

Etkileşen WN6 + O9 II/Ib türü Wolf-Rayet Çift Sistem CQ Cep

İbrahim Aköz^{1,2}  , Kadri Yakut¹ 

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

² TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, Türkiye

Accepted: January 19, 2023. Revised: December 14, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Bu çalışmada, Galaksimizde yer alan örten Wolf-Rayet çift yıldızlardan biri olan CQ Cep (WR155, HD 214419) çift sisteminin 2015-2020 yılları arasındaki fotometrik gözlemlerinin analizi yapılmıştır. Gözlemler Bessell *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* bandlarında yapılmış ve elde edilen çok renk fotometrik veri setleri eş zamanlı olarak analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda çift sistemin yörünge eğim açısını 65 derece, bileşen yıldızların kütle oranı (q) 1.15 ve bileşen yıldızların sıcaklık oranını (T_2/T_1) 0.83 olarak elde ettik.

Abstract

In this study, photometric observations of the CQ Cep (WR155, HD 214419) binary star, one of the eclipsing Wolf-Rayet binary systems in our galaxy, were analyzed between 2015 and 2020. Observations were made in the Bessell *U*, *B*, *V*, *R* and *I* bands, and the obtained multi-colour photometric data sets were analyzed simultaneously. As a result of the analysis, we obtained the orbital inclination angle of the binary system as 65 degrees, the mass ratio (q) of the component stars as 1.15 and the ratio of the temperatures of the component stars (T_2/T_1) as 0.83.

Anahtar Kelimeler: Binary stars – Wolf-Rayet – stellar evolution – CQ Cephei – WR 155

1 Giriş

Wolf-Rayet (WR) yıldızları başlangıç kütle aralığı 10-25 M_{\odot} olan O-B tayf türü yıldızların evrimleri ile oluşmaktadır. WR yıldızları yıldız evriminin son aşaması olan süpernova evresinin bir öncesi evrim basamağını oluşturmaktadır (Crowther 2007). 10 M_{\odot} kütleli bir yıldızın tüm evrimi yaklaşık olarak beş milyon yıl sürerken, bu sürenin yaklaşık olarak yüzde onluk kısmını WR türü yıldız olarak geçirdiği hesaplanmıştır (Meynet & Maeder 2005).

WR türü yıldızlar oldukça çeşitli tayfsal karakteristik özellikler sergilemektedirler. Genel olarak yıldızlardan tayf alındığında dar ve soğurma çizgili yapı göstermektedir. Ancak WR türü yıldızlar tayflarında güçlü, geniş salma çizgileri göstermektedir (Beals 1940). WR yıldızlarının hemen hemen tamamının yüzeyini saran hidrojen (H) zarfını atmış yıldızlar olup, genişlemiş atmosfer yapısına sahiptirler. Genişlemiş atmosfer yapısı ve güçlü yıldız rüzgarları nedeniyle bu tür yıldızlar güçlü geniş çizgili tayfsal yapı sergiler. WR yıldızları tayfsal olarak üç ana sınıfa ayrılmıştır. Sınıflama salma çizgisinin şiddetine ve genişliğine bakılarak yapılmıştır (Smith 1968). WR yıldızlarının tayfında en baskın çizgi helyum (He) çizgisidir. He çizgisine ek olarak görülen en baskın çizgi WR yıldızlarının tayfsal sınıflamasında kullanılır. Azot (N) çizgisi baskın olanlar WN sınıfı, karbon (C) çizgisi baskın olanlar WC ve son olarak oksijen (O) çizgisi baskın olanlar WO sınıfı olarak ayrılmıştır.

WR yıldızları oldukça büyük kütleli yıldızların evrimleri sonucu oluşmasından dolayı genellikle galaksilerde büyük kütleli yoğun bulutsuların olduğu yerlerde yıldız oluşum bölgelerinde bulunurlar. Oldukça yüksek rüzgar hızına sahip olan WR yıldızları buldukları galaksilerin yıldızlararası

ortamın metalce zenginleşmesine katkı sağlarlar. Ayrıca, şiddetli yıldız rüzgarlarıyla da buldukları galaksilerdeki yıldız oluşum merkezlerini tetikleyerek yeni yıldızların oluşumuna katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada ele alınan WR155 sistemi WR türü bir sistem olup bir çift sistem olduğu ilk kez Mclaughlin & Hiltner (1941) tarafından belirlenmiştir. Hiltner (1944) tarafından WR 155 tayfsal çift sisteminin β -Lyrae türü ışık eğrisine sahip olduğu, dönemini 1.641272 gün olarak belirtilmiştir. WR 155 yıldızı Galaksimizde yer alan ve 1.64 günlük yörünge dönemine sahip en kısa dönemli örten WR türü çift sistemdir. Sistemin yörünge dönemleri daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda, sırasıyla, Hiltner (1944) tarafından 1.610 gün, Gaposchkin (1944) tarafından 1.641272 gün, Tchugainov (1960) tarafından 1.641246 gün, Demircan ve diğ. (1997) tarafından 1.6412299 gün olarak hesaplanmıştır. Sistemi oluşturan bileşenleri tayfsal sınıflaması Marchenko ve diğ. (1995a) tarafından WN6+O9 II-Ib olarak belirlenmiştir. Sistemin ışık eğrisi tipik degen ön-tür çift sistemlerin (Yaşarsoy & Yakut 2013, 2014) ışık eğrilerine benzerlik göstermektedir. Böylesi sistemlerin ışık eğrisi çözümü yapılırken degen veya yarı-ayrık konfigürasyonlar dikkatli bir şekilde denemelidir. Daha önceki fotometrik gözlemlerden sistemin yörünge eğim açısı Drissen ve diğ. (1986) tarafından 70°, Demircan ve diğ. (1997) tarafından da 68° olarak elde edilmiştir.

2 Gözlemler ve İndirgeme

WR155 çift sistemi TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan teleskoplar kullanılarak Bessell *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* (Bessell 1990) bandlarında çok renk fotometrik gözlemleri elde edilmiştir. 60-cm ayna çapına sahip robotik teleskop olan TUG T60 teleskobu ile 15BT60-811 nolu gözlem projesi ile 2015-2020 yılları arasında gözlemler alınmıştır. Aynı şekilde TUG'da

* akozz.ibrahim@gmail.com

Çizelge 1. Değişen yıldızın ve indirgeme sırasında kullanılan mukayese yıldızlarının ekvatorial koordinatları.

Nesne	Yıldız	RA	DEC
WR155	HD 214419	22 36 53.95	+56 54 20.98
C ₁		22 36 36.89	+56 52 53.02
C ₂		22 36 45.64	+56 53 03.83
C _{3*}		22 37 10.66	+56 57 40.43
C ₄		22 37 22.29	+56 57 45.49

yer alan 100-cm ayna çapına sahip TUG T100 teleskobu ile 18BT100-1337 nolu gözlem projesi ile 2018-2019 yılları arasında gözlemler yapılmıştır.

Gözlemler sırasında gecelik Bias, Dark ve Flat görüntüleri kalibrasyon için alınmıştır. T60 gözlemlerinde ise ortalama aylık kalibrasyon görüntüleri kullanılmıştır. Yapılan gözlemlerin indirgeme adımları sırasında IRAF/PHOT (National Optical Astronomy Observatories 1999) paket programları kullanılmıştır. CCD görüntülerinin ön indirgeme aşamasından sonra ışıkölçüm sırasında alanda bulunan mukayese ve denet yıldızlar kullanılarak fark fotometrisi yapılmıştır. Çizelge 1'de çalışmada kullanılan değişen ve mukayese yıldızların ekvatorial koordinat sistemindeki konumları verilmiştir. Çizimlerde C3 ile verilen yıldız mukayese yıldızı olarak alınmıştır.

Çalışmada T60 robotik teleskobu kullanılarak elde edilen çok renk ışık eğrileri Şekil 1 ve T100 teleskobu ile elde edilen ışık eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Elde ışık eğrileri tipik olarak değen bir ön tür çift sisteme benzemekte olup minimumlarda asimetri belirgindir. T100 gözlemleri sırasında kesintisiz gözlem yapılmıştır. Buna karşın T60 teleskobu ile elde edilen gözlemler ise ortalama gecelik üç nokta olacak şekilde uzun dönemli bir gözlem takibi yapılmıştır. Bu nedenle teleskopların hasasiyetine ek olarak T60 teleskobu daha saçılmalı olarak elde edilmiştir.

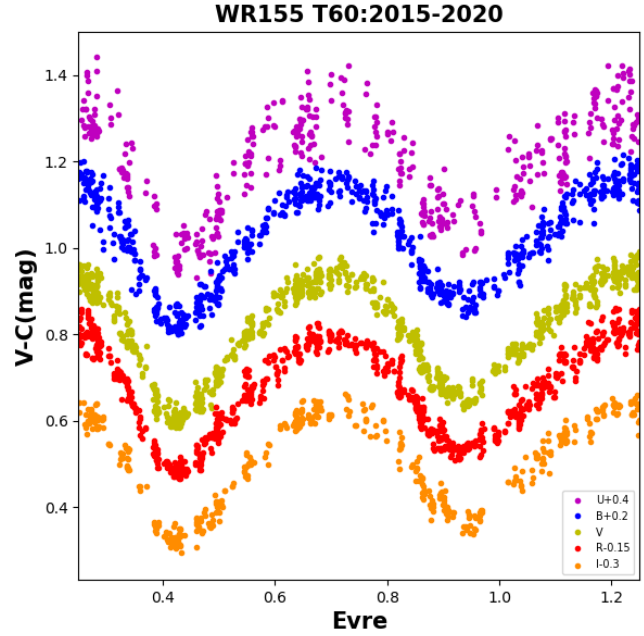
3 Işık Eğrisi Analizi

Bilinen ayrık veya değen türündeki çift yıldızların ışık eğrisinden farklı olarak WR türü örten sistemlerin ışık eğrisi analizinde bazı zorluklar vardır. En belirgin zorluk özellikle tutulmalar süresince görülen asimetri bozulmasının modellenmesidir. Elde edilen ışık eğrilerinin sentetik modelleri için Wilson-Devinney ve Phoebe kodları kullanılmıştır (Prša & Zwitter 2005; Wilson & Devinney 1971; Wilson 1979). Işık eğrisi analizleri sırasında, kenar kararım katsayıları (van Hamme 1993) ve albedolar (Ruciński 1969) ile verilen tablolardan alınmıştır.

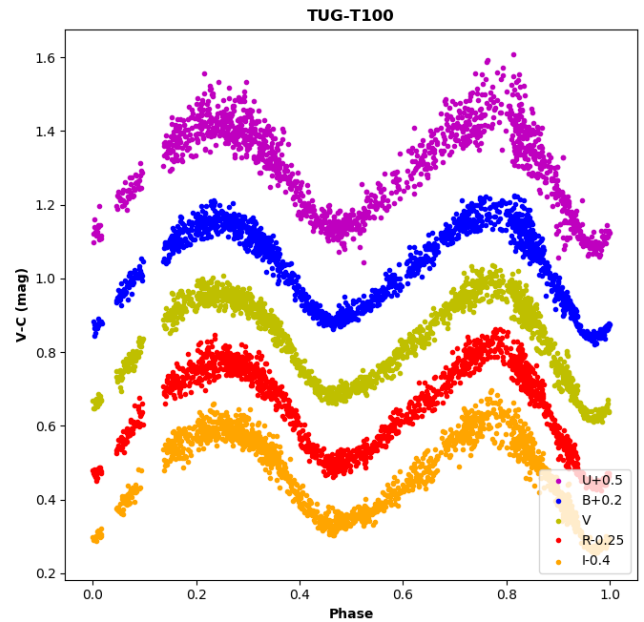
Sentetik modelleri oluştururken fotometrik veri setlerine ek olarak literatürde daha önce Leung ve diğ. (1983) ve Marchenko ve diğ. (1995b) tarafınan yayınlanan dikine hız eğrileride kullanılmıştır. Sistemin dikine hızı çift çizgili olup her bir bileşenin etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 3). Çözümde dikine ve ışık eğrilerinin eşzamanlı çözümü yapılan iterasyonlar sonucunda elde edilmiştir.

4 Sonuçlar ve Tartışmalar

Büyük kütleli yıldızlar yüksek enerjili astrofiziksel süreçler geçirmesinden dolayı evrimlerinin incelenmesi oldukça önemlidir. WR yıldızları süpernova ve X-ışın çiftilerinin atası yıldızlar olduğu için bu kaynakların evrimsel süreçlerinin incelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda incelenmiş olan WR 155 çift sistemi Galaksimizdeki bilinen en kısa dönemli ve derin tutulma gösteren ışık değişimine sahiptir.

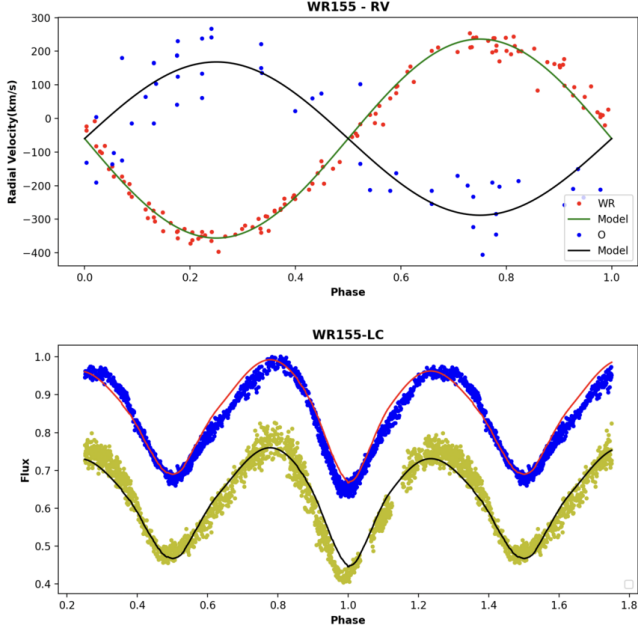


Şekil 1. WR 155 örten çift W-R sisteminin 2015-2020 yılları arasında T60 teleskobu ile Johnson UBVRi filtrelerinde elde edilen ışık değişimi.



Şekil 2. WR 155 örten çift W-R sisteminin 2018-2019 yılları arasında T100 teleskobu ile Johnson UBVRi filtrelerinde elde edilen ışık değişimi.

Sistemin çok renk ışık değişiminin elde edilmiş olması ve buna ek olarak çift çizgili dikine hız verilerinin bilinmesi her bir bileşenin ayrı ayrı kütle, yarıçap, sıcaklık, ışıma, çekim ivmesi ve uzaklık gibi parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesine olanak sağlar. Sonraki çalışmamızda yeni elde edilen bu fiziksel ve bazı yörünge öğelerini kullanarak



Şekil 3. WR 155 örten çift W-R sisteminin ve dikine hız (üst panel) ışık eğrilerine (alt panel) ait sonuçlar.

sistemin oluşumdan evriminin son aşamasına kadar olan süreci modellemesini yapmayı planlamaktayız.

Bu çalışmada sistemin ışık ve dikine hız ortak çözümünden yörünge dönemini (P) 1.64124 gün, yörünge eğim açısını (i) 64.9 derece, kütle oranını (q) 1.15 ve sıcaklık oranını (T_2/T_1) 0.83 olarak elde ettik. Şekil 3'ün alt panelinde gösterilen ışık eğrisi bize ikinci minimumda gözle görülebilen bir asimetri olduğunu ortaya koymaktadır. Böylesi sistemlerin sentetik modellerini Phoebe gibi kodlar ile temsil edilmesi mümkün değildir. Bunun yerine çarpma bölgesi veya madde yığılması bölgesi olarak yorumlanacak bir sıcak leke modeli çözümü sağlayabilir. Sonraki dönemlerde sisteme ilişkin elde edilecek TESS veri setleri ile birlikte yapılacak ortak çözüm ile bu sistemin detaylı yörünge çözümü yapılması hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK-117F188) tarafından desteklenmektedir. 18BT100-1337 ve 15BT60-811 projeleri ile T100 ve T60 teleskoplarının kullanımı süresince kısmi desteğinden dolayı TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne teşekkür ederiz. Öneri ve yorumları ile çalışmaya katkı sağlayan hakeme teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Beals C. S., 1940, J. R. Astron. Soc. Canada, 34, 169, [ADS](#)
 Bessell M. S., 1990, [PASP](#), 102, 1181
 Crowther P. A., 2007, [ARA&A](#), 45, 177
 Demircan O., Ak H., Özdemir S., Tanrıver M., Albayrak B., 1997, [Astronomische Nachrichten](#), 318, 267
 Drissen L., Moffat A. F. J., Bastien P., Lamontagne R., Tapia S., 1986, [ApJ](#), 306, 215
 Gaposchkin S., 1944, [ApJ](#), 100, 242
 Hiltner W. A., 1944, [ApJ](#), 99, 273
 Leung K. C., Moffat A. F. J., Seggewiss W., 1983, [ApJ](#), 265, 961

- Marchenko S. V., Moffat A. F. J., Eenens P. R. J., Hill G. M., Grandchamps A., 1995a, [ApJ](#), 450, 811
 Marchenko S. V., Moffat A. F. J., Eenens P. R. J., Hill G. M., Grandchamps A., 1995b, [ApJ](#), 450, 811
 McLaughlin D. B., Hiltner W. A., 1941, [PASP](#), 53, 328
 Meynet G., Maeder A., 2005, [A&A](#), 429, 581
 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](#)
 Smith L. F., 1968, [MNRAS](#), 138, 109
 Tchugainov P. F., 1960, Peremennye Zvezdy, 13, 148, [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
 Yaşarsoy B., Yakut K., 2013, [AJ](#), 145, 9
 Yaşarsoy B., Yakut K., 2014, [New Astron.](#), 31, 32

Access:

M23-0363: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)