

YERMANYETİK ALANIN GÜNLÜK DEĞİŞİMİ VE İYONOSFERİK DİNAMO BÖLGESİ

GEOMAGNETIC DAILY VARIATION AND IONOSPHERIC DYNAMO REGION

Cengiz Çelik

¹ B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İznik Deprem Zararlarının Azaltılması Hizmet Merkezi, 16840, İznik – Bursa

Yayına Geliş (Received): 22.06.2017, Yayına Kabul (Accepted): 14.08.2017

Basım (Published): Nisan/April 2018

*Sorumlu yazar/Corresponding author: celikc@boun.edu.tr

Öz

Yermanyetik alanı çalışmalarında tartışılan konulardan biri, yermanyetik alanın sakin günlük değişimi nedeni olarak bilinen Güneş (S) ve Ay (L) dinamoların iyonosfer katmanındaki yeridir. Araştırmacılar güneş leke çevrimi etkisini her iki dinamo için incelemiştir. Bazı araştırmacılar her iki dinamo için farklı sonuçlar bularak S ve L dinamonun iyonosferin farklı katmanlarında etkin olduğunu ileri sürmüştür. Bazı araştırmacılar ise her iki dinamo için aynı sonucu bularak S ve L dinamonun aynı iyonosfer katmanında olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, konuya bir nebze olsun açıklık getirmek maksadıyla iyonosfer tabakası dinamo katmanlarını da içerecek şekilde 90 ile 300 km aralıkta analiz edilip Wolf oranı (10^4M) hesaplanmıştır. Wolf oranı güneş leke çevriminin bir göstergesidir. Çalışmada kullanılan veri IRI2012 (International Reference Ionosphere-2012) modelinden üretilmiştir. Wolf oranı iyonosferin E katmanı için ortalama 28 ± 0.7 bulunmuştur. Aynı zamanda, iyonosfer tabakası 90 ile 300 km arasında mevsimsel değişim bakımından da incelenerek değişimler belirlenmiştir. Güneş dinamonun iyonosferin tüm katmanlarını kapsadığı ancak özellikle üst katmanlarda daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Ay dinamo için ise Wolf oranlarının iyonosferin E ve F1 katmanlarına yakın olması Ay dinamonun bu katmanlarda etkin olabileceğini düşündürmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jeomanyetizma, Günlük değişim, Güneş çevrimi

Abstract

One of the long-standing unresolved issues in geomagnetism is the location of the two dynamos leading solar (S) and lunar (L) variation in geomagnetic field on quiet days. Researchers tested the response of L and S to sunspot-cycle. Some found different results, and claimed that S and L originate largely at different levels in the ionosphere, but some researchers found similar results, and pointed out the same level in the ionosphere for the location of the both dynamos. In this study, to shed some lights on, Wolf ratio, 10^4M , of the ionosphere from 90 to 300 km including dynamo region were analyzed using the data produced from IRI2012 (International Reference Ionosphere-2012) model. Wolf ratio represents the effect of sunspot cycle. It is found 28 ± 0.7 for the E layer. The ionosphere between 90 and 300 km were checked for the seasonal variation, and found seasonal dependence. It is concluded that solar dynamo is running including all layers of the ionosphere, but it seems more effective in the upper layers. Because Wolf ratios are near the ionospheric E and F1 layers, so L dynamo may be running within these regions.

Keywords: Geomagnetism, Daily variation, Solar cycle

GİRİŞ

Bir noktada ölçülen yermanyetik alanı iç kaynaklı ve dış kaynaklı alanların toplamından oluşmaktadır. İç kaynaklı alan Yer'in çekirdeğinin bir dinamo gibi çalışmasından kaynaklanmaktadır ve bu alanda meydana gelen değişimler yermanyetik alanında uzun süreli düzensiz değişimler (seküler değişimler) olarak gözlemlenmektedir. Dış kaynaklı alanın kaynağı ise büyük ölçüde Güneş'tir. Güneş'in ayrıştırıcı ve iyonize edici radyasyon etkisi ile Yer'in aydınlık tarafında iyonosfer tabakasında bulunan gazların kimyasal ve elektriksel yapıları değişmektedir. Güneş'in ısı ve Ay'ın çekim etkisi altında meydana gelen küresel rüzgarlar, yermanyetik alanı içinde indüksiyon elektrik akımları üreten doğal dinamolar gibi çalışmaktadır. Bu dinamolar; Güneş ve Ay dinamosu olarak isimlendirilmektedir. He iki dinamonun oluşturduğu manyetik alan ve bu alanın yerküreyi indüklemesiyle oluşan indüksiyon alanının yeryüzünde gözlemlenen alan üzerine eklenmesiyle manyetogramlarda birbirini takip eden tipik benzer değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimlere alanın günlük periyodik değişimleri denir. Günlük periyodik değişimler periyodu 24, 12, 8, ve 6 saat olan harmoniklerin toplamından oluşmaktadır.

Yermanyetik alan günlük değişimleri enleme, boylama, günün farklı zamanlarına ve yılın farklı mevsimlere göre değişiklik göstermektedir (Chapman ve Bartels, 1940). Chapman ve Bartels (1940) aynı zamanda 1940 yılına kadar yapılan tüm çalışmalarını da özetlemektedir. Malin ve Chapman (1970) Ay'ın ve Güneş'in neden olduğu düzenli değişimlerin harmoniklerini çalışarak Chapman-Miller yöntemini revize etmişlerdir. Manyetik alan verisini Ay'ın safhalarına göre 12 gruba ayırarak incelemiştirlerdir. Güneş dinamonun ürettiği manyetik alan Ay dinamoya göre yaklaşık olarak on kat daha etkili olması nedeni ile Ay dinamo harmonik bileşenleri maskeleymektedir. Bu nedenle hem Güneş'e hem de Ay'a bağlı günlük değişim harmonikleri birlikte hesaplanmaktadır. Malin (1970) Ay'ın çekim etkisi sonucunda okyanus kaynaklı bir manyetik alan oluştuğunu ve manyetik alan kayıtlarından nasıl ayrılacağına dair bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem gece saatlerinde iyonosferin etkisinin sıfır olduğu ilkesine dayanmaktadır. Bazı araştırmacılar ise buna karşı çıkmıştır ve gece saatlerinde iyonosferin tam olarak sıfırlanmadığı ancak minimum düzeye geldiğini

ifade etmiştir (Stening ve Winch, 1987). Gece saatlerinde gelişen akım sistemlerinin nedeni olarak, Yer'in gündüz kısmında meydana gelen indüksiyon akımlarını göstermişlerdir. Malin (1973) yapmış olduğu diğer bir çalışmada güneş leke sayısının en yüksek olduğu dönemde manyetik alanı küresel ölçekte modellemeye çalışmıştır. Hem Güneş'e bağlı hem de Ay'a bağlı değişimler için harmonik katsayılarını hesaplayıp iyonosfer tabakasında gelişen akım sistemlerini göstermiştir. Winch (1981) benzer bir çalışmayı güneş leke sayısının minimum olduğu bir dönem için yapmıştır. En küçük kareler yöntemiyle Güneş'in ve Ay'ın neden olduğu değişimleri hesaplayan diğer bir yöntem ise Malin ve diğ. (1980) tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntem daha sonra geliştirilerek manyetik rasathane verilerinin değerlendirilmesi için önerilmiştir (Malin ve diğ., 1996). De Meyer (2003) modülasyon modeli adını verdiği bir yöntemle Güneş ve Ay'ın manyetik alana etkilerini belirlemeye çalışmıştır. Ancak bu yöntemin de temelinde en küçük kareler yöntemi yatmaktadır. Literatürde bahsedilen bu temel yöntemler kullanılarak değişik dönemlerde ve lokasyonlar da yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Örneğin, ülkemizde Işıkkara (1970, 1971) İstanbul için Ay'ın ve Güneş'in manyetik alana olan etkilerini çalışmıştır. Bilge ve Tulunay (1997), 1973-1977 yılları ISK verisine spektral analiz uygulamışlardır. Cueto ve diğ. (2003) İber yarımadası için Güneş ve Ay'ın neden olduğu değişimleri hesaplamıştır. Çelik ve diğ. (2012) kuzeybatı Türkiye için Güneş ve Ay'ın etkilerini içeren bir çalışma yapmıştır. Çelik (2013, 2014) güneş lekeleri ile yermanyetik alanın Güneş'e ve Ay'a bağlı günlük değişimlerini inceleyerek küresel ölçekli bir model ortaya koymuştur.

Günlük değişime neden olan Güneş ve Ay dinamonun iyonosferin hangi yüksekliklerinde etkin olduğu jeomanyetizma da araştırılan konulardan biridir. Bazı araştırmacılar her iki dinamonun iyonosferin sadece E katmanında etkili olduğunu belirtirken, bazı araştırmacılar ise E ve F katmanlarında etkin olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada, çok daha geniş kapsamlı veri seti kullanılarak konu araştırılmıştır ve her iki dinamonun Güneş leke çevrimine olan cevabı (Wolf oranı) incelenmiştir.

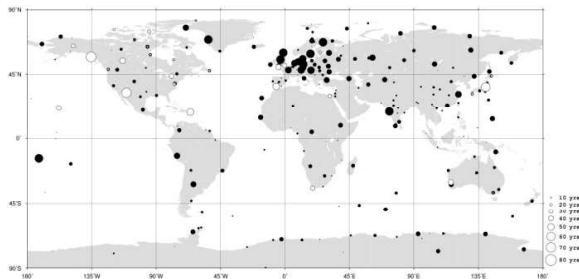
VERİ

Bu çalışmada, yukarıda bahsedildiği gibi, iyonosferik dinamoların iyonosferin hangi katman-

larında etkin olduğunun araştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle, güneş leke çevriminin iyonosferik dinamoları nasıl etkilediği incelenmiştir. Güneş çevriminin yaklaşık periyodu 11 yıl olması nedeni ile çok daha geniş kapsamlı veriye ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmada hem manyetik veri hem de iyonosfer elektron yoğunluğu verisi kullanılmıştır. 1932 ve 1990 yılları arasında manyetik veri, uluslararası veri merkezinden (WDDC) ; 1991 ve 2010 yılları arasında kalan veri ise INTERMAGNET (Uluslararası Rasathaneler Birliği) rasathanelerinden temin edilmiştir. Ayrıca geçmiş yıllarda yapılmış çalışmaların sonuçları da çalışmaya dahil edilmiştir. Ancak aynı verinin iki kez tekrarlanmamasına özen gösterilmiştir. Toplamda 217 rasathanede yermanyetik alanın X, Y, Z, D ve H bileşenleri saatlik ortalamalar halinde kullanılmıştır. Şekil 1. de çalışmada kullanılan rasathanelerin yerleri gösterilmiştir. Çelik (2013 ve 2014) yılında yapmış olduğu çalışmalarda manyetik veriyi analiz ederek hem Güneş hem de Ay dinamo için Wolf oranını hesaplamıştır.

Elektron yoğunluğu verisi ise IRI2012 (International Reference Ionosphere-2012) iyonosfer modeli kullanılarak 90-300 km yükseklikleri arasında 5 km artışlarla 1958 den 2012 yılına kadar saatlik olarak küresel ölçekte (20x20 enlem ve boylam) üretilmiştir.

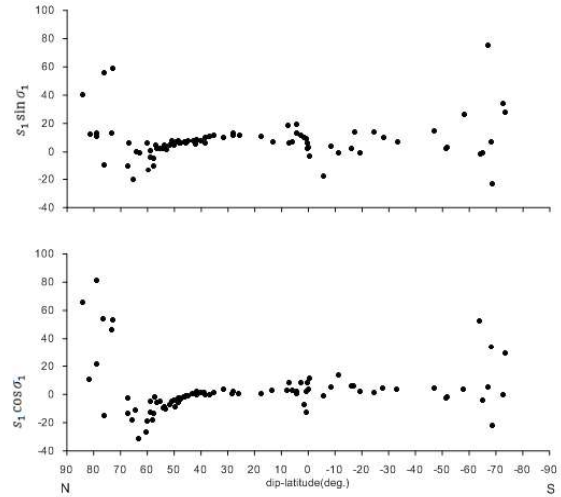
Elde edilen veriler güneş leke sayısına göre düşük ($R < 20$), orta ($20 < R < 100$) ve yüksek ($R > 100$) olmak üzere gruplanarak, her grup için Fourier (a_n ve b_n) katsayıları hesaplanmıştır. Ekvatoryel (± 5 KG) ve kutupsal elektrojet (± 60 KG) bölgelerine yakın rasathaneler çalışmaya dahil edilmemiştir (Şekil 2). Manyetosferik akım sistemlerinin etkisini en aza indirmek amacıyla her ayın en aktif beş gününe ait veriler çalışmada kullanılmamıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan rasathanelerin dağılımı. Beyaz daireler geçmiş yıllarda analizi edilmiş rasathaneleri, siyah daireler ise WDDC ve INTERMAGNET rasathanelerini temsil etmektedir. Dairelerin çapı veri boyu ile orantılıdır.

Figure 1. Distribution of the geomagnetic observato-

ries and data coverage. Open circles are for the observatories analyzed previously, and filled circles for the WDDC/INTERMAGNET data. The diameter of the each circle is proportional to the number of the years of data.



Şekil 2. $S_1 \sin \sigma_1$ ve $S_1 \cos \sigma_1$ değerlerinin dip açısına göre değişimi.

Figure 2. Variation of the values of $S_1 \sin \sigma_1$ and $S_1 \cos \sigma_1$ against dip latitude.

YÖNTEM

Yermanyetik alanın Güneş'in ısı ve Ay'ın çekim etkisine bağlı düzenli günlük değişimi Fourier açılımının ilk dört terimi olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Chapman ve Bartels, 1940).

Güneş'e bağlı değişimler;

$$S = \sum_{n=1}^4 s_n \sin(nt + \sigma_n)$$

s_n = Genlik,

σ_n = Faz açısı (Derece),

t = Yerel ortalama Güneş zamanı.

(1) denklemi üniversal zamana ($t = t^* + v$, burada t^* =üniversal zaman, v doğu boylamı) göre yeniden düzenlenirse;

$$S = \sum_{n=1}^4 \{a_n \cos(nt^*) + b_n \sin(nt^*)\}$$

denklemleri elde edilir. Burada;

$$a_n = s_n \sin(\sigma_n + nv),$$

$$b_n = s_n \cos(\sigma_n + nv)$$

a_n ve b_n katsayıları en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Ay'a bağlı değişimler;

$$L = \sum_{n=1}^4 l_n \sin(nt - 2V + \lambda_n), \quad (3)$$

l_n = Genlik

λ_n = Faz açısı (Derece)

V = Ay'ın faz açısı. (Yeni Ay'dan bir sonrakine, 0 dan 24). (3) denklemini t^* için düzenlenirse;

$$L = \sum_{n=1}^4 \{a_n \cos(nt^* - 2V) + b_n \sin(nt^* - 2V)\}, \quad (4)$$

denklemini bulunur. Burada;

$$a_n = l_n \sin(\lambda_n + nv),$$

$$b_n = l_n \cos(\lambda_n + nv),$$

Wolf oranı;

Güneş çevriminin yermanyetik alanı üzerine olan etkisini ifade etmektedir. Güneş leke sayısına göre manyetik alan değişimi lineer formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\theta = A + BR \text{ ya da}$$

$$\theta = A(I + MR),$$

$$M = B/A$$

R : Güneş leke sayısının yıllık ortalaması,

θ : Yermanyetik alanın yıllık ortalaması,

M : Wolf oranı ($10^4 M$, θ nın $R=0$ ve 100 için yüzde değişimi)

A ve B katsayıları en küçük kareler yöntemiyle belirlenmektedir.

Küresel harmonik analiz;

Yermanyetik alanın küresel ölçekte modellemek için kullanılan yöntemlerden biri küresel harmonik analiz yöntemidir. Bu yöntem Barraclough ve Malin (1979) tarafından geliştirilen 'honing' yöntemi ile bütünleşmiş bir şekilde kullanılmıştır.

Buna göre;

$$X = \sum_k \sum_m \{(c_k^m \cos mv + s_k^m \sin mv) + (y_k^m \cos mv + \delta_k^m \sin mv)\} k Y_k^m(\cos u) \quad (5)$$

$$Y = \sum_k \sum_m \{(c_k^m \sin mv - s_k^m \cos mv) + (y_k^m \sin mv - \delta_k^m \cos mv)\} k Y_k^m(\cos u) \quad (6)$$

$$Z = -\sum_k \sum_m \{(c_k^m \cos mv + s_k^m \sin mv)(k+1) - (y_k^m \cos mv + \delta_k^m \sin mv)k\} P_k^m(\cos u) \quad (7)$$

Burada;

X , Y ve Z : Yermanyetik alanın sırasıyla kuzey, doğu ve düşey bileşenleri;

c_k^m ve s_k^m : iç kaynaklı küresel harmonik katsayılar,

y_k^m ve δ_k^m : dış kaynaklı küresel harmonik katsayılar,

$$k X_k^m(\cos u) = \frac{d}{du} \{P_k^m(\cos u)\},$$

$$k Y_k^m(\cos u) = \frac{m}{\sin u} P_k^m(\cos u),$$

$P_k^m(\cos u)$: associated Legendre polinomu,
 u : Co-latitud açısı.

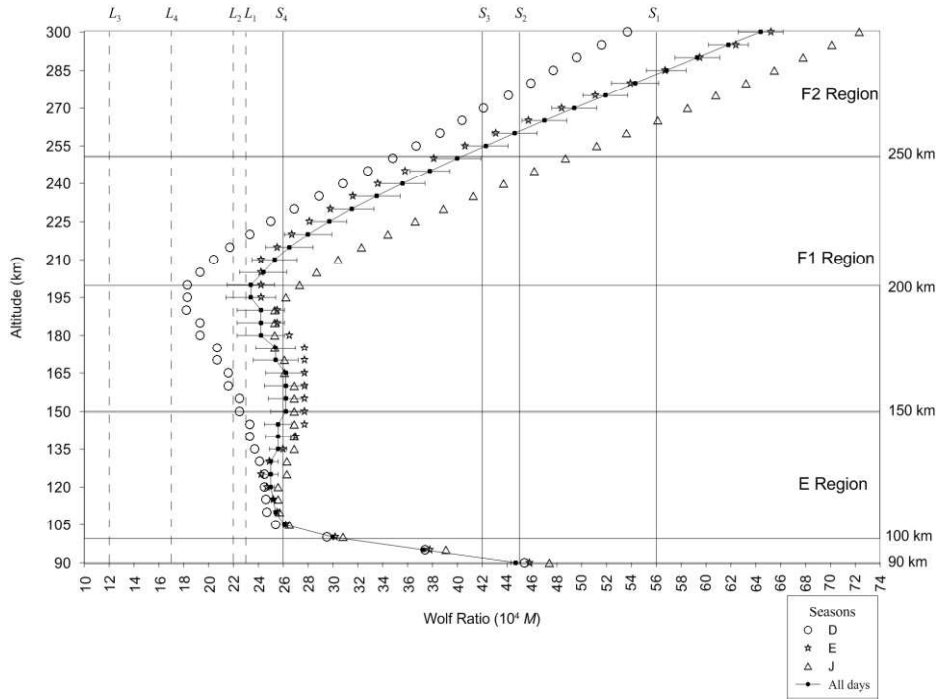
TARTIŞMA VE BULGULAR

Appleton ve Beynon (1967) elektron yoğunluğu $10^4 M$ değerini, iyonosferin E katmanı için 33 bulmuşlardır ve bu değer yıl boyunca hiç değişmediğini ayrıca küresel bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar, örneğin Matsushita ve Maeda (1965), De Meyer (2003) gibi, her iki dinamo için de yukarıdakine benzer sonuçlar elde ederek iki dinamonun da iyonosferin E katmanında etkin olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bazı araştırmacılar ise, örneğin Chapman ve diğ. (1971), Malin ve diğ. (1975) gibi $10^4 M$ değeri için farklı sonuçlar bularak Ay ve Güneş dinamonun iyonosferin farklı katmanlarında etkin olduğunu düşünmüşlerdir.

Çelik (2013 ve 2014) yılında yapmış olduğu çalışmalarda çok geniş kapsamlı veri seti kullanılarak her iki dinamo için $10^4 M$ değerini hesaplamıştır. Her iki dinamo için bulunan Wolf oranlarının farklı olması Güneş ve Ay dinamonun iyonosferin farklı bölümlerinden etkin olduğu fikrini desteklemektedir. Tablo 1'de Güneş ve Ay dinamo için Wolf oranları verilmiştir.

Tablo 1. Solar ve lunar harmoniklerin Wolf oranı ($n=1-4$ için).**Table 1.** Wolf ratio for $n=1-4$ for the solar and lunar harmonics.

$n \pm s.d.$	1	2	3	4
Solar (104M)	56 ± 1	45 ± 1	42 ± 1	26 ± 2
Lunar (104M)	23 ± 2	22 ± 1	12 ± 2	17 ± 4



Şekil 3. Tüm günler ve Lloyd mevsimleri olarak 90-300 km arasında $10^4 M$ değerinin değişimi. Lloyd mevsimleri: D (Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık), E (Mart, Nisan, Eylül ve Ekim) ve J (Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos). Düz ve kesikli çizgiler sırasıyla S ve L yi temsil etmektedir.

Figure 3. Variation of $10^4 M$ values with altitudes from 90 to 300 km. for both all days and Lloyd's seasons. Lloyd's seasons: D season (January, February, November and December), E season (March, April, September and October) and J season (May, June, July and August). Solid and dotted vertical lines represent S and L harmonics, respectively.

İyonosfer E bölgesi için bulunan 33 değeri önemli bir sonuçtur çünkü iyonosferik dinamo bölgesi için yapılan tüm çalışmalar bu sonuca göre yorumlanmıştır. Konuyu biraz daha araştırmak amacıyla, 90 ile 300 km arasında her 5 km yükseklikte iyonosfer elektron yoğunluğu Wolf oranı hesaplanarak yükseklikle olan değişimi hem mevsimsel hem de yıllık olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çelik (2013 ve 2014) tarafından bulunan Güneş ve Ay dinamo $10^4 M$ sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Şekil 3 de görüldüğü gibi $10^4 M$ değeri tüm iyonosferik katmanlar boyunca değişim göstermektedir. 90 ile 150 km yükseklikleri arasında E katmanı için $10^4 M=28.2 \pm 0.7$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen elektron yoğunluğu

verisi Lloyd mevsimlere göre gruplanarak $10^4 M$ değerinin mevsimsel değişimine bakılmıştır. $10^4 M$ değeri D aylarında 27.1 ± 0.6 , E ayları için 28.7 ± 0.8 ve son olarak J ayları için 29.3 ± 0.7 bulunmuştur. Açıkça görüldüğü gibi iyonosfer E tabakası mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Aynı şekilde F1 ve F2 katmanlarında da mevsimsel değişim izlenmektedir. İyonosfer tabakası $10^4 M$ değişimi göz önüne alınarak üç bölüme ayrılabilir. 90-100 km yüksekliklerinde $10^4 M$ değeri 90 km den 100 km ye kadar keskin bir azalma göstermiştir. 100 ile 200 km arasında olan değişim kararlı bir şekilde devam etmiştir. 200 km de sonra ise 300 km ye kadar yükseliş kaydetmiştir. Bu yükseliş 1000 km ye kadar devam etmektedir.

Şekil 3 de görüldüğü gibi Ay dinamo harmonikleri için bulunan $10^4 M$ değerleri ionosferin 100 km ile 200 km arasında kalan kısmına daha yakındır. Özellikle Ay dinamo için önemli olan ikinci harmonik bu bölge civarındadır. Güneş dinamo harmonikleri ise genel olarak bu bölgeden uzaktadır. Sadece dördüncü harmonik bu bölgededir. Güneş dinamonun en önemli harmonik bileşeni olan birinci harmonik ise bu bölgenin oldukça dışındadır. Diyebiliriz ki Ay dinamo ionosferin E ve F1 katmanlarında çalışırken Güneş dinamo ionosferin tüm katmanlarında etkindir ancak ağırlıklı olarak ionosferin üst katmanı olan F2 katmanında daha etkindir.

SONUÇ

Bu çalışmada Güneş ve Ay dinamonun ionosfer katmanında etkin oldukları yükseklikler araştırılmıştır. Atmosferin 90 km ile 300 km yükseklikleri arasında kalan kısmı yani ionosfer tabakası 5 km aralıklarla incelenerek elektron yoğunluğu Wolf oranı değişimi incelenmiştir. Elektron yoğunluğu verisi IRI2012 modelinden üretilmiştir. İyonosferin E bölgesi için daha önce 33 olarak bulunan ve yıl boyunca değişmediği söylenen elektron yoğunluğu Wolf oranı bu çalışmada 28 ± 0.7 olarak bulunmuştur ve ayrıca mevsimsel değişim gösterdiği saptanmıştır. Sonuç olarak, Güneş dinamonun ionosferin tüm katmanlarını kapsadığı ancak özellikle üst katmanlarda daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Ay dinamo için ise Wolf oranlarının ionosferin E ve F1 katmanlarına yakın olması Ay dinamonun bu katmanlarda etkin olabileceğini düşündürmüştür.

SUMMARY

One of the long-standing unresolved issues in geomagnetism is the location of the two dynamos that produce the *S* and *L* variations in the geomagnetic field on quiet days. To shed some light on this problem, Wolf ratios of properties of the ionosphere from 90 to 300 km, which includes the dynamo region, were analyzed using the data produced from the IRI2012 model, International Reference Ionosphere. To do this, it was examined how ionospheric dynamos are affected by solar cycles. In this study, both geomagnetic data and electron density data were used. Geomagnetic data are obtained from World Digital Data Centre (WDDC) for the interval 1932 to 1990 and INTERMAGNET for the interval 1991 to 2010. In addition, the data were supplemented with the findings determined by

other workers. Care was taken to avoid overlaps between the data-sets, so that no data were used twice. Celik (2013, 2014) made a detailed spherical harmonic analysis and obtained model of *S* and *L* together with *M*. For the ionospheric data, we used IRI2012 model. The International Disturbed Days of each calendar month were discarded, and also the polar and equatorial regions were omitted to minimize the effect of magnetospheric, polar and equatorial electrojet currents. Hourly data of electron density, which is related to ionospheric conductivity, from 1958 to 2012 including five and half complete solar cycles were produced from 90 to 300 km in altitude with the interval of 5 km, and geographic distribution of the 20x20 degree latitude and longitude. The data of each nod were divided according to annual sunspot number: high ($R > 100$), medium ($20 < R < 100$) and low ($R < 20$), and analyzed for Fourier coefficients. For the location of the *S* and *L* dynamos, the electron density of the ionosphere at altitudes from 90 to 300 km at 5 km intervals were examined by the method of the spherical harmonic analysis.

Appleton & Beynon, (1967) found that the $10^4 M$ value of the electron density in the ionospheric E-region was 33, and was remarkably constant both throughout the year and worldwide. These findings are important because all the dynamo region studies of the ionosphere used these findings for comparison with their results. Therefore, we re-analyzed the dynamo region using IRI2012 model, and reached some new findings. Both the E layer and the other layers of the ionosphere exhibit seasonal dependence, and *S* dynamo may operate throughout the entire ionosphere, while the *L* dynamo currents flow mainly in the E-region.

KATKI BELİRTME

Çalışmada kullanılan verileri sağlayan veri merkezleri INTERMAGNET ve WDDC'ye teşekkür ederiz. Çalışmayı her aşamasında yaptığı yorumlarla destekleyen Prof. Dr. S.R.C. Malin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Appleton, E.V., Beynon, W.J.G., 1967.** In: Runcorn, S.K. (Ed.), *International Dictionary of Geophysics*, 278. Pergamon Press, Oxford.
- Bilge, A.H., Tulunay, Y.K., 1997.** Spectral analysis of geomagnetic data from Kandilli Observatory, Istanbul, *Ann. Geofis.*, XL(6), 1591–1598.
- Chapman, S., Bartels, J., 1940.** *Geomagnetism*, Clarendon Press, Oxford, 2, 159-270.
- Chapman, S., Gupta, J.C., Malin, S.R.C., 1971.** The sunspot cycle influence on the solar and lunar daily geomagnetic variations. *Proceedings of the Royal Society, London A324*, 1–15.
- Cueto, M., McKnight, D., Herraiz, M., 2003.** Daily geomagnetic variations on the Iberian Peninsula, *Geophys. J. Int.*, 152, 113-123.
- Çelik, C., Tuncer, M.K., Tolak-Çiftci, E., Zobu, M., Oshiman, N., Tank, B., 2012.** Solar and lunar geomagnetic variations in the northwest part of Turkey, *Geophys. J. Int.*, 189, 391-399.
- Çelik, C., 2013.** The solar Daily Geomagnetic variation and its dependence on sunspot number, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 104, 75-86.
- Çelik, C., 2014.** The lunar Daily Geomagnetic variation and its dependence on sunspot number, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 119, 153-161.
- De Mayer, F., 2003.** A modulation model for the solar and lunar daily geomagnetic variations, *Earth Planets Space*, 55, 405-418.
- Işıkara, A.M., 1970.** The lunar tide in the E-layer above Istanbul, pure and applied geophysics, V.81, Issue 1, pp 130-134.
- Işıkara, A.M., 1971.** The solar and lunar influences on the Earth's magnetic field at Istanbul, *Revue de la Faculté des Sciences de l'Université d'Istanbul, Ser. C*, 36, 117-127.
- Malin, S.R.C., Chapman, S., 1970.** The determination of lunar daily geophysical variations by the Chapman-Miller Method, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 19, 15-35.
- Malin, S.R.C., 1970.** Separation of lunar daily geomagnetic variations into parts of ionospheric and oceanic origin, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 21, 447-455.
- Malin, S.R.C., 1973.** Worldwide distribution of geomagnetic tides, *Phil. Trans. R. Soc. Lond., A*, 274, 551-594.
- Malin, S.R.C., D.M. Schlapp, 1980.** Geomagnetic lunar analysis by least-squares, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 60, 409-418.
- Malin, S.R.C., Tuncer, M.K., Yazıcı-Çakın, O., 1996.** Systematic analysis of magnetic observational data-I. A proposed method, *Geophys. J. Int.*, 126, 635-644.
- Matsushita, S., Maeda, H., 1965.** On the geomagnetic solar quiet Daily variation field during the I.G.Y. *Journal of Geophysical Research* 70, 2535–2558.
- Stening, R. J., Winch, D. E., 1987.** The lunar geomagnetic tide at night, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 88, 461-476.
- Winch, D. E., 1981.** Spherical harmonic analysis of geomagnetic tides, 1964-1965, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 303, 1-104.