

Kutup Lekeleri Tartışması, İnanalım mı?

Zeki EKER

Department of Astronomy, King Saud University, Riyadh 11451, Saudi Arabia
e-mail: eker@ksu.edu.sa

ÖZET: Güneşte kutup lekeleri yoktur. Oysa, son yirmi yıldır Doppler görüntülemesiyle elde edilen bazı lekeli yıldızların leke haritalarında dönme eksenini kutup bölgelerine yerleşmiş soğuk lekelerin olduğu sergilenmektedir. Bu durumun bir atifact, yani hesaplama tekniğindeki bir takım aksaklıktan kaynaklanan artificial (sun'î), gerçek olmayan bir sonuç olmadığı, ve kutup lekelerinin gerçekten var olduğu yolunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma kutup lekelerinin lehinde ve aleyhindeki gözlemsel ve teorik delilleri toplayıp değerlendirdikten sonra kutup lekeleri tartışmasında bulguların kutup lekelerinin varlığını ispat için yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

1. Giriş:

Güneşin dönme eksenini kutuplarında veya bu kutuplara yakın bölgelerde güneş lekesi olmadığı (1612) Galile'den bu güne güneş lekesi gözlemleriyle sabittir. Yıldız lekeleri fikrinin ilk kaynağı güneş lekeleri, yani güneş analogisidir. Oysa bu gün bir çok leke modelcisi (Olah ve Pettersen 1991; Dempsey ve ark.1992; Donati ve ark.1992; Hatzes ve Vogt 1992; Strassmeier 1990,1994,1996a,1996b,1997; Strassmeier ve Rice 1998; Strassmeier ve ark.1991, 1993; Kurster ve ark.1994; Hatzes 1995, 1998; Rice 1996; Vogt ve Hatzes 1996; Hatzes ve ark.1996; Unruh ve Cameron 1997; Bruls, Solanki, ve Schussler 1998) daha çok Doppler görüntülemesi çalışmalarının sonuçlarına bakıp bazı yıldızlarda kutup lekesi olduğunu iddia etmektedirler.

Bu çalışmada kutup lekeleri lehinde ve aleyhindeki empirik ve teorik iddialar karşılaştırılmış, kutup lekelerini destekleyen delillerin iddiayı ispat için yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2. Tartışma

2.1. Fotometrik Modeller ve Kutup Lekeleri

Teorik olarak bir kutup lekesinin ışık eğrisi veya tayf çizgi profili üstündeki etkisi bilinmektedir. Yıldızın dönme eksenini ile gözlem hattı (line of sight) arasındaki açıya (i) eyim açısı adı verilir. Eğer, eğim açısı 90 derece ise, kutuplardan her hangi birine (veya ikisine) oturmuş daire şeklinde leke hariç bütün lekeler yıldızın dönmesiyle görünen yüzeyden geçişi esnasında ışık eğrisi üstünde etkili olur sonra yarım periyod boyunca yıldızın arka tarafında kalır, görülmez. Eğer hiç kutup lekesi yoksa ve

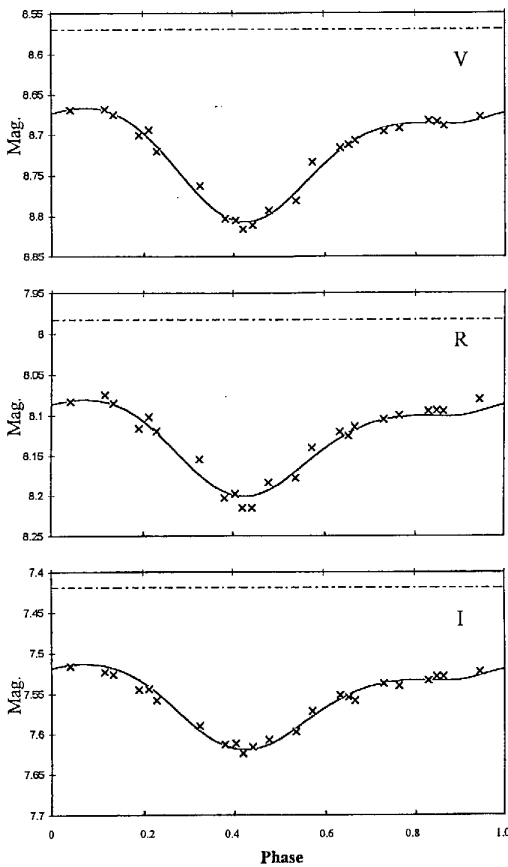
var olan ötekiler de görünmeyen yüzde kalmış iseler, ışık eğrisinde yıldızın parlaklığı maksimum olur ve bu parlaklık unspotted magnitude (lekesiz kadir) olarak adlandırılır. Durum böyle iken, gözlenmiş bir ışık eğrisinde maksimum parlaklığın lekesiz parlaklık olduğunun hiç bir garantisi yoktur. Çünkü yıldızlar nokta kaynaktır; görünen yüzeyde leke olup olmadığı güneşdeki gibi ışık eğrilerinden bağımsız tesit edilemez. 1) dönme ekseninin kutbunda veya eyimden dolayı her zaman görünür kalan kutba yakın yerlerde lekeler olabilir. 2) Güneşteki gibi, kutup bölgesinde lekeler olmasa bile, yüzey leke dağılımını o şekilde olabilir ki, her evrede görünür durumda mutlaka bir veya birkaç leke olabilir. Bu durumda lekesiz parlaklığı belirlemenin muhtemel yolu, yıldız çok uzun dönem, onlarca yıl gözlemek olabilir. 11 yıllık aktivitesinin minimum evrelerinde güneşi lekesiz görmek mümkün olmaktadır. Yıldızlar için pratikteki uygulama da zaten budur. Ancak, bu da çözüm olmayabilir çünkü: 1) Çok uzun dönem içinde belirlenmiş bile olsa maksimum parlaklık yine aynı nedenlerle lekesiz parlaklık olmayabilir; 2) Bir dönme periyodu içinde değişmez kabul ettiğimiz lekesiz parlaklık uzun dönem içinde değişmiş olabilir.

Bütün bu olumsuzluklara rağmen fotometrik leke modelleri (fotometrik imaging) lekesiz parlaklığı kullanmak durumundadır. Pratik uygulamalarda incelenen dönemin maksimum parlaklığı değil de uzun dönemde belirlenen maksimum parlaklık lekesiz parlaklık olarak alınmaktadır. Doğal olarak böyle uygulamaların çoğunda lekesiz parlaklık modellenecek ışık eğrisinin maksimum parlaklığından daha parlaktır. Eker ve Al-Malki (1999)'nin modellediği böyle bir ışık eğrisi, gözlem noktaları ve lekesiz parlaklık seviyesi ile birlikte Şekil 1 de gösterilmiştir. Bu ışık eğrisini açıklamanın en

kolay yolu elbette, parlaklık seviyesini her evrede eşit şekilde düşüren bir kutup lekesi ve değişimlere sebep olan bir veya iki leke düşünmek ve bu iki veya üç lekenin parametrelerini (büyüklük, sıcaklık ve konumları) belirlemektir. Bu ışık eğrisinde olduğu gibi, birçok eğride gözlem tekniği gereği maksimum ışık seviyesinin lekесiz parlaklık olarak belirlenmiş değerin altında kalması kutup lekelerinin varlığına fotometrik delil olarak gösterilmektedir. Ancak unutulmasın ki, aynı ışık eğrisini kutup lekeleri olmadan da modellemek mümkündür.

Eker ve Al-Malki (1999) HU Vır yıldızına ait Şekil 1 deki veriler için kutup lekeli (polar models) ve kutup lekeli olmayan (belt models) modeller üretmiş ve kutup lekeli (belt models) modellerin gözlemleri daha iyi açıkladığını göstermiştir. Eker (1995) de benzer bir çalışmayı yapmış, HD 12545 yıldızında da kutup lekeli bir model gözlemleri en iyi açıklayan bir model olmuştur. Kutup lekeleri aleyhinde olan bu sonuçların kesin sonuçlar olduğunu söylemek zordur. Çünkü, kutup lekeli ve kutup lekeli olmayan modeller arasındaki fark gözlem hatalarından daha küçüktür.

Dönme ekseninin eğimi azaldıkça kutuptaki



Şekil 1. Yukarıdan aşağıya V, R, ve I bantlarında HU Vir yıldızının ışık ölçümlerine (x) fit edilmiş leke modeli (sürekli çizgi) ve lekесiz parlaklık seviyesi (kesikli çizgi)

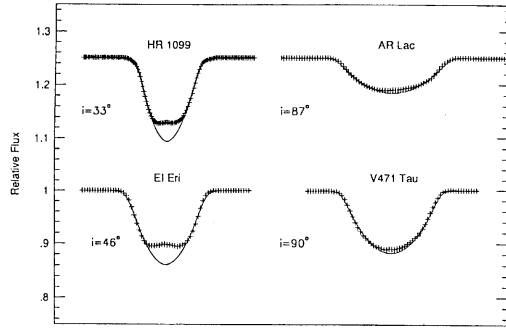
lekenin etkisi artar. Kutup civarında her zaman görünen, ve her zaman görünmeyen bölgeler (circumpolar regions) büyür. Lekelerin bir kısmı tamamen görünmez olurken, bir kısmı her zaman görünür bölge içinde kalır. Ekvatora yakın doğma batma özelliği olan lekelerin sayısı da azalır etkisi de. Eğimin sıfır olması halinde ne kadar leke olursa olsun, yüzeyde ne kadar asimetrik dağılırsa dağılsın, ışık eğrisinde değişimin genliği sıfır olur. Bu nedenle II peg ve HD 12545 gibi yıldızlarda bazan 0.5 kadire varan değişimin genliğini kutup lekeleriyle birlikte açıklamak güçleşmektedir. Bu yüzden fotometrik verilerle model yapanlar genellikle kutup lekeleri fikrine şüphe ile yaklaşmaktadır.

2.2. Doppler Görüntülemesi ve Kutup Lekeleri

Doppler görüntülemesi tekniğinin temel prensipleri olarak, lekelerin hızlı dönen bir yıldızın tayfındaki soğurma çizgi profillerine nasıl etki ettiğini ilk defa açıklayan Vogt ve Penrod (1983) dür. Böylece, fotometrik leke modeli çalışmalarına bağımsız bir metot olarak spektroskopi de katılmıştır. Maksimum entropi tekniğinin Doppler görüntülemesine (Vogt, Penrod ve Hatzes 1987) uygulanışıyla gelişen spektroskopik modeller fotometrik modellere göre çok daha başarılı leke haritaları üretmekle, ve kutup lekelerini keşfetmekle meşhurdur.

Doppler görüntülemesi tekniği hızlı dönen yıldızlara uygulanır. Çünkü hızlı dönme sebebiyle genişleyen soğurma çizgi profillerinde hakim olan dönmenin etkisidir. Fotosfere göre soğuk olan bir leke, yıldız üstündeki konumuna bağlı olarak genişlemiş çizgi profili üstünde dönmeye birlikte çizginin mavi tarafından ($\lambda < \lambda_0$) kırmızı tarafına ($\lambda > \lambda_0$) hareket eden parlaklığı artırıcı yönde küçük bir çıkıntı şeklinde kendini gösterir (Vogt ve Penrod 1983). Dönme ekseninin kutbuna yerleşmiş daire şeklinde bir lekenin etkisi ise hareket etmeyen çizgi merkezinde ($\lambda = \lambda_0$) yerleşmiş bir çıkıntıdır. Şekil 2 de bazı lekeli yıldızların gözlenen (+ işaretler) ve sentetik (sürekli çizgi) çizgi profilleri gösterilmiştir. Sentetik profilin çizgi merkezinde ($\lambda = \lambda_0$) daha derin olması merkez meridiyen üstünde bir lekenin olduğunu, ve bu farkın zamanla yer değiştirmemesi de bu lekenin dönme eksenine kutup noktasında konulduğu anlamına gelmektedir.

Doppler görüntülemesiyle ilk üretilen leke haritalarının çoğunda kutba yerleşmiş lekelerin varlığı hemen dikkat çekti. Güneşte kutup lekelerinin olmadığı bilindiği için bazı araştırmacılar (Strassmeier ve ark.1991,1993; Unruh ve Cameron 1995,1997; Hatzes ve ark.1996; Bruls Solanki ve Schüssler 1998) bu



Şekil 2. Sentetik tayf çizgi profilleri üstüne (sürekli çizgiler) temsilen gözlenen profiller (+ larla) işaretlenmiştir. Çizgi merkezinde değişmeyen fark zamanla değişmeyen kalıcı kutup lekelerine işaret eder.

durumun bir artifact yani gerçekten kutup lekelerine değil de hesaplama tekniğinin bir özelliği, bir hatası olabileceğini söylediler, ve bu durumun bir artifact değil gerçek kutup lekelerinin varlığına işaret ettiğini ispat yolunda araştırmalara giriştiler. Kutup lekeleri aleyhindeki belli başlı şüpheleri 4 grupta toplamak mümkündür.

1) Sentetik çizgi profili hatalı hesaplanıyor olabilir. Gerçekten, Doppler imaging tekniği, fotometrik modellere göre daha karmaşıktır. Sentetik profillerin hesaplanmasında göz önünde tutulması gereken, bir çoğunun doğru değeri bile bilinmeyen, ama çizginin eşdeğer genişliğine doğrudan etki eden metal bollukları, mikro ve makro türbülans, konvektif scale height, transition probabilities gibi parametreler gereklidir. Kısaca, hata ihtimali çoktur.

2) Karşılaştırılacak son profilin üretilmesinde ve gözlemlerle karşılaştırma işleminde pratik zorluklar vardır. Bu zorluklardan sadece birkaç tanesi şunlardır. i) gözlenen tayfta sürekliliğin belirlenmesi; ii) blending (çizgilerin üst üste binmesi) problemi; iii) model atmosferlerden hesaplanan profillerin gerçek kenar kararmasına uygunluk problemi; iv) yönbağımlı (anisotropic) mikro-makro türbülans değerleri ve v) doğru eşdeğer genişlik (W_λ) ve $V \sin i$ değerlerinin bilinmemesi.

3) Gözlenen profillerdeki merkez yükselmesi (filling in the line cores) non-LTE etkileri, kromosferik salma veya ışık saçılması gibi sebepler sonucu olabilir.

4) veya düz tabanlı (flat bottomed) çizgi profili üretebilecek çekim kararması (gravity darkening), diferansiyel dönme, limb brightening (plaj bölgeleri) gibi başka sebepler olabilir.

Bu dört şüpheye karşı, kutup lekelerinin varlığına inananlar karşı itirazlarla kutup lekeleri fikrini müdafaa etmektedirler.

Birinci karşı itiraz Doppler görüntülemesi tekniğinin hızlı dönen yıldızlara uygulandığı, ve böylece profil fonksiyonunda dönmenin etkisi

hakim olunca mikro turbulance gibi birçok parametrenin etkisini yitirdiği, bu yüzden parametrelerin hatalı olması sonucu pek değiştirmedir. Ancak bu kuvvetli bir savunma değildir. Doppler tekniği yavaş dönen yıldızlara uygulanmadığı gibi, çok hızlı dönen yıldızlara da uygulanamaz. $V \sin i$ değeri için üst limit $\sim (80 \text{ veya } 100) \text{ km/s}$ dir (Vogt, Penrod ve Hatzes 1987; Bruls, Solanki ve Schüssler 1998). Dönmeden dolayı genişleme ilk yaklaşımda eşdeğer genişliği (W_λ) değiştirmez. Ama, W_λ ya dönmeden bağımsız doğrudan etki eden osilatör şiddeti, metal bolluğu gibi parametreler de vardır.

İkinci karşı itirazda W_λ ve $V \sin i$ değerlerinin duyarlı bilinmesi o kadar önemli değildir denmektedir. Sentetik eğrinin eşdeğer genişlik veya $V \sin i$ değerleri ile oynuyarak daha iyi bir fit elde edilebilir. Unruh ve Cameron (1995) $\pm 1 \text{ km/s}$ lik bir hata hata sayılmaz demektir. Oysa, Collins ve Truax (1995)'in sözüne bakılırsa en iyi ölçülebilen $V \sin i$ değerinde %10 hata vardır. Doppler görüntülemesi 30 km/s ve daha yüksek hızlara uygulandığına göre en az $\pm 3 \text{ km/s}$ lik bir hata dikkat çekmeyecek demektir. Unruh ve Cameron (1995)'a göre bu iki değer seçimi sun'u kutup lekesine sebep olabilir.

Üçüncü karşı itiraz, kromosferik emisyon kutup lekelerini açıklamak için yeterli değildir. Bu konuda Unruh ve Cameron (1997) ve Bruls, Solanki ve Schüssler (1998) araştırma yapmışlardır. Sonuçta kromosferik emisyonun kutup lekelerini açıklamaya yetmediği anlaşılabilir bile az da olsa çizgi merkezinde yükselmeye sebep olduğu kabul edilmiştir.

Dördüncü karşı itiraz, düz tabanlı (flat bottomed) çizgi profilini üretecek sebepler tek tek yetersiz kalmaktadır. Bu konuda çalışan Hatzes et al. (1996) çekim kararması, ekvator da parlak bant, ve diferansiyel dönme gibi mekanizmaları incelemiş, bu mekanizmaların tek tek yetersiz kaldığını göstermiştir.

3. Sonuç

Bir birinden bağımsız hesaplanan modellerde hep aynı kutup lekesinin çıkması ve tayfdaki kutup lekesi etkisini kutup lekesi olmadan açıklama girişimlerinin başarısız olması kutup lekelerinin varlığını destekleyen ciddi deliller olarak ortaya konmaktadır. Oysa bu iki iddianın ikisi de çürüktür. Çünkü, modeller bağımsız da hesaplanırsa, sentetik çizgi profilini hesaplarken hep aynı bağıntılar kullanılmaktadır. Fit işlemlerinin de çok farklı olduğunu söylemek mümkün değildir. Aynı bağıntılar, benzer fit işlemleri, hep aynı tarz hata sebebi ile gerçek olmayan kutup lekeleri pek ala Doppler

haritalarında yer alabilir. İkinci delile gelince, o hepten çürüktür. Kutup lekelerine inananlar yeni bir şey keşfettik heyecanı ile düştükleri mantık hatasının farkında değildir. Hatzes et al.(1996); Unruh ve Cameron (1997) ve Bruls, Solanki ve Schüssler (1998) gibi çalışmalarda bir tek etki veya mekanizma kutup lekeleri etkisini açıklamak için yeterli gelseydi kutup lekeleri fikri çürür, hatta tamamen terkedilirdi. Ama bunun tersi doğru değildir. Yani, hesaplanan etki veya mekanizmaların tek tek yetersiz kalması kutup lekelerinin varlığını ispatlar diye düşünmek bir mantık hatasıdır.

Kutup lekeleri popüler olunca kutup lekelerinin varlığına teorik destek vermek için yapılan çalışmalar da vardır (Schüssler ve Solanki 1992; Schüssler 1996; Schüssler ve ark. 1996). Ama, bu teorik modelleri inceleyen Byrne (1996)'a göre bu modellerdeki mekanizma kutup lekelerini üretmez. Gerçekten, Schüssler (1996) ve Schüssler ve ark.(1996) kutup lekelerini açıklamak için alternatif bir açıklama tarzı ortaya koysalar da, flux tüplerinin orta enlemlerde yüzeye çıktığını gösteren şekillerine ve durağan adacıkları gösteren grafiklerine göre kutuplarda leke gösterilemediği gibi bu grafiklerle kutup lekelerini açıklama imkanı da görülmemektedir. Yani, kutup lekelerinin varlığını destekliyen sağlam ve tutarlı bir teori de ortada yoktur. Ne dersiniz, kutup lekelerinin varlığı ispatlanmış mıdır?

Kaynaklar

- Bruls J.H.M.J., Solanki S.K., Schussler M., 1998, *A&A*, **336**, 231.
- Byrne P.B., 1996, in *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. No.176, (eds. K.G. Strassmeier, J.L. Linsky), Kluwer, Dordrecht, p.299.
- Collins G.W., Truax R.J., 1995, *ApJ*, **439**, 860.
- Dempsey R.C., Bopp B.W., Strassmeier K.G., Granados A.F., Henry G.W., Hall D.S., 1992, *ApJ*, **392**, 187.
- Donati J.F., Brown S.F., Semel M., Rees D.E., Dempsey R.C., Matthews J.M., Henry G.W., Hall D.S., 1992, *A&A*, **265**, 682.
- Eker Z., 1995, *ApJ*, **445**, 526.
- Eker Z., Al-Malki M., 1999, *Ap&SS*, **262**, 411.
- Hatzes A.P., 1995, *AJ*, **109**, 350.
- Hatzes A.P., 1998, *A&A*, **330**, 541.
- Hatzes A.P., Vogt S.S., Ramseyer T.F., Misch A., 1996, *ApJ*, **469**, 808.
- Hatzes A.P., Vogt S.S., 1992, *MNRAS*, **258**, 387.
- Kurster M., Schmitt J.H.M.M., Cutispoto G., 1994, *A&A*, **289**, 899.
- Olah K., Pettersen B.R., 1991, *A&A*, **242**, 443.
- Rice C.B., 1996 in *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. No.176, (eds. K.G. Strassmeier, J.L. Linsky), Kluwer, Dordrecht, p.19.
- Schussler M., 1996, in *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. No.176, (eds. K.G. Strassmeier, J.L. Linsky), Kluwer, Dordrecht, p.269.
- Schussler M., Solanki S.K., 1992, *A&A*, **264**, L13.
- Schussler M., Caligari P., Ferriz-Mas A., Solanki S.K., Stix M., 1996, *A&A*, **314**, 503.
- Strassmeier K.G., 1990, *ApJ*, **348**, 682.
- Strassmeier K.G., 1994, *A&A*, **281**, 395.
- Strassmeier K.G., 1996a, *A&A*, **314**, 558.
- Strassmeier K.G., 1996b, in *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. No.176, (eds. K.G. Strassmeier, J.L. Linsky), Kluwer, Dordrecht, p.289.
- Strassmeier K.G., 1997, *A&A*, **319**, 535.
- Strassmeier K.G., Rice, C.B., 1998, *A&A*, **339**, 497.
- Strassmeier K.G., Rice J.B., Wehlau W.H., Hill G.M., Matthews J.M., 1993, *A&A*, **268**, 130.
- Strassmeier K.G., Rice J.B., Wehlau W.H., Vogt S.S., Hatzes A.P., Tuominen I., Pikunov N.E., Hackman T., Poutanen, M., 1991, *A&A*, **247**, 130.
- Unruh Y.C., Cameron A.C., 1995, *MNRAS*, **273**, 1.
- Unruh Y.C., Cameron A.C., 1997, *MNRAS*, **290**, L37.
- Vogt S.S., Hatzes A.P., 1996 in *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. No.176, (eds. K.G. Strassmeier, J.L. Linsky), Kluwer, Dordrecht, p.245.
- Vogt S.S., Penrod G.D., 1983, *PASP*, **95**, 565.
- Vogt S.S., Penrod G.D., Hatzes A.P., 1987, *ApJ*, **321**, 496.