





Kısa-dönemli Örten Çift Sistem RT Andromedae'nın *UBVRI* Çok Renk Gözlemleri

Tuğçe İçli^{1,2,3}  , Dolunay Koçak^{1,2}  Kadri Yakut^{1,2} 

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

² Ege Üniversitesi, Ege Gravitasyonel Astrofizik Araştırma Grubu (eGRAVITY), 35100 İzmir, Türkiye

³ Max Planck Institute for Astrophysics, Karl-Schwarzschild-Str. 1, D-85748 Garching, Germany

Accepted: April 14, 2025. Revised: April 14, 2025. Received: December 6, 2024.

Özet

Kısa dönemli RS CVn türü aktif çift sistemler, özellikle soğuk yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybının önemli olduğu durumlarda, çift yıldız evriminin anlaşılmasında önemli bir rol oynar. RT And çift sistemi böylesi özelliklere sahip az sayıdaki sistemlerden biridir. Bu çalışmada 0.62 gün dönemli yakın çift sistem RT And'ın 2016-2020 yılları arasında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan 60 cm robotik teleskop ile *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* bandlarında elde edilen yeni gözlemler kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda sistemin gösterdiği (*U*–*B*), (*B*–*V*) ve (*V*–*R*) renk değişimleri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen yeni çok-renk fotometrik gözlemler ile dikine hızların ortak çözümünden sisteme ilişkin yörünge parametreleri elde edilmiştir.

Abstract

Short-period RS CVn-type active binary systems play a crucial role in understanding binary star evolution, particularly in cases where mass loss through cold stellar winds is significant. "RT And" binary system is one of the few systems with such properties. In this study, we analyze the 0.62-day period close binary system RT And using new observations obtained in the *U*, *B*, *V*, *R*, and *I* bands with the 60 cm robotic telescope at the TÜBİTAK National Observatory between 2016 and 2020. As a result of the analyses, the color changes of the system in (*U*–*B*), (*B*–*V*) and (*V*–*R*) were investigated. In addition, the orbital parameters of the system were obtained from the simultaneous solution of the new multicolor photometric observations and the radial velocities.

Anahtar Kelimeler: binaries: close – binaries: eclipsing – stars: late-type – stars: activity – stars: fundamental parameters – stars: individual: RT And

1 Giriş

Yıldızların yapısı ve evrimi modern astrofiziğin araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Güneş benzeri (geri tür) tek bir yıldızın evrimi ile bir çift sistem üyesi olan yıldızların evrimi farklı süreçlere bağlı olarak gelişir (Hurley ve diğ. 2002; Yakut & Eggleton 2005; Eggleton & Yakut 2017). Çift sistemin sahip olduğu bileşenler arasında gerçekleşen kütle transferi, yıldızdan kaçan plazmanın neden olduğu kütle kaybı, açıl momentum kaybı, ortak zarf evresi gibi süreçler başta sistemin yörünge evrimi olmak üzere bileşenlerin evrimini de ayrı ayrı etkiler (Iben & Livio 1993; Eggleton 2006; Yakut ve diğ. 2008). Çift yıldız evriminde anakol evrimine ayrık olarak başlayan yakın sistemler zamanla önemli fiziksel süreçler sonunda yarı-ayrık ve değen aşamaya geçebilir. Bu geçiş hem düşük kütleli hem de büyük kütleli V382 Cyg (Yaşarsoy & Yakut 2013), OO Aql (İçli ve diğ. 2013), KIC 2306740 (Koçak ve diğ. 2021), V568 Lyr (Yakut ve diğ. 2015), RT And (İçli ve diğ. 2025) gibi sistemler için yapılan korunumsuz evrim modelleri ile başarılı bir şekilde temsil edilmiştir.

Kütle, yarıçap, ısıtma ve kimyasal bolluk gibi temel yıldız parametreleri iyi bilinen yıldızlar özellikle çift sistem olması durumunda yıldız evrim teorisi için temel ve bağlayıcı test olanağı sağlar. Bu bilgilerin bilinen en doğru ölçülmüş

sonuçları ayrık ve çift-çizgili örten çiftlerden gelir. Bu nedenle, parametrelerin belirlenmesi için çift sistemlerin tayfsal ve fotometrik gözlemlerine sahip olmak oldukça önemlidir. Genellikle bileşenlerin yörünge ayrıklığının küçük olduğu (1 günden daha küçük yörünge dönemine sahip) yakın-etkileşen çiftler aktif çift sistemlerin özel bir sınıfını oluşturan RS CVn çiftlerini (Hall 1976) kapsamaktadır. Kısa dönemli RS CVn türü sınıfında bulunan RT Andromedae (BD +52 3383a, α : 23^h11^m10^s, δ : +53°01'33") yüksek yüzey aktivitesi ve flare sergileyen ayrık ve örten bir çift sistemdir. Işık değişimi 20. yüzyılın başlarından bu yana bilinen (Deichmüller 1901) çift sistem 0.629 gün yörünge dönemine sahip F8V ve G0-K1-3V tayf türünde iki anakol bileşenden oluşmaktadır (Payne-Gaposchkin 1946).

İlk ışık eğrisi Zinner (1915) ve Jordan (1929) tarafından yayınlanmış olan çift sistemin günden güne ve yıldan yıla değişkenlik gösteren fotoğrafik ve fotoelektrik ışık değişimleri farklı yazarlar tarafından (Zeilik ve diğ. 1989; Pribulla ve diğ. 2000; Erdem ve diğ. 2001, ve buradaki referanslar) doğrulanmıştır. Aktif çift sistemin ışık eğrilerinde görülen dalgalanmalar çevrimsel lekelerin varlığı ile açıklanmış (Pribulla ve diğ. 2000; Kjurkchieva ve diğ. 2001) ve sıcak bileşenin yüzeyindeki lekelerin genellikle 90° ve 250° aktif boylamlarında toplandığı sonucuna varılmıştır (Yakut 2001). Sistemin son dönem *BVRI* ışık eğrilerinin analizi sonucu aktif bölgelerin evrimi 6.69 yıllık bir aktivite çevrim uzunluğu ile tartışılmıştır

* tugce.icli@mail.ege.edu.tr

(Zhang & Gu 2007). Gözlemsel olarak çok çalışılmış olan bu çift sistemin bazı fiziksel ve yörünge parametreleri Kjurkchieva ve diğ. (2001) tarafından; $i=82\pm 0.1$ derece, $K_1=130 \text{ km s}^{-1}$, $K_2=175.8 \text{ km s}^{-1}$, $T_1=6150 \text{ K}$, $T_2=4920 \text{ K}$, $M_1=1.23 M_{\odot}$, $M_2=0.91 M_{\odot}$, $q=0.74$ olarak elde edilmiştir. Parlak bir sistem olan RT And'ın uzaklığı HIPPARCOS (Popper 1998) ve yıldızlararası soğurmanın olmadığı koşulda (Pribulla ve diğ. 2000) sırası ile $d=75\pm 6 \text{ pc}$ ve $d=83\pm 2 \text{ pc}$ olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında RT And çift yıldızının yeni elde edilen fotometrik gözlemleri ele alınmış ve bileşen yıldızların hassas parametrelerinin tayini amaçlanmıştır. §2'de çift sistemin yeni elde edilen optik gözlemleri hakkında bilgi verilmiştir. §3'te sistemin ışık ve dikine hız modellemesi ele alınmıştır. Sisteme ilişkin elde edilen hassas yörünge parametrelerinin sonuçları §4'te sunulmuş ve tartışılmıştır.

2 Yeni TUG T60 UBVRİ Gözlemleri

Yaklaşık bir asırlık ışık değişimi bilinen örten çift sistem RT And'ın bu çalışma kapsamında uzun dönemli çok-renk (UBVRİ) gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (TUG) 2016-2020 yılları arasında 0.6 m çaplı robotik teleskop kullanılarak elde edilmiştir. Sistemin ışığı üçer aylık takip süreleri ile 2016D ve 2020C gözlem dönemleri arasında Bessell U , B , V , R ve I bandlarında 1, 5, 20 ve 60 s arasında değişen poz sürelerinde incelenmiş ve 3299 gözlem noktası elde edilmiştir.

Yeni elde edilen uzun dönemli fotometrik gözlemlerin indirgenmesi sırasında sistem için daha önce literatürde de kullanılan mukayese yıldızları dikkate alınmıştır. Değişen yıldız ve kullanılan mukayese yıldızlarına ilişkin koordinat, parlaklık ve tayf türü bilgisi Çizelge 1'de sunulmuştur. T60 ile yapılan gözlemlerin indirgeme işlemleri her bir gözlem dönemi (3'er aylık dönemler) dikkate alınarak uygun bias, dark ve flat görüntüleri kullanılarak fark fotometrisi (V-C) yöntemi ile ve zaman düzeltmesi yapılarak ele alınmıştır (Koçak ve diğ. 2021; Çokluk ve diğ. 2019; İçli ve diğ. 2013). Veri indirgenmesi sırasında IRAF/APPHOT paketi ve AstroImageJ (Collins ve diğ. 2017) programı kullanılmıştır.

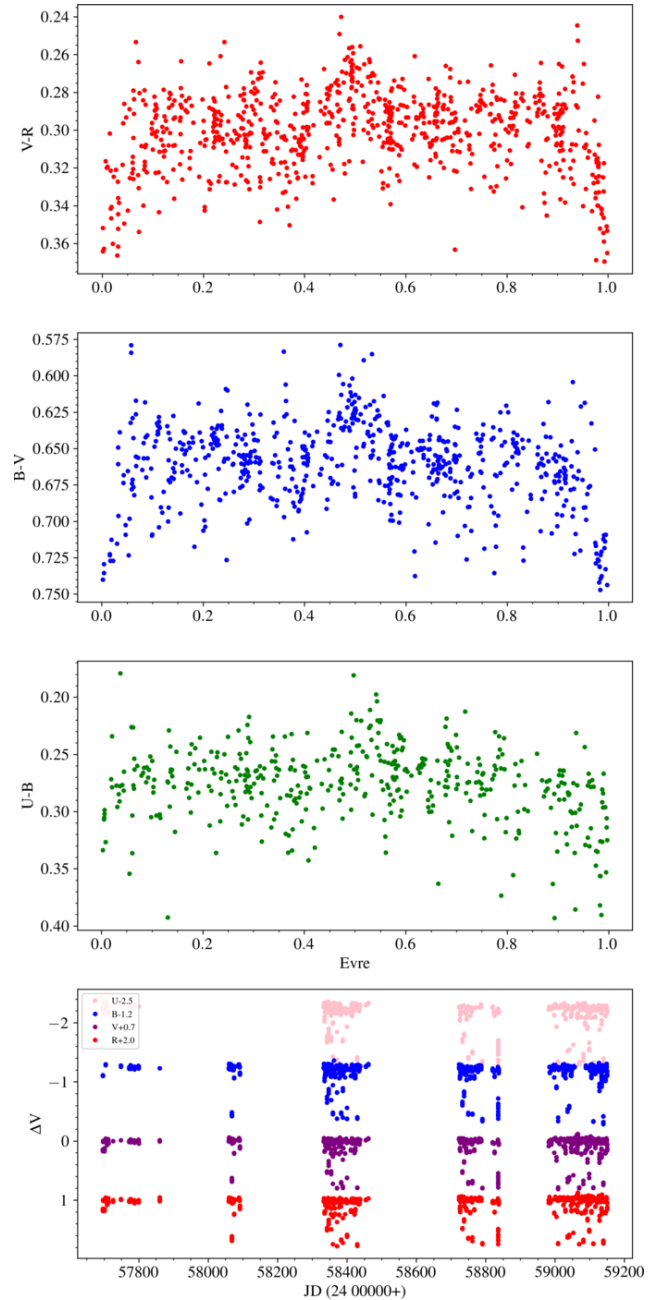
Aktif yakın çift sistem RT And'ın bu çalışmada elde edilen uzun dönemli T60 sonuçları ($U-B$), ($B-V$) ve ($V-R$) renk ölçekleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Yapılan gözlemler dikkate alındığında mukayese yıldızlarının önemli bir değişim sergilemedikleri görülmüştür. Sistemin T60 gözlemlerinde elde edilen çok-renk fotometrinin renk indeksleri ($U-B$), ($B-V$), ($V-R$) incelendiğinde maksimum evrelerde (0.25-0.75) küçük dalgalanmalar görülmektedir, baş minimum (min I) evresinde parlaklıkta düşme görülürken yan minimum (min II) evresinde parlaklıkta artma görülmüştür. Bu da bize bileşen yıldızların yüzeyinde farklı aktivite süreçlerinin gerçekleştiği hakkında ipucu vermektedir. Elde edilen ilk sonuçlar İçli (2023)'te tartışılmıştır.

3 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Analizi

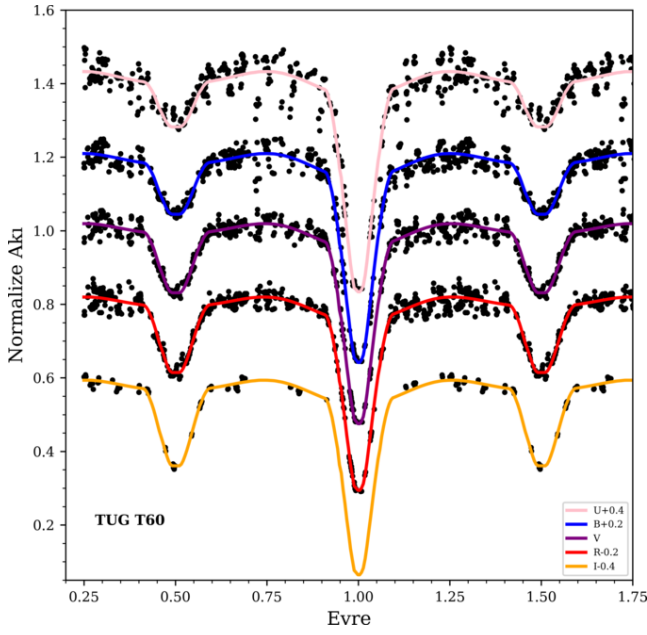
Bu çalışma kapsamında yeni elde edilen çok-renk TUG T60 ışık değişimleri analiz edilmek üzere normalize edilmiştir. Sistemin dikine hız eğrileri daha önce Wang & Lu (1993); Popper (1994); Gunn ve diğ. (1996) tarafından elde edilmiştir. Sentetik model sırasında hem dikine hız gözlemleri hem de yeni elde edilen çok-renk fotometrik veri setleri kullanılmıştır. Modelleme bu amaçla sıklıkla kullanılan PHOEBE (Prša & Zwitter 2005)

Çizelge 1. RT And çift sisteminin T60 gözlem verisinin indirgenmesinde kullanılan mukayese yıldız bilgileri. Değerler Simbad veri tabanından alınmıştır.

| TYC 3998- | α | δ | B | V | Tayf Türü |
|-----------|-------------|--------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 2167-1 | 23 11 10.09 | +53 01 33.03 | 9 ^m 58 | 9 ^m 04 | F8V +G0-K1-3V |
| 2415-1 | 23 11 17.88 | +52 59 59.23 | 10 ^m 18 | 10 ^m 01 | A3 |
| 1794-1 | 23 11 22.86 | +52 57 56.50 | 10 ^m 19 | 9 ^m 75 | A3 |
| 2231-1 | 23 11 26.65 | +53 01 53.31 | 12 ^m 40 | 10 ^m 97 | |
| 2343-1 | 23 11 14.02 | +53 06 23.58 | 11 ^m 34 | 11 ^m 41 | |



Şekil 1. RT And'ın TUG-T60 teleskobuyla elde edilen uzun dönemli çok-renk ışık değişimi (en alt panel), ($U-B$), ($B-V$) ve ($V-R$) renk ölçeği diyagramları (üst panel).



Şekil 2. RT And sisteminin TUG T60 ile yeni elde edilmiş UBVRİ bandlarındaki gözlemler (siyah noktalar) ve en uygun sentetik modeller (düz çizgiler). Modeller sırası ile pembe (U), mavi (B), mor (V), kırmızı (R) ve sarı (I) renkleri ile gösterilmiştir.

programı ile yapılmıştır. Çözüm sırasında albedolar (A_1 , A_2) (Ruciński 1969), çekim karamaları (g_1 , g_2) (Lucy 1967), kenar karamaları (van Hamme 1993) ve baş bileşenin sıcaklığı sabit değerler olarak alınmıştır. Bunlara karşın, yoldaş yıldızın sıcaklığı (T_2), yörünge dönemi (P), yörünge eğim açısı (i), potansiyeller ($\Omega_{1,2}$) ve kütle oranı (q) serbest parametre olarak alınmıştır.

RT And gibi aktif bileşenlere sahip çift yıldız sistemlerinde, leke ve parlama (flare) gibi manyetik aktivite kaynaklı homojen olmayan yapılar, ışık eğrilerinde asimetrilere neden olabilir. Bu durum, farklı gözlem dönemlerinde elde edilen ışık eğrisi çözümlerinde parametrelerde küçük farklılıkların ortaya çıkmasına yol açar. Hafta veya ay mertebesinde yapılan gözlemlerde bu tür asimetri beliren şekilde gözlenebilirken, yıl mertebesinde yapılan gözlemlerde ise bu değişimler, Şekil 2'de görüldüğü gibi bir band yapısı şeklinde kendini gösterir. Bu nedenle, ışık eğrileri modellenirken leke yaklaşımı kullanılmamış, bunun yerine ortalama ışık eğrisi çözümü tercih edilmiştir. Analiz sonucunda sistemin elde edilen parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çiftin yeni gözlemleri ile model arasındaki uyum Şekil 2'de gösterilmiştir.

4 Sonuçlar ve Tartışmalar

Yıldız iç yapı ve evrimini çalışmada çift yıldızlar önemli bir role sahiptir. Temel astrofiziksel problemler olan kütle ve açısal momentum kaybı gibi süreçlerin araştırılması, korunumlu ve korunumsuz evrim modellerinin testi ve yörünge değişimine neden olan fiziksel süreçlerin incelenmesi için fiziksel parametrelere ihtiyaç vardır ve bunun için de sistemin örtün ve çift çizgili olması gereklidir.

Bu çalışma kapsamında seçilen anakol bileşenlerden oluşan yakın etkileşen çift sistem RT And'ın gözlemsel çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda, çift yıldızın TUG T60 teleskobuyla

Çizelge 2. RT And çift sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi analizi sonucu elde edilen yörünge parametreleri. 1 ve 2 indisleri sırasıyla sıcak ve soğuk bileşeni temsil etmektedir.

| Parametre | Birim | Değer (hata) |
|---------------------------------|---------------|----------------|
| T_0 | (JD-2400000) | 58461.3387(10) |
| P | (gün) | 0.628929(1) |
| i | ($^\circ$) | 86.6(3) |
| Ω_1 | | 3.922(5) |
| Ω_2 | | 4.455(6) |
| q | (m_2/m_1) | 0.754(7) |
| T_1 | (K) | 6150(200) |
| T_2 | (K) | 4747(90) |
| l_2/l_{1+2} | (B) | %12.3 |
| l_2/l_{1+2} | (V) | %14.5 |
| l_2/l_{1+2} | (R) | %16.8 |
| Sıcak bileşenin görelî yarıçapı | (R_1/a) | 0.3266(9) |
| Soğuk bileşenin görelî yarıçapı | (R_2/a) | 0.2297(6) |

UBVR bandlarında 2016-2020 yıllarında yeni uzun dönemli gözlemleri elde edilmiştir. Bu gözlem veri setleri hassas bir şekilde indirgenmiş ve sistemin çok-renk ışık değişimleri elde edilmiştir. Sistemin mevcut dikine hız verisi ile sentetik ışık eğrisi modeli bu çalışma kapsamında yeniden yapılmış ve eş zamanlı çözüm sonucu elde edilen hassas yörünge parametreleri Çizelge 2'de sunulmuştur. $i=86.6$ derece olduğu durumda; $T_1=6150$ K, $T_2=4747$ K ve $q=0.754$ olarak belirlenmiştir. Uzun dönemli gözlemlerin analizi sonucu elde edilen yeni parametreler daha önce Pribulla ve diğ. (2000); Ekmekçi ve diğ. (2002); Zhang & Gu (2007) gibi daha kısa dönemli zaman ölçeklerinde elde edilen yörünge parametreleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Literatürdeki çalışmalarda, yörünge parametreleri genellikle kısa zaman aralıklarında elde edilen ışık eğrilerinin, yıldız yüzeyinde leke bulunduğu varsayımıyla çözümlenmesiyle elde edilmiştir. Ancak lekelerin tek ve belirgin bir çözümünün bulunmaması, bu çalışmada olduğu gibi ortalama ışık eğrilerine dayalı analizleri daha güvenilir ve avantajlı hale getirebilir.

Bir asrı aşkın fotometrik gözlem takibi ile RT And'ın yeni elde edilen TUG gözlemleri (İçli 2023) ve hassas uydu veri setlerinin analizi bize yörünge ve fiziksel parametrelerin daha hassas belirlenmesi olanağını sunmuştur. Bu aşamada buradan elde edilen hassas parametre sonuçları ile RS CVn türü hedef sistemin korunumsuz evrim yaklaşımlarının oluşturulması ile yıldız evrim modellerinin testinin sağlanması hedeflenmektedir (İçli ve diğ. 2025).

Teşekkür

Bu çalışma 117F188 ve 119F077 nolu TÜBİTAK projeleri tarafından desteklenmiştir. T.İ. BİDEB 2211-C ve 2214-A burslarından dolayı ve 18AT60-1298 ve 18AT60-1301 proje numaralı T60 teleskobunun kullanımındaki kısmi desteği için Türkiye Ulusal Gözlemevleri'ne, bilimsel ziyareti süresince desteklerinden dolayı Max-Planck Astrofizik Enstitüsü'ne ve S. de Mink'e teşekkür eder.

Kaynaklar

- Collins K. A., Kielkopf J. F., Stassun K. G., Hessman F. V., 2017, *AJ*, 153, 77
 Deichmüller F., 1901, *Astronomische Nachrichten*, 157, 31
 Eggleton P., 2006, *Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars*. CUP
 Eggleton P. P., Yakut K., 2017, *MNRAS*, 468, 3533

- Ekmekçi F., Özeren F. F., Ak H., 2002, *Astronomische Nachrichten*, 323, 31
- Erdem A., Demircan O., Güre M., 2001, *A&A*, 379, 878
- Gunn A. G., Hall J. C., Lockwood G. W., Doyle J. G., 1996, *A&A*, 305, 146, [ADS](#)
- Hall D. S., 1976, in Fitch W. S., ed., *Astrophysics and Space Science Library Vol. 60, IAU Colloq. 29: Multiple Periodic Variable Stars*. p. 287, [doi:10.1007/978-94-010-1175-4_15](#)
- Hurley J. R., Tout C. A., Pols O. R., 2002, *MNRAS*, 329, 897
- Iben Icko J., Livio M., 1993, *PASP*, 105, 1373
- İçli T., 2023, Ph.d. thesis, University of Ege, Bornova, İzmir
- İçli T., Koçak D., Boz G. Ç., Yakut K., 2013, *AJ*, 145, 127
- İçli T., Koçak D., de Mink S., Yakut K., 2025, A century of observations and non-conservative evolutionary modelling of the RT Andromedae multiple system, in preparation, to be submitted to *MNRAS*
- Kjurkchieva D. P., Marchev D. V., Ogloza W., 2001, *Astronomy and Astrophysics*, 378, 102
- Koçak D., Yakut K., Southworth J., Eggleton P. P., İçli T., Tout C. A., Bloemen S., 2021, *ApJ*, 910, 111
- Lucy L. B., 1967, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89, [ADS](#)
- Payne-Gaposchkin C., 1946, *ApJ*, 103, 291
- Popper D. M., 1994, *AJ*, 108, 1091
- Popper D. M., 1998, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110, 919
- Pribulla T., Chochol D., Milano L., Errico L., Vittone A. A., Barone F., Parimucha Š., 2000, *Astronomy and Astrophysics*, 362, 169, [ADS](#)
- Prša A., Zwitter T., 2005, *ApJ*, 628, 426
- Ruciński S. M., 1969, *Acta Astronomica*, 19, 245, [ADS](#)
- Wang X. M., Lu W., 1993, in Leung K.-C., Nha I.-S., eds, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 38, New Frontiers in Binary Star Research*. p. 280
- Yaşarsoy B., Yakut K., 2013, *AJ*, 145, 9
- Yakut K., 2001, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir
- Yakut K., Eggleton P. P., 2005, *ApJ*, 629, 1055
- Yakut K., Kalomeni B., Tout C. A., 2008, preprint, ([arXiv:0811.0455](#))
- Yakut K., Eggleton P. P., Kalomeni B., Tout C. A., Eldridge J. J., 2015, *MNRAS*, 453, 2937
- Zeilik M., Cox D. A., de Blasi C., Rhodes M., Budding E., 1989, *ApJ*, 345, 991
- Zhang L.-Y., Gu S.-H., 2007, *Astronomy and Astrophysics*, 471, 219
- Çokluk K. A., Koçak D., İçli T., Karaköse S., Üstündağ S., Yakut K., 2019, *MNRAS*, 488, 4520
- van Hamme W., 1993, *AJ*, 106, 2096

Access:M25-0342: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.