

İYONKÜRE PLAZMASI İÇİNDE İLERLEYEN (HF) DALGALARIN FAZ VE GRUP HIZLARININ YANSIMA NOKTALARINDA ELEKTRON ÇARPIŞMALARINDAN ETKİLENMESİ

Mehmet AYDOĞDU, Esat GÜZEL, Ali YEŞİL
Fırat Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119 ELAZIĞ
maydogdu@firat.edu.tr, eguzel@firat.edu.tr, ayesil@firat.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, elektronların diğer parçacıklarla çarpışmasının elektromanyetik dalgaların ilerlemesine etkisi araştırılmıştır. Çarpışmaların, $X(=\omega_p^2/\omega^2) < 1$ frekanslarındaki dalgaların kırılma indisinin reel kısmının ve faz hızının karesini, grup kırılma indisini ve grup hızını çarpışmasız haldeki büyüklüklerinden, $Z^2(=v^2/\omega^2)$ ile orantılı olarak saptırdığı görülmektedir. Bu parametrelerin, çarpışmalardan en fazla yansımaya noktası civarında etkilendiği belirlenmiştir.

I. GİRİŞ

Bir dalga hareketinde en önemli özellik, enerjinin taşınması olayıdır. Teorik olarak oldukça karmaşık bir konu olmasına rağmen, ki grup kırılma indislerinin ifadeleri daha da karmaşıktır, ortamın ve dalganın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Elektromanyetik dalgaların iyonküre plazması içinde ilerlemesi bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [1-10]. Ancak, çoğunluğu iyonküre plazmanın özel bir hali olan çarpışmasız halini çalışmışlar ve yüksek frekanslı dalgaların çarpışmalardan etkilenmediğini varsayımlardır. Yer'in manyetik alanını düşey yönde düşünmüşler. Oysa, bu durumlar iyonküre plazması için gerçeği yansıtmamaktadır. Çarpışma frekansı, dalganın yansımaya ve kırılma şartlarını değiştirmektedir. Bu çalışmada, yüksek frekanslı dalgaların ilerlemesine, yansımaya noktalarındaki faz ve grup hızlarına çarpışma frekansının etkisi incelenecektir.

II. DALGA DENKLEMLERİ

Maxwell denklemlerinden,

$$n^2 \mathbf{E} - \mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) = \left[I + \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma \right] \cdot \mathbf{E} \quad (1)$$

dalga denklemi elde edilir. Burada, I birim matris ve σ iletkenlik tensörüdür Bu ifade, dalganın ilerlemesiyle ilgili bilgileri içermektedir. Bunun çözümü kırılma indisini verir. Hız ve alanların $e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$ şeklinde değiştiği kabul edilmiştir. Bu çalışmada, kuzey yarımküre için sırasıyla x, y ve z coğrafik doğuyu, kuzeyi ve yukarıyı göstermektedir. Dalga z doğrultusunda ilerlemektedir. Kuzey Yarımküre için Yer'in manyetik alanı,

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

dır. 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.

III. KIRILMA İNDİSLERİ VE FAZ HIZLARI

Dalga z doğrultusunda ilerlemektedir. Bu nedenle, Yer'in manyetik alanının x, y ve z bileşenleri dalganın ilerlemesine etki etmektedir. Bu şartlarda, Bağıntı (1) çözümlerse, ordinari (O-dalgası), kutuplanmış (K-dalgası) ve ekstraordinari (X-dalgası) dalgalar elde edilir. Bunlar,

1) O-dalgasının kırılma indisinin reel kısmı ve faz hızı $X < 1$ için,

$$\alpha_o^2 = (1-X) + Z^2 \frac{X(4-3X)}{4(1-X)} \quad \text{ve} \quad V_{of}^2 = \frac{c^2}{\alpha_o^2} \quad (3)$$

2) K-dalgasında, $Z' = \frac{Z}{1+Y_z}$ ve $X' = \frac{X}{1+Y_z}$ şeklinde tanımlanırsa, reel kısmı ve faz hızı $X' < 1$ için,

$$\alpha_k^2 = (1-X') + Z'^2 \frac{X'(4-3X')}{4(1-X')} \quad \text{ve} \quad V_{kf}^2 = \frac{c^2}{\alpha_k^2} \quad (4)$$

3) X-dalgasının kırılma indisinin reel kısmı ve faz hızı $X < 1$ için,

$$\alpha_x^2 = \frac{(1-X)^2 - Y_y^2}{1-X-Y_y^2} + Z^2 \frac{X^2 [(1-X)^2 + Y_y^2]^2}{4 [1-X-Y_y^2]^3 [(1-X)^2 - Y_y^2]} \quad \text{ve} \quad V_{xf}^2 = \frac{c^2}{\alpha_x^2} \quad (5)$$

IV. GRUP KIRILMA İNDİSLERİ VE GRUP HIZLARI

Eğer V_g , dalga normaline paralel dalga paketinin hızı ise, grup kırılma indisi μ' ve grup hızları X ve $X' < 1$ için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

1) O-dalgası için

$$\mu'_o \approx (1-X)^{-1/2} + Z^2 \frac{X(-6X^2 + 15X - 12)}{8[1-X]^{5/2}} \quad \text{ve} \quad V_{og} = \frac{c}{\mu'_o} \quad (6)$$

2) K-dalgası için

$$\mu'_k \approx \frac{2(1+Y_z) - X'Y_z}{2[1+Y_z][1-X']^{1/2}} + Z'^2 \frac{X'[-24 + 30X' - 12X'^2] - X'Y_z[6X' - 3X'^2]}{16[1+Y_z][1-X']^{5/2}} \quad \text{ve} \quad V_{kg} = \frac{c}{\mu'_k} \quad (7)$$

3) X-dalgası için

$$\mu'_x \approx \frac{(1-X)^2 + Y_y^2 [Y_y^2 + 3X - 2]}{[(1-X)^2 - Y_y^2]^{1/2} [1-X-Y_y^2]^{3/2}} + Z^2 \frac{X^2 [(1-X)^2 + Y_y^2] [4X - 1 - 3X^2 - 2Y_y^2]}{[(1-X)^2 - Y_y^2]^{3/2} [1-X-Y_y^2]^{5/2}} \quad \text{ve} \quad V_{xg} = \frac{c}{\mu'_x} \quad (8)$$

V. BULGULAR VE TARTIŞMA

Makaledeki hesaplamalar, ($30^\circ D$, $40^\circ K$, $I = 55^\circ$, $d = 3^\circ D$) koordinatı, 21 Haziran ve saat 1200 YZ (yerel zaman) için yapılmıştır. İyonküre parametreleri IRI kullanılarak elde edilmiştir. Düşey yönde ilerleyen dalganın 125 km

den başlayarak, $h_m F_2$ yüksekliğine kadar ilerlemesi incelenmiştir. $X < 1$ şartının sağlanması için, dalganın frekansı $h_m F_2$ yüksekliğindeki plazma frekansına eşit alınmıştır. Bu ise $\omega = 37.722927 \times 10^6$ rad/sn dir. Hesaplamalarda kullanılan diğer parametreler şöyledir: $B = 0.441$ Gauss, $R = 10$, $\omega_c = 7.76 \times 10^6$ rad/sn, $Y = 0.206$, $Y_y = 0.118$ ve $Y_z = 0.168$ dir. Bağıntılar (3-8) ilk terimleri çarpışmasız hallere karşılık gelmektedir. Çarpışmanın etkisini vurgulamak için makalede verilen şekiller, çarpışmalı ve çarpışmasız iyonküre değerlerinin farkları alınarak çizilmiştir. Bütün dalgaların faz ve grup hızları $X=0.4-1.0$ ($h \approx 170-255$ km) arasında çarpışmalardan çok az etkilenmektedir. Çarpışmanın varlığı, hızlar arasındaki farkı X veya $X' \approx 1$ dolayında çok büyütülmüştür. Şekillerde, $X=0.3$ dolayında görülen artışlar Z den kaynaklanmaktadır. İyonkürenin alt bölgelerindeki elektron çarpışma frekansı (ν) üst bölgelere göre daha büyüktür. Şekillerin genel özellikleri şöyledir:

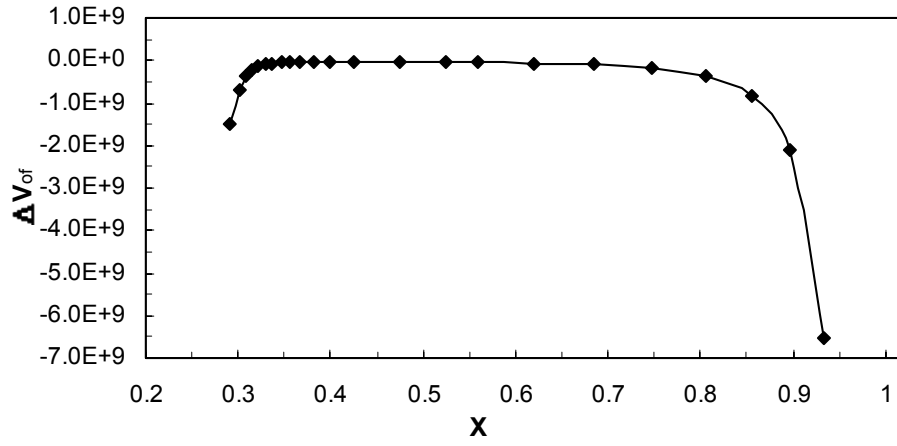
a) O-Dalgası: O-dalgası için elde edilen sonuçlar, Şekil 1 de verilmiştir. O-dalgasının çarpışmalı ortamdaki faz hızı daha küçüktür (Şekil 1a). Çarpışmalı ortamın grup hızı ise daha büyüktür (Şekil 1b). $X=1$ dolayında farklar çok büyüktür.

b) K-Dalgası: Şekil 2 kutuplanmış dalgayla ilgili sonuçları göstermektedir. Bu şekillerin X' ne göre değişimi Şekil 1 de verilen değişimlerle aynıdır. Ancak, $X=1$ de ($h \approx 255$ km) kesilim yada rezonans olan O-dalgasına karşın, kutuplanmış dalgalar $X'=1$ ($X=0.832$, $h \approx 215$ km) de kesilim yada rezonans olmaktadır. Yer'in manyetik alanı dalgayı, yaklaşık 40 km daha erken kesilime (çarpışmasız hali) veya rezonansa (çarpışmalı hali) erişirmektedir.

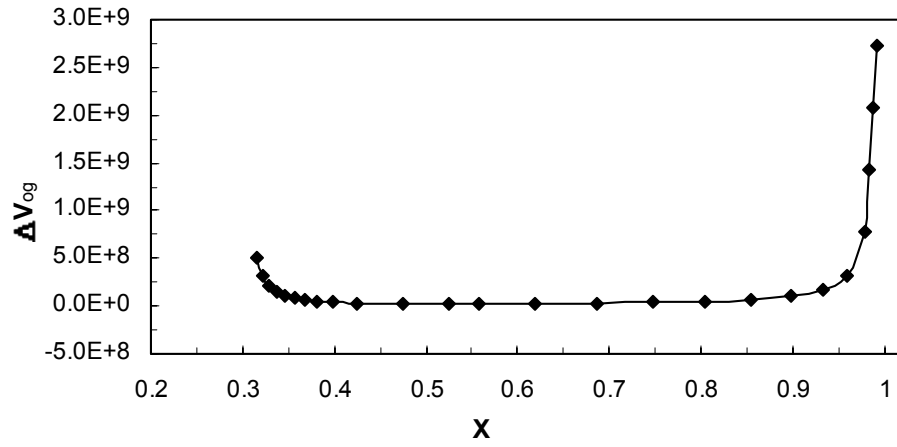
c) X-Dalgası: X-dalgasıyla ilgili sonuçlar Şekil 3 de verilmiştir. Bu dalga çarpışmasız ortamda $X = 1 - Y_y^2$ ($h \approx 240$ km) de rezonans olurken, çarpışmalı iyonkürede buna ilaveten daha erken $X = 1 - Y_y$ ($h \approx 223$ km) yüksekliğinde tekrar rezonans olmaktadır . Aynı yüksekliklerde faz hızının karelerinin farkı da (Şekil 3a) sonsuz olmaktadır. $X=0.34$ ($h \approx 155$ km ve $\omega_p = 22.21 \times 10^6$ rad/sn) de grup hızları eşittir. Bu yüksekliğe kadar çarpışmalı V_g daha büyüktür, bu yükseklikten sonra ise, çarpışmasız V_g daha büyüktür. Dalganın yavaşladığı görülmektedir.

VI. KAYNAKLAR

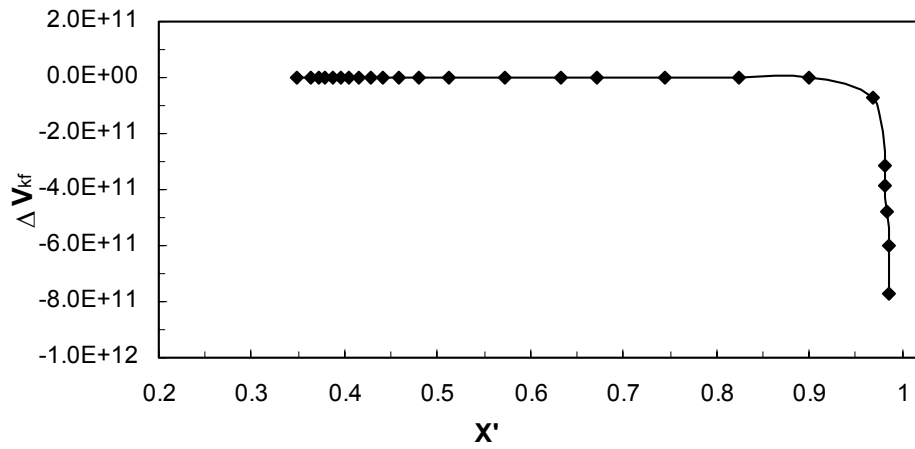
- [1] Ya. L. Al'pert, "The direction of the group velocity of electromagnetic waves in a multicomponent magneto-active plasma in the frequency range $0 < \omega < \infty$ " .J. Atmos and Solar Terr. Phys. Vol. 42, sf. 205-216, 1980.
- [2] M. Aydoğdu., O. Özcan., "Effects of magnetic declination on refractive index and wave polarization coefficients of electromagnetic waves in mid-latitude ionosphere", Indian Journal of Radio and Space Physics, Vol. 25, sf. 263-270, 1996.
- [3] M Aydoğdu., O. Özcan., "The possible effects of the magnetic declination on the wave polarization coefficients at the cutoff point", Progress in Electromagnetic Research, PIER 30, sf. 179-190. Abstract: J. Electromagnetic Waves and App., Vol. 14, sf. 1289-1290, 2000.
- [4] K.G Budden., G.F Stott., " Rays in magneto-ionic theory-II", J Atmos and Solar Terr. Phys. Vol. 42, sf. 791-800, 1980.
- [5] K.G Budden, "The propagation of Radio Waves", Cambridge University Press, sf. 137., 1988.
- [6] T Hagfors. "Electromagnetic wave propagation in a field-aligned-striated cold magnetoplasma with application to the ionosphere", J. Atmos and Solar Terr. Phys. Vol. 46, sf. 211-216, 1984.
- [7] B Lundborg , B Thide, "Standing wave pattern of HF radio waves in the ionospheric reflection regions 2. Applications", Radio Science., Vol. 21, sf. 486-500, 1986.
- [8] J.A. Ratcliffe, "The Magneto-Ionic Theory and its Applications to the Ionosphere", sf. 81,103, Cambridge University Press, 1959.
- [9] D.Y. Zhang, "New method of calculating the transmission and reflection coefficients and fields in a magnetized plasma layer", Radio Science, Vol. 26, sf. 1415-1418, 1991.
- [10] H Rishbeth., O. K Garriott., "Introduction to Ionospheric Physics", Academic Press, New York and London, sf.130, 1969.



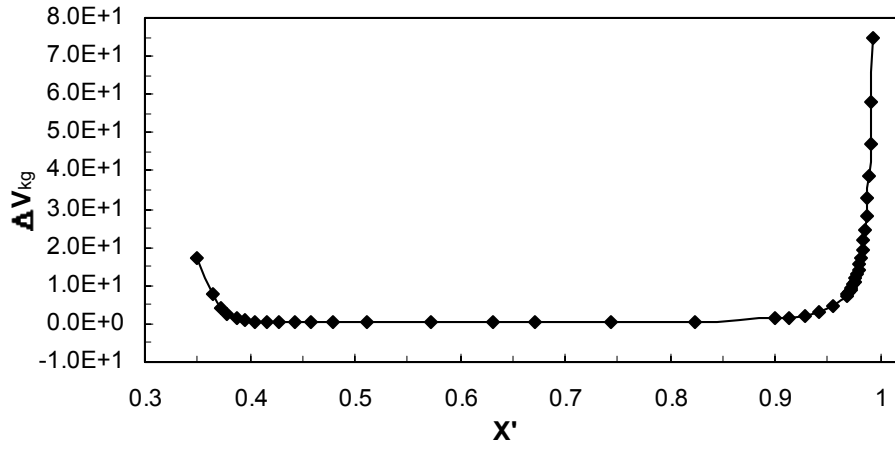
Şekil 1a. O-dalgasının faz hızının karelerinin farkının X ile değişimi [$\Delta V_{of} = V_{of}^2(Z \neq 0) - V_{of}^2(Z=0)$].



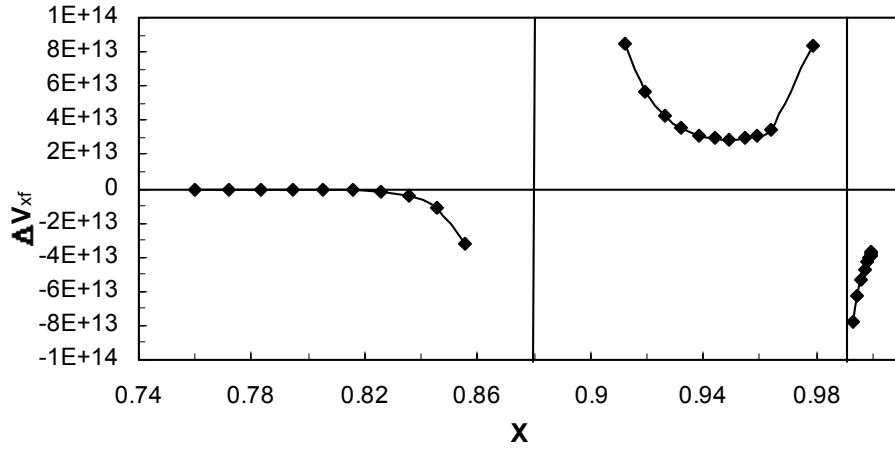
Şekil 1b. O-dalganın grup hızlarının farkının X ile değişimi [$\Delta V_{og} = V_{og}(Z \neq 0) - V_{og}(Z=0)$].



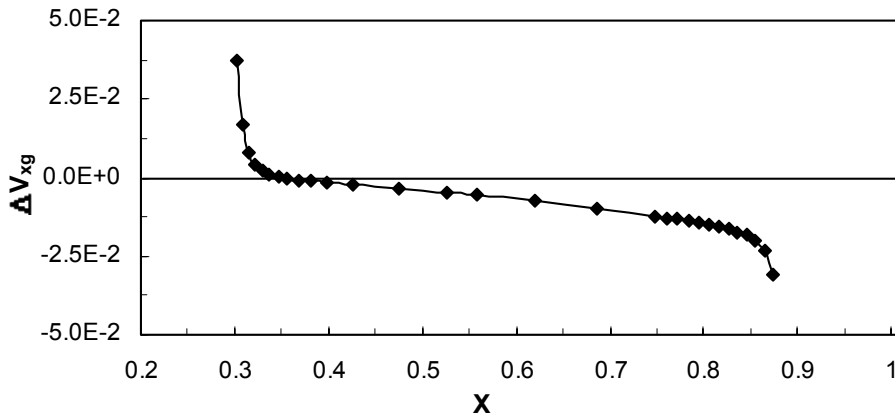
Şekil 2a. K-dalgasının faz hızının karelerinin farkının X' ile değişimi [$\Delta V_{kf} = V_{kf}^2(Z \neq 0) - V_{kf}^2(Z=0)$].



Şekil 2b. K-dalgasının grup hızlarının farkının X' ile değişimi [$\Delta V_{kg} = V_{kg}(Z \neq 0) - V_{kg}(Z=0)$]



Şekil 3a. X-dalgasının faz hızının karelerinin farkının X ile değişimi [$\Delta V_{xf} = V_{xf}^2(Z \neq 0) - V_{xf}^2(Z=0)$].



Şekil 3b. X-dalgasının grup hızlarının farkının X ile değişimi [$\Delta V_{xg} = V_{xg}(Z \neq 0) - V_{xg}(Z=0)$]