

## F2 Bölgesinde Sönüm Katsayılarının Karesinin (F2) Büyüklüğünün Düşük Enlemlerdeki Davranışının İncelenmesi

Kadri KURT<sup>1\*</sup>, Vahdettin KOÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Firat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ, Turkey  
<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Adıyaman, Turkey  
<sup>\*1</sup> kadrikurt@hotmail.com, <sup>2</sup> vkocum@hotmail.com

(Geliş/Received: 27/12/2020;

Kabul/Accepted: 23/02/2021)

**Öz:** Bu çalışmanın amacı kabul edilen şartlar için belli bir frekansta yerden atmosfere dik gönderilen bir radyo dalgasının ne kadar enerji kaybettiğini araştırmaktır. Bu makalede, iyonkürenin F2 bölgesinde bazı kritik yükseklikler (390, 410, 450, 500, 550 ve 600 km) ve düşük enlemler için iyonküre plazmasında meydana gelen (ordinari, ekstraordinari ve kutuplanmış) dalgaların sönüm katsayılarının karelerinin büyüklükleri teorik olarak hesaplanmıştır. Ordinari ve ekstraordinari dalganın sönüm katsayılarının büyüklüğünün kareleri kabul edilen şartlar için elektron yoğunluğunun enlemlerle değişimi ile benzerlik göstermekte, kutuplanmış dalga ise farklı bir davranış sergilemektedir. Bu durum kutuplanmış dalganın çarpıcı bir şekilde manyetik alana bağımlılığının bir sonucu olabilir. Bunun yanında kutuplanmış dalganın sönüm katsayısının karesinin diğerlerinden daha büyük olduğundan göz önünde bulundurulmuş şartlar için daha fazla sönüme uğradığı söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** İyonküre, Sönüm Katsayıları, Ekvatorial Anomali.

### Investigation of the Behavior of the Magnitude of the Square of the Absorbtion Coefficients in the F2 Region at Low Latitudes

**Abstract:** The aim of this study is to investigate how much energy a radio wave, sent perpendicular to the atmosphere at a certain frequency, loses for accepted conditions. This article is theoretically calculated for the magnitude of the squares of the absorbing coefficients of waves (ordinary, extraordinary and polarized) waves that occur only in the ionospheric plasma for some critical heights (390, 410, 450, 500, 550 and 600 km) in the F2 region of the ionosphere and low latitudes. The squares of the magnitude coefficients of the ordinary and extraordinary wave are similar to the latitude variation of the electron density for the accepted conditions, and the polarized wave behaves differently. This may sharply be the result of the polarized wave of dramatically dependence on the magnetic field. On the other hand, it can be said that the damping coefficient of the polarized wave is greater than the squared damping for the conditions considered.

**Key words:** Ionosphere, The Coffecients of Absorbtion, Equatorial Anomaly

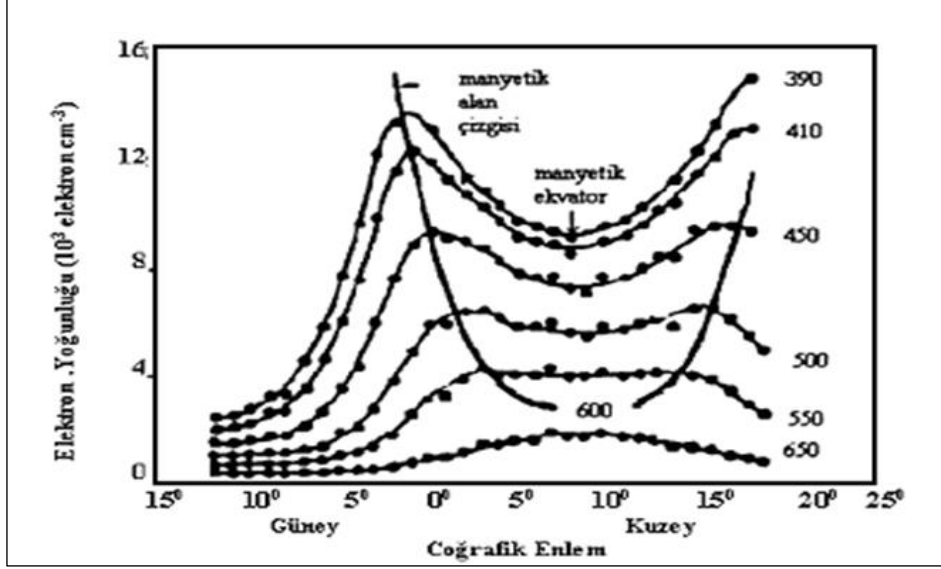
#### 1. Giriş

İyonküreyi karakterize eden ve ana omurgası olan elektron yoğunluğu; Güneş aktivitesi, jeomanyetik aktivite, coğrafik konum, yerel zaman ve mevsimler gibi parametrelere bağlıdır [1-10]. İyonküreden dalgaların yansımaları, ortamın kırılma indisi, dalganın frekansı ve iyonkürenin içindeki yüklü parçacıkların titreşim frekansları ile ilgilidir. İyonküreden yansıyan en yüksek dalga frekansı, kritik frekans olarak adlandırılır. İyonküre gündüz çok kayıplı bir ortam ve gece az kayıplı bir ortam gibi davranır. Bu durum, orta ve uzun dalga yayılımında farklar meydana getirerek dalgaların sönmesine neden olur [11-21].

İyonkürenin elektron yoğunluğu bakımından en zengin bölgesi olan F katmanı anomaliler, mevsimsel anomali ve yarıyıllık-yıllık değişimler, gece F2-bölgesi, ekvator anomalisi olarak farklı zaman ve coğrafik konumlar altında farklı davranışlar sergiler. Öğle saatlerinde  $N_mF_2$  (F2 bölgesinde maksimum elektron yoğunluğu) değerindeki mevsimsel değişime ait birçok anomali kaydedilmiştir. Gözlemler sonucunda  $N_mF_2$ 'nin kış değerlerinin yaz değerlerinden öğle saatlerinde çok daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu durum, iyon ve elektron üretiminin kışın çok küçük olmasının beklenmesine ters bir durumdur. Bu duruma genellikle "mevsimsel anomali" veya "kış anomalisi" denilmektedir. İyonkürede  $N_mF_2$ 'nin yıllık değişimi incelendiğinde elektron yoğunluğunun Aralık ayında Haziran ayındakinden %20 daha fazla olduğu ölçülmüştür. Güneş, Yer mesafesinin değişiminden

\* Sorumlu yazar: [kadrikurt@hotmail.com](mailto:kadrikurt@hotmail.com); <sup>1</sup> Orcid ID: 0000-0002-6507-8234, <sup>2</sup> Orcid ID: 0000-0001-9510-8302

dolayı Ocak ayında en büyüktür. Buna da “yıllık anomali” denir [7-10]. Düşük enlemlerdeki F2 bölgesinin davranışı farklıdır. Bazı zamanlarda elektron yoğunluğu, gece yarısı öğle saatlerinden daha büyük olmaktadır. Burada düşey yönde oluşan difüzyon ihmal edilebilir. Çünkü iyonlaşma, yerin manyetik alan çizgilerinin bir tarafından öbür tarafına doğru dağılmaz, alan çizgileri boyunca dağılır. Bu dağılım iyonlaşmanın enlemsel dağılımına etki edebilir. Bunun yanı sıra elektromanyetik sürüklenmede elektron yoğunluğunun günlük değişimine büyük ölçüde etki eder [11-21, 7-10]



Şekil 1. Kuzey ve güney yarımkürelerde ekvatorial çukur ve tepeler [7, 10].

Şekil 1’den de görüleceği gibi, enlemin bir fonksiyonu olarak  $N_m F2'$ ’nin gece saatlerindeki değerleri, kuzey ve güney yarımkürelerde  $15^\circ$ -  $20^\circ$  enlemlerde “tepelere” birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş “çukur” denilen bir durum sergiler. Elektromanyetik sürüklenme ( $\perp \mathbf{B}$ ) ve difüzyon ( $\parallel \mathbf{B}$ ) birleşerek plazma hareketinde “fiskiye” gibi yukarı doğru artmaya neden olur. Böylece anomali tepeleri ekvator üzerinde yüksek bölgelerden difüzyon yoluyla beslenir. Burada üretim oranı çok düşüktür. Fakat plazma, üretim oranının daha büyük olduğu F2- tepesi civarında daha düşük seviyelerden çekilir [17-21].

Şimdiye kadar bir çok araştırmacı elektromanyetik dalga-küresel plazma karşılıklı etkileşimi hakkında teorik ve deneysel çalışmalar yapmıştır [13-22]. Ancak bu çalışmaların çoğunda genelde deneysel olanlar modelleme; teorik olanlar da ortam hakkında bilgi sahibi olmak için ortamı karakterize eden iletkenlik, kırılma indisi ve ortamın dielektrik yapısı kompleksidir. Çoğu çalışmada bu kompleks yapının reel kısmı göz önünde bulundurulmuştur [1-22]. Genelde ortamdaki çarpışmalar (elektron-elektron, elektron-iyon, iyon-iyon) ihmal edilmiştir. Bu çalışmada çarpışmaları ihmal etmeyerek plazma içinde meydana gelen dalgaların sönüm katsayılarının büyüklüğünün karesini ( $\beta^2$ ) düşük enlemlerde ( $-30^\circ$ ;  $30^\circ$ ) F2 bölgesinin kritik yüksekliklerinde (390, 410, 450, 500, 550 ve 600 km) yerel zaman 12.00 YZ için; ekinoks günleri için çalışılmıştır. Bu şartları çalışmanın temel amacı, Şekil 1’de meydana gelen ekvator çukuru bölgesinde, bu dalgaların sönüm katsayılarının karelerinin büyüklüklerinin davranışı nasıldır? Sorusunun cevabının bazı koşullarda teorik model kullanarak vermeye çalışmaktır.

### 1.1. Plazmanın Kırılma İndisi

İyonküre plazmasının elektrik iletkenliği ve kırılma indisi elektronun çarpışma frekansını ve dalga frekansına bağlıdır. Çarpışma frekansı, dalganın yansımaları ve kırılma şartlarını değiştirmektedir. Plazmada termik hareketler göz önüne alınmazsa bu durum soğuk plazmayı tanımlar [6-10, 14-16, 19-20].

İlgili literatürden de yararlanılarak yukarıda değinilen durumların göz önüne alınmasıyla elde edilen soğuk plazmaya ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir.

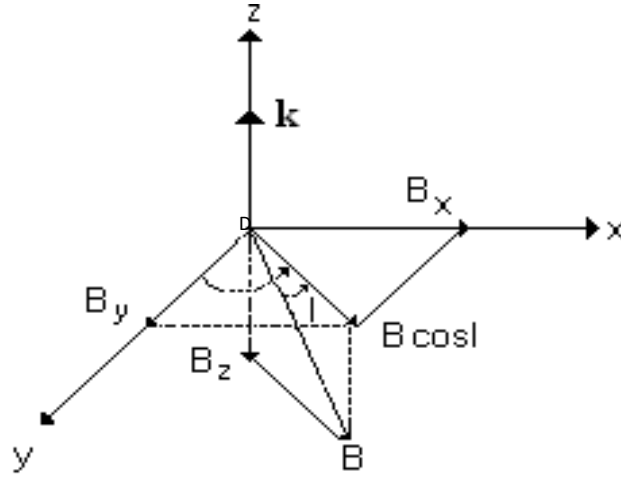
## 1.2. Dalga Denklemleri

Kütlesi  $m$ , hızı  $\mathbf{V}$  olan bir elektronun üzerine etki eden kuvvet,

$$m \frac{d\mathbf{V}}{dt} = -e[\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B}] - m\nu \mathbf{V} \quad (1)$$

dır. Hız ve alanların  $e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$  şeklinde değiştiği kabul edilecektir. Bu çalışmada, kuzey yarım kürede dalga  $z$  doğrultusunda ilerlemektedir [6-10]. Yerin manyetik alanı,

$$\mathbf{B} = B_x \mathbf{a}_x + B_y \mathbf{a}_y + B_z \mathbf{a}_z \quad (2)$$



Şekil 2. Dünyanın manyetik alanının geometrisi

Burada,  $B_x = B \cos I \sin D$ ,  $B_y = B \cos I \cos D$  ve  $B_z = -B \sin I$  dir.  $I$  manyetik dip ve  $D$  manyetik deklinasyon açısıdır. Bu çalışmada kullanılacak diğer rotasyonlar şu şekildedir. (2) denklemi, akım yoğunluğu, Maxwell denklemlerin ikinci ve üçüncü denklemleri beraber ifadesi ortamın iletkenliğine bağlı olarak kırılma indisi tensörü;

$$\begin{bmatrix} n^2 - 1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xx} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xy} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xz} \\ -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yx} & n^2 - 1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yy} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yz} \\ -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zx} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zy} & -1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

şeklinde bir matrise dönüşür. Bu matris dalganın ilerlemesiyle ilgili bilgileri içermektedir. Bunun çözümü kırılma indisini verir [7-10].

Düşey iyon sondalarda olduğu gibi, dalga z doğrultusunda (Şekil 2.,  $\mathbf{k}/\mathbf{B}$ ) ilerlemektedir. Bu nedenle, Yer in manyetik alanının düşey bileşeni dalganın ilerlemesine etki eder. Bu şartlarda bağıntı 3'ün determinantının çözümünden,

$$a) \omega_p^2 = \omega^2 U \quad \text{Plazma titreşimidir} \quad (4)$$

$$b) n_k^2 = 1 - \frac{X(1 \mp Yz)}{(1 \mp Yz)^2 + Z^2} + iZ \frac{X}{(1 \mp Yz)^2 + Z^2} \quad (5)$$

olarak bulunur. Bunlar sağa (-) ve sola (+) kutuplanmış iki dalgadır. Aynı zamanda Yer'in manyetik alanının  $B_y$  bileşeni, y doğrultusunda da dalga meydana getirir. Bu ise,

$$a) n_0^2 = 1 - \frac{X}{1 + Z^2} + iZ \frac{X}{1 + Z^2} \quad (6)$$

ordinari dalgadır. Bu dalga Yer in manyetik alanına bağlı değildir. Diğeri ise,

$$b) n_{ex}^2 = 1 - \frac{aX(1 - X) + Z^2X(2 - X)}{a^2 + b^2} + iZ \frac{X(1 - X)(2 - X) - aX}{a^2 + b^2} \quad (7)$$

extraordinari dalgadır ve X, Yz manyeto-iyonik parametrelerdir. Burada  $a = 1 - x - Yy^2 - Z^2$  ve  $b = z(2 - x)$  'dir. Bağıntı (7) ile verilen dalga aynı zamanda x doğrultusunda da görülmektedir. Sadece a ve b içindeki  $Y_y$ ,  $Y_x$  olacaktır. Çarpışmalar göz önüne alındığında, kırılma indislerinin kareleri (5 - 7) kompleks bir ifadedir [6-10].

Eğer kırılma indisi  $n^2 = (\alpha + i\beta)^2 = M + iN$  şeklinde yazılırsa reel ve sanal kısımları,

$$\alpha^2 = \frac{1}{2} \left[ \left( M^2 + N^2 \right)^{1/2} + M \right] \quad (8)$$

$$\beta^2 = \frac{1}{2} \left[ \left( M^2 + N^2 \right)^{1/2} - M \right] \quad (9)$$

olmaktadır [4-6, 9-10, 18-22].

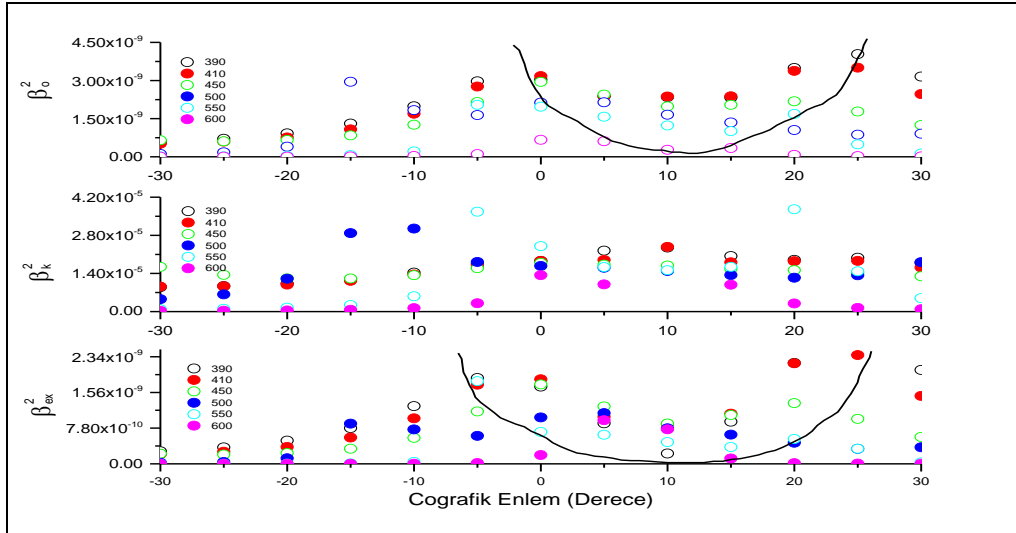
Yüklü parçacıkların diğer parçacıklarla çarpışması, kırılma indisinin reel ( $\alpha$ ) ve sanal ( $\beta$ ) kısımları üzerine etki etmektedir. Dalganın sönüme uğraması  $\beta$  ile temsil edilmektedir [7-10]. Elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşeni  $E = E_0 e^{i(k \cdot r - \omega t)}$  ile temsil edilir ve bir ortamda ilerlerken ortam homojen değilse maddenin her durumu için geçerli (katı,sıvı, gaz ve plazma) hem dalga vektörü  $\mathbf{k}$  hem reel hem de sanal kısma sahiptir ( $k = \alpha + i\beta$ ). Dalga herhangi bir ortama girdiğinde iki durum gerçekleşebilir. Bunlardan ilki, dalga ortama enerji vererek ortamda bulunan parçacıkların enerjileri artırır (dalga-ortam etkileşmesi) ya da ortamdaki parçacıklar dalgaya enerji aktarabilir (ortam-dalga etkileşmesi). Dalga ortama enerji aktardığında dalganın genliğinde azalma olur tersinde

ise artış meydana gelir eğer bu durum bir metalde meydana gelirse; metaldeki atomların titreşim enerjileri, yüklü parçacıkların kinetik enerjilerin artmasına ve parçacıkların ısı enerjilerinin artışına neden olarak ortamın sıcaklığının artması ile sonuçlanır [1-22]. Yüksek frekanslı dalgalarda (HF),  $Z \ll 1$  olmaktadır. Bu nedenle,  $(1 + Z^2)^{-1} \approx 1 - Z^2$  şeklinde açılabilir. Kutuplanmış (5), ordinari (6) ve ekstraordinari (7) dalgalara ait kırılma indislerinin reel kısımları ve faz hızları bu açılım kullanılarak hesaplanmıştır. Eğer (**kLB**) ise, burada manyetik alandan bağımsız ordinari ve manyetik alana bağımlı ekstraordinari dalgalar oluşmaktadır. (**k/B**) durumunda da z yönünde kutuplanmış veya boyuna dalgalar meydana gelir, x ve y'de ekstraordinari dalgalar oluşur [21, 23].

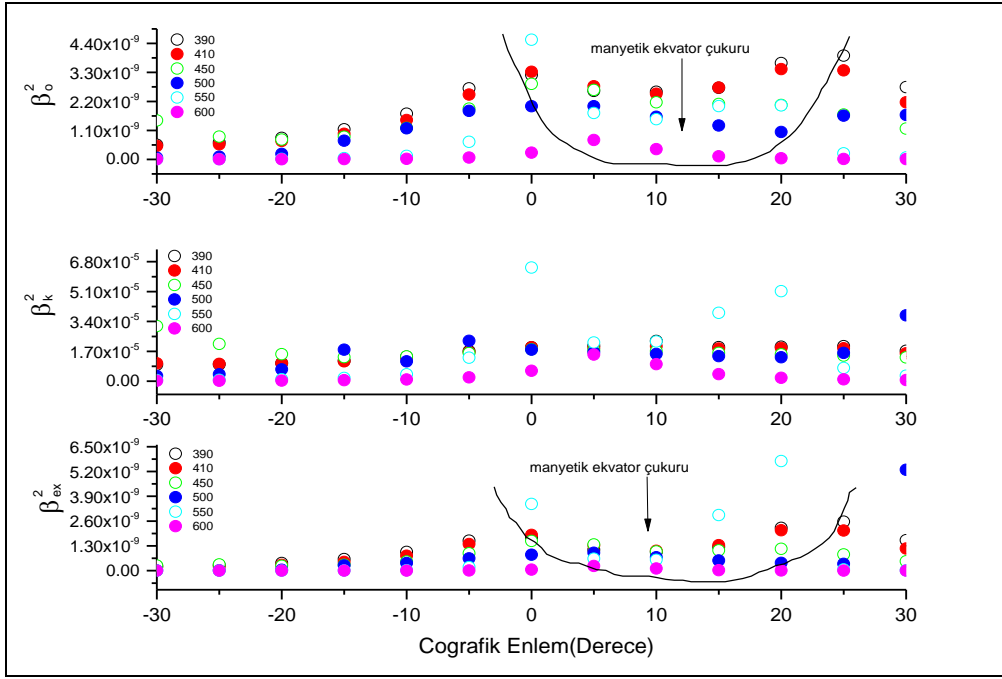
## 2. Bulgular ve Tartışma

### 2.1. Nümerik Analiz ve Tartışma

Bu çalışmada çarpışmaları ihmal edilmeyerek plazma içinde meydana gelen dalgaların sönüm katsayıları ( $\beta$ ) düşük enlemlerde ( $-30^\circ; 30^\circ$ ) F2 bölgesinin kritik yüksekliklerinde (390, 410, 450, 500, 550 ve 600 km) yerel zaman 12.00 YZ Kabul edilerek ekinoks (gün-tün eşitliği) günleri için çalışıldı. Şekil 3'te saat 12.00 YZ için göz önünde bulundurulmuş şartlar için düşük enlemlerde dalgaların sönüm katsayılarının kareleri ( $\beta^2$ ) 21 Mart için verilmiştir. Buna göre bütün dalgaların sönüm katsayılarının kareleri kabul edilen şartlar için eğilim olarak birbirine benzerdir. Büyüklük olarak bir sıralama yapılırsa ( $\beta_k^2 > \beta_0^2 > \beta_{ex}^2$ ) yapılabilir. Aldığı değerler literatürde daha önceden yapılmış sönüm katsayıların değerleri ile uygunluk göstermektedir. Ancak Şekil 1'de verilen elektron yoğunluğunun enlemle ( $N_m F2$ ) değişimi göz önünde bulundurulmuş şartlar için; ordinari ve ekstraordinari dalgaların sönüm katsayılarının kareleri çarpıcı bir benzerlik göstermektedir. Yani Şekil 1'e göre  $N_m F2 0^0$  ve  $15^0$  de pik değerlerine ulaşmakta hemen hemen aynı enlemlerde de ordinari ve ekstraordinari dalgalar da maksimum değer almakta ve bu iki enlem arasında Şekil 1'e benzer çukur (manyetik ekvator çukuru) oluşturmaktadır. Fakat aynı şartlar için kutuplanmış dalganın davranışı hakkında aynı şeyleri söylemek mümkün değildir. Bu dalganın sönüm katsayıları daha büyük maksimumları olduğu enlemler sola doğru yani güneye doğru yaklaşık olarak  $5^0$  kaydığı gözlenmektedir. Şekil 4'te dalgalarının sönüm katsayılarının kareleri 23 Eylül ve saat 12.00 YZ için incelenmiştir. Buna göre Şekil 3'e kıyasla benzerlik göstermesine rağmen daha küçük değerler almaktadır. Büyüklükleri sırasıyla ( $\beta_k^2 > \beta_0^2 > \beta_{ex}^2$ ) olduğu gözlenmektedir. Şekil 3'teki gibi aynı enlemlerde ordinari ve ekstraordinari dalgalar tepeler ve çukur oluşturmaktadır.



Şekil 3. Dalgaların sönüm katsayılarının düşük enlemlerde değişimi (Mart 21, saat 12.00 YZ).



Şekil 4. Dalgaların sönüm katsayılarının düşük enlemlerde değişimi (Eylül 23 saat 12.00 YZ).

Bu çalışmanın amacı, Şekil 1 de verilen ionosferde belirli kritik yüksekliklerde elektron yoğunluğunun düşük enlemlerde coğrafik enlemlerde değişimi ekvatoradan kuzey enlemlere doğru bir çukur meydana getirmektedir. Bu çukur literatürde manyetik ekvator çukuru olarak bilinmektedir. Buna göre bu enlemlerde yerden ekvatora dik gönderilen bir elektromanyetik dalganın kabul edilen şartlarda ve coğrafik koordinatlarda nasıl bir değişim göstermektedir? Bu sorunun cevabı bu çalışmanın amacını yansıtmaktadır. Elde edilen bulgulara göre sönüm katsayılarının değişimi, elektron yoğunluğunu değişimi ile harmoni içindedir.

### 3. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede, ionokürenin F2 bölgesinde bazı kritik yükseklikler için (390, 410, 450, 500, 550 ve 600 km) sadece ionküre plazmasında meydana gelen (ordinari, ekstraordinari ve kutuplanmış) dalgaların sönüm katsayılarının karelerinin büyüklükleri teorik olarak hesaplanmıştır. Bu yüksekliklerde elektron yoğunluğunun tepe yaptığı enlemlerde ordinari ve extra-ordinari dalgada tepe oluşturmuştur fakat kutuplanmış dalga böyle bir davranış göstermemektedir. Ordinari ve extra-ordinari dalga Şekil 2'deki manyetik ekvator çukuru oluşturmuştur. Ordinari dalga manyetik alandan bağımsız fakat kutuplanmış dalgalar ekstraordinari dalgaya kıyasla daha şiddetli bağımlıdır. Bundan dolayı ordinari ve ekstraordinari dalganın sönüm katsayılarının kareleri elektron yoğunluğu değişimi ile uyum göstermekte fakat bu şartlarda kutuplanmış dalga daha fazla sönüme uğradığını söylemek mümkündür.

Bu çalışma, dar bir coğrafik enlemlerde yapıldığı için genele yayılabilir ve çeşitli parametreler hareket denkleminde ilave edilerek( örneğin sıcaklık ve yayılma vektörü  $k$ 'nin üç boyutta alınması gibi) farklı metotlar kullanılarak daha geniş bir taban oluşturulabilir.

### Kaynaklar

- [1] Sagir, S., Atici, R., Akalin, Y., Yesil, A. The assessment in terms of QBO of NeQuick 2 model, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 2019; 22 (1): 67-72.
- [2] Rishbeth, H., How the Thermospheric Circulation Affects the Ionospheric F2-Layer, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 1998; 60: 1385-1402.
- [3] Timocin, E., Unal, I., Yesil, A. The Effect of the Midlatitude Electron Density Trough on the Ionospheric Conductivities, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science 2019; 43 (1): 297-307.
- [4] Yesil, A., Kurt, K. Calculation of electric field strength in the ionospheric F-region, Thermal Science 2019; 22 (Suppl. 1): 159-164.

- [5] Timocin, E., Yesil, A., Unal, I. The effect of the geomagnetic activity to the hourly variations of ionospheric foF2 values at low latitudes, *Arabian Journal of Geosciences* 2014; 7 (10): 4437-4442.
- [6] Unal, I., Senalp, E.T., Yeşil, A., Tulunay, Y., Tulunay, E. Two possible approaches for ionospheric forecasting to be employed along with the IRI model, *URSI General Assembly and Scientific Symposium*. 2011; 1-4.
- [7] Swanson, D.G. *Plasma waves*, Academic Press, New York, 1989.
- [8] Whitten, R.C., Poppoff, I.G. *Fundamentals of Aeoronomy*, John Willey and Sons, New York, 1971.
- [9] Budden, K.G. *The Propagation of Radio Waves*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.
- [10] Budden, K.G., Stott, G.F. Rays in magneto-ionic theory-II, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 1980; 42: 791-800.
- [11] Kurt, K., Yeşil, A., Sagir, S., Atici, R. The relationship of stratospheric QBO with the difference of measured and calculated NmF2, *Acta Geophysica* 2016; 64 (6): 2781-2793.
- [12] Unal, I., Senalp, E.T., Yeşil, A., Tulunay, Y., Tulunay, E. Performance of IRI-based ionospheric critical frequency calculations with reference to forecasting, *Radio Science* 2011; 46 (01): 1-10.
- [13] Yesil, A., Sagir S., Kurt, K. The Behaviour of the Classical Diffusion Tensor for Equatorial Ionospheric Plasma, *Journal of Science* 2016; (13) 123-127.
- [14] Yesil, A., Unal, I. *Electromagnetic Wave Propagation in Ionospheric Plasma, Behaviour of Electromagnetic Waves in Different Media and Structures* 2011; 1-189.
- [15] Yesil, A., Sagir, S. Updating Conductivity Tensor of Cold and Warm Plasma for Equatorial Ionosphere F2-Region in The Northern Hemisphere, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science* 2019; 43 (1): 315-320.
- [16] Sagir, S., Yesil. A. The Relation Between the Refractive Index of the Equatorial Ionospheric F2 Region and Long-Term Solar Indices, *Wireless Personal Communications* 2018; 102 (1): 31-40.
- [17] Yesil, A., Sagir, S., Kurt, K. The Behavior of the Classical Diffusion Tensor for Mid-Latitude Ionospheric Plasma, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2016; 5 (2).
- [18] Sagir, S., Karatay, S., Atici, R., Yesil A., Ozcan, O. The relationship between the Quasi Biennial Oscillation and Sunspot Number, *Advances in Space Research* 2015; 55(1): 106-112.
- [19] Yesil, A. *The Effect of the cold plasma on the propagation of the electromagnetic waves*, Firat University, Elazig, 1995.
- [20] Yesil, A. Unal, İ. *The Electromagnetic waves in the fully ionozed plasma*, Firat University, Elazig, 2002.
- [21] Yesil, A. The Effect of the Electron Temperature on the Electric Polarization Coefficient of Ionospheric Plasma, *International Journal of Science & Technology* 2016; 1 (2): 125-130.
- [22] Kaladze, T., Tsamalashvili, L., Kaladze, D., Ozcan, O., Yesil, A., Inc, M. Modified KdV equation for magnetized Rossby waves in a zonal flow of the ionospheric E-layer, *Physics Letters A* 2019; 383 (32): 125888
- [23] Richard, F. *The Physics of Plasma*, CRC press, New York, 2014.