

İZOTROPİK OLMAYAN İYONOSFERİK PLAZMADAKİ DİELEKTRİK KAYIPLAR

Ali YEŞİL* & İbrahim ÜNAL**

*Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 23169 Elazığ, Türkiye

**İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü, 44280 Malatya, Türkiye
ayesil@firat.edu.tr, iunal@inonu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, izotropik olmayan iyonosferik plazmanın dielektrik kayıplar araştırıldı. İzotropik olmayan iyonosferik plazmanın dielektrik katsayısı analitik olarak tensör formunda elde edildi. Bu formdan hareketle dielektrik kayıplar tanımlandı. Bu kayıpların sayısal hesaplamaları yapıldı. Yüksekliğe ve frekansa bağlı olarak dielektrik kayıplardaki değişimler incelendi. İncelemeler, dalganın yansıdığı yüksekliklerde dielektrik kayıpların pik yaptığını, diğer yüksekliklerde ise ortamın dielektrik katsayısının büyük olmasından dolayı sıfır olduğunu ve ayrıca sabit bir yükseklik değerinde ise belli frekanslar için değiştiğini göstermiştir. Sonuç olarak, iyi iletken maddeler için uygulanan teorisinin, izotropik olmayan iyonosferik plazma için de uygulanabileceği anlaşılmıştır.

1. Giriş

İyonosfer, radyo dalgalarını yansıtabilen atmosferin önemli bir tabakasıdır. Bir ortamdaki radyo dalgasının ilerlemesinde etkili olan temel parametrelerden biri de ortamın iletkenliğidir. Ortamın iletkenliği ve dielektriği dalganın kırılmasını ve yansımalarını belirler. Ayrıca iyonosferdeki dielektrik kayıplar, radyo dalgasının sönümü veya absorpsiyonu ile de ilgilidir. Bu nedenle izotropik olmayan iyonosferdeki dielektriğin veya dielektrik kayıpların incelenmesi bu bölge için son derece önemlidir. Ortamın dielektriğinin değişimi, ortamdaki elektronların pozitif iyonlarla ve nötr atomlarla çarpışmalarından veya ortamdaki pozitif iyonların elektronlarla ve nötr atomlarla çarpışmalarından kaynaklanır. Ancak $m_e \ll m_i$ olduğundan iyonosferik plazma içerisindeki iyonun hareketi elektronun hareketinin yanında ihmal edilebilir olması iyon etkileşmelerini de ihmal edilebilir kılar. Özellikle yüksek frekanslı dalganın iyonosfer içerisindeki davranışı incelendiğinde, sadece elektron çarpışmaları göz önüne alınır [1-4].

Bu çalışmada, sadece elektron hareketi göz önüne alınarak hareket denkleminde ortamın iletkenliği tensör formunda elde edilecek ve bu iletkenlik ifadesi kullanılarak ortamın dielektrik tensörü tanımlanacaktır. Dielektrik tensör bileşenleri reel ve sanal kısma ayrılarak, iyi iletken katılardaki dielektrik kayıp teorisi iyi iletken olan iyonosferik plazmaya uygulanacaktır.

Semboller Listesi

m_e : Elektronun kütlesi	\mathbf{J} : Akım yoğunluğu	ϵ : Plazma ortamının dielektrik katsayısı
V_e : Elektronun hızı	N_e : Elektron yoğunluğu	ν_e : Elektronun çarpışma frekansı
t : Zaman	σ : İletkenlik	ν_{ei} : Elektron-iyon çarpışma frekansı
q_e : Elektronun yükü	ω_{pe} : Plazma titreşim frekansı	ν_{en} : Elektron-nötr çarpışma frekansı
\mathbf{E} : Plazmanın elektrik alanı	ω_{ce} : Elektron siklotron frekansı	N_n : Nötr yoğunluk
\mathbf{B}_0 : Yer'in manyetik alanı	\mathbf{D} : Elektriksel akı yoğunluğu	T_e : Elektron sıcaklığı
ω : Dalga frekansı	ϵ_0 : Serbest uzayın dielektrik katsayısı	

2. İzotropik Olmayan İyonosferik Plazmanın Dielektrik Kaybı

İyonosferik plazmanın elektriksel iletkenliği

Parçacıkların ısıl hareketlerinin ihmal edilmesiyle soğuk plazma yaklaşımının yapıldığı iyonosferik plazmada elektron üzerine etki eden kuvvetler aşağıdaki gibi yazılabilir [2].

$$m_e \frac{d\mathbf{V}_e}{dt} = q_e (\mathbf{E} + \mathbf{V}_e \times \mathbf{B}_0) - m_e \nu_e \mathbf{V}_e \quad (1)$$

Burada hız, elektrik ve manyetik alanların zamanla $e^{-i\omega t}$ şeklinde değiştiği ve $q_e = -e$ olduğu göz önüne alınacaktır. Seçilen kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni coğrafik doğuyu, y-ekseni coğrafik kuzeyi ve z-ekseni ise düşey doğrultuda yukarı yönü gösterecektir. Buna göre dalganın elektrik alanı $\mathbf{E} = \hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z$ ve

elektronun hızı $\mathbf{V} = \hat{x}V_x + \hat{y}V_y + \hat{z}V_z$ olur. \mathbf{J} akım yoğunluğunun $\mathbf{J} = -eN_e\mathbf{V}_e$ olduğu göz önüne alınarak ve \mathbf{B} Yer'in manyetik alanının $\mathbf{B} = \hat{z}B_0$ olduğu kabul edilirse, genelleştirilmiş Ohm kanunu ($[\mathbf{J}] = [\sigma] \cdot [\mathbf{E}]$) dikkate alınarak yukarıdaki denklemden,

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & 0 \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ifadesi elde edilir. $\omega_{pe}^2 = \frac{e^2 N_e}{m_e \epsilon_0}$ ve $\omega_{ce} = -\frac{e B}{m_e}$ olmak üzere, buradaki iletkenlik tensörünün bileşenleri

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 (v_e - i\omega)}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]}, \quad \sigma_{xy} = -\sigma_{yx} = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 \omega_{ce}}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} \quad \text{ve} \quad \sigma_{zz} = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2}{(v_e - i\omega)} \quad \text{dir.}$$

İyonosferik plazmanın dielektrik kayıpları

İyonosferik plazmanın dielektrik tensörü ortamın parametrelerine bağlı olarak elde edilen iletkenlik ifadesinin elektriksel akı yoğunluğu (\mathbf{D}) içerisinde kullanılmasıyla elde edilir. Buna göre plazma içerisindeki elektriksel akı yoğunluğu,

$$\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (3)$$

dir. Elektriksel akı yoğunluğunun $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ olduğu göz önüne alınarak ortamın dielektrik ifadesi,

$$\epsilon = \epsilon_0 - \frac{\sigma}{i\omega} \quad (4)$$

şeklinde elde edilir. (2) denklemleri verilen iletkenlik tensörü bu ifadede yerine yazılarak ortamın dielektrik tensörü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & 0 \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Bu tensörün her bir bileşeni reel ve sanal kısımlarına ayrılarak, $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ şeklinde yazılabilir ve reel kısmı kırılma indisini, sanal kısmı ise ortamın dielektrik kaybını tanımlar. İyi iletken maddeler için ortamın dielektrik kaybı veya kayıp tanjantı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [3].

$$\text{Tg}(\theta) = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (6)$$

Bu teori, iyonosferik plazma ortamına uygulandığında kayıp tanjant tensörel formda,

$$\text{Tg}\theta = \begin{bmatrix} \text{Tg}\theta_{xx} & \text{Tg}\theta_{xy} & 0 \\ \text{Tg}\theta_{yx} & \text{Tg}\theta_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \text{Tg}\theta_{zz} \end{bmatrix} \quad (7)$$

olarak elde edilir ve tensör bileşenleri aşağıdaki gibi olur.

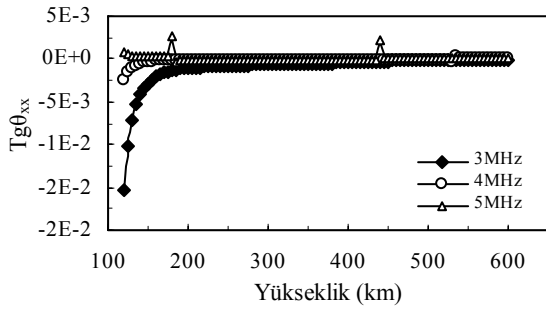
$$\text{Tg}\theta_{xx} = \text{Tg}\theta_{yy} = \frac{v_e \omega_{pe}^2 (\omega^2 + v_e^2 + \omega_{ce}^2)}{\omega \left[4\omega^2 v_e^2 + (v_e^2 + \omega_{ce}^2 - \omega^2)^2 - \omega_{pe}^2 (\omega^2 + v_e^2 - \omega_{ce}^2) \right]} \quad (8)$$

$$Tg\theta_{xy} = -Tg\theta_{yx} = \frac{v_e^2 + \omega_{ce}^2 - \omega^2}{2\omega v_e} \quad (9)$$

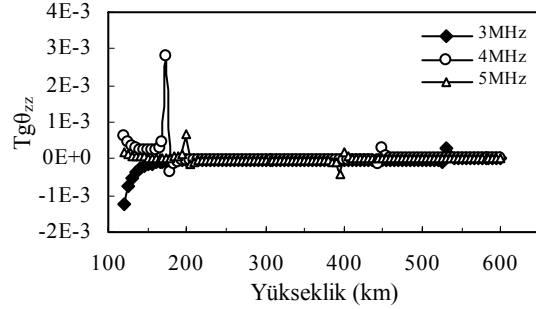
$$Tg\theta_{zz} = \frac{v_e \omega_{pe}^2}{\omega (\omega^2 + v_e^2 - \omega_{pe}^2)} \quad (10)$$

3. Nümerik Analiz ve Tartışma

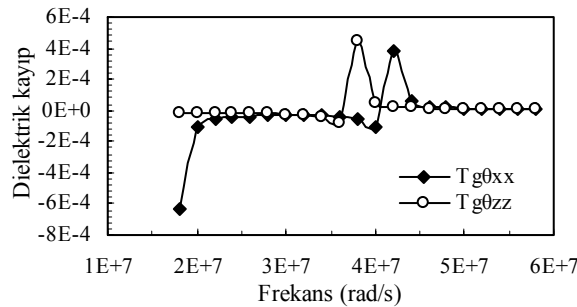
Bu çalışmada izotropik olmayan iyonosferik plazmadaki dielektrik kayıplar frekans ve yüksekliğe bağlı olarak incelendi. Hesaplamalar, Güneş lekесinin minimum ($R \approx 10$) olduğu yıllarda 21 Haziran yerel zaman saat 12.00 için ($38^\circ 41' D$ ve $39^\circ 14' K$) koordinatlarında yapıldı. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için ω_{ce} ve ω_{pe} gibi plazma parametrelerinin yanında elektron çarpışma frekansı da bilinmelidir. Elektron çarpışma frekansı, elektron-iyon ve elektron-nötrparçacık çarpışma frekanslarının toplamıdır. Bu frekanslar $v_{ei} = N_e [59 + 4.18 \log(T_e^3 / N_e)] \times 10^{-6} T_e^{-3/2}$ ve $v_{en} = 5.4 \times 10^{-16} N_n T_e^{1/2}$ ifadeleri ile verilir [4]. Tüm hesaplamalar için gerekli olan parametreler International Reference Ionosphere (IRI) Modeli kullanılarak elde edilmiştir. Burada sadece manyetik alan yönündeki kayıplar ($Tg\theta_{zz}$) ve manyetik alana dik yöndeki kayıplar ($Tg\theta_{xx} = Tg\theta_{yy}$) incelenecektir. Şekil 1'de verilen $Tg\theta_{xx}$ ile Şekil 2'de verilen $Tg\theta_{zz}$ 'nin yükseklikle 120 km den itibaren değişimlerine bakıldığında, bazı yüksekliklerde pik yaptığı ve negatif değerlerden pozitif değerlere doğru yön değiştirdiği görülmektedir. Genel olarak kayıp tanjantın veya dielektrik kaybın yön değiştirdiği noktalar, verilen frekansların iyonosfer içerisindeki yansıma yükseklikleridir. Hem Yer yüzeyinden hem de uzaydan iyonosfere gönderilen dalga için düşünülecek olursa, her frekansın iki noktada yansıyacağı açıkça görülür. Bu iki nokta arasında herhangi bir frekanstaki değer için kayıp tanjantın hemen hemen sıfır olması, bu ara bölgede ϵ 'nin çok büyük olduğu anlamına gelir. Bu nedenle kayıp tanjantlar ortamın kırılma indisi cinsinden de yorumlanabilir. Bu görüşümüzü Şekil 3 ile verilen 270 km deki dielektrik kayıpların frekansla değişimleri de desteklemektedir. 270. km de $Tg\theta_{xx}$ için sadece yaklaşık 6 MHz'lik dalganın ve $Tg\theta_{zz}$ için ise sadece yaklaşık 6,7 MHz'lik dalganın yansıdığı görülmektedir. Kayıp tanjantın bu değerlerin dışındaki frekanslar için bu yükseklikte yaklaşık sıfır olduğu görülmektedir. Bütün bu sonuçlardan hareketle, iyi iletken maddeler için uygulanan kayıp tanjant teorisinin izotropik olmayan iyonosferik plazma için de doğru sonuçlar verebileceği anlaşılmıştır.



Şekil 1. $Tg\theta_{xx}$ 'in yükseklikle değişimi.



Şekil 2. $Tg\theta_{zz}$ 'in yükseklikle değişimi.



Şekil 3. Dielektrik kayıpların frekansla değişimi (270 km yükseklik için).

Kaynaklar

- [1]. İnan, U.S. ve İnan, A.S., Electromagnetic Waves, Prentice Hall Inc., New Jersey, 2000.
- [2]. Dendy, R.O., Plasma Dynamics, Clarendon Press, Oxford, 1990.
- [3]. Ishimaru, A., Electromagnetic Wave Propagation, Radiation and Scatt, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1991.
- [4]. Rishbeth, H. ve Garriott, O.K., Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press, New York, 1969.