






# Değen Çift Yıldızların Tek Yıldızla Dönüşmesi; Gözlemsel Paradoks

İbrahim Bulut<sup>2</sup>   Mümin Güneş<sup>1</sup> , Ahmet Bulut<sup>1</sup> , Osman Demircan<sup>2</sup> ,

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 17100, Çanakkale

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, 17100, Çanakkale

Accepted: December 12, 2022. Revised: December 5, 2022. Received: November 6, 2022.

## Özet

Tek yıldızlarda dönme hızının manyetik frenleme ile 200-300 km/sn değerlerinden 3-5 km/sn değerlerine kadar yavaşladığı 1960'lardan beri bilinmektedir. Bir yıldızın yakın çift yıldız bileşeni olması halinde karşı bileşene kütle çekimsel kilitleme nedeniyle yavaşlayamamakta ancak ilginç bir mekanizmayla yörünge küçülmekte, değen çift yıldızların tek yıldızlara dönüşmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Sonunda, yıldızların çekirdeklerinin çarpışması ve nova benzeri bir patlamanın oluşması beklenmektedir. Değen çift yıldızların istatistiği dikkate alındığında çok sayıda benzer patlamanın gözlenmesi gerekiyordu. Halbuki birkaç örnek gözlemlenmiş olup, birisi V1309 Sco'dur. Bu gözlemsel çift yıldız astronomisinde önemli bir paradokstur. Bu çalışmada V1309 Sco'nun gözlemsel ışık eğrisi analizlerinden, değen çift yıldızların tek yıldızla dönüşüm süreci gözlemsel ve kuramsal olarak yorumlanacaktır.

## Abstract

It has been known since the 1960s that the rotational speed of single stars slows down from 200-300 km/sec to 3-5 km/sec by magnetic braking. If a star has a close binary component, it cannot slow down due to gravitational locking to the opposite component, but with an interesting mechanism the orbit shrinks, making it inevitable that the changing contact binaries will become single stars. Eventually, it is expected that the cores of the stars will collide and a nova-like explosion will occur. Considering the statistics of contact binaries, many similar explosions should have been observed. However, a few examples have been observed, one of which is V1309 Sco. This is an important paradox in observational double star astronomy. In this study, the transformation process of contact binary stars into single stars will be interpreted observationally and theoretically from the observational light curve analyzes of V1309 Sco.

**Anahtar Kelimeler:** Stellar mergers – V1309 Sco – LRN

## 1 Giriş

Çift yıldız evriminin en ilgi çekici olaylarından yıldız birleşmeleri oldukça uzun zamandır teorik olarak çalışılmaktadır. Değen sistemler ve ortak zarf evrimi bu tür olayların en olası kaynakları olarak görülmektedir. Tek yıldızların dönme hızlarını düşüren manyetik frenlemenin, gelgit etkisiyle yakın çift sistemleri değen sistemlere dönüştürmesinde ve bu sistemleri birleştirmesinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Dinamo modelinin dolayısıyla manyetik frenlemenin çift sistemlerin evrimindeki önemi Eggleton ve Kiseleva-Eggleton (2002) tarafından tartışılmıştır. Değen çiftler oldukça sık gözlemlerine karşın yıldız birleşmelerine ilişkin gözlemsel veriler ancak yakın zamanlarda artmaya başlamıştır.

## 2 V1309 Sco ve Kırmızı Nova Olayı

V1309 Sco'nun nova benzeri parlama gösterdiği Nakano ve diğ. (2008) tarafından keşfedilmiş olup böylece sistem Nova Sco 2008 olarak adlandırılmıştır. Samanyolundaki konumunda ve parlaklıktaki hızlı artış nedeniyle olay nova olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra olayın V838 Mon tipi kırmızı nova salınımı olduğu, birkaç ay içinde parlaklığının yaklaşık 10 kadir arttığı, daha sonra 8 ayda da parlaklığı düşerek etkin sıcaklığı

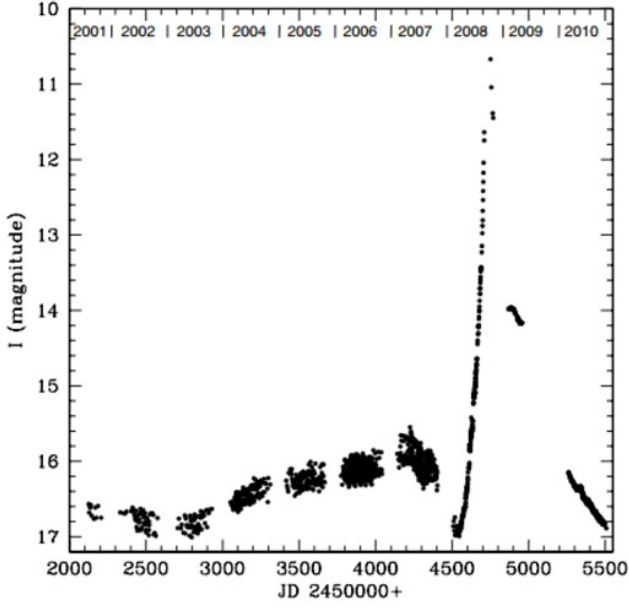
geç M tipi bir devin seviyesine indiği tespit edilmiştir (Mason ve diğ. 2010; Tylanda ve Soker 2006). Tayfsal veriler biriktikçe kalıntının hızlıca soğuduğu anlaşılmıştır (Mason ve diğ. 2010).

Nova Sco 2008, patlamadan önceki 8 yıl boyunca OGLE-III ve OGLE-IV projelerinde (Udalski 2003) izlenen alanın içinde yer almıştır. Ağustos 2001'den, cismin Eylül 2008'de bir nova olarak keşfine kadar Cousins fotometrik sisteminin I bandında yaklaşık 1340 gözlemi yapılmıştır (Şekil ??, Udalski ve diğ. 2008). Tylanda ve diğ. (2011) gözlemlerdeki büyük saçılmalardan ( $\approx 0.5$  kadir) Nova Sco 2008'in parlama öncesinde kısa dönemli değen çift sistem olduğunu keşfetmişlerdir. Tüm gözlem verilerini kullanarak, 2002-2007 zaman aralığı için, V1309 Sco'nun birkaç ışık eğrisini oluşturmuşlar ve sistemin dönem değişimini aşağıdaki üstel formül ile temsil etmişlerdir:

$$P(t) = 1.4456 \times e^{\frac{15.29}{t-t_0}}. \quad (1)$$

Denklemden  $t_0=2455233.5$ ,  $P$  gün biriminde,  $t$  Jülyen günüdür. Yörünge dönemi 1.44 günlük bir süre ile başlar ve patlama öncesi gözlemler sırasında %1.2 oranında azalır. Bu, yörünge küçüldüğü ve sonuçta bir birleşmeye yol açan kararsız bir evrim aşaması olarak yorumlanır (Şekil 2).

\* ibulut@comu.edu.tr,



Şekil 1. V1309 Sco'nun birleşme öncesi 2001 ve 2010 arasında I filtresinde elde edilen ışık değişimi. 2007'ye kadar veriler OGLE projesinden, 2007 sonrası AAVSO tarafından elde edilmiştir.

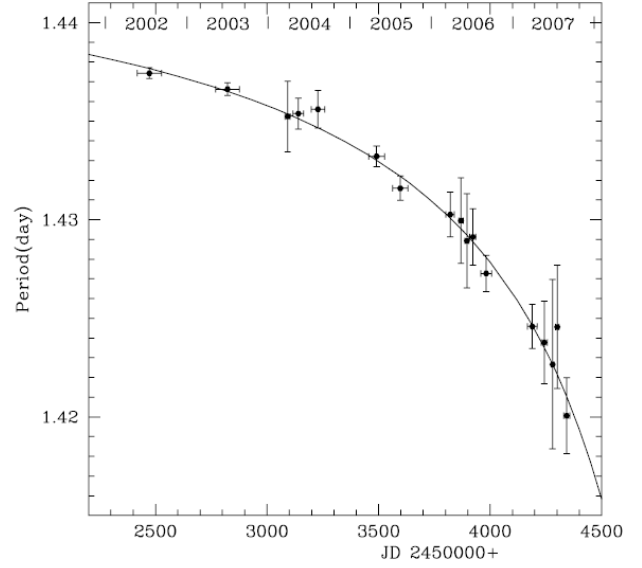
### 3 Işık Eğrisi Çözümleri

Birleşme olayının daha doğru anlaşılabilmesi için parlama öncesi ışık eğrilerinin ayrıntılı analizi edilmesi gerekir. Literatürde yalnızca 2002 ışık eğrisi [Zhu ve diğ. \(2016\)](#) tarafından çözülmüştür. Aynı makalede 2004 ışık eğrisinin çözülemediği belirtilerek, bu durum 2004 yılında ikili sistemin ortak konvektif zarfının kaybolduğu ve ikincil bileşenin birinci bileşenin zarfının içinde kaldığı şeklinde yorumlanmıştır. Bununla birlikte, [Tylenda ve diğ. \(2011\)](#) ışık eğrilerinin şeklini ve argümanları göz önüne alarak hareketlenmenin 2007'de meydana geldiğini ve ana patlamanın Mart 2008'de başladığını ifade etmektedir. [Pejcha ve diğ. \(2017\)](#) tarafından yapılan hidrodinamik simülasyonlarda, parlama öncesi sistemin L2 noktasından kaçan parçacıkların modellenmesi yapılmıştır. Sistemin çevresinde genişleyen sarmallar olarak yayılan kayıp kütlelerin etkisi, ışınım geçiş denklemi çözülerek hesaplanmış ve sistemin ışık eğrileri dolaylı şekilde modellenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalarda mutlak parametreler [Stępień \(2011\)](#) nin çalışmasından alınmıştır. Sonuç olarak öncü çift sistemin fiziksel özellikleri, mutlak parametreleri ve bu parametrelerin evrimi hala bilinmemektedir.

Bu çalışmada, kırmızı nova patlaması öncesinde varlığı belirlenen ikili sistem V1309 Sco'nun tüm mevcut gözlem verilerini kullanarak, fiziksel özelliklerini elde etmek, mutlak boyutlarını tahmin etmek ve sistemin birleşmeye doğru evrimini daha iyi anlamak amaçlanmıştır. İki ayrı ışık eğrisi analiz programı kullanılarak OGLE-III ve OGLE-IV projelerinde elde edilen I filtresindeki veriler modellenmeye çalışılmıştır.

#### 3.1 Phoebe Programı ile Çözümler

Analizlerde V1309 Sco'nun ışık eğrileri 2002 den 2007'ye kadar olan kısımda 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 numaralı olarak isimlendirilmiştir. Phoebe programı [Prša ve Zwitter \(2005\)](#) tarafından geliştirilmiştir. Program [Wilson ve Devinney](#)

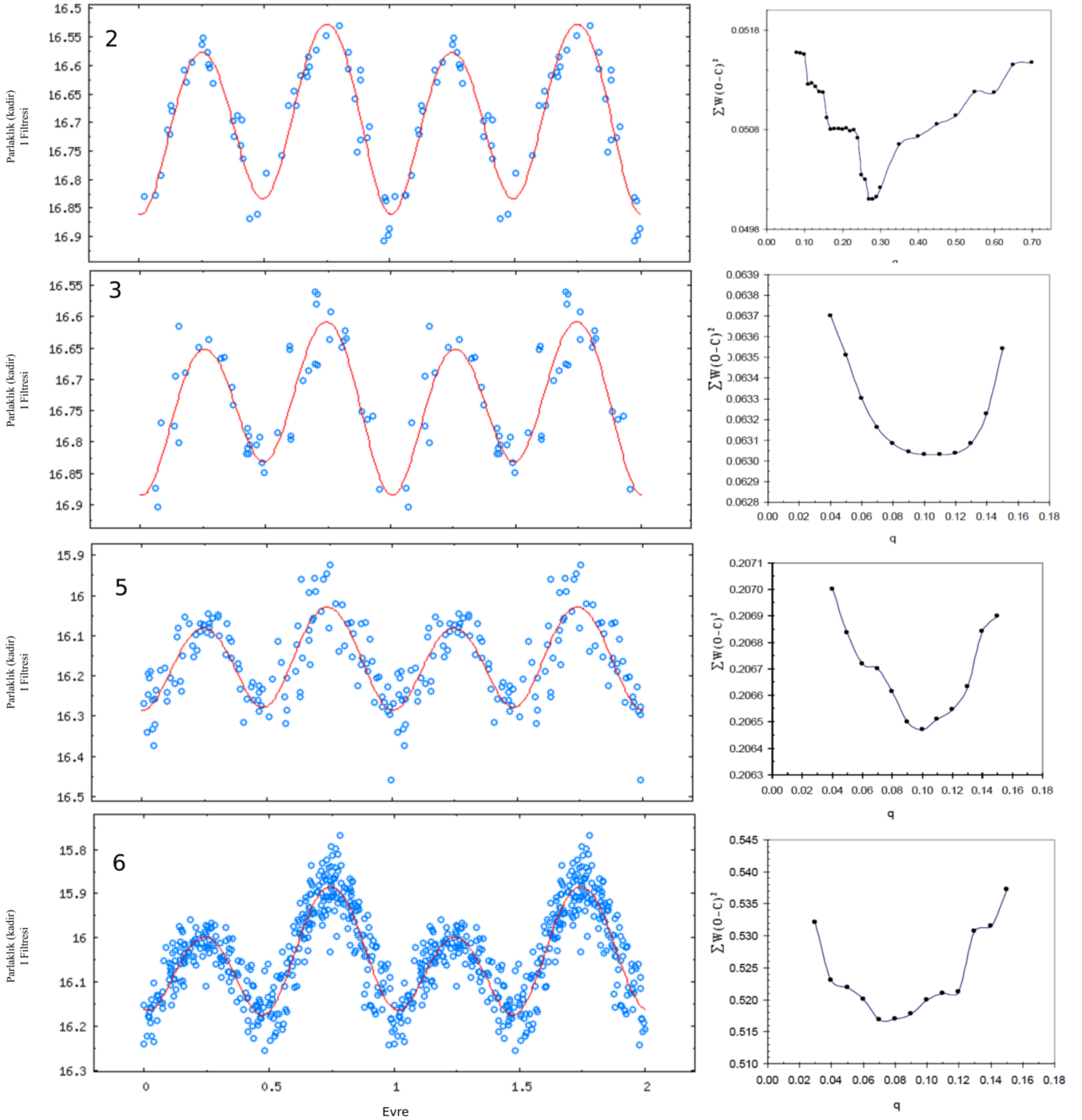


Şekil 2. V1309 Sco'nun atasının döneminin evrimi. Düz çizgi en küçük kareler fitini göstermektedir ([Tylenda ve diğ. \(2011\)](#)).

(1971)'in yöntemini kullanır. Phoebe çözümlerinde V1309 Sco'nun ışık eğrilerinden 2, 3, 5 ve 6 numaralı ışık eğrileri analiz edilerek sonuçlar sunulmuştur. 4 ve 7 numaralı ışık eğrilerinin özellikle maksimum ve minimumlarında gözlem noktalarının çok saçılmalı olması nedeniyle anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır. Birinci (sıcak) bileşenin sıcaklığı için [Tylenda ve diğ. \(2011\)](#) tarafından verilen  $T_1=4500$  K değeri kullanılmıştır. Çözümlerde konvektif atmosfer kabulüyle çekim kararma katsayıları ( $g_{1,2}=0.32$ ), yansıma katsayıları ise ( $A_{1,2}=0.5$ ) alınmıştır. Kütle oranının en olası değerlerini belirlemek için her ışık eğrisinde  $q$  taraması yapılmıştır. Işık eğrilerine bakıldığında maksimumlarda seviye farkının olduğu görülmektedir. Buna O'Connell etkisinin yol açtığı düşünülerek lekeli çözümler yapılmıştır. Bu durum büyük bileşen üzerine yerleştirilen soğuk leke ile modellenmiştir. Şekil 3'te ışık eğrisi modellemeleri ve  $q$  taraması görülmektedir. Çizelge 1'de analiz sonuçları özetlenmiştir.

#### 3.2 Nightfall Programı ile Çözümler

Nightfall programı [Wichmann \(2011\)](#) tarafından yazılmıştır. Program, örten çift yıldızların ışık ve dikine hız eğrilerinin analizini eş-zamanlı yapabilmektedir. Işık eğrisi çözümlerinde dikkate alınan tüm etkiler programda yer almaktadır. Kullanışlı grafik arayüze sahiptir bu özelliği çözüm sürecini hızlandırmaktadır. Çözümlerde programın en küçük leke sönümlenme değeri ( $T_f$ ) 0.5 den 0.1 değerine düşürülmüştür. Nightfall çözümlerinde 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu ışık eğrileri (yani tüm ışık eğrileri) çözülmüştür. Sistemin 2006 yılında sıcaklığı [Tylenda ve diğ. \(2011\)](#) tarafından V-I renk ölçeği kullanılarak 4500 K olarak hesaplanmıştır. Parlama öncesi yıllara ait veri setlerinde parlaklık farkları göze çarpmaktadır. Bu nedenle farklı yıllara ait veri setleri farklı sıcaklıklar ile çözülmelidir. Örneğin, sistemin 2006 yılı ışık eğrisi referans alınarak, diğer yıllara ait ışık eğrilerine ilişkin etkin sıcaklıklar, Pogson formülü yardımıyla belirlenebilir. Bunun için sistemin iki farklı zamanına ait parlaklık farkı, akı oranına dönüştürülür.



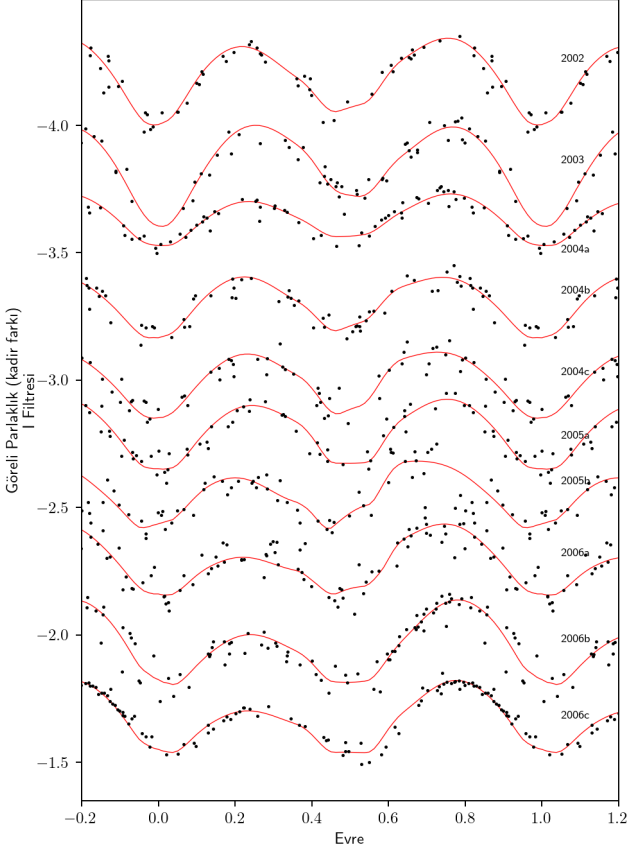
Şekil 3. V1309 Sco'nun 2, 3, 5 ve 6 numaralı ışık eğrisi ile kuramsal ışık eğrisi ve bu ışık eğrisi için yapılan q taraması.

Sistemin toplam akısı, bileşenlerin yarıçaplarına ve sıcaklıklarına bağlıdır. Bileşenlerin yarıçapları kesirsel olarak ifade edilir ve bileşenler arası uzaklık göz önünde bulundurulur. Bileşenler arası uzaklık, Kepler denklemi ile sistemin toplam kütesine ve yörünge dönemine bağlıdır. Birleşme öncesinde sistemin yörünge döneminin 7 yıl içinde sadece %1.2 azaldığı gözönünde bulundurulurak sistemin toplam kütesinin ve bileşenler arası uzaklığın önemli ölçüde değişmediği kabul edilebilir. Böylece farklı tarihlere ait sıcaklıkların hesabı için bileşenlerin farklı

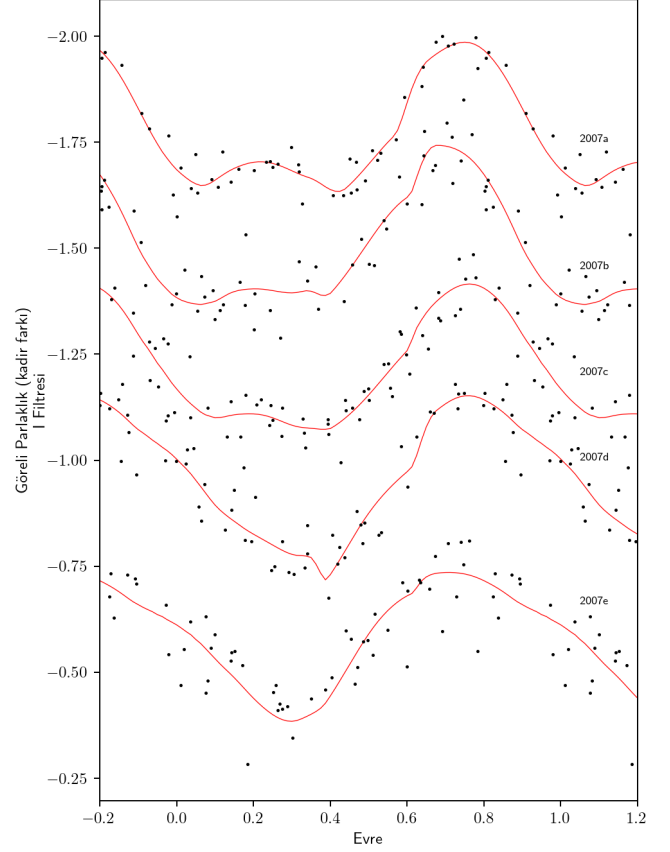
tarihleriyle ilgili kesirsel yarıçaplarına ilişkin tahminde bulunmak gerekir. Sistemin birleşmeye yakın olduğu yani her iki bileşenin de dış Roche şişimlerini doldurdıkları varsayılarak belli kütle oranı için bileşenlerin kesirsel yarıçapları tahmin edilebilir (Yakut ve Eggleton 2005). Örneğin:

$$q \approx 0.125 \Rightarrow r_{1,2006} \approx 0.6, \quad r_{2,2006} \approx 0.27$$

$$q \approx 0.1 \Rightarrow r_{1,2006} \approx 0.62, \quad r_{2,2006} \approx 0.25.$$



**Şekil 4.** V1309 Sco'nun 2002 ile 2006 yılları arasında I filtresi ile elde edilen ışık eğrilerinin Nightfall programı ile analizlerinden elde edilen kuramsal ışık eğrilerinin, gözlemler ile uyumu. Düşey ekseninde I filtresinde parlaklık farkı, yatay ekseninde evre yer almaktadır. Çözüm sonuçlarına göre sıfır evrede küçük kütleli bileşen öndedir.



**Şekil 5.** V1309 Sco'nun birleşme öncesi 2007 yılına ilişkin I filtresindeki ışık eğrilerinin Nightfall programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen kuramsal ışık eğrilerinin, gözlemler ile uyumu. Düşey ekseninde I filtresinde parlaklık farkı, yatay ekseninde evre yer almaktadır. Çözüm sonuçlarına göre sıfır evrede küçük kütleli bileşen öndedir.

Pogson formülü yardımıyla:

$$T_t = T_{2006} \sqrt[4]{\frac{(r_{1,2006} + r_{2,2006})^2}{(r_{1,t} + r_{2,t})^2 10^{\Delta m_1/2.5}}} \quad (2)$$

Bu denklemde  $\Delta m_1$  iki zaman arasındaki I bandındaki kadir cinsinden parlaklık farkıdır. Kesirsel yarıçapların toplamının, farklı zamanlarda yakın olduğu düşünülebilir. Böylece 2006 yılı için 4500 K sıcaklığı referans alınarak sistemin etkin sıcaklığı farklı tarihler için hesaplanabilir. Örneğin çözümlerde 2002 ve 2003 yılları için 3800 K ve 2007 yılı için 4820 K değerleri kullanılmıştır.

#### 4 Sonuçlar ve Yorumlar

Bu çalışmada iki farklı programla V1309 Sco'nun birleşme öncesi ışık eğrileri modellenmiştir. Nightfall çözümlerinde ışık eğrisinde değişimlerin hızlı olduğu 4 numaralı set 3 parçaya, 5 numaralı set 2 parçaya, 6 numaralı set 3 parçaya, 7 numaralı set ise 5 parçaya bölünmüştür. Şekil 4 ve 5'te elde edilen kuramsal eğrilerin gözlemsel veriler ile uyumu gösterilmektedir. Nightfall programının çözümleri Çizelge 2'de özetlenmiştir. Zamanla ışık eğrilerinin çift tepeli yapıdan tek tepeli duruma dönüşü izlenebilmektedir.

Çözümlerde göze çarpan noktalardan biri Nightfall çözümlerinde  $i$  açısı  $70^\circ$  civarında iken Phoebe çözümlerinde

$i$ 'nin  $40^\circ$  civarında olmasıdır. Phoebe çözümlerinde zamanla bileşenlerin sıcaklıkları arasındaki fark giderek açılmaktadır. Phoebe sistemin çevresindeki kütle akışlarını yörünge eğimini daha küçük bulmasından dolayı bileşenler arasında sıcaklık farklarıyla modellemektedir.

Veri setlerinin çözümünde 4 ve 7 numaralı verilerin analizi biraz daha zor olmuştur. Bu veriler sadece Nightfall ile çözülebilmştir. 2004'de ısıl değişim 2007'de ise dinamik değişim göze çarpmaktadır.

Lekelerin davranışları her iki çözümde 2002-2006 yılına kadar benzerdir. Büyük kütleli bileşenin diğer bileşene bakmayan taraflarında büyük soğuk lekeler vardır. Nightfall programının çözümlerinde 2007'den sonra küçük kütleli bileşene büyük sıcak lekeler eklenerek modellemeler yapılmaktadır. Nightfall ve Phoebe modellerinde 0 evresinde küçük kütleli bileşen önde büyük kütleli bileşen arkadadır. Bu evrede derin minimumun ve 0.25 evresinde düşük maksimumun etkisi Pejcha ve diğ. (2017) nin çalışmalarında L2'den kütle kaybına bağlanmıştır. Işık eğrisi çözümlerimizdeki leke davranışını L2'den kütle kaybı ve sistemin etrafında akışların yönlendirdiği belirgindir.

Phoebe ve Nightfall çözümlerinde kütle oranının davranışı oldukça farklıdır. Phoebe çözümlerinde kütle oranı daha çabuk azalmaktadır. Nightfall çözümlerinde 2002-2006 arasında kütle

**Çizelge 1.** V1309 Sco'nun ışık eğrilerinin Phoebe programıyla elde edilen analiz sonuçları.

Parametre	2002	2003	2005	2006
$T_0$ (HJD)	2455233.5000	2455233.5000	2455233.5000	2455233.5000
$P$ (gün)	1.4380214	1.4378635	1.4334310	1.4279810
$i$ ( $^\circ$ )	42.3 $\pm$ 1.9	39.1 $\pm$ 2.7	38.0 $\pm$ 2.2	37.8 $\pm$ 0.6
$T_1$ (K)	4500	4500	4500	4500
$T_2$ (K)	5497 $\pm$ 215	5846 $\pm$ 380	7232 $\pm$ 257	7395 $\pm$ 114
$\Omega_1=\Omega_2$	2.197 $\pm$ 0.063	1.869 $\pm$ 0.036	1.850 $\pm$ 0.043	1.788 $\pm$ 0.014
$q$	0.275 $\pm$ 0.037	0.114 $\pm$ 0.020	0.098 $\pm$ 0.012	0.072 $\pm$ 0.004
$L_1/(L_1 + L_2)$	0.510 $\pm$ 0.043	0.570 $\pm$ 0.064	0.278 $\pm$ 0.020	0.433 $\pm$ 0.017
$L_2/(L_1 + L_2)$	0.490	0.430	0.722	0.567
$r_1$ (pole)	0.529 $\pm$ 0.019	0.567 $\pm$ 0.013	0.568 $\pm$ 0.008	0.578 $\pm$ 0.005
$r_1$ (side)	0.597 $\pm$ 0.034	0.654 $\pm$ 0.025	0.655 $\pm$ 0.017	0.672 $\pm$ 0.010
$r_1$ (back)	0.649 $\pm$ 0.059	0.686 $\pm$ 0.037	0.684 $\pm$ 0.023	0.695 $\pm$ 0.012
$r_2$ (pole)	0.310 $\pm$ 0.060	0.246 $\pm$ 0.091	0.235 $\pm$ 0.057	0.209 $\pm$ 0.031
$r_2$ (side)	0.338 $\pm$ 0.089	0.267 $\pm$ 0.129	0.253 $\pm$ 0.079	0.224 $\pm$ 0.042
$r_2$ (back)	-0.597	-1.000	-1.000	-0.453

1. Yıldızın 1. Lekesi				
Boylam (radyan)	1.31	1.56	1.57	1.57
Enlem (radyan)	4.81	4.70	4.71	4.71
$r$ (radyan)	0.53	0.57	0.88	0.88
$T_f$	0.90	0.90	0.85	0.80

oranı 0.08 civarında iken 2007 den sonra hızla düşmektedir. Bu düşüş kütlelen ve kütle oranından ziyade sistemin ortak zarf evresine girdiğini gösterir. Çünkü sistemin döneminde düşüş bu düzeyde değildir. Bu aşamada büyük kütleli bileşen sistemdeki ışık davranışında çok baskın olmaktadır. Böylece ikili birleşme öncesi değme durumundan ortak zarf evresine geçmiş oluyor.

Şekil ??'den sistemin parlaklığının 2007'ye kadar devamlı arttığını görüyoruz. Bu artış, sistemin sıcaklığındaki bir artış ya da L2'den kaybedilen kütlelen çevredeki akıya katkısı olarak yorumlanabilir. Ayrıca sistemin etkin sıcaklığının da zamanla artıyor olması olasıdır. Çünkü küçük kütleli bileşenin, nükleer zaman ölçeğinde zarfının büyük kısmını, yoldaşına aktardığı varsayılırsa sıcak iç kısımları ortaya çıkabilir. Sistemin küçük kütle oranı ve diğer değen sistemlere kıyasla büyük yörünge dönemi uzun bir kütle aktarım sürecine işaret etmektedir.

### Teşekkür

Bu makale Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı doktora öğrencisi Mümin GÜNEŞ'in doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

### Kaynaklar

- Eggleton P. P., Kiseleva-Eggleton L., 2002: The Evolution of Cool Algols. *ApJ.* 461–473
- Mason E., Diaz M., Williams R. E., Preston G., Bensby T., 2010: The peculiar nova V1309 Scorpii/nova Scorpii 2008. A candidate twin of V838 Monocerotis. *A&A.* 516, id. A108, 10.
- Nakano S., Nishiyama K., Kabashima F., Sakurai Y., Jacques C., Pimentel E., Chekhovich D., Korotkiy S., Kryachko T., Samus N. N., 2008: V1309 Scorpii = Nova Scorpii 2008. *IAU Circ.* 8972
- Pejcha O., Metzger B. D., Tyles, J. G., Tomida K., 2017: Pre-explosion Spiral Mass Loss of a Binary Star Merger. *ApJ.* 850, 59
- Prša A., Zwitter T., 2005: A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives. *ApJ.* 628, 426-438.
- Stępień K., 2011: Evolution of the progenitor binary of V1309 Scorpii before merger. *A&A.* A18

- Tylanda R., Soker N., 2006: Eruptions of the V838 Mon type: stellar merger versus nuclear outburst models. *A&A.* 451,223-226
- Tylanda R., Hajduk M., Kamiński T., Udalski A., Soszyński I., Szymański M. K., Kubiak M., Pietrzyński G., Poleski R., Wyrzykowski Ł., Ulaczyk K., 2011: V1309 Scorpii: merger of a contact binary. *A&A.* 528–538
- Mason E., Diaz M., Williams R. E., Preston G., Bensby T., 2003: The Optical Gravitational Lensing Experiment. *Real Time Data Analysis Systems in the OGLE-III Survey.* *AcA.* 53, 291-305,
- Udalski A., Szymanski M. K., Soszynski I., Poleski R., 2008: The Optical Gravitational Lensing Experiment. *Final Reductions of the OGLE-III Data.* *AcA.* 58, 69-87
- Wichmann R., 2011: Nightfall: Animated Views of Eclipsing Binary Stars, *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1106.016
- Prša A., Zwitter T., 1971: Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *ApJ.* 166, 605-619.
- Yakut K., Eggleton P. P., 2005: Evolution of Close Binary Systems. *ApJ.* 629, 1055-1074.
- Zhu L., Zhao E., Zhou X., 2016: A low-mass-ratio and deep contact binary as the progenitor of the merger V1309 Sco. *MNRAS.* 16, 1-4.

### Access:

M23-0345: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)

Çizelge 2. V1309 Sco'nun 2002 ile 2007 arası I filtresinde Nightfall programı ile ışık eğrisi analiz sonuçları.

Parametre	2002	2003	2004a	2004b	2004c	2005a	2005b	2006a	2006b	2006c	2007a	2007b	2007c	2007d	2007e
$f$	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97	0.97	0.92	0.72	0.72	0.93	0.93
$q$	0.101	0.101	0.101	0.095	0.095	0.095	0.09	0.085	0.085	0.085	0.03	0.01	0.01	0.0076	0.005
$i$ (°)	73.21	70.99	74.51	72.04	71.34	74.81	76.13	71.96	74.15	73.93	70.08	71.6	71.72	72.74	71.16
$T_1$ (K)	3800	3800	4200	4200	4200	4350	4350	4500	4500	4500	4820	4820	4820	4820	4820
$T_2$ (K)	3803	3837	3938	4191	4500	4464	4577	4645	4198	4338	5211	5098	4752	5472	4740
1. Yıldızın 1. Lekesi															
Boylam (°)	109.18	23.48	247.07	100.52	90.39	71.88	98.31	273.71	200.06	225.71	123.86	24	51.60	93.21	101.94
Enlem (°)	19.49	33.27	89.39	31.51	42.74	-26.64	14.32	21.86	25.67	21.70	19.40	67.33	56.32	31.61	42.18
$r$ (°)	24.36	30.03	53.80	19.13	38.60	27.29	50.22	33.47	45.44	45.78	22.28	39.00	33.07	29.34	30.54
$T_f$	0.89	0.94	1.59	0.58	0.88	0.69	0.89	0.91	0.95	0.97	0.61	0.58	0.71	0.46	0.42
1. Yıldızın 2. Lekesi															
Boylam (°)	302.07	249.97	-	284.23	285.80	287.43	287.96	93.83	78.80	84.44	25.49	129.65	150.60	176.52	320.73
Enlem (°)	19.86	34.63	-	-25.42	-15.96	-45.14	-26.46	7.89	14.40	3.53	-48.71	15.48	18.61	8.86	12.20
$r$ (°)	47.64	13.62	-	25.46	28.06	25.89	34.70	39.65	44.63	44.59	44.84	22.15	40.68	16.39	11.38
$T_f$	0.98	0.76	-	0.54	0.60	0.63	0.47	0.87	0.93	0.93	0.44	0.62	0.92	0.68	0.62
2. Yıldızın 1. Lekesi															
Boylam (°)	-	-	-	-	-	32.47	230.48	200.37	-	7.74	118.49	211.15	286.48	107.58	237.14
Enlem (°)	-	-	-	-	-	32.79	15.40	-54.32	-	-21.66	24.68	35.66	4.08	23.62	34.03
$r$ (°)	-	-	-	-	-	25.01	42.13	44.61	-	13.77	42.99	38.78	39.76	38.89	30.47
$T_f$	-	-	-	-	-	1.31	1.04	1.60	-	1.81	0.74	1.55	1.66	1.57	1.26
2. Yıldızın 2. Lekesi															
Boylam (°)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210.85	238.61	232.68	140.96	231.91	275.66
Enlem (°)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39.37	25.77	-3.75	33.51	20.56	16.67
$r$ (°)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.54	38.98	43.45	39.48	40.39	36.68
$T_f$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12	1.28	1.63	0.73	1.60	1.68