

TÜRKİYE'DE YERMANYETİK ALANIN ESAS, DİPOL VE DİPOLSÜZ PARÇASININ ÖZELLİKLERİ

PROPERTIES OF THE MAIN, DIPOL AND NONDIPOL PARTS OF THE GEOMAGNETIC FIELD IN TURKEY

Niyazi Baydemir

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar, İstanbul

ÖZ: Yeryüzünde bir noktada ölçülen yermanyetik alanı, farklı kaynaklardan doğan manyetik alanların toplamından oluşur. Bu alanların başlıcaları; kaynağı yerin içinde olan esas yermanyetik alan, kaynağı yerkabuğunda olan anomali alanı ve kaynağı iyonosfer ve manyetosfer tabakalarında bulunan dış kaynaklı alanlardır. Esas yermanyetik alan da, yerin sıvı dış çekirdeğinden doğan dipol ve çekirdek-manto sınırından doğan dipolsüz alanın toplamından oluşur. Bu çalışmada, esas yermanyetik alan, dipol alan ve dipolsüz alanın, 2000 yılında Türkiye sınırları içindeki özelliklerini incelemek amacıyla F toplam alan değerleri hesaplanmış ve alan haritaları çizilmiştir. Ayrıca dipolsüz alanın batıya doğru olan hareketini izleyebilmek için dipolsüz alanın 1950 yılına ait F toplam alan haritası da elde edilmiştir. Alan değerlerinin hesaplanması için IGRF (International Geomagnetic Reference Field) nin kesinleşmiş değerleri olan DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) değerleri kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yermanyetik, dipol, dipolsüz, IGRF, DGRF.

ABSTRACT: Geomagnetic field that measured on the Earth surface has contributions from several sources such as the main geomagnetic field, the anomaly field and the external field. The main geomagnetic field has its origins within the Earth while the anomaly field has its source in the crust. External field originates from ionosphere and magnetosphere. The main geomagnetic field has contributions from dipole field that originates from liquid core of the Earth and nondipole field that originates from core-mantle boundary. In this study, the values of the geomagnetic field, the dipole field and the nondipole field were calculated and drawn their magnetic chart to investigate their properties for 2000 in Turkey. Nondipole field chart also drew for 1950 to examine the westward drift of the nondipole field. DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) which is definitive form of IGRF (International Geomagnetic Reference Field) was used to determine the values of the main geomagnetic, the dipole and the nondipole fields.

Key words: Geomagnetic, dipole, nondipole, IGRF, DGRF.

GİRİŞ

Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Yeryüzünde bir noktada ölçülen yermanyetik alanı, kaynakları farklı manyetik alanların vektörel toplamından oluşmaktadır. Bu farklı kaynaklardan meydana gelen başlıca alanlar; esas yermanyetik alan, anomali alanı ve dış kaynaklı alanlardır. Esas yermanyetik alanın kaynağı, yerkürenin sıvı dış çekirdeği ile çekirdek-manto sınırındadır. Anomali alanının kaynağı yerkabuğundadır. Dış kaynaklı alan ise iyonosfer ve manyetosfer tabakalarından kaynaklanır. Diğer kaynaklardan meydana gelen alanların şiddetleri, esas yermanyetik alanın şiddetinin yanında küçük kaldığından, yerkürenin manyetik alanını büyük ölçüde karakterize eden alan, esas yermanyetik alanıdır.

Esas yermanyetik alan da kaynakları ve özellikleri farklı iki alanın toplamından meydana

gelmektedir. Bu alanlardan biri "dipol alan" diğeri ise "dipolsüz alan" dır.

Dipol alan, yerkürenin yüksek sıcaklık ve elektriksel iletkenliğe sahip sıvı dış çekirdeğinden doğar. Yerkürenin sıvı dış çekirdeğinden dipol alanın doğuşu manyetohidrodinamik teori ile açıklanır. Bu teoriye göre; sıvı dış çekirdekteki karmaşık sıvı hareketleri kendi kendini uyarır ve kendini devamlı harekette tutar dinamoyu doğurur (Bullard, 1949).

Dipol alanın en önemli özelliği, tıpkı bir çubuk mıknatısta olduğu gibi iki kutuba sahip olmasıdır. Dipol alanın bu kutupları yerkürede kuzey ve güney manyetik kutuplar olarak yer alırlar. Bu kutupların oluşturduğu eksen, yani dipol eksen; yerkürenin dönme eksen, başka bir deyişle coğrafi kutupların oluşturduğu eksen ile günümüzde yaklaşık 11.5° lik bir açı yapar. Dipol alanın şiddeti, Gauss'un ilk

yermanyetik analizi yaptığı 1835 yılından beri belirgin bir şekilde azalmaktadır. Dipol alanındaki bu azalmanın oranı, yüzyılda dipol alanın şiddetinin % 5 i kadardır. Dipol alanın şiddetindeki bu azalmaya karşın, konumu çok yavaş değişmektedir. Son 150 yıllık zaman sürecinde azalma açısı yılda yaklaşık 0.05° - 0.1° batıya kaymıştır (Leaton ve Malin, 1967; Langel, 1987; Fraser-Smith, 1987).

Dipolsüz alan yerkürenin çekirdek-manto sınırından doğar. Bu bölgede türbülans şeklindeki sıvı hareketleri bu alanı meydana getirirler. Dipolsüz alan, yerkürenin değişik bölgelerinde negatif ve pozitif alan merkezleri şeklinde kendini gösterir. Örneğin 1990 yılında Moğolistan ve Antartika üzerinde bulunan pozitif dipolsüz alan merkezlerinin Z düşey bileşen şiddetleri sırasıyla 16000 nT ve 20000 nT'dir. Avustralya'nın güneyinde bulunan negatif alan merkezinin şiddeti -12000 nT, batı Afrika civarında bulunan negatif alan merkezinin şiddeti ise -16000 nT civarındadır. Aynıca Kuzey Amerika'nın üzerinde de değeri 5000 nT olan bir dipolsüz alan merkezi mevcuttur (Merrill ve diğ., 1996). Dipolsüz alanın en belirgin özelliği, alan merkezlerinin yılda yaklaşık 0.18° batıya doğru kaymasıdır. Yermanyetizmasında bu olaya "yermanyetik alanın batıya kayması" adı verilir.

Dipol ve dipolsüz alanın her ikisi birlikte esas yermanyetik alanı oluştururlar. Yeryüzündeki herhangi bir noktada esas yermanyetik alanın F toplam, H yatay ve Z düşey bileşen şiddetleri ile yatay bileşenin coğrafi kuzey ile yaptığı D sapma ve toplam alanın yatay ile yaptığı I eğim açısı ölçülebilir. Bu büyüklüklere "yermanyetik alan elemanları" adı verilir. Dipol alanın şiddetinin azalması ve dipolsüz alanın batıya kayması, esas yermanyetik alanın herhangi bir elemanın yeryüzündeki bir noktada zaman içinde şiddetinin ve doğrultusunun değişmesini doğurur. Bu olaya yermanyetizmasında "seküler değişim" adı verilir.

Dünya veya ülke ölçeğinde esas yermanyetik alan, dipol ve dipolsüz alan değerleri ve özellikleri ile seküler değişimlerin bilinmesi, çeşitli bilimsel ve uygulamalı amaçlar için gereklidir. Örneğin havacılık ve denizcilikteki seyir işlemlerinde, askeri ve sivil alanda harita kullanımı, uygulamalı jeofizikte yerel manyetik anomalileri elde etme çalışmaları (Bullard, 1967), esas yermanyetik alan değerleri geniş ölçüde kullanılmaktadır.

International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) nın ilgili komisyonları tarafından yayımlanan International Geomagnetic Reference Field (IGRF) değerleri, esas yermanyetik alan ile onun seküler değişiminin matematiksel bir modelidir. Model küresel harmonik (veya Gauss) katsayıları içerir (IAGA, 1996). IGRF değerleri kullanılarak

amaca uygun Dünya veya ülke ölçeğinde esas yermanyetik alan, dipol ve dipolsüz alanların değerlerini elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada, Türkiye sınırları içinde esas yermanyetik alanın, dipol alanın ve dipolsüz alanın 2000 yılına ait F toplam alan değerleri hesaplanmış ve bu değerler konturlanarak alan haritaları elde edilmiştir. Aynıca dipolsüz alanın batıya doğru olan hareketini izlemek için dipolsüz alanın 1950 yılına ait F toplam alan haritası da elde edilmiştir.

ESAS, DİPOL VE DİPOLSÜZ ALANLARIN ELDE EDİLMESİ

Yermanyetik alanın potansiyeli V , küresel harmoniğin terimleri şeklinde,

$$V = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} P_n^m(\cos\theta) + (\gamma_n^m \cos m\phi + \sigma_n^m \sin m\phi) \left(\frac{a}{r} \right)^n P_n^m(\cos\theta) \right\}$$

bağıntısıyla tanımlanır (Chapman ve Bartels, 1940). Burada m, n tamsayıları, θ, ϕ, r küresel koordinatları,

a yerkürenin ortalama yarıçapını, $P_n^m(\cos\theta)$ n dereceden ve m mertebeden bağımlı Legendre fonksiyonunu ve g, h, γ, σ küresel harmonik katsayıları göstermektedir. g ve h katsayıları kaynağı yerkürenin içinde bulunan potansiyelle, γ ve σ katsayıları ise kaynağı yerkürenin dışında bulunan potansiyelle aittir.

V potansiyelinden $\vec{F} = -\text{grad}V$ bağıntısıyla yardımcıyla \vec{F} toplam alan vektörü türetilebileceği gibi, bu vektörün X kuzey, Y doğu ve Z düşey bileşenleri de dış kaynaklı terimler ihmal edilip, $a = r$ alınarak,

$$X = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \frac{\partial P_n^m(\cos\theta)}{\partial \theta}$$

$$Y = -\frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} = \frac{1}{r \sin\theta} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n (g_n^m \sin m\phi - h_n^m \cos m\phi) m P_n^m(\cos\theta)$$

$$Z = \frac{\partial V}{\partial r} = -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) (n+1) P_n^m(\cos\theta)$$

bağıntılarıyla türetilir. X, Y ve Z bileşenleri ile küresel harmoniğin katsayıları arasında yukarıdaki bağıntılarda görüldüğü gibi bir ilişki olduğundan, bu bileşenlerin yeryüzünde veya uzayda uygun şekilde dağılmış noktadaki ölçülen değerlerinden faydalanarak en küçük kareler yöntemi yardımcıyla uygun küresel harmonik katsayıları türetilir.

Giriş bölümünde bahsedildiği gibi bir noktada ölçülen yermanyetik alan, kaynakları farklı alanları içermektedir. Bu bileşenlerden dış kaynaklı alanın etkisi ölçülerden çıkartılabilir. Dış kaynaklı alanın

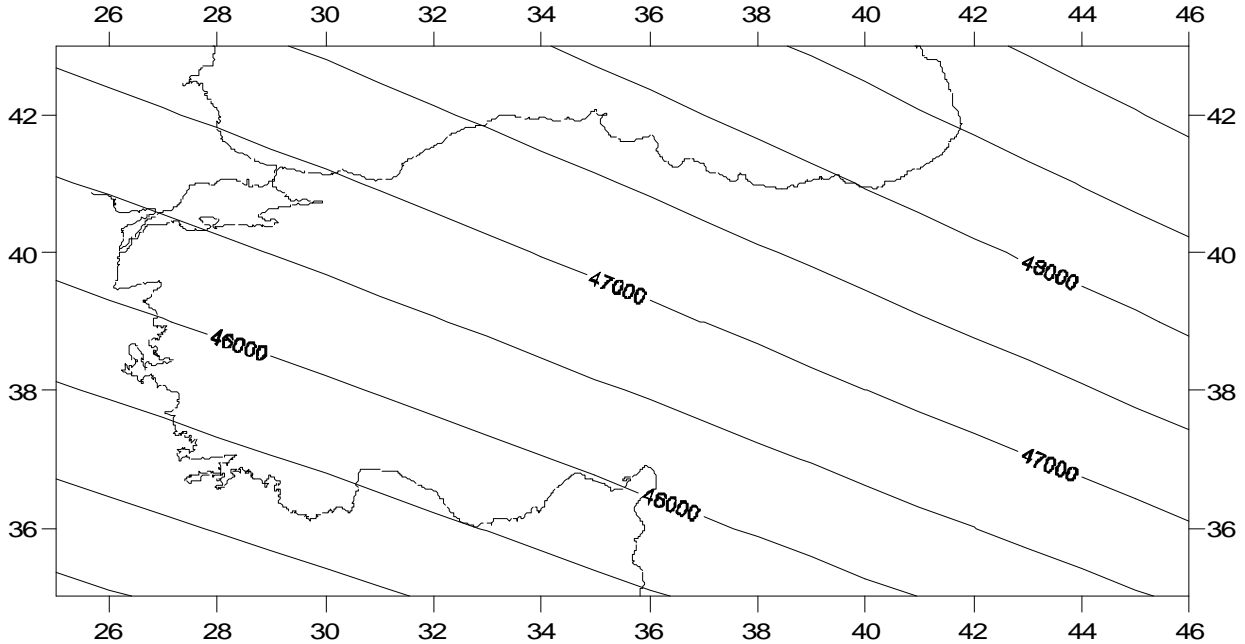
çıkartıldığı verilerle elde edilen küresel harmonik katsayılar ve bu katsayılarla ifade edilen yermanyetik alan; dipol alanı, dipolsüz alanı ve anomali alanını içerir. Küresel harmonik açılımında $n=1$ (g_1^0, g_1^1 ve h_1^1 katsayılarını içeren terimler) esas yermanyetik alanın dipol, $n \leq 13$ dipolsüz ve $n \geq 13$ ise anomali alanlarını ifade ederler (Langel ve Estes, 1982, Cain ve diğ., 1974). Küresel harmonik analizle yeryüzünde elde edilen alanın λ dalga boyu; C yerkürenin ekvatordaki çevresi olmak üzere $\lambda = C/n$ bağıntısıyla verilir (Bullard, 1967). 100 km dalga boyuna sahip bir sinyal elde etmek istenildiğinde n 'in 400, küresel harmonik katsayılarının da 160800 olması gerekmektedir. Bu durumda küresel harmonik analiz ile anomali alanlarını elde etmede, uygun sayıda veri bulunsa dahi, en küçük kareler yöntemi ile katsayıları elde etmenin zorlukları ortaya çıkmaktadır (Allredge, 1981).

ELDE EDİLEN ESAS, DİPOL VE DİPOLSÜZ ALAN HARİTALARI

IGRF değerleri sonu sıfır ve beş ile biten beşer yıllık dönemler için hesaplanır. IGRF değerleri, dönem başında kullanıma hazır olması için, o dönemden bir veya iki yıl önceki verilerden iç değer

bulma (interpolation) / dış değer bulma (extrapolation) yöntemi ile elde edilen veriler kullanılarak hesaplanır. Dönem sonununda, eğer ihtiyaç duyulursa gerekli düzeltmeler yapılarak kesinleşmiş IGRF değerleri olan DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) değerleri elde edilir. Bu çalışmada alan değerlerinin hesaplanmasında DGRF değerleri kullanılmıştır. Esas yermanyetik alanın, dipol alanın ve dipolsüz alanın toplam alan değerleri, Türkiye'nin 25° - 46° doğu boylamları ile 35° - 43° kuzey enlemleri arasında kalan, enlem ve boylamların kesiştiği 198 düğüm noktasında hesaplanmıştır. Dipolsüz alanı elde etmek için küresel harmonik açılımın $n=10$ 'a kadar yapılmıştır. Hesaplanan alan değerleri deniz seviyesinde ve nano Tesla (nT) birimindedir.

Şekil 1 de esas yermanyetik alanın, 2000 yılına ait F toplam alan haritası görülmektedir. Haritadan da görüldüğü gibi Türkiye üzerinde izodinamikler (eş alan değerleri) güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda birbirlerine paralel bir şekilde gitmektedirler. Türkiye'nin güneybatısında 45000 nT civarında olan alan değerleri, kuzeydoğu ucunda 49000 nT değerine ulaşmaktadır. Günümüzde esas yermanyetik alanın ekvator civarındaki değeri yaklaşık 30000 nT, kutuplar civarındaki değeri ise yaklaşık 60000 nT'dir.

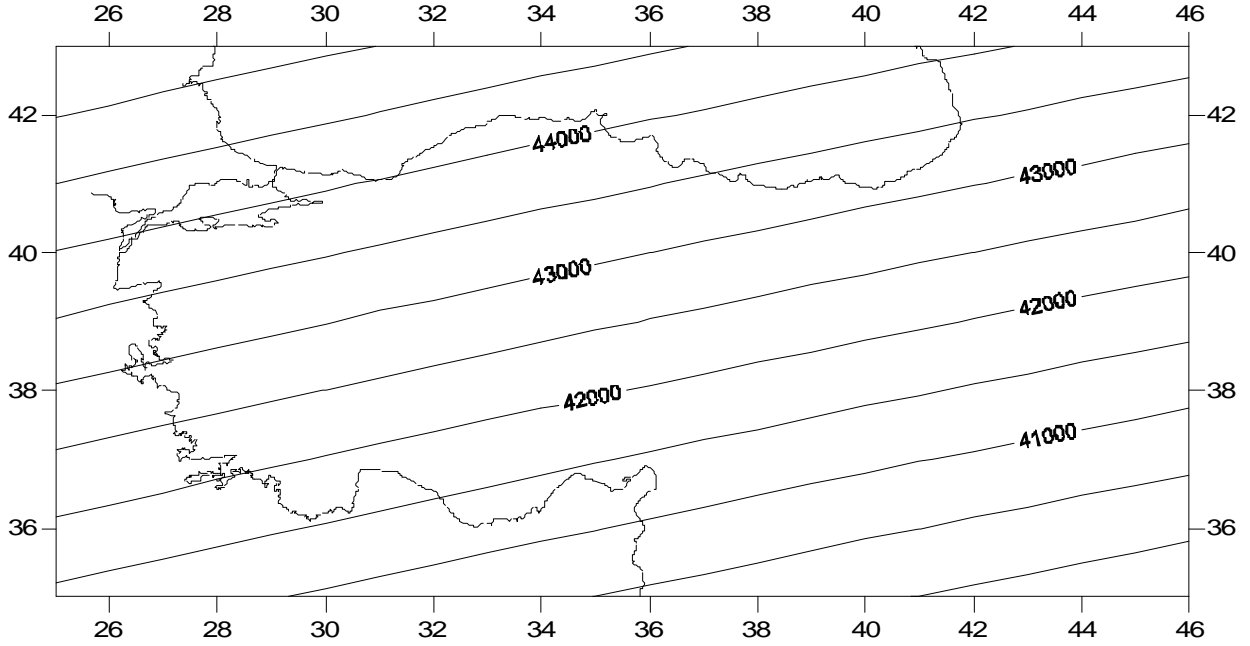


Şekil 1. Esas yermanyetik alanın 2000 yılı F toplam alan haritası. Kontur aralığı 500 nT.

Figure 1. F total field chart of the main geomagnetic field for 2000. Contour interval is 500 nT.

Şekil 2 de ise dipol alanın F toplam alan haritası görülmektedir. Dipol alan izodinamikleri, esas yermanyetik alan izodinamiklerinin aksine Türkiye üzerinde güneybatı-kuzeydoğu doğrultusundadır.

Birbirlerine paralel bir şekilde uzanan dipol alan izodinamiklerinin Türkiye'deki en düşük değeri Türkiye'nin güneydoğu ucunda 40000 nT, en yüksek değeri ise kuzeybatı ucunda 45000 nT civarındadır.

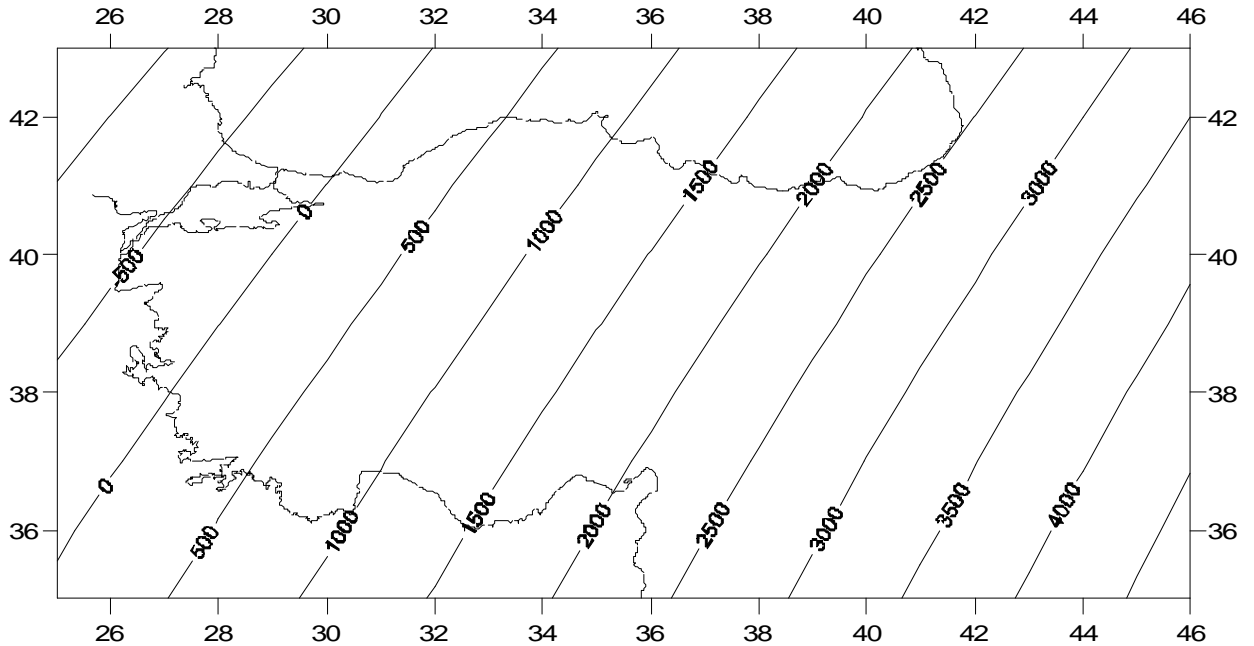


Şekil 2. Dipol alanın 2000 yılı F toplam alan haritası. Kontur aralığı 500 nT.

Figure 2. F total field chart of the dipole field for 2000. Contour interval is 500 nT.

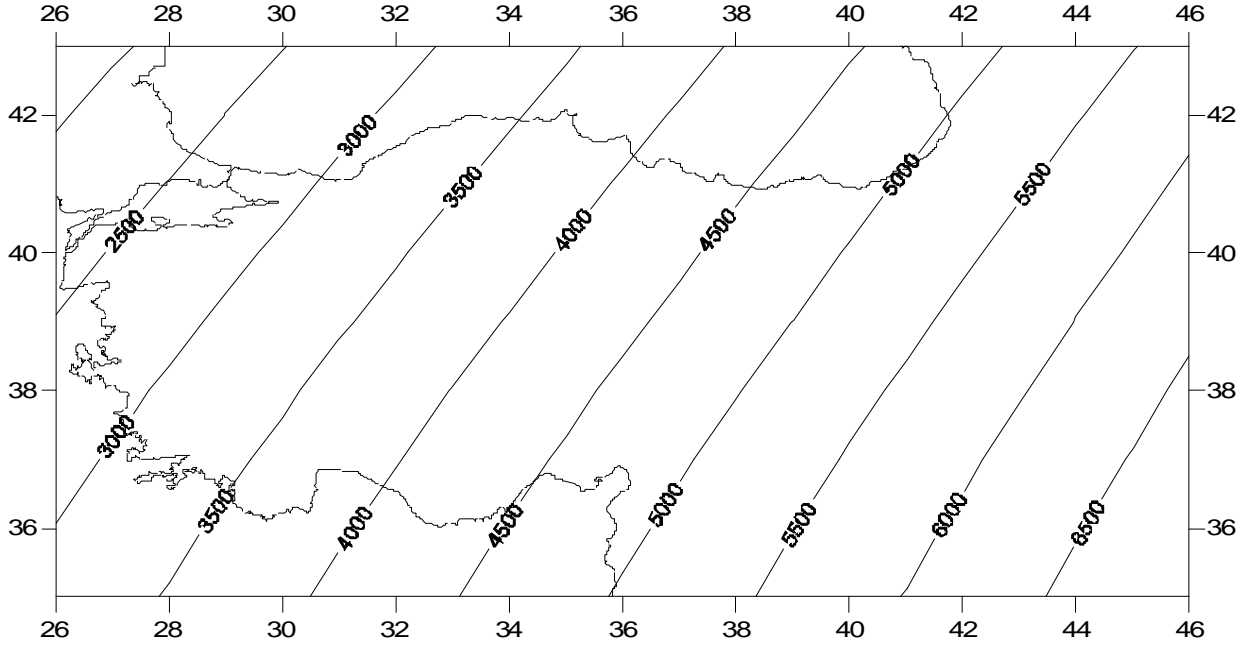
Şekil 3 de 1950 yılına ve Şekil 4 de 2000 yılına ait dipolsüz alanın F toplam alan haritaları görülmektedir. 1950 yılına ait dipolsüz alan haritasının en önemli tarafı, sıfır izodinamiğinin Türkiye'nin batısından geçiyor olmasıdır (Şekil 3). Yine 1950 yılında Türkiye'nin doğusunda 4000 nT civarında olan dipolsüz alan değeri, 2000 yılında 6500 nT'ye ulaşmaktadır. Türkiye'deki dipolsüz alan,

Moğolistan üzerinde bulunan pozitif ve Batı Afrika üzerinde bulunan negatif dipolsüz alan merkezlerinin arasında kalmaktadır. Türkiye sınırları içinde dipolsüz alanın batıya kayma (yermanyetik alanın batıya kayması) hızı elli yıllık zaman aralığı için yaklaşık $0.25^{\circ}/\text{yıl}$ hesaplanmıştır. Bu hız Dünya ortalaması olan $0.18^{\circ}/\text{yıl}$ dan büyüktür.



Şekil 3. Dipolsüz alanın 1950 yılı F toplam alan haritası. Kontur aralığı 500 nT.

Figure 3. F total field chart of the nondipole field for 1950. Contour interval is 500 nT.



Şekil 4. Dipolsüz alanın 2000 yılı F toplam alan haritası. Kontur aralığı 500 nT.

Figure 4. F total field chart of the nondipole field for 2000. Contour interval is 500 nT.

SONUÇLAR

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi esas, dipol ve dipolsüz alan değerlerinin ve özelliklerinin bilinmesi, çeşitli uygulamalı ve bilimsel amaçlar için gereklidir. Örneğin, uygulamalı manyetik çalışmalarında, esas alan değerlerinin ölçü değerlerinden çıkartılması ile amaca uygun şekilde regional veya lokal anomali alanları elde edilebilir. Bu işlem deniz seviyesinden istenilen yüksekliklerde esas alan değerleri hesaplanarak yapılabilir. Aynıca farklı yıllarda yapılan manyetik ölçüleri belli bir tarihe indirgeme işlemi de esas alan değerlerine gereksinim vardır. Bu işlem, istenilen zaman aralığında esas alandaki artma veya eksilme miktarı, ölçü değerlerine eklenerek veya çıkarılarak yapılabilir. Dipol ve dipolsüz alanların değerleri ve davranışları yermanyetizması ile ilgilenen araştırmacılar için önemlidir. Bu nedenle, konu ile ilgili kitap ve makalelerde Dünya ve ülke ölçeğinde çizilen esas, dipol ve dipolsüz alan haritaları Türkiye ölçeğinde çizilmiş ve ilgili kişilerin kullanımına sunulmuştur.

Zaman içinde dipol alanın şiddetinin azalması, dipolsüz alanın batıya doğru kayması ve buna bağlı olarak esas yermanyetik alanın değerlerinin değişmesi, bu alanların değerlerinin belli bir zaman sonra tekrar hesaplanıp haritalarının çizilmesini gerektirmektedir. Bu alan haritalarının Dünya ve ülke ölçeğinde her beş yılda bir yayınlanması gelenek haline gelmiştir. Bu geleneğin ülkemizde de yerleşmesi umuduydu.

SUMMARY

Geomagnetic field that measured on the Earth surface has contributions from several sources such as the main geomagnetic field, the anomaly field and the external field. The main geomagnetic field has its origins within the Earth while the anomaly field has its source in the crust. External field originates from ionosphere and magnetosphere.

The main geomagnetic field has contributions from dipole field that originates from liquid core of the Earth and nondipole field that originates from core-mantle boundary.

In this study, the values of the geomagnetic field, the dipole field and the nondipole field were calculated and drawn their magnetic chart to investigate their properties for 2000 in Turkey. Nondipole field chart also drew for 1950 to examine the westward drift of the nondipole field. DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) which is definitive form of IGRF (International Geomagnetic Reference Field) was used to determine the values of the main geomagnetic, the dipole and nondipole fields.

F total field of the main geomagnetic is 45000 nT at southwest and 49000 nT northeast point of Turkey. Also F total field of dipole field is 40000 nT at southeast and 45000 nT northwest point of Turkey. At eastern Turkey while nondipole field was 4000 nT in 1950, it has reached to 6500 nT in

2000. It is interesting that zero contour line of the nondipole field was passed at western of Turkey in 1950. Westward drift was obtained 0.25° / year for fifty years for Turkey. This value is bigger than 0.18° / year that the world mean.

The values of the geomagnetic field, the dipole field and the nondipole field are used as aids for navigations, surveying, geophysical exploration studies crustal structures, as well as for investigations into geomagnetic phenomena.

DEĞİŞİLEN BELGELER

- Aldredge, L.R., 1981**, Rectangular Harmonic Analysis Applied to The Geomagnetic Field. Jour. Of Geophys. Res., Vol. 86, No. B4 pp. 3021-3026.
- Bullard, E. C., 1949**, The Magnetic field within the earth. Proc.Roy. Soc. London, A197, 433-453.
- Bullard, E. C., 1967**, The removal of the trend from magnetic surveys. Earth Planet Sci. Letters, 2, 293-300.
- Cain, J.C., Davis, W.M. and Regan, R.D., 1974**, An $n = 22$ Model of Geomagnetic Field. EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 56, 1108.

- Chapman, S. and Bartels, J., 1940**, Geomagnetism. Vols. 1 and 2, Oxford University Press Oxford, 1049pp.
- Fraser-Smith, A. C., 1987**, Centered and eccentric geomagnetic dipoles and their poles, 1600-1985. Rev. Geophys. , 25, 1-16.
- Langel, R. A. and Estes, R. H., 1982**, A Geomagnetic Field Spectrum. Geophys. R. Letters, Vol. 9, No. 4, 250-253
- Langel, R. A., 1987**, The main field in geomagnetism. Vol. 1 (J. A. Jacobs, ed.) Academic Press, London. 249-512.
- Leaton, B. R. and Malin, S. R. C., 1967**, Recent changes in the magnetic dipole moment of the earth. Nature, 213-1100.
- IAGA, 1996**, Division V, Working Group 8, International geomagnetic reference field, 1995 Revision, Geophys. J. Int., 125, 318-321.
- Merrill, R. T., McElhinny, M. W., McFadden, P. L., 1996**, The Magnetic Field of the Earth, Academic Press.

Yayı na Geliş – *Received* : 07.03.03
Yayı na Kabul- *Accepted* : 15.07.03