

İki Örtlen Çift Yıldız Sahip Olası Dörtlü Yıldız Sistemlerin Fotometrik Çalışması

Evrım Kıran¹  , Ahmet Dervişoğlu¹ ,

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Erzurum, Turkey

Accepted: March 14, 2025. Revised: March 14, 2025. Received: December 9, 2024.

Özet

Çoklu yıldız sistemleri (ÇYS) oluşumları, fiziksel ve dinamik evrimlerinin anlaşılmasına çalışılması; kimi zaman içerdikleri sıkışık bileşenlere sahip olmaları açısından ilginç cisimlerdir. Kimi bilinen örtlen çift yıldızların TESS ışık eğrilerinde, başka bir çift yıldız ait tutulmalar görülmektedir. Bu tür iki örtlen çift yıldız sistemine ait tutulmalarının görüldüğü sistemler, ÇYS adaylarıdır. Son yıllarda, hassas gözlem verileri ile birlikte, iki örtlen çift sistem içeren ÇYS sayısı artmaktadır. Bu çalışmada, iki çift sisteme ait tutulmaların görüldüğü olası çoklu yıldız sistemlerin ışık eğrisi çözüm sonuçları sunulmuştur.

Abstract

Multiple star systems (MSS) are interesting objects in terms of trying to understand their formation and physical and dynamic evolution. In the light curves of some known eclipsing binary stars obtained from satellites, eclipses of another binary are seen. Systems in which eclipses of two such eclipsing binary star systems are observed are MSS candidates. In recent years, the number of MSS containing doubly eclipsing binary systems has been increasing, along with sensitive observation data. This study presents light curve solutions of a possible MSS with doubly eclipsing binary systems.

Anahtar Kelimeler: Multiple Stellar Systems, Binary Stars, Photometry

1 Giriş

Çift yıldızlar gibi kütle çekim sayesinde birbirine bağlı ve birçoğu kararlı yapıda olan çoklu yıldız sistemleri (ÇYS) yıldız oluşumu ve evrimi üzerine yapılan kuramsal çalışmalara katkı sağlayan değerli astrofiziksel cisimlerdir. ÇYS'nin bir yıldız grubuna (yıldız oluşum bölgeleri, açık yıldız kümeleri, küresel kümeler gibi) ait olması, bulunduğu yıldız grubundaki bazı cisimlerin oluşum ve evriminin açıklanabilmesi (örn. Mavi aykırı yıldızlar: Hills & Day 1976; Davies ve diğ. 1994) veya çift karadeliklerin birleşmeleri üzerine yapılan nümerik çalışmaların (Blaes ve diğ. 2002; Antonini ve diğ. 2017) test edilmesi bu sistemleri önemli kılmaktadır.

Doğada birçok çift ya da ÇYS'nin mevcut olduğu düşünülmektedir. Son yıllarda, atmosfer dışı uydulardan alınan hassas uydu verileri sayesinde üçlü, dörtlü, beşli, altılı gibi çok sayıda yıldızdan oluşan ÇYS keşfedilmektedir. Yine bu hassas uydu verilerinde bazı örtlen çift yıldız sistemlerinin ışık eğrilerinde başka bir örtlen çifte ait tutulmaların varlığı görülmektedir. Bu tür sistemler olası ÇYS adaylarıdır. Bu çalışmada, iki örtlen çift yıldız sahip olası bir dörtlü sistem olan TIC344541836 (HIP 104605, WDS J21114+5737AB, Gaia DR3 2189576290314119936) yıldızının fotometrik çalışmasına yer verilmiştir.

TIC344541836 yörünge dönemi Kostov ve diğ. (2022) tarafından $P_1=2^d409932$ ve $P_2=2^d755276$ olarak verilmiş bir dörtlü sistemdir. Sistem Fabricius ve diğ. (2002) tarafından oluşturulan Tycho Çift Yıldız Kataloğu (Tycho Double Star Catalogue: TDSC)'nda bir görsel çift sistem olarak listelenmiştir. Mason ve diğ. (2001) tarafından yayınlanan

Washington Visual Double Star (WDS) kataloğunda görsel çift sistem olarak listelenmiştir. Katalogda çifte ait bileşenlerin parlaklıkları TIC344541836-A için 8^m19 ve TIC344541836-B için 9^m73 ve bileşenler arasındaki ayrıklık 0.2 olarak yer almaktadır.

TIC344541836 sisteminin bu çalışmada kullanılan gözlem verilerine ilişkin genel bilgiler §2'de, yapılan analiz ve elde edilen sonuçlar §3'de sunulmuştur.

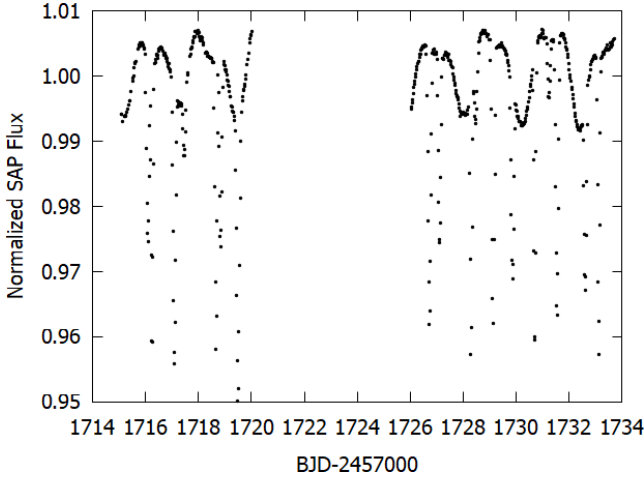
2 Gözlemler

TIC344541836 sisteminin TESS (Ricker ve diğ. 2015) tarafından elde edilmiş "MIT QuickLook Pipeline" (QLP) (Huang ve diğ. 2020) verileri, ışık eğrisi analizlerinde kullanılmıştır.

TESS fotometrik gözlemlerinin yanı sıra, TIC344541836 sistemin Nisan-Ağustos 2024 gözlem sezonunda Türkiye Ulusal Gözlemevleri Bakırtepe yerleşkesinde yer alan 1.5-m çaplı Türk Rus Teleskobunda (RTT150) tayf gözlemleri yapılmıştır. Tayf gözlemlerinde, Andor CCD camera (Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ) ve TFOSC tayfçekeri kullanılmıştır. Elde edilen tayflarda seçilen grizim aralığı için dalgaboyu aralığı 3350-9400 Å olup, çözünürlük yaklaşık 5500 civarındadır.

Tayflar için verilen ortalama poz süreleri yaklaşık 90 dk olup sinyal/gürültü oranı 50 ie 150 arasında değişmektedir. Her gözlem gecesinde bias, dark görüntüleri elde edilmiş, dalga boyu kalibrasyonunda kullanılmak üzere FeAr lamba tayfı alınmıştır. Gözlem sezonu içinde sistemin 9 adet tayfı alınmıştır. Tayfların ön indirilmesi, basamakların (orderların) belirlenmesi, saçılmış ışık düzeltilmesi, dalgaboyu kalibrasyonları ve dikine hızların ölçümü için IRAF (Tody 1986) programı kullanılmıştır.

* evrim.kiran@atauni.edu.trr



Şekil 1. TIC344541836 sisteminin TESS ışık eğrisi.

3 Analiz ve Sonuçlar

İkili tutulma sergileyen ÇYS'nin ışık eğrileri, örten çift sistemler için literatürde kullanılan ışık eğrisi analizi programlarıyla çözülebilmektedir. ÇYS'nin ışık eğrileri çözüm yöntemlerinden biri ışık eğrilerini ayrı ayrı çözmektir.

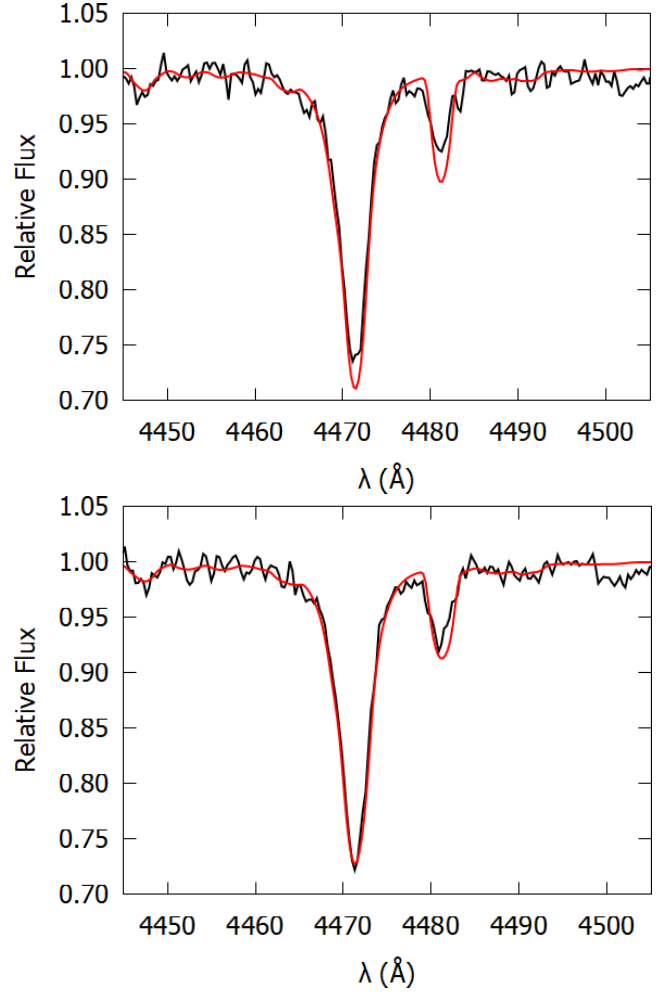
TIC344541836 sisteminin Şekil 1'deki TESS ışık eğrisine yakından baktığımız zaman, tutulmaların haricinde iki önemli değişim göze çarpmaktadır: ve tutulmalar dışında kendini belli eden dönemsel ışık kayıpları ve maksimum seviyesindeki zonklamalar.

Işık eğrisi çözümünde ilk yapılan işlem zonklama benzeri değişimlerin arındırılmasıdır. Işık eğrilerine uygulanan zonklama arındırma işlemi için TIC344541836 sisteminin $P=2^d40992$ dönemli (Bu dönem TIC344541836-B sisteminin yörünge dönemidir) baş ve yan minimumlarıyla birlikte, $P=2^d75009$ dönemli (Bu dönem TIC344541836 sisteminin diğer örten çift bileşeninin (TIC344541836-C) yörünge dönemidir ve TESS ışık eğrisindeki minimumların O-C analizi ile belirlenmiştir.) baş ve yan minimumları ışık eğrisinden atılmıştır. Bu ışık kayıpları çıkarıldıktan sonra, eğrinin maksimum seviyeleri analiz edilmiştir. Minimumlardan arındırılan maksimum seviyeleri, belli aralıklara bölünerek PERIOD04 (Lenz & Breger 2005) programında ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analiz sırasında farklı frekans ve genlik değerlerinde fitler uygulanmıştır. Elde edilen fitlerin toplamı ile, ilgili aralıkta kullanılan verileri temsil eden dalga fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu sinüzoidal dalga fonksiyonu, gözlemsel veriden çıkarılarak sıfır civarında bir dağılım elde edilmiştir. Sinüs fonksiyonu ilgili aralıkta bulunan minimumlardan da çıkarılarak zonklamadan arındırılmış ışık eğrisine ulaşılmıştır. Daha sonra TIC344541836-B ve C sistemleri için ayrı ayrı ışık eğrileri çözümü yapılmıştır.

Bileşenlerin atmosferlerini modellemek için SPECTRUM (Gray & Corbally 1994) programı kullanılmıştır. TIC344541836-B bileşenleri için aşağıdaki değerler alınarak bileşenlerin sentetik tayfları elde edilmiştir:

	TIC344541836-Ba	TIC344541836-Bb
T (K)	18000	17500
$\log g$ (cgs)	4.0	4.0
V_{rot} (km s ⁻¹)	120	100

Bileşenlerin metal bolluğu değerleri $Z=0.014$ Asplund ve diğ.



Şekil 2. TIC344541836-B sisteminin baş (üst panel) ve yan (alt panel) minimum evrelerinde alınmış tayflarının atmosfer modeli.

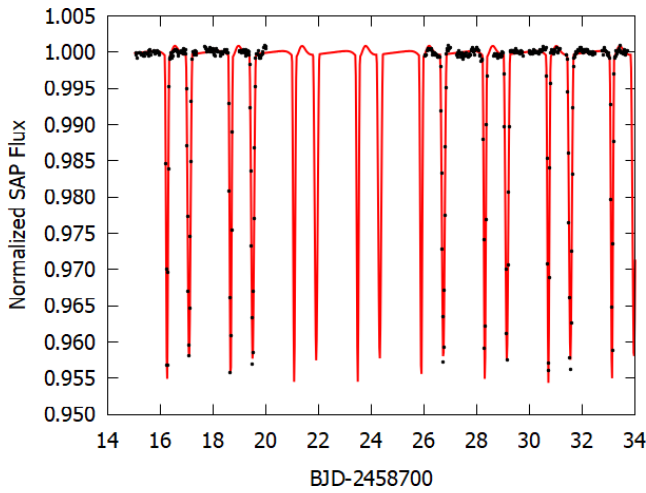
(2009) kabul edilmiştir. TIC344541836 sistemini oluşturan bileşenlerin toplam ışığa katkı oranları ışık eğrisi çözümlerinden belirlenmiştir. Gözlenen tayfta bileşenlerin hızları ve ışık katkı oranları dikkate alınarak, sentetik tayflar birleştirilmiştir. Şekil 2'de sisteminin baş (üst panel) ve yan (alt panel) minimum evrelerinde alınmış, Mg II (4481 Å) ve He I (4471 Å) dalgaboylarını kapsayan orderda; gözlenen tayfı ile atmosfer modellerini temsil eden sentetik tayfların uyumu görülmektedir.

Her iki örten çift sistemin ışık eğrisi analizinde Wilson-Devinney (WD) (Wilson & Devinney 1971) tabanlı phoebe (Prša & Zwitter 2005) programı kullanılmıştır.

TESS verilerinden, ikinci sistemin toplam ışığa katkısının ~ 0.04 seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. TIC344541836 sistemi için WDS kataloğundaki parlaklıklar dikkate alındığında sistemi oluşturan A bileşeninin toplam ışığa katkısı 0.80 civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda TIC344541836-B sisteminin ışık eğrisi çözümünde 0.84 civarında üçüncü bir ışık katkısı göz önüne alınmalıdır. TIC344541836-B ve TIC344541836-C sistemlerinin ışık eğrisi çözümleri bu varsayımlar altında yapılmıştır. Atmosfer modelleri yardımıyla bileşenlerin sıcaklıklarının belirlenmiş olması TIC344541836-B ışık eğrisi çözümünde, kütle oranı q ve yarıbüyük eksen uzunluğu a 'nın tahmin etmemize olanak sağlamıştır. $T_{\text{Ba}}=18000$ ve

Çizelge 1. TIC344541836-B sisteminin ışık eğrisi çözüm sonuçları.

Parametre	Değer
T_0 (gün)	2458713.6799 ± 0.0006
P (gün)	2.4099294 (fixed)
i ($^\circ$)	87.4 ± 0.1
a ($R_\odot$)	16 (fixed)
q	0.95 (fixed)
e	0.293 ± 0.001
ω ($^\circ$)	2.528 ± 0.003
$T_{\text{eff}(1,2)}$ (K)	18000 (fixed) 17969 ± 80
$\Omega_{(1,2)}$	$7.75 \pm 0.02, 9.56 \pm 0.03$
l_{Ba}	0.078
l_{Bb}	0.044
l_{AC}	0.879 ± 0.001
$r_{(1,2)}$	$0.1569 \pm 0.0004, 0.1176 \pm 0.0005$



Şekil 3. TIC344541836-B sisteminin TESS ışık eğrisi.

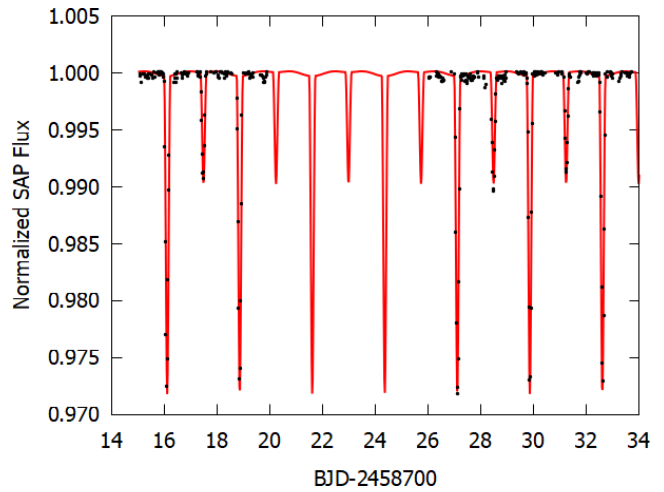
$T_{\text{Bb}}=17500$ K sıcaklıkları için Eker ve diğ. (2020)'nin verdiği anakol yıldızları için Kütle-Etkin Sıcaklık tablosu kullanılarak, bileşenlerin kütle oranı $q=0.95$ ve yarı büyük eksen uzunluğu $a=16 R_\odot$ bulunmuştur. TIC 344541836-C sisteminin ışık eğrisi analizi yapılırken, sistemin anakol bileşenlere sahip ayırık bir çift sistem olduğu varsayılmıştır. Kjurkchieva ve diğ. (2017) ve Eker ve diğ. (2020)'nin sunduğu ilişkiler kullanılarak sistemin kütle oranı $q=0.64$ olarak tahmin edilmiştir. Her iki sistemin bileşenleri için sırasıyla, çekimsel kararım katsayıları $g_{\text{Bab}}=1.0$ ve $g_{\text{Cab}}=1.0$; albedolar $\beta_{\text{Bab}}=1.0$ ve $\beta_{\text{Cab}}=1.0$ olarak alınmıştır. Bileşenlerin kenar kararım katsayılarının $x_{1,2}$, $y_{1,2}$ ve $x_{\text{bol}(1,2)}$ hesaplanmasında van Hamme (1993) tabloları kullanılmıştır.

Işık eğrisi çözümünden elde edilen fotometrik parametreler Çizelge 1 ve 2'de sunulmaktadır. Çözümlerin gözlemsel veriler ile uyumu Şekil 3 ve 4'de gösterilmektedir. Şekillerde sürekli çizgiler çözümlerin verdiği modelleri siyah daireler gözlem verilerini temsil etmektedir.

Gelecekte yapılması planlanan çalışma, bu sistemin çok renk fotometrik ışık eğrilerinin çözümleri elde edilerek sistemlerin fiziksel parametreleri, uzaklıkları ve evrim durumlarının incelenmesidir. Ayrıca buna benzer seçilmiş sistemlerin WD gibi ışık eğrisi analizi programına uyarlanan "Markov Chain Monte Carlo" (MCMC) yöntemi ile ışık eğrisinin, bileşen çiftlerin ışık katkıları göz önünde

Çizelge 2. TIC344541836-C sisteminin ışık eğrisi çözüm sonuçları.

Parametre	Değer
T_0 (gün)	2458718.8533 ± 0.0006
P (gün)	2.75009 (fixed)
i ($^\circ$)	86.4 ± 0.5
q	0.64 (fixed)
e	0.0 (fixed)
ω ($^\circ$)	1.5717 (fixed)
ΔT (T_1/T_2) (K)	1.51 ± 0.02
$\Omega_{(1,2)}$	$9.4 \pm 0.2, 5.3 \pm 0.1$
l_{Ca}	0.044
l_{Cb}	0.012
l_{AB}	0.950 ± 0.001
$r_{(1,2)}$	$0.146 \pm 0.004, 0.127 \pm 0.004$



Şekil 4. TIC344541836-C sisteminin TESS ışık eğrisi.

bulundurulmak üzere, çözümleri yapılarak parametre uzayı içinde en hassas çözüm sonuçlarına ulaşılması olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada elde edilen tayf verileri, 24ARTT150-2121 numaralı proje kapsamında alınmıştır. Araştırmacılar, Türkiye Ulusal Gözlemevlerine teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- Antonini F., Toonen S., Hamers A. S., 2017, *ApJ*, 841, 77
 Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P., 2009, *ARA&A*, 47, 481
 Blaes O., Lee M. H., Socrates A., 2002, *ApJ*, 578, 775
 Davies M. B., Benz W., Hills J. G., 1994, *ApJ*, 424, 870
 Eker Z., ve diğ., 2020, *MNRAS*, 496, 3887
 Fabricius C., Høg E., Makarov V. V., Mason B. D., Wycoff G. L., Urban S. E., 2002, *A&A*, 384, 180
 Gray R. O., Corbally C. J., 1994, *AJ*, 107, 742
 Hills J. G., Day C. A., 1976, *Astrophys. Lett.*, 17, 87, *ADS*
 Huang C. X., ve diğ., 2020, *Research Notes of the American Astronomical Society*, 4, 204
 Kjurkchieva D., Vasileva D., Atanasova T., 2017, *AJ*, 154, 105
 Kostov V. B., ve diğ., 2022, *ApJS*, 259, 66
 Lenz P., Breger M., 2005, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53

- Mason B. D., Wycoff G. L., Hartkopf W. I., Douglass G. G., Worley C. E., 2001, [AJ](#), 122, 3466
- Prša A., Zwitter T., 2005, *ApJ*, 628, 426, [ADS](#)
- Ricker G. R., ve diğ., 2015, [Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems](#), 1, 014003
- Tody D., 1986, in Crawford D. L., ed., *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 627, Instrumentation in astronomy VI*. p. 733, [doi:10.1117/12.968154](#)
- Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, *ApJ*, 166, 605, [ADS](#)
- van Hamme W., 1993, *AJ*, 106, 2096, [ADS](#)

Access:

M25-0364: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.