



# Berkeley 68 ve Stock 20 Açık Kümelerinin Yer ve Uzay Tabanlı Teleskop Verileriyle İncelenmesi

Talar Yontan<sup>1</sup>  

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34119, Türkiye

Accepted: November 13, 2022. Revised: November 13, 2022. Received: October 31, 2022.

## Özet

Bu çalışmada Berkeley 68 (Be 68) ve Stock 20 açık kümelerinin ayrıntılı fotometrik ve astrometrik çalışması yapılmıştır. İki kümenin analizlerinde, CCD *UBV* fotometrik ile *Gaia*'nın üçüncü veri sürümünde (*Gaia* DR3) yayımladığı astrometrik ve fotometrik verileri birlikte kullanılmıştır. Yıldızların kümeye üyelik hesaplamaları sonucunda olasılık değeri 0.5'ten büyük olanlar kümelerin fiziksel üyeleri kabul edilmiştir. Bu yıldızların sayısı Be 68 ve Stock 20 için, sırasıyla, 198 ve 51 olarak belirlenmiş olup iki kümenin astrofizik parametrelerinin tayininde kullanılmıştır. Kümelerin renk artışı ve fotometrik metal bolluğu tayininde iki-renk diyagramları kullanılmıştır. Buna göre, Be 68 ve Stock 20 kümeleri doğrultusundaki renk artıkları, sırasıyla,  $E(B - V) = 0.520 \pm 0.032$  ve  $0.400 \pm 0.048$  kadir, fotometrik metal bollukları da, sırasıyla,  $[Fe/H] = -0.13 \pm 0.08$  ve  $-0.01 \pm 0.06$  dex olarak belirlenmiştir. Kümelerin uzaklık ve yaş tayininde *UBV* ve *Gaia* DR3 fotometrik verilerinden oluşturulan renk-parlaklık diyagramları kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen renk artışı ve metal bolluğu değerleri sabit tutulmak suretiyle PARSEC eş-yaş eğrileri ilgili diyagramlar üzerinde gözlemsel verilere göre kaydırılarak iki kümenin uzaklık ve yaşı belirlenmiştir. Bu değerler Be 68 için, sırasıyla,  $d = 3003 \pm 165$  pc ve  $2.4 \pm 0.2$  Gyl, Stock 20 için, sırasıyla,  $2911 \pm 216$  pc ve  $50 \pm 10$  Myl'dir. Kinematik ve dinamik yörünge hesapları Be 68 kümesinin Galaksimizin ince disk bileşenine ait olduğunu ve Güneş çemberi dışında oluştuğunu göstermiştir.

## Abstract

The present study performed detailed photometric and astrometric investigations of open clusters Berkeley 68 (Be 68) and Stock 20. In the analysis of the two clusters, CCD *UBV* photometric data were used together with the astrometric and photometric data published from *Gaia*'s third data release (*Gaia* DR3). As a result of the membership calculations of the stars, those with probability values greater than 0.5 were accepted as physical members of the clusters. The number of these stars is 198 and 51 for Be 68 and Stock 20, respectively, and they were used to determine the astrophysical parameters of the two clusters. The colour excess through the Be 68 and Stock 20 was obtained and as  $E(B - V) = 0.520 \pm 0.032$  and  $0.400 \pm 0.048$  mag, respectively, as well as the photometric metallicities were derived as  $[Fe/H] = -0.13 \pm 0.08$  and  $0.01 \pm 0.06$  dex for the two clusters. Colour-magnitude diagrams constructed from *UBV* and *Gaia* DR3 photometric data were considered in determining the cluster distance and age. The distance and age of the two clusters were determined by fitting the PARSEC isochrones on the colour-magnitude diagrams according to the observational data by keeping the colour excesses and photometric metallicity values obtained in the study as constant. These values are  $d = 3003 \pm 165$  pc and  $2.4 \pm 0.2$  Gyr for Be 68, respectively, and  $2911 \pm 216$  pc ve  $50 \pm 10$  Myr, for Stock 20, respectively. Kinematic and dynamical orbital calculations show that the Be 68 belongs to the thin disc component of the Galaxy and formed outside the Solar circle.

**Anahtar Kelimeler:** Open Clusters: Berkeley 68, Stock 20, Stars: H-R Diagram, Galaxy: Milky Way

## 1 Giriş

Galaksi diskinde yer alan açık kümeler, göreceli olarak genç ve metalce zengin yıldızların zayıf çekim kuvvetleriyle bir arada bulunduğu yıldız topluluklarıdır. Açık küme yıldızları aynı molekül bulutunun benzer fiziksel koşullarda çökmesi sonucu meydana geldiklerinden, herhangi bir kümeye ait küme üyesi yıldızların Güneş'e olan uzaklıkları, kimyasal yapıları ve yaşları benzer özellikler gösterir (McKee & Ostriker 2007). Bununla birlikte, kümeyi oluşturan yıldızlar farklı kütlelerde bulunduğundan ışımaya güçleri geniş bir aralıkta yer almaktadır. Söz konusu özellikleri, açık kümeleri yıldız evrimi ve astrofizik araştırmalarında önemli kılar. Ayrıca, birçok açık kümenin bir arada incelenmesi Galaksi diskinin yapı, oluşum ve evriminin

araştırılmasına ışık tutar (Lada & Lada 2003; Portegies Zwart, McMillan, & Gieles 2010).

Küme doğrultularında bulunan alan yıldızları kümelerin duyarlı parametrelerinin tayinini etkilemektedir. Bu nedenle küme üyeleri doğru bir şekilde belirlenmeli ve alan yıldız kirlenmesi giderilmelidir. Söz konusu küme-alan yıldız ayırımı, küme doğrultularında tespit edilen yıldızların duyarlı gözlemlerini gerektirmektedir. *Gaia* DR3 veri sürümü (Gaia İşbirliği 2022) yaklaşık 1.5 milyar kaynağın yüksek duyarlılıkta astrometrik ve fotometrik verilerini araştırmacıların kullanımına sunmuştur. *Gaia* DR3 veri tabanında trigonometrik paralaks ( $\varpi$ ) ölçümlerindeki belirsizlikler parlaklığı  $G \leq 17$  kadir olan yıldızlar için 0.02-0.07 mas iken,  $G = 21$  kadirde 1.3 mas'a ulaşmaktadır. Yıldızların öz hareket bileşenlerindeki belirsizlikler  $G \leq 17$  kadir için 0.02-0.07 mas/yıl iken,  $G = 21$  kadir parlaklıkta bu değerler yaklaşık 1.4 mas/yıl'a ulaşmaktadır.

\* talar.yontan@istanbul.edu.tr

*Gaia* DR3'ün yüksek hassasiyetteki verileri küme alanlarında bulunan yıldızların kümeye üyeliklerinin duyarlı bir şekilde belirlenmesine fırsat vermektedir. Son zamanlarda farklı araştırmacılar tarafından yapılan bir çok çalışmada açık kümelere üye yıldızların belirlenmesinde *Gaia*'nın astrometrik verileri kullanılmıştır (Cantat-Gaudin ve diğ. 2018, 2019; Castro-Ginard ve diğ. 2018, 2019; Bisht ve diğ. 2019, 2020; Liu & Pang 2019).

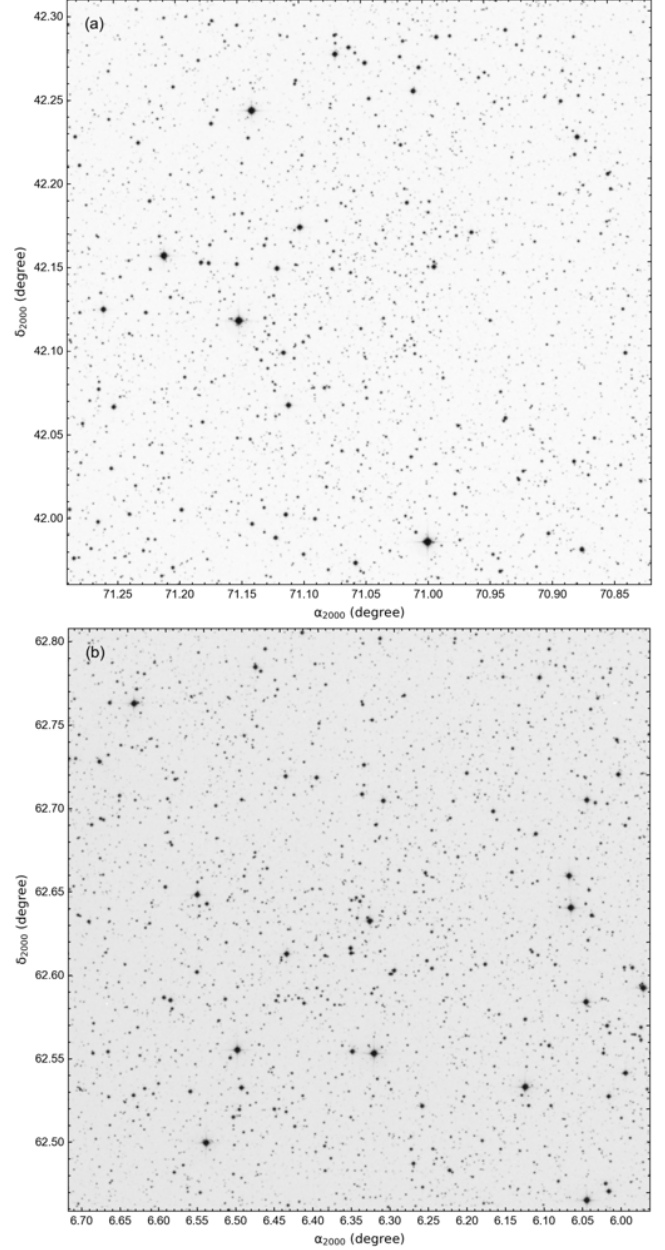
Bu çalışmada, Galaksimizin ikinci çeyreğinde yer alan Be 68 ve Stock 20 açık kümelerinin CCD *UBV* fotometrik ile *Gaia* DR3 fotometrik ve astrometrik verileri bir arada analiz edilerek yapısal ve temel astrofizik parametreleri tayin edilmiştir.

## 2 Gözlemler

Berkeley 68 ve Stock 20 açık kümelerinin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri, sırasıyla, 06.11.2018 ve 08.10.2016 tarihlerinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) 100 cm ayna çaplı, odak oranı  $f/10$  Ritchey-Chrétien türü T100 teleskobuyla gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde Fairchild 486 BI marka arkadan aydınlatmalı  $4k \times 4k$  piksel CCD kamera kullanılmıştır. Kameranın piksel ölçeği  $0.31 \text{ piksel}^{-1}$  olup  $21.5 \times 21.5$ 'lik geniş bir görüş alanı sağlamaktadır. Gözlemlerde iki küme doğrultusundaki parlak ve sönük nesnelerin tespit edilebilmesi amacıyla her bir filtrede uzun ve kısa olmak üzere iki farklı poz süresi kullanılmıştır. Be 68 için *V* filtresinde  $5 \times 3$  s, *B* filtresinde  $6 \times 6$  s,  $3 \times 600$  s ve *U* filtresinde  $3 \times 60$  s ile  $2 \times 1800$  s'lik görüntüler alınırken, Stock 20 için *V* filtresinde  $5 \times 4$  s,  $3 \times 300$  s, *B* filtresinde  $4 \times 8$  s,  $2 \times 600$  s ve *U* filtresinde  $2 \times 90$  s ile  $2 \times 1800$  s'lik görüntüler alınmıştır. Be 68 ve Stock 20'nin  $21.5 \times 21.5$  görüş alanına ait görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Fotometrik kalibrasyonların yapılması amacıyla kümeler ile birlikte farklı hava kütlelerinde Landolt (2009)'un standart yıldız alanları da gözlenmiştir. Bu alanların sayısı iki gözlem gecesi için 16 olup toplamda 111 standart yıldız içermektedir. Görüntülerin CCD kalibrasyonları (düz alan, sıfır görüntü düzeltmesi) IRAF'ın standart veri indirgeme paketleri ve adımları kullanılarak yapılmıştır. Landolt (2009)'un standart yıldızlarının aletsel parlaklıkları IRAF'ın açıklık fotometrisi paketiyle gerçekleştirilmiştir. Bu aletsel parlaklıklara çoklu lineer regresyon uygulamaları yapılarak her bir gözlem gecesi için atmosferik sönümlenme ve dönüşüm katsayıları elde edilmiştir. Küme görüntülerinin astrometrik kalibrasyonlarında PyRAF ile [astrometry.net](http://astrometry.net) programları kullanılmıştır. Küme alanlarındaki yıldızların aletsel parlaklıklarının tayininde Source Extractor (SExTractor) ve PSF Extractor (PSFEx) (Bertin & Arnouts 1996) algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen aletsel parlaklıkların standart sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmesinde standart yıldızlardan hesaplanan gecelik sönümlenme ve dönüşüm katsayıları kullanılmıştır. Fotometrik parlaklıkların belirsizliklerinde aletsel parlaklıklardan gelen iç hatalar dikkate alınmıştır.

Fotometrik analizler sonucunda Be 68 ve Stock 20 kümeleri doğrultusunda, sırasıyla, 3548 ve 2866 yıldız tespit edilmiş olup iki küme için de bu yıldızların CCD *UBV* parlaklık ve renklerini içeren fotometrik veri setleri oluşturulmuştur. Veri setlerindeki her bir yıldızın ekvatorial koordinatları *Gaia* DR3 koordinatlarına göre 5 yay saniyelik hata sınırları içerisinde kalan yıldız konumları *UBV* verileri ile eşleştirilmiştir. İki küme için oluşturulan veri setleri dikkate alındığında  $V < 23$  kadirde parlak yıldızların *V*,  $U-B$  ve  $B-V$  parlaklık ve renk indekslerindeki ortalama hataların Be 68 için 0.2 kadirde küçük



Şekil 1. Be 68 ve Stock 20 açık kümelerinin  $21.5 \times 21.5$ 'lik alan görüntüleri. Kuzey ve Doğu doğrultuları, sırasıyla, yukarı ve sol yönlerini göstermektedir.

olduğu, Stock 20'de ise 0.4 kadire kadar arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu yıldızlar için *Gaia*  $G$  ve  $G_{BP} - G_{BP}$  parlaklık ve renk indeksindeki ortalama hataların 0.2 kadirde küçük olduğu tespit edilmiştir.

## 3 Kümelere Üye Yıldızların Belirlenmesi

Be 68 ve Stock 20 açık kümeleri doğrultusunda tespit edilen yıldızların kümeye üyeliklerinin belirlenmesinde python programlama dilinde çalıştırılan UPMASK yazılımı kullanılmıştır (Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Cluster, Krone-Martins & Moitinho 2014). UPMASK, benzer özellik gösteren yıldızları kümeleyerek bir gruba ait olma olasılığını tanımlayan bir algoritmaya dayanmaktadır.

Çalışmada incelenen iki küme alanındaki yıldızların üyelik olasılıklarının ( $P$ ) hesaplanmasında *Gaia* DR3 öz hareket bileşenleri, trigonometrik paralaksı ve bu ölçümlere ait belirsizlikleri girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Kümelerin fiziksel üyelerinin seçiminde olasılık değerleri  $P \geq 0.5$  olan yıldızlar dikkate alınmış, böylece Be 68 ve Stock 20 kümelerine en muhtemel üye yıldızların sayısı, sırasıyla, 198 ve 51 olarak belirlenmiştir. Bu yıldızlar iki kümenin temel astrofizik parametrelerinin tayininde kullanılmıştır.

#### 4 Astrofizik Parametreleri

##### 4.1 Renk Artığı

Be 68 ve Stock 20 kümeleri doğrultusundaki renk artığının belirlenmesinde  $(U-B) \times (B-V)$  iki-renk diyagramları ve kümelere en muhtemel üye anakol yıldızları ( $P \geq 0.5$ ) kullanılmıştır. Buna göre, Be 68 ve Stock 20 için renk artığı tayininde kullanılan üyelik olasılığı  $P \geq 0.5$  olan anakol yıldızlarının görünen parlaklıkları, sırasıyla,  $17 \leq V \leq 19$  ve  $12.75 \leq V \leq 19$  kadir aralığındadır. Seçilen yıldızlar iki-renk diyagramları üzerinde **Sung ve diğ. (2013)**'nin Güneş metal bolluğundaki kızarmadan arındırılmış sıfır yaş anakol eğrisiyle (ZAMS) karşılaştırılmıştır. Bu işlem en küçük  $\chi^2_{\min}$  analizine dayanmakta olup ZAMS'ın karşılaştırılması,  $E(B-V)$  ve  $E(U-B)$  için farklı kızarma vektörü ( $\alpha = E(U-B)/E(B-V)$ ) değerleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Buna göre, Be 68 için en iyi sonucu veren ve en küçük  $\chi^2$ 'ye karşılık gelen kızarma vektörü değeri  $\alpha = 0.53$ , renk artığı  $E(B-V) = 0.520 \pm 0.032$  kadir, Stock 20 için en iyi çözüme karşılık gelen kızarma vektörü değeri  $\alpha = 0.60$ , renk artığı  $E(B-V) = 0.400 \pm 0.048$  kadir olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

##### 4.2 Fotometrik Metal Bolluğu

Be 68 ve Stock 20'nin metal bolluğu tayininde kızarmadan arındırılmış  $(U-B)_0 \times (B-V)_0$  iki-renk diyagramları kullanılmıştır. Renk indeksi  $0.3 \leq (B-V)_0 \leq 0.6$  kadir aralığında ve kümelere üyelik olasılığı  $P \geq 0.5$  olan F-ve G tayf türünden anakol yıldızları (**Eker ve diğ. 2018**) seçilerek iki-renk diyagramları oluşturulmuştur. Bu yıldızların  $(U-B)_0$  renk indeksleri söz konusu diyagramlar üzerinde Hyades'in aynı  $(B-V)_0$  renk indeksine karşılık gelen anakol yıldızlarıyla karşılaştırılmış ve UV-artıkları ( $\delta_{0.6}$ ) buradan da ortalama UV-artığı değerleri belirlenmiştir. Hesaplanan ortalama UV-artıkları **Karaali ve diğ. (2011)**'nin fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunda kullanılarak iki kümenin metal bolluğu belirlenmiştir. Analizlerde Be 68 ve Stock 20'nin fotometrik metal bolluğu tayininde, sırasıyla, 17 ve 6 küme üyesi anakol yıldız kullanılmış olup fotometrik metal bollukları iki küme için, sırasıyla,  $[Fe/H] = -0.13 \pm 0.08$  dex ve  $[Fe/H] = -0.01 \pm 0.06$  dex hesaplanmıştır (Çizelge 1). Yaş tayininde kullanılmak üzere, hesaplanan metal bollukları ağır element bolluğu  $Z'$ ye dönüştürülmüş, bunun için Bovy'nin parsec (**Bressan ve diğ. 2012**) eş-yaş eğrilerini dikkate alarak geliştirdiği bağıntılar kullanılmıştır (bkz. **Isochrone kodu**). Hesaplamalar sonucunda Be 68 ve Stock 20'nin ağır element bolluğu, sırasıyla,  $Z = 0.012$  ve  $Z = 0.015$  olarak elde edilmiştir.

##### 4.3 Kümelerin Uzaklık Modülü ve Yaşları

En muhtemel küme üyesi yıldızlardan oluşturulan renk-parlaklık diyagramları kümelerin renk uzaylarındaki morfolojisinin en iyi göstergelerinden biridir. Bu durum, kümelerin anakol,

dönüm noktası ve dev bileşenlerinin duyarlı bir şekilde belirlenerek bu bileşenleri oluşturan her bir yıldızın model tabanlı kütle, yaş ve uzaklığının tayin edilmesine olanak verir. Bu çalışmada, Be 68 ve Stock 20'nin uzaklık modülü ve yaşı **Bressan ve diğ. (2012)**'nin parsec eş-yaş eğrilerinin  $V \times (U-B)$ ,  $V \times (B-V)$ , ve  $G \times (G_{BP} - G_{RP})$  diyagramlarında en muhtemel küme üyeleriyle karşılaştırılması sonucunda eş zamanlı belirlenmiştir. parsec eş-yaş eğrileri, iki küme için elde edilen ağır element bolluğuna ( $Z$ ) göre farklı yaşlarda seçilmiş olup bu çalışmada hesaplanan renk artığı dikkate alınarak renk-parlaklık diyagramlarında üyelik olasılığı  $P \geq 0.5$  olan yıldızlar ile karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda Be 68 kümesinin uzaklık modülü, bu değere karşılık gelen uzaklığı ve yaşı, sırasıyla  $\mu_V = 14.00 \pm 0.12$  kadir,  $d = 3003 \pm 165$  pc ve  $t = 2.4 \pm 0.2$  Gyl olarak belirlenmiştir. Stock 20 için söz konusu parametreler, sırasıyla,  $\mu_V = 13.56 \pm 0.16$  kadir,  $d = 2911 \pm 216$  pc ve  $t = 50 \pm 10$  Myl olarak elde edilmiştir (Çizelge 1). Be 68 ve Stock 20'nin  $UBV$  ve *Gaia* tabanlı renk-parlaklık diyagramları üzerinde üye yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayan eş-yaş eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir.

##### 4.4 Kinematik ve Galaktik Yörünge Analizleri

Duyarlı Galaktik yörünge parametrelerinin tayini, nesnelere uzaklık ve öz hareket bileşenlerinin yanısıra radyal hız değerlerinin de bilinmesini gerektirir. Bu çalışmada incelenen iki kümenin literatür taraması sonucunda sadece Be 68 için radyal hız verisine ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada kinematik ve Galaktik yörünge analizleri sadece Be 68 açık kümesi için gerçekleştirilmiştir.

Be 68'in uzay hızı bileşenlerinin ve Galaktik yörünge parametrelerinin tayininde **galpy** (**Bovy 2015**) programı kullanılmıştır. **galpy**, python programlama dilinde yazılan, Galaksimizin potansiyel fonksiyonlarının tanımlandığı bir kütüphanedir. Yörünge analizlerinde Samanyolu'nun şişkin bölge, disk ve halo bileşen potansiyelini içeren **MWPotential2014** kodu dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı ve yörünge hızı, sırasıyla,  $R_{GC} = 8$  kpc ve  $V_{rot} = 220$  km/sn (**Bovy 2015; Bovy & Tremaine 2012**), Galaktik düzlemden uzaklığı da  $27 \pm 4$  pc (**Chen ve diğ. 2000**) kabul edilmiştir.

Kinematik ve dinamik yörünge parametrelerinin tayininde girdi parametreleri olarak Be 68'in ekvatorial koordinatları ( $\alpha = 04^h 44^m 13^s$ ,  $\delta = +42^\circ 08' 02''$ ), bu çalışmada belirlenen öz hareket bileşenleri ( $\mu_\alpha \cos \delta$ ,  $\mu_\delta = 2.237 \pm 0.007$ ,  $-1.401 \pm 0.005$  mas/yıl) ve uzaklık değeri ( $d_{iso} = 3003 \pm 165$  pc) ile **Soubiran ve diğ. (2018)**'in çalışmasından alınan ortalama radyal hız değeri ( $V_r = -20.31 \pm 1.86$  km/s) hatalarıyla birlikte dikkate alınmıştır (bkz. Çizelge 1). Be 68'in kapalı yörüngesinin oluşturulmasında, Galakside doğduğu ve bugünkü olası konumlarının belirlenmesi için yörünge analizleri 1 Myl adımlar ile 2.5 Gyl'lık geri ve ileri bir zaman için gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda Be 68'in Galaksi merkezine en yakın ve en uzak mesafeleri, sırasıyla,  $R_p = 8893 \pm 34$  ve  $R_a = 10901 \pm 149$  pc, yörünge basıncı  $e = 0.101 \pm 0.005$ , Galaktik düzlemden uzaklaşabileceği en büyük mesafe  $Z_{max} = 470 \pm 33$  pc, uzay hızı bileşenleri  $(U, V, W) = (+7.79 \pm 2.41, -40.27 \pm 1.31, 11.92 \pm 0.65$  km/s), yörünge periyodu  $P_{orb} = 284 \pm 3$  Myl ve doğum yeri  $10.16^{+0.65}_{-0.71}$  kpc elde edilmiştir (Çizelge 1). Be 68'in doğum yeri incelendiğinde, kümenin Güneş çemberinin dışında ve Galaksinin metalce fakir bir bölgesinde oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca,  $R_p$  ve  $R_a$  uzaklıkları, kümenin tamamen Güneş çemberi dışında hareket ettiğini göstermektedir.

**Çizelge 1.** Berkeley 68 ve Stock 20 açık kümelerinin yapısal, astrofiziksel ve dinamik yörünge parametreleri. Koordinatlar J2000 epöğündadır. Berkeley 68 için  $V_r$  değeri **Soubiran ve diğ. (2018)**'den alınmıştır.

Parametre	Berkeley 68	Stock 20
$\alpha$ (hh:mm:ss)	04:44:12.72	00:25:16.33
$\delta$ (dd:mm:ss)	+42:08:02.40	+62:37:26.40
$l$ ( $^\circ$ )	162.0391	119.9291
$b$ ( $^\circ$ )	-2.4041	-0.0951
$f_0$ (yıldız/yay dk <sup>2</sup> )	8.204 $\pm$ 2.008	27.197 $\pm$ 7.164
$r_c$ (yay dk)	2.663 $\pm$ 0.616	0.543 $\pm$ 0.225
$f_{bg}$ (yıldız/yay dk <sup>2</sup> )	9.139 $\pm$ 0.402	13.742 $\pm$ 0.222
$r_{lim}$ (yay dk)	8	7.5
$r$ (pc)	6.99 $\pm$ 0.38	6.35 $\pm$ 0.47
$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas/yıl)	+2.237 $\pm$ 0.007	-3.215 $\pm$ 0.004
$\mu_\delta$ (mas/yıl)	-1.401 $\pm$ 0.005	-1.172 $\pm$ 0.004
Küme üyesi ( $P \geq 0.5$ )	198	51
$\varpi$ (mas)	0.31 $\pm$ 0.03	0.36 $\pm$ 0.03
$d_\varpi$ (pc)	3226 $\pm$ 312	2778 $\pm$ 232
$E(B-V)$ (kadir)	0.520 $\pm$ 0.032	0.400 $\pm$ 0.048
$E(U-B)$ (kadir)	0.276 $\pm$ 0.017	0.240 $\pm$ 0.029
$A_V$ (kadir)	1.612 $\pm$ 0.099	1.240 $\pm$ 0.149
[Fe/H] (dex)	-0.13 $\pm$ 0.08	-0.01 $\pm$ 0.06
$t$ (Myıl)	2400 $\pm$ 200	50 $\pm$ 10
Uzaklık modülü (kadir)	14.00 $\pm$ 0.12	13.56 $\pm$ 0.16
Yaş eğrisinden uzaklık (pc)	3003 $\pm$ 165	2911 $\pm$ 216
$x_\odot$ (pc)	-2854	-1452
$y_\odot$ (pc)	925	2523
$z_\odot$ (pc)	126	5
$R_{GC}$ (kpc)	10.89	9.78
Kütle fonksiyonunun eğimi	1.38 $\pm$ 0.71	1.53 $\pm$ 0.39
$V_r$ (km/s)	-20.31 $\pm$ 1.86*	—
$U_{LSR}$ (km/s)	16.62 $\pm$ 2.42	—
$V_{LSR}$ (km/s)	-26.08 $\pm$ 1.35	—
$W_{LSR}$ (km/s)	18.49 $\pm$ 0.69	—
$S_{LSR}$ (km/s)	36.03 $\pm$ 2.85	—
$R_a$ (pc)	10901 $\pm$ 149	—
$R_p$ (pc)	8893 $\pm$ 34	—
$Z_{max}$ (pc)	470 $\pm$ 33	—
$e$	0.101 $\pm$ 0.005	—
$P_{orb}$ (Myıl)	284 $\pm$ 3	—
Doğum Yeri (kpc)	10.16 <sup>+0.65</sup> <sub>-0.71</sub>	—

Be 68'in Galaksi merkezinden uzaklığıyla Galaktik düzlemde uzaklaşabileceği en büyük uzaklık ( $Z \times R_{GC}$ ) ile Galaksi merkezinden uzaklığının zaman ile değişimi ( $R_{GC} \times t$ ) Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3a'da kırmızı ok, kümenin Galaksidedeki hareket yönünü göstermektedir. Şekil 3a ve Şekil 3b'de, içi dolu sarı daireler kümenin bugünkü konumunu gösterirken, içi dolu sarı üçgen doğum yerini temsil etmektedir (Şekil 3b). Be 68'in yörünge analizlerinde girdi parametrelerinin en büyük ve en küçük hataları dikkate alınarak elde edilen yörünge hareketi Şekil 3b'de, sırasıyla, pembe ve yeşil kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. İçi dolu pembe ve yeşil üçgen semboller de en büyük ve en küçük hatalar dikkate alındığında kümenin doğum yerini temsil etmektedir. Şekil 3b'den de görüleceği gibi, yörünge analizlerindeki girdi parametrelerindeki farklılıklar, incelenen gök cisminin doğum yerinin değişmesine neden olmaktadır. Be 68 için hatalar dikkate alındığında, doğum yerinin bugünkü konumuna göre belirsizliği yaklaşık 1.5 kpc olmaktadır.

Be 68'in uzay hızı bileşenlerine yerel durağanlık standardı (LSR) düzeltmeleri için **Coşkunoğlu ve diğ. (2011)**'nin

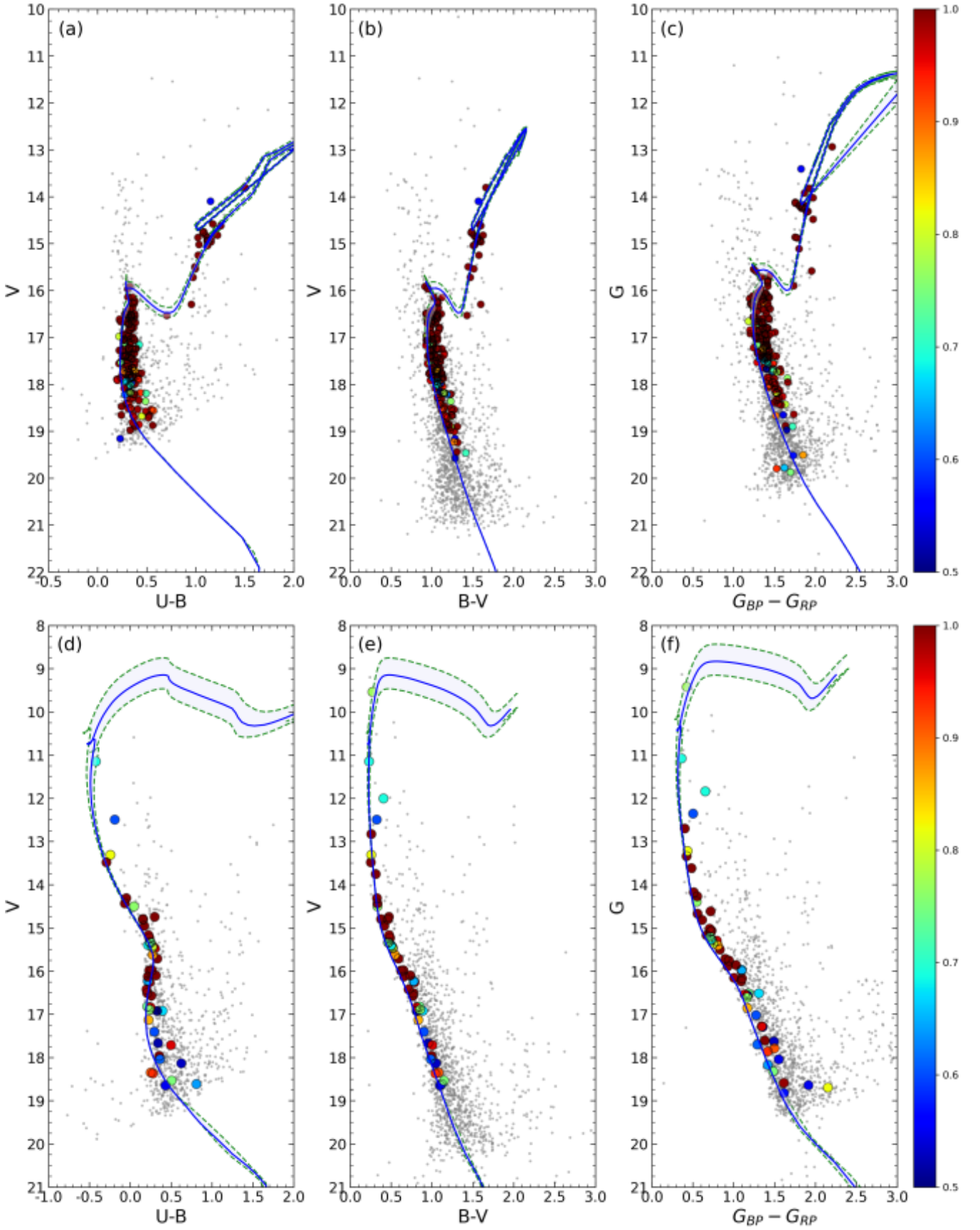
$(U, V, W)_{LSR} = (8.83 \pm 0.24, 14.19 \pm 0.34, 6.57 \pm 0.21)$  km/s değerleri kullanılmış ve Be 68'in LSR düzeltmesi yapılmış uzay hızı bileşenleri  $(U, V, W)_{LSR} = (16.62 \pm 2.42, -26.08 \pm 1.35, 18.49 \pm 0.69)$  km/s olarak belirlenmiştir. Kümenin  $(U, V, W)_{LSR}$  hızı bileşenlerinden itibaren uzay hızı  $S_{LSR} = 36.03 \pm 2.85$  km/s hesaplanmıştır. Be 68'in toplam uzay hızı, kümenin ince-disk popülasyonuna ait olduğunu göstermektedir (**Leggett 1992**).

## 5 Tartışma ve Sonuç

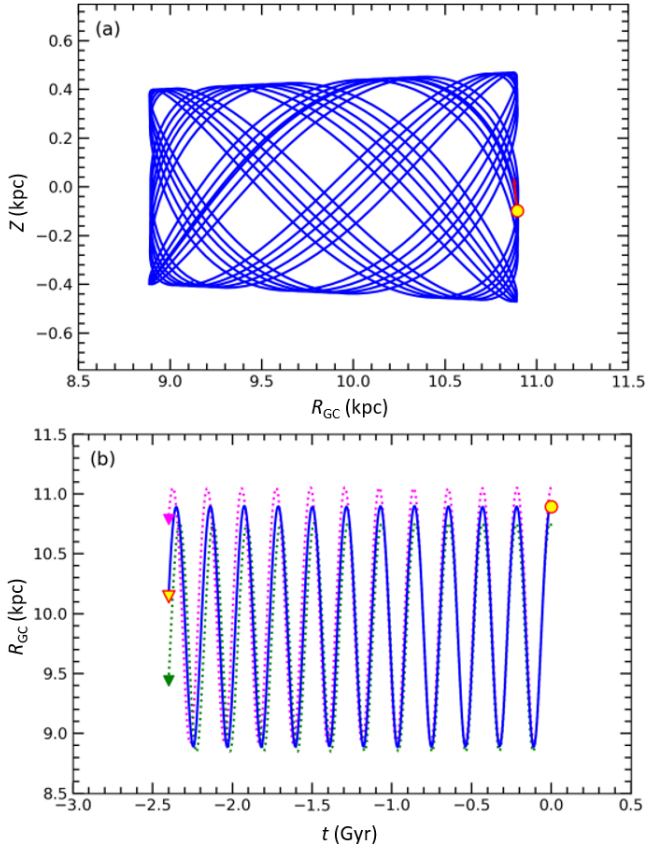
Bu çalışmada, Be 68 ve Stock 20 açık kümelerinin *UBV* ve *Gaia* DR3 fotometrik verileri bir arada kullanılarak yapısal ve temel astrofizik parametreleri tayin edilmiş, ayrıca Be 68 kümesinin ayrıntılı kinematik ve dinamik yörünge hesaplamaları yapılmıştır. Küme alanlarında tespit edilen yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının ( $P$ ) belirlenmesinde UPMASK (**Krone-Martins & Moitinho 2014**) yazılımı kullanılmıştır. Üyelik analizleri sonucunda olasılık değeri  $P \geq 0.5$  olan yıldızlar kümelerin en muhtemel üyeleri kabul edilmiş ve Be 68 ile Stock 20'nin temel astrofizik parametrelerinin tayininde kullanılmıştır. İki kümenin renk artışı ve fotometrik metal bolluğu iki-renk diyagramlarından bağımsız bir şekilde belirlenirken, uzaklık modülü ve yaşları renk-parlaklık diyagramları kullanılarak eş-zamanlı tayin edilmiş, elde edilen bulgular Çizelge 1'de listelenmiştir.

**Kharchenko ve diğ. (2012)** 2MASS fotometrik ve PPMXL öz hareket verilerini birlikte analiz ederek Be 68'in renk artışı ve yaşını, sırasıyla,  $E(B-V) = 0.67$  kadir ve  $\log t = 9.11$  yıl vermiştir. Kümenin ilk detaylı CCD  $UBVR_c I_c$  fotometrik çalışması **Maurya & Joshi (2020)** tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar küme analizlerinde  $UBVR_c I_c$  verileriyle birlikte yakın kızılötesi bölgedeki 2MASS  $JHK_s$  (**Cutri ve diğ. 2003**) fotometrik ve *Gaia* DR2 astrometrik verileri bir arada kullanmıştır. Kümenin renk artışı iki-renk diyagramlarından bağımsız olarak  $E(B-V) = 0.52 \pm 0.04$  kadir hesaplayan **Maurya & Joshi (2020)**, Be 68'in metal bolluğunu Güneş bolluğunda ( $Z = 0.0152$ ) kabul ederek uzaklık modülü ve yaşını renk-parlaklık diyagramlarından itibaren, sırasıyla,  $\mu_V = 13.7 \pm 0.2$  kadir ve  $\log t = 9.25 \pm 0.05$  yıl olarak belirlemiştir. Bu çalışmada Be 68'in elde edilen renk artışı ( $E(B-V) = 0.520 \pm 0.032$  kadir) **Maurya & Joshi (2020)**'nin sonucuyla oldukça uyumluken, **Kharchenko ve diğ. (2012)**'nin değerinden küçüktür. Kümenin bu çalışmada hesaplanan yaşının ( $t = 2400 \pm 200$  Myıl) **Kharchenko ve diğ. (2012)** ve **Maurya & Joshi (2020)**'de verileden büyük olduğu, uzaklık modülü değerinin de ( $\mu_V = 14.00 \pm 0.12$  kadir) **Maurya & Joshi (2020)**'nin sonucuyla oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Be 68'in fotometrik metal bolluğu ilk defa bu çalışmada belirlenmiştir.

**Kharchenko ve diğ. (2005)** *Hipparcos-Tycho-2* gözlem verilerini kullanarak Stock 20 açık kümesinin renk artışı, uzaklık ve yaşını, sırasıyla,  $E(B-V) = 0.2$  kadir,  $d = 909$  pc ve  $\log t = 8.53$  yıl olarak belirlemiştir. **Buckner & Froebrich (2013)**  $JHK_s$  fotometrik verilerini analiz ederek kümenin uzaklık ve yaşını, sırasıyla,  $d = 2200$  pc and  $\log t = 8.30 \pm 0.09$  yıl olarak elde etmiştir. Bu çalışmada Stock 20 için verilen  $E(B-V) = 0.400 \pm 0.048$  kadirlik renk artışı **Kharchenko ve diğ. (2005)**'nin değerinden büyük hesaplanmıştır. Kümenin **Kharchenko ve diğ. (2005)** ile **Buckner & Froebrich (2013)**'in hesaplamış olduğundan daha uzakta ( $d = 2911 \pm 216$  pc) olduğu fakat hatalar dikkate alındığında sonuçların **Buckner & Froebrich (2013)**'inkiyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Stock 20 açık kümesinin bu çalışmada elde edilen yaşının



Şekil 2. Berkeley 68 (a, b, c) ve Stock 20 (d, e, f) açık kümelerinin renk-parlaklık diyagramları. Kümelere en muhtemel üye yıldızların olasılık değerleri renk ölçekleriyle gösterilmiştir. Gri noktalar üyelik olasılığı düşük ( $P < 0.5$ ) alan/küme yıldızlarını göstermektedir.



**Şekil 3.** Be 68'in  $Z \times R_{GC}$  ve  $R_{GC} \times t$  düzlemlerindeki Galaktik yörüngesi ve doğum yarıçapı. Sarı daire ile üçgen sembolleri, sırasıyla, kümenin bugünkü ve doğum zamanındaki konumunu, kırmızı ok sembolü de hareket vektörünü göstermektedir. Pembe ve yeşil kesikli çizgiler, sırasıyla, en büyük ve en küçük hatalar dikkate alındığı durumdaki yörünge hareketini, pembe ve yeşil üçgenler ise kümenin söz konusu koşullardaki doğum yerlerini temsil etmektedir.

( $t=50 \pm 10$  Myr) [Kharchenko ve diğ. \(2005\)](#) ile [Buckner & Froebrich \(2013\)](#)'nden daha genç olduğu tespit edilmiştir. Stock 20 literatürde az çalışılmış bir küme olup ilk defa bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiş ve fotometrik metal bolluğu belirlenmiştir.

Çalışmada incelenen iki kümeden Be 68'in radyal hız verilerine ulaşıldığından, kinematik ve dinamik yörünge analizleri sadece bu küme için gerçekleştirilmiştir. Söz konusu analizlerde ve hesaplamalarda Galpy ([Bovy 2015](#)) programı kullanılmıştır. Sonuçlar, Be 68'in Güneş çemberi dışında, Galaksinin metalce fakir bölgesinde oluştuğu ve ince disk popülasyonuna ait olduğunu göstermektedir. Ayrıca metalce fakir bölgedeki doğum yeri, bu çalışmada Be 68 için hesaplanan metal bolluğunun ( $[Fe/H] = -0.13 \pm 0.08$  dex) Güneş'e göre fakir olmasını destekler niteliktedir.

### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 120F295 numaralı projeye desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan yer tabanlı CCD *UBV* gözlemleri TUG'daki T100 teleskobuyla 18CT100-1396 numaralı gözlem projesiyle gerçekleştirilmiştir.

### Kaynaklar

- Bertin, E., Arnouts, S., 1996, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 117, 393
- Bisht, D., Yadav, R. K. S., Ganesh, S., Durgapal, A. K., Rangwal, G., Fynbo, J. P. U., 2019, *MNRAS*, 482, 1471
- Bisht, D., Zhu, Q., Yadav, R. K. S., Durgapal, A., Rangwal, G., 2020, *MNRAS*, 494, 607
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S. Nanni, A., 2012, *MNRAS*, 427, 127
- Bovy, J., Tremaine, S., 2012, *ApJ*, 756, 89
- Bovy, J., 2015, *ApJS*, 216, 29
- Buckner, A. S. M., Froebrich, D., 2013, *MNRAS*, 436, 1465
- Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., ve diğ., 2018, *A&A*, 618, A93
- Cantat-Gaudin, T., Krone-Martins, A., Sedaghat, N., ve diğ., 2019, *A&A*, 624, A126
- Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Julbe, F., Morvan, M., Balaguer-Núñez, L., Cantat-Gaudin, T., 2018, *A&A*, 618, A59
- Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Cantat-Gaudin, T., Balaguer-Núñez, L., 2019, *A&A*, 627, A35
- Chen, Y. Q., Nissen, P. E., Zhao, G., Zhang, H. W., Benoni, T., 2000, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 141, 491
- Coşkunoglu, B., Ak S., Bilir, S., ve diğ., 2011, *MNRAS*, 412, 1237
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., ve diğ., 2003, *yCat*, II/246
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., ve diğ., 2018, *MNRAS*, 479, 5491
- Gaia işbirliği, Vallenari, A., Brown, A. G. A., Prusti, T., ve diğ., 2022, eprint arXiv:2208.00211
- Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoglu, B. 2011, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 28, 95
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D., 2005, *A&A*, 438, 1163
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Roeser, S., Scholz, R.-D., 2012, *A&A*, 543, 156
- Krone-Martins, Moitinho, A., 2014, *A&A*, 561, 57
- Lada, C. J., Lada, E. A., 2003, *ARA&A*, 41, 57
- Landolt, A. U., 2009, *AJ*, 137, 4186
- Leggett, S. K., 1992, *ApJS*, 82, 351
- Liu, L., Pang, X., 2019, *ApJS*, 245, 32
- Maurya, J., Joshi Y. C., 2020, *MNRAS*, 494, 4713
- McKee, C. F., Ostriker, E. C., 2007, *ARA&A*, 45, 565
- Portegies, Zwart, S. F., McMillan, S. L. W., Gieles, M., 2010, *ARA&A*, 48, 431
- Soubiran, C., Cantat-Gaudin, T., Romero-Gómez, M., ve diğ., 2018, *A&A*, 619, A155
- Sung, H., Lim, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M. Park, B., 2013, *JKAS*, 46, 103

### Access:

M23-0309: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)