

# DEĞEN ÇİFT YILDIZ V829 HERCULES'İN STANDART BVR IŞIKÖLÇÜMÜ VE SALT ÖĞELERİ

Burcu ÖZKARDEŞ<sup>1</sup>, Ahmet ERDEM<sup>1</sup>

## Özet

Değen çift yıldız V829 Her'in yeni *BVR* ışık eğrileri ve fotometrik analizi sunulmaktadır. Gözlemler, ÇOMÜ Gözlemevinde, 2003, 2004 ve 2005'te, yapılmıştır. İlk olarak sistemin yörünge dönemi değişimi ele alınmış; *O-C* diyagramında dönem değişiminin parabolik yada çevrimsel yapıda olabileceği öngörülmüştür. Bu değişimler, bileşenler arasında korunumlu kütle aktarımı ve sistemde görülmeyen bir üçüncü bileşen nedeniyle oluşan ışık—zaman etkisi cinsinden incelenmiştir. Gözlenen yıldızların (değişen, mukayese ve denet) aletsel parlaklıkları standart parlaklıklara çevrilmiştir. Sistemin, üç ardışık yılda yapılan gözlemleri kullanılarak, ışık değişimleri üzerinde durulmuş; (i) maksimum ışık düzeylerinde zamanla değişen asimetri olduğu ve (ii) birinci ve ikinci minimum ışık derinliklerinin zamanla değiştiği görülmüştür. Bu ilginç ışık eğrisi asimetri, sistemin daha büyük ve daha kütleli bileşeni üzerinde soğuk leke/lekeler cinsinden ele alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen ışık eğrileri ile literatürden, [1] den, bulunan dikine hız eğrileri, Wilson-Devinney programının en son versiyonu kullanılarak, eşzamanlı çözülmüştür. Ayrıca, sistemin salt öğeleri hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yıldızlar: çiftler: yakın: örten; Yıldızlar: V829 Hercules

## Abstract

New *BVR* light curves and photometric analysis of the contact binary star V829 Her are presented. The light curves were obtained at the ÇOMU Observatory in the consecutive years 2003, 2004 and 2005. Firstly, the variation of the orbital period of the system was studied. The sinusoidal and secular changes were found and examined in terms of two plausible mechanisms, namely (i) the conservative mass transfer between the components of the system, and (ii) the light-time effect due to an unseen component in the system. The instrumental magnitudes of all observed stars in this study were converted into standard magnitudes. We also study nature of asymmetries and the intrinsic variability in the light curves of the system. Light variations are summarized: a) changes of light levels of both maxima, and b) changes of the depths of both primary and secondary eclipses. These peculiar asymmetries were interpreted in terms of dark spot(s) on the surface of the large and more massive component star. The present *BVR* light curves and radial velocity curves obtained by [1] were analysed by means of the latest version of the Wilson-Devinney program, simultaneously. Thus, the absolute parameters of the system were also derived.

**Key words:** Stars: binaries: close: eclipsing; Stars: individual: V829 Hercules

---

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale. Tel.: 0286 2180019/1851, Faks: 0286 2180533  
burcu@physics.comu.edu.tr, aerdem@physics.comu.edu.tr

## 1.Giriş

Çalışmamızda yeni keşfedilmiş W UMa türü V829 Her (GSC 02597–00679 = TYC 2597–679–1) sistemi ele alınmıştır. Bu yıldız, Einstein Observatory Extended Medium Sensitivity Survey programında tesadüfen bir x—ışın kaynağı olarak keşfedilmiştir [2]. Daha sonraları, bu yıldız, [3] tarafından, fotometrik ve tayfsal olarak gözlenmiş; bu yıldızın bir W UMa türü örten çift yıldız olabileceği önerilmiş ve sistemin tayf türü için G2V verilmiştir. Bu yıldızın fotometrik ışık eğrileri ilk kez [4] tarafından Johnson *VRI* sisteminde elde edilmiş ve yıldızın W UMa türü bir örten çift yıldız olduğu onaylanmıştır. Ayrıca, bu çalışmada, sistemin yörünge döneminin 0.35813 gün olduğu ve sistemin ışık eğrilerinde büyük O’Connell etkisinin gözüktüğü ifade edilmiştir. Sonraları, çeşitli yazarlar tarafından sistemin minimum zamanları elde edilerek yayınlanmıştır [5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11] . V829 Her’in dikine hız eğrisi [1] tarafından elde edilmiş ve bir W alt türü W UMa sistemi olduğu bulunmuştur. Ayrıca, [1], Robb’un 1992’de gözlediği ışık eğrileri ile kendi dikine hız eğrilerini eşzamanlı çözerek sistemin mutlak parametrelerini de hesaplamışlardır. [12], sistemin *BVR* ışık eğrilerini elde etmişler ve yıldıza ilişkin ilk dönem analizini yaparak yörünge döneminin, küçük genlikli sinüsel bir değişim gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Öte yandan, [13], sistemin *BVRI* ışık eğrilerini elde etmişler, O’Connell etkisinin var olduğunu belirtmişler ve sistemin ışık ve dikine hız eğrilerini eşzamanlı çözerek; baş bileşen üzerinde soğuk leke bulunan bir çözüm sunmuşlardır.

## 2.Gözlemler

### 2.1 Gözlemsel Veri

Değen sistem V829 Her, ardışık yıllarda (2003, 2004 ve 2005), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevinde gözlendi. Çizelge 1’de fotometrik gözlem tarihleri verilmektedir. 2003 ve 2004 gözlemlerinde, 40-cm’lik Schmidt-Cassegrain teleskopuyla SSP5-A fotometresi ve Hamamatsu R 6358 fotokatlandırıcı tüpü kullanılırken; 2005 gözlemlerinde, 30-cm’lik Schmidt-Cassegrain teleskopuyla SBIG ST 10X-ME CCD kamerası kullanılmıştır. Tüm fotoelektrik ve CCD gözlemleri, sırasıyla, *BVR* ve *BVR<sub>c</sub>* filtrelerinde yapılmıştır. Hem fotoelektrik hem de CCD gözlemlerinde, GSC 2601 117 ve GSC 5082 1171 sırasıyla, mukayese ve denet/standart yıldızları olarak kullanılmıştır. Her bir gözlem gecesi için her bir filtredeki atmosferik sönmüleme katsayıları, mukayese yıldızının gözlemlerinden, [14]’ün verdiği yöntem kullanılarak, bulunmuştur. Tüm diferansiyel *BVR* ve CCD *BVR<sub>c</sub>* parlaklıkları atmosferik sönmüleme için düzeltilmiştir. Gözlemlere ilişkin aletsel diferansiyel parlaklıklar, [14]’ün dönüşüm yöntemiyle standart parlaklıklara çevrilmiştir. Gözlenen yıldızların standart *V* parlaklıkları ve *B-V* ve *V-R* renk ölçekleri, Çizelge 2’de verilmiştir. Şekil 3’te, V829 Her yıldızının standart sistemde gözlenen *BVR*, *BVR<sub>c</sub>* ışık eğrileriyle *B-V*, *V-R*, *V-R<sub>c</sub>* renk eğrileri gösterilmektedir. *B*, *V*, *R* ve *R<sub>c</sub>* renklerindeki gözlem noktalarının olası hataları sırasıyla  $\pm 0.018$ ,  $\pm 0.015$ ,  $\pm 0.017$  ve  $\pm 0.015$ ’tir. .

### 2.2 Sezonluk Işık Değişimleri

V829 Her yıldızı, fotometrik olarak, 2002’de [13] tarafından ve 2003, 2004, 2005’te bizim tarafımızdan gözlendi. Böylece, ardışık 4 yılda elde edilen ışık eğrilerinin karşılaştırılması yapılabilmektedir. Bunun için maksimum ışık düzeyleri ve minimum ışık düzeyleri arasındaki farklar hesaplanmış ve Çizelge 3 ve Şekil 1’de bu değerler verilmektedir. [13]’ün fotometrik verisinin diferansiyel aletsel parlaklık cinsinden olması, bizimkilerin ise standart parlaklıklar cinsinden olması nedeniyle; bizim verimizle [13]’ün 2002 verisinin karşılaştırılması, yalnızca ışık düzeyi farkları kullanılarak yapılabilmektedir.

Sonuç olarak, bu sistemin ışık değişimleri şu şekilde özetlenebilir:

- a) Tüm ışık eğrilerinde; maksimum ışık düzeyleri arasında fark/asimetri (O'Connell etkisi) vardır: 0.75 evredeki *Maks.II* ışık düzeyi, 0.25 evredeki *Maks.I* ışık düzeyinden daha düşüktür. Ayrıca, maksimum ışık düzeyleri arasındaki bu asimetri, zamanla değişmektedir. Örneğin, 2004'te üç gecede (12, 19 Temmuz ve 17 Ağustos) gözlem verisinde *Maks.II* ışık düzeyi, *Maks.I* dekinden daha az düşüktür; aynı yılda 12 Haziran ve 10 Eylül'de gözlenen *Maks.II*, *Maks.I* den çok daha düşük ışık düzeyi vermektedir. Bu nedenle, 2004'te gözlenen ışık eğrilerinde 0.75 evrede iki farklı ışık düzeyi gözönüne aldık ve bu küçük ve büyük ışık düzeyi asimetrisini sırasıyla s1 ve s2 olarak adlandırdık. Ayrıca, iki farklı asimetri gösteren 2004 ışık eğrileri, diğer yıllarda gözlenen asimetrisinden daha büyük asimetrisi göstermektedir (bkz. Çizelge 3 ve Şekil 3).
- b) Standart gözlemler kullanıldığında, 2004 ışık eğrilerinde her iki maksimum ışık düzeyinin, 2003 ve 2005 ışık eğrilerindeki maksimumlardan daha düşük olduğu söylenebilir (bkz. Çizelge 3 ve Şekil 3).
- c) Işık eğrilerinde, birinci ve ikinci tutulmalar arasında büyük derinlik değişimleri vardır. 2003 ve 2005 gözlemlerinde, ikinci minimumların derinlikleri anormal şekilde birincilerinkinden daha derindir. Bu anormal duruma karşıt olarak, 2004 gözlemlerinde, birinci minimum derinlikleri ikincilerinkinden normal şekilde daha derindir. Diğer yandan, 2004 ışık eğrilerinde birinci minimumların ışık düzeyleri, 2003 ve 2005 ışık eğrilerindekinden yaklaşık 0.05 kadar daha düşüktür (bkz. Şekil 3). Buna karşın 3 yıldaki tüm ışık eğrilerinde ikinci minimumların ışık düzeyleri hemen hemen aynıdır.
- d) Renk eğrilerindeki değişimler, büyük olasılıkla, yakınlık ve aktivite etkilerinden dolayı, karmaşıktır (bkz. Şekil 3).

Çizelge 1. V829 Her'in bu çalışmadaki gözlem tarihleri

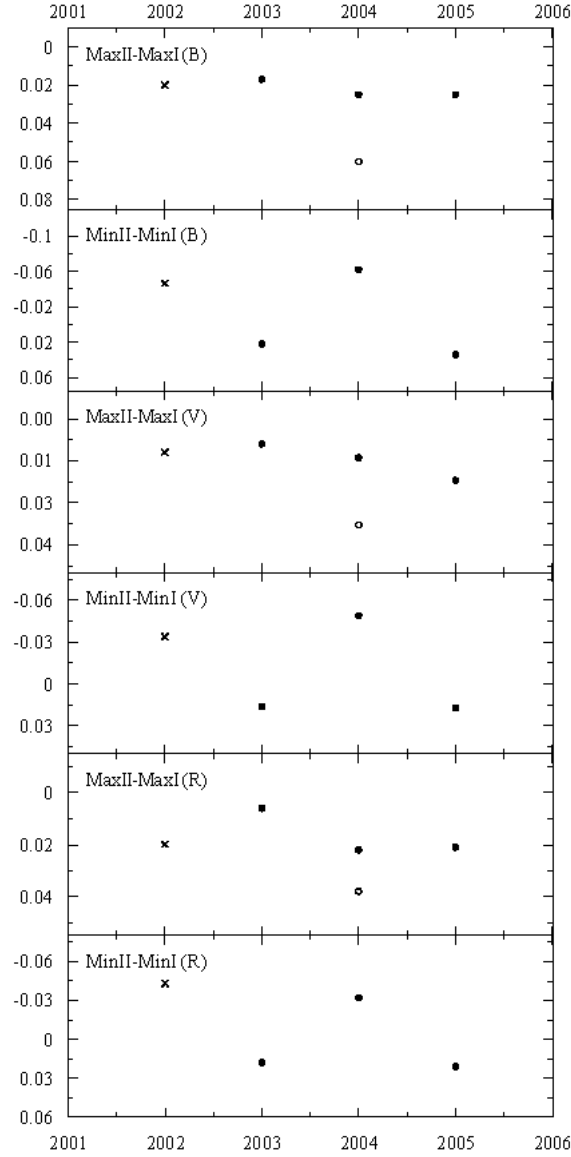
Tarih gün/ay/yıl	Yöntem	Filtreler	Evre Başlangıç Bitiş
17/05/2003	pe	BVR	0.869 - 0.448
06/06/2003	pe	BVR	0.784 - 0.291
12/06/2003	pe	BVR	0.555 - 0.050
27/06/2003	pe	BVR	0.549 - 0.965
30/06/2003	pe	BVR	0.894 - 0.164
24/07/2003	pe	BVR	0.851 - 0.302
25/07/2003	pe	BVR	0.424 - 0.318
02/09/2003	pe	BVR	0.317 - 0.710
12/06/2004	pe	BVR	0.681 - 0.909
09/07/2004	pe	BVR	0.988 - 0.301
12/07/2004	pe	BVR	0.155 - 0.769
19/07/2004	pe	BVR	0.675 - 0.260
17/08/2004	pe	BVR	0.627 - 0.866
19/08/2004	pe	BVR	0.107 - 0.330
23/08/2004	pe	BVR	0.322 - 0.680
26/08/2004	pe	BVR	0.785 - 0.055
08/09/2004	pe	BVR	0.891 - 0.275
10/09/2004	pe	BVR	0.594 - 0.842
11/06/2005	CCD	BVR <sub>c</sub>	0.707 - 0.282
27/06/2005	CCD	BVR <sub>c</sub>	0.402 - 0.975
05/07/2005	CCD	BVR <sub>c</sub>	0.740 - 0.325
15/07/2005	CCD	BVR <sub>c</sub>	0.786 - 0.232
23/07/2005	CCD	BVR <sub>c</sub>	0.420 - 0.958

**Çizelge 2.** V829 Her, mukayese ve denet yıldızları (standart sapmalar parantez içinde verilmektedir.)

Yıldız	GSC No	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	$V$	$B-V$	$V-R$
V829 Her	2597 679	$16^{\text{sa}}55^{\text{dk}}48^{\text{s}}$	$+35^{\circ}10'58''$	10.384(7)	0.594(8)	0.452(8)
Mukayese	2601 117	$16^{\text{sa}}55^{\text{dk}}10^{\text{s}}$	$+35^{\circ}39'21''$	10.045(6)	0.471(7)	0.553(7)
Denet	5082 1171	$17^{\text{sa}}45^{\text{dk}}43^{\text{s}}$	$-00^{\circ}21'36''$	10.358	0.608	0.377

**Çizelge 3.** V829 Her'in maksimum ve minimum ışık düzeylerinin ve arasındaki farkların sezonluk değişimleri (standart sapmalar parantez içinde verilmektedir.)

	Yıl	$B$	$V$	$R$
<b>0.75 evrede Max. Işık</b>	2003	10.848(7)	10.264(6)	9.821(7)
	2004 s1	10.880(9)	10.293(12)	9.847(10)
	2004 s2	10.915(8)	10.317(11)	9.863(7)
	2005	10.870(6)	10.283(8)	9.829(7)
<b>0.25 evrede Max. Işık</b>	2003	10.831(9)	10.255(13)	9.815(10)
	2004	10.855(4)	10.279(17)	9.825(8)
	2005	10.845(15)	10.261(10)	9.808(14)
<b>0.5 evrede Max. Işık</b>	2003	11.114(15)	10.516(15)	10.065(7)
	2004	11.097(15)	10.500(7)	10.047(10)
	2005	11.125(10)	10.516(10)	10.062(10)
<b>0.0 evrede Max. Işık</b>	2003	11.092(10)	10.500(10)	10.047(8)
	2004	11.159(8)	10.549(7)	10.079(5)
	2005	11.091(10)	10.499(12)	10.041(8)
<b><math>\Delta</math>Max. (<math>m_{0.75} - m_{0.25}</math>)</b>	2002	0.020	0.012	0.020
	2003	0.017	0.009	0.006
	2004 s1	0.025	0.014	0.022
	2004 s2	0.060	0.038	0.038
	2005	0.025	0.022	0.021
<b><math>\Delta</math>Min. (<math>m_{0.5} - m_{0.0}</math>)</b>	2002	-0.046	-0.034	-0.043
	2003	0.022	0.016	0.018
	2004	-0.062	-0.049	-0.032
	2005	0.034	0.017	0.021
<b>MinI derinliği (<math>m_{0.0} - m_{0.75}</math>)</b>	2002	0.274	0.254	0.240
	2003	0.244	0.236	0.226
	2004 s1	0.279	0.256	0.232
	2004 s2	0.244	0.232	0.216
	2005	0.221	0.216	0.212
<b>MinII derinliği (<math>m_{0.5} - m_{0.75}</math>)</b>	2002	0.228	0.220	0.197
	2003	0.266	0.252	0.244
	2004 s1	0.217	0.207	0.200
	2004 s2	0.182	0.183	0.184
	2005	0.255	0.233	0.233



**Şekil 1.** V829 Her'in ışık düzeyi değışimleri. [13]'ün verisi çarpı simgesiyle, bu çalışmada elde edilen veri yuvarlak simgeyle, 2004 s2 verisi ise içi boş yuvarlak simgeyle gösterilmiştir.

### 3.Yörünge Dönemi Analizi

V829 Her'in gözlemleri süresince, 11 birinci ve 8 ikinci minimum ışık zamanı elde edildi. [15]'in yöntemi kullanılarak belirlenen bu minimum zamanları ve hataları Çizelge 4'te verilmiştir. Sistemin yörünge dönemi değışimini incelemek için [12] tarafından derlenen listedeki tüm CCD ve fotoelektrik minimum zamanları kullanılmıştır. Bu listeye yalnızca yeni gözlenen CCD ve fotoelektrik minimum zamanları eklenmiştir. İlk adımda, aşağıdaki ışık öğeleri kullanılarak *O-C* artıkları hesaplanmıştır:

$$\text{HJD (MinI)} = 2450585.4810 + 0^d.35815069 \times E \quad (1)$$

Şekil 2'de, *O-C* artıklarına karşı *E* çevrim sayısı değeri gösterilmektedir. Şekil2'de içi boş yuvarlakla gösterilen iki minimum zamanı (biri [5]'den pe veri, diğeri [1]'den pe veri) gözönüne alınmazsa; gözlem verisi, sistemin yörünge döneminin arttığını ifade eden bir parabolle temsil edilebilirler. En küçük kareler yöntemi kullanılarak *O-C* değeri yapılan parabolik fit, aşağıdaki kuadratik ışık öğelerini verir:

**Çizelge 4.** V829 Her'in bu çalışmada elde edilen fotometrik minimum zamanları (standart sapmalar parantez içinde verilmektedir.)

JD Hel. 2400000+	Yöntem	Filtre	Min. Türü
53199.4552(8)	pe	BVR	II
53206.4371(7)	pe	BVR	I
53237.4198(13)	pe	BVR	II
53241.3619(12)	pe	BVR	II
53257.2965(12)	pe	BVR	I
53533.4298(15)	CCD	BVR <sub>c</sub>	I
53549.3707(16)	CCD	BVR <sub>c</sub>	II
53557.4271(8)	CCD	BVR <sub>c</sub>	I
53567.4539(10)	CCD	BVR <sub>c</sub>	I
53578.3831(11)	CCD	BVR <sub>c</sub>	II

$$\text{HJD (MinI)} = 2450585.4810(2) + 0^d.35815069(1)\text{xE} + 1^d.80(3)\text{x}10^{-10}\text{xE}^2 \quad (2)$$

Denklemdaki kuadratik terim pozitif ve yörünge döneminin  $0.032 \pm 0.001$  s/yıl oranında arttığını belirtmektedir. İkinci bileşenden(daha az kütleli bileşen) birinciye korunumlu kütle transferi, bu artışı açıklayabilir. Bu çalışmadan elde edilen bileşenlerin kütle değerleri  $m_1 = 1.31 m_{\odot}$  ve  $m_2 = 0.57 m_{\odot}$  kullanılırsa kütle transferi oranı  $\sim 9.6 \times 10^{-7} m_{\odot}/\text{yıl}$  olarak bulunabilir. Bu oran, RS CVn ve W UMa benzeri geç tür çiftlerdeki genel kütle transferi oranından 10 kat daha büyüktür.

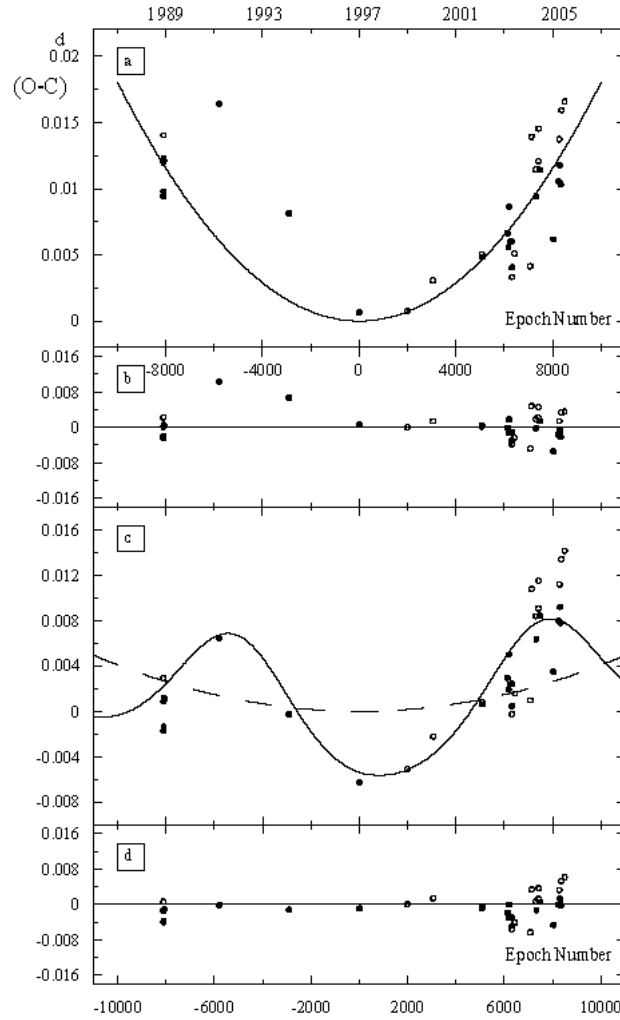
Öte yandan, sistemin tüm minimum zamanları göz önüne alınırsa, Şekil 2'deki veri yörünge döneminin çevrimsel değişimini (çok küçük genlikli) destekleyebilir. O-C diyagramının çevrimsel değişiminin en olası nedeni, sistemde görülmeyen bir üçüncü cisimdir. Bu nedenle, Şekil 2'deki O-C değişimine yapılan fit için [16] tarafından verilen aşağıdaki ışık-zaman etkisi denklemi uygulanmış, ancak bu terime bir de kuadratik terim eklenmiştir:

$$\text{O-C} = Q\text{xE}^2 + \frac{a_{12} \sin i'}{c} \left\{ \frac{1 - e'^2}{1 + e' \cos v'} \sin(v' + \omega') + e' \cos \omega' \right\} \quad (3)$$

Burada,  $c$  ışık hızı,  $a_{12}$ ,  $e'$ ,  $i'$  ve  $\omega'$ , sırasıyla, örten çiftin kütle merkezinin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu, dışmerkezliği, yörünge eğikliği ve enberi boylamıdır.  $\mathcal{U}$  ise, örten çiftin kütle merkezinin üçlü sistemin yörüngesi üzerindeki konumunun gerçek ayrıklığıdır.  $T'$ , örten çiftin üçlü sistemin yörüngesinin enberi noktasından geçiş zamanı ve  $P_{12}$ , örten çiftin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge dolanma dönemi olup Denklem 3'te gizli kalmaktadırlar. Bağımsız 9 değişken ( $T_0$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $a_{12}$ ,  $e'$ ,  $i'$ ,  $\omega'$ ,  $T'$  ve  $P_{12}$ ) için denklem 3'ün sistemin tüm O-C verisine uygulanarak elde edilen en küçük kareler yöntemi çözümü, Çizelge 5'te verilmektedir. Şekil 2 (c,d)'de, gözlemler, gözlemlere fit edilen en iyi kuramsal eğri ve gözlem-fit farkları çevrim sayısına göre çizilmiştir.

Çizelge 5. V829 Her'in  $O-C$  analizinden elde edilen parametreleri

Parametre	Değer	Standart Sapma
$T_0$ (HJD)	2450585.4879	0.0003
$P_{orb}$ (gün)	0.35815016	0.00000001
$Q$ (gün)	$4.1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-12}$
$a_{12} \sin i'$ (AU)	0.986	0.032
$e'$	0.30	0.01
$\omega'$	102	9
$T'$ (HJD)	53428	92
$P_{12}$ (yıl)	12.61	0.01
$f(m_3)$ ( $m_\odot$ )	0.0060	0.0006
$\Sigma(O-C)^2$ (gün <sup>2</sup> )	0.00310	



Şekil 2. a) V829 Her'in  $O-C$  verisini temsil eden parabolik eğri, b) parabolik eğriden kalan farklar, c)  $O-C$  değişimini temsil eden parabolik eğri (kesikli çizgi) üzerine binmiş eksentrik sinüzoidal eğri ve d) c'deki sürekli eğriden kalan farklar.

Kuadratik terimin katsayısı, pozitif olup yörünge döneminin  $0.007 \pm 0.001$  s/yıl arttığını göstermektedir. Korunumlu kütle transferini göz önüne alınırsa; ikinci (küçük kütleli)

bileşenden birinci (büyük kütleli) bileşene kütle transferi oranı  $\sim 7.8 \times 10^{-8} m_{\odot}/\text{yıl}$  olarak bulunur. Çizelge 5'e göre çiftin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki dolanma dönemi  $P_{12} = 12.61 \pm 0.01$  yıl olmaktadır. Örten çiftin kütle merkezinin üçlü sisteminkine olan izdüşüm uzaklığı ise  $0.99 \pm 0.03$  AU'dur. Bu değerler bizi, varsayılan 3. cisim için küçük bir kütle fonksiyonuna  $f(m_3) = 0.0060 \pm 0.0006 m_{\odot}$  götürür. Böylesi bir 3. cismin kütlesi,  $i = 30^\circ$  ye karşılık  $0.68 m_{\odot}$  ve  $i = 90^\circ$  ye karşılık  $0.31 m_{\odot}$  olmaktadır. Burada çiftin toplam kütlesi için  $m_1 + m_2 = 1.88 m_{\odot}$  alınmıştır. Eğer, 3. cisim yörüngesinin eğikliği örten çiftin yörünge eğikliğine eşitse, bu durumda üçlü sistemin yörüngesinin yarıçapı  $r_3$  yaklaşık 6.05 AU olmaktadır. Böylece, olası üçüncü cisim, V829 Her örten çiftinin Lagrangian noktaları dışında kalmakta ve üçlü sistemin çekimsel kararlılığını bozmamaktadır. Bu çalışmada, V829 Her'in uzaklığı için bulunan 200 pc (bkz, 5. Bölüm) değeri kullanılırsa, 3. cisimle örten çift arasındaki maksimum açısal ayrıklığı 30 mas çıkar, ki bu değer gözlemsel belirleme açısından oldukça küçüktür.

Aslında yalnızca 2 gözlem noktasının  $O-C$  diyagramına yapılan fitleri belirlemesi güvenilirlik açısından eksik kalmaktadır. Bu nedenle, hangi fitin (parabol yada parabol+sinüs) gözlemleri daha iyi temsil ettiğini görmek amacıyla her bir fit için  $O-C$ 'lerin karelerinin toplamına bakıldı: parabol fiti için  $\Sigma(O-C)^2 = 0.00035 \text{ gün}^2$ , parabol+sinüs fiti için  $\Sigma(O-C)^2 = 0.00031 \text{ gün}^2$ . Bu değerlerin yakın çıkması yüzünden bu sefer fitlerin standart sapmaları hesaplandı: parabol fiti için 0.00312 gün, parabol+sinüs fiti için 0.00289 gün. Tüm bu sonuçlar, az da olsa parabol+sinüs fitinin  $O-C$  değişimlerine daha iyi uyduğunu, dolayısıyla sistemin yörünge döneminin parabol üzerine binmiş çevrimsel değişimler biçiminde olabileceğini göstermektedir.

#### 4. Fotometrik Analiz

Bu çalışmadan elde edilen  $BVR$  ışık eğrileri ile literatürden alınan dikine hız eğrilerinin eşzamanlı analizi için Wilson-Devinney yönteminin [17] en son versiyonu kullanılmıştır. Üç ardışık yıl 2003, 2004 ve 2005'te elde edilen ışık eğrileri, gözlem zamanına ve asimetri derecelerine göre 4 farklı gruba ayrılarak çözüldü. Sistemin maksimum ışık düzeylerinin zamanla değişmesi yüzünden; gözlem verisinin parlaklıktan 1'e normalize edilmiş yeğlinliğe dönüştürme işleminde, 0.25 evrede hemen hemen aynı ışık düzeyine sahip olan 2003 ve 2005 ışık eğrilerinden  $B$  için 10.833,  $V$  için 10.251,  $R$  için 9.809 değerleri seçilerek normalizasyon işleminde kullanıldı (bkz. Şekil 3).

WD yönteminde, diğer fotometrik çözüm yöntemlerinde olduğu gibi, kimi parametreler sabit alınır ve bu yüzden, sabit alınan parametreler, göz önüne alınan sisteme karşılık geldiği düşünülen kuramsal modellerden tahmin edilmelidir. Böylece sabit alınan parametreler ve değerleri şunlardır: Sistemin baş bileşeninin sıcaklığı için, S. Zola ile yapılan özel haberleşme sonucu, Zola'nın sistem için verdiği tayf türü F7'ye karşılık gelen 6300 K sıcaklık değeri alınmıştır. Logaritmik kenar kararım katsayıları için [18]'in verdiği çizelgeler kullanılmıştır. Bolometrik çekim kararım katsayıları olarak [19]'un konvektif zarflar için verdiği 0.32 değeri; bolometrik albedolar için ise [20]'nin konvektif zarflar için verdiği 0.5 değeri kabul edilmiştir. Sistemin birinci ve ikinci bileşenleri için senkronize dönme ve çembersel yörünge varsayımı yapılmıştır.

Çözümlerde serbest bırakılan parametreler ise; ışık öğeleri  $T_0$  ve  $P$ , görelî yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu  $a$ , çift sistemin kütle merkezinin dikine hızı  $V_p$ , çiftin yörüngesinin gökyüzü düzlemine olan eğikliği  $i$ , ikinci bileşenin akı ağırlıklı ortalama yüzey sıcaklığı  $T_2$ , birinci bileşenin boyutsuz normalize yüzey potansiyeli  $\Omega_1$  ve birinci bileşenin kesirsel tek renk ışıması  $L_1$  alınmıştır. Yörünge döneminin zamana göre birinci türevi  $\frac{dP}{dt}$ ,  $O-C$  analizinden(bölüm3) elde edilen değerde, sabit tutulmuştur. Diğer yandan, sistemin kütle

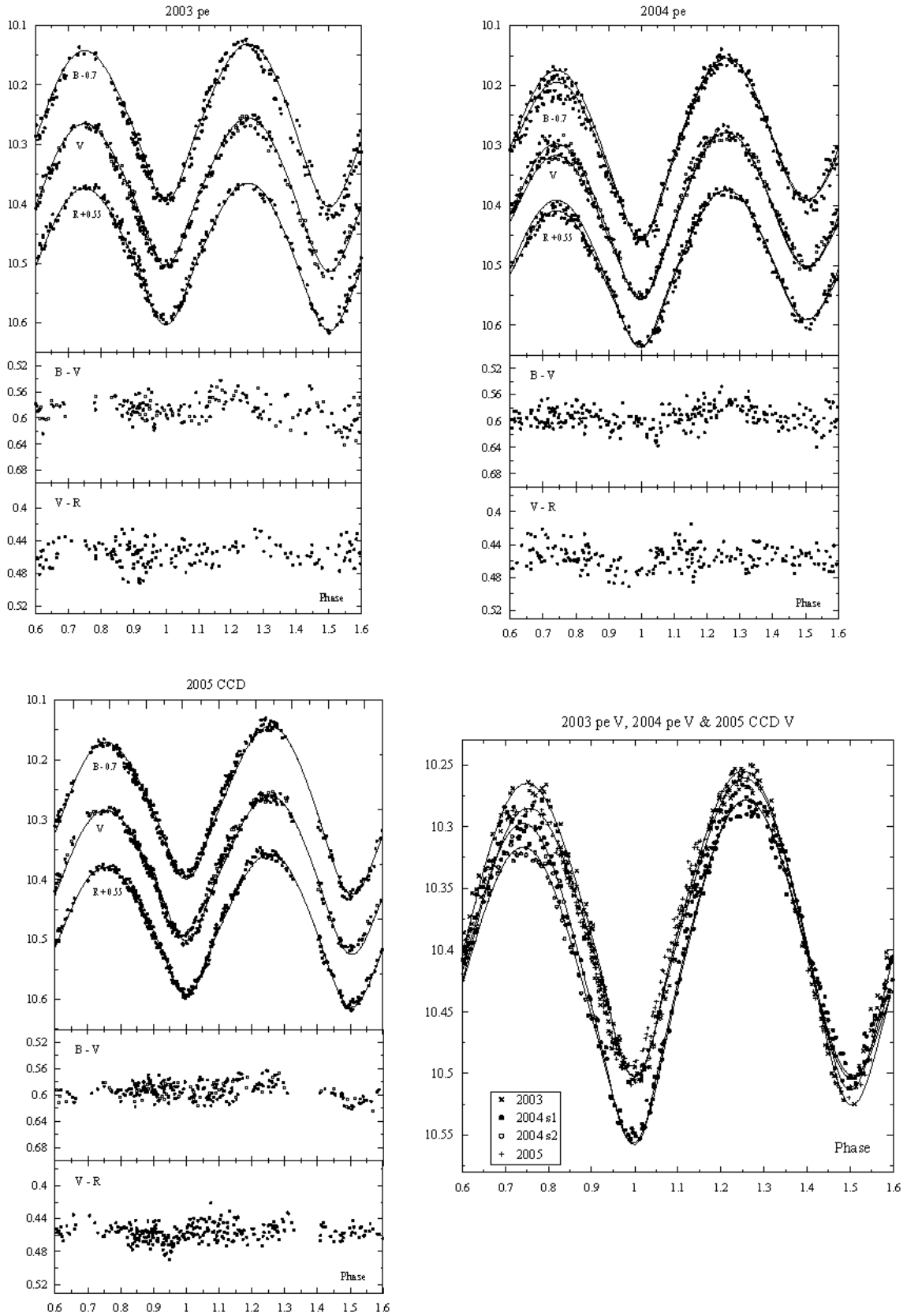


oranı için, [13]'ün fotoelektrik ve tayfsal çalışmadan elde ettikleri 2.3 değeri kullanılmış ve bu değer sabit tutulmuştur.

Çizelge 6. V829 Her'in farklı yıllardaki ışık ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümleri

Parametreler	2003	2004 s1	2004 s2	2005
$T_0$ HJD	2452797.4250(1)	2453257.2958(2)	2453257.2962 (2)	2453557.4270(1)
$P_0$ gün	0.35815054(3)	0.35815106(3)	0.35815109(3)	0.35815117(2)
$dP/dt$	$2.27273 \times 10^{-10}$	$2.27273 \times 10^{-10}$	$2.27273 \times 10^{-10}$	$2.27273 \times 10^{-10}$
$a$ ( $R_\odot$ )	2.60(1)	2.67 (1)	2.68(1)	2.61 (1)
$V_\gamma$ (km/s)	-13.9(5)	-13.9(5)	-13.95(50)	-13.95(35)
$i$ (°)	57.7(3)	55.4(3)	55.0(3)	57.2(2)
$T_1$ (K)	6300	6300	6300	6300
$T_2$ (K)	6101(26)	5576(24)	5539(31)	6194(17)
$\Omega_1 = \Omega_2$	5.557(8)	5.509(9)	5.531(10)	5.550(5)
$q = m_2/m_1$	2.3	2.3	2.3	2.3
$f$ (fill out)	0.19	0.27	0.24	0.20
$L_\gamma$ ( $L_1+L_2$ ) B	0.330(5)	0.440(6)	0.448(7)	0.311(3)
$L_\gamma$ ( $L_1+L_2$ ) V	0.322(4)	0.403(4)	0.411(5)	0.310(2)
$L_\gamma$ ( $L_1+L_2$ ) R	0.320(3)	0.385(3)	0.391(4)	0.309(2)
$r_1$ (ortalama)	0.3200(9)	0.3258(11)	0.3232(11)	0.3208(6)
$r_2$ (ortalama)	0.4647(9)	0.4700(11)	0.4675(11)	0.4654(5)
<b>Leke Parametreleri</b>				
Leke 1 enlemi (°)	43(2)	45	45	65(2)
Leke 1 boylamı (°)	338(4)	270	270	322(2)
Leke 1 yarıçapı (°)	11.5(9)	11.5	16	13(1)
$T_{\text{leke1}}/T_{\text{yıldız}}$	0.75	0.75	0.75	0.75
Leke 2 enlemi (°)	---	135	135	---
Leke 2 boylamı (°)	---	90	90	---
Leke 2 yarıçapı (°)	---	10	10	---
$T_{\text{leke2}}/T_{\text{yıldız}}$	---	0.75	0.75	---
<b>Mutlak Parametreler</b>				
$m_1$ ( $m_\odot$ )	0.56(3)	0.61(3)	0.61(3)	0.57(3)
$m_2$ ( $m_\odot$ )	1.29(4)	1.39(4)	1.41(4)	1.30(3)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	0.83(1)	0.87(1)	0.87(1)	0.84(1)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	1.21(1)	1.25(1)	1.25(1)	1.22(1)
Log $g_1$ (cgs)	4.34(2)	4.34(2)	4.35(2)	4.34(2)
Log $g_2$ (cgs)	4.38(1)	4.38(1)	4.39(1)	4.38(1)
$M_{\text{bol1}}$	4.78(15)	4.68(15)	4.69(15)	4.76(15)
$M_{\text{bol2}}$	4.10(17)	4.41(19)	4.45(19)	4.03(16)
$M_{V,1}$	4.83(15)	4.73(15)	4.74(15)	4.81(15)
$M_{V,2}$	4.15(17)	4.52(19)	4.58(19)	4.08(16)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	0.98(14)	1.07(15)	1.06(15)	0.99(14)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	1.81(29)	1.36(24)	1.32(24)	1.95(29)
$M_V$	3.69(14)	3.87(13)	3.90(13)	3.63(14)
$d$ (pc)	193(12)	177(11)	174(10)	198(13)
$\Sigma W(O-C)^2$	0.02578	0.02508	0.01955	0.01899

Not: Hatalar, son basamağa göre parantez içinde verilmiştir. 1 ve 2 alt indisleri, sırasıyla, küçük ve büyük boyutlu bileşenleri temsil etmektedir.



**Şekil 3.** V829 Her'in standart parlaklıktaki, gözlemsel fotoelektrik ve CCD ışık ve renk eğrileri. Sürekli çizgiler, Çizelge 6'da verilen model fitleri temsil etmektedir.

WD programında DC (diferansiyel düzeltme) yöntemi kullanılarak serbest bırakılan parametreler için düzeltme miktarları ve hatalar hesaplanır. Düzeltmeler girilir ve çözüme iterasyonlar şeklinde devam edilir. Bu iterasyonlarda, serbest bırakılan parametrelerin düzeltme miktarları hatalarından daha küçük çıkarsa, çözüm anlam kazanır ve son bulur. Böylece bulunan sonuçlar, Çizelge 6'da verilmekte, gözlem noktaları ile gözlemlere fit edilen kuramsal eğrilerin karşılaştırılması Şekil 3'te gösterilmektedir. Ayrıca, iterasyonlar süresince, sistemin ışık eğrisine bir 3. cismin ışık katkısının olup olmadığı kontrol edilmiş ve anlamlı bir sonuç bulunamamıştır.

### 5. Sonuçlar ve Tartışma

Değen çift yıldız V829 Her'in gözlenen tüm minimum zamanlarını kullanarak sistemin yörünge dönemi değişimi incelendi ve *O-C* diyagramının parabol üzerine binmiş bir sinüs eğrisi ile daha iyi temsil edilebileceği görüldü. Sistemin yörünge döneminde görülen  $\sim 0.006$  gün genlikli ve 12.6 yıl dönemli çevrimsel değişimin sistemde görülmeyen bir üçüncü cisim nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisinden kaynaklanabileceği araştırıldı. Böylece, olası üçüncü cismin  $0.7m_{\odot}$  den daha düşük kütle ve sistemden  $\sim 5^m$  daha sönük bir parlaklığa sahip olması gerektiği tahmin edildi. Üçüncü cismin yörüngesi ile V829 Her çiftinin yörüngesinin ortak bir düzlem paylaştığı düşünülünce ve üçüncü cismin bir normal yıldız olduğu varsayılırsa, üçüncü cisim, orta M tayf türünden bir kırmızı cüce olarak gözüktür. Ancak ne önceki fotometrik analizlerde ne de bu çalışmadaki fotometrik analizde üçüncü bir ışık kaynağı bulunamamıştır. Öte yandan [21] tarafından yapılan tayfsal yolla değen çiftlerde bir üçüncü bileşen arayışı, tayfsal çözünürlük oranını  $L_3/(L_1+L_2)=0.008$ 'e yükseltmiştir. Bu nedenle, V829 değen çifti, [21]'in araştırma listesine girmelidir. Parabolik eğri, küçük kütleli ikinci bileşenden büyük kütleli birinci bileşene olan  $7.8 \times 10^{-8} m_{\odot}/\text{yıl}$ 'lık korunumlu kütle transferi oranının neden olduğu  $0.007 \pm 0.001$  s/yıl'lık bir dönem artışını karşılamaktadır.

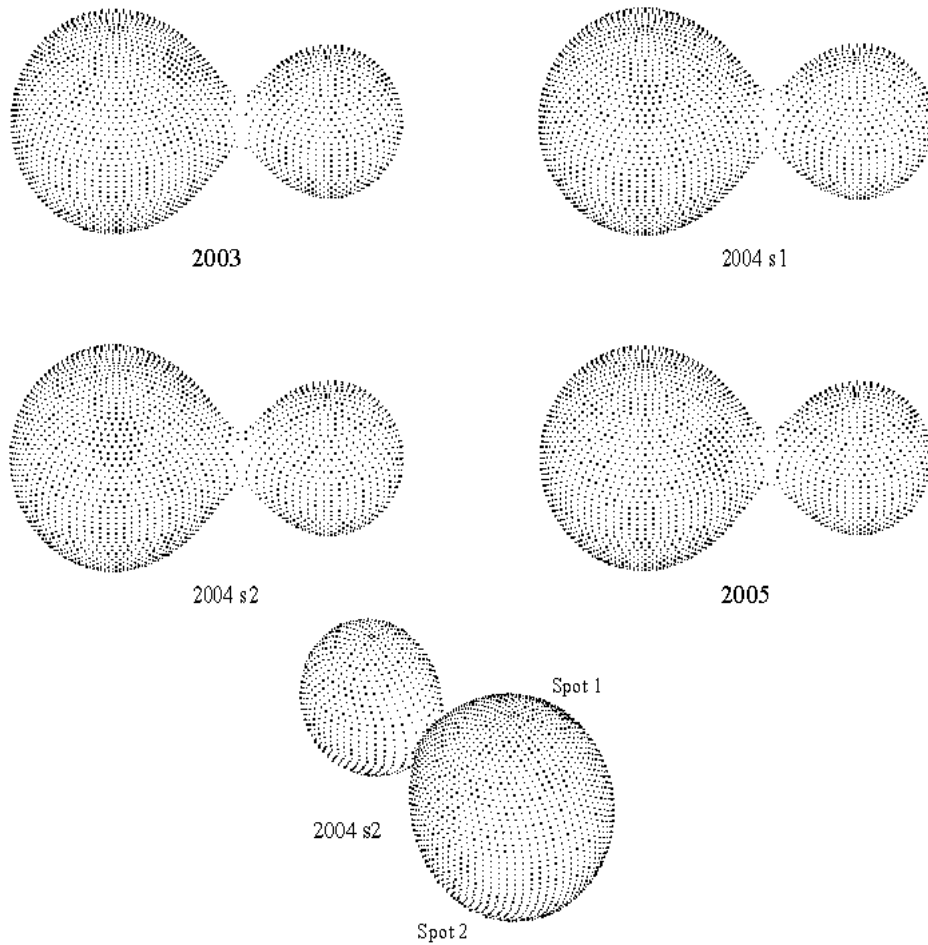
Fotometrik analiz sonuçları, V829 Her sistemini, marjinal değme durumunda, iç ve dış Langrangian sıfır hız yüzeylerini  $\sim 20$  oranında doldurmuş bulunan bir W alttürü W UMa değen çift sistemi olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, büyük kütleli bileşen üzerinde soğuk lekeler vermektedir. Çözüm serilerinin verildiği Çizelge 6'ya bakıldığında, ikinci (büyük kütleli) bileşenin sıcaklığı (ve bu yüzden ısıtması ve parlaklıkları, sistemin toplam parlaklığı ve uzaklığı) ve leke parametreleri arasında büyük farklar olduğu görülür. Diğer tüm çözüm parametreleri, hata sınırları içersinde hemen hemen aynıdır. İkinci bileşenin yüzey sıcaklık değerlerinin çözümlerde farklı çıkmasının iki olası nedeni vardır: (i) Yüzeyindeki leke sayısı. İki lekeli 2004 s1 ve 2004 s2 modelleri ile tek lekeli 2003 ve 2005 modelleri arasındaki bu sıcaklık farkı 500 K dir. (ii) [22]'nin belirttiği gibi, ışık eğrisi çözümlerinde bulunan ikinci bileşenin sıcaklığının sistemi saran ortak zarfa ait olabileceğidir. Bilindiği gibi, ortak zarf kararsız yapıdadır ve sürekli gaz akımları yüzünden sıcaklık dengesinde olmayabilir.

WD yönteminde, herhangi bir leke dört parametre ile temsil edilir: Leke merkezinin enlem ve boylamı, açısız yarıçapı ve lekenin sıcaklık faktörü. Lekenin enlemi, kuzey kutbunda  $0^\circ$  den güney kutbunda  $180^\circ$  ye kadar ölçülür. Leke merkezinin boylamı,  $0^\circ$  ile  $360^\circ$  arasında, meridyenden merkezi görüş çizgisine doğru saat yönünde ölçülür. Lekenin açısız yarıçapı, yıldızın merkezinden leke yarıçapına karşılık gelen açıyla verilir. Bir lekenin sıcaklık faktörü, leke sıcaklığının ışıkküre sıcaklığına oranıdır.

Sistemin tüm ışık eğrileri, 0.75 evresinde daha düşük ışık düzeyi biçiminde O'Connell etkisi göstermektedir (bkz. Şekil 3). Bu etki ya da her iki maksimum ışık düzeyi arasındaki fark, büyük kütleli bileşenin üzerinde bir soğuk/koyu leke açısından göz önüne alınmıştır. Öte yandan, [2] tarafından gözlenen x-ışın salması, koyu/soğuk lekeleri destekleyici ek bir kanıt olarak göz önüne alınabilir. Ayrıca, sistemin 2004'teki fotoelektrik ışık eğrileri iki ilginç özellik gösterirler: (i) 0.75 evresinde, *Maks.II*, iki farklı ışık düzeyine sahiptir, ve (ii) standart gözlemler, 2004 yılında gözlenen ışık eğrilerindeki her iki maksimum ışık düzeylerinin 2003

ve 2005'tekilerden daha düşük olduğunu göstermiştir (bkz. Şekil 3). Birinci özellik için, *Maks.II*deki ışık düzeylerine göre 2004 gözlemleri, iki farklı ışık eğrisi setine ayrılmış (s1: düşük asimetrlili ve s2: büyük asimetrlili) ve ayrı ayrı çözülmüştür. İkinci özellik için 0.75 ve 0.25 evrelerinde, 2003 ve 2005 ışık eğrilerine göre daha düşük ışık düzeyine sahip olan bu iki maksimuma iki soğuk leke yerleştirilmiştir. Şekil 4'te, dört farklı fotometrik çözüm serileri kullanılarak bulunan büyük bileşenin yüzeyi üzerindeki soğuk lekelerin varlığını gösteren üç boyutlu modeli verilmektedir.

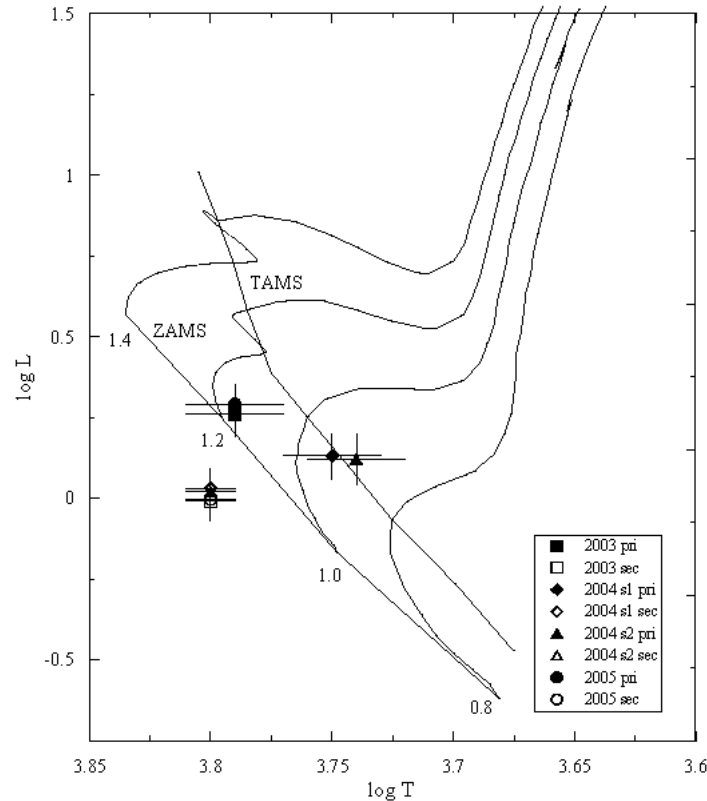
Işık ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümü, sistemin mutlak parametrelerini hesaplamaya olanak tanımaktadır. V829 Her'in elde edilen mutlak parametreleri, hatalarıyla birlikte, Çizelge 6'da verilmektedir. Bu parametrelerin hesabı için güneş değerleri  $T_{\text{eff}} = 5780$  K,  $M_{\text{bol}} = 4^{\text{m}}.75$  ve  $BC = -0^{\text{m}}.14$  olarak alınmıştır. Sistemin bileşenleri için bolometrik düzeltmeler, [23] tarafından verilen çizelgeler kullanılmıştır. V829 Her'in bu çalışmadaki standart gözlemlerinden  $(B-V)_{\text{göz}} = 0.59 \pm 0.01$  renk ölçeği bulunmuştur. Öte yandan sistemin tayf türü için Zola'nın özel haberleşmeyle verdiği F7'ye karşılık [23]'ün çizelgelerinden  $B-V = 0.50$  değeri kızılşamamış renk ölçeği olarak kullanılırsa,  $E(B-V) = 0.09$  renk artığı bulunur. Böylece, yıldızın uzaklık hesabında  $A_V = 3.1E(B-V)$  biçiminde yıldızlararası soğurma kullanılmıştır. Öte yandan [24] tarafından verilen dönem-renk-parlaklık bağıntısını kullanırsak, yıldızın uzaklığı için 200 pc değerini buluruz ki bu değer bizim 2005 çözüm modeline karşılık gelir.



**Şekil 4.** Dört farklı fotometrik çözüme göre, 0.75 evrede leke konumları ve V829 Her'in bileşenlerinin üç boyutlu modelleri. Sisteme ait en alttaki 3-boyutlu modelde, 0.115 evrede, büyük bileşenin yüzeyindeki iki leke gösterilmektedir.

Mutlak parametrelere göre de sistemin dört farklı fotometrik çözümü arasında bazı farklar vardır. Bu farklar, özellikle, büyük kütleli bileşenin ısıtma ve parlaklığında ve sistemin toplam parlaklığında ve uzaklığında çıkmaktadır (bkz. Çizelge 6). Bu farklar, daha önceden söz edildiği üzere, büyük kütleli bileşenin yüzey sıcaklığının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, farklı veri serilerinden hesaplanan, bileşenlerin kütleleri ve yarıçapları hata sınırları içinde hemen hemen aynıdır. Bileşenlerin kütle ve yarıçapları değerleri, [13]'ün değerleriyle ( $m_1=0.86(1)m_{\odot}$  ve  $m_2=0.37(1)m_{\odot}$ ,  $R_1=0.6(1)R_{\odot}$  ve  $R_2=0.71(1)R_{\odot}$ ) ve [1]'in değerleriyle ( $m_1=1.46(2)m_{\odot}$  ve  $m_2=0.60(1)m_{\odot}$ ,  $R_1=1.27(1)R_{\odot}$  ve  $R_2=0.85(1)R_{\odot}$ ) karşılaştırıldığında, bizim sonuçlarımızın [1]'inkilerle hemen hemen aynı, [13]'inkilerin ise oldukça farklı olduğu (büyük olasılıkla baskı hatası sonucu) görülmektedir.

Sistemin bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları, Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu diyagramda, büyük kütleli bileşenin az çok bir normal anakol yıldızı gibi davrandığı görülmektedir. Tersine, küçük kütleli yıldız, alışıksız bir şekilde, standart yıldız evrimi teorisinden elde edilen tahminlere zıt olarak, anakol'un solunda yer almaktadır: Küçük kütleli bileşen, kendi kütlelerine göre, daha büyük ısıtmalı ve daha büyük kütleli çıkmaktadır. Bu durum, W UMa türü çift yıldızlarda görülen yaygın bir durumdur ve pek çok yazar tarafından tartışılmıştır. Örneğin, [25], W alt türü W UMalarda ikinci bileşenin büzüldüğünü ve böylece ortaya çıkan çekimsel enerjinin bu yıldızları normalden daha fazla ısıtmalı olarak gösterdiğini öne sürmekte; [22] ise baş bileşenden ikinciye enerji transferinin ikinci bileşenleri olağandan daha parlak gösterdiğini ileri sürmektedir.



**Şekil 5.** V829 Her'in bileşenlerinin farklı çözüm setlerine göre HR diyagramındaki farklı konumları. Evrim çizgileri (sürekli çizgiler), [26]'dan alınmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Lu, W., Rucinski, S. M. (1999), "Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. I.", *The Astronomical Journal*, 118, 515-526
- [2] Gioia, I. M., Maccacaro, T., Wolter, A. (1987), in *IAU Symp. 124, Observational Cosmology*, eds. A. Hewitt, G. R. Burbidge, L.-Z. Fang (Dordrecht: Reidel), s.593
- [3] Fleming, T. A., Gioia, I. M., Maccacaro, T. (1989), "X-ray-selected candidates for the RS CVn and W UMa classes of binary stars", *The Astronomical Journal*, 98, 692
- [4] Robb, R. M. (1989), "The Optical Variability of the X-Ray Source 1E1654+3515", *Information Bulletin on Variable Stars*, 3346
- [5] Agerer, F., Hübscher, J. (1995), "Photoelectric Maxima/minima of Selected Variables", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4222
- [6] Agerer, F., Hübscher, J. (1999), "Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4711
- [7] Agerer, F., Hübscher, J. (2000), "Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4912
- [8] Dvorak, S. W. (2005), "Times of Minima for Neglected Eclipsing Binaries in 2004", *Information Bulletin on Variable Stars*, 5603
- [9] Dvorak, S. W. (2006), "Times of Minima for Neglected Eclipsing Binaries in 2005", *Information Bulletin on Variable Stars*, 5677
- [10] Hübscher, J., Paschke, A., Walter, F. (2005), "Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars", *Information Bulletin on Variable Stars*, 5657
- [11] Pribulla, T., Baludansky, D., Chochol, D., Chrastina, M., Parimucha, S., Petrik, K., Szasz, G., Vanko, M., Zboril, M. (2005), "New Minima of Selected Eclipsing Close Binaries", *Information Bulletin on Variable Stars*, 5668
- [12] Erdem, A., Özkardeş, B. (2004), "BVR Photometry of the Contact Binary Star V829 Herculis", *Information Bulletin on Variable Stars*, 5496
- [13] Zola, S., Rucinski, S. M., Baran, A., Ogloza, W., Pych, W., Kreiner, J. M., Stachowski, G., Gazeas, K., Niarchos, P., Siwak, M. (2004), "Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: III", *Acta Astronomica*, 54, 299-312
- [14] Hardie, R. H. (1962), "*Photoelectric Reductions in Astronomical Techniques*", Vol.2, ed. W. A. Hiltner, Chicago, IL: University of Chicago Press, s.178, 208
- [15] Kwee, K. K., van Woerden, H. (1956), "A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable", *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 12, 327
- [16] Irwin, J. B. (1959), "Standard light-time curves", *Astronomical Journal*, 64, 149
- [17] Wilson, R. E., Devinney, E. J. (1971), "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni", *Astrophysical Journal*, 166, 605
- [18] van Hamme, W. (1993), "New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves", *Astronomical Journal*, 106, 2096-2117
- [19] Lucy, L. B. (1967), "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes", *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89
- [20] Rucinski, S. M. (1969), "The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes", *Acta Astronomica*, 19, 245
- [21] D'Angelo, C., van Kerkwijk, M. H., Rucinski, S. M. (2006), "Contact Binaries with Additional Components. II. A Spectroscopic Search for Faint Tertiaries", *Astronomical Journal*, 132, 650-662
- [22] Hilditch, R. W. (2001), "*An Introduction to Close Binary Stars*", Cambridge University Press, s.292.
- [23] Zombeck, M. V. (1990), "*Handbook of Astronomy and Astrophysics*", Second Edition, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [24] Rucinski, S. M., Duerbeck, H. W. (1997), "Absolute Magnitude Calibration for the W UMa-Type Systems Based on HIPPARCOS Data", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 109, 1340-1350
- [25] Wang, J. M. (1995), "Are Contact Binaries Undergoing Thermal Relaxation Oscillations with Contact Discontinuity?", *Astronomical Journal*, 110, 782
- [26] Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C. (2000), "Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7  $M_{\text{sun}}$ , and from  $Z=0.0004$  to 0.03", *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 141, 371-383