





Galaktik Açık ve Küresel Kümelerdeki Çift Sistemler

Dolunay Koçak¹  , Tuğçe İçli¹ , Kadri Yakut¹ 

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

Accepted: January 18, 2023. Revised: January 10, 2023. Received: November 13, 2022.

Özet

Bu çalışmada, Güneş yaşına ve Güneş kimyasal bolluğuna sahip M67 açık kümesi, genç bir açık küme olan M35 ve metalce farklılık gösteren M71 küresel kümesinde bulunan çift sistemlerin fotometrik çalışması yapılmıştır. Gözlemlerin analizinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan teleskoplardan ve Kepler uydu teleskobundan elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Seçilen Galaktik kümelerdeki tutulma gösteren küme üyesi yakın çift sistemlerin ışık eğrisi analizi yapılmış ve yörünge parametreleri elde edilmiştir.

Abstract

In this study, photometric studies of binary systems in the M67 open cluster with Solar age and Solar chemical abundance, M35, a young open cluster, and M71, a metal-rich globular cluster, were performed. In the analysis of the observations, data sets obtained from the telescopes of the TÜBİTAK National Observatory (TUG) and the Kepler satellite telescope were used. Light curves analysis of eclipsing binary systems in the selected Galactic clusters was performed, and orbital parameters were obtained.

Anahtar Kelimeler: Galactic clusters – globular clusters – open clusters – M67 – M35 – M71 –binary stars–eclipsing binaries

1 Introduction

Galaktik açık ve küresel kümeler bir asırdan daha uzun süredir gözlemsel çalışmalara konu olmuş ve son üç çeyrek yüzyılda da tek ve çift yıldızların evrim kuramları açısından detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Günümüzde kümelere ve küme üyesi değişen yıldızlara ilişkin çalışmalar, Yer konumlu teleskoplar ve Kepler (Koch ve diğ. 2010), TESS (Ricker ve diğ. 2015), Gaia (Gaia Collaboration ve diğ. 2016) gibi uzay konumlu teleskoplar ile ivme kazanmıştır. Kümelerin dinamik evrimi bize galaksilerin oluşumları ve evrimleri hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. Bu bağlamda yıldız kümeleri yıldız evrim kuramlarını ve yıldız kümelerinin dinamik evrimlerini test etmek ve kalibre etmek için ideal ortamlardır.

Tipik bir açık ve küresel küme Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramında çok farklı özelliklere sahip (kütle, yarıçap, ısıtma sınıfı vb.) tek ve çift yıldızları barındırır. Küresel ve açık kümelerde var olan farklı popülasyonların oluşumunu incelemek kümenin nasıl evrimleşeceği hakkında yorum yapabilmemiz için oldukça önemlidir. Örneğin küresel kümelerde gözlenen farklı yıldız popülasyonlarının oluşum senaryolarından birinin çok büyük kütleli yıldızlar olduğu düşünülmektedir (Koçak 2023a). Yıldızlar üzerine yapılan gözlemsel çalışmalar, yıldızların tek, çift, çoklu veya bir kümeye ait durumda bulunabildiklerini ortaya koymuştur Eggleton & Tokovinin (2008); Lada (2006); Fischer & Marcy (1992); Duquennoy ve diğ. (1991). Çift ve çoklu sistemlerin oluşum sürecindeki başlangıç koşulları ilerleyen evrim aşamalarında farklı türlere sahip yıldızların oluşmasında rol oynar. Çift veya çoklu yıldız sistemlerinin fotometrik ve tayfsal olarak elde edilen gözlemleriyle böylesi sistemlere ait yörünge öğelerini ve salt parlaklık, ısıtma, sıcaklık gibi fiziksel parametrelerini

hassas bir şekilde elde edebiliriz. Yıldızlara ilişkin elde ettiğimiz yörünge ve fiziksel parametreler kullanılarak böylesi sistemlerin nasıl oluştukları, nasıl evrimleştikleri ve evrimleri boyunca hangi fiziksel süreçlerden geçerek yaşamlarının son bulacağına ilişkin çok önemli bilgilere ulaşabiliriz. Bu bağlamda, küme üyesi sistemleri çalışarak, tek, çift ve çoklu yıldız sistemlerinde açısal momentum problemi, bileşen yıldızlar arasındaki madde transferi, madde kaybı, Kozai-Lidov çevriminin evrime etkisi (Naoz 2016; Toonen ve diğ. 2016) ve çekimsel ışıma (Koçak & Yakut 2016; İçli & Yakut 2016) gibi bir çok temel astrofiziksel problemleri detaylı ele almamız mümkündür. Yıldız kümelerine ait olan tek, ikili ve çoklu yıldızların Yer'den neredeyse aynı uzaklıkta olmaları, benzer kimyasal bolluklara sahip olmaları ve birinci nesil yıldızlarının benzer yaşlarda olmaları gibi ortak özellikleri onları yıldız evrim çalışmalarında değerli kılar. Bu benzerliklere ek olarak küme üyesi yıldızların farklı türlerde ve farklı kütlelere sahip olmaları kümeleri evrim açısından daha da değerli yapar.

Kümelerdeki çift yıldızlar yine yukarıda sözü edilen temel astrofiziksel süreçleri çalışmak için iyi birer test merkezleridir. Küme üyesi çift yıldız sistemleri kullanarak kümeye ve küme değişen yıldızlarına yönelik literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Yakut ve diğ. 2003; Pigulski ve diğ. 2007; Yakut ve diğ. 2015a; Tarasov ve diğ. 2016; Koçak ve diğ. 2020). Özellikle yakın çift sistemlerdeki yakınlık etkileri ve buna bağlı olarak ayırık, yarı-ayırık ve değen çift sistemlerin evrim senaryoları yine bu bağlamda çok değerli laboratuvarlardır (Yakut & Eggleton 2005). Örneğin yarı-ayırık ve değen evrede bileşen yıldızlar arasındaki madde transferi özellikle de kütle oranlarının çok düşük olduğu (Qian 2001; Selam ve diğ. 2005; Ulaş ve diğ. 2012; Yaşarsoy & Yakut 2013) durumda yörünge dönemi ve bileşenlerin evrimi hızla değişiklik gösterir (Yakut & Eggleton 2005).

Galaksimizde 3000 den fazla açık küme bulunmakta

* dolunay.kocak@gmail.com

olup nispeten genç yıldızlardan oluşmaktadır. Bilinen en yaşlı açık küme NGC 6791 olup yaşı **Yakut ve diğ. (2015b)** tarafından 7.7×10^9 yıl olarak belirlenmiştir. Be 17 ve NGC 188 (**Phelps 1997; Meibom ve diğ. 2009**) ise galaktik diğ.er yaşlı küme örnekleridir. Bir çok evrim çalışmalarına ve fotometrik çalışmalara konu olmuş ve fiziksel özellikleri (yaş, kimyasal bolluk vb.) en iyi bilinen açık kümelere bir diğ.er örnek ise M67 dir (**Johnson & Sandage 1955; Racine 1971; Sanders 1977; Belloni ve diğ. 1998a,b; Gilliland ve diğ. 1991, 1993; Sandquist & Shetrone 2003; Pribulla ve diğ. 2008; Yakut ve diğ. 2009; Landsman ve diğ. 1998; Jadhav ve diğ. 2019**). Küme fiziksel özelliklerini en iyi bildiğimiz Güneş'e yakın yaşta ve Güneş'e benzer kimyasal bolluğa sahip olması nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir (**Yakut ve diğ. 2009; Pasquini ve diğ. 2008**). Kümenin böyle bir özel duruma sahip olması yıldız evrim modellerinin test edilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. M67, Galaksimizdeki birkaç orta-yaşlı (~ 4 Gyr) ve farklı türlerde (X-ışın çiftleri, Kataklişik değışenler, değ. en sistemler, mavi aykırılar vb.) çok sayıda çift yıldız sistemi barındıran zengin açık kümelerden biridir (**Fan ve diğ. 1996; Davenport & Sandquist 2010**). Bu nedenle yıldız evrimi ve küme çalışmalarının odak noktasında yer almaktadır. Küme Yer'den yaklaşık 840 pc uzaklıkta bulunur. M67 açık kümesi AH Cnc gibi değ. en, EV Cnc gibi yarı-ayrık ve ES Cnc gibi aktif, ayrık küme üyesi çift sistemlere ev sahipliği yapmaktadır. ES Cnc'nin yanısıra SAND 1113, SAND 999, SAND 747 gibi aktif çift sistemleri de barındırmaktadır.

Bir diğ.er açık küme örneği kuzey yarım kürede bulunan Messier 35 (M35) olarak da bilinen NGC 2168 kümesidir. Zengin yıldız popülasyonuna sahip olması nedeniyle keşfedildiğinden günümüze kadar çok fazla çalışmaya konu olmuş bir kümedir **Smart (1925); Trumpler (1930); Cudworth (1971); McNamara & Sekiguchi (1986); Sung & Bessell (1999); von Hippel ve diğ. (2002); Kalirai ve diğ. (2003); Meibom ve diğ. (2009); McNamara ve diğ. (2011); Leiner ve diğ. (2015); Koçak ve diğ. (2020)**. Kümenin yaşı ve uzaklığı yapılan çalışmalarda farklı tahminleri beraberinde getirmiştir (**Reimers & Koester 1988**). **Sung & Bessell (1999)** kümenin uzaklığını 832 pc ve yaşını beyaz cüce soğuma yolunu kullanarak 70-100 Myr aralığında bulmuşlardır. Buna karşın **Sung & Bessell (1999)**, (**Kalirai ve diğ. 2003**), (**Meibom ve diğ. 2009**) ve (**Meibom ve diğ. 2009**) sırası ile 200 Myr, 180 Myr, 134-161 Myr, ve 134-161 Myr olarak bulmuşlardır. M35, Hyades'ten daha genç ve Pleiades'den daha yaşlı fakat küme popülasyonu olarak daha kalabalıktır. Küme 2MASS J06100186+2405498 gibi değ. en 2MASS J06092044+2415155 gibi yarı ayrık ve 2MASS J06085327+2428371 gibi ayrık bir çok farklı türde yıldız sistemine ev sahipliği yapmaktadır.

Galaktik küresel kümeler genellikle bir milyondan fazla yıldız barındıran farklı popülasyonlara sahip yaşlı yıldız sistemlerini içerir. Küresel kümeler yıldız yoğunluğunun fazla olması nedeniyle yıldız etkileşimlerinin ve çarpışmaların oldukça sık olduğu ortamlardır. Küresel kümeler mavi aykırı yıldızlar, X-ışın çiftleri ve milisaniye pulsarları gibi egzotik nesnelere popülasyonlarını oluşturan dinamik olarak aktif ortamlardır (**Paresce ve diğ. 1992; Baily 1995; Ferraro ve diğ. 1995, 2009**). Bu nedenle küresel kümeler yıldızların evrimi ve yıldız dinamikleri arasındaki etkileşimi araştırma açısından önemli bir rol oynar (**Baily 1995**). Benzer durum daha az çarpışma olasılığı olan açık kümeler için de söylenebilir. Galaktik bir küresel küme olan NGC 6121 1.8 kpc (**Kaluzny & Radczynska 1991; Braga ve diğ. 2015**) ile bize en yakın küresel kümedir.

Kuzey yarım küre enleminde bulunan 4 kpc uzaklığında olan M71 küresel kümesi galaksimizdeki görel olarak yaşlı ve metal bakımından oldukça zengin kümeler arasındadır. Kümenin yaşı farklı araştırmacılar tarafından farklı değ. erlerde elde edilmiştir. M71, ayrık çift yıldızlar, değ. en sistemler, X-ışın çiftleri, mavi aykırı yıldızlar, milisaniye pulsarları ve kataklişik değışenler gibi bir çok egzotik türe ev sahipliği yapması farklı yıldız türlerinin evrimini aynı yerde inceleme imkanı sunmasının yanısıra kimyasal bolluk değışimlerini de inceleme açısından uygun bir laboratuvardır.

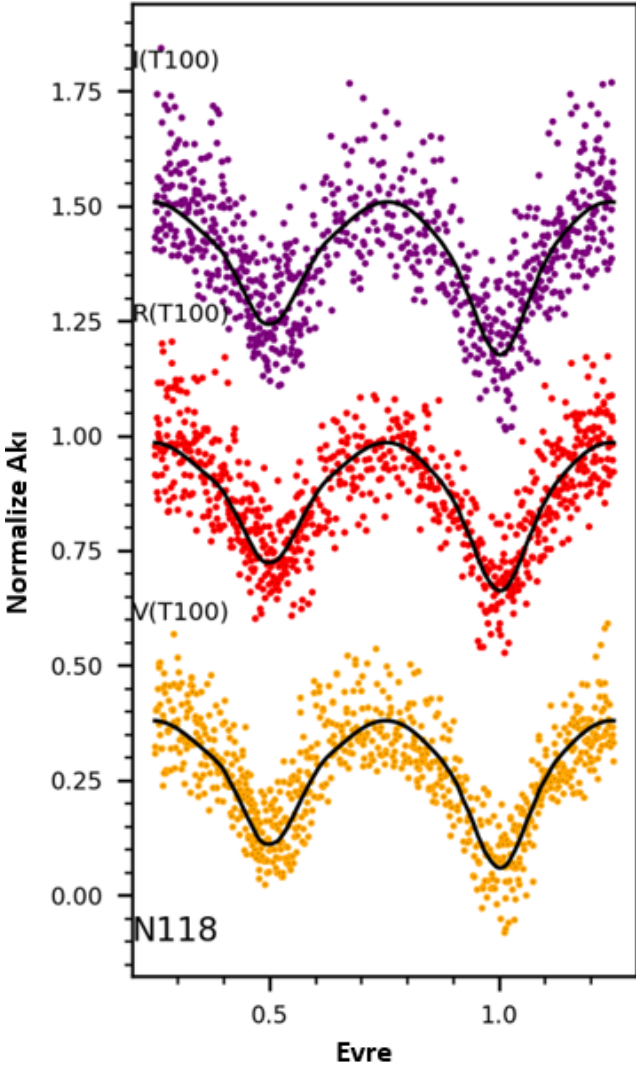
2 Gözlemler ve İndirgeme

Çalışma kapsamında incelenen galaktik kümelerin çok-renk CCD gözlemleri sistemlerin gözlenebilirlik durumları ve parlaklık sınırları uygun olanları TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG, Antalya) bulunan 60-cm ayna çapına sahip robotik T60 ve 100-cm ayna çapına sahip T100 teleskopları kullanılarak elde edilmiştir.

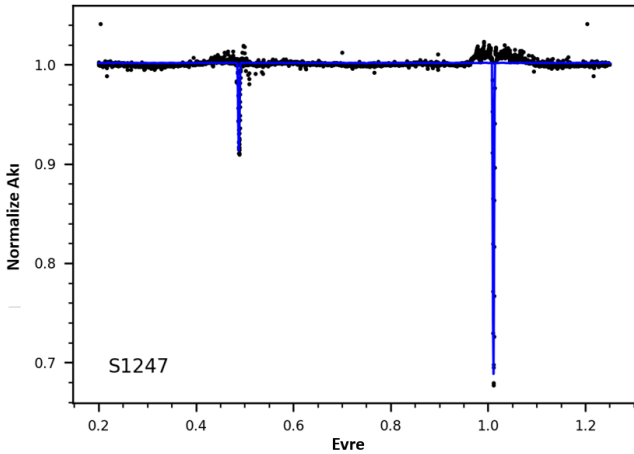
M71, M35 ve M67 kümelerinin gözlemleri T100 teleskobu kullanılarak sırası ile 13, 20 ve 4 gece Bessel (**Bessell 1979**) V, R ve I süzgeçlerinde yapılmıştır. T100 gözlemlerinin dışında hedef kümelerin T60 teleskobu ile 2018-2021 arasında 3 yıl süresince Bessel B, V ve R süzgeçleri kullanılarak fotometrik takibi yapılmıştır. Gözlemler sırasında T60 teleskobu için FLI ProLine 3041-UV CCD ve Andor iKon-L 936 BEX2-DD modeli CCD ve T100 teleskobu için ACE RC1.0 modeli CCD kullanılmıştır. FLI ProLine 3041-UV CCD kamerasının pixel boyutu: 15×15 mikron, kazancı $1.21 e^- ADU^{-1}$, gürültü $10 e^- pixel^{-1} s^{-1}$ dir. Andor iKon-L 936 BEX2-DD kamerasının ise pixel boyutu: 13.5×13.5 mikron, kazancı $1.1 e^- ADU^{-1}$, okuma gürültüsü: $6.9 e^- rms$ dir. ACE RC1.0 CCD kamerasının boyutu 15×15 mikron, kazancı $0.57 e^- ADU^{-1}$, okuma gürültüsü $4.11 e^- rms$ dir.

Elde edilen CCD gözlemlerinin indirgeme işlemleri IRAF/PHOT/DAOPHOT ve AstromageJ (**Collins ve diğ. 2017**) programları kullanılarak yapılmıştır. İndirgeme işlemleri sırasında, gözlem gecelerinde elde edilen FLAT, DARK, BIAS görüntüleri kullanılarak arındırma işlemleri yapıp değış. en sistemlerin ışık eğrilerini elde etmek için fark fotometrisi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmamızda TUG teleskoplarından elde edilen veri setlerinin dışında Kepler uydu teleskobu tarafından elde edilen veri setleri de kullanılmıştır. Kepler gözlemlerinin daha hassas olmasına karşın çok renk olmaması bir eksiklik olarak görülebilir. Buna karşın Yer konumlu teleskoplar ile yapılan çok renk fotometrik gözlemler başta yıldızların sıcaklığı olmak üzere bazı parametreleri daha hassas bir biçimde elde etme olanağı sağlar. Bu nedenle hem uydu hem de Yer konumlu teleskoplar ile elde edilen veri setleri önemlidir. Kepler gözlemlerinin arındırma işlemleri daha önce yaptığımız çalışmalarda (**Koçak ve diğ. 2020; Çokluk ve diğ. 2019**) uyguladığımız metodlar takip edilerek yapılmıştır.

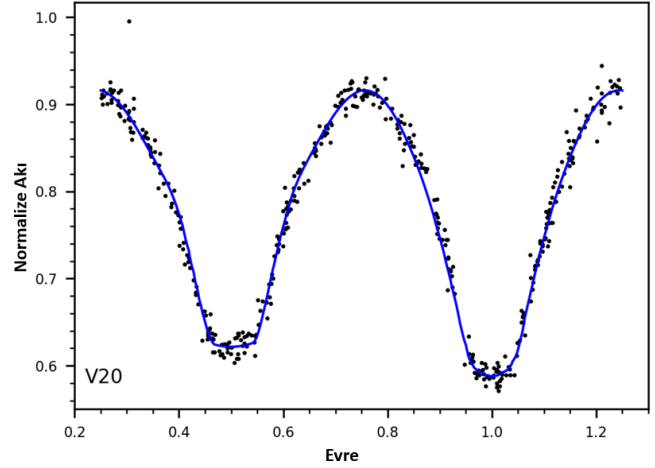
Tez çalışması kapsamında seçilen açık ve küresel kümelerde bulunan çok sayıda çift sisteme ilişkin yapılan gözlemler ile yeni veri setleri elde edildi (**Koçak 2023b**). Yapılan çalışmada elde edilen ışık değışimleri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 1, M35 açık kümesinde bulunan 2MASS J06084775 örten sistemine ait ışık değışimini göstermektedir. M67 kümesinde bulunan ayrık sistem WOCs 12009 Şekil 2'de ve son olarak M71 küresel kümesinde bulunan V20 değ. en çift sistemin ışık değışimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 1. M35 küme üyesi 2MASS J06084775+2416096 çift sisteminin T100 teleskobu ile I, R ve V süzgeçlerinde elde edilen ışık değişimi



Şekil 2. M67 küme üyesi WOCs 12009 ayrıık çift sisteminin Kepler uydusu ile elde edilen ışık değişimi



Şekil 3. M71 küme üyesi CI* NGC 6838 YM V20 çift sisteminin T100 teleskobu ile V süzgeçinde elde edilen ışık değişimi

3 Analiz ve Sonuçlar

Bu çalışmada, M67, M35 ve M71 galaktik açık ve küresel kümelerindeki bazı örten çift sistemlerin çok renk ışık değişimleri TUG teleskopları kullanılarak elde edilmiştir. Bu gözlemlere ek olarak Kepler, TESS ve Gaia'dan veri setleri toplanmıştır. Bu çalışmada her bir kümede elde edilen birer sisteme ilişkin sentetik modeller yapılmış ve çözüm sonucunda elde edilen kuramsal fit Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 te düz çizgi olarak gösterilmiştir. Seçilen açık ve küresel kümelerde bulunan 30 adet çift sistem ve bu sistemlere ilişkin elde edilen sonuçlar Koçak (2023b) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir.

M67 kümesinin üyesi ve dönemi 69.72 gün olan CI* NGC 2682 SAND 1247 (WOCs 12009) ayrıık çift sisteminin ışık eğrisi analizinde Kepler uydu gözlemleri kullanılmıştır. Ham veriler, aletsel etkilerden dolayı bazı dalgalanmalar göstermektedir (Jenkins ve diğ. 2010). Burada daha önceki Kepler uydu gözlemleri üzerine yaptığımız çalışmalarda takip ettiğimiz yöntemler kullanılmıştır (Koçak ve diğ. 2021; Çokluk ve diğ. 2019; Yakut ve diğ. 2015b). 2MASS J06084775+2416096 (N118) ve CI* NGC 6838 YM V20 sistemlerinin ışık eğrisi analizlerinde ise TUG teleskopları ile elde edilen fotometrik sonuçlar kullanılmıştır.

Seçilen sistemlerin elde edilen ışık eğrilerinin sentetik modellerinin yapılması ve yörünge öğelerinin belirlenmesi için Wilson-Devinney ve Phoebe (Prša & Zwitter 2005; Wilson & Devinney 1971; Wilson 1979) programları kullanılmıştır. Işık eğrisi analizleri sırasında, kenar kararım katsayıları (van Hamme 1993), albedolar (Ruciński 1969) ve çekim kararım katsayılarının değerleri (Lucy 1967) sabit parametreler olarak alınmıştır. Çözümler sırasında çift sistemlerin baş bileşen sıcaklıkları WOCs 12009 sistemi için 6100 K (Sandquist ve diğ. 2018), N118 ve V20 sistemlerinin baş bileşen sıcaklıkları ise B-V renklerinden dönüşüm yapılarak (Cox 2000) sırası ile 4150 K ve 5315 K olarak alınmıştır. Yapılan çözümler sonucunda WOCs 12009, N118 ve V20 sistemlerinin elde edilen bazı parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede seçilen üç sistemin koordinatları ve fotometrik özelliklerine ek olarak; çift sistemin yörünge eğim açısı (i), sıcaklıklar oranı (T_2/T_1), kütle

Çizelge 1. Seçilen küme üyesi çift sistemlerin temel özellikleri ve ışık eğrisi çözüm sonuçları.

Sistem	α (2000)	δ (2000)	m_V	P (gün)	e	i ($^\circ$)	T_2/T_1	q	r_1	r_2	l_1/l_t
N118	06 08 47	24 16 09	18.6	0.285	-	72.1(3)	1.073	0.478(11)	0.448(6)	0.315(8)	0.68
WOCS 12009	08 51 37	11 46 55	14.0	69.729	0.051	89.6(1)	0.763	0.685(5)	0.013(1)	0.008(1)	0.91
YM V20	19 53 23	18 42 10	16.2	0.470	-	89.6(2)	0.944	0.213(7)	0.525(6)	0.262(12)	0.82

oranı (q), kesirsel yarıçaplar ($r_{1,2}=R_{1,2}/a$) ve normalize ısıtma oranları (l_1/l_t) verilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK-122F474 ve 117F188) tarafından desteklenmektedir. DK BİDEB 2211-C ve 2214-A burslarından dolayı TÜBİTAK'a ve COST CA16104 projesi desteğine teşekkür eder. 1422 ve 1470 projeleri ile T100 ve T60 teleskoplarının kullanımı süresince kısmi desteğinden dolayı TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Bailyn C. D., 1995, *ARA&A*, 33, 133
 Belloni T., Verbunt F., Mathieu R. D., 1998a, *A&A*, 339, 431, *ADS*
 Belloni T., Verbunt F., Mathieu R. D., 1998b, *A&A*, 339, 431, *ADS*
 Bessell M. S., 1979, *PASP*, 91, 589
 Braga V. F., ve diğ., 2015, *ApJ*, 799, 165
 Collins K. A., Kielkopf J. F., Stassun K. G., Hessman F. V., 2017, *AJ*, 153, 77
 Cox A. N., 2000, *Allen's astrophysical quantities*. New York: AIP Press; Springer
 Cudworth K. M., 1971, *AJ*, 76, 475
 Davenport J. R. A., Sandquist E. L., 2010, *ApJ*, 711, 559
 Duquennoy A., Mayor M., Halbwachs J. L., 1991, *A&AS*, 88, 281, *ADS*
 Eggleton P. P., Tokovinin A. A., 2008, *MNRAS*, 389, 869
 Fan X., ve diğ., 1996, *AJ*, 112, 628
 Ferraro F. R., Fusi Pecci F., Bellazzini M., 1995, *A&A*, 294, 80, *ADS*
 Ferraro F. R., ve diğ., 2009, *Nature*, 462, 1028
 Fischer D. A., Marcy G. W., 1992, *ApJ*, 396, 178
 Gaia Collaboration ve diğ., 2016, *A&A*, 595, A1
 Gilliland R. L., ve diğ., 1991, *AJ*, 101, 541
 Gilliland R. L., ve diğ., 1993, *AJ*, 106, 2441
 İçli T., Yakut K., 2016, preprint, ([arXiv:1603.03905](https://arxiv.org/abs/1603.03905)), *ADS*
 Jadhav V. V., Sindhu N., Subramaniam A., 2019, *ApJ*, 886, 13
 Jenkins J. M., ve diğ., 2010, *ApJ*, 713, L87
 Johnson H. L., Sandage A. R., 1955, *ApJ*, 121, 616
 Kalirai J. S., Fahlman G. G., Richer H. B., Ventura P., 2003, *AJ*, 126, 1402
 Kaluzny J., Raczynska J., 1991, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3586, 1, *ADS*
 Koçak D., 2023b, PhD thesis, EGE Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
 Koçak D., 2023a, *TJAA*, Baskıda
 Koçak D., Yakut K., 2016, preprint, ([arXiv:1603.03906](https://arxiv.org/abs/1603.03906)), *ADS*
 Koçak D., İçli T., Yakut K., 2020, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 50, 508
 Koçak D., Yakut K., Southworth J., Eggleton P. P., İçli T., Tout C. A., Bloemen S., 2021, *ApJ*, 910, 111
 Koch D. G., ve diğ., 2010, *ApJ*, 713, L79
 Lada C. J., 2006, *ApJ*, 640, L63
 Landsman W., Bohlin R. C., Neff S. G., O'Connell R. W., Roberts M. S., Smith A. M., Stecher T. P., 1998, *AJ*, 116, 789
 Leiner E. M., Mathieu R. D., Gosnell N. M., Geller A. M., 2015, *AJ*, 150, 10
 Lucy L. B., 1967, *Z. Astrophys.*, 65, 89, *ADS*

McNamara B. J., Sekiguchi K., 1986, *ApJ*, 310, 613
 McNamara B. J., Harrison T. E., McArthur B. E., Benedict G. F., 2011, *AJ*, 142, 53
 Meibom S., Mathieu R. D., Stassun K. G., 2009, *ApJ*, 695, 679
 Naoz S., 2016, *ARA&A*, 54, 441
 Paresce F., de Marchi G., Ferraro F. R., 1992, *Nature*, 360, 46
 Pasquini L., Biazzo K., Bonifacio P., Randich S., Bedin L. R., 2008, *A&A*, 489, 677
 Phelps R. L., 1997, *ApJ*, 483, 826
 Pigulski A., ve diğ., 2007, *Communications in Asteroseismology*, 150, 191
 Pribulla T., ve diğ., 2008, *MNRAS*, 391, 343
 Prša A., Zwitter T., 2005, *ApJ*, 628, 426
 Qian S., 2001, *MNRAS*, 328, 635
 Racine R., 1971, *ApJ*, 168, 393
 Reimers D., Koester D., 1988, *A&A*, 202, 77, *ADS*
 Ricker G. R., ve diğ., 2015, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003
 Ruciński S. M., 1969, *Acta Astron.*, 19, 245, *ADS*
 Sanders W. L., 1977, *A&AS*, 27, 89, *ADS*
 Sandquist E. L., Shetrone M. D., 2003, *AJ*, 125, 2173
 Sandquist E. L., ve diğ., 2018, *AJ*, 155, 152
 Selam S. O., Albayrak B., Şenavci H. V., Aksu O., 2005, *Astronomische Nachrichten*, 326, 746
 Smart W. M., 1925, *MNRAS*, 85, 257
 Sung H., Bessell M. S., 1999, *MNRAS*, 306, 361
 Tarasov A. E., Malchenko S. L., Yakut K., 2016, *Astronomy Letters*, 42, 674
 Toonen S., Hamers A., Portegies Zwart S., 2016, *Computational Astrophysics and Cosmology*, 3, 6
 Trumpler R. J., 1930, *Lick Observatory Bulletin*, 420, 154
 Ulaş B., Kalomeni B., Keskin V., Köse O., Yakut K., 2012, *New Astron.*, 17, 46
 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
 Yakut K., Eggleton P. P., 2005, *ApJ*, 629, 1055
 Yakut K., Tarasov A. E., İbanoğlu C., Harmanec P., Kalomeni B., Holmgren D. E., Božić H., Eenens P., 2003, *A&A*, 405, 1087
 Yakut K., ve diğ., 2009, *A&A*, 503, 165
 Yakut K., Eggleton P. P., Kalomeni B., Tout C. A., Eldridge J. J., 2015a, *MNRAS*, 453, 2937
 Yakut K., Eggleton P. P., Kalomeni B., Tout C. A., Eldridge J. J., 2015b, *MNRAS*, 453, 2937
 Çokluk K. A., Koçak D., İçli T., Karaköse S., Üstündağ S., Yakut K., 2019, *MNRAS*, 488, 4520
 van Hamme W., 1993, *AJ*, 106, 2096
 von Hippel T., Steinhauer A., Sarajedini A., Deliyannis C. P., 2002, *AJ*, 124, 1555

Access:

M23-0365: *Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.*