

GÜNEŞİN KONVEKTİF BÖLGESİNE AİT BAZI ÖZEL MHD ÇÖZÜMLER

Hüseyin ÇAVUŞ¹, Aysel İ. KARAFİSTAN²

Özet

Bu çalışmada Güneşin konvektif bölgesinde manyetik alanın davranışı ve etkileri çalışılmıştır. Özel bir manyetik alan profili için küresel koordinatlarda manyetohidrodinamik (MHD) denklemlerinin çözümleri aranmıştır. Başlangıç manyetik alanı 10 T civarında kabul edilmiştir. Sonuç olarak birinci mertebeye pertürbasyon yaklaşımı kullanılarak konvektif bölge içinde değişik konumlar için, manyetik alanın Standart Güneş Modeliyle (SGM) tanımlanan fiziksel parametreler üzerindeki etkileri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş; manyetik alan , MHD, iç yapı

Abstract

In this work, we have studied more thoroughly behaviour and effects of the magnetic field in the convective layer of the Sun. The well-known MHD equations were solved in terms of the spherical coordinates for a specific profile of the magnetic field. The magnetic field is assumed to be toroidal with a magnitude around 10 T. The variations of the resulting first order perturbations in the parameters of the Standard Solar Model (SSM) are calculated at different locations in that layer.

Keywords: Sun; magnetic field , MHD, interior

1. Giriş

Güneş sistemindeki en kütleli nesne olmasının yanı sıra Yer'e en yakın yıldız da Güneş'tir. Bu nedenle en çok tanınan yıldız olarak gösterilebilir. Bu durum temel özellikler olarak nitelendirilen kütle, yarıçap, sıcaklık ve parlaklık nicelikleri için geçerli olduğu gibi yıldız yapısı için de geçerlidir. Sahip olduğu manyetik alan, Güneş'in iç yapı dinamiği üzerinde önemli bir role sahiptir.

Güneşin manyetik alanı, bir dinamo mekanizması tarafından sürekli olarak üretilir [1]. Eğer böyle olmasa, manyetik alandan dolayı oluşan ve gözlenen etkinliklerin hiçbiri oluşmazdı. Dinamo mekanizmasının oluşturduğu manyetik alandan kaynaklanan akışkan hareketi nonlineer olduğu için çözümlerde bazı yaklaşıklık yöntemleri kullanılmalıdır.

SGM hesaplamalarında, genellikle dönme, türbülans ve manyetik alan hesaba katılmaz. Zaten bu üç etki aynı anda dikkate alınırca, MHD denklemlerinin çözümleri zor hatta imkansızdır. Son yapıyla çalışmalarda bulunan sonuçlara göre, Güneş'e ait manyetik etkinliğe sebep olan alanın konvektif bölgenin tabanında depolandığı kabul edilmektedir [2].

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Yeni Yerleşke, Çanakkale 17100, 0286 218 0018 (1952 Dahili), h_cavus@comu.edu.tr

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Terzioğlu Yeni Yerleşke, 17100, Çanakkale, 0286 218 0018 (1568 Dahili), akarafistan@comu.edu.tr

Bu çalışmada, konvektif bölgenin alt kısmı diyebileceğimiz $0.703R_{\odot}$ ve $0.723R_{\odot}$ yarıçapları arasındaki bölgede, SGM deki [3] parametreler ve manyetik alanda meydana gelen pertürbasyonlar, birinci mertebe yaklaşımı yardımıyla hesaplanacaktır. Sıkıştırılmaz akışkan yaklaşımı kullanılacaktır. Çözümlerin tamamı küresel koordinatlarda değişik açısız pozisyonlar için yarıçapa bağlı olarak verilecektir.

2. İdeal MHD Denklemleri ve Temel Formülasyon

Bu çalışmada [4] çalışmasında da kullanılan, ideal MHD denklemleri kullanılacaktır. Bu denklemler sırasıyla,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v} \mathbf{B} - \mathbf{B} \mathbf{v}) = (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{v} - (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{B} - (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{B} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dt} = \gamma \frac{p}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemlerde (1) sürekliliği, (2) hareketi, (3) indüksiyonu, (4) manyetik tek kutupsuzluğu ve sonuncu denklem ise adiyabatik enerji transferini tanımlamaktadır. Bu denklemlerde, sırasıyla ρ , \mathbf{v} , p , \mathbf{B} ve γ yoğunluk, hız, basınç, manyetik alan ve özısılar oranını göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi (1)-(5) eşitlikleri ile gösterilen hareket oldukça nonlineerdir. Bu çalışmada lineerleştirilmiş durum için çözümler aranacaktır. Nonlineer hareketin oluşumuna ait bilgiler [5] çalışmasında bulunabilir. Bu denklemlerin sıkıştırılmaz-lineer durum için çözümleri daha önce yaptığımız bir çalışmada detaylı bir şekilde verilmişti [6]. Bu çalışmada daha önceki çalışmadan farklı olarak pertürbasyonların değişimlerinin yarıçapa göre ele alınacaktır.

Yapılmış bazı çalışmalar, gözlenmiş Güneş lekelerinin sebebinin konvektif bölgenin tabanında, 10 T ile 100 T arasında bir manyetik alanın olduğuna işaret etmektedir. [7] ve [2] bu kadar yüksek manyetik alanın nedenini Coriolis kuvveti olarak göstermektedir. Manyetik alan, bu değerlerden daha küçük olsaydı, Coriolis kuvvetinin etkisiyle yüzeyde herhangi bir Güneş lekesi bırakmadan konvektif bölge içinde yok olurdu.

Kleerorin [8], manyetik alanın bileşenleri arasında $B_{\phi}^0 \gg B_r^0$ and B_{θ}^0 şeklinde bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumda küresel simetriyi bozmayan manyetik alan profili olarak aşağıdaki eşitlik kullanılacaktır.

$$\mathbf{B}^{(0)} = B \mathbf{e}_{\phi} \quad (6)$$

HS dengenin sağlanabilmesi için aşağıdaki alan profili seçilmiştir.

$$\frac{d}{dr}(rB) = 0 \quad (7)$$

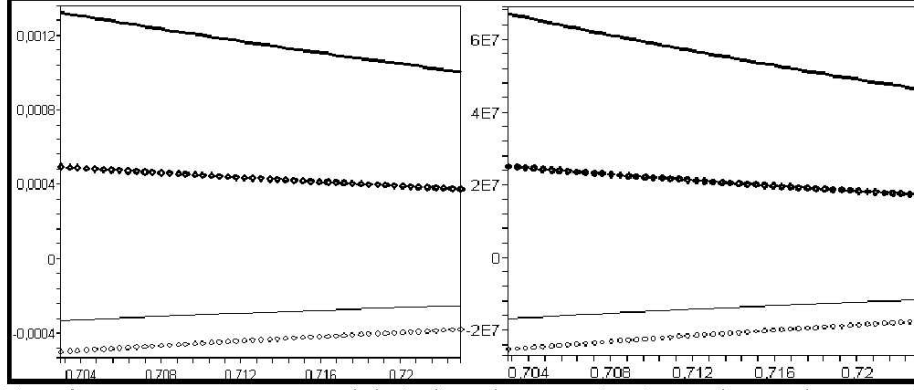
Buradan $B = \text{sabit} / r$ olarak bulunur (8)

3. Sonuçlar

Yukarıda anlatıldığı gibi, konvektif bölgenin alt kısmında fiziksel parametrelerdeki pertürbasyonların elde edildiği bu çalışmada, birinci mertebe pertürbasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu nedenle ikinci mertebeden düzeltmelere neden olan etkiler ihmal edilmiştir. SGM için kullanılan parametreler uygun bir biçimde enterpole edilmiştir [3]. Bulunan sonuçlarda manyetik alanın varlığı nedeniyle, pertürbe olan Güneş'te $n=3$ ve $l=2$ için değişik

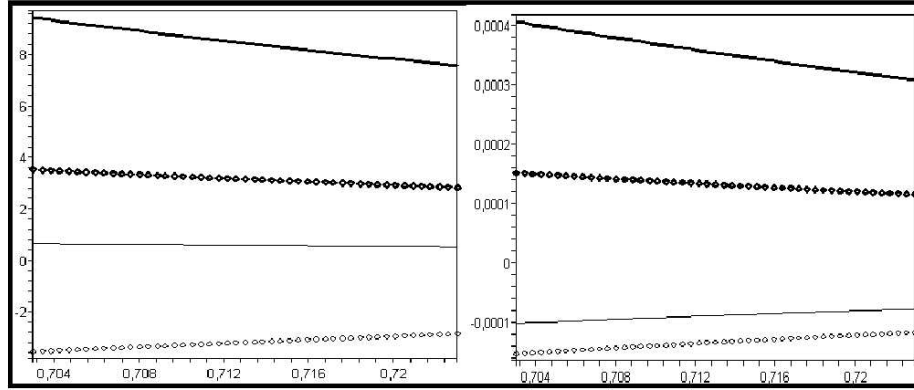
m kombinasyonları kullanılmıştır. Yerden kazanmak için, 30° enlem ve $\phi=60^\circ$ azimutal açı için olan çözümler sunulmuştur.

Brun ve arkadaşları [9], çalışmasında da olduğu gibi konvektif bölgenin tabanı $0.713R_\odot$ olarak kabul edilmiştir. (1)-(5) MHD denklemlerinin MKS birim sistemindeki çözümlerin bulunmasında Waterloo Maple 9.5 paket programı kullanılmıştır. [6] çalışmasında olduğu gibi $0.305 \times 10^{-5} \text{ rad.sn}^{-1}$ frekanslı (23.84 günlük periyot) g kipleri kullanılmıştır. Bütün şekillerde —m=1, — m= -1, ◇ m=2 ve ◆ m= -2 olarak gösterilmektedir



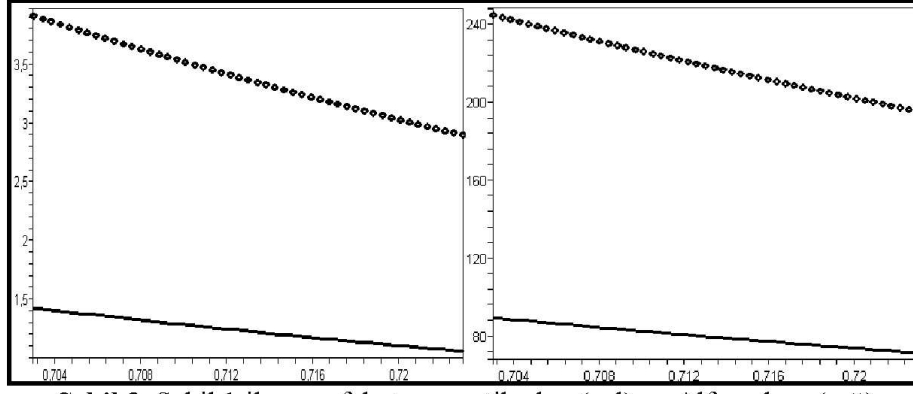
Şekil 1. $\frac{1}{4}$ periyot zaman sonra yoğunluk (sol) ve basınçta (sağ) meydana gelen pertürbasyonlar

Şekil 1'de, sol kısmında yoğunlukta meydana gelen pertürbasyonların ($\rho^{(1)} = -\xi_r (d\rho^{(0)} / dr)$) çeyrek periyot sonraki değişimleri gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, maksimum değişimin 0.001 kg/m^3 , minimum değişimin ise -0.0005 kg/m^3 civarında olduğu görülmektedir. Sağ taraftaki grafikte ise basınç pertürbasyonlarının sahip olduğu ($p^{(1)} = -\xi_r (dp^{(0)} / dr)$) maksimum değer 7×10^7 Pascal, minimum değer ise -2×10^7 Pascal olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Şekil 1 ile aynı fakat sıcaklık(sol) ve ses hızı (sağ)

Yukarıdaki şekilde $T^{(1)} = -\xi_r (dT^{(0)} / dr)$ sıcaklık pertürbasyonları -3 ile 9 Kelvin arasında elde edilmektedir. Negatif değerli sıcaklık pertürbasyonu, o yarıçapta, sıcaklık değerinin SGM'den daha az olduğunu göstermektedir. Ses hızındaki $c_s^{(1)} = (p^{(1)} \rho^{(0)} - p^{(0)} \rho^{(1)}) c_s^{(0)} / (2p^{(0)} (\rho^{(0)} + \rho^{(1)}))$ değişim ise -0.1 mm/s ile 0.7 mm/s olarak bulunmuştur.

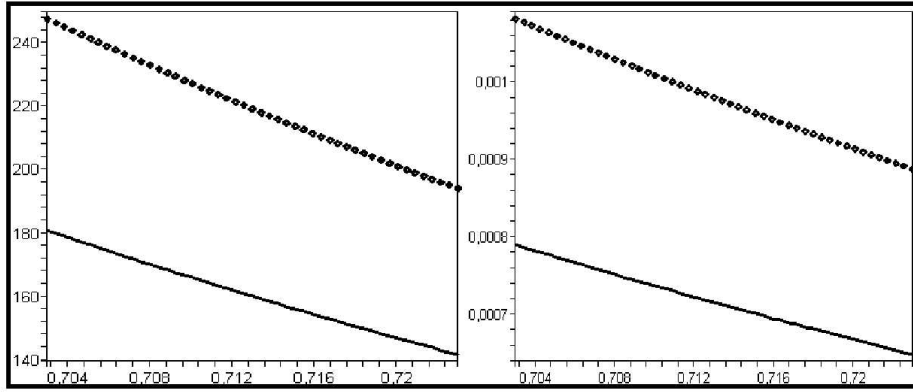


Şekil 3. Şekil 1 ile aynı fakat manyetik alan (sol) ve Alfven hızı (sağ)

Manyetik alan ve Alfven hızının değişimleri sırasıyla:

$$B^{(1)} = \sqrt{B_r^{(1)2} + B_\theta^{(1)2} + B_\phi^{(1)2}} \quad \text{ve} \quad v_a^{(1)} = (2B^{(1)}\rho^{(0)} - B^{(0)}\rho^{(1)})v_a^{(0)} / (2B^{(0)}(\rho^{(0)} + \rho^{(1)})) \quad \text{ile}$$

hesaplanmaktadır. manyetik alandaki değişim 1.5 ile 3.5 T arasında bulunurken, Alfven hızındaki değişim ise 90 m/s ile 250 m/s arasında bulunmuştur. Alfven hızının negatif olması, yönün iç tarafa doğru olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Şekil 1 ile aynı fakat hız (sol) ve Mach sayısı (sağ)

Son olarak hız ve Mach numarasındaki değişimler Şekil 4'te sunulmaktadır. Bu iki parametredeki değişim sırasıyla $v^{(1)} = \sqrt{v_r^{(1)2} + v_\theta^{(1)2} + v_\phi^{(1)2}}$ ve $M = v^{(1)} / c_s$ eşitlikleri yardımıyla bulunmuştur.

4. Tartışma-Sonuç

Ledoux ve Walraven tarafından 1958 yılında yazılmış olan bu konudaki ilk önemli makalede [4], manyetik alanın 10 T ve katları civarında olabilmesi için, gün mertebesindeki periyotlara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada periyot 23.84 gün olarak bulunmuş ve 10 T değerindeki manyetik alan ise 11.5 T ile 13.5 T gibi değerlere yükseldiği tespit edilmiştir. Bulunan bu sonuç [4] ile büyük bir uyum içindedir. Manyetik alan pertürbasyonunun manyetik alan ile kıyaslanabilir değerlerde çıkması, bu makalede çalıştığımız bölge olan konvektif katmanın altında, dinamo mekanizmasının olduğunu göstermektedir.

Bir önceki bölümde hesaplanan, pertürbasyonun değerleri Rempel ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptığı çalışma [10] ile büyük bir uyum içindedir. Adı geçen makalede ve çalışmamızda, pertürbasyon değerinin denge değerine oranı 10^{-6} olarak bulunmuştur. Rempel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, statik durum için hesaplama yapmışlardır. Bu çalışmada ise tamamen MHD denklemleri kullanılmıştır.

Toplam hız ve Mach numarasındaki değişim incelendiğinde, Mach numarasındaki değişim 10^{-4} olarak bulunmuştur. Bu sonuç hem sıkıştırılmaz akışkan yaklaşımının ($M \ll 1$)) doğru olduğunu [11] göstermektedir. Ayrıca başlangıçta manyetik alanı azimutal yönde almamıza rağmen, konvektif bölgenin alt kısmında yerleşmiş olan dinamo mekanizması sayesinde radyal ve polar yöndeki bileşenler de ortaya çıkmaktadır.

4. Kaynaklar

- [1] Parker, E., (1955), "Hydromagnetic Dynamo Models", *The Astrophysical Journal*, 122, 293.
- [2] Schussler, M., Caligari, P., Ferriz-Mas, A. ve Moreno-Insertis, F., (1994) "Instability and eruption of magnetic flux tubes in the solar convection zone", *Astronomy and Astrophysics*, 281, L69
- [3] Christensen-Dalsgaard, J., Däppen, W., Ajukov, S.V., Anderson, E.R., Antia, H.M., Basu, S., Baturin, V.A., Berthomieu, G., Chaboyer, B., Chitre, S.M., Cox, A.N., Demarque, P., Donatowicz, J., Dziembowski, W.A., Gabriel, M., Gough, D.O., Guenther, D.B., Guzik, J.A., Harvey, J.W., Hill, F., Houdek, G., Iglesias, C.A., Kosovichev, A.G., Leibacher, J.W., Morel, P., Proffitt, C.R., Provost, J., Reiter, J., Rhodes Jr., E.J., Rogers, F.J., Roxburgh, I.W., Thompson, M.J. ve Ulrich, R.K., (1996), "Current State of Solar Modeling", *Science*, 272, 1286.
- [4] Ledoux, P. ve Walraven, T.H., (1958), Variable Stars, Sect. 83: in *Handbuch der Physik*, Vol. 51, Springer, Berlin.
- [5] Sharp, D. H., (1984) "An Overview Of Rayleigh Taylor Instability". *Physica D*, 12, 3.
- [6] Çavuş, H., ve Karafistan, A.İ., (2006), "Some MHD Solutions for the Bottom of the Solar Convective Layer", *Publicaitons of Astronomical Society of Pacific (PASP) Conference Series* (in print)
- [7] Moreno-Insertis, F., Schuessler, M. ve Ferriz-Mas, A., (1992), "Storage of magnetic flux tubes in a convective overshoot region", *Astronomy and Astrophysics*, 264, 686.
- [8] Kleorin, N., Mond, M. ve Rogachevskii, I., (1996), "MHD turbulence in the solar convective zone as a source of oscillations and sunspots formation", *Astronomy and Astrophysics*, 307, 293.
- [9] Brun, A. S., Turck-Chièze, S. ve Zahn, J. P., (1999), "Standard Solar Models in the Light of New Helioseismic Constraints. II. Mixing below the Convective Zone", *The Astrophysical Journal*, 525, 1032.
- [10] Rempel, M., Schüssler, M. ve Tóth, G., (2000), "Storage of magnetic flux at the bottom of the solar convection zone", *Astronomy and Astrophysics*, 363, 789.
- [11] Landau, L.D. ve Lifshitz, E.M., (1966), "*Fluid Mechanics*", New York, Pergamon Press.

