

# Dünya İyonosferinin F Katmanında Çarpışmalı Durumda R-T Kararsızlığı

Hüseyin Çavuş\*, Ayşegül Yılmaz\*\* ve Canan Zehra Çavuş\*\*\*

\*\*\*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü Çanakkale

\*\*\* Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Coğrafya Bölümü Çanakkale

\*h\_cavus@comu.edu.tr, \*\*akriaw@yahoo.com, \*\*\*cekrem@comu.edu.tr

**Özet:** Bilindiği gibi çarpışmalar parçacık hızını azaltıcı yönde etkiye sahiptir. Korunumlu sistemler için azalan kinetik enerji potansiyel enerjinin artmasına neden olur. Sonuçta, çarpışmaların dikkate alınması kararsızlığın büyüme oranını azaltır. Buradan da çarpışmalı plazmada “kararsızlığın azaldığı” yorumu yapılabilir. Rayleigh-Taylor (R-T) kararsızlığı [1][2] çekimsel ivmenin yoğunluk gradyanına ters yönde olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bu çalışmada iyonosferin F katmanındaki plazmanın hareketini tanımlayan genel denklem elde edildikten sonra, genel denklem çarpışmalı ve çarpışmasız durumlar için incelenecektir. Bu incelemeler sonucunda göre R-T kararsızlığında, çarpışmaların dikkate alınmasından sonra kararsızlığın büyüme oranında meydana değişim grafiksel olarak sunulacaktır.

## 1. Giriş

Güneşten gelen radyasyon yoğunluğuna bağlı olarak iyonosferdeki plazma yoğunluğu değişim göstermektedir [3][4]. Bu çalışmada iyonosferin F bölgesinde oluşan R-T kararsızlığı incelenecek ve çarpışmaların, burulma hızının dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda R-T kararsızlığının büyüme oranını durumda nasıl değiştirdiğine bakılacaktır. Çalışma sonunda da görüleceği gibi çarpışmalar R-T kararsızlığını kararlı hale getirmek için çok büyük bir etkiye sahiptir. Çarpışmaların artması, en kararsız modları (yani  $kL > 0$  burada  $k$  dik dalgı numarası,  $L$  ise inhomojenlik ölçek uzunluğudur ve  $L^{-1} = |\vec{\nabla}B|/B$  olarak tanımlanır) dahi kararlı hale getirebilecektir. Plazmanın hareketini tanımlayan genel denklem elde verildikten sonra, genel denklem bazı özel durumlar için incelenecektir. Elde edilen genel denklemden yukarıda bahsi geçen kararsızlıkla ilgili olarak, büyüme oranına ait sonuçlar çıkarılacaktır.

## 2. Çarpışmalar, Kararsızlık veya Kararlılık

Çarpışmalar parçacık hızını azaltıcı yönde etkiye sahiptirler. Daha önce de anlatıldığı gibi korunumlu sistemler için azalan kinetik enerji potansiyel enerjinin artmasına neden olacaktır. Sonuçta, çarpışmaların dikkate alınması kararsızlığın büyüme oranını azaltacaktır. Buradan da çarpışmalı “plazmada kararsızlığın azaldığı” yorumu yapılabilir.

Kararsızlık problemini analiz etmek için, hareket denkleminin denge durumunun yakın komşulukları için çözümüne bakmak gerekir [5]. Bu da Taylor seri açılımı ile mümkündür. Eğer denge durumundaki koordinat  $x_0$  ve kuvvet  $\vec{F}(x)$  ise, hareket denklemi aşağıdaki gibi olur;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F^{(n)}(x_0)(x-x_0)^n}{n!} = F(x_0) + F'(x_0)(x-x_0) + \dots \quad (1)$$

$x_0$  denge konumunu gösterdiğinden,  $F(x_0) = 0$  olur. Küçük yer değiştirmeler için yüksek mertebeli terimleri ihmal edebiliriz. Yukarıdaki eşitlikte  $x-x_0 = \xi$  yazılırsa hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir,

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = F'(x_0)\xi \quad (2)$$

elde edilen bu denklemin çözümü aşağıdaki gibi elde edilir,

$$\xi = \xi_0 \exp\left[F'(x_0)/m\right]^{1/2} t = \xi_0 \exp(i\omega t) \quad (3)$$

(3)'te  $\omega^2 = -F'(x_0)/m$  olarak tanımlanmıştır.  $F'(x_0) > 0$  olduğu durumlar için yer değiştirme zaman içinde üstel olarak büyür.  $F'(x_0) < 0$  olduğu durumlar için  $\omega$  reel sayı olur ve çözüm salınımlı olarak karşımıza çıkar. Görüldüğü gibi kararlılık  $\omega^2$ 'nin işaretine bağlı olarak karakterize edilmektedir.

Korunumlu sistemler için kuvvet aşağıdaki gibi potansiyel enerjinin gradyanı olarak yazılabilir.

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}V = -\left[\frac{\partial V}{\partial x}i + \frac{\partial V}{\partial y}j + \frac{\partial V}{\partial z}k\right] \quad (4)$$

(4)'te görüldüğü gibi  $V''(x_0)$ ,  $\omega^2$  ile aynı anda işaret değiştirmektedir. Bu durumda  $V''(x_0)$ 'in pozitif olması  $\omega^2$ 'nin pozitif olmasına yani sistemin kararlı olmasına; aynı şekilde  $V''(x_0)$ 'in negatif olması da sistemin kararsız olması demektir. Bu sonuçlara sistemin korunumlu olmasından da varılabilir. Sistemin korunumlu olması demek; sistemin potansiyel enerjisi ile kinetik enerjisinin toplamının sabit olması demektir. İkinci türev testinden bilindiği üzere bir çokluğun ikinci türevinin pozitif olması o çokluğun monoton arttığını göstermektedir. Potansiyel enerjinin ikinci türevinin pozitif olması sistemin potansiyel enerjisinin arttığını, dolayısıyla kinetik enerjisinin azaldığını göstermektedir. Sonuç olarak sistemin kararlı duruma geçtiği söylenebilir. Aynı mantıkla  $V''(x_0)$ 'in negatif olması artan kinetik enerjiyi yani kararsızlığı göstermektedir. Bu sonuçların tamamı aşağıdaki tabloda çıkarılmıştır.

$\omega^2$	$F'(x_0)$	$V''(x_0)$	Sonuç
Negatif	Pozitif	Negatif	Kararsızlık
Pozitif	Negatif	Pozitif	Kararlılık
Sıfır	Sıfır	Sıfır	Nötrallite

Tablo 1.  $\omega^2$ 'nin işaretine göre kararlılık veya kararsızlık

### 3. Dünya İyonosferinin F Katmanında R-T Kararsızlığı ve Çarpışmalar

Koordinat sistemi Şekil 1'de verilen manyetize olmuş plazmanın sonsuz slabını düşünelim [4] [6]. Tek akışkan MHD denklemleri [7] İyonosferde plazmanın hareketini tanımlayan genel denklem aşağıdaki gibi bulunabilir.

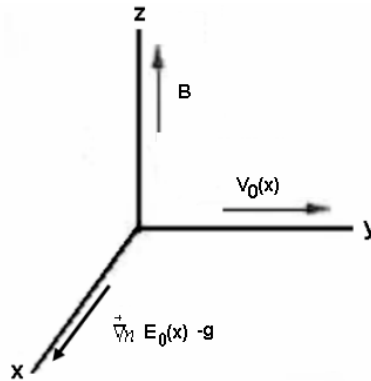
$$\frac{\partial^2}{\partial \chi^2} \delta\phi + p \frac{\partial}{\partial \chi} \delta\phi + q \delta\phi = 0 \quad (5)$$

$$p = \frac{n'_0}{n_0} + i \frac{\hat{v}}{\hat{\omega}_2} \left( \frac{\hat{v}'}{\hat{v}} - \frac{(n'_0/n_0)\hat{k}\hat{V}_0}{\hat{\omega}_1} \right) \quad (6)$$

$$q = -\hat{k}^2 + \hat{k} \left\{ \frac{\hat{V}'_0(n'_0/n_0) + \hat{V}''_0}{\hat{\omega}_2} + \frac{\hat{k}^2(n'_0/n_0)}{\hat{\omega}_1\hat{\omega}_2} \right\} \quad (7)$$

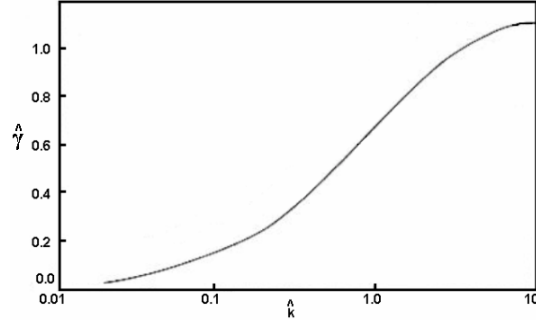
$$- \frac{i\hat{v}}{\hat{\omega}_1\hat{\omega}_2} \hat{k}\hat{V}_0 [(n'_0/n_0)(V'_0/V_0)(\hat{\omega}/\hat{\omega}_1) + (n''_0/n_0) + (\hat{v}'/\hat{v})(n'_0/n_0)]$$

(5), (6) ve (7)'de 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. (5) denklemi genel denklem olarak adlandırılabilir.



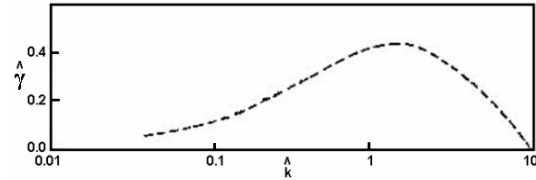
Şekil 1. Sistemin kartezyen koordinatlardaki gösterimi

Çarpışmalı durumda R-T kararsızlığı, (5) denklemini incelenerek bulunabilir. Şekil 2’de  $\hat{V}_0=0$  ve boyutsuz frekans  $\hat{\nu}=0.5$  için çözüm verilmektedir



**Şekil 2.** Burulma hızının dikkate alınmadığı durumda, çarpışmalı plazmada RT kararsızlığının büyüme oranı

Aynı yöntemle, burulma hızının çarpışmaların dikkate alındığı durumda ( $\hat{\nu}=0.5$ ) kararsızlığın büyüme oranını nasıl değiştirdiğini incelemek için,  $n_0(x) = \bar{n}_0(1 + \varepsilon \tanh(x/L))/(1 - \varepsilon)$ ,  $V_0(x) = \bar{V}_0(\bar{n}_0/n_0(x))$  şeklinde [8] tanımlanmış yoğunluk ve burulma hızı profili kullanılırsa büyüme oranının değişimi aşağıdaki elde edilir.



**Şekil 3.** Burulma hızının dikkate alındığı durumda, çarpışmalı plazmada RT kararsızlığının büyüme oranı

Altta kesikli çizgi ile gösterilen grafikte, çarpışmalı plazma için büyüme oranı incelenmiştir. Kararsızlığın belli bir kesiklik dalga numarasında ( $\hat{k}_c \approx 10$ ) tamamen yok olduğu görülmektedir. Çarpışmalar dikkate alındığı için maksimum büyüme oranının değeri azalmaktadır. Maksimum büyüme oranı olan  $\hat{\gamma}_m = 0.45$  değerine,  $\hat{k} = 1.5$  noktasında ulaşmaktadır.

#### 4. Tartışma-Yorum

Bu çalışmada en genel denklem (5) elde edilip, buna göre çarpışmalı plazmada iki durum için inceleme yapılmıştır. Kırpma hızı dikkate alındığı zaman ise en kararsız modlar bile kararlı hale gelmektedir [4] ve kararsızlığın büyüme oranı belli bir kesiklik dalga numarasında 0 olmaktadır. Çarpışmalar dikkate alındığı zaman, kararsızlık büyüme oranında, dikkate değer bir azalma görülmekte ve daha yüksek enerjili kararsız modlar kararlı hale gelmektedir ve 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] Çavuş, H., Dünya İyonosferinin F Katmanında R-T Kararsızlığı ve Burulma Hızı, URSI-TÜRKİYE’2006 III. Bilimsel Kongresi Bildiri Kitabı
- [5] Schmidt, G., Physics of High Temperature Plasmas, Academic Press, 1966, Bölüm 5: s113.
- [6] Çavuş, H., Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen.Bil. Enstitüsü, 2002.
- [7] Landau, L. D. ve Lifshitz E. M., 1960. Electrodynamics of Cont. Media. Pergamon Press, Bölüm 8: s213.
- [8] Satyanarayana, P., Guzdar, P. N., Huba, J. D. ve Ossakow S. L., Journal of Geo. Res., 89, A5: 1984, s2945.