

PRİZMATİK YAPILARIN MANYETİK TERS ÇÖZÜMÜ VE MARMARA DENİZİ VERİLERİNİN YORUMU

Inversion of the Magnetic Anomalies of Prismatic Bodies and Interpretation of Marmara Sea Data

Erdeniz ÖZEL* ve Coşkun SARI**

ÖZET

Manyetik anomalilerin çoğu mıknatıslanmış prizmatik model yapılar olarak yorumlanabilir. Prizmaların oluşturduğu manyetik anomalileri yorumlamak için doğrusal olmayan Marquardt optimizasyon tekniğinin kullanılması yoluyla tam ve yaklaşık anomali bağıntılarının kullanıldığı üç boyutlu ters çözüm yöntemi için etkin ve hızlı yöntemler geliştirilmiştir. Marquardt algoritmasında her zaman bakışlı ve pozitif tanımlı olan matrisin (Jakobiyen matrisi) çözümünde Cholesky ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Manyetik anomaliler ve bilinmeyen parametrelere göre türevler prizmatik yapının civarındaki noktalarda tam anomali bağıntısı, diğer noktalarda ise yaklaşık anomali bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Yaklaşık bağıntılar anomali ve türev değerlerinin hesaplanması için prizmanın çizgi kütle olarak düşünülmesi ile türetilmiştir. Yöntem, sadece anomali ve türevlerin hesaplanmasında yaklaşık bağıntıların kullanılmasıyla bilgisayar zamanından önemli bir tasarruf sağlamak için değil, aynı zamanda hesaplamalarda gerekli duyarlılığı sürdürmek için de geliştirilmiştir. Yöntemin etkinliği kuramsal modeller üzerinde test edilmiştir.

Marmara Denizi'ndeki manyetik anomaliler,

ABSTRACT

Most of the magnetic anomalies may be interpreted as a number of magnetized bodies which can be modeled by prismatic bodies. Efficient and rapid methods to interpret magnetic anomalies due to multiple prisms were developed for three-dimensional inversion method by an appropriate use of the matrix (Jacobian matrix) in the Marquardt's algorithm is always symmetric and positive definite. The magnetic anomalies and derivatives with respect to unknown parameters were calculated using exact equation in the vicinity of the prismatic body and using the approximate equation at the other points. Approximate equations have been derived for calculating the anomalies and derivatives by treating the prism as a line mass. The method which is developed in such a way that not only significant saving in computer time has been achieved by the approximate equations for computing the anomalies and derivatives, but also required accuracy in the computations is maintained. The efficiency of this approach was tested on the theoretical models.

The magnetic anomalies in the Sea of Marmara were interpreted as two prismatic bodies with diffe-

1 Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bil. ve Tek. Enst., İzmir.

2 Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İzmir.

mıknatıslanmaları farklı iki prizmatik yapı ile yorumlanmıştır. Başlıca manyetik anomaliler Marmara Denizi havzasının kuzey kenarı boyunca D-B yönünde uzanırlar. Uzun dalgaboyuna sahip bu anomaliler kaynağı oldukça derinde olan yapılar tarafından oluşturulurlar. D-B uzanımlı bu manyetik anomaliler KAF'nın kuzey kanadındaki doğrultu atımlı faylarla güneye doğru yer değiştirmişlerdir. Bölgedeki manyetik anomalilerin üç boyutlu analizi sonucunda olması model yapıların derinlikleri 2.5-2.7 km arasında saptanmıştır.

rent magnetizations. The major magnetic anomalies are trending E-W direction on the north side of the Marmara Sea basin. This have long wavelength owing to the great burial depth of the sources. These E-W trending magnetic anomalies are displaced to the south by branches of strike-slip faults which are the northern strand of the North Anatolian Fault Zone. As a result of 3-D analysis of magnetic anomalies in region, the approximate depths of the possible model bodies were obtained between 2.5-4.5 km.

GİRİŞ

Manyetik anomalilerin üç boyutlu yorumunda yaygın olarak geometrik modellerden yararlanılır. Basamaklı fay bloklarına benzer jeolojik yapılar üzerinde saptanan manyetik anomalilerin üç boyutlu yorumlanmasında model olarak, gelişigüzel mıknatıslanmış, düşey prizmatik cisimler seçilebilir. Genelde, mıknatıslanmış yapılar birbirlerine çok yakın olduklarından ve bu prizmatik yapıların oluşturduğu anomaliler karmaşık bir özellik gösterdiğinden ayrımları tam olarak yapılamaz. Bundan dolayı, manyetik anomali haritaları farklı mıknatıslanmış ve konulanmış birkaç prizmatik yapı kullanılarak yorumlanmaya çalışılır. Prizmatik bir yapının manyetik anomalisini veren bağıntı Bhattacharyya (1964) tarafından verilmiştir. Bu bağıntının doğrusal olmaması nedeniyle, yapı parametrelerini saptamak için, çeşitli araştırmacılar doğrusal ya da doğrusal olmayan yaklaşımları kullanmışlardır. Örneğin, Whitehill (1973) tek bir prizmanın oluşturduğu manyetik anomalilerin değerlendirilmesinde Simplex yöntemini, Coles (1976) ise bir kaç prizmanın oluşturduğu manyetik anomalileri yorumlamak için, Marquardt (1963) tarafından geliştirilen, doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemler yinelemeli yöntemler olup, prizmatik bir yapının anomalisini veren bağıntı bir çok arctanjant ve logaritmik terim içerdiğinden hesaplama zamanı prizma sayısına bağlı olarak artmaktadır. Hesaplama zamanını azaltmak amacıyla Bhattacharyya (1980), normal denklemlerin çözümü için,

Cholesky ayrıştırma işlemi geliştirmiş. Kunaratram (1981) ise karmaşık gösterim tanımını kullanarak anomali bağıntısındaki arctanjant ve logaritmik terimleri basitleştirmiştir. Rao ve Babu (1991) ise prizmatik yapıların manyetik anomalilerinin ve kısmi türevlerinin hızlı hesaplanması için yapıya yakın mesafelerin ötesinde geçerli olan yaklaşık denklemleri geliştirmişlerdir. Bu denklemlerden yararlanılarak hazırlanan programlar Rao ve Babu (1993), Marmara Denizi havzası üzerindeki toplam manyetik alan anomalilerinin ters çözümünde kullanılmıştır.

Marmara Denizi havzası, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) sağ yönlü hakim yanal atım hareketi ile Ege'deki K-G açılma ve D-B graben gelişmesi arasında yer alır. Bölgenin kırık ve lineasyon hatları genelde birbirini kesen birkaç sistemden oluşmuştur. Bu nedenle eğim atımlı fayların büyük ölçüde ve çok sayıda geliştiği bölgede aynı doğrultuda faylanmaların yer aldığı dar ve uzun grabenler gelişmiştir. Marmara Denizi havzasını çevreleyen bu grabenler KAFZ'nin yanal atımlı tektoniği ile doğrudan ilişkilidir. Ege kıtasal bölgesini oluşturan Marmara Denizi havzası sağ yanlı doğrultu atımlı fay ile K-G yönlü pull-apart (çek-ayır) açılımının etkisinde kalmaktadır. Bölgedeki manyetik anomaliler genel olarak mağmatik kayalara bağlı olup, Marmara Denizi havzasında D-B yönlü uzanım özelliği göstermektedir. D-B uzanımlı manyetik anomaliler KAF'nın Kuzey kolunu oluşturan doğrultu atımlı fayların kenarlarında güneye doğru yer değiştirmektedir.

PRİZMATİK YAPILARIN OLUŞTURDUĞU MANYETİK ANOMALİ HARİTASININ ÜÇ BOYUTLU YORUMU

Manyetik anomalilerin üç boyutlu modellenmesi, bir alan üzerinde gözlenen verilerin analizini gerektirir. Genellikle, manyetik anomalilerin üç boyutlu yorumunda model olarak düşey prizmatik cisimler alınır. Mıknatıslanmış yapılar birbirine çok yakın olduklarından her prizmatik yapının oluşturduğu anomalilerin ayırımı tam olarak yapılamaz. Bu nedenle, manyetik anomali haritaları genelde farklı mıknatıslanmış ve konumlanmış birkaç prizmatik yapı kullanılarak yorumlanır. Prizmatik bir yapının manyetik anomalisini veren bağıntı yapının parametreleri nedeniyle doğrusal olmadığından yapıya ilişkin parametrelerin saptanması amacıyla doğrusal olmayan yaklaşım yöntemleri kullanılır.

a) Prizmatik Bir Yapının Manyetik Anomali Bağıntısı

x-y yatay düzlemi üzerinde gözlenen toplam manyetik alan anomalisinin gelişigüzel mıknatıslanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğunu varsayalım (Şekil 1). x, y, z koordinatlarını, x eksenini coğrafik kuzeyi, y eksenini coğrafik doğuyu, z eksenini ise aşağıya doğru düşey yönü belirtecek şekilde seçelim. Koordinat sisteminin merkezi olarak gözlem düzleminde bir O noktası alalım. Gözlemler x ve y eksenlerine paralel uzanan grid noktalarında alındığında, kenarları koordinat eksenlerine paralel düşey bir prizma için, herhangi bir P(x, y, O) noktasındaki toplam manyetik alan anomalisinin denklemi Rao ve Babu (1991) tarafından;

$$T(x, y, O) = G_1F_1 + G_2F_2 + G_3F_3 + G_4F_4 + G_5F_5 \quad (1)$$

olarak verilmiştir.

G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 sabitleri

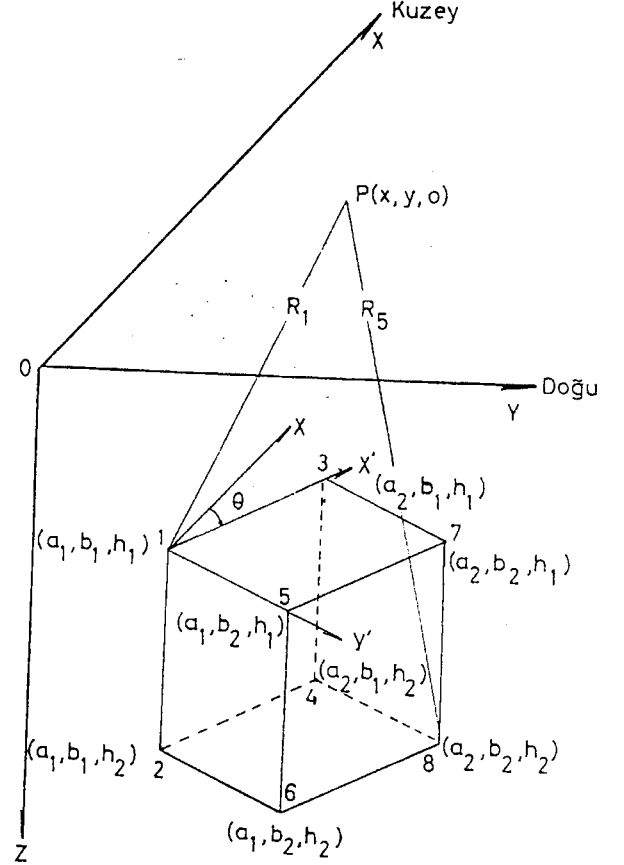
$$G_1 = EI (Mr + Nq),$$

$$G_2 = EI (Lr + Np),$$

$$G_3 = EI (Lq + Mp),$$

$$G_4 = EI (Nr - Mq),$$

$$G_5 = EI (Nr - Lp)$$



Şekil 1. Üç boyutlu prizmatik yapı modeli ve koordinat gösterimi.

Figure 1. Presentation of three dimensional prismatic model and its coordinates.

olarak verilir. Bu bağıntıda EI manyetizasyon şiddeti, L, M, N manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri olarak tanımlanır. (1) no.lu bağıntıdaki diğer işlevler ise,

$$F_1 = \text{Ln} \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2)(R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2)(R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)},$$

$$F_2 = \text{Ln} \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_1)(R_5 + \beta_2)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_1)(R_6 + \beta_2)(R_7 + \beta_2)},$$

$$F_3 = \text{Ln} \frac{(R_2 + h_2)(R_3 + h_1)(R_5 + h_1)(R_8 + h_2)}{(R_1 + h_1)(R_4 + h_2)(R_6 + h_2)(R_7 + h_1)},$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_8 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_6 \beta_2} \\ - \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_4 \beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_2 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_7 \beta_2} \\ + \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_5 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_3 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_1 \beta_1}$$

ve

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_8 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_6 \alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_4 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_2 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_7 \alpha_2} \\ + \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_5 \alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_3 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_1 \alpha_1}$$

olarak tanımlanır. Bu işlevlerde,

$$R_1 = (\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_1^2)^{1/2},$$

$$R_2 = (\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_2^2)^{1/2},$$

$$R_3 = (\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_1^2)^{1/2},$$

$$R_4 = (\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_2^2)^{1/2},$$

$$R_5 = (\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_1^2)^{1/2},$$

$$R_6 = (\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_2^2)^{1/2},$$

$$R_7 = (\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_1^2)^{1/2},$$

$$R_8 = (\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_2^2)^{1/2},$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x, \quad \alpha_2 = a_2 - x, \quad \beta_1 = b_1 - y \quad \text{ve}$$

$$\beta_2 = b_2 - y$$

eşitlikleriyle verilmektedir.

Prizma yüzeylerinin koordinat merkezinden x ve y eksenlerine paralel olan yatay uzaklıkları (a_1 , a_2) ve (b_1 , b_2), prizmanın üst ve alt yüzeyine olan derinlikleri ise h_1 ve h_2 olarak tanımlanır. Eğer prizmanın yatay ke-

narları koordinat eksenine paralel değilse, coğrafik kuzeye göre θ açısı ile dönüşüm sağlanır. Böylece prizmanın yatay kenarlarına paralel olan ve (x' , y') ile tanımlanan yeni koordinat sistemi seçilmiş olur. Gözlem düzlem üzerindeki O noktası eski (x , y) koordinat sisteminde olduğu gibi yeni (x' , y') koordinat sisteminin merkezi olarak kalır. (1) no.lu denklemdeki (x , y) koordinatları;

$$x' = x \cos\theta + y \sin\theta$$

$$y' = -x \sin\theta + y \cos\theta$$

bağıntıları ile yeni (x' , y') koordinatlarıyla yer değiştirir.

I ve D yer manyetik alanının inklinasyonu ve deklinasyonu olmak üzere, yer manyetik alan vektörünün doğrultman kosinüsleri;

$$p = \cos I \cos(D - \theta),$$

$$q = \cos I \sin(D - \theta),$$

$$r = \sin I$$

olarak tanımlanır. Miknatıslanma vektörünün inklinasyonu ve deklinasyonu I_0 ve D_0 ise, manyetik alanın doğrultman kosinüsleri;

$$L = \cos I_0 \cos(D_0 - \theta),$$

$$M = \cos I_0 \sin(D_0 - \theta),$$

$$N = \sin I_0$$

olur.

Eğer gözlenen anomaliler, N_b sayıda prizma nede-niyle oluşmuş ise (x , y , O) noktasındaki manyetik anomali bağıntısı, C rejyonel alan sabiti olmak üzere;

$$\Delta T(x, y, O) = \sum_{k=1}^{N_b} \Delta T_k(x, y, O) + C \quad (2)$$

şeklinde verilebilir.

b) Prizmatik Bir Yapı İçin Yaklaşık Anomali Bağıntısı

Herhangi bir noktadaki manyetik anomaliyi ve kısmi türevlerini hesaplarırken (1) no.lu bağıntının yinelemeli olarak kullanılması gerekir. Bu durum bilgisayarlarda çok zaman aldığından Rao ve Babu (1991), bilgi-

sayar zamanını azaltmak amacıyla, hem türev hesaplamaları hem de anomalinin hesaplanması için prizmatik yapıların çizgi kütle olarak düşünüldüğü ve Kunaratnam (1981) tarafından üretilen yaklaşık anomali bağıntısını

$$\Delta T(x, y, O) = A \int_{h_2}^{h_1} \left[G_1 \frac{\partial^2}{\partial h \partial \beta} + G_2 \frac{\partial^2}{\partial h \partial \alpha} + G_3 \frac{\partial^2}{\partial \beta \partial \alpha} - G_4 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} - G_5 \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \right] \frac{1}{R} dh \quad (3)$$

geliştirmişlerdir. Bu bağıntıda, $R = (\alpha^2 + \beta^2 + h^2)^{1/2}$ ve $A = (a_2 - a_1)(b_2 - b_1)$ olarak tanımlanır. (3) no.lu bağıntının h 'ye göre integralinin alınması sonucu yaklaşık anomali bağıntısına ulaşılır.

$$\Delta T(x, y, O) = A \left[(G_1 \beta + G_2 \alpha) \left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3} \right) + G_3 C_1 \frac{\alpha \beta}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_4 (C_1 \beta^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_5 (C_1 \alpha^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \quad (4)$$

$$\text{Burada; } \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2} - x', \quad \beta = \frac{b_1 + b_2}{2} - y',$$

$$R_1 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_1^2}, \quad R_2 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_2^2},$$

$$C_2 = \left[\frac{h_1}{R_1} - \frac{h_2}{R_2} \right] \quad \text{ve} \quad C_1 = \left[\frac{h_2}{R_2} - \frac{h_1}{R_1} - \frac{2C_2}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right]$$

olarak tanımlanır. (4) no.lu bağıntı $(a_2 + 2) > x > (a_1 - 2)$ ve $(b_2 + 2) > y > (b_1 - 2)$ ile tanımlanan aralıklar haricindeki tüm noktalarda geçerli olup, logaritmik ve arotanjantlı terimler içermemesi nedeniyle, manyetik anomali ve parametrelere türev değerlerinin hesaplanması daha az bilgisayar zamanı gerektirir. Anomalinin hesaplandığı işlemler sırasında ilk birkaç yinelemede doğruluk daha az önemli olduğundan, gözlem düzlemi üzerinde prizmanın yatay izdüşümünün tanımlandığı alan dışındaki tüm noktalarda ve yatay izdüşümün sınırlarına komşu ilk iki noktada yaklaşık anomali bağıntısı kullanılabilir. Prizmanın üzerinde ya da yakın civarında anomaliyi hesaplamak için tam anomali bağıntısının kullanılması gerekir.

TERS ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE YAPI PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI

Mıknatıslanmış prizmatik bir yapı C rejyonel sabiti dışında 12 yapı parametresi ile tanımlanmıştır. Prizmatik yapının yatay ve düşey koordinatları olan $a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2$ ilk altı parametreyi oluşturmaktadır. Diğer yapı parametreleri mıknatıslanma şiddeti (EI), coğrafik kuzeye göre prizmatik yapının konumu (θ), mıknatıslanma vektörünün deklinasyonu (D_0) ve inklinasyonu (I_0), yer manyetik alanının deklinasyonu (D) ve inklinasyonu (I)'dir. Son iki parametrenin (I ve D) bilinmediği varsayılır. Yapıya ilişkin bilinmeyen parametreler Marquardt algoritması kullanılarak doğrusal olmayan ters çözüm işlemi ile saptanır. Bir başlangıç model ile başlatılan ters çözüm işlemi, hataların farklarının kareleri toplamı olan ve

$$f = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \left[\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j) \right]^2 \quad (5)$$

ile tanımlanan işlevi en küçük yapmak için parametrelerin değişimi ile tekrarlanarak sürdürülür. $\Delta T_{göz}$ ve ΔT_{hes} sırasıyla gözlenen ve hesaplanan değerleri gösterir. N_b prizmatik yapı sayısı ve N_p her bir prizmatik yapının bilinmeyen parametre sayısı olmak üzere toplam parametre sayısı,

$$N = (N_b \cdot N_p) + 1$$

olur. Böylece birden fazla prizmanın oluşturduğu anomalilerin toplam olan $[\Delta T_{göz}(i, j)]$ gözlenen anomalinin ters çözümü,

$$\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} (1 + \delta_{k\ell} \lambda) dP_k = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \left[\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j) \right] \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_\ell} \quad (6)$$

anımlanır. Bu bağıntıda $\ell = 1$ 'den N 'e kadar değerler

olarak tanımlanır. Bu bağıntıda $\ell = 1$ 'den N 'e kadar değerler alır ve $\delta_{k\ell}$ de kronecker delta olarak bilinir.

$$\delta_{k\ell} = \begin{cases} 1, & k = \ell \\ 0, & k \neq \ell \end{cases}$$

(6) no.lu bağıntıda yer alan λ ; Marquardt sönüm parametresini, P_k ise bölgenin rejyonel değeri C ile her bir prizmanın $a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2, I_0, D_0, \theta$ EI parametrelerinin her birini simgeler. $\partial\Delta T/\partial P_\ell$ işlemi, P_ℓ parametresine göre anomalinin türevini, δP_k ise k'ncü parametrenin çözümü sonucu elde edilen ve sonuçta o parametrenin başlangıç değerine eklenen artım veya yazılım değerini simgeler. Çözüm sırasında λ sönüm değeri deneme yanılma yolu ile seçilerek (5) no.lu işlevin değeri azaltılır. (6) no.lu bağıntının matris gösterimi;

$$[D] \cdot [B] = [P] \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Bu bağıntıda [D]; elemanları bilinen kare katsayılar matrisini, [B]; bilinmeyen parametrelerin çözüm sonucu saptanacak artım değerlerini gösteren sütun matris, [P] ise elemanları bilinen sütun matrisi göstermektedir. Bu matrislerin matematiksel tanımı;

$$[D] = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_\ell} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} (1 + \delta_{k\ell} \lambda) \quad \left\{ \begin{array}{l} \ell = 1, 2, \dots, N \\ k = 1, 2, \dots, N \end{array} \right.$$

$$[B] = dP_k \quad , \quad k = 1, 2, \dots, N$$

$$[P] = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \left[\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j) \right] \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_\ell} \quad , \quad \ell = 1, 2, \dots, N$$

olarak yazılabilir. [D] matrisinin köşegen elemanları (1+2) değeri ile çarpılarak bakışımın ve pozitif tanımlı bir matrise dönüşür. Bu özelliği nedeniyle [D] matrisinin ters çözümü için Bhattacharyya (1980) tarafından önerilen Cholesky ayrıştırma yöntemi kolaylıkla kullanılabilir. [D] matrisi bakışımlı ve pozitif tanımlı bir matris olduğundan, sadece alt köşegen elemanlarının hesaplanması çözüm için yeterlidir.

Ters çözüm işlemi için gerekli olan yapı parametrelerinin başlangıç değerleri ya manyetik anomali haritasında ya da mevcut jeolojik bilgilere dayanılarak seçilir. Prizmatik yapıların yeri ve yatay yöndeki boyutları genellikle manyetik anomali haritasındaki minimum ve maksimum kapanımların konumuna göre belirlenir. Başka bilgi yoksa, mıknatıslanma vektörünün eğim (inklinasyon) ve sapma açısının (deklınasyonu) başlangıç değerleri ye manyetik alanının eğim ve sapma açısıyla aynı olduğu kabul edilir.

Ters çözüm işleminde, (5) no.lu bağıntıyla tanımlanan f_1 işlevi bir başlangıç model için saptanır. Başlangıçta λ sönüm parametresine 0.5 değeri verilerek dP_k artım değerleri elde edilir. (6) no.lu bağıntıdaki bilinmeyen parametrelere göre kısmi türevler ise sayısal veya analitik olarak hesaplanabilir. (6) no.lu bağıntının Cholesky ayrıştırma yöntemiyle çözülmesi sonucu saptanan parametre artım değerleri başlangıç değerlerine eklenerek f_2 işlevi hesaplanır. Eğer $f_2 \leq f_1$ ise yineleme adımı başarılıdır ve λ sönüm parametresinin değeri 1/2 oranında azaltılarak f_2 değeri f_1 'e atanır. Bu işlem optimum değere ulaşıncaya kadar yinelenenir. Eğer yinelemenin herhangi bir adımında $f_2 > f_1$ ise işlem başarısızdır. Bu durumda λ sönüm parametresinin değeri 2 ile çarpılarak bilinmeyen parametre değerindeki artımların saptanması için (6) no.lu bağıntı tekrar hesaplanarak f_1 değeri ile karşılaştırılır. Bu işlem $f_2 < f_1$ oluncaya kadar yinelenir. Koşul sağlandığında hataların farklarının kareleri olarak tanımlanan işlevin değeri olan yakınsaklık ölçeği aynı değerde kalır veya farklı parametrelerin artım değerleri ihmal edilebilir.

KURAMSAL UYGULAMALAR

Yöntemin işlerliğinin araştırılması için yapılan uygulama iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada yapı parametreleri bilinen üç boyutlu bir modelin toplam bileşen anomalisi oluşturulmuş, ikinci aşamada ise bu anomali değerlerinden hareketle, üç boyutlu ters çözüm bilgisayar programı kullanılarak, model yapının parametre değerleri saptanmaya çalışılmıştır.

Şekil 2'de tek bir model yapı için elde edilmiş kuramsal toplam manyetik alan anomalisi görülmektedir. Anomali haritasının değerleri, x ve y yönünde eşit aralıklarla örneklenmiş noktalarda, Çizelge 1'de verilen parametre değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Hesaplama sırasında yer manyetik alanının inklinasyonu ve deklınasyonu sırası ile 65° ve 3° olarak alınmıştır. Prizmatik yapının coğrafik kuzeyle yaptığı θ açısı ile yapının yatay koordinatlarının başlangıç değerleri (a_1, a_2, b_1, b_2) anomali haritasının yapısına uygun olarak belirlenip Şekil 2'deki anomali haritası üzerinde başlangıç model kesikli çizgi ile saptanan model ise düz çizgiyle gösterilmiştir. Prizmanın üst derinliğinin başlangıç

Çizelge 1. Prizmatik model yapı ve parametreleri.

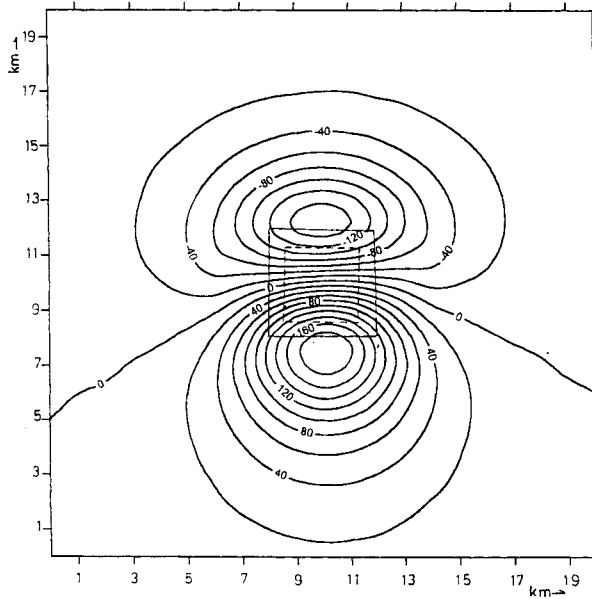
Table 1. Parameters of model rectangular prismatic body.

Model Yapı	Yapı Parametreleri									
	a_1 km	A_2 km	b_1 km	b_2 km	h_1 km	h_2 km	I_0 (derece)	D_0 (derece)	θ (derece)	$EI=kF$ (c.g.s)
Kuramsal	8.0	12.0	8.0	12.0	2.0	6.0	15	2	0	225.
Başlangıç	8.7	11.2	8.7	11.2	2.4	5.6	16.5	4.	0	180.
Saptanan	8.2	12.01	8.01	11.97	2.02	5.93	15	2.	0.07	231.7

değeri $h_1=2.4$ km, alt derinliğinin başlangıç değeri ise $h_2=5.6$ km olarak tanımlanmıştır. Prizmatik yapının mıknatıslanma vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açılarının başlangıç değerleri sırasıyla $I_0=16.5^\circ$ ve $D_0=4.0^\circ$ olarak tanımlanmıştır. Yineleme sayısı 20 olarak alındığında objektif fonksiyonun değeri oldukça azalmıştır. Model yapıya ait kuramsal, başlangıç ve saptanan değerler Çizelge 1'de görülmektedir.

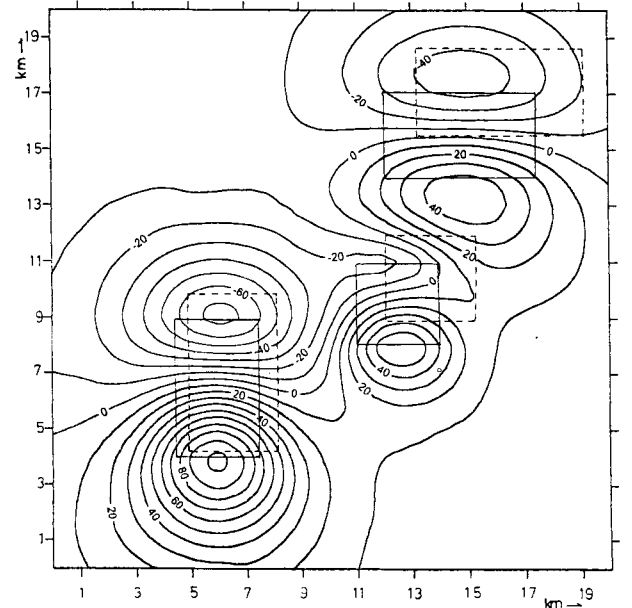
Şekil 3'de de prizmatik üç yapı modeli için elde edilmiş kuramsal manyetik alan anomali görülmektedir. Anomali haritasının değerleri, tek yapı modelinde

olduğu gibi, x ve y yönünde 1 km aralıklarla örneklenmiş noktalarda Çizelge 2'deki parametre değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yer manyetik alanının inklinasyonu enklinalyonu sırası ile 65° ve 3° olarak alınmıştır. Prizmatik yapıların coğrafik kuzeyle yaptığı θ açısı ile yapıların yatay koordinatlarının başlangıç değerleri kontur haritasının yapısına uyfun olarak belirlenip başlangıç model kontur haritasının üzerinde kesikli çizgi ile saptanan model ise düz çizgi ile gösterilmiştir. Prizmatik yapıların başlangıç değerleri ve 20 yineleme sonucunda elde edilen parametre değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tek prizmatik yapı modeli için saptanan toplam manyetik alan anomali kontur haritası.

Figure 2. Synthetic total field magnetic anomaly contour map for a single prismatic body.



Şekil 3. Üç prizmatik yapı modeli için saptanan toplam manyetik alan anomali kontur haritası.

Figure 3. Synthetic total field magnetic anomaly contour map of three prismatic bodies.

Çizelge 2. Üç prizmatik yapı modeli

Table 2. TParameters of three rectangular prismatic bodies.

Yapı Sayısı	Model	a ₁ (km)	a ₂ (km)	b ₁ (km)	b ₂ (km)	h ₁ (km)	h ₂ (km)	I ₀ (derece)	D ₀ (derece)	θ (derece)	EI=kF (cgs)
1	Kuramsal	4.	9.	4.5	7.5	2.	5.	15	2	0	135.
2		8.	11.	11.	14.	1.	3.	18	3	0	45.
3		14.	17.	12.	17.5	2.5	6.	15	3	0	90.
1	Başlangıç	4.4	9.9	4.95	8.25	2.2	5.5	16.5	2.2	0	148.
2		8.8	12.1	12.1	15.4	1.1	3.3	19.8	3.3	0	49.5
3		15.4	18.7	13.2	19.2	2.75	6.6	16.5	3.3	0	99.
1	Saptanan	4.11	9.07	4.38	7.42	1.92	5.	15.09	2.24	0.9	135.
2		7.89	10.86	11.06	14.06	0.93	3.	18.46	2.54	-0.4	40.
3		13.35	16.65	12.65	17.81	2.35	6.	15.46	3.16	-1.8	90.

MARMARA DENİZİNİN JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

Marmara Denizi'nin yapısı, Kuzey Ege Denizi'ndeki morfotektonik özelliklere sahiptir. Ganosdağı bölgesinin aktif fayları Kuzey Ege'yi Marmara Denizi'ne bağlar. Bu bölgenin genel iskeleti (Saros Körfezinden geçerek Kuzey Ege boyunca Marmara Denizi Havzası) nispeten genç olup Alpin orijinli kuşağın yapısının üstünde yer almaktadır (Le Pichon et al., 1984; Mc Kenzie, 1978; Şengör, 1979). Marmara bölgesinde oluşan en önemli jeolojik olay Trakya Tersiyer havzasıdır. Trakya havzası kuzey ve kuzey-doğuda Istranca, batıda Rodop Masifleri ve güneyde Biga, Kapıdağı ve Marmara Adaları ve Samandağ masifleriyle çevrilmiş olup, Marmara Denizi'ni de kısmen içine alan büyük ve derin çökme çanağıdır (Ketin 1983).

Marmara havzasının jeolojisinin en önemli özelliğini tektonik yapısı oluşturmaktadır. Bu nedenle Marmara Denizi ve çevresinin fayları ve plaka modelleri konusunda çeşitli görüşler oluşmuştur (Mc Kenzie, 1972; Alptekin, 1978; Şengör, 1979). Modellerden ortaya çıkan sonuca göre, Arap levhası Afrika ile birlikte kuzeye Avrasya'ya doğru hareket etmektedir. Ancak, Arap levhasının kuzeye hareketi Afrika levhasından daha fazladır. Bu durum, Doğu Anadolu'da Avrasya ile yeni bir sı-

kışma meydana getirerek, Anadolu plakasının Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform fayları boyunca saat istikametinin tersine bir hareketle batıya doğru itilmesine ve Ege plakasının güneyindeki Akdeniz litosferine bindirmesine neden olur. Ayrıca, Batı Anadolu ve Ege'de yaklaşık K-G yönlü bir genişleme tektoniği söz konusudur. Şengör (1982) buradaki hareket mekanizmasının Anadolu bloğunun batıya doğru hareketinin Yunan makaslama zonu boyunca frenlenmesi sonucu bölgede D-B yönlü bir açılımın geliştiğini belirterek sistemi ayrıntılandırmıştır. Bu sistemi oluşturan en büyük kanıt ise Kuzey Anadolu Transformasyonu boyunca oluşan atımın doğudan batıya doğru 40 km'den 25 km'ye düşmesidir. Sonuç olarak, Marmara Denizi Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) sağ yönlü hakim yanal atımlı hareketi ile Ege'deki K-G yönlü açılma ve D-B graben gelişmesi arasında yer almaktadır. Gravite verilerinin değerlendirilmesi sonucu Marmara Denizi havzasında Kuzey Ege çukurunda olduğu gibi bir Moho yükseliminin varlığından söz edilebilir (Brooks and Kiriakidis, 1986; Ergün ve diğ., 1995). Bu durumda, D-B uzanımlı normal fay sistemleri ise kalmakta bir incelmeyi de beraberinde getirmektedir. Bu tektonik hareketlilik Marmara Denizi'nde doğrultu atımlı büyük fay segmentleri arasında pull-apart (çek-ayır) yapıların oluşmasına neden olmuştur (Barka and Kadinsky - Cade, 1988, Özel, 1992).

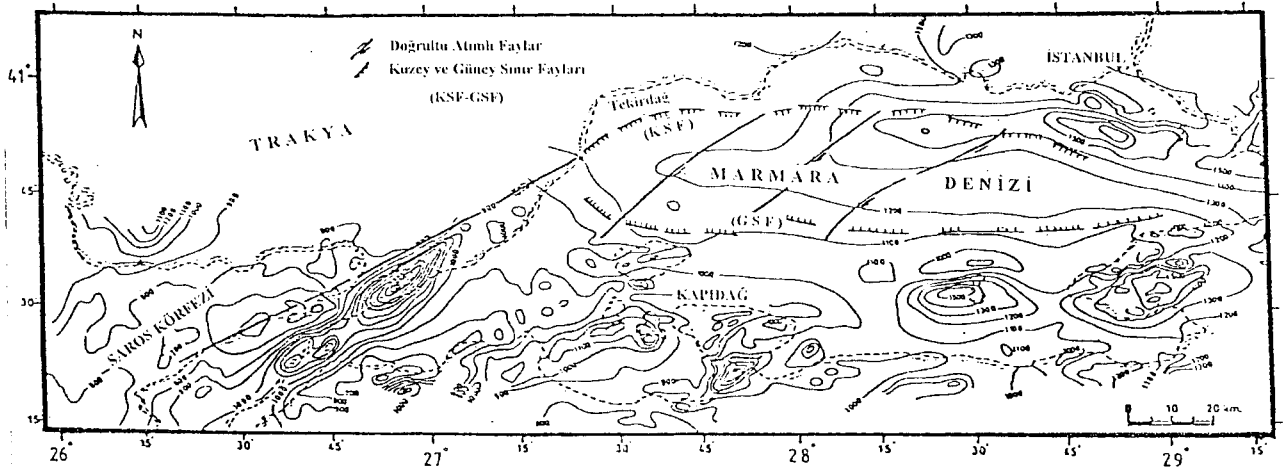
MARMARA DENİZİ MANYETİK ANOMALİLERİ

Marmara Denizi havzasında görülen manyetik anomaliler genellikle magmatik kayalarla ilişkilidir. Marmara Denizi havzasının kuzey kenarı boyunca D-B yönünde uzanan anomaliler (Şekil 4), uzun dalga boyuna sahip olup kaynağı oldukça derinde olan yapılar tarafından oluşturulurlar. Manyetik anomalilere neden olan bu yapıların derinlikleri 3–3.5 km olarak saptanmıştır (Ergün, 1990; Kale, 1985). Ayrıca D-B uzanımlı bu manyetik anomaliler Marmara Denizinin batısına doğru KAF'ın kuzey kanadındaki doğrultu atımlı faylarla güneye doğru yer değiştirmişlerdir.

Marmara Denizi'nin güney platformu kısa dalga boylu manyetik anomalilerle örtülmüştür. Bu anomalilerin başlıca nedeni Biga yarımadası ve daha güneydeki Eosen–Miyosen volkanikleri ile bölgedeki granitler ve volkaniklerdir (Ergün, 1977). Bu volkanikler yırtılma ve ayrılma tektoniğinin (*Distension Tectonics*) neden olduğu bölgede gözlenen aktif faylanma ile ilişkili olan manyetik anomalilerin temelini oluşturan andezitik volkaniklerdir. Bu genç volkanikler bölgede görülen manyetik anomalilerin nedeni olarak görülürler. Armutlu Yarımadası'nda yüzeyleyen ofiyolitler de bu manyetik ano-

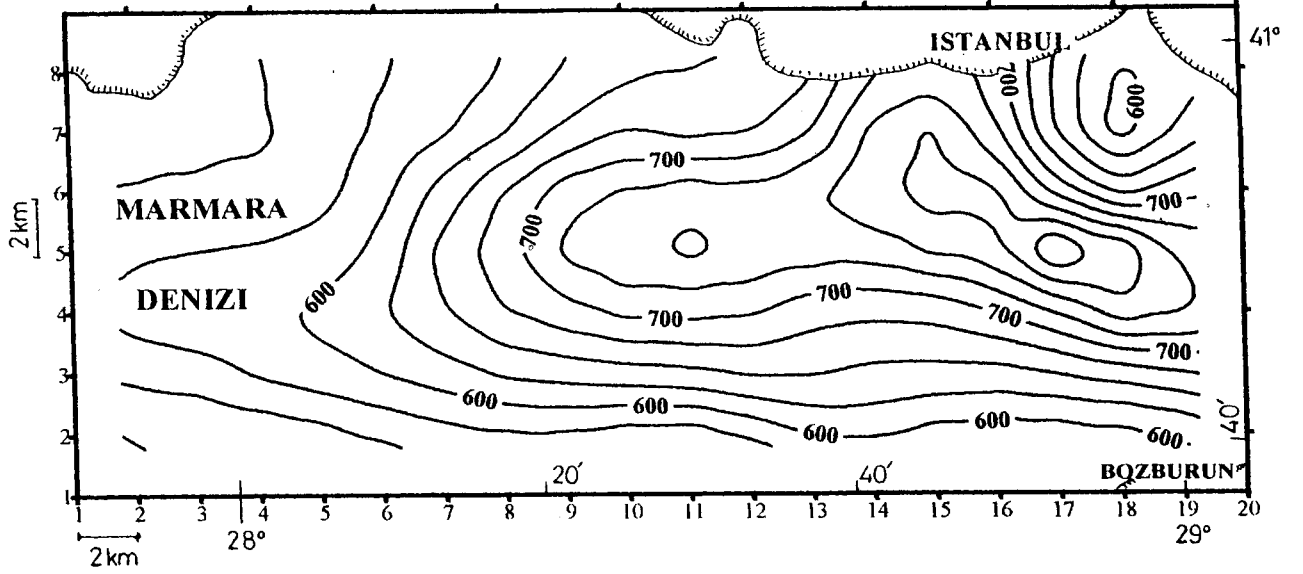
malilerle ilişkilidir. Saros Körfezi'nde düzenli manyetik anomaliler bulunmamaktadır. Ganosdağı'nın güneyinde GB–KD yönde uzanan başlıca manyetik anomaliler kuzeydeki doğrultu atımlı fayla Gelibolu Yarımadası'nı sınırlar. Bu manyetik anomalilerin nedeni özellikle Marmara Denizi'nin batı kıyılarındaki ofiyolitlerdir. Saros Körfezi'nin kuzeyindeki volkanik kayalar da aynı manyetik anomalilerle ilişkilidir.

Bu durum, Marmara Denizi'nin orta ve kuzey kesimini kapsayan alanda R.V.K. Piri Reis araştırma gemisi ile denizde yapılan ölçümler sonucu saptanan toplam manyetik alan haritasında da izlenmektedir (Şekil 5). Haritalarda bölgenin ortasından kuzeye doğru D–B doğrultusunda uzanan 900 nT değerine ulaşan bir anomali gözlenmektedir. İstanbul Boğazı çıkışından Tekirdağ'ın güneyine değin uzanan bu anomali dizisi içinde batıdan doğuya doğru yer alan 900 nT üzerindeki anomali kapamalarının Marmara Denizi'ndeki derin deniz çukurları ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Olaya neden olan kaynağın ise Paleozoik oluşukların altındaki Prekambriyen yaşlı metamorfikler içerisinde bulunan plütoniklerden ileri geldiği sanılmaktadır. Marmara Denizi'nin güneyi, kuzeyindeki tekdüzelikten farklı ve karmaşıktır. Ekşioğlu (1991), önceki çalışmalara dayalı olarak yaptığı de-



Şekil 4. Marmara Denizi havzasının havadan manyetik anomali kontur haritası (Ergün ve diğ., 1995) (Kontur Aralığı: 100 nT)

Figure 4. Aeromagnetic contour map of the Sea of Marmara basin (Ergün et al., 1995) (Contour Interval: 100 nT)



Şekil 5. R.V.K. Piri Reis araştırma gemisi ile ölçülen toplam manyetik alan anomali kontur haritası (Kontur Aralığı: 50 nT)

Figure 5. Observed total field magnetic anomaly contour map by R.V.K. Piri Reis research vessel (Contour Interval: 50 nT)

ğerlendirmede, manyetik anomalilerin Kapıdağ ile Armutlu Yarımada'nda ve İmralı Adası üzerinde yer aldığı belirtilmiştir. 1600 nT'lık anomali değeri ile havzanın en büyük değerine sahip olan ve Samandağ üzerinde yer alan anomalinin nedeninin yüzlek veren batolitlerden, Bandırma ve Erdek Körfezleri üzerindeki anomalilerin de büyük bir olasılıkla granitlerden kaynaklandığını vurgulamıştır. Kapıdağ yarımadası üzerinde gözlenen negatif anomalinin nedeninin de metamorfikler üzerindeki granitlerin köksüz olmasından veya manyetik özellik göstermeyen değişik bir tür granitik yapıdan kaynaklandığını belirtmektedir. Ayrıca, İmralı Adası üzerinde yer alan, uzunluğu 35 km ve genişliği 400 nT olan anomalinin ise Armutlu Yarımadası üzerinde yer alan anomalinin uzantısı olduğunu ve Kapıdağ Yarımadası üzerinden gelen uzanımlarla kesilerek güneye atıldığını işaret etmektedir. Kale (1985), Marmara Denizi'ne ilişkin havadan manyetik haritalardaki D-B uzanımlı manyetik anomalileri ters çözüm yöntemi ile değerlendirerek daykların genişliğinin yaklaşık olarak 2-4 km ve derinliklerinin de 2 ile 3 km arasında değiştiğini saptamıştır.

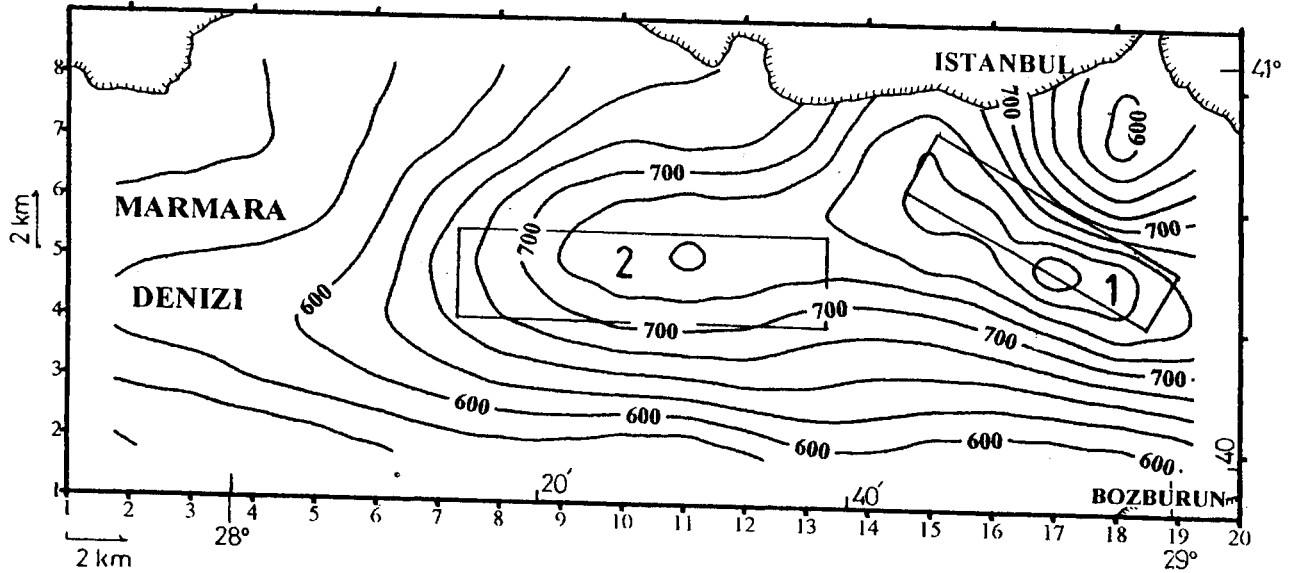
MARMARA DENİZİ ANOMALİ HARİTASININ ÜÇ BOYUTLU TERS ÇÖZÜM UYGULAMASI VE SONUÇLARI

Marmara Denizi'nde 27° 50' 00" - 29° 05' 00" E ve 40° 30' 00" - 41° 00' 00" N koordinatları arasında yer alan bölgenin toplam manyetik anomali haritasının yorumu için düşey prizmatik cisimler model olarak kullanılıp üç boyutlu ters çözüm yöntemi uygulanmıştır. Ölçülen toplam manyetik anomali haritası 2 km örnekleme aralığı ile örneklenmiş, varsayılan prizmatik model yapılarına ilişkin başlangıç parametre değerlerinin seçiminde, anomali haritası ile bölgenin jeolojik ve tektonik bilgilerinden yararlanılmıştır. Model yapıların konumu ve yatay boyutları anomali haritasının minimum ve maksimum kapanımlarına dayanacak şekilde alınarak çalışma alanında uygun iki model yapı seçilmiştir (Şekil 6). Marmara Denizi'nde yer manyetik alanının eğim (inklinasyon) ve sapma (deklınasyon) açıları sırası ile 56° ve 2° olarak alınmıştır. Yer manyetik alan değeri (45000 nT) ölçüm değerlerinden çıkarılarak verilere üç boyutlu ters çözüm uygulanmış, üç ayrı başlangıç modele göre elde edilen değerler Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Marmara Denizi prizmatik model parametrelerinin yorumu.

Table 3. Interpreted parameters for the prismatic models of Marmara Sea.

	Yapı No.	Yapı Parametreleri									
		a ₁ (km)	a ₂ (km)	b ₁ (km)	b ₂ (km)	h ₁ (km)	h ₂ (km)	I ₀ (derece)	D ₀ (derece)	θ (derece)	EI=kF (cgs)
1. Başlangıç Model	I. Yapı	24.	25.4	20.4	28.4.	2.5	4.	56	2	30	157.
	II. Yapı	6.4.	8.8	13	24.4.	3.	4.5	56	2	0	92.
Saptanan Model	I. Yapı	23.6	25.4	13.9	29.1	2.5	10.	56	2	30	224
	II. Yapı	4.5.	10	10.2	25.2	2.6	5	56	2	-4	139
2. Başlangıç Model	I. Yapı	22.	24.8.	18	27.6	2.5	4.	56	2	30	157.
	II. Yapı	5.6	8.4.	12.	25.2.	3	4.5	56	2	0	92.
Saptanan Model	I. Yapı	22.1	24.7	18.3	30.7	2.39	5.7	56	2	29.7	194.7
	II. Yapı	2.9	13.5	12	32.3	2.8	5	56	2	-8.2	165.
3. Başlangıç Model	I. Yapı	22.8	24.	18.4	26.8	2.5	4.	56	2	30	157
	II. Yapı	6.	9.	12.6	24.8	3.	4.5	56	2	0	92
Saptanan Model	I. Yapı	22.5	25.1	14.6	29.7	2.59	9.7	56	2	30.2	206.
	II. Yapı	5.1	10.9	11.2	25.5	2.65	5	56	2	-1.5	143

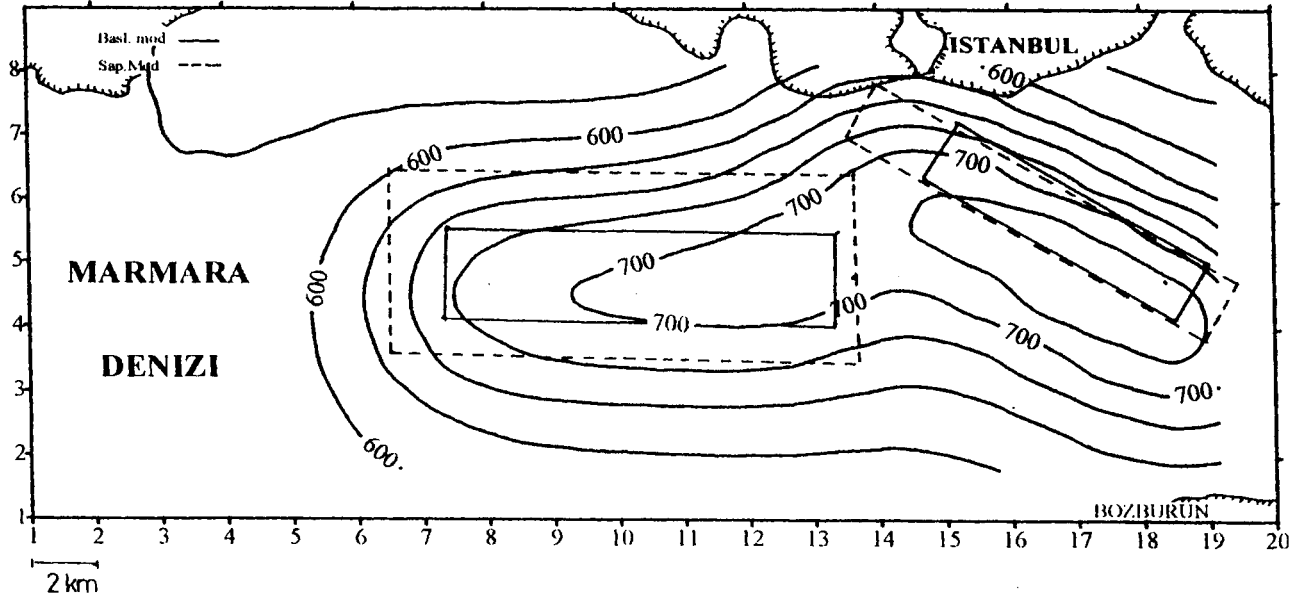


Şekil 6. Bölge için seçilen prizmatik model yapıların konumları.

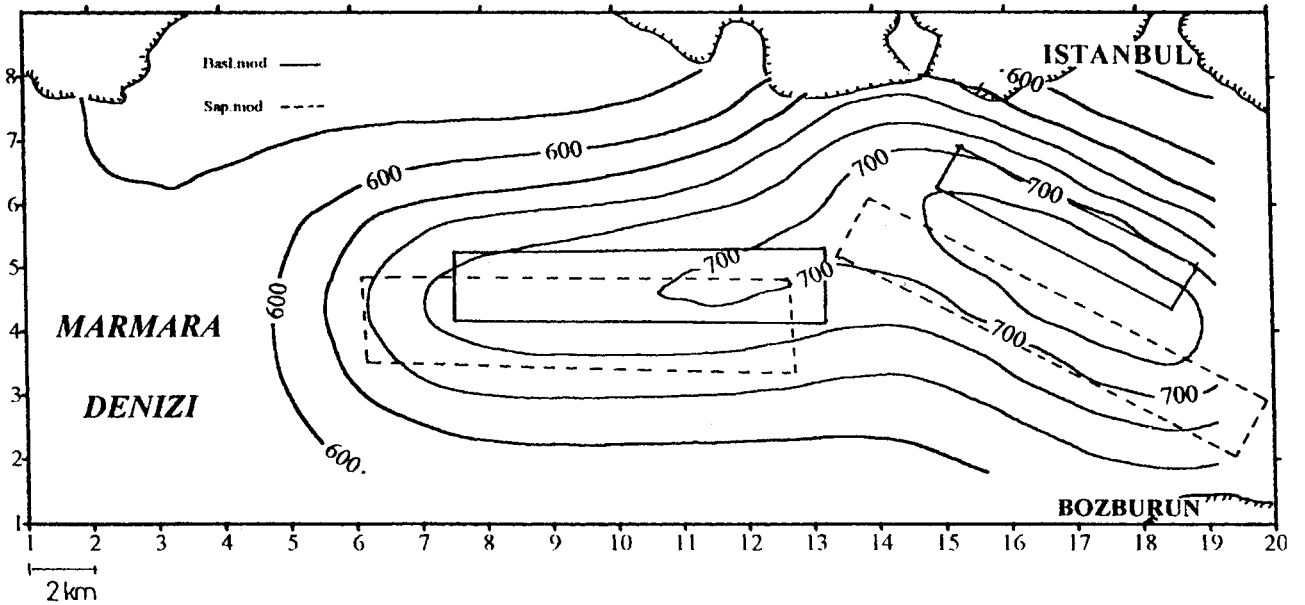
Figure 6. Location of the prismatic model bodies for the region.

Ters çözüm sonuçlarına göre birinci yapının üst yüzünün derinliği 2.5 km, ikinci yapının üst yüzünün derinliği ise 2.7 km civarında saptanmıştır. Bu sonuçlar, aynı bölgede daha önce yapılan araştırmaların sonuçları ile de benzerlikler taşımaktadır. Çizelgedeki sonuçlara bakıldığında, birinci yapının ikinci yapıya oranla daha

derinlere uzandığı görülmektedir. Saptanan yapı parametreleri ile ilişkili manyetik anomali haritaları ise Şekil 7, 8 ve 9'da verilmektedir. Bu anomali haritaları ile ölçülen anomali haritası arasında çok büyük bir benzerlik ve uyumluluk görülmektedir.



Şekil 7. 1. Başlangıç model için saptanan yapı parametreleri ile ilişkili toplam manyetik alan anomali kontur haritası.
Figure 7. Total field magnetic anomaly contour map related with determined model parameters for the 1. initial model.

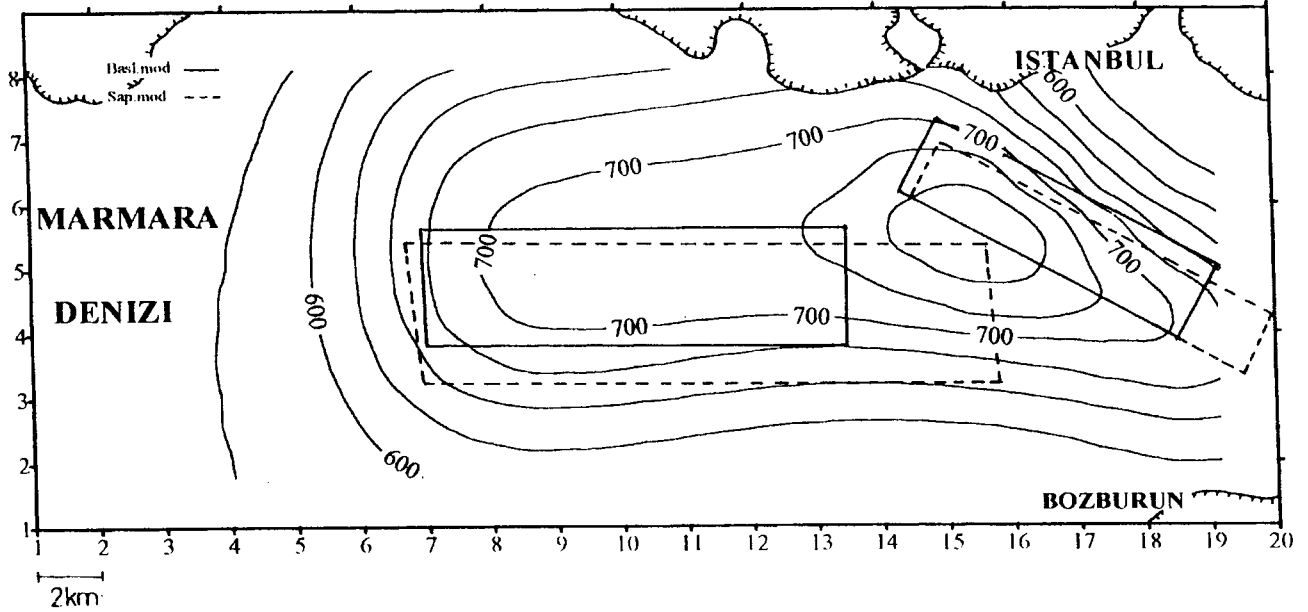


Şekil 8. 2. Başlangıç model için saptanan yapı parametreleri ile ilişkili toplam manyetik alan anomali kontur haritası.
Figure 8. Total field magnetic anomaly contour map related with determined model parameters for the 2. initial model.

SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan yöntem, prizmatik yapıların oluşturduğu manyetik anomalilerin üç boyutlu ters çözümünün daha hızlı ve kolay yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Gerçek arazi anomalilerinin yorumlan-

ması için parametrelerin başlangıç değerlerinin seçiminde, kontur haritası ile bölgenin jeolojik bilgilerinden yararlanır. Bu değerlerin doğru seçilmesi sonuçların sağlıklı olması açısından önemlidir. Ters çözümün tekil olmamasından dolayı, gerçek verilere yöntem uygulandığında, sonuçlarda bazı hatalar olabilir. Fakat, yöntem



Şekil 7. 3. Başlangıç model için saptanan yapı parametreleri ile ilişkili toplam manyetik alan anomali kontur haritası.
Figure 7. Total field magnetic anomaly contour map related with determined model parameters for the 3. initial model.

belirli bir jeolojik yapıyı çözümlemede çabuk ve yol gösterici yaklaşım getirdiğinden tercih edilebilir.

Marmara Denizi manyetik anomalilerine üç boyutlu ters çözüm uygulanması sonucunda, İstanbul adalarının (Burgaz, Heybeli, Büyükada) güneyindeki yapıda manyetik duyarlılığın yüksek ve üst yüzey derinliğinin yaklaşık 2.5 km olduğu bulunmuştur. Aynı anomali üzerinde Kale (1985)'de yaptığı iki boyutlu dayk modeli çözümlemesinde, yapının üst derinliğini yaklaşık 2.5–3 km olarak belirtmiştir. Yöntemin uygulandığı diğer bir yapı ise, ilk yapıdan daha batıda ve hemen hemen Marmara Denizi'nin ortasında yer almaktadır. Bu yapının üst yüzey derinliğinin diğerine çok yakın olduğu saptanmıştır. Fakat bir yön değişimi gözlenmektedir. Söz konusu değişimin nedeninin yapının Marmara Denizi'ni tektonik olarak etkileyen doğrultu atımlı KAF'nın kuzey kolunun bölgedeki K–G yönlü açılma ve D–B yönlü sıkışmanın etkisinde kalarak yön değiştirmesinden etkilendiği ve ötelenerek GB doğrultusunda ve daha sığda olduğu düşünülebilir. Marmara Denizi'nin güneyindeki anomaliler (Kapıdağ, İmralı ad. vd. üzerindeki) çalışma alanı dışında kaldığından değerlendirmeye alınmamışlardır.

KATKI BELİRTME

Çalışmanın yayına hazırlanma sırasında görüş ve önerilerinden yararlandığımız Sayın Prof.Dr. Mustafa Ergün'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alptekin, O., 1978. Batı Anadolu depremlerinin odak mekanizmaları ve bunların aktif tektonik ile ilişkileri, Jeofizik, 7, 3, 1–34.
- Barka, A.A. and K. Kadinsky-Cade, 1988. S trike – slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics, 7, 663–684.
- Bhattacharyya, B.K., 1964. Magnetic anomalies due to prismshaped bodies with arbitrary polarization, Geophysics, 29, 517–531.
- Bhattacharyya, B.K., 1980. A generalized multibody model for inversion of magnetic anomalies, Geophysics, 45, 2, 255–270.
- Brooks, M. and Kiriakidis, L., 1986. Subsidence of the North Aegean trough: an alternative view, Journ. Geol. Soc., London, 143, 23–27.

- Coles, R.L., 1976. A flexible iterative magnetic anomaly interpretation of technique using multiple rectangular prisms. *Geoexploration*, 14, 125–141.
- Crampin, S. and R. Evans, 1986. Neotectonics of the Marmara Sea region in Turkey, *J. Geol. Soc.*, 143, 343–348.
- Ekşioğlu, G., 1991. Marmara Denizi yapısının jeofizik verilerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ergün, M., 1977. Magnetic studies in Cyprus and the Biga peninsula, Turkey, Ph.D. thesis, University of Leicester, England.
- Ergün, M., 1990. Geophysical framework of the Sea of Marmara, *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 32, 137.
- Ergün, M., E. Özel, C. Sarı, 1995. Structure of the Marmara Sea basin in the North Anatolian Fault Zone, "Rifted Ocean–Continent Boundaries", NATO ASI Series, 463, 309–326.
- Kale, B., 1985. Manyetik anomalilerin ters çözüm yöntemiyle analizi ve Marmara Denizi verilerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye jeolojisine genel bir bakış, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Kunaratnam, K., 1981. Simplified expressions for the magnetic anomalies due to vertical rectangular prisms, *Geophys. Prosp.* 29, 6, 883–890.
- Le Pichon, X., Lyberis, N. And Alvares, F., 1984. Subsidence history of the North Aegean through, in Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (Eds), "The geological evolution of the Eastern Mediterranean", *Spec. Publ. Geol. Soc.*, 17, 727–746.
- Marquardt, D.W., 1963. An algorithm for least squares estimation of non linear parameters, *Jour. Soc. Indust. Appl. Math.*, 11, 2, 431–441.
- Mc Kenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 30, 109–185.
- Mc Kenzie, D., 1978. Active tectonics of Alpine–Himalayan belt: the Aegean and surrounding regions, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 55, 217–254.
- Özel, E., 1992. Marmara Denizi'nin neotektonik yapısının jeofizik yöntemlerle incelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Rao, D.B. and N.R. Babu, 1991. A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies, *Geophysics*, 56, 11, 1729–1737.
- Rao, D.B. and N.R. Babu, 1993. A Fortran – 77 Computer Program For Three – Dimensional Inversion of Magnetic Anomalies Resulting From Multiple Prismatic Bodies, *Computers & Geosciences*, 19, 6, 781–801.
- Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc.*, 136, 269–282.
- Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin Neotektonik Evrimini Yöneten Etkenler, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli Kitabı, TJK, 59–75.
- Whitehill, D.E., 1973. Automated interpretation of magnetic anomalies using the vertical prism model, *Geophysics*. 38, 1070–1087.