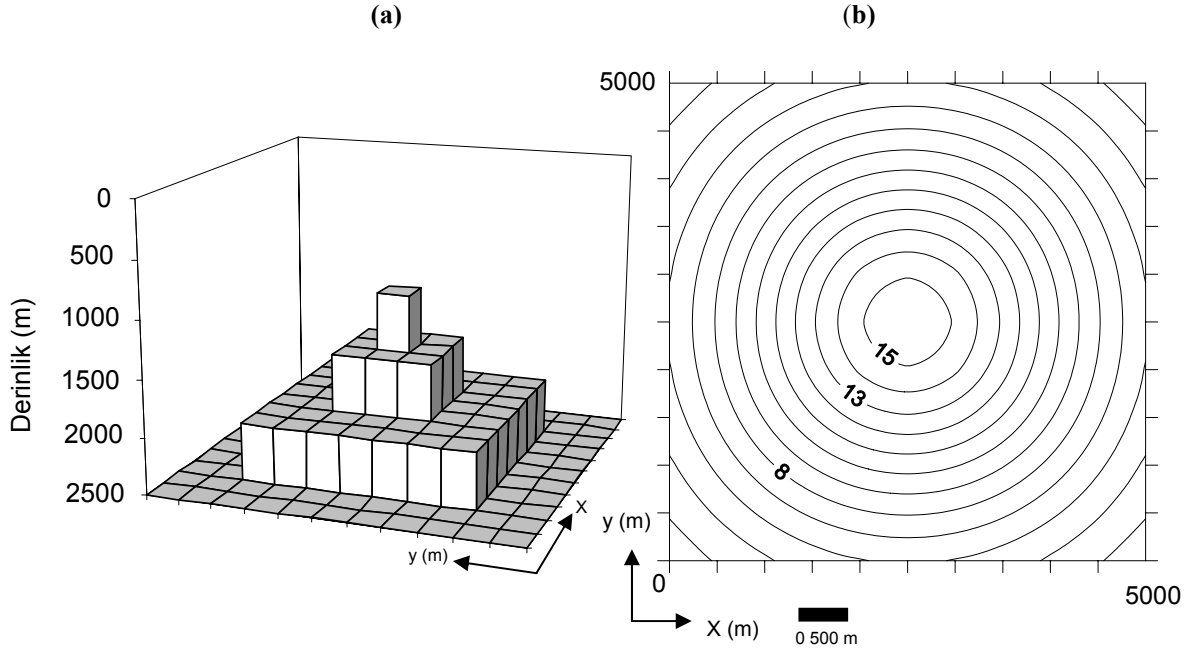
$d_{n,q}$ = n inci yinelemede grid noktaları altında kalan prizmaların üst yüzeylerine olan derinlikler olarak tanımlanmaktadır.

Hesaplama sonucu elde edilen $g_{calc,1,p}$ değerleri ile gözlenen $g_{obs,p}$ değerleri karşılaştırılarak uyumun sonucuna göre yeni bir model elde edilebilir. Bunun için bir sonraki yinelemede kullanılacak yeni model kalınlıkları,

$$t_{n+1,q} = \left(\frac{g_{obs,q}}{g_{calc,n,q}} \right) \quad (4)$$

bağıntısından bulunur ve istenilen uyum sağlanıncaya kadar işlemlere devam edilir. Uyumun ölçütü olarak root mean square (rms) değerleri kullanılabilir.

$$rms_n = \sqrt{\frac{\left(g_{obs,q} - g_{calc,n,q} \right)^2}{M}} \quad (5)$$



Şekil 1a: Kuramsal yeraltı modeli için seçilen 11x11 noktada ve her biri 500 m² kesit alanına sahip prizmaların oluşturduğu piramit yapıda bir model görülmektedir. Modelin tabanı (referans derinliği) 2500 m, yoğunluk farkı 2 gr/cm³ olarak seçilmiştir, **b)** Yeraltı modeline ait gravite anomali haritası (mgal).

Figure 1a: Pyramid model is chosen to the synthetic subsurface model grided in 11x11 grid points and 500 m² cross-sectional area for each prism. The basement depth and density contrast are specified as 2500 m and 2 gr/cm³, respectively, **b)** Gravity anomaly map of the substructure model (mgal).

Optimum bir çözüm için rms değerlerinin en küçük değerine ulaştığı yineleme adımı kabul edilebilir. $rms_{n+1} < rms_n$ olması durumunda n inci yineleme sonucunda elde edilen çözüm optimum çözümlü vermektedir.

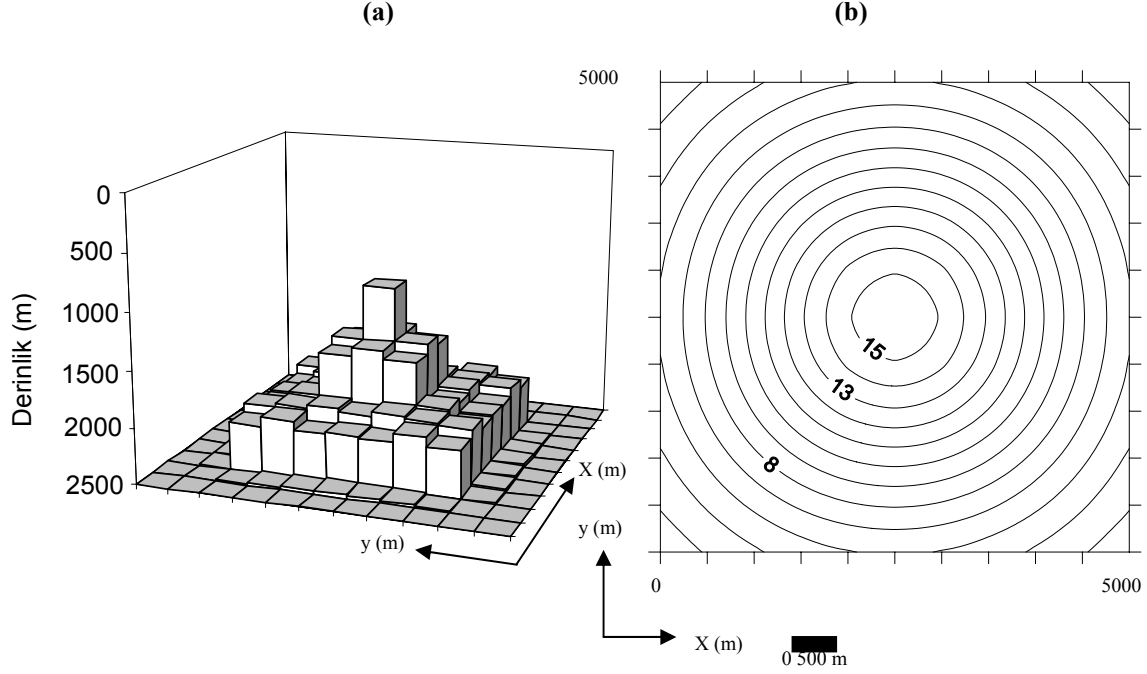
Şekil 1'de kuramsal bir yeraltı yapısı için Cordell ve Henderson (1968) tekniği kullanılarak yapılan bir modelleme örnek olarak gösterilmiştir. Verilen örnekte görüldüğü gibi, gravite verilerinin üç boyutlu olarak modellenmesi tekniği oldukça iyi sonuçlar vermekte, ancak bu işlemlerin yapılabilmesi için daha önce de sözü edildiği gibi aranacak model için bir referans derinliği belirtilmelidir. Optimum bir çözüm için ise, bu derinliğin gerçeğe en yakın değeri ile verilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, kuramsal yeraltı yapılarından oluşturulan gravite anomali haritaları üzerinde, referans derinliklerinin değiştirilerek optimum uyumun sağlandığı rms değerlerinin çözümün yapıldığı referans derinliklerine göre grafiklenmesi sonucu elde edilen eğrilerden, model yapının gerçek referans derinlikleri hakkında bir yaklaşım sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan model anomaliler ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Model 1: Şekil 1'de verilen kuramsal modelde yeraltı modelinin oturduğu referans derinliği 2500 m dir. Bu yeraltı modelinin oluşturduğu gravite anomalisinden Cordell ve Henderson (1968) ters çözüm tekniği ile anomaliyi veren en doğru model aranırken, yoğunluk bilgisinin yanı sıra bu parametrenin de belirtilmesi gerekir. Şekil 2, kuramsal modelin parametrelerini kullanarak üç boyutlu iteratif modelleme tekniğinden yararlanarak elde edilen hesaplanan model ve onun gravite anomalisini göstermektedir. Bu çalışmada, geniş bir aralıkta girilen referans derinliklerine göre, elde edilen sonuçların rms değerlerinden yeraltı modelini temsil eden gerçek referans derinliği elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 3 referans derinliklerinin çözüme ulaşılan optimum rms değerlerine karşı grafiğini göstermektedir. Buna göre eğrinin yatay ekseninde 2500 m civarında bir eğim kazandığı görülmektedir ki bu değer kuramsal modelin gerçek referans derinliğine karşılık gelmektedir. Yani eğrinin eğim kazandığı 2500 m referans derinliğinin modelleme tekniğinde işleme konması ile, kuramsal modele en yakın hesaplanan model elde edilmiştir (Şekil 2.a).

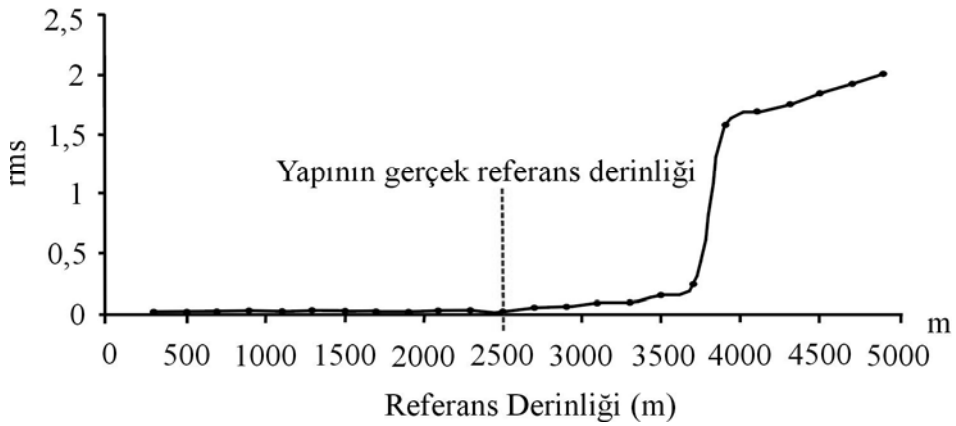
Aşağıda değişik yeraltı modellerinin farklı ebat ve derinliklerdeki anomalileri elde edilmiş ve analiz sonuçları şekillerde gösterilmiştir. Tüm modeller için yoğunluk farkı $\Delta\rho=2 \text{ gr/cm}^3$ alınmıştır.



Şekil 2a: Üç boyutlu iteratif modelleme tekniğinden yararlanarak hesaplanan model, **b)** Hesaplanan modele ait gravite anomali haritası (mgal).

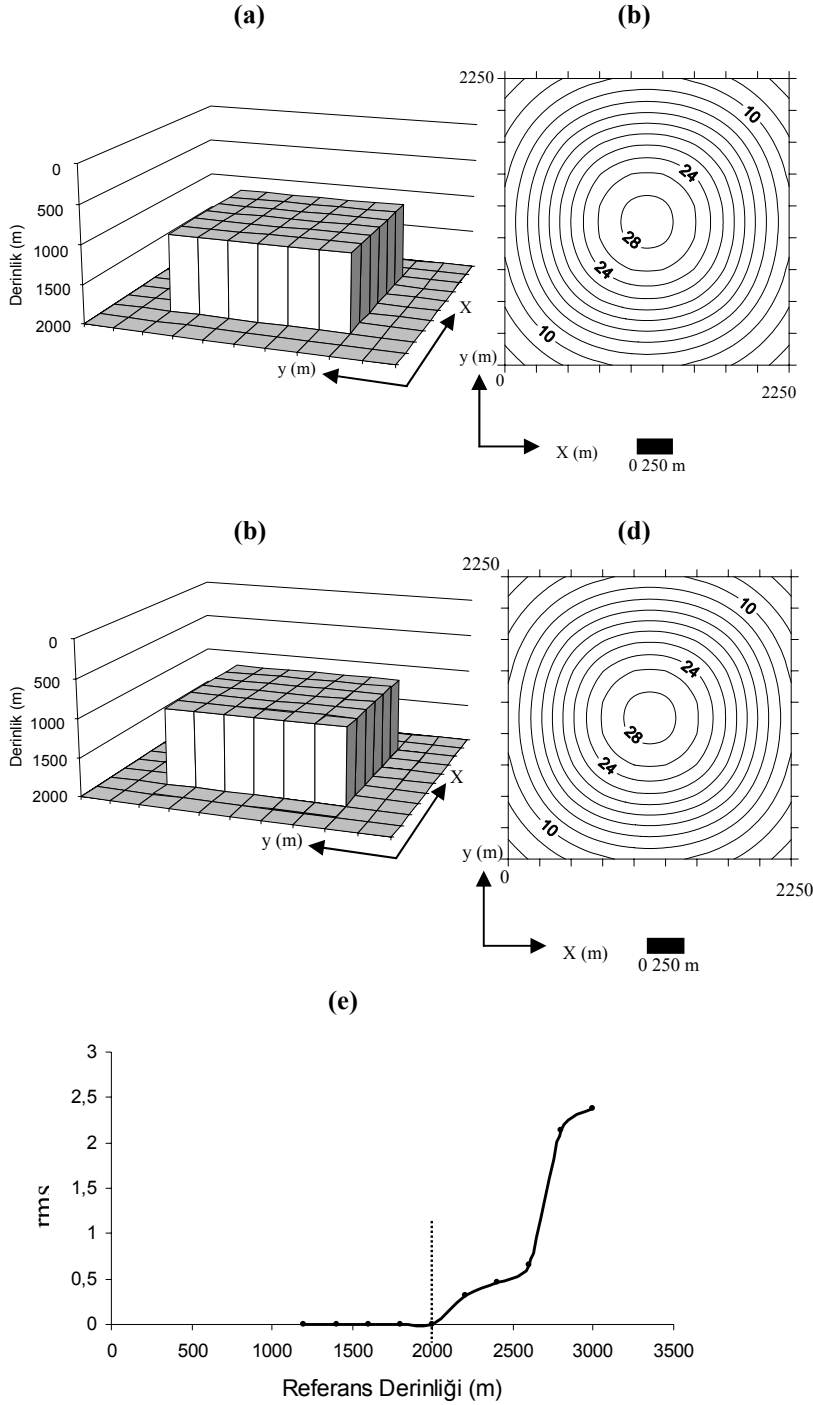
Figure 2a: The model calculated from the three dimensional iterative modeling technique, **b)** Gravity anomaly map of the calculated model (mgal).

Model-1



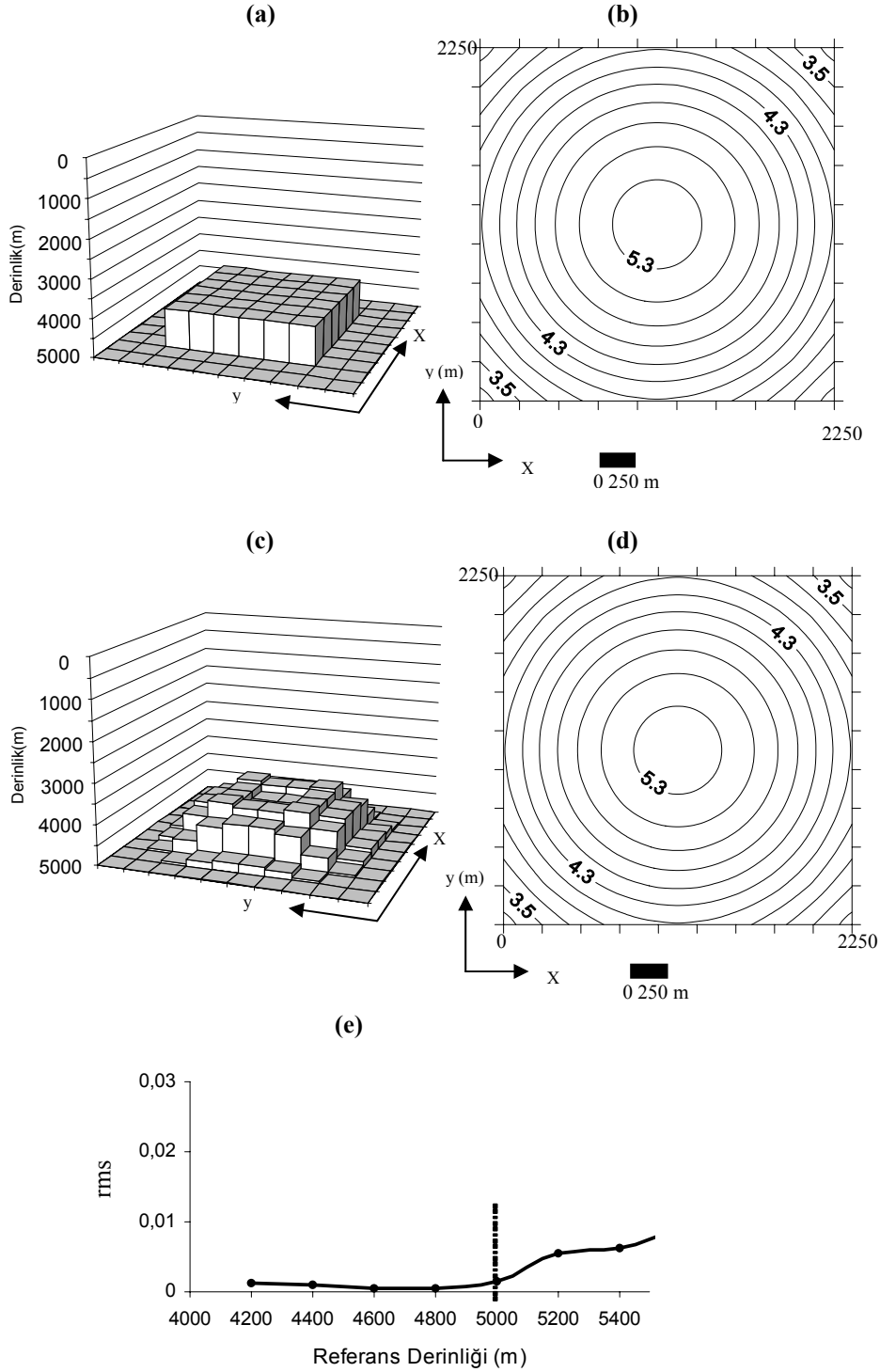
Şekil 3: Şekil 1.a da verilen modelin farklı referans derinlikleri ile modellenmesi sonucu elde edilen rms değerleri grafiği.

Figure 3: The graphic of rms values obtained by modifying the reference depths in the modeling for the model given in Figure 1.



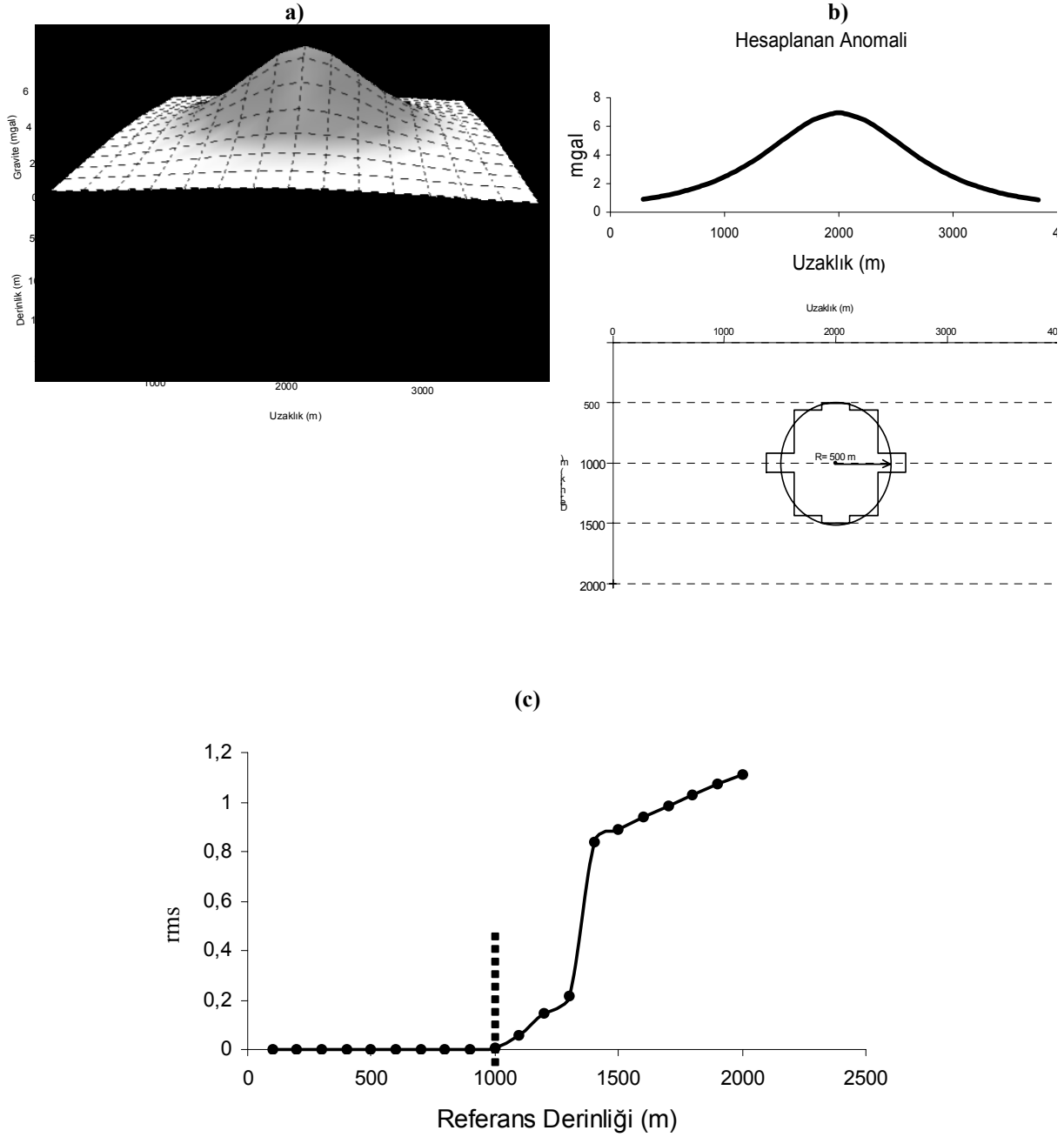
Şekil 4a: 10x10 ve 250 m² enine kesit alanına sahip prizmaların oluşturduğu 2000 m taban derinliğine ve 1000 m kalınlığa sahip prizmatik model kütle, **b)** Bu kütle için ait gravite anomali haritası, **c)** Taban derinliği 2000 m için Cordell ve Henderson (1968) çözüm modeli, **d)** Çözüm modeline ait hesaplanan anomali, **e)** Değişik taban derinlikleri için elde edilen sonuçların rms dağılım grafiği. Burada kesikli çizgi modelin gerçek referans derinliğini göstermektedir.

Figure 4a: Prismatic model is chosen to the synthetic subsurface model grided in 10x10 grid points and 250 m² cross-sectional area. The basement depth and the thickness are specified as 2000 m and 1000 m, respectively, **b)** Gravity anomaly map of the substructure model (mgal), **c)** The solution model of Cordell and Henderson (1968) for 2000 m basement depth, **d)** Calculated gravity anomaly of the solution model, **e)** The graphic of rms values obtained by modifying the reference depths. Intermittently line shows the accurate reference depth.



Şekil 5a: Şekil 4.a da verilen prizmatik model kütle için 5000 m taban derinliğine sahip olması durumu, **b)** Bu kütle için gravite anomalisi haritası, **c)** Taban derinliği 5000 m için üç boyutlu çözüm modeli, **d)** Çözüm modeline ait hesaplanan gravite anomalisi, **e)** Değişik taban derinlikleri için elde edilen sonuçların rms dağılım grafiği. Burada kesikli çizgi modelin gerçek referans derinliğini göstermektedir.

Figure 5a: The prismatic model shown in Figure 4.a for 5000 m basement depth, **b)** The gravity anomaly map of the structure, **c)** Three dimensional solution model for 5000 m basement depth, **d)** Calculated gravity anomaly of the solution model, **e)** The graphic of rms values obtained by modifying the reference depths. Intermittently line shows the accurate reference depth.



Şekil 6a: $M_d = 1000$ m merkez derinliğine ve $R = 500$ m yarıçapına sahip küre şeklindeki model kütle ve üstte oluşturduğu gravite anomalisi, **b)** Merkez referans derinliği 1000 m için üç boyutlu çözüm modeli ve üstte iki boyutlu anomalisi, **c)** Değişik taban derinlikleri için elde edilen sonuçların rms dağılım grafiği. Burada kesikli çizgi modelin gerçek referans derinliğini göstermektedir.

Figure 6a: Spherical model of 1000 m central depth and 500 m radius, and its gravity anomaly above, **b)** Three dimensional solution model for 1000 m central reference depth and its two dimensional anomaly above, **c)** The graphic of rms values obtained by modifying the reference depths. Intermittently line shows the accurate reference depth.

Model 2: Şekil 4.a da 2000 m taban derinliğine (referans derinliği) ve her biri 1000 m kalınlığa sahip 36 adet prizmaların oluşturduğu kuramsal prizmatik bir yapı görülmektedir. Şekil 4.b de böyle bir kütlelinin gravite anomalisi, Şekil 4.c de 3-B modelleme tekniği ile 2000 m referans derinliğine göre hesaplanan modeli ve bu modelin oluşturduğu gravite anomalisi de Şekil 4.d de görülmektedir. Değişik taban derinlikleri için elde edilen sonuçların rms dağılım grafiği Şekil 4.e de verilmiştir. Şekilde kesikli çizgi modelin gerçek referans derinliğini göstermektedir.

Model 3: Model 2 de verilen kuramsal prizmatik yapının (Şekil 5.a) 5000 m taban derinliğine göre gravite anomalisi Şekil 5.b de verilmiştir. Modelin 5000 m referans derinliğine göre 3-B hesaplanan çözüm modeli (Şekil 5.c) ve çözüm modeline ait hesaplanan gravite anomalisi de Şekil 5.d de görülmektedir. Şekil 5.e ise, değişik taban derinlikleri için elde edilen sonuçların rms dağılım grafiğini göstermektedir. Bu grafikte eğrinin eğim yapmaya başladığı derinliğin 5000 m olduğu görülmektedir.

Model 4: Referans derinliği olarak merkezi kabul edilen kuramsal bir küre Şekil 6.a da görülmektedir. Bu kuramsal modelin oturduğu referans derinliği 1000 m dir. Şekil 6.b, bu kuramsal kürenin 1000 m referans derinliği için 3-B modelleme tekniğinden elde edilen sonuca göre hesaplanan gravite anomalisi ve modelini göstermektedir. Referans derinlikleri çözüme ulaşılan optimum rms değerlerine karşı grafiklenmiştir (Şekil 6.c). Buna göre eğrinin yatay ekseninde eğim kazanmaya başladığı değer (1000 m), kuramsal modelin gerçek referans derinliğine karşılık gelmektedir.

4. SONUÇLAR

Gravite anomalilerinin modellenmesinde derinlik önemli bir faktör olarak rol oynamaktadır. Derinlik bilgileri genellikle güç spektrumu analiz sonuçlarından elde edilebilmektedir. Bu çalışmada gravite anomalilerinin 3-B modellenmesine dayanılarak, istatistiksel analiz ile model yapının derinlik bilgileri elde edilmiştir. Kuramsal modelin farklı derinliklerdeki çözüm sonuçları incelenerek, anomaliyi veren kütlelinin gerçek derinlik bilgileri hakkında yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu analize göre optimum çözümlerin elde edildiği rms değerlerinin çözüm yapılan derinliklere göre grafiklenmesi ile, elde edilen eğrilerin karakteristiklerinden sonuca ulaşılmaktadır. Bu grafiklerde eğrinin eğim yaparak sapma gösterdiği noktaya karşılık gelen derinlik, yeraltı yapısını temsil eden modelin 3-B çözüm için oturacağı referans derinliğini gösterir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın yayına hazırlanması aşamasında görüş ve önerilerinden yararlandığımız ve yapıcı eleştirileri ile bizi destekleyen Sayın Prof.Dr. Naci ORBAY ve Y.Doç.Dr. Z. Mümtaz HİSARLI' ya teşekkürü bir borç biliriz.

SUMMARY

In this study, gravity data of theoretical subsurface structures (prism, pyramid, and sphere) known their depths are applied a three dimensional modelling technique (3-D). A statistical analysis which gives an information about the depth of the structure (reference depth) by using to the 3-D gravity modeling technique of Cordell and Henderson (1968) was applied to gravity data of theoretical subsurface structures (prism, pyramid, and sphere) known their depths. Firstly, for the gravity data of a chosen theoretical subsurface structure, the optimum rms fitness values between the theoretical and the calculated data were obtained by modifying the reference depth in each solution. Secondly, the optimum rms fitness values were graphed against to the reference depths which have been specified in each solution. It can be seen that the curve on this graphic is inclined near the true value of the reference depth.

For several theoretical subsurface structures, it was obtained that the depths found by the statistical analysis have a good fitness with the depths of theoretical subsurface structures. Hence, the reference depth information which is required in most modeling techniques can be found by the results of this statistical analysis for a confidently modeling.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ateş, A., Kearey, P., 1995,** A new method for determining magnetitiation direction from gravity and magnetic anomalies : application to the deep structure of the Worcester Graben. Journal of the Geological Society London, 152, 561-566.
- Bott, M.H.P., 1960,** The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. Royal Astron. Soc. Geophys., 3 (1), 63-67.
- Büyüksaraç, A., Reiprich, S., Ateş, A., 1998,** Three-Dimensional magnetic model of amphibolite complex in Taşkesti area, Mudurnu valeyi North-West Turkey, Journal of the Balkan Geophysics Soc., 1(3), 44-52.
- Cordell, L., Henderson, R.G., 1968,** Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. Geophysics, 33, 596-601.
- Davis, J.C., 1973,** Statistics and data analysis in Geology. Willey, New York.

- Kearey, P., 1991,** A possible source of the South-Central England magnetic anomaly: basaltic rocks beneath the London platform, *Journal of the Geological Society London*, 148, 775-780.
- Spector, A., Grant, F.S., 1970,** Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293-302.

Yayına Geliş - Received : 15.10.05
Yayına Kabul - Accepted : 30.11.05