

TX HER VE HS HER ÇİFT YILDIZLARININ IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Hakan Volkan ŞENAVCI¹, Tolga ÇOLAK¹, Zekeriya MÜYESSEROĞLU¹,
Selim Osman SELAM¹, Berahitdin ALBAYRAK¹

Özet

Bu çalışmada alkol türü TX Her ve HS Her örten çift yıldızlarının B ve V bandı ışık eğrileri, sistemlerin fiziksel parametrelerini elde etmek amacıyla Wilson-Devinney ışık eğrisi analiz programı kullanılarak çözüldü. TX Her'e ilişkin gözlemler Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos 2003 tarihlerinde, HS Her'e ilişkin gözlemler ise 1988-1989, 1994-1995 ve 2002-2004 tarihleri arasında elde edildi. Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilen 3 ışık eğrisine ek olarak HS Her yıldızının daha önceden yayınlanmış iki ışık eğrisiyle birlikte toplam 5 ışık eğrisinin eş zamanlı çözümü yapıldı. TX Her için ilk kez Wilson-Devinney analiz programı kullanılarak elde edilen sonuçlar, sistemin bileşenlerinin kütlece ve yarıçapça birbirine yakın olan tipik ayırık bir alkol türü sistem olduğunu göstermektedir. HS Her'in ışık eğrisi çözümlerinden sistemin daha önceden dönem analiziyle belirlenmiş yörünge dışmerkezliği değerini doğrulayan sonuçlar elde edildi. Bununla birlikte HS Her'e ait bir tayfsal kütle oranı olmamasına rağmen 5 ışık eğrisinin çözümlerinin birleştirilmesiyle oldukça güvenilir bir fotometrik kütle oranı elde edildi.

Anahtar kelimeler: örten değişen çift yıldızlar, ışık eğrisi analizi, TX Her, HS Her

Abstract

In this study new photometric B, V light curves were obtained for two alkol type systems TX Her and HS Her to determine the physical parameters of the systems using the Wilson-Devinney light curve analysis program. The light curves were obtained at the Ankara University Observatory during May, June, July and August 2003 for TX Her and 1988-1989, 1994-1995 and, 2002-2004 for HS Her. In addition to three light curves obtained at Ankara University Observatory, two more light curves from the literature were added to analysis of HS Her and total five light curves analyzed with a simultaneous solution. The results for TX Her by using the WD code for the first time indicate that the system is a typical detached alkol type system which the components have almost similar masses and radii. From the light curve solution of HS Her, the eccentricity of the orbit which is previously determined by the period analysis was confirmed. Although, the absence of the spectroscopic mass ratio, a precise value of photometric mass ratio for HS Her is determined by the simultaneous solution of five light curves.

Keywords: eclipsing binary stars, light curve analysis, TX Her, HS Her

¹ Ankara Üniversitesi Gözlemevi, 06837, Ahlatlıbel, Ankara e-posta: volkan@astro1.science.ankara.edu.tr

1. Giriş

TX Her (HD 156965, BD +42° 2823, HIP 84670) yörünge dönemi 2.0598 gün olan Algol türü bir çift sistem olup, değişen yıldız olduğu 1910 yılında Miss Cannon tarafından keşfedildi [1]. Bileşenlerin tayf türleri A5 ve F0 olarak belirlendi [2]. Sisteme ilişkin ilk fotoelektrik fotometri çalışması Botsula [3] tarafından yapıldı. Botsula [4], 1968'deki diğer bir fotometrik çalışmasında 1. minimumun transit olduğunu belirtmiştir ki bu tayfsal olarak da desteklenmektedir. Ayrıca aynı çalışmada ikinci minimumun, birinci minimuma göre daha geniş bir profile sahip olduğundan bahsedilmiştir. Sisteme ait detaylı bir tayfsal çalışma Popper [5] tarafından yapıldı. Fotometrik ve radyal hız gözlemlerinin analizinden elde edilen salt parametreler; $M_1 = 1.62 \pm 0.04M_{\odot}$, $M_2 = 1.45 \pm 0.03M_{\odot}$, $R_1 = 1.60 \pm 0.05R_{\odot}$, $R_2 = 1.50 \pm 0.05R_{\odot}$, $\log L_1 = 0.99 \pm 0.08L_{\odot}$, $\log L_2 = 0.74 \pm 0.08L_{\odot}$ olarak verilmiştir.

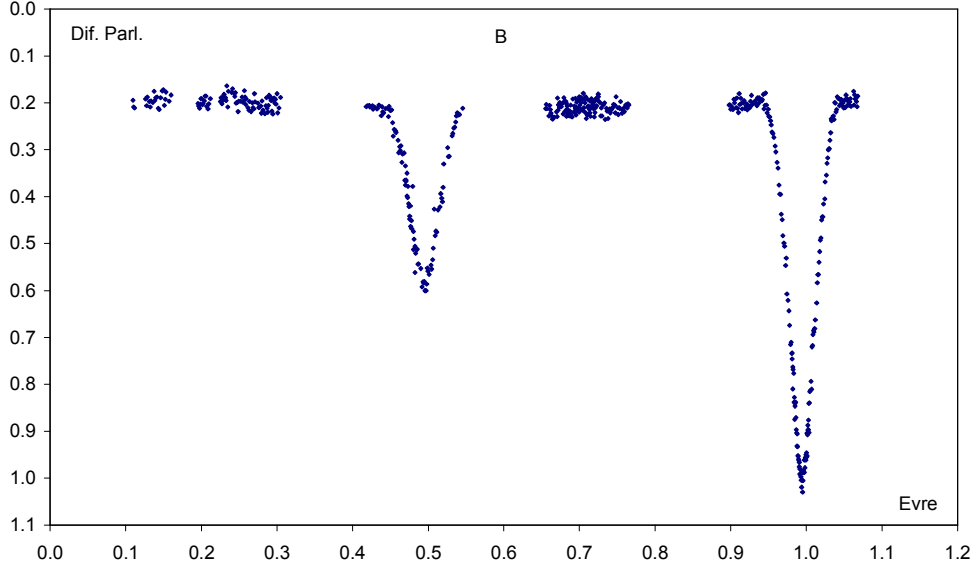
Sisteme ait bir diğer fotometrik çalışma Veteşnik ve Papoušek [6] tarafından yapıldı. Sistemin ışık eğrisinde, tutulmalar dışında bünyesel bir değişimden kaynaklanan etkiler ve 1. minimumda küçük bir asimetrisinin var olduğunu söylediler. Botsula'nın bahsettiği 2. minimum genişliğinin kendi gözlemlerinde görülmediğini de irdelenmişlerdir. Sistemin fotoelektrik olarak bir diğer çözümü Lacy vd. [7] tarafından EBOP ışık eğrisi analiz programı kullanılarak gerçekleştirildi.

TX Her'in dönem değişimi bir çok araştırmacı tarafından irdelenmiştir. Dönem değişiminin, sisteme fiziksel olarak bağlı bir üçüncü cismin yarattığı ışık-zaman etkisinden kaynaklandığını ilk kez Botsula [3] öne sürdü. Daha sonra Plavec vd. [8], Veteşnik & Papoušek [6], van Hamme [9], Kreiner & Zola [10], Wolf [11] ve Ak vd. [12] aynı etkiyi dikkate alarak, sistemdeki dönem değişimini incelediler.

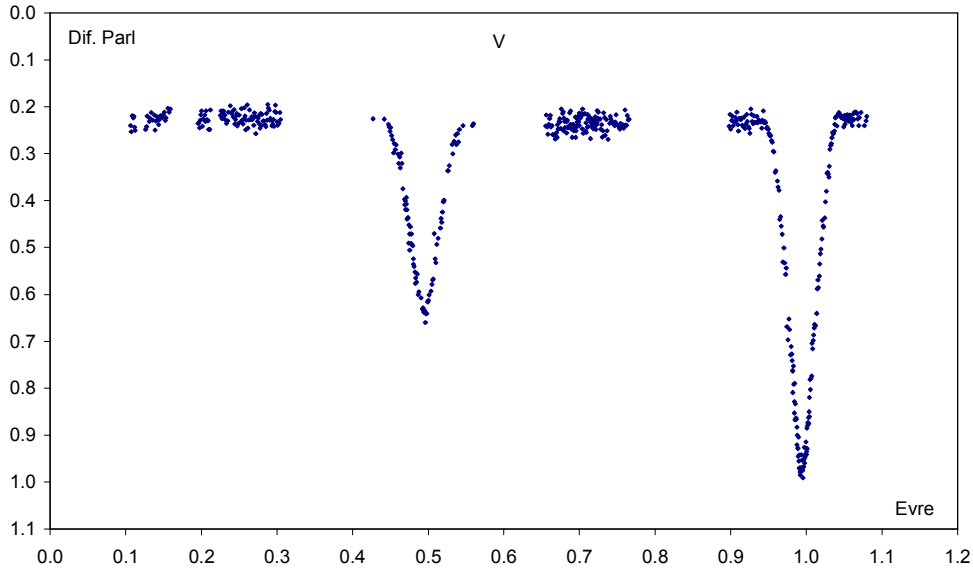
HS Her (HD 174714, HIP 92478, BD +24° 3552) 1.637434 gün yörünge dönemine sahip Algol türü bir çift yıldız sistemidir. HS Her'in değişen yıldız olduğu 1934'de Martynov [13] ve 1940'da Jacchia [14] tarafından, birbirlerinden bağımsız olarak keşfedildi. Sisteme ait ilk tayfsal çalışma Cesco ve Sahade [15] tarafından yapılmış olup bu çalışmada birinci bileşenin B5 ile B8 tayf türü aralığında bir anakol yıldızı olduğu ileri sürüldü. Aynı çalışmada elde edilen tek çizgili radyal hız gözlemleri sonucunda 0.05'lik bir dış merkezlik ve 0.10 değerinde bir kütle fonksiyonu elde ettiler. Hall ve Hubbard [16] sistemin ilk fotometrik çalışmasında birinci ve ikinci bileşenlerin tayf türlerini sırasıyla B5 ve A4 olarak belirleyerek yaptıkları analiz sonucunda sistemin mutlak parametrelerini $M_1 = 4.7 M_{\odot}$, $M_2 = 1.6 M_{\odot}$, $R_1 = 3 R_{\odot}$, $R_2 = 1.7 R_{\odot}$ olarak belirlediler. Yine aynı çalışmada sisteme ilişkin gerçekleştirilen ilk dönem analizi sonucunda 15.5 yıllık bir döneme sahip eksen dönmesinin varlığı ileri sürüldü. Martynov ve Lavrov [17] yeni bir ışık eğrisi çözümü ile sistemin mutlak parametrelerini $M_1 = 4.7 M_{\odot}$, $M_2 = 1.6 M_{\odot}$, $R_1 = 3 R_{\odot}$, $R_2 = 1.7 R_{\odot}$ olarak hesapladılar ve eksen dönmesinin varlığını doğrulayarak dönemini 110-130 yıl olarak hesapladılar. Giuricin ve Mardirossian [18] sistemin mutlak parametrelerini $M_1 = 6.5 M_{\odot}$, $M_2 = 1.9 M_{\odot}$, $R_1 = 3 R_{\odot}$, $R_2 = 1.7 R_{\odot}$ olarak hesapladılar. Todoran [19] ve Khaliullina ve Khaliullin [20] eksen dönmesinin dönemini sırasıyla 60 yıl ve 92 yıl olarak hesapladılar. Bastian [21] sistemdeki dönem değişimini eksen dönmesi yerine 3. bir bileşenin yarattığı ışık-zaman etkisine atfederek 60 yıllık bir dönem hesapladı. Todoran & Agerer [22] sistemin dönem değişiminin eksen dönmesinden kaynaklandığını ileri sürdüler. Wolf vd. [23] sisteme ilişkin dönem değişiminin her iki olgudan da kaynaklanabileceği kabulü altında eksen dönmesi için 78 yıl, ışık – zaman etkisi için 85 yıllık bir dönem hesapladı. Son olarak Çolak & Müyesseroğlu [24] ışık – zaman etkisini gözardı ederek sistemin dönem değişim nedeninin eksen dönmesi olduğu kabulü altında 77 yıllık bir dönem belirlediler.

2. Gözlemler

TX Her'e ait gözlemler 31 Mayıs, 27-28 Haziran, 4, 11, 19, 20 Temmuz ve 18, 23 Ağustos 2003 tarihlerinde Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 30 cm lik Maksutov-Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile BV bandlarında gerçekleştirildi. Gözlemlerde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla A2 tayf türünden BD+42°2830 ve F8 tayf türünden BD+42°2822 yıldızları kullanıldı. Diferansiyel B, V ışık eğrileri Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de verildi. Bu gözlemlerden elde edilen minimum zamanları ve daha önce sisteme ilişkin elde edilmiş minimum zamanlarından sistemin düzeltilmiş ışık elemanları: $HJD \text{ MinI}=2440008.3705(7)+2.^d0598097(3)\times E$ olarak hesaplandı.



Şekil 2.1. TX Her'in B-Bandı ışık eğrisi.



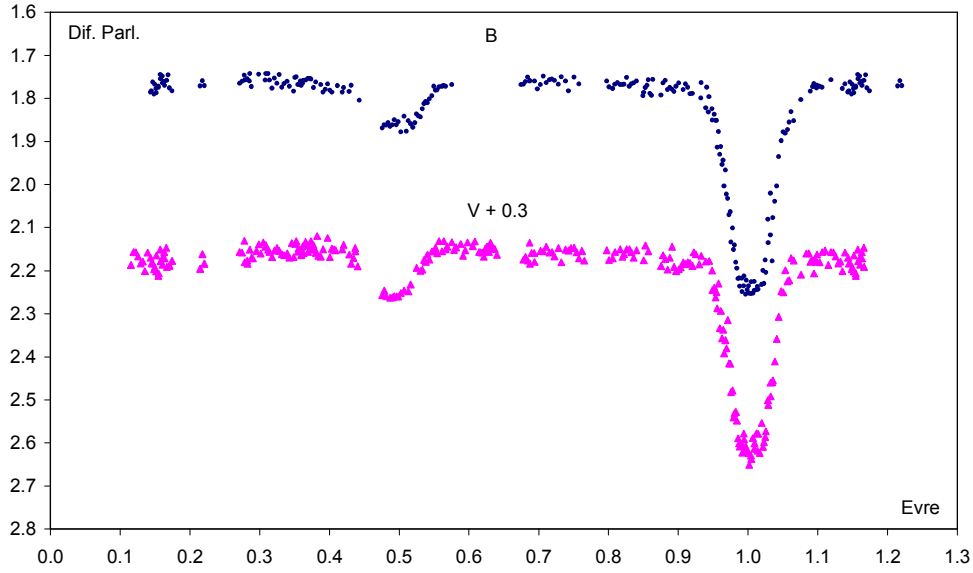
Şekil 2.2. TX Her'in V-Bandı ışık eğrisi.

HS Her'e ait gözlemler 1988-1989, 1994-1995 ve 2002-2004 gözlem sezonlarında Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 30 cm lik Maksutov-Cassegrain teleskobuna bağlı EMI 9798QB fotokatlandırıcısı (1988-89 sezonu gözlemleri) ve SSP-5A fotometresi ile BV bandlarında gerçekleştirildi. Bu gözlemlerden elde edilen minimum zamanları ve daha önce sisteme ilişkin elde edilmiş minimum zamanlarından sistemin düzeltilmiş ışık elemanları HJD

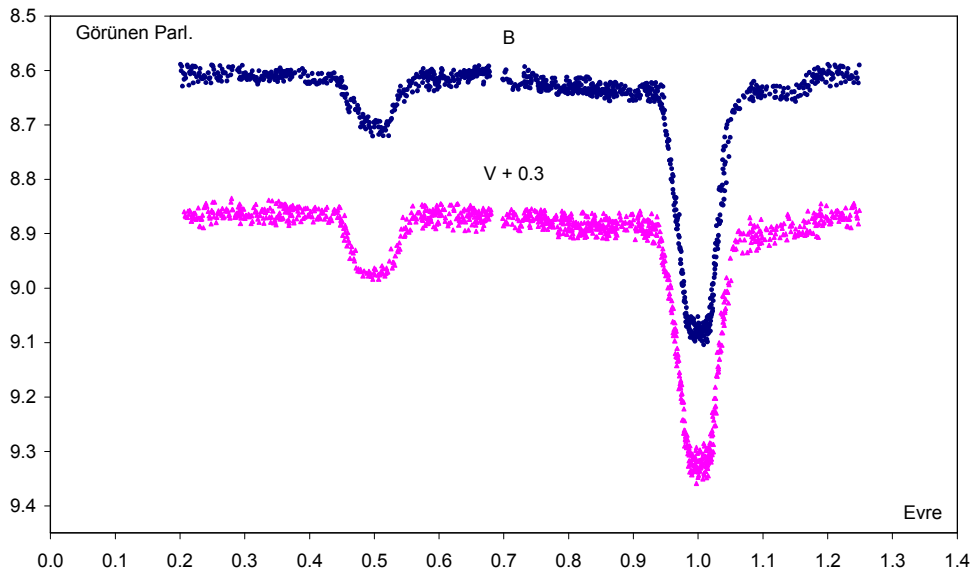
$\text{MinI}=2452856.3646+1.^d6374341xE$ olarak hesaplandı. Gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarına ilişkin bilgiler Tablo 2.1.'de, ilgili gözlem sezonlarında elde edilen ışık eğrileri ise Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5'de verildi.

Tablo 2.1. HS Her'in gözlemlerinde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarına ilişkin bilgiler

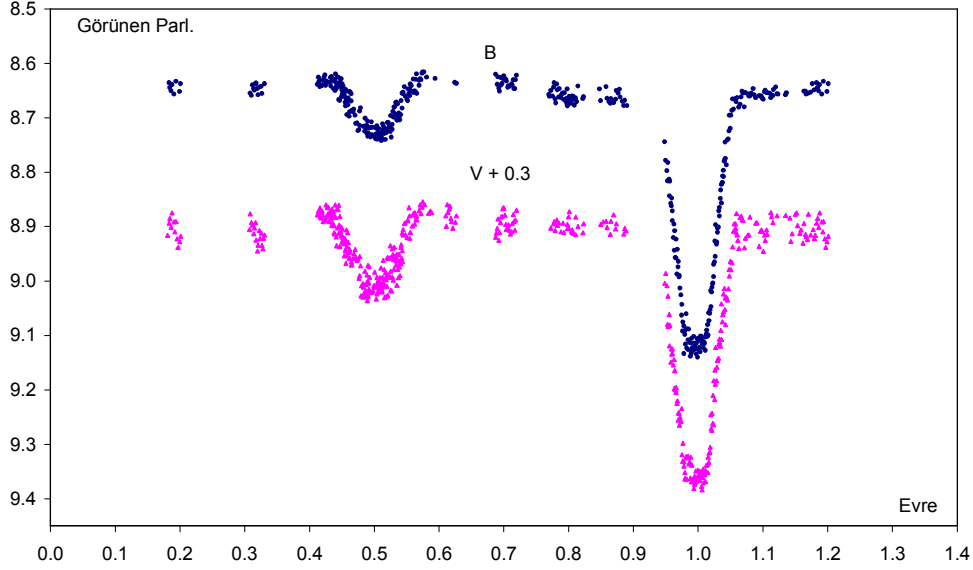
Yıl	Mukayese	Tayf Türü	Denet	Tayf Türü
1988	HD 179369	A0	HD 174159	B9
1989	HD 179369	A0	HD 174159	B9
1994	HD 179369	A0	HD 174159	B9
1995	HD 179369	A0	HD 174159	B9
2002	HD 343238	A2	HD 343123	B8
2003	HD 343238	A2	HD 343123	B8
2004	HD 343238	A2	HD 343123	B8



Şekil 2.5. HS Her'in 1988-89 yılı B ve V bandı ışık eğrisi.



Şekil 2.4. HS Her'in 1994-95 yılı B ve V bandı ışık eğrisi.



Şekil 2.3. HS Her'in 2002-03-04 yılı B ve V bandı ışık eğrisi.

3. Işık Eğrisi Analizi

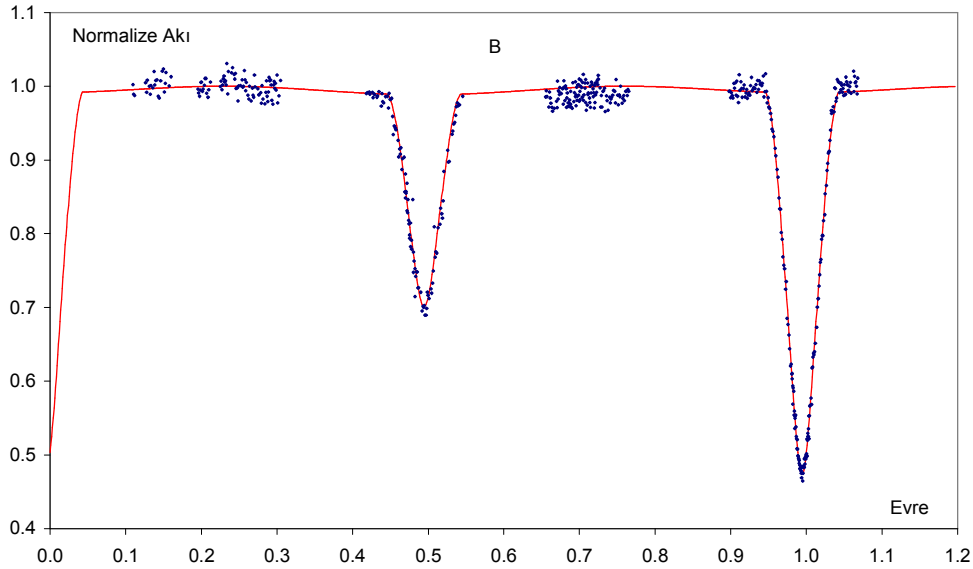
TX Her'in B ve V ışık eğrileri, Wilson & Devinney [25] programı kullanılarak Popper'in [5] sistem için yayınladığı radyal hız eğrileriyle birlikte eş zamanlı olarak analiz edildi. Işık eğrisi analizi için programa normal noktalar yerine doğrudan gözlemsel veriler girildi. Petrie'nin [2] belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper'in [26] sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_1 = 7300$ K olarak belirlendi. Bileşenlere ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak lineer olmayan kenar kararım katsayıları van Hamme'nin [27] tabloları kullanılarak belirlendi. Çekim kararım katsayıları ve albedo değerleri sistemin fiziğine uygun bir şekilde sırası ile Lucy [28] ve Rucinski'den [29] alındı. Model atmosfer olarak WD-2003 programında mevcut bulunan Kurucz [30] yıldız atmosferi modeli kullanıldı.

Analiz sırasında Wilson-Devinney programında sistemin doğasına uygun olarak ayırık çiftleri temsil eden MOD-2 kullanıldı. Başlangıç girdi parametreleri olarak Lacy vd.'nin [7] elde ettikleri parametreler kullanıldı. Analiz esnasında serbest bırakılan parametreler i , T_2 , Ω_2 , L_1 ve a dır. q parametresi tayfsal olarak belirlenen değerinde sabit tutuldu. Diğer sabit tutulan parametreler ise T_1 , Ω_1 , L_2 , $X_{1,2}$, $g_{1,2}$ dir.

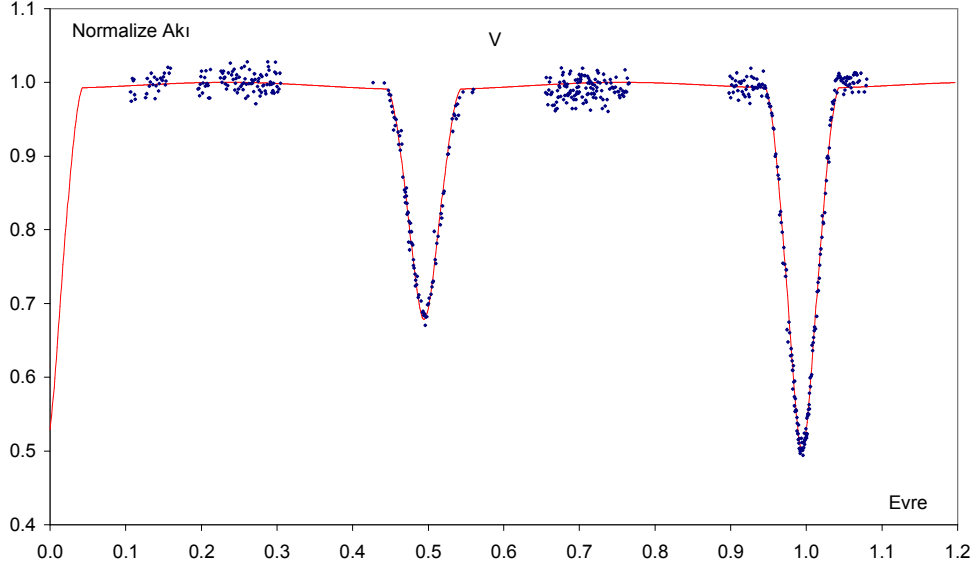
Sisteme ait çözüm sonuçları, sistemin her iki renkteki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile sistemin 0.25 evresinde izlenen geometrik modeli sırası ile Çizelge 3.1., Şekil 3.1. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de sunuldu.

Çizelge 3.1. TX Her'in ışık eğrisi analizi sonuçları ve mutlak parametreleri

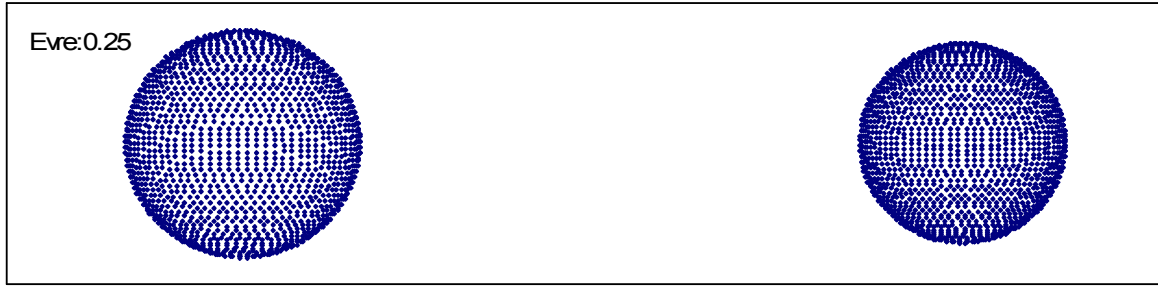
Parametre	B-Bandı	Hatası	V-Bandı	Hatası
$q = m2 / m1$	0.897		0.897	
i	87.445	0.076	87.445	0.076
T_1	7300		7300	
T_2	6565	10	6565	10
Ω_1	7.0777		7.0777	
Ω_2	7.3576	0.045	7.3576	0.045
X_1	0.786, 0.301		0.687, 0.294	
X_2	0.802, 0.244		0.707, 0.279	
g_1	1.0		1.0	
g_2	0.32		0.32	
L_1	0.6967	0.0031	0.6679	0.0031
L_2	0.3033		0.3321	
Mutlak Parametreler				
Parametre	1. Bileşen		2. Bileşen	
M/M_\odot	1.66		1.49	
R/R_\odot	1.62		1.42	
a	9.9756 ± 0.024			



Şekil 3.1. Wilson-Devinney yöntemiyle B bandı için elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile gözlemsel ışık eğrisinin karşılaştırması



Şekil 3.2. Wilson-Devinney yöntemiyle V bandı için elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile gözlemsel ışık eğrisinin karşılaştırması



Şekil 3.3. TX Her'in 0.25 yörünge evresinde izlenen geometrik modeli

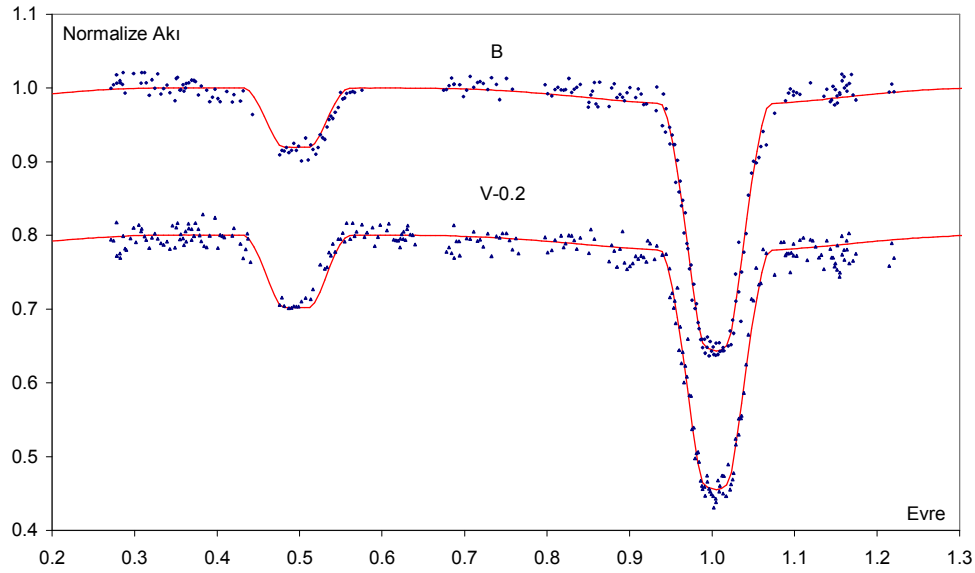
HS Her'in sezonluk ışık eğrilerine ek olarak Martynov & Lavrov [17] ve Hall & Hubbard [16] tarafından elde edilen ışık eğrileri Wilson&Devinney [25] analiz programı kullanılarak çözüldü. Işık eğrisi analizi için programa normal noktalar yerine doğrudan gözlemsel veriler girildi. Birinci bileşenin tayf türünün B5 olduğu kabulü altında sıcaklığı Popper'ın [26] sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_1 = 15500$ K olarak belirlendi. Bileşenlere ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak lineer olmayan kenar karama katsayıları van Hamme'nin [27] tabloları kullanılarak belirlendi. Çekim karama katsayıları ve albedo değerleri sistemin fiziğine uygun bir şekilde sırası ile Lucy [28] ve Rucinski'den [29] alındı. Model atmosfer olarak WD-2003 programında mevcut bulunan Kurucz [30] yıldız atmosferi modeli kullanıldı.

Analiz sırasında Wilson-Devinney programında sistemin doğasına uygun olarak ayırık çiftleri temsil eden MOD-2 kullanıldı. İkinci bileşene ilişkin bolometrik albedo değeri daha uygun fitler elde etmek amacıyla serbest bırakıldı. Diğer serbest bırakılan parametreler ise i , T_2 , Ω_1 , Ω_2 , e , A_2 , L_1 ve q 'dur.

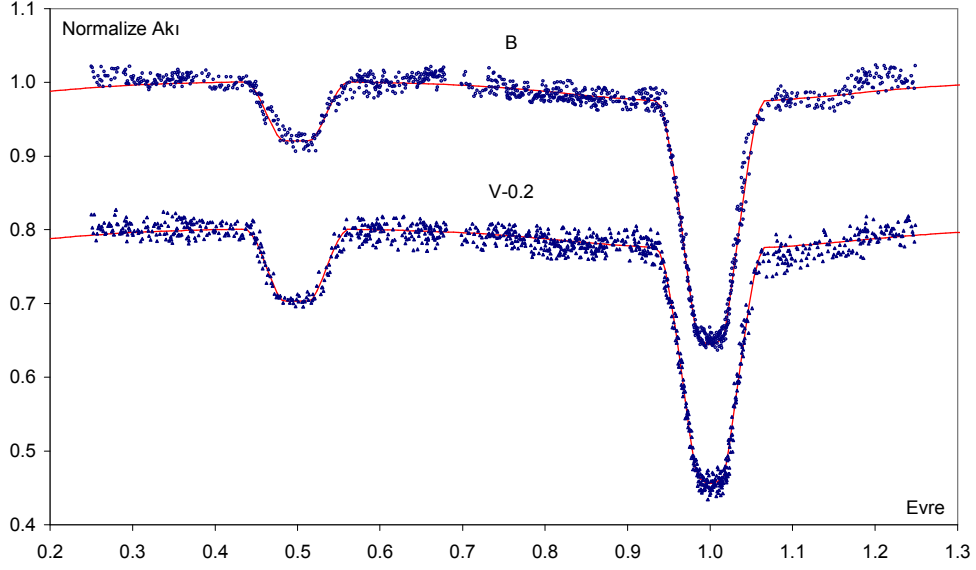
Sisteme ait çözüm sonuçları, sistemin ilgili yıllara ait gözlemsel ve kuramsal ışık eğrilerine ek olarak diğer araştırmacılar tarafından elde edilen ışık eğrilerinin bu çalışmadaki çözümü ile sistemin 0.25 evresinde izlenen geometrik modeli sırası ile Çizelge 3.2., Şekil 3.4., Şekil 3.5., Şekil 3.6., Şekil 3.7., Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da sunuldu.

Çizelge 3.2. HS Her'in ışık eğrisi analizi sonuçları

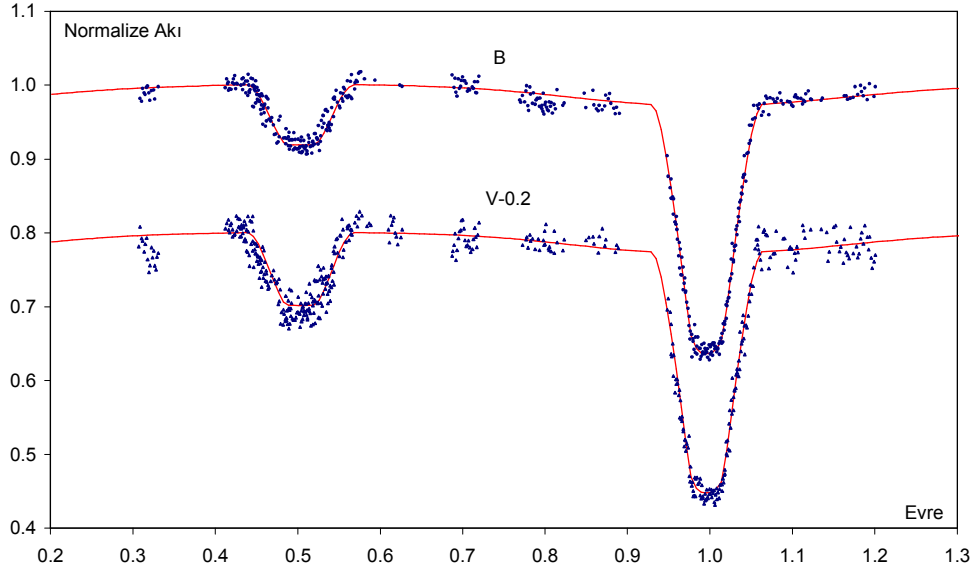
Parametre	1988-1989	1994-1995	2002-2004	Hall&Hubb.	Mart.&Lavr.
$q = m2 / m1$	0.3164±0.0010	0.3162±0.0004	0.3162±0.0007	0.3178±0.0005	0.3165±0.0006
i	89.33±1.29	88.19±0.15	88.47±0.22	88.08±0.13	87.83±0.15
T_1	15500	15500	15500	15500	15500
T_2	8100±78	7972±9	7935±23	7970±10	7980±18
Ω_1	4.320±0.017	4.382±0.008	4.295±0.013	4.332±0.016	4.333±0.006
Ω_2	3.555±0.010	3.605±0.004	3.535±0.006	3.581±0.011	3.586±0.004
A_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
A_2	0.634±0.063	0.817±0.023	0.806±0.042	0.782±0.058	0.556±0.038
g_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
g_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$L_1(U)$					0.9692±0.0007
$L_2(U)$					0.0308
$L_1(B)$	0.9406±0.0010	0.9455±0.0003	0.9454±0.0007	0.9692±0.0007	0.9457±0.0009
$L_2(B)$	0.0594	0.0545	0.0546	0.0308	0.0543
$L_1(V)$	0.9218±0.0009	0.9271±0.0003	0.9268±0.0006	0.9453±0.0007	0.9274±0.0009
$L_2(V)$	0.0782	0.0729	0.0732	0.0547	0.0726
e	0.0224±0.0011	0.0218±0.0014	0.0208±0.0007	0.0200±0.0006	0.0190±0.0003



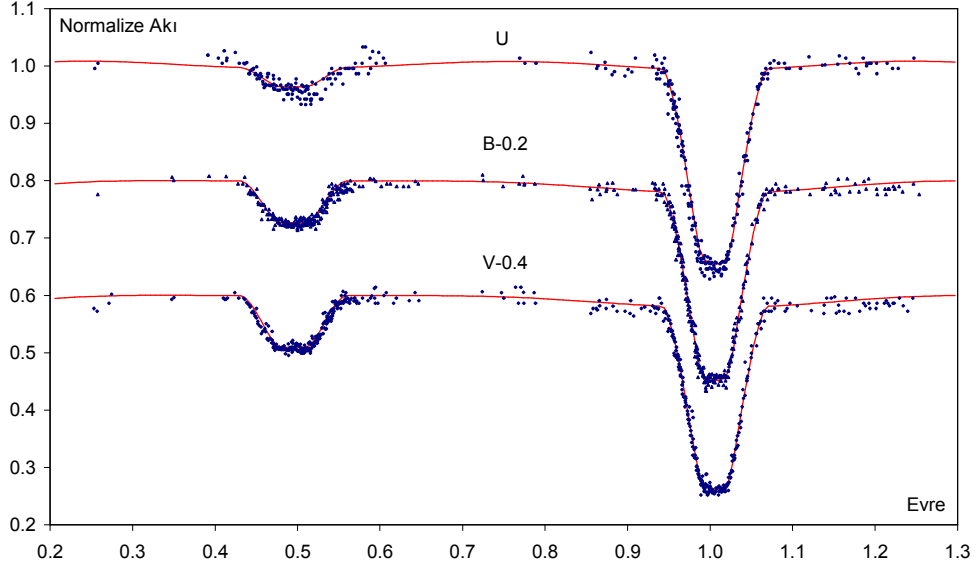
Şekil 3.4. HS Her'in 1988-89 yılı gözlemsel ışık eğrisinin Wilson-Devinney yöntemiyle elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile karşılaştırması



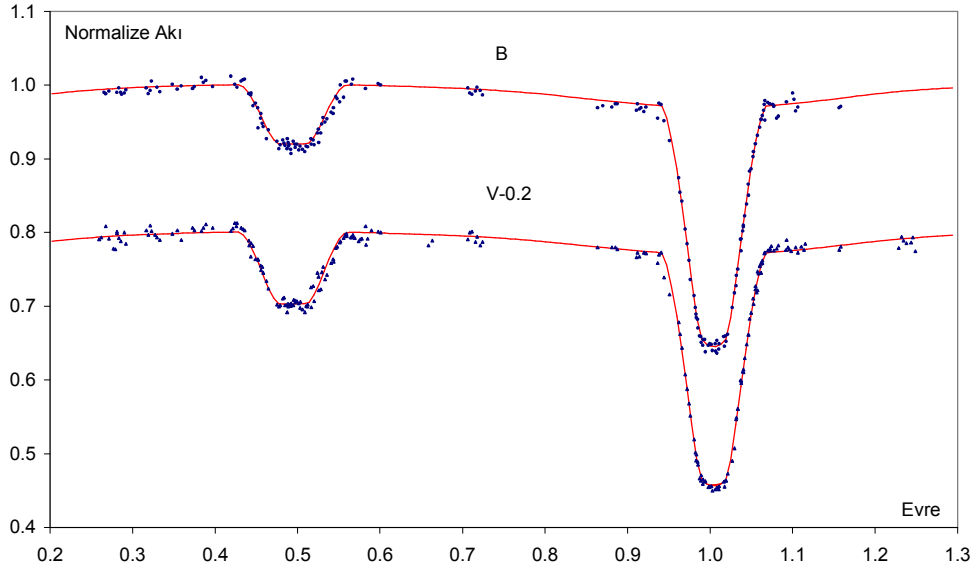
Şekil 3.5. HS Her'in 1994-95 yılı gözlemsel ışık eğrisinin Wilson-Devinney yöntemiyle elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile karşılaştırması



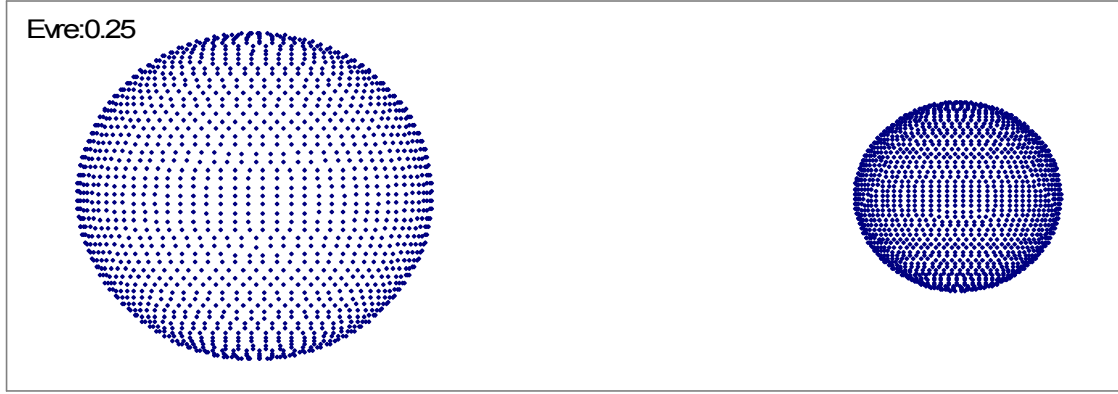
Şekil 3.6. HS Her'in 2002-03-04 yılı gözlemsel ışık eğrisinin Wilson-Devinney yöntemiyle elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile karşılaştırması



Şekil 3.7. HS Her'in Martynov & Lavrov [17] tarafından gözlenen ışık eğrisinin Wilson-Devinney yöntemiyle elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile karşılaştırması



Şekil 3.8. HS Her'in Hall & Hubbard [16] tarafından gözlenen ışık eğrisinin Wilson-Devinney yöntemiyle elde edilen kuramsal ışık eğrisi (düz çizgi) ile karşılaştırması



Şekil 3.9. HS Her'in 0.25 yörünge evresinde izlenen geometrik modeli

4. Sonuç

Bu çalışmada TX Her örten çift yıldızının Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilen B ve V bandı ışık eğrileri ile HS Her çift sisteminin farklı yıllara ait beş adet ışık eğrisinin Wilson-Devinney ışık eğrisi analiz programı kullanılarak yapılan çözümlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

TX Her için elde edilen ışık eğrilerinde herhangi bir asimetriye rastlanmazken sistemin Wilson-Devinney ışık eğrisi analiz programı ile ilk kez yapılan eş zamanlı analiz sonuçlarına göre sistem, bileşenlerinin kütle ve yarıçapça birbirine yakın olduğu tipik bir ayrık Algol türü sistemdir.

Literatürde HS Her'e ait şimdiye kadar yayınlanmış çözümler daha eski yöntemlerle ve yörünge dışmerkezliği ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise dışmerkezlik ve eksen dönmesi parametreleri çözümlere dahil edilmiştir. B5 türü bir anakol yıldızı olan birinci bileşenin sıcaklığı 15,500 K alınarak ikinci bileşenin sıcaklığı beş farklı ışık eğrisi çözümünün ağırlıklı ortalamasından 7,970 K olarak hesaplanmıştır. Daha önceki ışık eğrisi analizi çalışmalarında ihmal edilmiş olan dışmerkezlik için elde edilen $e = 0.020$ değeri ise literatürdeki dönem analizi çalışmalarıyla (Wolf vd. [23], Çolak ve Müyesseroglu [24]) oldukça uyumludur.

Bu çalışmanın diğer bir önemli bulgusu, tayfsal kütle oranı bulunmayan HS Herculis sistemi için oldukça güvenilir bir fotometrik kütle oranı elde edilmiş olmasıdır. Beş ışık eğrisinden elde edilen kütle oranı değerleri tek tek birbirleriyle oldukça uyumlu olup bu beş değerinin ağırlıklı ortalamasından $q = 0.3167 \pm 0.0003$ değeri elde edilmiştir. Tayfsal kütle oranının bulunmadığı bu sistem için elde ettiğimiz bu değer, hatasının çok küçük olması ile de oldukça güvenilir bir değer olarak kabul edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Pickering, E.C., 1910, "The variable Star, 124045, +46° 1817", *HarCi* No.159, 3.
- [2] Petrie, R.M., 1950, "The magnitude differences between the components of eighty-two spectroscopic binaries", *PDAO* 8, 327.
- [3] Botsula, R.A., 1956, *Peremmenye Zvezdy* 11, 26.
- [4] Botsula, R.A., 1968, *Izv. Astron. Obs. Kazan* No. 36, 240.
- [5] Popper, D.M., 1970, "Rediscussion of Eclipsing Binaries. IX. TX Herculis and Zeta Phoenicis", *ApJ* 162, 925-933.
- [6] Vetešnik, M., Papoušek, J., 1973, "Photoelectric photometry of TX Herculis", *BAICz* 24, 57-70.

- [7] Lacy, C.H., Frueh, M.L. Turner, A.E., 1987, “The surface-brightness anomaly in eclipsing binaries” *AJ* 94, 1035-1042.
- [8] Plavec, M., Pěkný, Z. Smetanová, M., 1960, “Problem of period variability of the detached eclipsing binary systems”, *BAICz* 11, 180.
- [9] van Hamme, W., 1982, “The period behaviour of the detached close binary system TX Herculis”, *A&A* 107, 409-411.
- [10] Kreiner, J.M., Zola, S., 1989, “Period Variability of the Detached Eclipsing Binary System TX-Herculis”, *AcA* 39, 243-249.
- [11] Wolf, M., 1990, “Light-Time Effect in Eclipsing Binaries”, *AAVSO* 19, 12-16.
- [12] Ak T., Albayrak B., Selam S.O., Tanrıverdi T., 2004, “A new light-time effect study of TX Herculis”, *NewA* 9, 265-272.
- [13] Martynov, D.J., 1940, *Bull. Astron. Obs. Engelhardta*, 18, 38.
- [14] Jarcia, L., 1940, “New Eclipsing Variable H.V.10229 = B.D. +24°3552” *BharO*, 912, 20.
- [15] Cesco, C.U., Sahade, J., 1945, “The Spectroscopic Orbit of SVS 923 Herculis” *ApJ*, 101, 114-117.
- [16] Hall, D.S. and Hubbard, G.S., 1971, “A UBV Photometric Study of HS Herculis” *PASP*, 83, 459-470.
- [17] Martynov, D.J., Lavrov, M.I., 1972, “Photometric Investigation of the Eclipsing Binary HS Herculis”, *Peremennyje Zvezdy*, 18, 269.
- [18] Giuricin, G. and Mardirossian, F. 1981, “Revised Photometric Elements of QY Aql, V388 Cyg, and HS Her”, *Ap&SS*, 76, 111-118.
- [19] Todoran, I., 1992, “A New Suspected Apsidal Period for HS Herculis”, *AN*, 313, 183-186.
- [20] Khaliullin, Kh.F., Khaliullina, A.I., 1992, “The apsidal motion in the Eclipsing binary HS Herculis”, *ATSir*, 1552, 15-16.
- [21] Bastian, U., 1993, “HS Herculis: Not Apsidal Motion, but a Third Body”, *AN*, 314, 39-41.
- [22] Todoran, I., Agerer, F., 1994, “Remarks on the Period Variation of HS Herculis and SW Cygni”, *AN*, 315, 349-352.
- [23] Wolf, M., Harmanec, P., Diethelm, R., Hornoch, K., Eenens, P., 2002, “Apsidal Motion and Light-Time Effect in Eclipsing Binaries HS Herculis and U Ophiuchi”, *A&A*, 383, 533-539.
- [24] Çolak, T., Müyesseroğlu, Z., 2005, “There is no third body in the eclipsing binary system HS Herculis”, *IBVS* No.: 5619,1.
- [25] Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971, “Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni”, *ApJ*, 166, 605-619.
- [26] Popper, D.M., 1980, “Stellar masses” *ARA&A*, 18, 115-164.
- [27] van Hamme, W., 1993, “New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves”, *AJ*, 106, 2096-2117.
- [28] Lucy, L., B., 1967, “Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes” *Zeitschr. F. Astrophys.*, 65, 89-92.
- [29] Rucinski, S., M., 1969, “The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes”, *Acta Astr.*, 19, 245-255.
- [30] Kurucz, R., L., 1993, “New Atmospheres for Modelling Binaries and Disks, in E., F., Milone (ed.), *Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars*”, pp93-102, Springer, New York