

Güçlü HF Radyo Dalgalarının Farklı Modlarının Alt İyonküre Elektron Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

R.Atıcı, E. Güzel*, M.Canyılmaz*, S.Sağır

Muş Alparslan Üniversitesi

Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Muş

r.atici@alparslan.edu.tr, s.sagir@alparslan.edu.tr,

*Fırat Üniversitesi

Fen Fakültesi Fizik Bölümü

Elazığ

eguzel@firat.edu.tr, mcanyilmaz@firat.edu.tr,

Özet: Bu çalışmada dikey olarak yayılan ($\mathbf{B} = B_0 \mathbf{a}_z$, $\mathbf{k} = k_z \mathbf{a}_z$) yüksek güçlü HF radyo dalgasının dört farklı dalga modunun elektron sıcaklığı üzerindeki etkisi ideal gaz yaklaşımı kullanılarak elde edilen elektron enerji denge denklemi vasıtasıyla teorik olarak araştırılmıştır. Araştırma sonucunda elektron yoğunluğunun daha az olduğu gün doğumunda maksimum sıcaklık yüksekliği, yoğunluğun arttığı gün ortasına nazaran daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca iyonküre plazması içinde ilerleyen elektromanyetik dalganın tüm modları için elektron sıcaklığındaki maksimum değişim R-modu dalgadan, minimum değişim ise L-modu dalgadan elde edilmiştir. Aynı zamanda kış aylarında yaz aylarındakinden daha yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir.

1. Giriş

Yüksek frekans (HF) bandı 3–30 MHz frekans aralığını kapsar ve iyonküreden yansıyabilecek en yüksek frekans bandıdır. Ayrıca, HF bandındaki radyo dalgaları iyonküreden yansıtılıp dalganın yayılımını ve yansımaları etkileyen faktörler incelenerek iyonkürenin özellikleri araştırılır [1].

Vericiden gönderildikten sonra iyonküreden yansıtılıp alıcıya ulaşana kadar HF dalgası bu bölgede birçok fiziksel olaya maruz kalır. Bunlardan en önemlisi emilimdir. HF radyo dalgası iyonküreden geçerken enerjisinin bir kısmını zayıf bir şekilde iyonlaşmış plazma içindeki serbest halde bulunan elektron ve iyonlara aktarır. Aktarılan bu enerji serbest haldeki elektron ve iyonların ortalama kinetik enerjilerini artırır. Enerjisi artan elektron ve iyonlar düşük enerjili nötr parçacıklar ile çarpışmazlar ise, radyo dalgasının kaybettiği enerjinin büyük bir kısmı elektromanyetik enerjiye dönüşür ve dalganın yoğunluğu çok fazla değişmeden yayılmaya devam eder. Fakat elektron ve iyonlar nötr parçacıklar ile çarpışırlarsa, bu enerjinin büyük bir kısmı kaybedilir ve dalganın enerjisi emilmiş olur [2, 3, 4 ve 5].

Bu çalışmada iyonkürenin en alt kısmı olan D-bölgesi üzerine yoğunlaştık. Bu bölgenin özelliği plazma bileşenleri arasında yüksek bir çarpışma oranının olmasıdır. Isı etkisi, radyo dalgası tarafından hızlandırılan elektronlar ile nötr parçacıklar arasındaki çarpışmalardan dolayı oluşur. Bu çarpışmalar sonucunda radyo dalgasının enerjisinin bir kısmı elektronların termal enerjisine aktarılır. Bu soğurulma ile birlikte dalga zayıflar ve dolayısıyla ısı etkisi genellikle D bölgesinin üstünde çok azdır. D bölgesinin altında ise çarpışma frekansı çok yüksek olduğu için dalga çarpışmalar arasında elektronları hızlandıramaz. D bölgesinin düşük elektron yoğunluğu, yüksek çarpışma frekansı ve karışık iyon kimyasından dolayı radar teknikleri ile incelemek oldukça zordur. Bunun için bilim adamları tarafından yapay ısıtmanın genellikle E veya F bölgelerindeki etkileri araştırılır [6, 7 ve 8]. İkinci bölümde ideal gaz yaklaşımının kullanılması ile elde edilen teorik formülasyon verilmiştir. Üçüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar, tartışma ve öneriler kısmı bulunur.

2. Teorik Arka plan

İdeal gaz yaklaşımı kullanılarak alt iyonosferik plazmanın elektron gazının ısıtılması elektronlar için Maxwellian dağılımı kullanılarak enerji denge denkleminde aşağıdaki gibi elde edilir. [9]:

$$\frac{3}{2} k N_e \frac{dT_e}{dt} = -L + Q \quad (1)$$

Burada k Boltzman sabiti, N_e ortam elektron yoğunluğu, T_e elektron sıcaklığıdır. Q W.K.B. yaklaşımı ile elde edilen HF radyo dalgasından ortam elektronları tarafından emilen enerjidir ve L Rodriguez (1994) ve Schunk ve Nugy (2009) den alınan kayıp oranıdır [10, 11].

HF radyo frekans dalgası iyonküreden geçtiğinde ortam çok kısa bir zaman diliminde eski haline dönmek için tepki gösterdiğinden dolayı elektron enerji dengesi için durum denklemi

$$Q(T_e) - L(T_e) = 0 \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir [2]. Bu denklem verilen N_e , nötr yoğunluklar (N_2, O_2 ve O) ve sıcaklık (T_n) için çözülür. Böylece her bir yükseklikte HF radyo dalgasının farklı modlarının elektron sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiş olur. Daha geniş bilgi için [12] nolu referansa bakınız.

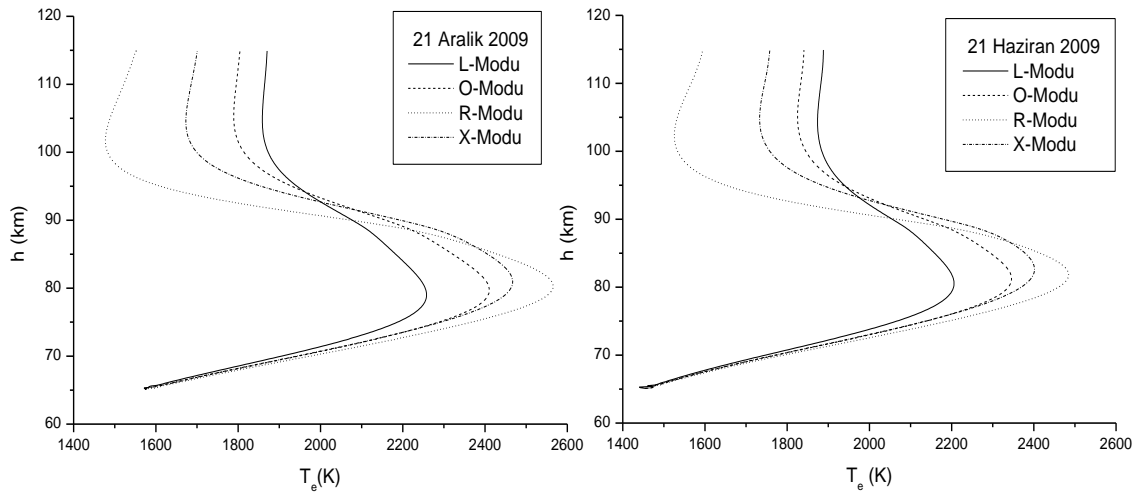
3. Sonuçlar ve Tartışma

Hesaplamalar 2009 yılı gündönümü, 39°41 K enlemi ve 38°14 D boylamı, gündeğümü ve yerel zaman saat 14 için yapılmıştır. Elektron yoğunluğu değerleri IRI-2007 modeli;

http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php web adresinden ve nötr yoğunluk ve nötr sıcaklık değerleri MSISE-90 modeli http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html web adresinden alınmıştır. Vericinin etkin ışıma gücü (ERP) 200 MW, HF radyo dalga frekansı 2.8 MHz, Yer'in manyetik alanının değeri $B_0 = 0.5$ Gauss olarak alınmıştır.

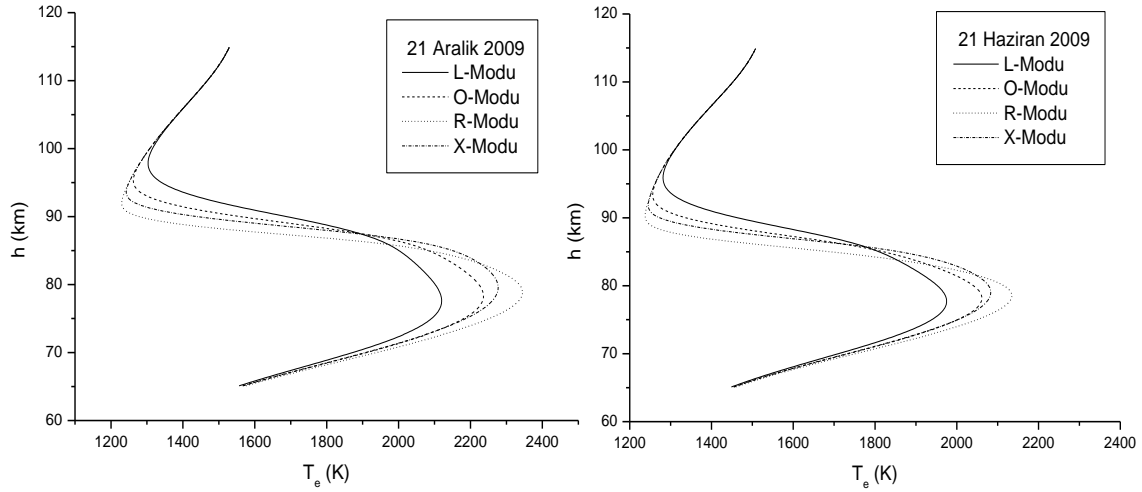
Elektromanyetik dalga iyonküre plazması içine girdiğinde kırılır ve dört farklı moda ayrılır. Bu modlar ortamın manyetik alanına dik olarak yayılan olağan ve olağanüstü elektromanyetik dalga modları ile manyetik alana paralel olarak yayılan sağa ve sola kutuplanmış dalga modlarıdır. Denklem (2) den elde edilen elektron sıcaklığı sonuçları Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de gündönümü zamanlarında (21 Haziran ve Aralık) gün doğumunda farklı dalga modlarının elektron sıcaklığı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere elektron yoğunluğun düşük olduğu gün doğumunda elektron sıcaklığının yükseklik ile artışı elektron yoğunluğuna paraleldir. Maksimum sıcaklığın elde edildiği yükseklikten sonra sıcaklık değişimi lineer olmayan bir şekilde değişmiştir. HF radyo dalga modlarının elektron sıcaklığına katkısı karşılaştırıldığında en büyük katkının sağa (R-modu) kutuplanmış olan dalgadan sağlandığı, en düşük katkının ise sola (L-modu) kutuplanmış dalgadan sağlandığı bulunmuştur. Bu manyetik alanın etkisinin R-modu dalgaının emilim katsayısını arttırmasından ve L-modu dalgaının emilimini azaltmasından dolayıdır.



Şekil 1. Dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modlarının gündeğümü (Haziran YZ 03:52; Aralık YZ 06:34) için elektron sıcaklığı üzerindeki etkisinin yükseklik ile değişimi.

Elektron yoğunluğunun neredeyse maksimum değerine ulaştığı güortası periyodu için elde edilen sonuçlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde alt yüksekliklerde sıcaklık katkısı daha düşük değerlerde iken emilimin fazla olduğu yüksekliğe kadar sıcaklık artmıştır emilimin daha az olduğu daha üst yüksekliklerde sıcaklık katkısında azalma gözlenmiştir. Dalga modları arasında maksimum sıcaklık artışına R-modu dalga sebep olur. En düşük artışa ise L-modu dalga sebep olur.



Şekil 2. Dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modlarının güortası (YZ 14:00) için elektron sıcaklığı üzerindeki etkisinin yükseklik ile değişimi.

Her iki şekil incelendiğinde elektron tarafından HF radyo dalgadan emilen enerjinin maksimum emilim yüksekliğinin elektron yoğunluğu ile ters orantılı olduğunu görülür. Yine her iki durum için kış aylarında yaz aylarındakinden daha yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalar ile uyum içerisindedir [3, 6, 7, 12]. Tüm dalga modları için maksimum emilim yüksekliği yaklaşık 75-85 km arasındadır. Daha önce de ifade edildiği gibi emilim yüksekliği elektron yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Burada kullanılan elektron yoğunluğu profili için HF radyo dalgasının iyonkürenin E-bölgesindeki etkisini araştırmak mümkündür. Burada sunulan çalışma [12] nolu referansta yaptığımız bir önceki çalışmamıza oksijen atomunun dâhil edilerek genişletilmesi şeklindedir. Genişletme sonucunda oksijen atomunun burada kullanılan geometri ve diğer değerler için tüm dalga modları için elektron sıcaklığını neredeyse hiç etkilemediği gözlenmiştir.

İyonkürede iletkenlikteki ve akımdaki değişimden sorumlu olan çarpışma frekansı elektron sıcaklığına orantılı olduğundan dolayı iyonküre üzerinde yapılan gözlemleri açıklamak için elektron sıcaklığındaki değişimi incelemek genel bir yöntemdir. Dolayısıyla gözlemlerin daha doğru bir şekilde yorumlanması için elektron sıcaklığının daha doğru bir şekilde bilinmesi gereklidir. Literatürde yapılan çalışmaların genelinde HF elektromanyetik radyo dalgasının iki modu (olağan ve olağanüstü) ele alınmaktadır. Oysa HF radyo dalgasının diğer iki modunun (sağa ve sola kutuplanmış dalga) da göz önüne alınması gereklidir. Hal böyle olunca, yapılan gözlemlerin doğru bir şekilde yorumlanması için bu çalışmada göz önüne alınan etkiler iyice bilinmelidir.

Kaynaklar

[1]. Ünal, I., Özcan, O., Canyılmaz M., “Ionospheric absorption of HF radio wave in vertical propagation”, Iranian J. of Sci. & Tec. Transac. A, Vol. 31, No. A4, s.413-419, 2007.

[2]. Rietveld, M.T., Kopka, H., and Stubbe, P., “D-region characteristics deduced from pulsed ionospheric heating under auroral electrojet conditions”, J. Atmos. Terr. Phys., 48, s.311–326, 1986.

[3]. Belova, E.G., Pashin, A.B., and Lyatsky, W.B., “Passage of a powerful HF radio wave through the lower ionosphere as a function of initial electron density profiles”, J. Atmos. Terr. Phys., 57, s.265–272, 1995.

- [4]. Taranenko, Y.N., Inan, U.S., Bell, T.F., “VLF-HF heating of the lower ionosphere and ELF wave generation”, *Geophys. Res. Lett.*, Vol:19, No:1, s.61-64, 1992.
- [5]. Barr, R., Stubbe, P., “ELF radiation from the Tromso super heater”, *Geophys. Res. Lett.*, Vol:18, s.1035-1038, 1991.
- [6]. Kero, A., Bösinger, T., Pollari, P., Turunen, E., and Rietveld, M., “First EISCAT measurement of electron-gas temperature in the artificially heated D-region ionosphere”, *Ann. Geophys.*, 18, s.1210– 15, 2000.
- [7]. Kassa, M., Havnes, O., and Belove, E., “The effect of electron bite-outs on artifical electron heating and the PMSE overshoot”, *Ann. Geophys.*, 23, s.3633-3643, 2005.
- [8]. Kosch, M.J., Rietveld, M.T., Hagfors, T., and Leyser, T. B., “Highlatitude HF-induced airglow displaced equatorwards of the pump beam”, *Geophys. Res. Lett.*, 27, s.2817–2820, 2000.
- [9]. Maslin, N.M., “Theory of energy flux and polarization changes of a radio wave with two magnetoionic components undergoing self demodulation in the ionosphere”, *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 341, s.361-381, 1974.
- [10]. Rodriguez, J.V., Modification of the earth’s ionosphere by very low frequency transmitters, Doktora tezi, University of Stanford, Department of Electrical Engineering, California, A.B.D., 1994.
- [11]. Schunk , R. W., ve Nagy, A. F., *Ionospheres-Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, Cambridge University Press, New York, A.B.D., 2009.
- [12]. Güzel, E., Atıcı, R., ve Canyılmaz, M., “Dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modlarının altiyonkürede elektron sıcaklığına etkisi”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(3), s.69-79, 2011.