

SW LAC'IN UZUN DÖNEMLİ IŞIK DEĞİŞİMİ

Mesut YILMAZ¹, Berahitdin ALBAYRAK¹ ve Selim O. SELAM¹

Özet

Bu çalışmada, aktif örten değişen yıldız olan SW Lac'ın 2001'den 2005'e kadar olan fotometrik verisi analiz edildi. Işık eğrileri önemli asimetrik yapılar göstermektedir ve özellikle maksimum yüksekliklerde olmak üzere, mevsimden mevsime değişmektedir. Işık eğrisindeki asimetrisi ve değişimleri açıklamak için bileşenler üzerinde leke bölgeleri var olduğu kabul edildi. Işık eğrisi analizleri SW Lac'ın aşırı derecede değen ($f \sim 30\%$) bir çift sistem olduğunu göstermektedir. Sisteme ilişkin temel yörünge parametreleri değiştirilmeksizin, sistemin daha büyük kütleli ve soğuk bileşeni üzerine yerleştirilen soğuk Güneş benzeri leke alanlarıyla, ardışık sezonlara ilişkin ışık eğrileri oldukça başarılı bir şekilde temsil edilebilmektedir. Bu durum, sistemin ışık eğrisindeki karmaşık değişimlerin, sistemin büyük kütleli bileşeninin büyük bir kısmını kaplayan lekeli bölgelerdeki zamana bağlı değişimlerle oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: yıldızlar, örten değişen yıldızlar, ışık eğrisi analizi, SW Lac

Abstract:

In this study, the activity of eclipsing binary SW Lac is examined by analyzing the photometric data covering the period from 2001 till 2005. The light curves corresponding to this period show significant asymmetries and changing from season to season; especially conspicuous in the height of the light curve maxima. To explain the light asymmetries and variations, we used a model that involves spotted regions on the components. The analysis show that SW Lac is in over contact configuration ($f \sim 30\%$). The Roche model with spotted areas on the more massive and cooler component yields a good fit of the observations for the whole set of the seasonal light curves, without any changes of the basic system parameters. This indicates that the complex nature of the light curve variations during the examined period can be explained by the changes of spotted areas on the cooler component, which cover a significant part of the stellar surface.

KeyWords : stars, eclipsing binary stars, light curve analysis, SW Lac

1.Giriş

Kısa dönemli ($P \sim 0^{\text{gün}}.32$) W UMa türü bir örten çift olan SW Lac ($V_{\text{max}} = 8^{\text{m}}.91$, HD 216598, BD+37 4717, HIP 113052) ışık eğrisi ve döneminde gösterdiği değişiklikler

¹ Ankara Üniversitesi Gözlemevi, 06837, Ahlatlıbel, Ankara, 0312 2126720/1297, mesut@astro1.science.ankara.edu.tr

nedeniyle literatürde birçok kez inceleme konusu olmuştur. Değişen bir yıldız olduğu ilk kez Miss Ashall'ın Harvard Collage Gözlemevinde (Leavitt [1]) elde ettiği fotografik plakları incelemesiyle anlaşıldı. İlk fotometrik gözlemleri Brownlee [2] tarafından yapıldı ve ışık eğrisinde dönemden döneme değişimler olduğu belirtildi. Birçok araştırmacı bu davranışı doğruladı (Bookmyer [3]; Chou [4]; Muthsam & Rakos [5]; Leung vd. [6]; Niarchos [7]; Lafta & Grainer [8]; Pena vd [9]; Jeong vd [10]; Pribulla vd. [11]). Işık eğrilerinde izlenen değişimlerin bileşenler üzerindeki aktif lekeli bölgelerden kaynaklandığı belirtildi (Stepien [12]; Binnendijk [13]; Leung vd [6]; Eaton [14]; Jeong vd [10]; Lee vd [15]; Djurašević ve Erkapic [16]; Pribulla vd [11], Albayrak vd [17]). Sistemin yörünge döneminde izlenen değişim Panchatsaram ve Abhyankar [18] ve Pribulla vd. [11] tarafından sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü ve dördüncü bileşenlerin yarattığı ışık-zaman etkisi olarak yorumlanmıştır. Hendry ve Mochnacki [19] yaptıkları tayfsal gözlemlerle sistemin geç tayf türünden üçüncü bir bileşenini buldular.

SW Lac'ın bileşenlerinin tayf türü G3V+G3V'tir (Wood, [20]). Struve [21] radyal hız eğrisinden kütle oranını $q = m_c/m_h = 1.17$ olarak buldu. Burada h ve c indisleri sırasıyla sıcak (küçük kütleli) yoldaş ve soğuk (büyük kütleli) baş bileşen için kullanıldı. Zhai ve Lu [22] ise radyal hız eğrisi çalışmasından kütle oranını 1.255 olarak belirlediler. Hrivnak [23] yaptığı tayfsal çalışmada sistemin kütle oranını $q = m_h/m_c = 0.73$ olarak belirledi. Yakın tarihli tayfsal gözlemler Rucinski vd. [24] tarafından yapıldı ve sistemin kütle oranı $q = m_h/m_c = 0.777$ ve tayf türü G5 olarak belirlendi. Kütle oranına ilişkin belirleme hatasının 0.010 gibi göreceli olarak büyük bir değerde çıkması, bu yıldızın olası, yüksek aktivitesinin bir sonucu olarak yorumlandı.

Bu çalışmada SW Lac'ın mevsimsel B ve V bandı ışık eğrileri (2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005) sabit kütle oranı değeri ($q = m_c/m_h = 1.255$) dikkate alınarak analiz edilmiş ve sistemin aktivite değişimi incelenmiş, böylece SW Lac'ın güvenilir yörüngesel ve fiziksel parametrelerine ulaşılmıştır.

2.Gözlemler

SW Lac'ın B ve V bandı ışık eğrileri 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarında Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde 30 cm'lik Maksutov teleskopu ve ona bağlı SSP-5A fotometresi ile elde edildi. Gözlemlerde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla BD +37° 4715 ve BD +37° 4711 kullanıldı. Gözlemler süresince mukayese ve denet yıldızlarında her hangi bir ışık değişimi tespit edilmedi. Her gece için hesaplanan atmosferik sönümleme katsayıları kullanılarak, gözlemler atmosferik sönümleme etkisinden arındırıldı. Johnson standart sistemine yakın BV filtrelerinde yapılan gözlemlerden 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yılları için her bir bantta sırasıyla 235, 181, 405, 174 ve 336 diferansiyel gözlem noktası elde edildi. B ve V bantlarındaki gözlemlerin olası hataları sırasıyla, 2001 ve 2002 sezonu her iki filtre için ± 0.026 , 2003 yılı için ± 0.017 ve ± 0.020 , 2004 - 2005 gözlem sezonları için ± 0.015 ve ± 0.018 olarak belirlendi. Atmosferik sönümleme etkisinden arındırılan gözlem verisi standart parlaklık sistemine dönüştürüldü.

Tablo 1'de SW Lac'ın yıllara göre ışık eğrilerinin minimum ve maksimumlarındaki parlaklık seviyeleri ve farkları verildi. Şekil 1 ve 2'de SW Lac'ın BV bandı ışık eğrileri verildi. Şekil'lerdeki ışık eğrileri (1) ifadesinde verilen yeni ışık elemanları ile oluşturuldu. Tablo 1 ve Şekil'lerden kolayca görülebileceği gibi, B ve V bandı ışık eğrilerimizde birinci minimumlar ikinci minimumlardan daha derin gözükmemektedir. Ayrıca ışık eğrilerinin iki maksimumu arasında önemli bir seviye farkı ve asimetric yapılar görülmektedir.

$$HJD \text{ MinI} = 2452505.5947 (2) + 0^{\text{gün}}.3207170 (1) \times E \quad (1)$$

Tablo 1. SW Lac'ın yıllara göre maksimum ve minimum parlaklık değerleri.

| | 2001 (B) | 2001 (V) | 2002 (B) | 2002 (V) | 2003 (B) | 2003 (V) | 2004 (B) | 2004 (V) | 2005 (B) | 2005 (V) |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Maks I | 10 ^m .214 | 9 ^m .464 | 10 ^m .200 | 9 ^m .451 | 10 ^m .270 | 9 ^m .511 | 10 ^m .317 | 9 ^m .550 | 10 ^m .333 | 9 ^m .559 |
| Maks II | 10 ^m .307 | 9 ^m .521 | 10 ^m .337 | 9 ^m .540 | 10 ^m .303 | 9 ^m .540 | 10 ^m .275 | 9 ^m .541 | 10 ^m .321 | 9 ^m .558 |
| Min I | 11 ^m .107 | 10 ^m .301 | 11 ^m .167 | 10 ^m .360 | 11 ^m .128 | 10 ^m .317 | 11 ^m .158 | 10 ^m .342 | 11 ^m .186 | 10 ^m .382 |
| Min II | 10 ^m .912 | 10 ^m .119 | 10 ^m .900 | 10 ^m .143 | 10 ^m .963 | 10 ^m .189 | 11 ^m .037 | 10 ^m .224 | 11 ^m .018 | 10 ^m .237 |

3. Işık Eğrisi Analizi

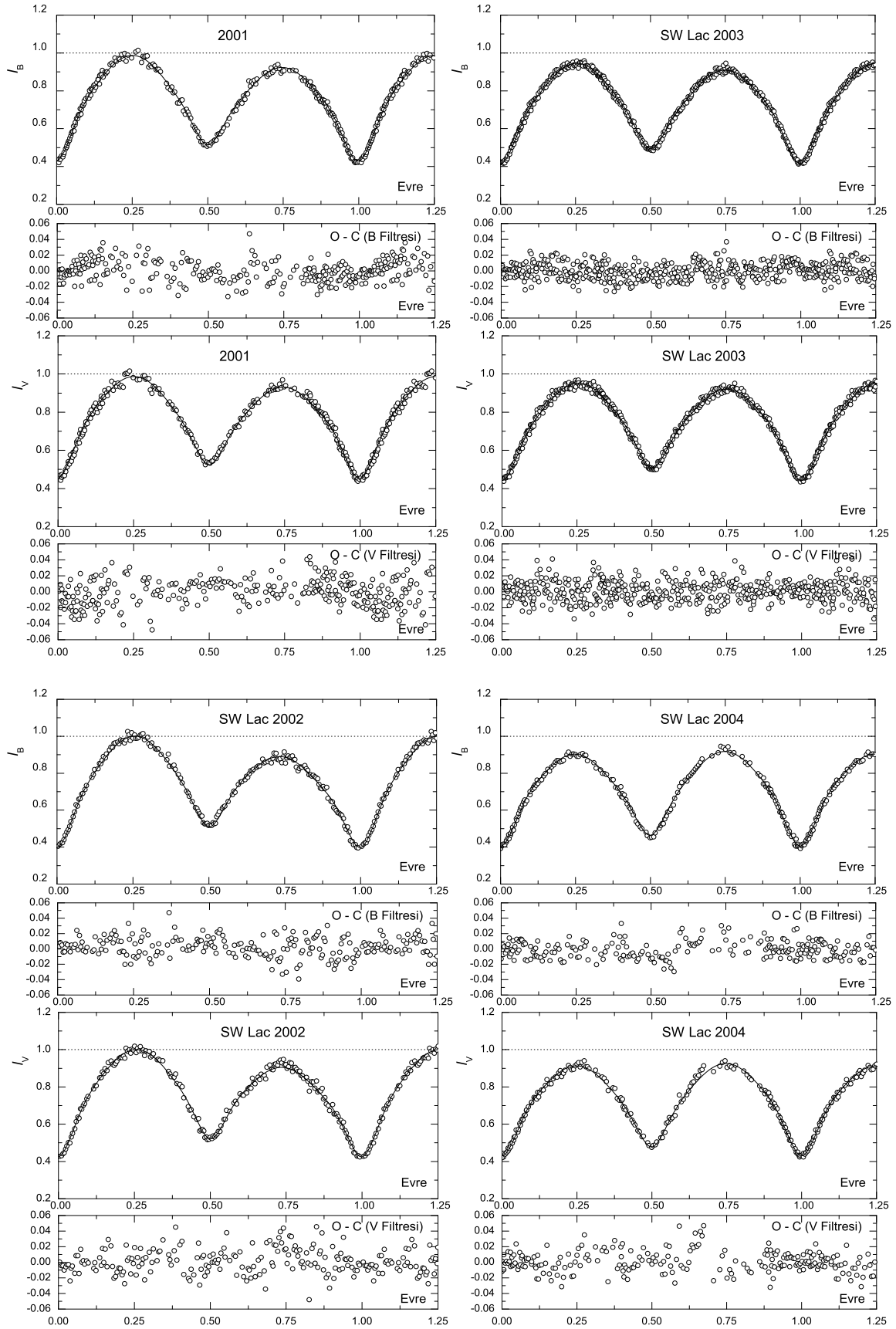
SW Lac'ın B ve V bandı ışık eğrileri WD2003 (Wilson [25]) programı kullanılarak analiz edildi. Işık eğrisi analizlerinde, sistemin kütle oranı Zhai ve Lu [22]'nin radyal hız çözümlerinden elde ettiği $q = m_c/m_h = 1.255$ değerinde sabit tutuldu. Düşük kütleli bileşenin (sıcak) sıcaklığı tayf türüne uygun olarak Popper'ın [26] sıcaklık kalibrasyonundan $T_h = 5630$ K olarak belirlendi. Ayrıca analizde, konvektif atmosfer kabulü altında her iki bileşenin çekim kararması $g_{h,c} = 0.32$ ve yansıma katsayıları $A_{h,c} = 0.5$ kullanıldı. Lineer olmayan kenar kararına uygun olarak kenar kararına katsayıları Van Hamme'in [27] tabloları kullanılarak belirlendi. Bunun yanı sıra çözümlerde bileşenlerin eş dönme oranlarına sahip olduğu varsayıldı.

Sistemin gözlemsel ışık eğrilerinin tüm özelliklerini ortaya koyabilmek için çok sayıda farklı çözüm denemeleri gerçekleştirildi. Işık eğrilerinde izlenen asimetrisi temsil edebilmek için lekeli model kullanıldı. Sistemin geç tayf türünden bileşenlere sahip olduğu göz önüne bulundurularak, Güneş benzeri soğuk leke bölgeleri kabulü altında çözüm yapıldı. Çözümlerde her iki bileşende de leke olabilecek durumlar denendi. Mevsimsel B ve V ışık eğrilerinin eşzamanlı analizleri sonunda en iyi çözüme sadece büyük kütleli (soğuk) bileşen üzerinde soğuk lekelerin varlığı ile ulaşıldı. Kullanılan analiz programında bir leke bölgesi, leke ile onu çevreleyen fotosfer arasındaki sıcaklık farkı $TF = T_{leke}/T_{yıldız}$, lekenin açılmal yarıçapı θ , lekenin boylamı λ ve lekenin enlemi ϕ ile tanımlanmaktadır.

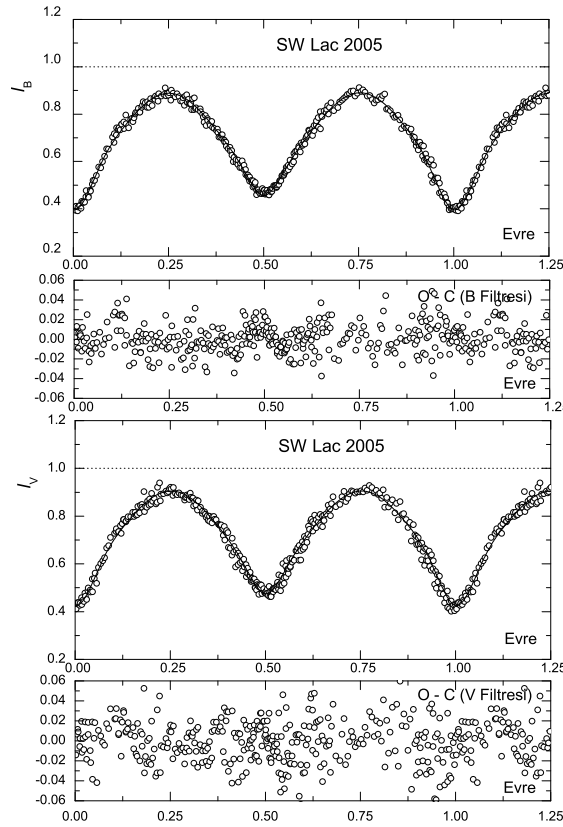
Leke etkisinin görülmediği bir ışık eğrisi olmadığı için lekesiz durumu temsil edecek, (referans alınacak) uygun bir maksimum ışık seviyesi hesaplanamadı. Bu nedenle en yüksek ışık seviyesi olarak 2002 yılında 0.25 evresindeki maksimum düzeyi referans alındı. Leke etkisi maksimum ışık seviyesinde muhtemelen minimumlara göre daha az etkin olduğundan bu seviye referans seviyesi olarak alındı ve tüm ışık eğrileri bu seviyeye normalize edildi.

2002 yılı ışık eğrilerinin eşzamanlı çözümleri sistemin ve lekenin temel parametrelerini vermektedir. Mevsimsel ışık eğrisi çözümü için yörünge eğikliği $i \sim 79^\circ.5$, değme derecesi $f \sim \%30$ ve soğuk bileşenin sıcaklığı $T_c \sim 5330$ K olarak alındı.

2002 yılı ışık eğrisi ile elde edilen temel parametreler diğer yıllardaki ışık eğrilerinin çözümünde sabit tutuldu. Daha doğrusu bu parametrelerin soğuk bileşenin sıcaklığındaki ve potansiyellerdeki ufak değişimler haricinde değişmediği varsayıldı. Ayrıca bu durum çalışılan dönem için ışık eğrisindeki değişimin basitçe yıldız yüzeyindeki leke alanları ile olduğunu açıklayabilmektedir. Tablo 2 ve Şekil 1 ve 2'de SW Lac'a ait parametrelerin çözüm sonuçları ile gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ve farkları verildi. Şekil 3'te sistemin farklı evrelerdeki geometrik modeli ve lekelerin konumu verildi.



Şekil 1. SW Lac'ın 2001, 2002, 2003 ve 2004 yılı gözlemsel ile teorik ışık eğrileri ve farkları.



Şekil 2. SW Lac'ın 2005 yılı gözlemsel ile teorik ışık eğrisi ve farkları.

3.Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, SW Lac örten değişen çift sisteminin 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 gözlem sezonlarında Ankara Üniversitesi Rasathane'sinde elde edilen B ve V bandı ışık eğrileri, eş zamanlı olarak WD2003 programı kullanılarak modellendi. Işık eğrisi analizlerinden elde edilen parametreler Tablo 2'de verildi. Her bir ışık eğrisinin kuramsal fitlerle ile olan uyumu ve sistemin geometrisi Şekil 1, 2 ve 3'de görüldüğü gibidir.

Gözlemler ile kuramsal ışık eğrileri arasındaki uyum, büyük kütleli soğuk bileşenin yüzeyinde iki farklı leke bölgesinin varlığıyla sağlanabildi ki bu durum SW Lac'ın Güneş benzeri etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Her iki lekenin kendilerini çevreleyen fotosfere göre sıcaklık farkı yaklaşık 714 ve 735 K dir. Her iki lekenin açılal büyüklükleri 2001 yılından 2005 yılına doğru arttığı görülmekte. SW Lac'ta görülen bu büyüklüklerdeki lekeler, Güneş'e göre daha şiddetli manyetik aktivitenin varlığı ile açıklanabilir. Bu nedenle lekelerin açılal büyüklükleri sistemin aktivitesinin belirteci olarak kullanılabilir. 2001 yılı asimetric ışık eğrisinin analizi daha küçük lekeli bölgeler gösterirken; 2002 yılı ışık eğrisi analizinde ise daha büyük lekeler görülmektedir. Işık eğrisindeki asimetric büyük olduğu için aktivite önceki yıla göre daha fazladır. 2003 yılı ışık eğrisine bakıldığında asimetric daha az, fakat maksimum 2002 yılındaki maksimuma göre basıktır. Lekeler yoldaş yıldız yüzeyinde önceki yıllara göre daha fazla alan kaplamaktadır ve sistemin önceki iki seneden daha aktif olduğunu göstermektedir. 2004 ve 2005 yıllarında ise leke alanları bu gözlem dönemleri boyunca sürekli artma göstermektedir. Bu yıllardaki aktivite önceki üç yıla göre en yoğun haldedir. Özellikle 2005 yılı ışık eğrisindeki asimetric en azdır fakat basıklık tam tersi olarak en fazladır. Farklı sezonlardaki ışık eğrisi çözümleri sistemin temel fiziksel parametrelerinde

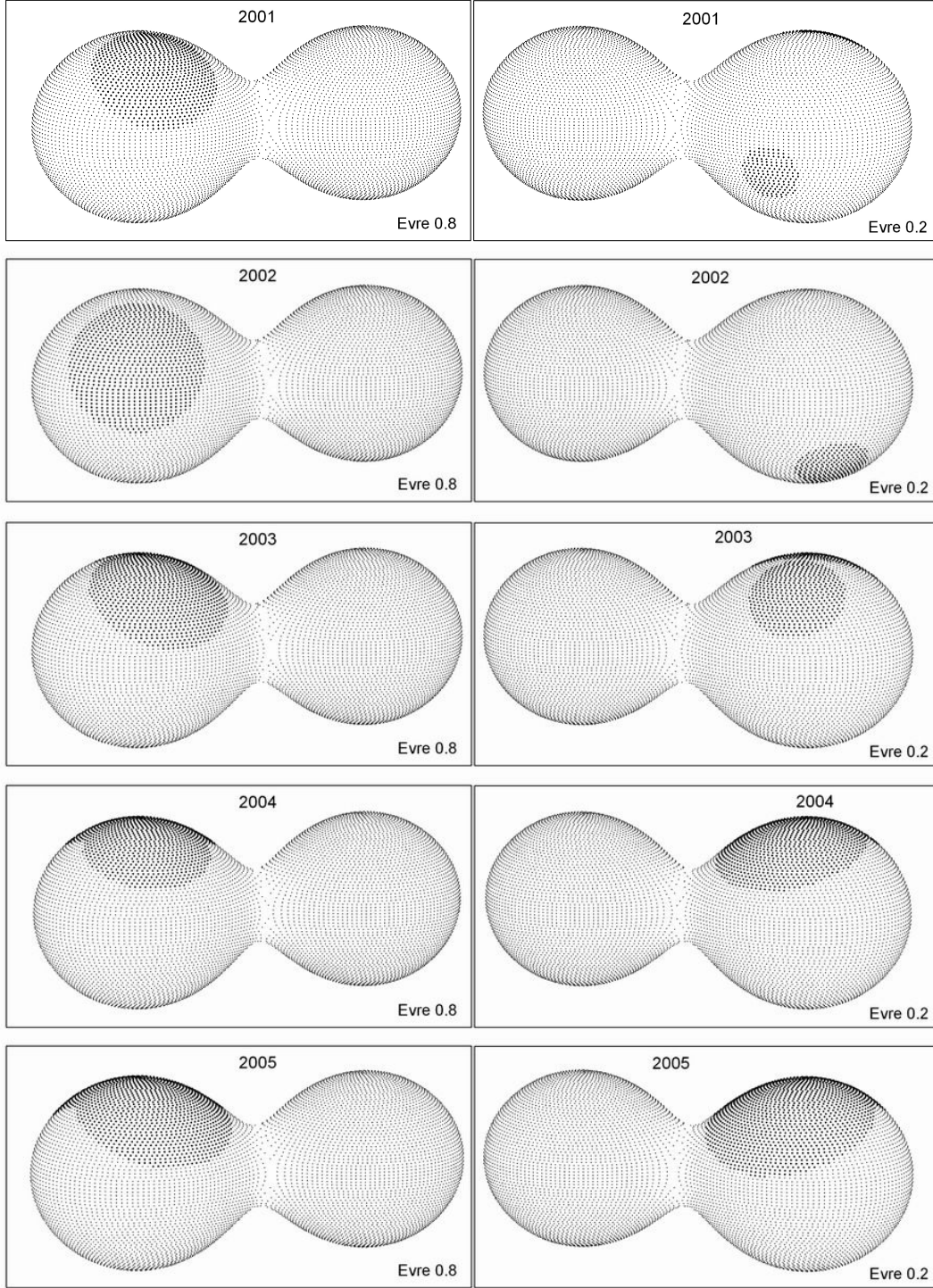
bir değişim olmadığını göstermektedir. Bu nedenle ışık eğrilerindeki karmaşık değişimlerin kaynağı değişken yıldız leke aktivitesi olabilir. SW Lac, çift olmanın doğası gereği aynı tayf türündeki tek yıldızlara oranla çok hızlı dönmektedir. Bu nedenle daha şiddetli bir manyetik aktiviteye sahip olması muhtemeldir.

Analizlerimiz, daha derin minimum'un soğuk (büyük kütleli ve yarıçaplı) bileşenin sıcak (küçük kütleli ve yarıçaplı) bileşeni örtmesiyle oluştuğunu göstermektedir. Çözümler SW Lac'ın büyük değme oranına sahip ($f \sim \%30$) ve bileşenler arası küçük sıcaklık farkı bulunan ($\Delta T \sim 300$ K) bir sistem olduğunu göstermektedir.

Işık eğrisindeki ciddi değişiklikler sistemin ileride yapılacak fotometrik gözlemlerini oldukça ilginçleştirmektedir. Sistemin göstermekte olduğu Güneş benzeri aktivitenin çevrimsel bir yapıya sahip olmadığını ortaya koyabilmek için en az on yıllık düzenli fotometrik gözlemlere ihtiyaç vardır.

Tablo 2. SW Lac'ın ışık eğrisi analiz sonuçları. Burada h ve c indisi sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni göstermektedir. Logaritmik kenar kararım katsayıları x_1 , x_2 , y_1 ve y_2 ile gösterildi.

| Parametre | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| i (°) | 79.645 ±0.637 | 79.51 ±0.772 | 79.467 ±0.772 | 79.38 ±0.289 | 79.541 ±0.365 |
| q | 1.255 | 1.255 | 1.255 | 1.255 | 1.255 |
| T_h | 5630 | 5630 | 5630 | 5630 | 5630 |
| T_c | 5331 ±39 | 5330 ±45 | 5329 ±26 | 5339 ±46 | 5328 ±37 |
| Ω_h | 3.9399 ±0.0239 | 3.93773 ±0.0276 | 3.93697 ±0.0125 | 3.93597 ±0.0103 | 3.93263 ±0.0129 |
| Ω_c | 3.9399 ±0.0239 | 3.93773 ±0.0276 | 3.93697 ±0.0125 | 3.93597 ±0.0103 | 3.93263 ±0.0129 |
| A_h | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| A_c | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| g_h | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| g_c | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| $\lambda_{c,1}$ (°) | 267 ±1.2 | 250.7 ±1.7 | 275.9 ±0.7 | 263.3 ±0.5 | 278.9 ±5.8 |
| $\phi_{c,1}$ (°) | 41.6 ±1.2 | 65.1 ±3.2 | 35.1 ±0.8 | 25.4 ±0.8 | 26.4 ±3.3 |
| $\theta_{c,1}$ (°) | 40.2 ±2.2 | 42.2 ±1.6 | 44.9 ±1.6 | 41.3 ±0.8 | 50.5 ±2.7 |
| $TF_{c,1}$ | 0.87 ±0.09 | 0.88 ±0.06 | 0.87 ±0.03 | 0.85 ±0.04 | 0.86 ±0.03 |
| $\lambda_{c,2}$ (°) | 86 ±1.9 | 132.4 ±2.8 | 99.8 ±0.8 | 73.2 ±0.4 | 80.6 ±7.6 |
| $\phi_{c,2}$ (°) | 109.1 ±2.9 | 136 ±4.1 | 42.8 ±0.7 | 18.2 ±0.4 | 24.8 ±5.3 |
| $\theta_{c,2}$ (°) | 17.9 ±3.6 | 22.3 ±2.5 | 30.1 ±0.6 | 49.9 ±0.6 | 56.3 ±3.1 |
| $TF_{c,2}$ | 0.87 ±0.04 | 0.87 ±0.05 | 0.86 ±0.05 | 0.83 ±0.03 | 0.88 ±0.02 |
| f (%) | 30.69 | 30.02 | 30.14 | 30.72 | 30.33 |
| a [R _⊙] | 2.375 ±0.009 | 2.375 ±0.009 | 2.375 ±0.009 | 2.375 ±0.009 | 2.375 ±0.009 |
| M_h [M _⊙] | 0.777 ±0.012 | 0.777 ±0.012 | 0.777 ±0.012 | 0.777 ±0.012 | 0.777 ±0.012 |
| M_c [M _⊙] | 0.976 ±0.022 | 0.976 ±0.022 | 0.976 ±0.022 | 0.976 ±0.022 | 0.976 ±0.022 |
| M_{bol}^h | 5.019 ±0.032 | 5.016 ±0.036 | 5.016 ±0.021 | 5.044 ±0.018 | 5.001 ±0.021 |
| M_{bol}^c | 5.06 ±0.059 | 5.048 ±0.069 | 5.047 ±0.056 | 5.049 ±0.054 | 5.044 ±0.05 |
| $\log g_h$ | 4.39 ±0.006 | 4.389 ±0.008 | 4.389 ±0.002 | 4.401 ±0.001 | 4.383 ±0.002 |
| $\log g_c$ | 4.406 ±0.002 | 4.405 ±0.003 | 4.405 ±0.002 | 4.415 ±0.003 | 4.4 ±0.002 |
| R_h [R _⊙] | 0.931 ±0.014 | 0.932 ±0.015 | 0.93 ±0.009 | 0.92 ±0.008 | 0.939 ±0.009 |
| R_c [R _⊙] | 1.024 ±0.014 | 1.025 ±0.015 | 1.026 ±0.009 | 1.024 ±0.008 | 1.032 ±0.009 |
| $L_h/(L_h+L_c)$ | 0.533 ±0.010(B); 0.517 ±0.009 (V) | 0.525 ±0.014(B); 0.517 ±0.009 (V) | 0.533 ±0.007(B); 0.518 ±0.006 (V) | 0.524 ±0.005(B); 0.510 ±0.004 (V) | 0.537 ±0.005(B); 0.520 ±0.004 (V) |
| x_1 | 0.841(B); 0.768 (V) | 0.841(B); 0.768 (V) | 0.841(B); 0.768 (V) | 0.841(B); 0.768 (V) | 0.841(B); 0.768 (V) |
| x_2 | 0.848(B); 0.785 (V) | 0.848(B); 0.785 (V) | 0.848(B); 0.786 (V) | 0.848(B); 0.784 (V) | 0.849(B); 0.786 (V) |
| y_1 | 0.119(B); 0.218 (V) | 0.119(B); 0.218 (V) | 0.119(B); 0.218 (V) | 0.12(B); 0.218 (V) | 0.119(B); 0.218 (V) |
| y_2 | 0.059(B); 0.174 (V) | 0.064(B); 0.174 (V) | 0.058(B); 0.173 (V) | 0.065(B); 0.178 (V) | 0.056(B); 0.172 (V) |
| $\Sigma(O-C)^2$ | 0.0565 (B); 0.0902 (V) | 0.0412 (B); 0.0557 (V) | 0.0546 (B); 0.0831 (V) | 0.0280 (B); 0.0424(V) | 0.0911 (B); 0.1043(V) |



Şekil 3. SW Lac'ın geometrik modeli ve lekelerin konumları.

Kaynaklar

- [1] Leavitt, H. S., (1918), Harvard Circ, No 207.
- [2] Brownlee, R. R., (1957), "Photoelectric Observations of SW Lacertae", *Astrophysical Journal*, vol. 125, 372.
- [3] Bookmyer, B. B., (1965), "A study of photoelectric observations of SW Lac.", *Astronomical Journal*, Vol. 70, 415.
- [4] Chou, K.C., (1933), "Light curve variation of SW Lac.", *Astron. J.*, 68, 342.
- [5] Muthsam, H., Rakos, K. D., (1974), "Differential UB_V photometry of SW Lac", *Astronomy and Astrophysics Supplement*, Vol. 13, 127.
- [6] Leung, K.-C., Zhai, D., Zhang, R., (1984), "A study of photoelectric observations of SW Lacertae", *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, vol. 96, Aug. 1984, 634-640, Research supported by the Chinese Academy of Sciences.
- [7] Niarchos, P. G., (1987), "New photoelectric light curves and elements of SW Lacertae", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, vol. 67, no. 2, Jan. 1987, 365-371.
- [8] Lafta, S. J., Grainger, J. F., (1985), "New photoelectric observations of four W UMa systems - OO Aql, V839 Oph, V566 Oph, and SW Lac", *Astrophysics and Space Science*, vol. 114, no. 1, Sept. 1985, 23-118.
- [9] Pena, J. H., Hobart, M. A., Rodriguez, E., (1963), "Observations and period variation analysis of the W UMa type star SW Lac.", *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 25, 63-69.
- [10] Jeong, Jang Hae, Kang, Yong Woon; Lee, Woo Baik; Sung, Eon Chang, (1994), "Analysis of the IUE satellite and the ground-based observations of SW Lacertae", *Astrophysical Journal*, Part 1, vol. 421, no. 2, 779-786.
- [11] Pribulla, T., Chochol, D., Parimucha, S., (1999), "Period and Light-Curve Study of the Eclipsing Contact Binary SW Lac", *Contributions of the Astronomical Observatory*, vol. 29, 111.
- [12] Stepien, K., (1980), "SW Lacertae and the SPOT activity on W UMa stars", *Acta Astronomica*, vol. 30, no. 3, 1980, 315-321.
- [13] Binnendijk, L., (1984), "Synthetic parameters of five W-type contact binaries", *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, vol. 96, Aug. 1984, 646-656.
- [14] Eaton, J. A., (1986), "SW Lacertae, W Ursae Majoris, YY Eridani and the prevalence of starspots in cool contact binaries", *Acta Astronomica*, vol. 36, no. 1, 1986, 79-103.
- [15] Lee, W. B., Sung, E. C., Kang, Y. W., (1991), "Starspot Parameters of the W-Ursae Type Eclipsing Binary Sw-Lacertae", *Astron. Soc. of Australia. Proceedings v.9:2*, 297.
- [16] Djurasevic, G., Erkapic, S., (1997), "Estimation of the SW Lac Parameters Based on the Light-Curve Analysis", *Bulletin Astronomique de Belgique No. 155*, 55-62.
- [17] Albayrak, B., Djurasevic, G., Erkapic, S., Tanriverdi, T., (2004), "Modeling the changing spot features of SW Lacertae: A three year study", *Astronomy and Astrophysics*, v.420,1039-1045.
- [18] Panchatsaram, T., Abhyankar, K. D., (1981), "SW Lacertae - A quadruple system", *Astronomical Society of India, Bulletin*, vol. 9, 1981, 31-39.
- [19] Hendry, P. D., Mochnacki, S. W., (1998), "Detection of Tertiary Components in W Ursa Majoris Systems", *Astrophysical Journal v.504*, 978.
- [20] Wood, F. B., Parker, O.J., Koch, R. H., (1980), "A finding list for observers of interacting binary stars", *Publication of Department of Astronomy, University of Florida - Publication University of Pennsylvania, Astronomical Series*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1980, 5th ed.
- [21] Struve, O., (1949), "Spectrographic Observations of the Eclipsing Variable SW Lacertae", *Astrophysical Journal*, vol. 109, 436.
- [22] Zhai, D., Lu, W., (1989), "Radial velocity observations and physical activities of the contact binary system SW lacertae", *Chinese Astronomy and Astrophysics*, Volume 13, Issue 4, 350-359.
- [23] Hrivnak, B. J., (1992), "Radial velocity curves of five contact binary star systems.", *Bull. American Astron. Soc.*, 24, 686.
- [24] Rucinski, S. M., Pych, W., Ogloza, W., DeBond, H., Thomson, J. R., Mochnacki, S. W., Capobianco, C. C., Conidis, G., Rogoziecki, P., (2005), "Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. X.", *The Astronomical Journal*, Volume 130, Issue 2, 767-775.
- [25] Wilson, R. E., (2003), "Computing Binary Star Observables", *Uni. of Florida, Astronomy Dept.*
- [26] Popper, D. M., (1980), "Stellar masses", In: *Annual review of astronomy and astrophysics. Volume 18.*, Palo Alto, Calif., Annual Reviews, Inc., 1980, 115-164.
- [27] van Hamme, W., (1993), "New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves", *Astronomical Journal*, vol. 106, no. 5, 2096-2117.