

## WR 141 ve WR 155 Örtlen Wolf-Rayet Sistemlerinin Uzun Dönemli Işık Değişimi

İbrahim AKÖZ<sup>1</sup>, Kadri YAKUT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye.

**Özet:** Bu çalışmada bazı büyük kütleli yıldızların bir evrim aşaması olan Wolf-Rayet (WR) türü sistemlerden WR 141 ve WR 155 sistemleri incelenmiştir. WR 141 ve WR 155 örtlen sistemlerine ilişkin çok renk (BVRI) gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan 60cm lik robotik teleskop kullanılarak elde edilmiştir. Gözlemlerden elde edilen ışık eğrisinin analizi yapılarak WR 155 sisteminin yörünge öğeleri türetilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Wolf-Rayet yıldızları, örtlen çift sistemler, yıldız evrimi.

**Abstract:** In this study, Wolf-Rayet (W-R) type systems WR 141 and WR 155 have been studied. W-R type systems are one of the evolutionary stages of massive stars. Multi-color (BVRI) observations of eclipsing binary systems WR 141 and WR 155 were obtained with 60 cm robotic telescope at the TÜBİTAK National Observatory. Orbital parameters of the system WR 155 have been derived from the light curve analysis of the system.

**Key Words:** Wolf Rayet stars, eclipsing binary systems, stellar evolution

### 1. Giriş

Yıldız oluşumu ve evrimi bakımından büyük kütleli yıldızlar evrim aşamalarını oldukça hızlı geçirirler. Ayrıca yeterince büyük kütleli yıldızlar yüksek enerjili astorfiziksel süreçler gösterdikleri için astrofiziksel çalışmalarda önemli rol oynarlar. Wolf-Rayet (WR) türü yıldızlar bu bağlamda oldukça iyi bir laboratuvar görevi görür. W-R sistemin aynı zamanda örtlen bir çift sistem olması yörünge parametrelerinin ve bileşenlerin fiziksel öğelerinin belirlenmesine katkı sağlar. WR türü yıldızların sıradışı bir yıldız topluluğu olduğu tanımı ilk defa 1867'de C. J. E. Wolf ve G. Rayet tarafından yapılmıştır.

WR yıldızları genişlemiş atmosfer yapısına sahip ve Hidrojen (H) zarfını atmış yıldızlardır. Yıldız rüzgarları aracılığıyla yıldızlararası ortama çok büyük miktarda kütle atımı yaparlar. Genel olarak WR türü yıldızlar, büyük kütleli, yüksek değerlerde yüzey sıcaklığına (30 000 K - 200 000 K), çok yeğin yıldız rüzgarlarına ve genişlemiş atmosfer yapısına sahip yıldızlardır. WR türü yıldızlar 10-25 M<sub>o</sub> kütle aralığına sahip yıldızlardır ve O tayf türü yıldızların soyundan geldiği düşünülmektedir. Güneş'in metal bolluğuna sahip bir yıldızın WR türü bir yıldız olabilmesi için başlangıç kütlelerinin en azından 25 M<sub>o</sub> olması gerekir (Crowther, 2007). Sonuç olarak çoğu tek WR yıldızı oldukça sınırlı sayıda ve kabaca 25-30 M<sub>o</sub> kütle aralığına sahip kırmızı dev sonrası evrim aşamasındaki yıldızlardır. 30 M<sub>o</sub> üzerinde kütleyle sahip yıldızlar evrimine Parlak Mavi Değişenler (LBV) olarak devam eder. Yakın çift yıldızlar için bu tür bir alt limit aralığı bulunmamaktadır. Çünkü sistemi oluşturan bileşenler evrimleştikçe birbirine kütle aktarmaya başlar. Normalinde orta kütleli bir yıldız olarak evrimleşmeye başlayan bir yıldız yakın çiftlikten dolayı kütle alarak WR türü evrim aşaması geçirmeye başlayabilir. Bu tür yıldızların evrimleri ortalama 5 Myıl ve bu sürenin yaklaşık %10'unu WR olarak geçirirler (Meynet and Maeder, 2005).

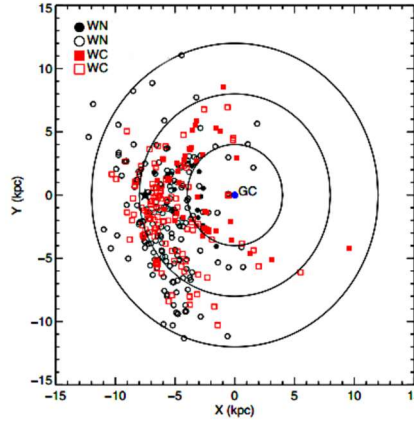
Tayfsal olarak, WR türü yıldızlar oldukça farklı özelliklere sahip yıldızlardır. Normal yıldızlardan tayf aldığımızda karşılaştığımız durum genel olarak dar soğurma çizgileridir. Ancak WR türü yıldızlar tayflarında güçlü, geniş salma çizgileri görülür (Beals, 1940). Bu tür yıldızların tayfındaki farklılaşmaya neden olan durum aslında WR türü yıldızların genişlemiş atmosfer yapısına sahip olması ve güçlü yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybediyor olmalarından kaynaklanmaktadır. Zengin ve güçlü salma çizgileri içeren tayfları sayesinde çok uzaktaki WR türü yıldızları ayırt etmek oldukça kolaydır (Hillier, 1987).

WR türü yıldızların sınıflandırılması yapılırken alınan tayflarındaki salma çizgilerinin bolluğuna ve genişliğine bakılır (Smith, 1968). WR yıldızlar tayfsal olarak WN, WC ve WO olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmıştır. Tayfında H salması gösterenler için "h", hem salma hem de soğurma gösterenler "ha" ile temsil edilir (Smith, Shara and Moffat, 1996). WN yıldızları tayflarında Helyum (He) ve Azot (N) ağırlıklı salma çizgileri gösterir. Ancak bazı WN türü yıldızlarda Karbon (C), Silikon (Si) ve H kaynaklı salmalar da görülebilir. Buna karşın, WC yıldızlarının tayfında C ve He salma çizgileri baskınken H ve N salma çizgileri görülmez. WO yıldızları WN ve WC yıldızlarına göre daha nadir görülen türlerdir. WC yıldızlarının tayfına benzer özellikler sergiler ancak Oksijen (O) salma çizgileri daha yaygındır. Daha yüksek mertebeden iyonlaşmış atom türlerinden kaynaklı çizgileri gösterme eğilimindedir.

O tayf türü büyük kütleli yıldızlar yıldız rüzgarları aracılığıyla önemli miktarda kütle kaybedebilir ve yüzeylerinde ilk olarak H- yakma ile ürettikleri maddeleri sonra da He- yakma sonucu üretilen maddeleri gösterirler (Bohannon and Conti, 1976). Bu evrim basamakları tayfsal olarak WN ve WC türü ile tanımlanmıştır. Bu tür yıldızlar WR çiftlerinin gözlemlerine göre sahip oldukları kütleler için daha parlak olabilir (Crowther, 2007). WR türü yıldızlar genellikle Galaktik disk içinde büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerinde görülürler (Hucht, 2001). Samanyolu galaksisindeki bilinen WR yıldızlarının dörtte biri galaktik merkezdeki kütleli kümelerde veya Westerlund 1'de bulunur (van der Hucht, 2006). Optik dar-band gözlemler Güneş sisteminin çevresindeki WR yıldızlarının tanımlanması için başarı göstermesine karşın Galaksimizde bilinen WR sayısı birkaç yüz kadardır.

\*Sorumlu Yazar E-Posta: akozibrahim\_035@hotmail.com

Fakat Galaktik disk içerisinde binlerce WR yıldızının var olduğu düşünülmektedir (Hucht, 2001). Tayfsal gözlemler ile dar-band yakın kızılöte gözlem teknikleri birlikte kullanılarak daha fazla sayıda WR yıldızını keşfetmek mümkündür.



**Şekil 1:** WR yıldızlarının Galaktik dağılımı (Shara ve ark., 2012). Şekilde içi boş daire ve kutular daha önceden yerleri belirlenmiş WR yıldızlarını, içi dolu olanlar ise Shara ve ark. (2012) tarafından belirlenen WR yıldızlarını ve siyah yıldız Güneş'i temsil etmektedir. Galaktik merkez Güneşin pozisyonuna göre işaretlenmiştir. Galaktik merkezden dışı doğru olan çemberler sırasıyla 4, 8 ve 12 kpc biriminde galaksi merkezine olan uzaklığı göstermektedir.

## 2. Wolf-Rayet Çiftleri

Vanbeveren and Conti (1980) Galaktik ve LMC'deki (Büyük Macellan Bulutsusu) WR yıldızlarının çift olma durumunu çalışmışlar ve çalışmalarında inceledikleri WR yıldızlarının %40'tan daha azının soğurma çizgilerine sahip olduğunu ve O tayf türünden bileşene sahip olduğunu düşünmüşlerdir. O tayf türü bileşenler genellikle yeteri derecede belirgin soğurma çizgileri gösterirler. Bu nedenle O tipi bileşene sahip WR yıldızları daha kolay belirlenmiştir.

Hucht (2001) "Galaktik Wolf-Rayet Yıldızlarının VII. Kataloğu" başlıklı çalışmasında toplamda 227 WR yıldızı olduğunu ve bunların 86'sının (yaklaşık %38) çift veya olası çift olduğu, Smith ve Maeder (1989) ise en az 59 tane WR çifti olduğunu belirlemiştir. Bugün kesin olarak WR yıldızları arasında 19 adet çift çizgili tayfsal çift (SB2) yıldız olduğu bilinmektedir. Bu çiftlerin 13 tanesi WN türü ve 2.3-55  $M_{\odot}$  kütle aralığına sahiptir. Ortalama kütleleri  $22 \pm 17$  olarak belirlenmiştir. Bu sistemlerin üç tanesinin (WR 22, WR 47 ve WR 141) kütlesi 40  $M_{\odot}$ 'den fazladır. Diğer 6 tane WC türü SB2 sistemi ise 9-16  $M_{\odot}$  kütle aralığına sahiptir. Ortalama kütleleri  $12 \pm 3$  olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda WN türü yıldızların kütleleri WC türü yıldızlarınkinden büyük olduğu sonucu çıkarılabilir (Lamontagne et al., 1996).

WR çiftleri bileşenlerine bakılarak üç sınıfa ayrılabilir. WR+WR, WR+OB (O veya B tayf türüne sahip bileşen) ve WR+cc (nötron yıldızı veya kara delik gibi sıkışık bileşenli). WR+WR bileşenli çift sistem oldukça nadir görülür (örneğin WR 98). Ancak Gamen ve Niemela 2003 yılındaki çalışmasında WR 98 sisteminin O8-9 tayf türü bileşene sahip SB2 olarak belirlemişlerdir. WR 20a (V712 Car) sisteminin WN6h+WN6h türü sistem olduğu bilinmektedir (Rauw et al., 2005). WR+OB sistemleri en yaygın görülen sistemlerdir. En iyi bilinen örneği WR 139 (V444 Cyg) sistemidir. WR 148'in WR+cc türü sistem olduğu düşünülmektedir.

## 3. Yeni Gözlemler

Bu çalışma kapsamında WR 141 ve WR 155 örten W-R çift sistemlerin fotometrik çalışması yapılmıştır. Seçilen sistemlere ilişkin koordinat ve fotometrik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Gözlemi yapılan her iki sistem de çift çizgili ve WN+O türü sistemdir. Bir çift sistemin aynı zamanda örten olması onun yörünge öğelerinin hassas olarak belirlenmesine olanak sağlar. Ayrıca dikine hız verileri ile ışık değişimi bir arada çözüm yapıldığında bize hem yörünge öğeleri hem de fiziksel öğeleri hassas belirleme olanağını verir. Bu bağlamda fiziksel parametreleri iyi belirlenen bu sistemlerin doğasının anlaşılmasında yardımcı olacaktır.

Bu çalışma kapsamında seçilen sistemlerin yeni gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan 60 cm (T60) çaplı aynaya sahip robotik teleskop kullanılmıştır. Gözlemler, 2015 B, 2015 C, 2015 D ve 2016 A olmak üzere toplam 4 gözlem dönemi sonucunda elde edilmiştir. Seçilen sistemlerin U, B, V, R ve I filtreleriyle gözlem verileri elde edilmiştir. Gözlem verilerinin indirgeme işlemleri sırasında IRAF paket programı kullanılmıştır.

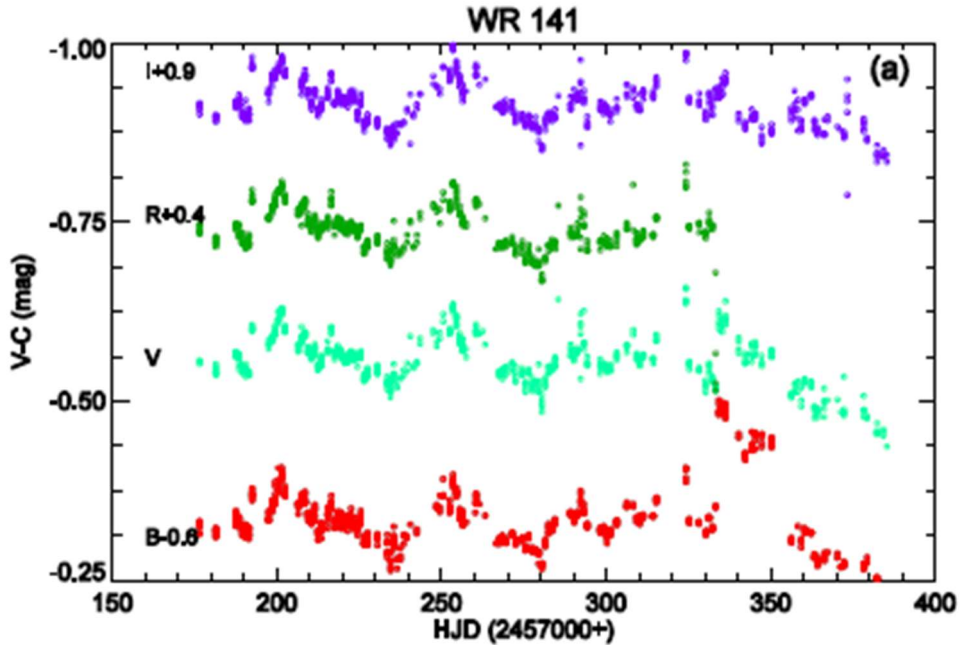
**Çizelge 1:** Çalışma kapsamında incelenen örten W-R sistemlerine ilişkin özellikler.

WR	$\alpha$	$\delta$	Tayf Türü	U (mag)	B (mag)	V (mag)	Dönem(d)
WR 141	20:21:31.72	36:55:12.77	WN5-w+O5V-III	10.67	10.60	9.78	21.7
WR 155	22:36:53.95	56:54:20.98	WN6+O9II-Ib	8.68	9.21	8.80	1.64

WR 141 Gözlemler ile toplamda yaklaşık 3800 ham gözlem noktası elde edilmiştir. Çizelge 2’te gözlemi yapılan cisim ve kullanılan mukayese yıldızlarının koordinat, tayf türü ve parlaklık bilgileri yer almaktadır. WR 141 sistemine ilişkin indirgemeler sonucunda elde edilen ışık değişimi Şekil 1 gösterilmiştir.

**Çizelge 2:** WR 141 örten çift sistemi ve indirgemedeki kullanılan mukayese yıldızlarının konum, parlaklık ve tayf türü bilgileri.

Yıldız Adı	Sağ Açıklık ( $\alpha$ )	Dik Açıklık ( $\delta$ )	V(mag)	B-V(mag)	Tayf Türü
HD 193928 (WR141)	20:21:31.728	36:55:12.78	9.78	0.82	WN5-w+O5V-III
HD 229099 (C1)	20:21:53.271	36:51:06.99	10.33	0.08	--
GSC 02684-00516 (C2)	20:22:13.268	36:56:46.38	10.51	0.93	OB
TYC 2684-550-1 (C3)	20:21:26.642	36:54:43.62	11.31	0.73	--

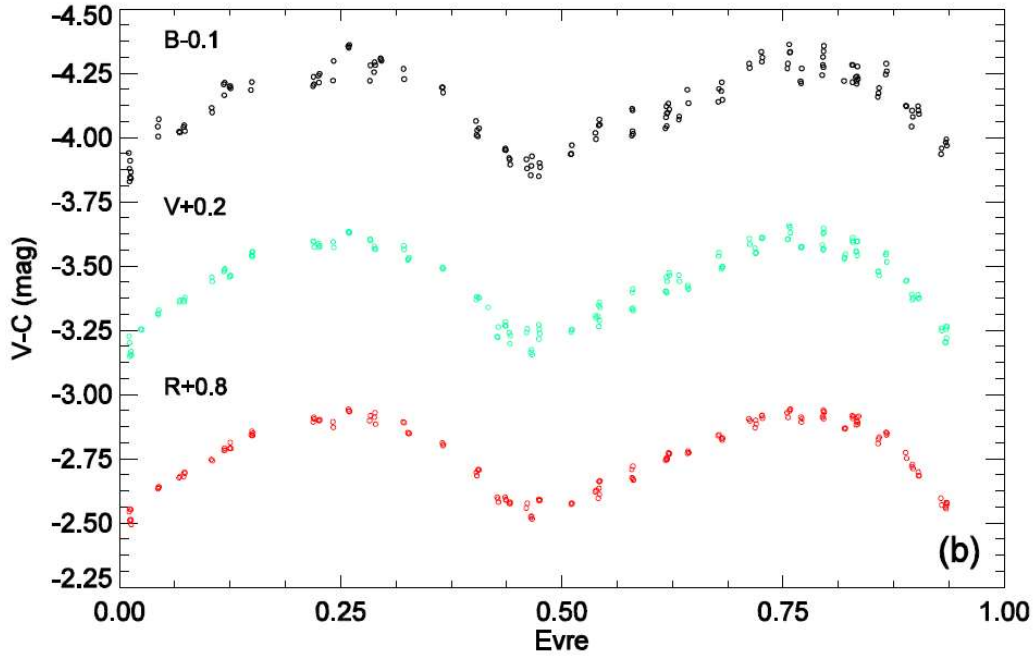


**Şekil 2:** WR 141 sisteminin Tug T60 teleskobuyla elde edilmiş çokrenk ışık değişimi.

WR 155 (CQ Cep) sisteminin indirgemeleri sırasında kullanılan mukayese yıldızlarına ilişkin bilgiler Çizelge 3’te verilmiştir. Sistemin 2015-2016 yılları arasında elde edilen gözlem noktalarının zamanla değişimi Şekil 3’te verilmiştir.

Çizelge 3: WR 155 örten çift sisteminin ve fotometrik analizinde kullanılan mukayese yıldızlarının bilgileri yer almaktadır.

Yıldız Adı	Sağ Açıklık	Dik Açıklık	V(mag)	B-V(mag)	Tayf Türü
HD214419 (WR155)	22:36:53.95	56:54:20.99	8.80	0.41	WN6+09II-Ib
(C1)	22:36:36.81	56:52:55.20	--	--	--
(C2)	22:36:45.57	56:53:04.30	--	--	--
(C3)	22:37:10.61	56:57:37.90	--	--	--
(C4)	22:37:22.32	56:57:45.20	--	--	--



Şekil 3: WR 155 çift sisteminin BVR renklerindeki ışık eğrileri.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışmalar

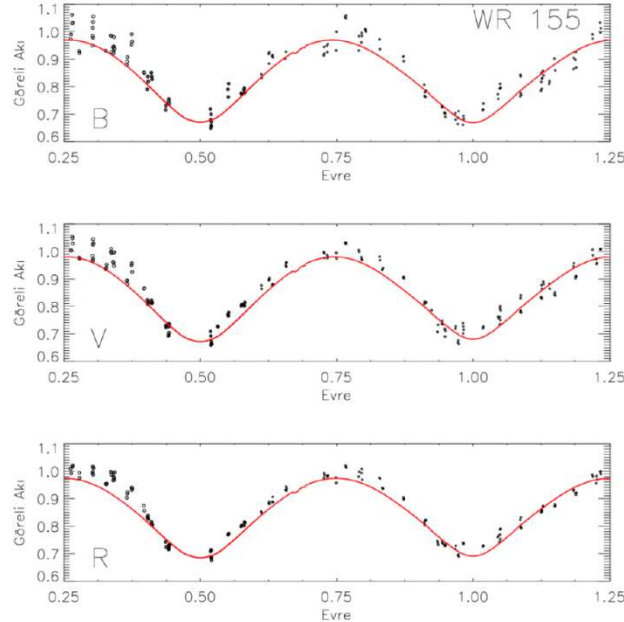
-Bu çalışmada W-R türü çift sistem olan WR 141 ve WR 155 örten çift sistemlerin yaklaşık bir yıl süre ile elde edilmiş yeni gözlemsel verileri sunulmuştur. Gözlemlerle sonuçunda elde edilen ışık değişimleri WR 141 için Şekil 2'de WR 155 sistemi için ise Şekil 3 de verilmiştir. WR 141 sistemi 22 günlük yörünge dönemine sahip olup elde ettiğimiz yeni gözlemlerde bu iyi bir şekilde görülmektedir. Bu sistemin literatürde elde edilen diğer ışık değişimlerinden görece olarak daha iyi çıktığını söyleyebiliriz. WR 155 sistemi WR 141 sistemine göre çok daha kısa yörünge dönemine sahiptir. Bu sistemin tutulma gösteren ışık değişimi belirgin bir biçimde görülmektedir (Şekil 3).

-WR 155 çift sisteminin ışık değişiminde tutulmalar belirgin olduğu için bu çalışma kapsamında ışık eğrisi analizleri yapılmıştır. Yörünge çözümü için sisteminin elde edilmiş ışık değişimi normalize akıya dönüştürülerek BVR süzgeçlerinde

eşzamanlı olarak modellendi. Bu işlem sırasında Phoebe (Prsa ve Zwitter, 2005) programı kullanıldı. Analiz sırasında baş yıldızın sıcaklığı ( $T_1$ ), albedolar ( $A_1, A_2$ ) ve kenar karama katsayıları sabit parametre kabul edilmiş; bileşen yıldızın sıcaklığı ( $T_2$ ), sistemin kütle oranı ( $q$ ), çift sistemin yörünge dönemi ( $P$ ), yörünge eğim açısı ( $i$ ), baş yıldızın görel ışıtması ( $L_1$ ) ve potansiyeller ( $\Omega_1, \Omega_2$ ) serbest parametre olarak alınmıştır. Işık eğrisi analizi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te hata miktarları ile birlikte sunulmuştur. Elde edilen çözümün gözlemler ile karşılaştırılması Şekil 4 te verilmiştir. Sistemlere ilişkin yapılan çalışmalar Aköz (2017) çalışmasında detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 4:** WR 155 örten çift sistemin değen ve yarı-ayrık çözüm sonuçları.

Parametre	Birim	Değen sistem	Yarı-ayrık sistem
$T_0$	Gün	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
$P$	Gün	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
$i$	o	□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□
$q$		□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□
$T_1$	K	□□□□□□	□□□□□□
$T_2$	K	□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□
$\Omega_1$		□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□
$\Omega_2$		□□□□□□□□□□□□□□	-
$L_1/(L_1+L_2)$		□□□□□□	□□□□□□
$B$	V	□□□□□□	□□□□□□
	R	□□□□□□	□□□□□□
$r_1$		□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□
$r_2$		□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□



**Şekil 4:** WR 155 çift sisteminin BVR renklerindeki ışık eğrilerinin analizi. Noktalar gözlemleri sürekli çizgi modeli göstermektedir.



*Bu çalışmada TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan T60 ve T100 teleskopları kullanılmıştır. Gözlem projelerine verilen destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz (Proje no: 15BT60-811).*

### **5. Kaynaklar**

- Aköz İ., 2017, “Örten Wolf-Rayet Çift Sistemleri”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi  
Beals C.~S., 1940, JRASC, 34, 169  
Bohannon B., Conti P.~S., 1976, ApJ, 204, 797  
Crowther, Paul A., 2007, ARA&A, 45, 177  
Gamen R.~C., Niemela V.~S., 2003, IAUS, 212, 184  
Hillier D.~J., 1987, ApJS, 63, 947  
Meynet G., Maeder A., 2005, A&A, 429, 581  
Lamontagne R., Moffat A.~F.~J., Drissen L., Robert C., Matthews J.~M., 1996, AJ, 112, 2227  
Rauw G., et al., 2005, A&A, 432, 985  
Shara M.~M., Faherty J.~K., Zurek D., Moffat A.~F.~J., Gerke J., Doyon R., Artigau E., Drissen L., 2012, AJ, 143, 149  
Smith L.~F., 1968, MNRAS, 141, 317  
Smith L.~F., Maeder A., 1989, A&A, 211, 71  
Smith L.~F., Shara M.~M., Moffat A.~F.~J., 1996, MNRAS, 281, 163  
Vanbeveren D., Conti P.~S., 1980, A&A, 88, 230  
van der Hucht, Karel A., 2001, NewAR, 45, 135  
van der Hucht K.~A., 2006, A&A, 458, 453