

Dünya İyonosferinin F Katmanında R-T Kararsızlığı ve Burulma Hızı

Hüseyin Çavuş
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fizik Bölümü
Çanakkale
h_cavus@comu.edu.tr

Özet: Güneşten gelen morötesi (UV) ve daha küçük dalga boyundaki fotonlar, çarpışma sırasında iyonosferde bulunan nötr gaz atomları veya moleküllerinden elektron sökme kapasitesine sahiptir. Rayleigh-Taylor (R-T) kararsızlığı [1]-[2], çekimsel ivmenin yoğunluk gradyanına ters yönde olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bu çalışmada önce iyonosferdeki plazmanın hareketini tanımlayan genel denklem elde edilecektir. Daha sonra iyonosferin F bölgesinde burulma (shear) hızının dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda R-T kararsızlığı incelenecektir. Yeterince büyük bir burulma hızı en kararsız kipleri dahi belli bir kesiklik dalga numarasında kararlı hale getirebildiği görülmüştür. Elde edilen bütün sonuçlar grafiksel olarak verilecektir.

1. Giriş

Dünyanın çevresinin dış kısımlarında, güneşten gelen radyasyon atmosfere 1370 Watt/m^2 güç yoğunluğu ile çarpar. Bu yoğun seviyeli radyasyon, radyo frekansından (RF) kızılötesine (IR) ve görünür ışıktan x ışımına kadar kapsayan bir frekans spektrumuna yayılır. Güneşten gelen bu radyasyon, morötesi (UV) ve daha küçük dalga boyunda bu frekanstaki fotonların çarpışma sırasında nötr gaz atomu veya molekülünden elektron sökme kapasitesine sahip oldukları için iyonlaştırıcı olarak kabul edilir [3].

İyonosferin en yüksek kısmı olarak ta bilinen F bölgesi, F1 ve F2 olmak üzere iki alt bölgeye ayrılır. F1 alt bölgesi 150-200 km yükseklikte, Güneşin yükselmesinden hemen önce atmosferin yukarı kısımlarında parlamaya başladığı anda oluşmaya başlar. Gün ortasında maksimum değerine ulaşır. F1 alt bölgesi gün batışından birkaç saat sonra F2 alt bölgesi ile birleşir. F2 alt bölgesi ise 200-500 km yükseklikte ortaya çıkar. Güneşten gelen radyasyonun büyüklüğüne bağlı olarak bazen 600 km yüksekliğe kadar ulaşır. F2 alt bölgesi iyonosferin en yüksek bölgesi olarak da adlandırılabilir. Yüksek açısız uzaklıklarda, bu bölge daha düşük yüksekliklerde yer alır. Güneş parlamaya başlamadan yaklaşık bir saat önce bu bölge oluşmaya başlar. F bölgesinin tamamında maksimum iyonlaşma oranına gün batışından yaklaşık bir saat sonra ulaşılırken, F2 alt bölgesinde bu orana güneşten gelen radyasyon miktarı ve güneşte meydana gelen olaylara bağlı olarak günün herhangi bir anında ulaşılabilir. Maksimum iyonlaşma oranına iyonosferi oluşturan diğer bölgelerin aksine kış mevsiminde ulaşılır.

Daha önce de anlatıldığı gibi yoğunluktaki değişim (yoğunluk gradyanı), gravitasyonel kuvvet hesaba katıldığı zaman R-T kararsızlığını ortaya çıkarır. Bu durumda iyonosferdeki bu yoğunluk değişimi R-T kararsızlığına iyi bir örnek olarak gösterilebilir.

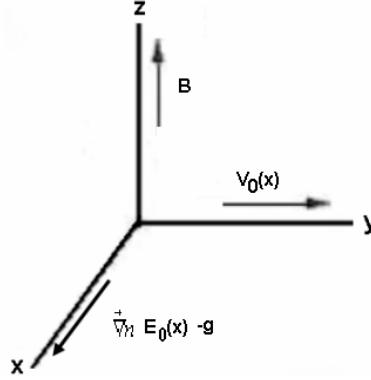
2. Genel Formülasyon

Koordinat sistemi Şekil 1'de verilen manyetize olmuş plazmanın sonsuz slabı dikkate alınır. Manyetik alan (\vec{B}), tek-biçimli (uniform) ve z eksenini boyunca, gravitasyonel ivme (\vec{g}), x eksenini boyunca, ortam elektrik alanı ($\vec{E}_0(x)$), inhomojen ve x eksenini boyunca, yoğunluk (n_0) x eksenini boyunca inhomojen ve iyonlarla nötrallerin çarpışma frekansları (ν_{in}) ise x koordinatına bağlı olduğu kabul edilsin [4]

İşlemleri kolaylaştırmak için aşağıdaki temel varsayımları yapmak gerekmektedir:

1. Perturbe olmuş çokluklar $\delta \phi \approx \delta \phi \exp[i(k_y y - \omega t)]$ şeklinde değişmektedir. Burada k_y , y eksenini boyunca olan dalga numarası, $\gamma > 0$ için γ , büyüme oranı olmak üzere $\omega = \omega_r + i \gamma$ olur.
2. Frekansların sıralaması ise ν_{in} iyonlarla nötrallerin çarpışma frekansı ve Ω_i iyon dönme frekansı olmak üzere ω , $\nu_{in} \ll \Omega_i$ şeklindedir.
3. Sonlu dönme-yarıçap etkisini yok etmek için ρ_i ortalama iyon Larmor yarıçapı olmak üzere $\rho_i \ll 1$ kabul edilir.

4. Manyetik alan boyunca olan perturbasyonlar ihmal edilir ($k_{\parallel} = 0$) ve sadece iki boyutlu x-y düzlemi üzerindeki perturbasyonlar dikkate alınır.
5. İyonların eylemsizlik ve polarizasyon etkileri hesaba katılırken, elektronların eylemsizlik etkileri hesaba katılmaz.
6. Elektronların ve iyonların basınçları ihmal edilir.



Şekil 1. Sistemin kartezyen koordinatlardaki gösterimi

Temel varsayımlar yardımıyla süreklilik denklemi, elektron ve iyonlar için momentum transfer denklemi aşağıdaki gibi olur [5]:

$$\frac{\partial n_{\alpha}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (n_{\alpha} \vec{V}_{\alpha}) = 0 \quad (1)$$

$$0 = \vec{E} + \left(\frac{1}{c}\right) \vec{V}_e \times \vec{B} \quad (2)$$

$$m_i [\partial / \partial t + \vec{V}_i \cdot \vec{\nabla}] \vec{V}_i = e \vec{E} + (e/c) (\vec{V}_i \times \vec{B}) - m_i \nu_{in} \vec{V}_i + m_i \vec{g} \quad (3)$$

Her bir parçacık için denge hızı, o parçacığın etkisinde kaldığı kuvvetlerin oluşturduğu sürüklenmeler toplamıdır. Genel anlamda herhangi bir kuvvetin oluşturduğu sürüklenme hızı $\vec{V}_f = (1/ec) \vec{F} \times \vec{B} / B^2$ olarak tanımlanır. Elektronlar yalnızca $\vec{E} \times \vec{B}$ sürüklenmesine uğrarken, iyonlar ise $\vec{E} \times \vec{B}$ sürüklenmesinin yanında gravitasyonel kuvvet, çarpışma teriminden ve elektrik alanın polarizasyonundan dolayı oluşan sürüklenmelerin etkisinde kalmaktadırlar. (1), (1) ve (3)' de $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi = -\vec{\nabla}(\phi_0 + \delta\phi)$, $\vec{V}_{\alpha} = \vec{V}_{\alpha 0} + \delta\vec{V}_{\alpha}$ ve $n = n_0(x) + \delta n$ yerine yazılıp; yarı-nötrallite şartı ve $\hat{\omega} = \omega / (g/L)^{1/2}$, $\hat{v} = v / (g/L)^{1/2}$, $\hat{V}_0 = V_0 / (g/L)^{1/2}$ ve $\chi \equiv x / L$ boyutsuz parametreleri kullanılırsa (L karakteristik inhomojenlik uzunluğu) kullanılarak işlem yapıldıktan sonra aşağıdaki genel denklem elde edilir [6].

$$\frac{\partial^2}{\partial \chi^2} \delta\phi + p \frac{\partial}{\partial \chi} \delta\phi + q \delta\phi = 0 \quad (4)$$

$$p = \frac{n_0'}{n_0} + i \frac{\hat{v}}{\hat{\omega}_2} \left(\frac{\hat{v}'}{\hat{v}} - \frac{(n_0' / n_0) \hat{k} \hat{V}_0}{\hat{\omega}_1} \right) \quad (5)$$

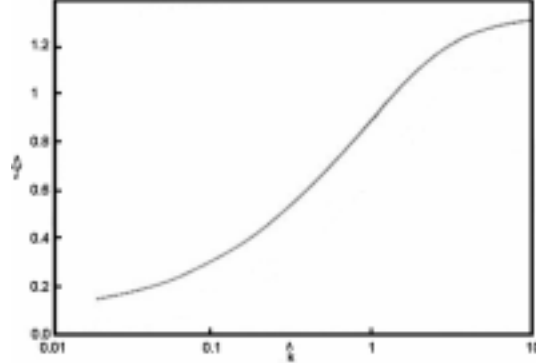
$$q = -\hat{k}^2 + \hat{k} \left\{ \frac{\hat{V}_0' (n_0' / n_0) + \hat{V}_0''}{\hat{\omega}_2} + \frac{\hat{k}^2 (n_0' / n_0)}{\hat{\omega}_1 \hat{\omega}_2} \right\} \quad (6)$$

$$- \frac{i\hat{v}}{\hat{\omega}_1 \hat{\omega}_2} \hat{k} \hat{V}_0 [(n_0' / n_0) (V_0' / V_0) (\hat{\omega} / \omega_1) + (n_0'' / n_0) + (\hat{v}' / \hat{v}) (n_0' / n_0)]$$

(4), (5) ve (6)'da verilen eşitliklerde $\hat{\omega}_1 = \hat{\omega} - \hat{k} \hat{V}_0(\chi)$, $\hat{\omega}_2 = \hat{\omega}_1 - i\hat{v}$ olarak kullanılmış ve üs ' uzaysal türevi göstermektedir. (4) denklemi genel denklem olarak adlandırılabilir.

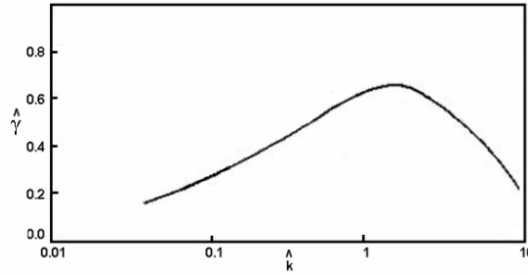
3. Sonuçlar

Genel denklemde, çarpışmasız durumda, burulma hızının kararsızlığın büyüme hızına etkilerini araştırmak için $\hat{v} = \hat{V}_0 = 0$ yazmak yeterli olacaktır. Şekil 2 de normalize olmuş büyüme oranının normalize olmuş dalga numarasına göre değişimi verilmektedir.



Şekil 2. Burulma hızının dikkate alınmadığı durumda RT kararsızlığının büyüme oranı

Aynı yöntemle, burulma hızının çarpışmaların dikkate alınmadığı durumda kararsızlığın büyüme oranını nasıl değiştirdiğini incelemek için, $n_0(x) = \bar{n}_0(1 + \epsilon \tanh(x/L))/(1 - \epsilon)$, $V_0(x) = \bar{V}_0(\bar{n}_0/n_0(x))$ Şeklinde (Satyanarayana ve ark, 1984) yoğunluk ve burulma hızı profili kullanılırsa büyüme oranının değişimi aşağıdaki elde edilir.



Şekil 3. Burulma hızının dikkate alındığı durumda RT kararsızlığının büyüme oranı

Şekil 3'te kırpma hızının dikkate alındığı çarpışmasız plazma için büyüme oranının değişimi gösterilmektedir. Őekilden de görüleceği gibi kırpma hızı, küçük dalga boyları için (büyük dalga numarası) kararsızlığın büyüme oranını azaltıcı yönde etkiye sahiptir. Burada büyüme oranı, belli bir dalga numarasında 0 olmaktadır. Bu noktaya kesiklik noktası denir ve değerinin Őekilden yaklaşık olarak 11 olduğu görülebilir. Yine Őekilden $\hat{\gamma}_m = 0.675$, maksimum büyüme oranına, $\hat{k} \approx 1.5$ değerinde ulaşıldığı görülmektedir.

4. Tartışma-Yorum

Bu çalışmada en genel denklem (4) elde edilip buna göre iki durum için inceleme yapılmıştır. Kırpma hızı dikkate alındığı zaman ise en kararsız modlar bile kararlı hale gelmekte ve kararsızlığın büyüme oranı belli bir kesiklik dalga numarasında 0 olmaktadır. Kararsızlık tamamen yok olmaktadır. Bunların tamamı Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

Kaynaklar (Seçilmiş)

- [1] Lord Rayleigh, Scientific Papers, Vol. II, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1900, s200.
- [2] Taylor, G.I., Proceedings of Royal Soc. London Series A, A201: 1950, s92.
- [3] Gombosi, T.I., Physics of Space Environment, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1998, s176.
- [4] Satyanarayana, P., Guzdar, P. N., Huba, J. D. ve Ossakow S. L., Journal of Geo. Res., 89, A5: 1984, s2945.
- [5] Landau, L. D. ve Lifshitz E. M., 1960. Electrodynamics of Cont. Media. Pergamon Press, Bölüm 8: s213
- [6] avuş, H., Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen.Bil. Enstitüsü, 2002.