Galaktik Astronomi Çalıştayı Bildiriler Kitabı
Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book

İSTANBUL UNIVERSITY PRESS

DOI: 10.26650/PB/PS01.2021.001.026

BERKELEY 8 Açık Kümesinin CCD UBVRI Fotometrisi

Hikmet ÇAKMAK[1], Raúl MICHEL[2], Yüksel KARATAŞ[1]

[1]İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye
[2]Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C., México

ORCID: H.Ç. 0000-0002-1959-6049; R.M. 0000-0003-1263-808X; Y.K. 0000-0002-7737-6589

ÖZ

Literatürde az incelenmiş olan Berkeley 8 (Be 8) açık kümesinin Sierra Nevada Gözlemevi'ndeki 0.90 m'lik teleskop ile alınan CCD *UBVRI* fotometrik verileri analiz edilmiştir. Z = +0.008 PARSEC izokronu bize, $E(B\text{-}V)$ = 0.69±0.03 değerinde bir kızarma değeri, 3410±300 pc'lik bir uzaklık ve 2.8±0.2 Gyıl'lık bir yaş değeri vermektedir. *Gaia* DR2 medyan uzaklığı d = 3676±810 pc, 3410-3620 pc uzaklık aralığındaki fotometrik uzaklıklar ile belirsizlik içerisinde uyumludur. Be 8'in beş muhtemel üyesinin kinematik hızları ve yörünge basıklık değerleri, $0.23 \leq e \leq 0.30$, Galaksinin ince disk popülasyon özelliklerini göstermektedir. Kümenin [M/H] = - 0.27 dex'lik metal bolluğu değeri ve $R > 10.57$ kpc'lik Galaksi merkezine uzaklıkta bulunması farklı bir Galaktik yarıçaptan veya farklı yıldız oluşum bölgesinden orijinlenmiş olabilir.

1. Giriş

Açık kümeler Galaktik diskin yapısını, yıldızların kimyasal ve dinamik evrimini çalışmak için kullanılan önemli gökcisimleridir. Bu bakımdan bunların temel özelliklerinin ortaya çıkarılması için oldukça çok sayıda kümenin incelenmesi önem arz etmektedir. Açık kümelerdeki yıldızlar yaklaşık olarak birbirine benzer özellikler gösterirler. Fotometrik renk-parlaklık diyagramlarıyla ($V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}I$ ve $V \times R\text{-}I$) kızarma, uzaklık ve yaş gibi astrofiziksel parametreler elde edilerek hem kümenin hem de kümenin içinde bulunduğu galaksi bölgesinin özellikleri ortaya çıkarılmaktadır. Ayrıca renk-parlaklık diyagramları kullanılarak küme içindeki erken-tip yıldızları, Mavi Mücadeleci Yıldızlar (Blue Stragglers) ve Kırmızı Dev/Kırmızı Yığın (Red Giant/Red Clump) adayların belirlenmesi mümkündür.

Be 8 ekvatoryal ($\alpha_{2000} = 02^h 01^m 06^s$, $\delta_{2000} = +75° 29' 00''$) ve Galaktik ($l = 127°.352$, $b = +13°.213$) koordinatları dikkate alındığında Samanyolu Galaksisi'nin ikinci çeyreğinde Perseus kolunun

Submitted/Başvuru: 27.09.2019 **Accepted/Kabul:** 31.01.2020

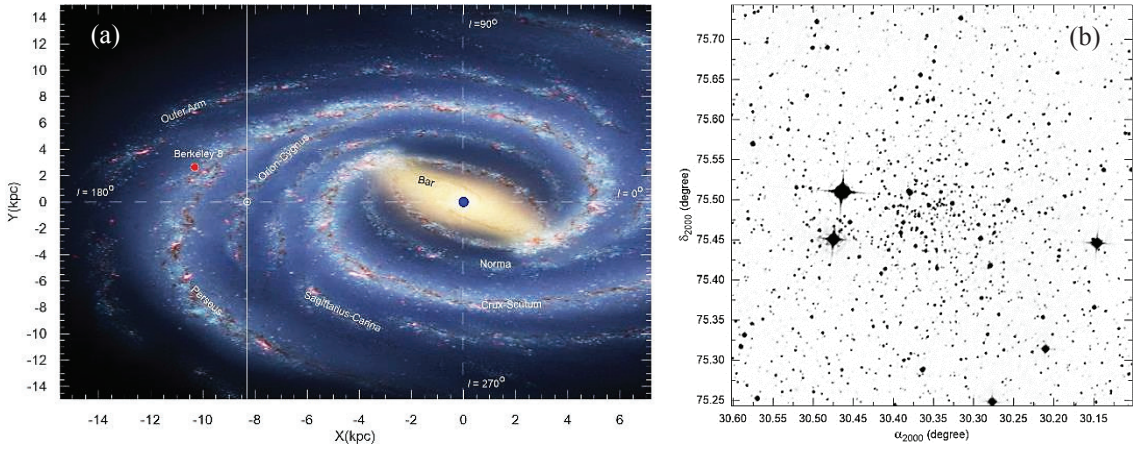
Corresponding author/Sorumlu yazar: Hikmet Çakmak, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-mail: hcakmak@istanbul.edu.tr

Citation/Atıf: Çakmak ve diğ. 2021, in: BERKELEY 8 Açık Kümesinin CCD UBVRI Fotometrisi, eds. S. Ak & S. Bilir, *Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book*, 201. https://doi.org/10.26650/PB/PS01.2021.001.026

yakınında yer alır (Şekil 1). Be 8, Hasegawa ve diğ. (2004) tarafından CCD *BVI* fotometrisi ile Bukowiecki ve diğ. (2011) tarafından 2MASS JHK_s fotometrisi ile incelenmiştir. Bu çalışmada Be 8'in küme üyelerinin astrofiziksel parametreleri CCD *UBVRI* fotometrisi ve *Gaia* DR2 astrometrisi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. *Gaia* DR2'den alınan öz hareket ve trigonometrik paralaks verileriyle belirlenen küme üyelerinin *B-V*, *V-I* ve *R-I*, G_{BP} - G_{RP} renk indeksi kullanarak oluşturulan renk-parlaklık diyagramları ile kümenin kızarma, uzaklık ve yaş değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kümenin beş olası üye yıldızının radyal hız değerlerinden kümeye ait kinematik ve Galaktik yörünge parametreleri hesaplanmıştır.

2. Gözlemler ve İndirgeme İşlemleri

Be 8'in fotometrik gözlemleri 3 Aralık 2015 tarihinde Sierra Nevada Gözlemevi'ndeki (Granada, İspanya) 0.90 m'lik (*f*/8 Ritchey-Chrétien) teleskop ile elde edilmiştir. Gözlemde üzerinde *UBVRI* filtreleri bulunan 2048×2048 piksel boyutlu Marconi-EEV CCD42-40 kamerası kullanılmıştır. Veri indirgeme işlemleri IRAF paketi, Fortran ve Lunix awk komutları kullanılarak Raúl Michel tarafından gerçekleştirilmiştir. *Gaia* DR2 verileri ise CDS VizieR Kataloğundan[1] alınmıştır (Gaia işbirliği, 2018).



Şekil 1. a) Berkeley 8'in Galaktik konumu (kırmızı daire). Güneş'in konumu $R_\odot$ = 8.2 kpc de beyaz daire ile gösterilmiştir. Görüntü *universetoday* web sitesinden[2] uyarlanmıştır. b) Be 8'in yıldız haritası.

3. Küme Üyelerinin Belirlenmesi

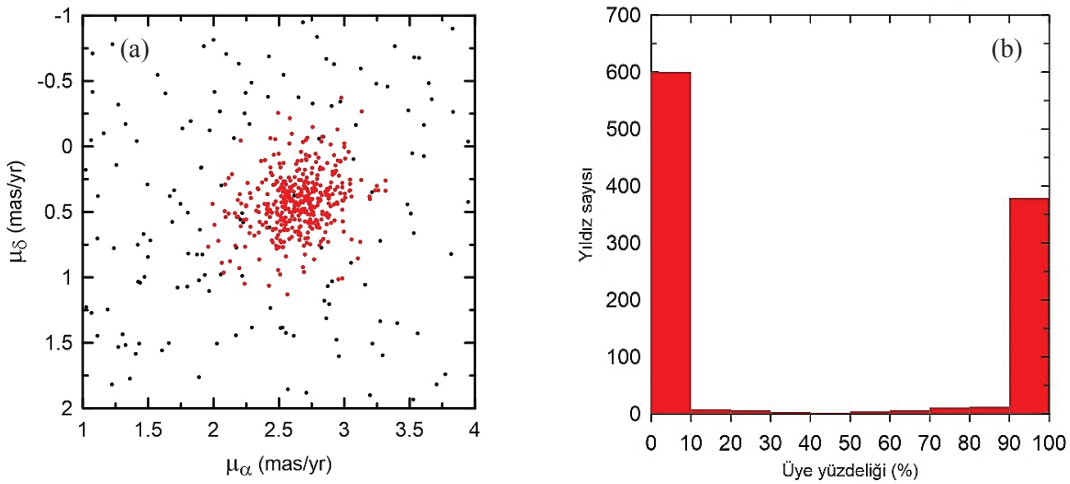
Be 8'in küme üyelerinin tespiti için, küme yıldızlarının CCD *UBVRI* fotometrik verisi *Gaia* DR2 astrometrik (öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks) ve *Gaia* DR2 fotometrik verisi ile eşleştirilmiştir. Eşleşen yıldızlar (kırmızı noktalar) Şekil 2a'da $\mu_\alpha \times \mu_\delta$ (mas/yıl) diyagramında verilmiştir. Eşleşen bu verilere Python kütüphanesinin *Scikit-Learn* paketinde bulunan *Gaussian Mixture Model* (GMM) (Pedregosa ve diğ., 2011) uygulanarak küme yıldızlarının *P* üyelik yüzdelikleri hesaplanmıştır. Şekil 2b'deki histogramda küme üyesi olasılığı %90'dan büyük olan 268 yıldız muhtemel küme üyesi (Şekil 2a kırmızı noktalar) olarak alınmıştır. GMM'ye göre küme bölgesinin öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralakslarının medyan değerleri, sırasıyla, μ_α = 2.648 ± 0.24 mas/yıl, μ_δ = 0.421 ± 0.23 mas/yıl ve ϖ = 0.266 ± 0.12 mas olarak elde edilmiştir.

1 http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-2

2 https://www.universetoday.com/102616/our-place-in-the-galactic-neighborhood-just-got-an-upgrade

4. Kümenin Astrofizik, Kinematik ve Yörünge Parametreleri

B-V, *V-I*, *R-I* ve G_{BP} - G_{RP} renk indekslerine ait renk-kadir diyagramlarında Be 8'in kızarma, uzaklık ve yaş değerleri, Bressan ve diğ.'ne (2012) ait PARSEC izokronları yardımı ile elde edilmiştir. Bu grafiklere en iyi uyan izokron Z = +0.008 ile 2.8 Gyıl modeli olmuştur. Renk-kadir diyagramları Şekil 3'te ve elde edilen astrofiziksel parametreler ise Tablo 1'de listelenmiştir. *Gaia* DR2 radyal hızları olan beş muhtemel üyenin verileri ile Johnson ve Soderblom (1987) ile Kepley ve diğ.'ne (2007) ait bağıntılar yardımıyla beş üyenin Güneş merkezli uzay hız bileşenleri *(U, V, W)*, azimutal (V_Φ) hızları ile açısal $(J_z, J_\perp)$ momentumları hesaplanmıştır (Tablo 2). 2.8 Gyıl yaşı için, Bovy'nin (2015) Python kütüphanesinde bulunan *galpy* paketindeki *MWPotential2014* fonksiyonu kullanılarak üyelerin yörüngelerine ait Galaksi merkezine enberi/enöte (R_{min}, R_{max}) uzaklıklar ile Galaktik düzleme maksimum yükseklik (z_{max}) ve yörünge basıklık (*e*) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda $(U, V, W)_\Theta$ = (+11.10, +12.24, +7.25) km/sn, R_Θ = 8.2 kpc ve V_{LSR} = 239 km/sn sabitleri dikkate alınmıştır.



Şekil 2. a) Be 8'e ait küme yıldızların $\mu_\alpha \times \mu_\delta$ (mas/yıl) diyagramı. Kırmızı noktalar muhtemel üyeleri göstermektedir. b) Seçilen yıldızların GMM'ye göre hesaplanmış üyelik yüzdeliklerinin dağılımı.

Tablo 1. Be 8'in dört renk indeksi için elde edilen temel astrofiziksel parametreler.

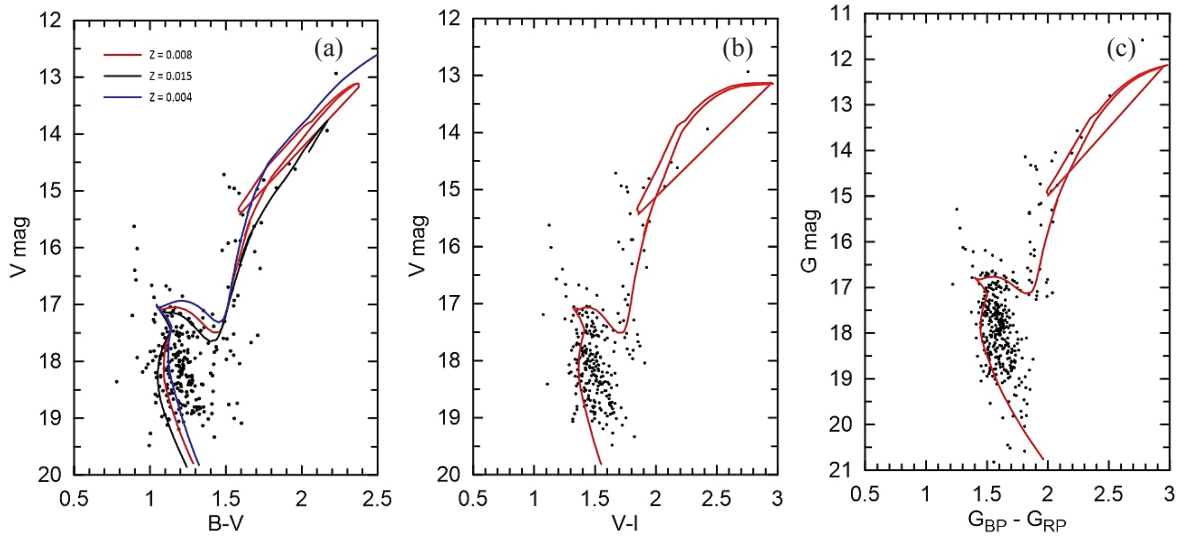
Renk indeksi	V_0 -M_V	*d* (kpc)	log (*A*)	*A* (Gyıl)
B-V	12.66 ± 0.19	3.41 ± 0.30	9.45 ± 0.03	2.80 ± 0.20
V-I	12.67 ± 0.31	3.42 ± 0.49	9.45 ± 0.03	2.80 ± 0.20
R-I	12.79 ± 0.32	3.62 ± 0.53	9.45 ± 0.03	2.80 ± 0.20
G_{BP} -G_{RP}	11.02 ± 0.31	3.48 ± 0.50	9.45 ± 0.03	2.80 ± 0.20

Tablo 2. Be 8'in muhtemel beş üyesine ait kinematik ve yörünge parametreleri. (U, V, W, V_Φ) değerleri km/sn, (R_m, R_{max}, R_{min}, z_{max}) değerleri kpc, J_z ve $J_\perp$ değerleri kpc km/sn olarak verilmiştir.

Sıra	*U*	*V*	*W*	V_Φ	R_{max}	R_{min}	R_m	z_{max}	*e*	J_z	$J_\perp$
508	-19.77	-55.89	15.36	-184.42	12.44	6.69	9.56	1.27	0.30	-2056.63	259.33
862	-14.94	-49.42	13.32	-192.93	12.12	7.09	9.60	1.15	0.26	-2106.96	242.69
737	-10.64	-48.43	11.61	-196.75	11.32	7.10	9.21	0.97	0.23	-2060.68	218.84
299	-9.91	-51.27	12.69	-193.21	11.66	7.07	9.37	1.07	0.24	-2076.34	235.59
674	-17.44	-57.54	11.64	-183.29	12.40	6.68	9.54	1.21	0.30	-2054.53	233.05

5. Tartışma ve Sonuç

UBVRI fotometrisine ait renk-kadir diyagramlarından (Şekil 3a ve b) kızarma değerleri $E(B\text{-}V) = 0.69 \pm 0.03$ ve $E(V\text{-}I) = 0.87 \pm 0.10$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler Hasegawa ve diğ.'nin (2004) verdiği $E(B\text{-}V) = 0.75$ ve $E(V\text{-}I) = 0.88$ değerleri ile uyumludur. Ancak elde edilen $E(B\text{-}V)$ değeri Bukowiecki ve diğ.'nin (2011) 2MASS JHK_s fotometrisi için elde ettiği 0.41 değerinden biraz büyüktür.



Şekil 3. Be 8'in 2.8 Gyıl eş-yaş eğrisi fit edilmiş CMD grafikleri. a) $V \times B\text{-}V$ renk-kadir diyagramı: Z = 0.008, 0.015 ve 0.004'e için 2.8 Gyıl eş-yaş eğrileri, b) $V \times V\text{-}I$ renk-kadir diyagramı: Z = 0.008, c) $G \times G_{BP} - G_{RP}$ renk-kadir diyagramı: Z = 0.008.

Bu çalışmada $V \times B\text{-}V$ renk-kadir diyagramından elde edilen uzaklık modülü ve uzaklık değerleri, sırası ile, 12.66 ± 0.19 ve 3410 ± 300 pc'tir. Bu değerler Hasegawa ve diğ.'nin (2004) 12.49 ve 3148 pc değerleri iyi bir uyum gösterirken, Bukowiecki ve diğ.'nin (2011) 13.34 ve 3960 pc değerlerinden biraz küçüktür. $G \times G_{BP} - G_{RP}$ diyagramından elde edilen uzaklık modülü/uzaklık ve yaş değerleri *UBVRI* fotometrisinin değerleriyle uyumludur. 43 muhtemel üyenin medyan *Gaia* trigonometrik paralaksı 0.272 ± 0.06 mas olup, 3676 ± 810 pc'lik bir uzaklığı vermektedir. Bu değer *UBVRI* fotometrisinden hesaplanan $3410 < d < 3620$ pc uzaklık değerleri ile hatalar içinde oldukça uyumludur.

Be 8'in yaşı bu çalışmada 2.80 ± 0.20 Gyıl olarak elde edilmiştir. Bu değer Hasegawa ve diğ. (2004) ve Bukowiecki ve diğ.'nin (2011) 3.16 Gyıl yaşına göre gençtir. Diğer taraftan kümenin 2.94 Gyıl'lık morfolojik yaş indeks değeri (morphological age index - MAI) izokron yaşı ile iyi bir uyum göstermektedir.

[M/H] = -0.27'lik metal bolluk değeri ile Be 8'i, 10.57 kpc'lik Galaktosentrik uzaklıkta nispeten metalce zengin bir bolluk değerinde bulmak biraz şaşırtıcıdır. Lepine ve diğ.'nin (2011) ($R \times$ [M/H]) grafiğine göre, bu bolluk ve $R = 10.57$ kpc değeri ile Be 8, $R > 9$ kpc bölgede ($R = 9$ kpc, birlikte dönme yarıçap değeri) yer alıyor. Bu ise kümenin farklı bir Galaktik uzaklıktan ya da farklı bir yıldız oluşum bölgesinden orijinlendiğinin bir göstergesi olabilir.

Kaynaklar

Bovy, J., 2015, A&AS, 216, 29
Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A., 2012, MNRAS, 427, 127
Bukowiecki, L., Maciejewski, G., Konorski, P., Strobel, A., 2011, AcA, 61, 231
Gaia işbirliği, Brown, A.G.A., Vallenari, A., Prusti, T. ve diğ., 2018, A&A, 616A, 1
Hasegawa, T., Malasan, H.L., Hideyo, K., Obayashi, H., Kurabayashi, T., Nakai, T., Hyakkai, M., Arimoto, N., 2004, PASJ, 56, 295
Johnson, D.R.H, Soderblom, D.R., 1987, AJ, 93, 864
Kepley, A.A., Morrison, H.L., Helmi, A., Kinman, T.D., van Duyne, J., Martin, J.C., Harding, P., Norris, J.E., Freeman, K.C., 2007, AJ, 134, 1579
Lepine, J.R.D., Cruz, P., Scarano, S.Jr., Barros, D.A., Dias, W.S., Pompeia, L., Andrievsky, S.M., Carraro, G., Famaey, B., 2011, MNRAS, 417, 698
Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A. ve diğ., 2011, JMLR, 12, 2825