

Orta Enlem İyonküresi Difüzyon Katsayılarının Değişimi ve F10.7 Güneş Akısı ile İlişkisinin İncelenmesi

Selçuk SAĞIR

Muş Alparslan Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 49250 Muş
s.sagir@alparslan.edu.tr

(Geliş/Received: 08.01.2017; Kabul/Accepted: 24.02.2017)

Özet

İyonküresinin F2 bölgesinde elektron yoğunluğunun maksimum olduğu yükseklikte(hmF2) elektron için elde edilen difüzyon katsayıları matris elemanlarının ekinoks ve gündönümü günleri için yerel zaman ve yükseklik ile değişimleri Ankara/Türkiye koordinatları için hesaplandı. Ayrıca 240 km yükseklikte elde edilen difüzyon katsayı matrisinin tüm elemanları ile en yaygın kullanılan Güneş indisi- F10.7 Güneş akısı- arasındaki ilişki incelendi. İncelemenin sonucu olarak katsayılar matrisinin D_{xx} elemanı en küçük, D_{zz} elemanı ise en büyük değeri aldığı gözlemlendi. Ekinoks ayları için difüzyon katsayılarının günlük değişimlerdeki maksimum değer ile minimum değer arasındaki fark, gün dönümlerindekinden daha büyük olduğu görüldü. F10.7 Güneş akısı ile difüzyon matrisinin tüm elemanları arasında yaklaşık aynı oranda negatif bir ilişki belirlendi.

Anahtar Kelime: İyonküre, Difüzyon Katsayısı, F10.7 Güneş akısı

The change of Diffusion Coefficients of Middle Latitude Ionosphere and Investigation of Relation to F10.7 Solar Flux

Abstract

The changes in local time and altitude of the matrix elements of diffusion coefficients obtained for electron at the maximum electron density height (hmF2) in F2 region of the ionosphere are calculated on the equinox and solstice days for the Ankara / Turkey coordinates. Furthermore, the relationship between the most commonly used solar indices- F10.7 solar flux- and all elements of the diffusion coefficient matrix obtained at 240 km height is investigated. As a result of the examination, it is seen that element of D_{xx} of the coefficients matrix has the smallest and the element of D_{zz} has the greatest value. For the equinox months, it is seen that the difference between the maximum value and the minimum value in the daily variations of the diffusion coefficients is greater than in the solstices. A negative relationship at the same rate has nearly been determined between the F10.7 solar flux and all elements of the diffusion matrix.

Keywords: Ionosphere, Diffusion Coefficient, F10.7 Solar Flux

1. Giriş

İyonküre yaklaşık olarak yer yüzeyinden 50 km yükseklikte başlayıp 1000 km ye kadar uzanan bir atmosfer tabakasıdır. İyonküre aşağıdan meteorolojik süreçler, stratokürede meydana gelen olaylar (ani stratoküresel ısınmalar, QBO-yaklaşık iki yıllık salınımlar, SAO- yarı yıllık salınımlar vb.), atmosferik dalgalar ve depremler gibi süreçlerden etkilenmeye ilave olarak, yukarıdan proton akışı, enerjili parçacık yağışının yanı sıra çok güçlü bir şekilde Güneş'ten etkilenir[1-14]. Güneş'ten kaynaklı etkiyi ortaya koymaya

çalışan araştırmalarda farklı Güneş indisleri(güneş lekesi sayısı-SSN, F10.7 Güneş akısı, Kronal kütle boşalması-CME, vb.) kullanılmıştır[2, 10, 13-16]. F10.7 Güneş akısı, Güneşin 10.7 cm dalga boyunda (2800 MHz) bant üzerindeki ışıma miktarını ifade eden indistir. Güneş Akısı, Güneş aktiflik seviyesini gösteren en yaygın kullanılan parametredir. Güneşin UV ve X-ışınlarıyla çok yakından ilişkilidir[14, 15]. Güneş indisleri ile iyonküre parametreleri arasında yapılan çalışmalarda, Sagir ve diğ.[13] iyonosferik D bölgesi için SSN, Özgüç ve diğ. [15] iyonküre F2 bölgesi kritik frekansının(foF2) belirlemede solar ışıma

indisi, SSN, 2800 MHz deki Güneş akısı-F10.7 Güneş akısı ve Mg II indislerini, Bhawre ve diğ. [16] foF2 belirlemede R12, F10.7 Güneş akısı ve CME indisleri kullanmıştır. Buna paralel diğer bir çalışmada Elias [17], foF2 ile SNN, solar UV ve solar EUV arasındaki ilişkiyi göz önüne almıştır.

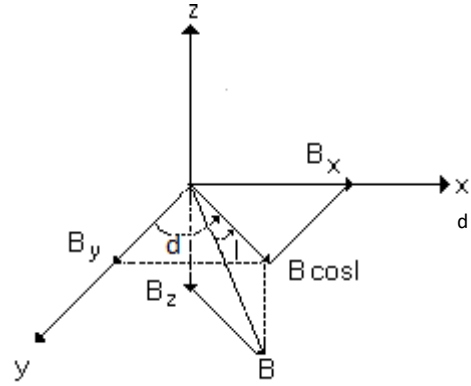
İyonküre plazması, Güneş tarafından sürekli olarak iyonlaştırılmış gazlar ile doludur. [3, 7, 8]. İyon yoğunlukları çeşitli nedenlerden dolayı bölgesel farklılık gösterir. Bu durum, difüzyonu iyonkürede etkili olan bir taşınma süreci kılar. Manyetize olmamış bir plazmada difüzyon sıradan bir akışkanda meydana gelen difüzyona bazen benzemesine rağmen yine de temel farklılıklar gösterir[18, 19]. İyonkürenin en temel parametresi olan elektronlar hafif kütlelerinden dolayı iyonlardan daha hızlı difüzyon ile taşınırlar. Bu durum yük farklılıklarının bir sonucu olarak kutuplaşmış bir elektrik alan meydana getirir. Bu alanlar iyonların difüzyonunu artırırken elektronlarınkini azaltır. Bu sayede elektronlar ile iyonlar yaklaşık olarak aynı oranda difüzyona maruz kalırlar, bu olaya ambipolar difüzyon denir[6, 7, 18, 19].

Güneş ışınları, mevsime, yerel zaman ve konuma göre Dünya'ya farklı açılarla gelmektedir ve dolayısıyla farklı şekilde etkiler göstermektedir. Bu nedenle, diğer iyonküre parametrelerinde (foF2, hmF2, elektron yoğunluğu, toplam elektron içeri, vb.) olduğu gibi difüzyon için de mevsim, yerel zaman ve konumun büyük önemi vardır. Bu yüzden, bu çalışmada orta enlemde kuşağında bulunan Ankara/Türkiye iyonküresi için difüzyon katsayılarının mevsimsel (ekinoks ve gün dönümleri) ve yerel zaman(YZ) (12:00 ve 24:00) hesaplanması yapılarak en yaygın kullanılan Güneş indisi olan F10.7 Güneş akısı ile ilişkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Herhangi bir ortamda $\mathbf{B} \neq 0$ ise bu ortam anizotropik olarak adlandırılır. İyonküre plazmasında manyetik alan sıfırdan farklı olduğu için iyonküre plazması anizotropiktir [18, 19, 20]. B manyetik alanı için Dünya'nın manyetik alanının gerçek geometrisi kullanılırsa, Şekil 1.de de görüleceği gibi manyetik alanın üç boyutlu

hali elde edilir. Burada manyetik alanın bileşenleri " $B_x = B \cos I \sin d$, $B_y = B \cos I \cos d$ ve $B_z = -B \sin I$ " şeklinde ifade edilir. Bu ifadelerde kullanılan I manyetik dip ve d manyetik deklinasyon açısıdır. Bu çalışmada kullanılacak diğer rotasyonlar şu şekildedir:



Şekil.1. Kuzey Yarım Küre için Dünyanın manyetik alanının geometrisi[21].

ω_c : Elektron siklotron(dönme) frekansıdır. Bu frekanslar plazma parametrelerine bağlı olarak;

$$\omega_{cx} = \frac{eB_x}{m}, \quad \omega_{cy} = \frac{eB_y}{m} \quad \text{ve} \quad \omega_{cz} = \frac{eB_z}{m}$$

şeklinde verilir.

Bu manyetik alanın bileşenleri ve siklotron frekansları için hareket denkleminde bağlı olarak akı yoğunluğu:

$$\mathbf{\Gamma} + \frac{n_a}{v_a} \frac{D\mathbf{U}}{Dt} = \mu_a (\mathbf{\Gamma} \times \mathbf{B} + n_a \mathbf{E}) - D_a \nabla n_a \quad (1)$$

olarak elde edilir [18,19]. Burada

$$\mu_a = \frac{q_a}{m_a v_a} \quad \text{ve} \quad D_a = \frac{k_b T_a}{m_a v_a}$$

yüklü parçacığın mobilitesi ve difüzyon katsayısı, U parçacıkların hızı, B yerin manyetik alanı ve E dalganın elektrik alanını ve v_a parçacıklar için çarpışma frekansını temsil eder. Bu ifadenin çözümünde akı yoğunluğu,

$$\mathbf{\Gamma} = n_a \mathbf{U} \quad (2)$$

şeklinde yazılırsa, difüzyon tensörünün matrisi,

$$D = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde elde edilir.

Tensörün elemanları elektron için aşağıdaki şekilde

$$\begin{aligned} D_{xx} &= A^{-1} D_e [\omega_{cx}^2 + v_e^2] \\ D_{xy} &= A^{-1} D_e [\omega_{cx} \omega_{cy} - \omega_{cz} v_e] \\ D_{xz} &= A^{-1} D_e [-\omega_{cx} \omega_{cz} + \omega_{cy} v_e] \\ D_{yx} &= A^{-1} D_e [\omega_{cx} \omega_{cy} - \omega_{cz} v_e] \\ D_{yy} &= A^{-1} D_e [\omega_{cy}^2 + v_e^2] \\ D_{yz} &= -A^{-1} D_e [\omega_{cy} \omega_{cz} + \omega_{cx} v_e] \\ D_{zx} &= -A^{-1} D_e [\omega_{cx} \omega_{cz} + \omega_{cy} v_e] \\ D_{zy} &= A^{-1} D_e [-\omega_{cy} \omega_{cz} + \omega_{cx} v_e] \\ D_{zz} &= A^{-1} D_e [\omega_{cz}^2 + v_e^2] \\ A &= [\omega_{cx}^2 + \omega_{cy}^2 + \omega_{cz}^2 + v_e^2] \end{aligned}$$

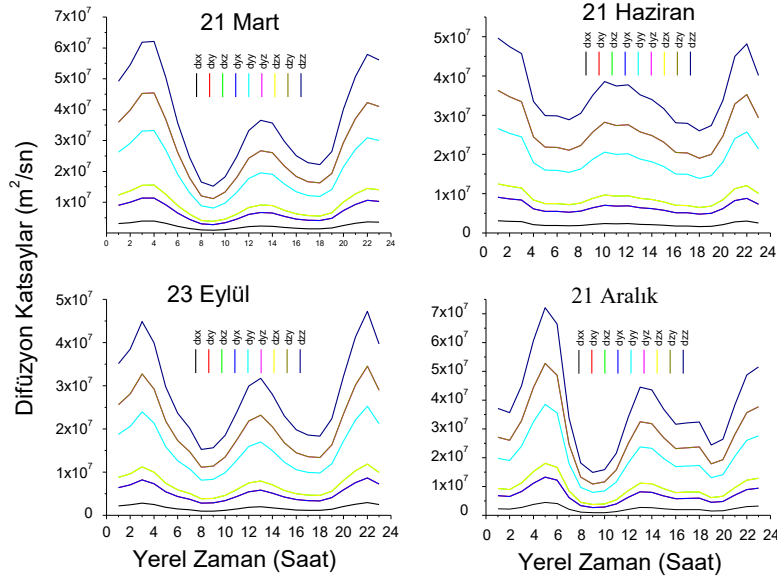
elde edilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Ankara/Türkiye (39.7° K, 32.76° D) coğrafik koordinatları için IRI(International Reference Ionosphere-Uluslararası İyonküre Programı) programı yardımıyla, kuzey yarım kürede dünyanın manyetik alanının gerçek (Şekil 1) değeri kullanılarak hmF2 yüksekliğinde elektron için difüzyon tensör bileşenlerinin numerik değerleri mevsimsel olarak yerel zaman ve yükseklik ile

değişimleri incelenmiştir. Yapılan bu inceleme Güneş maksimumu olan 1990 yılı için difüzyon tensörünün katsayıları elde edildi.

Şekil 2.de Denklem 3 de elde edilen difüzyon katsayıların yerel zamanla mevsimsel(ekinoks(21 Mart ve 23 Eylül)-Gündönümü(21 Haziran ve 21 Aralık)) değişimi verilmiştir. Şekle göre bütün bileşenlerin her mevsim için değişim trendleri benzerdir. 21 Mart da difüzyon katsayıları sabah 3:00 YZ da maksimum değerler almakta, bu saatten sonra ani düşmekte ve gün doğumdan sonra saat 9:00 YZ da minimum olmaktadır. Gün ortasında yaklaşık 13:00 YZ da tekrar artmakta, gün batarken saat 18:00 YZ da ikinci bir minimum gözlenmektedir. Saat 22:00 YZ civarında ikinci bir maksimum yapmaktadır. Bu değişimler bütün mevsimlerde benzerdir. Yani difüzyon katsayıları genel olarak aynı saatlerde maksimum ve minimumdur. Büyüklük olarak, difüzyon katsayıları 21 Mart ile 21 Aralık, 21 Haziran ile 23 Eylül günlerinde yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Bütün difüzyon katsayıların büyüklükleri yaklaşık olarak 10^5 - 10^7 (m²/sn) mertebesindedir. Bütün mevsimler için difüzyon yerel zamanla iki kez maksimum ve iki kez minimum olmaktadır. Yeşil ve diğ.[22] ekvator bölgesi ve gün dönümleri için yapılan benzer çalışmada boyuna difüzyon ($D_0=10^{10}$ m²/sn), Pedersen ($D_1=10^9$ m²/sn), ve Hall ($D_2=10^4$ - 10^6 m²/sn) mertebesinde bulunmuştur. Bu değerlerler kıyaslandığında boyuna ve Pedersen difüzyon katsayılarının orta enlemde büyük olduğu, Hall katsayısının ise ekvator ve orta enlemde benzerlik gösterdiği görülmektedir. Orta enlemlerde özellikle Pedersen katsayısının büyük olması büyük oranda bu katsayının yerin manyetik alanına bağlı olmasından kaynaklanabilir [22].



Şekil.2. Difüzyon katsayılarının yerel zamanla değişimi.

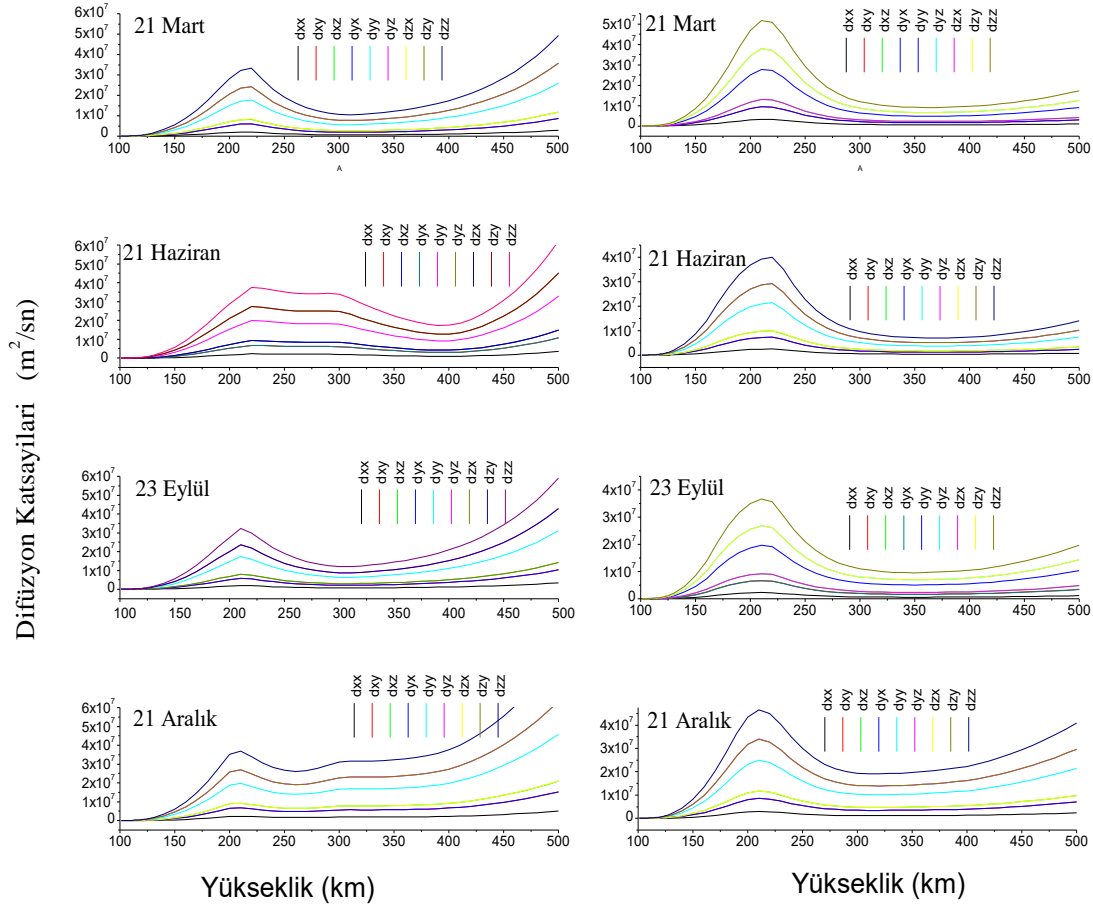
Şekil 3 de difüzyon katsayıların saat 12:00 (şekilde sol sütun) ve 24:00 YZ (şekilde sağ sütun) için mevsimsel değişimleri verilmiştir. Buna göre her mevsim için değişimler benzerdir. Bütün mevsimlerde difüzyon katsayıların büyüklükleri saat 12:00 YZ da saat 24:00 YZ dan daha büyüktür. Her mevsim için kabul edilen şartlarda; bütün difüzyon katsayıları 220 km civarında maksimum olmaktadır. Ayrıca 21 Mart ve 21 Aralık günleri için difüzyon katsayılarının büyüklükleri diğer mevsim değerlerinden daha büyüktür. Burada D_{xx} en küçük değere sahip iken, D_{zz} en büyük değerler almaktadır. Bu durum için; çarpışmanın daha büyük olduğu ve D_{xx} değerinin çarpışmadan veya manyetik alanın o yöndeki bileşeninden dolayı küçüldüğü düşünülmektedir. D_{zz} için tam ters bir durum söz konusudur. Difüzyon katsayılarının büyüklükleri literatür ile uyumludur [19, 23].

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında, 240 km yükseklik için elde edilen difüzyon katsayıları ile F10.7 Güneş akısı arasındaki ilişki korelasyon analizi ile değerlendirildi. Yapılan bu değerlendirmede difüzyon matrisinin katsayılarının her birinin F10.7 Güneş akısı ile korelasyon katsayısı(r) elde edildi. Bu katsayılar aşağıdaki matriste verildi. Matris katsayılarına bakıldığında tüm katsayıların negatif işaretli ve birbirine oldukça yakın değerler aldıkları

görülmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere F10.7 Güneş akısı indisinin artışı difüzyon katsayısında azalmaya sebep olmaktadır. Bunun nedeninin ise F10.7 Güneş akısının artışı ile iyonlaşmanın artacağı dolayısı ile aşırı iyonlaşmış bir ortamda difüzyonun azalabileceği şeklinde olduğu düşünülmektedir.

$$r(D) = \begin{bmatrix} -0.22864(D_{xx}) & -0.22868(D_{yy}) & -0.22866(D_{zz}) \\ -0.22868(D_{yx}) & -0.22864(D_{yy}) & -0.22864(D_{yz}) \\ -0.22862(D_{zx}) & -0.22865(D_{zy}) & -0.22864(D_{zz}) \end{bmatrix}$$

Daha önce iyonküre parametreleri ile F10.7 Güneş akısı indisi arasındaki ilişkilerde Özgüç ve diğ.[15] Rome ve Slough için F10.7 Güneş akısı ile foF2 arasında $r=0.99$, Kutiev ve diğ. [24] F10.7 Güneş akısı ile TEC arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu yönüyle incelendiğinde bu çalışmanın sonucunda elde edilen ilişki katsayısının daha önceki çalışmalara göre düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ise aşırı iyonlaşmadan kaynaklı elektronların mobilitesinin ve başka bir iyon ile çarpışma ihtimalinin yüksek olması difüzyon katsayılarının büyüklüklerinin azalmasına neden olabileceği, olası bir sebep olabilir. Gelecekte elektron mobilitesi ve iyon çarpışmaları da dahil edilerek daha net sonuçlar elde edilebilir.



Şekil.3. Difüzyon katsayılarının yükseklikle mevsimsel değişimi.

4. Sonuç

Bu çalışmada kuzey yarımkürede bulunan Ankara/Türkiye iyonküresi için, Dünya'nın gerçek manyetik alanı kullanılarak difüzyon katsayılarının, yükseklik, mevsimsel ve gündüz şeklinde değişimleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda söylenebilir ki,

- Ankara için F2 bölgesinde difüzyon katsayılarının maksimum olduğu tepe yüksekliği yaklaşık olarak kabul edilen şartlarda 220- 240 km arasında değişmektedir (Şekil.3).
- 21 Mart- 21 Aralık de difüzyon katsayıları diğer mevsimlerden daha büyüktür.
- Difüzyon katsayıları matris elamanlarından D_{xx} en küçük, D_{zz} en büyük değeri almaktadır.
- Ekinoks ayları için difüzyon katsayılarının günlük değişimlerindeki maksimum değer

ile minimum değer arasındaki fark, gün dönümlerindekinden daha büyüktür.

- Bütün mevsimlerde difüzyon katsayıların büyüklüklerinin 12:00 YZ daki değerleri 24:00 YZ dakilerden daha büyüktür.
- F10.7 solar indisi ile Denklem 3 te elektron için verilen 240 km yükseklik için difüzyon matrisinin tüm elamanları arasında yaklaşık aynı oranda negatif bir ilişki hesaplanmıştır.

Difüzyon katsayısının gece değerlerinin gündüzden büyük çıkması ve F10.7 ile negatif ilişki olması, Güneşin etkin olduğu durumlarda iyonkürede artacağı düşünülen iyonlaşmadan ötürü, tıpkı kalabalık bir sokakta yürüyüşteki zorluk ve yavaşlamada olduğu gibi, difüzyonun azalmasına sebep olabileceği şekilde düşünülmektedir. Bunun yanı sıra özellikle Türkiye iyonküresi için daha net sonuçlar alabilmek ve yorumlar yapabilmek için

ionosonda ağının kurularak geliştirilmesi gerekmektedir.

5. Kaynaklar

1. Atıcı, R., Güzel, E., Canyılmaz, M. and Sağır, S. (2016). The effect of lightning-induced electromagnetic waves on the electron temperatures in the lower ionosphere. *Kuwait J.of Sci.*, **43**, 143-9.
2. Atıcı, R. and Sagir, S. (2016). The Effect on Sporadic-E of Quasi-Biennial Oscillation. *J.Physi. Sci. App.*, **6(2)**, 10-17.
3. Aydogdu, M. and Ozcan, O. (1996). Effect of magnetic declination on refractive index and wave polarization coefficients of electromagnetic wave in mid-latitude ionosphere. *Indian Journal of radio & space science* **25**, 263-70.
4. Baldwin, M., Gray L., Dunkerton T., Hamilton K., Haynes P., Randel W., Holton J., Alexander M., Hirota I., Horinouchi T. (2001). The quasi-biennial oscillation. *Rev. Geophys.* **39(2)**, 179-229.
5. Lastovicka J., Akmaev R.A., Beig G., Bremer J., Emmert J.T., (2006). Global change in the upper atmosphere. *Science*, **314(5803)**, 1253–1254. doi: 10.1126/science.1135134
6. Schunk, R., & Nagy, A. (2009). *Ionospheres: physics, plasma physics, and chemistry*. Cambridge university press.
7. Rishbeth, H. and Garriot, O. K. (1969). *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Pres, New York, 175-186s.
8. Rishbeth, H. (1973). Physics and chemistry of the ionosphere. *Contemporary Physics*, **14**, 229, 240. doi:10.1080/00107517308210752
9. Yesil A.,Sagir, S., Ozcan, O., 2009. Comparison of maximum electron density predicted by IRI-2001 with that measured over Chilton station. *E-Journal of New World Sci. Acad.* **4(3)**, 92-99.
10. Tang, W., Xue, X. H., Lei, J., & Dou, X. K. (2014). Ionospheric quasi-biennial oscillation in global TEC observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **107**, 36-41. doi: 10.1016/j.jastp.2013.11.002
11. Yiğit, E., Knížová, P. K., Georgieva, K., & Ward, W. (2016). A review of vertical coupling in the Atmosphere–Ionosphere system: Effects of waves, sudden stratospheric warmings, space weather, and of solar activity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **141**, 1-12. doi: /10.1016/j.jastp.2016.02.011
12. Yiğit, E.and Medvedev, A. S. (2015). Internal wave coupling processes in Earth's atmosphere. *Advances in Space Research*, **55(4)**, 983-1003.doi: 10.1016/j.asr.2014.11.020
13. Sagir, S., Atıcı, R., Ozcan, O., Yüksel, N. (2015). The effect of the stratospheric QBO on the neutral density of the D region. *Ann.Geophys.*, **58(3)**, A0331. doi:10.4401/ag-6491
14. Sagir, S., Karatay, S., Atıcı, R., Yesil, A., & Ozcan, O. (2015). The relationship between the Quasi Biennial Oscillation and Sunspot Number. *Advances in Space Research*, **55(1)**, 106-112.doi: 10.1016/j.asr.2014.09.035
15. Özgüç, A., Ataç, T. and Pektaş, R. (2008). Examination of the solar cycle variation of foF2 for cycles 22 and 23. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **70(2)**, 268-276.
16. Bhawre, P., Kishore, K., Dogra, S.K., et al. Characteristic of Ionospheric foF2 and Solar Indices during the 23rd Solar Cycle over High Latitude Station, Syowa, Antarctica. *American Journal of Climate Change* **4**, 408, 2015.
17. Elias, A. G., 2014: Filtering ionosphere parameters to detect trends linked to anthropogenic effects. *Earth, Planets and Space*, **66(1)**, 113. Doi: 1186/1880-5981-66-113
18. Bittencourt, J. A. (2013). *Fundamentals of plasma physics*. Springer Science & Business Media. New York
19. Sagir, S., Yesil, A., Sanac, G., & Unal, I. (2014). The characterization of diffusion tensor for mid-latitude ionospheric plasma. *Annals of Geophysics*, **57(2)**, A0216.
20. Aydoğdu, M., Yeşil, A. and Güzel, E. (2004). The group refractive indices of HF waves in the ionosphere and departure from the magnitude without collisions. *Journal Of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **66(5)**, 343-348.
21. Aydogdu, M. and Ozcan, O., (2001). The possible effects of the magnetic declination on the wave polarization coefficients at the cutoff point. *Progress in Electromagnetic Research, PIER* **30**, 179–190.
22. Yeşil, A., Sağır, S., and Kurt, K. (2016). The Behavior of the Classical Diffusion Tensor for Equatorial Ionospheric Plasma. *Journal of Science*, **13**, 123.
23. Blaunstein, N., and Plohotniuc, E. (2008). *Ionosphere and applied aspects of radio communication and radar*. CRC Press.
24. Kutiev, I., Tsagouri, I., Perrone, L., Pancheva, D., Mukhtarov, P., Mikhailov, A. and Andonov, B. (2013). Solar activity impact on the Earth's upper atmosphere. *Journal of Space Weather and Space Climate*, **3**,A06.