

GP Cep Örtlen Çift Wolf-Rayet Sistemi

İbrahim Aköz^{1,2}  , Kadri Yakut¹ 

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 İzmir, Türkiye

² Türkiye Ulusal Gözlemevleri, Antalya Yerleşkesi, Antalya, Türkiye

Accepted: April 14, 2025. Revised: April 14, 2025. Received: December 8, 2024.

Özet

Bu çalışmada, örtlen çift Wolf-Rayet GP Cep (WR153, HD 211853) sisteminin uzun dönemli (2015-2020) fotometrik gözlemsel çalışması yapılmıştır. Sisteminin uzun dönemli ışık değişimi incelenmiş, dikine hız eğrileri ile ışık eğrileri bir arada modellenmiştir. Wolf-Rayet çift sistemlerinin yapısı gereği ışık eğrilerinde ortaya çıkan saçılmalara karşı tutulmalar belirgin bir şekilde elde edilmiştir. Analizler sonucunda yörünge eğim açısı (i) 59.9° , kütle oranı (q) 0.212 ve sistemin yörünge dönemi (P) 6.6888 gün olarak elde edilmiştir.

Abstract

In this study, a long-term (2015-2020) photometric observational study of the eclipsing binary Wolf-Rayet system GP Cep (WR153, HD 211853) has been analysed. The long-term light variation of the system has been studied and the radial velocity and light curves have been modelled simultaneously. Despite the scatter in the light curves due to the nature of Wolf-Rayet binaries, eclipses were clearly obtained. As a result of the analyses, the orbital inclination angle (i) is 59.9° , the mass ratio (q) is 0.212 and the orbital period (P) is 6.6888 days.

Anahtar Kelimeler: Wolf-Rayet – Massive Binary Stars – Stellar Evolution – GP Cep – WR 153

1 Giriş

Büyük kütleli yıldızlar yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip görelî olarak hızlı evrimleşen ve evrimin sonunda yüksek enerjî patlamalar gerçekleştirerek geriye nötron yıldızı veya karadelik gibi yapılar bırakan gök cisimleridir. Böylesi yıldızlar büyük oranlardaki yıldız rüzgarları ile önemli miktarda kütle kaybı ile evrimleşirler (Woosley & Bloom 2006; Langer 2012). Wolf-Rayet (WR) yıldızları büyük kütleli yıldızların evrimleri ile oluşan ve süpernova patlasından önceki evrede bulunan yıldızlardır. WR türü yıldızların yapısının iyi anlaşılması nötron ve karadelik bileşenli çift sistemlerin yapılarının daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Her iki bileşeni de büyük kütleli yıldız olan çift sistemler oluşum sırasında sahip oldukları fiziksel özelliklere göre farklı evrim yollarını takip ederler (Eldridge ve diğ. 2011; Sana ve diğ. 2012; Yaşarsoy & Yakut 2013, 2014; Eggleton & Yakut 2017; Aköz 2024).

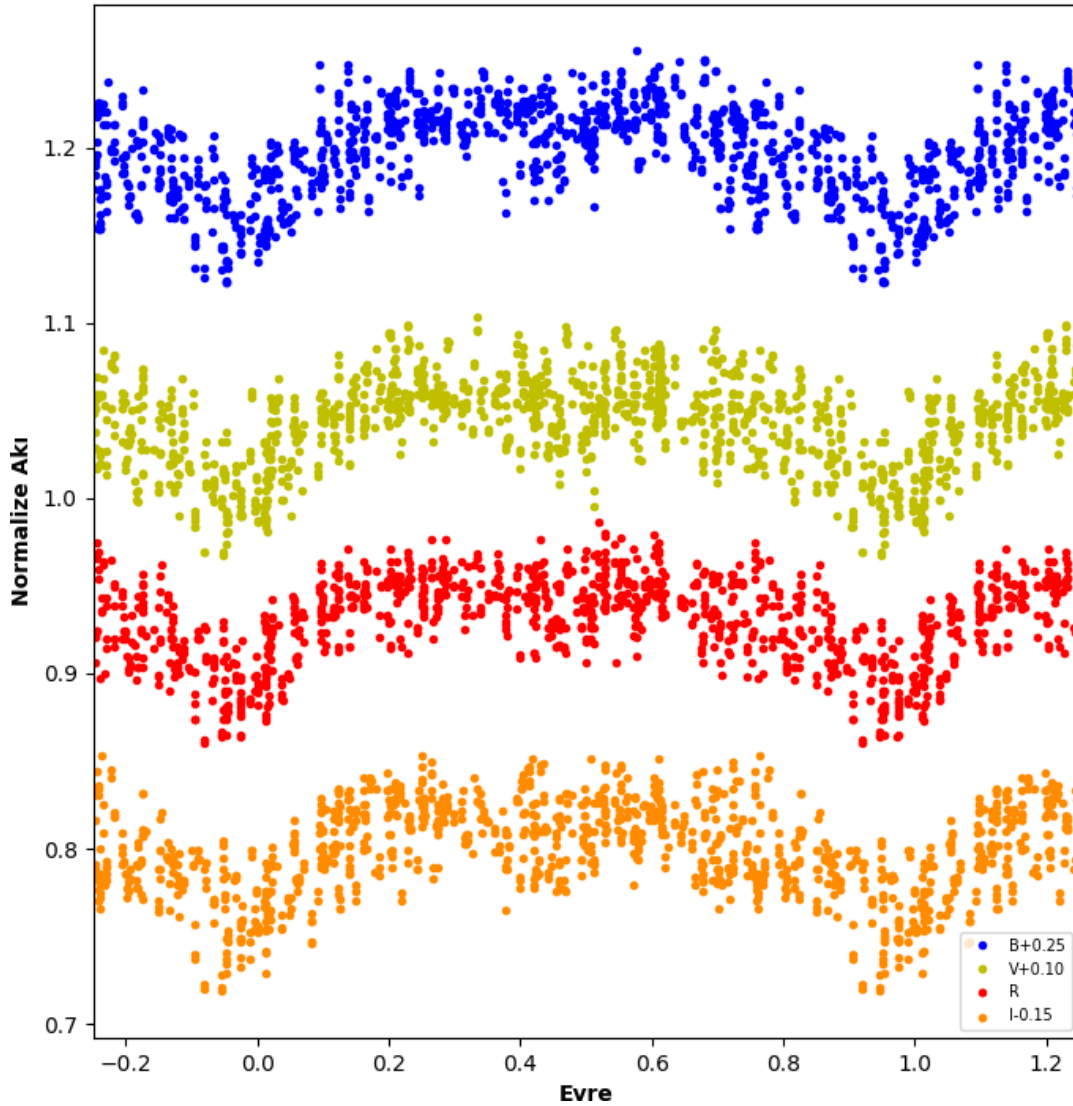
WR türü yıldızlar oldukça büyük kütlelere sahip oldukları için genellikle yoğun kütleli bulutsularda yer almaktadır (van der Hucht 2006). WR türü yıldızların oluşumunda metal bolluğu oldukça etkin rol oynamaktadır. Güneş'in metal bolluğuna ($Z_\odot$) sahip bir yıldızın WR aşamasına gelebilmesi için başlangıç kütlelerinin en az $25 M_\odot$ olması gerekmektedir (Crowther 2007). Metalce fakir bulutsularda WR türü bir yıldızın oluşması için daha büyük başlangıç kütlelerine sahip olması gerekmektedir. WR yıldızları yıldız evriminin son aşamasında olduğu için genişlemiş atmosfer yapısına sahiptir ve güçlü yıldız rüzgarlarından dolayı bu yıldızların tayfında güçlü geniş salma çizgili yapılar görülmektedir (Beals 1940; Aköz 2024).

WR yıldızları şiddetli rüzgarları nedeniyle oldukça yüksek miktarda kütle kaybı gerçekleştiren sistemlerdir. Bu şekilde

bulundukları ortamın metalce zenginleşmesini sağlarken, bulundukları bölgedeki bulutsuları tetikleyerek yeni yıldızların oluşumuna katkı sağlar. WR yıldızlarının kütle kaybının doğru hesaplanması evrim sonunda oluşturacağı karadelik yapılarının öncül kütle aralığının belirlenmesinde önemli rol oynar (Higgins ve diğ. 2021). WR yıldızlarının bir çift sistem üyesi olması onları evrimsel açıdan çok daha önemli kılar. Bu tür yıldızların özellikle yakın ve etkileşen çift sistem üyesi olması yüksek enerjî süreçlerin gözlenmesinde etkili olur. Çift WR sistemleri ve bazı örtlen çift WR yıldızları detaylı olarak Aköz (2024); Aköz & Yakut (2020, 2023) tarafından ele alınmıştır.

Bu çalışmada ele alınan WR 153 sistemi literatürde ilk olarak Hiltner (1945) tarafından tayfsal çalışması yapılmış ve sistemin yörünge dönemini 6.686 gün ve tayf türünü de WN+B olarak elde edilmiştir. Sistemi oluşturan bileşenlerin dikine hızlarının değişiminin genliği WR bileşeni için (K_{WR}) 245 km s^{-1} ve B tayf türü bileşen için (K_B) 95 km s^{-1} olarak elde edilmiştir. Sistemi oluşturan bileşenlerin kütleleri $M_{WR}=7.6 M_\odot$ ve $M_O=16.9 M_\odot$ olarak belirlenmiştir. Lamontagne ve diğ. (1996) tarafından WR 153 sisteminin fotometrik çalışması yapılmıştır. Sistemin yörünge eğim açısı $74 \pm 0.7^\circ$, sistemi oluşturan bileşenlerin kütleleri ise $M_{WR}=15 M_\odot$ ve $M_O=27 M_\odot$ olarak hesaplanmıştır. Son olarak Demers ve diğ. (2002) tarafından tayfsal olarak çalışılan sistemin yeni tayf türünün (WR+O)+(O+O) için WN6o/WCE + O3–6, B0: I + B1: V–III olduğu öne sürülmüştür. WR bileşenli çiftin yörünge dönemi 6.6887 gün olarak belirlenmiştir. WR bileşenli çift sistem için WR türü bileşeninin dikine hız değişiminin genliği (K_{WR}) $255 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$ ve O türü bileşeninin dikine hız genliği (K_O) $76 \pm 4 \text{ km s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

* akocz.brahim@gmail.com



Şekil 1. GP Cep örten WR çift sisteminin 2015-2020 yılları arasında T60 teleskobu ile *BVRI* filtrelerinde elde edilen ışık değişimi.

2 Yeni Gözlemler

GP Cep sisteminin uzun dönemli ışık değişimini incelemek için Türkiye Ulusal Gözlemevleri'nin Antalya yerleşkesinde yer alan robotik T60 teleskobu kullanılmıştır. Sistemin 2015-2020 yılları arasında Bessell *B*, *V*, *R* ve *I* (Bessell 1990) bandlarında çok renk fotometrik gözlemleri yapılmıştır. Başlangıçta *U* bandında gözlemi yapılan sistemin ışık değişimindeki saçılmanın çok fazla olması nedeniyle gözlemlere diğer dört bandda devam edilmiştir. Şekil 1'de GP Cep sisteminin T60 teleskobu ile elde edilmiş ışık değişimi gösterilmiştir. Sistemin ışık değişimi çift evreli (iki baş minimumu aynı grafikte görmek amacıyla) olarak sunulmuştur. Sistemi oluşturan baş bileşenin örtülmesi (baş minimum) oldukça belirgin olarak görülürken yoldaşın (yan minimum) örtülmesi saçılma içerisinde görülmektedir.

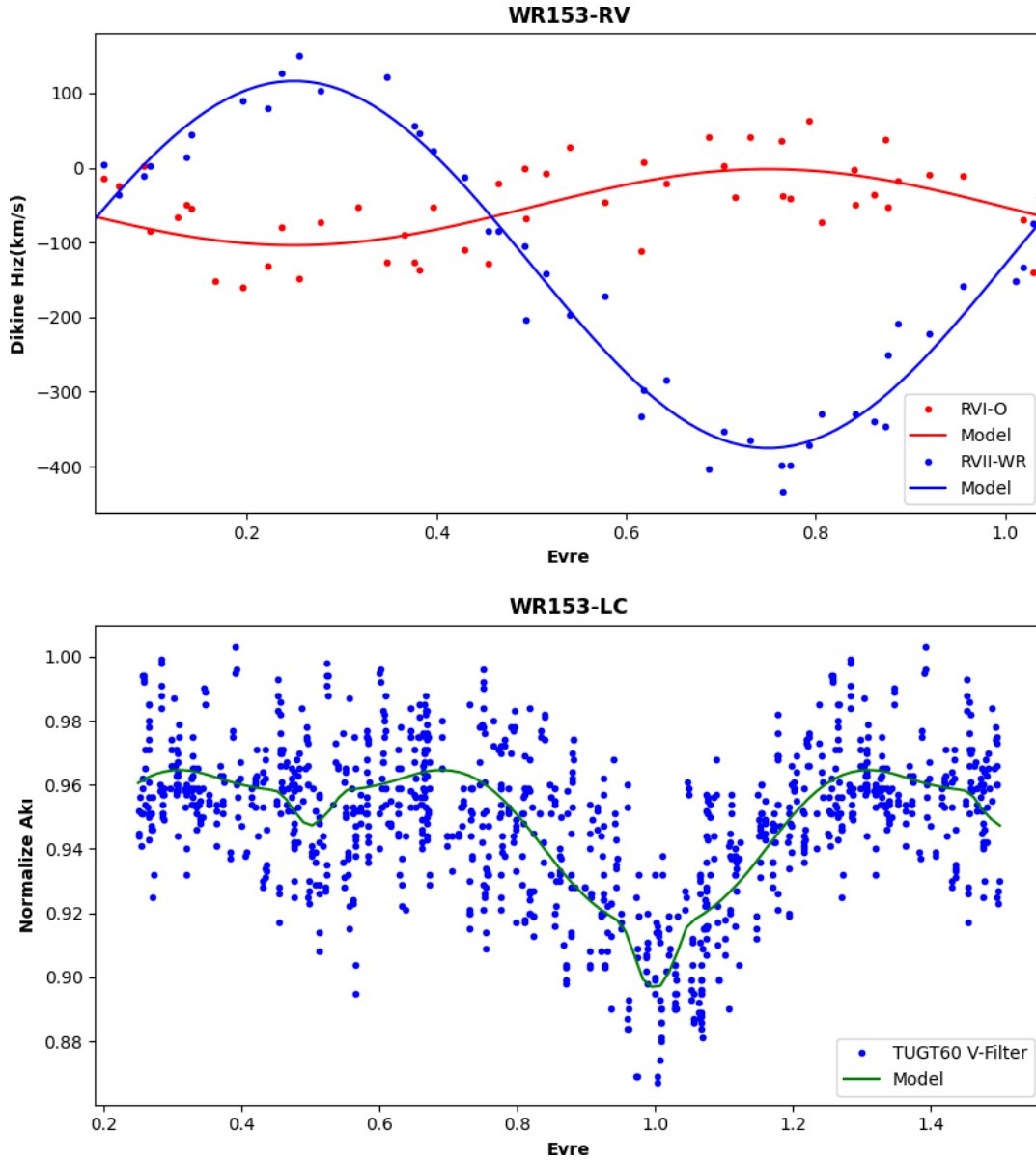
T60 teleskobu ile yapılan gözlemlerde belirli dönemlerde alınan Bias, Dark ve Flat görüntüleri kalibrasyon için kullanılmıştır. Fotometrik gözlem verilerinin indirge işlemleri yapılırken IRAF/PHOT (National Optical Astronomy Observatories 1999) paket programları kullanılmıştır. Bias, Dark ve Flat arındırılmasından sonra fark fotometrisi yöntemi

ile elde edilen tüm CCD görüntülerden akı ölçümü yapılmıştır. Sistemin *B*, *V*, *R* ve *I* bandlarında elde edilen ışık eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

3 Işık Eğrisi Analizi

Genişlemiş atmosfer yapısına ve çok şiddetli yıldız rüzgarlarına sahip olan WR çift sistemlerinin ışık değişimleri oldukça saçılmalı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle bu tür sistemlerin ışık eğrisi modellenmesi oldukça karmaşıktır. GP Cep sisteminin ışık değişiminin sentetik modellenmesinde Wilson-Devinney ve PHOEBE programları kullanılmıştır (Prša & Zwitter 2005; Wilson & Devinney 1971; Wilson 1979). Işık eğrilerinin sentetik modelleri yapılırken, kenar kararma katsayıları (Van Hamme 1993), albedolar (Ruciński 1969) ve çekim kararması (von Zeipel 1924) sabit parametreler olarak kabul edilmiştir.

Sentetik modelleri oluştururken fotometrik veri setlerine ek olarak literatürde daha önce Hiltner (1945), Bracher (1968) ve Massey (1981) tarafından yayınlanan dikine hız eğrileri de kullanılmıştır. Şekil 2'de dikine hız eğrisi ve ışık değişimi sunulan sistem çift çizgili tayfsal yapıya sahiptir. Sistemin ışık eğrisi



Şekil 2. GP Cep örtlen WR çift sisteminin dikine hız (üst panel) ve ışık eğrisinin (alt panel) modellenmesi.

ve dikine hız eğrisi sentetik modellemeleri eş zamanlı yapılarak çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sentetik modeller Şekil 2'de sürekli çizgiler olarak gösterilmiştir.

4 Sonuçlar ve Tartışmalar

WR yıldızları büyük kütleli yıldızların evriminin son aşamasını temsil etmektedir. Sıkışık çift sistemlerin (nötron+nötron, karadelik+nötron, karadelik+karadelik) atası olma potansiyelleri nedeniyle çift WR sistemlerinden elde edilen bilgiler oldukça önemlidir. WR aşaması yıldız evriminde çok kısa bir süreyi kapsadığı için bu tür sistemlerin uzun dönemli fotometrik gözlemlerinin yapılarak ışık değişiminin incelenmesi önemlidir. GP Cep sistemi dörtlü bir çift sistem olduğu düşünülen (WR+O9+(O+O)) oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Bu tür sistemlerin incelenmesi çoklu yıldız evriminin anlaşılmasına olanak tanır. GP Cep sistemin yeni fotometrik gözlemleri, daha önceki çalışmalarda elde edilmiş dikine hız

verileriyle birleştirilerek ışık eğrisi ve dikine hız eğrisinin ortak çözümlemesinin elde edilmesini sağlamıştır.

GP Cep sisteminin daha önceki yapılan fotometrik gözlemlerinde en fazla iki renk ışık değişimi elde edilmiştir (Hjellming & Hiltner 1963; Stepien 1970), çok renk ışık eğrisi ilk defa Aköz (2024) çalışmasında elde edilmiştir. Çizelge 1'de Cep sisteminin ışık ve dikine hız ortak çözümü ile elde edilen değerler verilmiştir. Sistemin yörüngesinin eğim açısı (i) 59.9° , yörünge dönemini (P) 6.688 gün, sistemin kütle oranı (q) 0.212, bileşenlerin kütleleri WR yıldızı için $3.6M_\odot$ ve O bileşeni için $16.6M_\odot$ olarak elde edilmiştir. GP Cep sistemin Şekil 2'de dikine hız ve ışık eğrisinin sentetik modellemesi sunulmuştur.

Çift yıldız etkileşimleri, büyük kütleli yıldızların evrimini ve onların oluşturduğu kompakt cisim popülasyonlarını derinden etkileyen temel bir faktördür. Bu evrimsel süreçte Wolf-Rayet çift yıldızları, özellikle çift kara delik sistemlerine giden

Çizelge 1. WR153 sisteminin yörünge ve fiziksel parametreleri.

Parametre	Birim	Değer	Hata
T_0		2443689.807	0.012
P	(gün)	6.6888	0.00001
i	(°)	59.9	0.1
q	(M_{WR}/M_O)	0.212	0.05
T_{eff2}	(K)	42000	
T_{eff1}	(K)	19694	180
R_{WR}	($R_\odot$)	10.342	
R_O	($R_\odot$)	13.507	
M_{WR}	($M_\odot$)	3.5	
M_O	($M_\odot$)	16.6	

yolları anlamak için kritik bir ara basamaktır. WR çiftlerinin gözlemsel özelliklerini ve evrimsel yollarını detaylıca araştırmak; kütleli yıldız evrimi kuramlarını sınamak, kara delik çiftlerinin popülasyonunun kökenlerini ortaya çıkarmak ve çekimsel dalga gözlemlerini yorumlamak için çok önemlidir. Ayrıca, WR çift sistemlerinin fiziksel parametrelerini belirlemek, bu sistemlerin potansiyel olarak ataları olduğu düşünülen GP Cep gibi karmaşık çoklu yıldız sistemlerinin doğasını ve oluşumunu anlamlandırmada kilit rol oynar.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK-117F188) tarafından desteklenmektedir. 15BT60-811 numaralı gözlem projesi ile T60 teleskobunun kullanımı süresince kısmi desteğinden dolayı Türkiye Ulusal Gözlemevleri'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aköz İ., 2024, Ph.d. thesis, University of Ege, Bornova, İzmir
Aköz İ., Yakut K., 2020, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, 2, 473, [ADS](#)
Aköz İ., Yakut K., 2023, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, 4, 363
Beals C. S., 1940, J. R. Astron. Soc. Canada, 34, 169, [ADS](#)
Bessell M. S., 1990, [PASP](#), 102, 1181
Bracher K., 1968, [PASP](#), 80, 165
Crowther P. A., 2007, [ARA&A](#), 45, 177
Demers H., Moffat A. F. J., Marchenko S. V., Gayley K. G., Morel T., 2002, [ApJ](#), 577, 409
Eggleton P. P., Yakut K., 2017, [MNRAS](#), 468, 3533
Eldridge J. J., Langer N., Tout C. A., 2011, [MNRAS](#), 414, 3501
Higgins E. R., Sander A. A. C., Vink J. S., Hirschi R., 2021, [MNRAS](#), 505, 4874
Hiltner W. A., 1945, [ApJ](#), 101, 356
Hjellming R. M., Hiltner W. A., 1963, [ApJ](#), 137, 1080
Lamontagne R., Moffat A. F. J., Drissen L., et al. 1996, [AJ](#), 112, 2227
Langer N., 2012, [ARA&A](#), 50, 107
Massey P., 1981, [ApJ](#), 244, 157
National Optical Astronomy Observatories 1999, IRAF: Image Reduction and Analysis Facility, Astrophysics Source Code Library, record ascl:9911.002 (ascl:9911.002)
Prša A., Zwitter T., 2005, [ApJ](#), 628, 426
Ruciński S. M., 1969, Acta Astron., 19, 245, [ADS](#)
Sana H., ve diğ., 2012, [Science](#), 337, 444
Stepien K., 1970, Acta Astron., 20, 117, [ADS](#)
Van Hamme W., 1993, [AJ](#), 106, 2096
Wilson R. E., 1979, [ApJ](#), 234, 1054
Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, [ApJ](#), 166, 605
Woosley S. E., Bloom J. S., 2006, [ARA&A](#), 44, 507

- Yaşarsoy B., Yakut K., 2013, [AJ](#), 145, 9
Yaşarsoy B., Yakut K., 2014, [New Astron.](#), 31, 32
van der Hucht K. A., 2006, [A&A](#), 458, 453
von Zeipel H., 1924, [MNRAS](#), 84, 702

Access:

M25-0351: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.