

V359 Cas'ın Yörünge Dönemi Değişimi

Fatma Betül Karıcı¹  , Mesut Yılmaz^{1,2} , Hakan Volkan Şenavcı^{1,2} ,
İbrahim Özavcı^{1,2} 

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100 Ankara, Türkiye

² Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi, İncek Bulvarı, 06837 Ankara, Türkiye

Accepted: May 26, 2025. Revised: May 26, 2025. Received: November 29, 2024.

Özet

Bu çalışmada, Beta Lyrae türü örten çift yıldız sistemi V359 Cas'ın yörünge dönemi, güncel veriler kullanılarak analiz edildi. Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde T35 teleskobu ile yapılan gözlemlerden elde edilen minimum zamanlar, literatürdeki minimum zamanları ve TESS ışık eğrisinden hesaplanan minimum zamanlarla birleştirilerek O-C diyagramı oluşturuldu ve sistemin dönem değişimi incelendi. Diyagramda gözlemlenen yukarı yönlü parabolik değişim, düşük kütleli bileşenden yüksek kütleli bileşene gerçekleşen madde aktarımını, yörünge döneminde bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca, diyagramda tespit edilen çevrimsel yapı (sinüsoidal değişim), üçüncü bir cismin etkisiyle meydana gelen ışık-zaman etkisi mekanizması ile açıklandı. Bu bulgular doğrultusunda sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü cismin kütlesi yaklaşık $1.7 M_{\odot}$ olarak elde edildi. Bunlara ek olarak, literatürde sistemin mutlak parametreleri olmadığı için q-i taraması ve ışık eğrisi analizi de yapılarak bileşenlerin kütleleri belirlendi. Buna göre birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla $2.9 M_{\odot}$ ve $1.6 M_{\odot}$ olarak bulundu.

Abstract

In this study, the orbital period of the Beta Lyrae-type eclipsing binary system V359 Cas was analyzed using updated data. Minima times obtained from observations conducted with the T35 telescope at Ankara University Kreiken Observatory were combined with those from the literature minima times and calculated from TESS light curves to construct and analyze the O-C diagram. The upward parabolic trend observed in the diagram indicates that mass transfer from the less massive component to the more massive one is causing an increase in the orbital period. Furthermore, the cyclic structure (sinusoidal variation) identified in the diagram was explained through the light-time effect mechanism induced by a third body. Based on these findings, the mass of the third component derived as $1.7 M_{\odot}$. In addition, since the system's absolute parameters are not available in the literature, a q-i search and light curve analysis were performed to determine the masses of the components. As a result, the masses of the primary and secondary components were found to be $2.9 M_{\odot}$ and $1.6 M_{\odot}$, respectively.

Anahtar Kelimeler: binaries: eclipsing – methods: data analysis – techniques: photometric – stars: individual: V359 Cas

1 Giriş

V359 Cas (GSC 04008-01283; $V_{\max}=12^m47$), β Lyrae türü (EB) olarak sınıflandırılmış bir örten çift yıldız sistemidir (Hoffmeister 1949). Literatürde yayınlanan katalogta (Malkov ve diğ. 2006) V359 Cas'ın dönemi 1.3039 gün ve tayf türü A0 olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, daha önce çok az çalışması bulunan sistemin yörünge dönem değişimi incelendi ve dönem değişimine ait parametreler elde edildi. Ayrıca Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T35 teleskobu ile yeni minimum zamanları gözlemlendi ve analize eklendi. Bununla birlikte, mutlak parametreleri bilinmeyen sistem için TESS verilerinden (Ricker ve diğ. 2015) ışık eğrisi analizi yapılarak bileşenlerin fiziksel parametreleri hesaplandı. Işık ve dönem analizi sonucunda, sisteme fiziksel olarak bağlı olan üçüncü cisme ait parametreler belirlendi.

2 Gözlemler ve Verilerin Hazırlanması

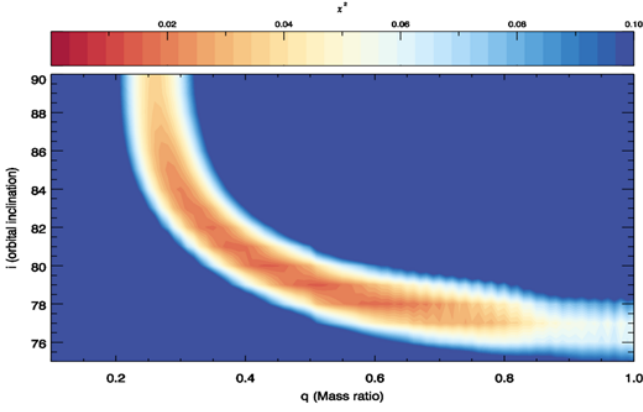
V359 Cas'ın fotometrik gözlemleri, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 35 cm çaplı teleskop ve ona bağlı

Apogee ALTA U47+ CCD kamera kullanılarak V , R , I filtrelerinde 11 Ekim ile 9 Kasım 2023 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Gözlemler sonucunda 2 birinci minimum, 3 ikinci minimum olmak üzere toplam 5 yeni minimum zamanı elde edildi.

Sistemin literatürde mutlak parametreleri olmadığı için, ilk olarak MAST veri tabanından TESS ışık eğrisi alındı ve sistemin fiziksel ve geometrik parametreleri hesaplandı. Bu aşamada, sistemin kütle oranı (q) değeri bilinmediği için, kütle oranı $q=0.1$ başlayarak 0.05 adımla $q=1.0$ arasında ve yörünge eğikliği $i=75^\circ$ ile $i=90^\circ$ arasında 1° artımla ışık eğrisi analizleri yapılarak $q-i$ uzayına karşılık gelen χ^2 değerleri elde edildi (bkz. Şekil 1). Işık eğrisi analizleri Wilson-Devinney (Wilson & Devinney 1971) kodunu temel alan PyWD2015 (Güzel & Özdarcan 2020) programıyla gerçekleştirildi.

Yapılan tarama sonucunda en uyumlu kütle oranı (taramada elde edilen en küçük χ^2 değeri) $q=0.52$ ve yörünge eğikliği $i=79^\circ$ olduğu belirlendi. Elde edilen bu değerler başlangıç parametre değerleri olarak kabul edilerek ve ikinci bileşenin sıcaklığı (T_2), yörünge eğikliği i , kütle oranı q , yüzey potansiyelleri (Ω_1 , Ω_2) ve birinci bileşenin ışıınım şiddeti (L_1) serbest parametre olarak seçilerek nihai çözüm

* betulkrc90@gmail.com



Şekil 1. V359 Cas'ın q-i taraması. En küçük χ^2 karşılık gelen yer $i=79$ ve $q=0.52$ ortaya çıkmakta. Üsteki panel χ^2 değişimini, koyu kırmızı alanlar χ^2 en küçük olduğu yerleri göstermektedir.

gerçekleştirildi. Çözümde birinci bileşenin sıcaklığı tayf türüne ve çekim ile yansıma katsayıları da sistemin doğasına uygun olan (ışımatal bir atmosfere sahip olduğu yaklaşımı) değerler girildi. Gözlemsel ışık eğrisine uyarlanan en iyi model fit Şekil 2'de verildi. Sistemin tayfsal gözlemi bulunmadığından ve literatürde dikine hız verileri yer almadığından, ikili sistemin mutlak parametreleri ampirik yöntemlerle belirlendi. **Poro ve diğ. (2024)** tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, ikili sistemlerin mutlak parametrelerinin tahmini için yörünge periyodu ile yarı-büyük eksen arasındaki ilişkiyi tanımlayan bağıntılar sunulmuştur. Bu çalışmada da, söz konusu bağıntılarda yer alan denklemler kullanılarak mutlak parametreler benzer biçimde hesaplandı. Çalışmada hesaplanan parametrelerden yalnızca kütle değerlerine yer verildi ve bu yarı ayırık sistemin bileşenlerinin kütleleri sırasıyla $M_1=2.9M_\odot$ ve $M_2=1.6M_\odot$ olarak sunuldu.

3 Yörünge Dönemi Analizi

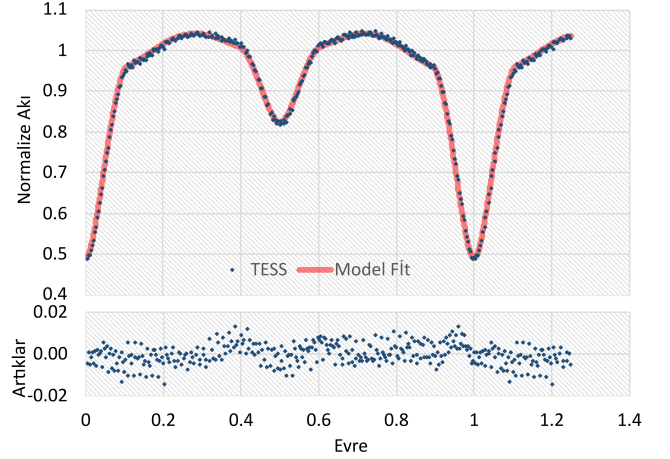
V359 Cas'ın yörünge dönemi değişimini incelemek için sistemin O-C (gözlenen ve hesaplanan minimum zamanı arasındaki fark) grafiği oluşturuldu. Analizde, literatürden toplanan minimum zamanlara (**Paschke & Brát 2006; Özkardes 2019**) ek olarak, Kwee-Van Woerden yöntemiyle (**Kwee & van Woerden 1956**) TESS ışık eğrilerinden hesaplanan 75 minimum zaman ve bu çalışmada elde edilen 5 yeni minimum zamanla birlikte toplam 137 minimum zaman bir araya getirildi.

O-C diyagramı oluşturulurken **Kreiner (2004)**'den lineer ışık elemanları temel alındı. Analizde, farklı yöntemlerle elde edilmiş minimum zamanlar ağırlıklandırıldı. Buna göre görsel yöntemlerle edlde edilmiş minimum zamanlara 1, fotoğrafik yöntemlerle elde edilmiş olanlara ise 3, CCD'ler ile elde edilmiş minimum zamanlara da 10 ağırlık değeri verildi. Işık elemanlarında P ve T için lineer düzeltme yapıldı. Aşağıdaki düzeltilmiş ışık elemanları kullanıldı.

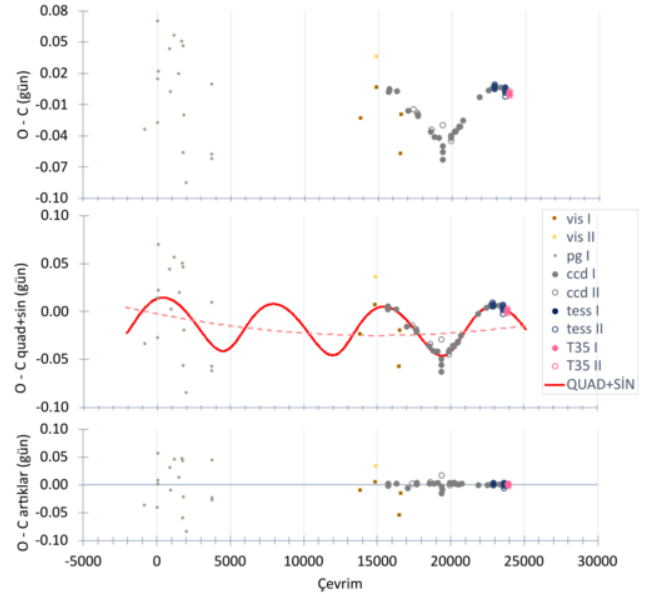
$$\text{MinI}(\text{HJD}) = 2429079.4791 + 1^d3038858 \times E \quad (1)$$

Daha sonrasında ise O-C diyagramının karakteristiğine uygun olarak, kütle aktarımı (parabol fiti) ve ışık-zaman etkisi (sinüs fiti) yaklaşımları uygulandı.

Dönem analizi Python kodlama dilinde yazılmış OCFit (**Gajdoš & Štefan Parimucha 2019**) programı kullanıldı. Bu program, O-C verilerine Monte-Carlo yöntemiyle tanımlanan



Şekil 2. V359 Cas'ın evrendirilmiş TESS ışık eğrisi (mavi noktalar) ve elde edilen en iyi model fit (kırmızı)



Şekil 3. V359 Cas'ın O-C değişimi: Tüm minimum zamanlar (üst panel), sistemin O-C değişimine uyan en iyi teorik model fiti (orta panel), fitten kalan artıklar (alt panel)

modeli kullanarak en iyi modellemeyi gerçekleştirmektedir. Bu analiz, LiTE3Quad (üçüncü ışık + kütle transferi) modeli ve çift sisteminin mutlak parametreleri de ışık eğrisinden elde edilen değerler girilerek gerçekleştirildi. O-C diyagramı, uygulanan fit ve artıkları Şekil 3'te gösterilmektedir. Uygulanan fitin artıkları, gözlemsel hata sınırlarının içerisinde kaldığı ve artıklarda başka bir dönemli değişim tespit edilmediği için analiz bu aşamada tamamlandı. Analiz sonucunda Çizelge 1'de görülebileceği üzere kütle aktarımına ve sisteme fiziksel olarak bağlı olan üçüncü cisme ait güncel parametreler elde edildi.

4 Sonuçlar

V359 Cas'ın dönem analizine göre, yörünge döneminde görülen değişimin, bileşenler arasındaki kütle transferinden ve sisteme bağlı üçüncü bir cismin varlığından kaynaklandığı görüldü.

Çizelge 1. V359 Cas'ın O-C analizinden elde edilen parametreler.

Parametre	Birim	Değer	Hata
P	(gün)	1.304	6.58×10^{-7}
P_3	(yıl)	26.7962	0.4874
Q	(gün)	3.33×10^{-11}	2.28×10^{-11}
$a \sin i_3$	(AB)	4.489	0.199
e		0.196	0.106
t_0	(HJD)	29079.48	0.005
t_3	(HJD)	25522.22	1197.78
w_3	(°)	292.29	42.07
M_3	($M_\odot$)	1.73	0.1
dM	($M_\odot \text{ yıl}^{-1}$)	1.56×10^{-8}	1.20×10^{-8}
$f(M_3)$	$M_\odot$	0.126	0.02

Üçüncü cismin, ikili sistemin etrafında yaklaşık 26.8 yıllık bir yörünge hareketi yaptığı ve ikili sistem ile aynı düzlem üzerinde hareket ettiği varsayımıyla kütlesi yaklaşık $1.7 M_\odot$ olduğu hesaplandı. Ayrıca, üçüncü cismin dış merkezliğe sahip olduğu ve yörünge basıklığının $e=0.196$ olduğu anlaşıldı.

Işık eğrisi analizi sistemin yarı ayırık bir sistem, birleşenlerden birinin Roche lobunu doldurduğu gösterdi. Bu sonuç O-C analiz ile de uyumlu olarak bileşenler arasında kütle transferi olduğunu desteklemektedir. Yukarı yönlü parabol, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli olana madde aktarıldığını ve dolayısıyla yörünge döneminin arttığını göstermektedir. Yörünge dönemindeki artış hızı 1.86×10^{-8} gün yıl^{-1} ve kütle transfer oranı $1.56 \times 10^{-8} M_\odot \text{ yıl}^{-1}$ olarak hesaplandı. Bu yıldızla ilişkin daha önce herhangi bir kütle transferi bilgisi literatürde yer almamış olup, bu çalışma kapsamında ilk kez belirlendi. Hesaplanan kütle transferi parametresi (Q) için elde edilen hata değeri, neredeyse parametrenin kendisiyle aynı büyüklükte çıkmıştı görüldü. Bunun temel sebebi görsel gözlemlerle elde edilmiş minimumlar (vis) oldukça saçılmış olmasıdır. Dolayısıyla bu durum belirsizliği artırmış ve hatanın beklenenden yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

Teşekkür

Bu araştırmadaki veriler, Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (Kreiken Rasathanesi) yer alan T35 teleskobuyla, 23C.T35.04 numaralı proje kapsamında elde edilmiştir. Minimum zaman hesapları için Dr. Engin Bahar'ın Python programlama dilinde yazılmış MinLight programı kullanılmıştır. Bu çalışma için O-C gateway, Gaia, SIMBAD, BRNO ve MAST veri portalları kaynak olarak kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Gajdoš P., Štefan Parimucha 2019, OCFit: Python Package for Fitting of O-C Diagrams, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1901.002, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019ascl.soft01002G>
- Güzel O., Özdarcan O., 2020, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 50, 535
- Hoffmeister C., 1949, *Astronomische Abhandlungen, Ergänzungshefte zur Astronomischen Nachrichten*, 12, A3
- Kreiner J. M., 2004, *Acta Astron.*, 54, 207, [ADS](#)
- Kwee K. K., van Woerden H., 1956, *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 12, 327, [ADS](#)
- Malkov O. Y., Oblak E., Snegireva E. A., Torra J., 2006, *A&A*, 446, 785

- Özkardeş B., 2019, in *Proceedings of the Turkish Physical Society 35th International Physics Congress*. Muğla, Turkey, pp 145–151
- Paschke A., Brát L., 2006, O-C Gateway, <http://var2.astro.cz/ocgate/>
- Poro A., ve diğ., 2024, *New Astron.*, 110, 102227
- Ricker G. R., ve diğ., 2015, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003
- Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, *ApJ*, 166, 605

Access:

M25-0321: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.