

Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Keşfedilen Seçilmiş Açık Kümelerin Detaylı Analizi

Burcu Akbulut,¹★ Eyüp Kaan Ülgen,¹ Tansel Ak²

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, 34116, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Türkiye

Accepted: January 20, 2022. Revised: January 5, 2022. Received: December 20, 2021.

Özet

Bu çalışmada *Gaia* uydusunun erken üçüncü veri sürümü (*Gaia* EDR3) kataloğundaki astrometrik ve fotometrik verilerden itibaren makine öğrenmesi yöntemiyle keşfedilen ve literatürde detaylı çalışması bulunmayan UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümelerinin *Gaia* EDR3 ve 2MASS verileri kullanılarak astrometrik ve astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. Çalışmada, küme doğrultusundaki yıldızların öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaksı Gaussian Mixture Modeli (GMM) kullanılarak kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. Kümeye üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızlardan itibaren UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümelerinin, sırasıyla, sönmlemeleri (A_G ; 0.12, 0.10, 0.35, 0.10 kadir), uzaklıkları (d ; 576, 450, 690, 645 pc), ağır element bollukları (Z ; 0.015, 0.005, 0.008, 0.010) ve yaşları ($\log t$; 8.20, 8.50, 8.60, 7.30 dex) tayin edilmiştir.

Abstract

In this study astrometric and astrophysical parameters were determined using *Gaia* and 2MASS data of UPK 51, UPK 350, UPK 579 and UPK 599 open clusters, which were discovered by machine learning method starting from the astrometric and photometric data in the *Gaia* Early Data Release 3 (*Gaia* EDR3). In the study, the cluster membership probabilities were calculated using the Gaussian Mixture Model (GMM) for the proper motion components and trigonometric parallaxes of the stars in the open cluster direction. Beginning from stars with cluster membership probability $P \geq 0.5$, the extinction (A_G ; 0.12, 0.10, 0.35, 0.10 magnitude), distances (d ; 576, 450, 690, 645) of open clusters UPK 51, UPK 350, UPK 579 and UPK 599, respectively. parsec), metallicity (Z ; 0.015, 0.005, 0.008, 0.010) and ages ($\log t$; 8.20, 8.50, 8.60, 7.30 dex) were determined.

Anahtar Kelimeler: Open Clusters: UPK51 UPK350 UPK579 UPK599 – Stars: H-R Diagram – Milky Way Galaxy

1 Giriş

Açık kümeler Galaksi diskinin özelliklerinin araştırılmasında uzun zamandan beri birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Friel et al. 1995; Lada & Lada 2003). Galaktik düzlem civarında bulunan açık kümeler, büyüklüklerine bağlı olarak onlarca ya da binlerce yıldız içermekle birlikte aynı molekül bulutunda eş zamanlı doğan ve kütleçekimsel olarak birbirlerine zayıf bağlı bulunan yıldız gruplarıdır. Bir açık kümedeki yıldızların renk artıkları, metal bollukları, uzaklıkları ve yaşları hemen hemen aynı kabul edilir. Bununla birlikte, kümedeki yıldızların kütleleri geniş bir aralıkta yer alır. Kümenin temel astrofizik parametrelerinin bilinmesi açık kümeleri yıldız evrimi modellerinin sınanmasında, başlangıç kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde, Samanyolu'nun yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasında kullanışlı nesnelere yarar. Galaksi diskinde kümeler yaş bakımından; genç ($\log t < 8.5$), orta ($8.5 \leq \log t \leq 9$) ve yaşlı ($\log t \geq 9$) olarak sınıflandırılır (Frinchaboy et al. 2013). Genç kümeler başlangıç kütle fonksiyonunun elde edilmesi, orta ve yaşlı açık kümeler ise Galaksi diskinin evrimini belirleyen süreçlerin anlaşılmasını sağlar.

Açık kümeler iyi bir uzaklık göstergesi olan Galaktik

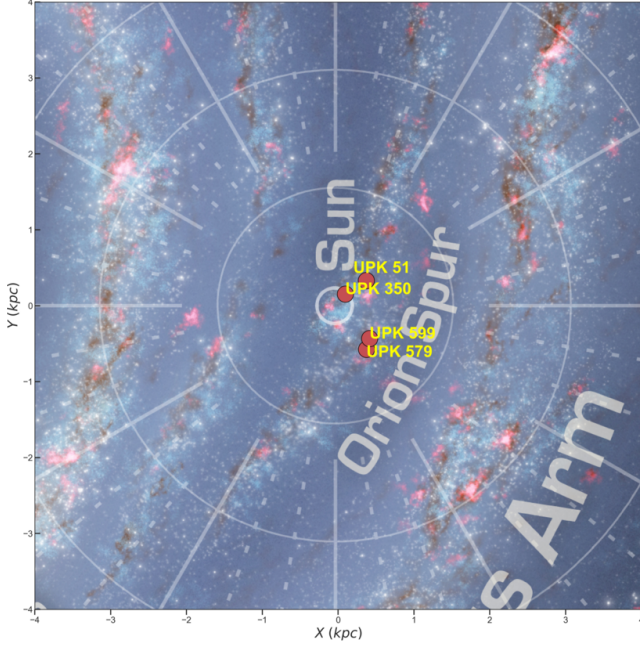
nesnelere olduklarından, Samanyolu'nun spiral kollarının yapısının ortaya çıkartılmasında kullanılır. Galaktik kümeler olarak da bilinen bu nesnelere, gaz ve toz bakımından zengin olmakla birlikte tozun ilk yıldız oluşum döneminden kalan madde olduğu anlaşılmıştır (Lada & Lada 2003). Morfolojiler kümeden küme-ye değişir. Açık kümeler seyrek yıldız dağılımları olarak ve alan yıldızlarıyla düzensiz bir şekilde karışmış halde veya birkaç bin yıldız içeren kalabalık, yoğun ve nispeten küresel formlar olarak görünebilirler. Küme boyutundaki farklılıklar bu nesnelere dinamik evrimlerini de etkilediğinden, dinamik evrim sürecini anlamak ve hassas astrofizik parametreleri belirlemek için küme merkezlerinden farklı uzaklıklardaki yıldız yoğunluklarını incelemek gerekir. Sonuç olarak, açık küme gözlemlerinden elde edilen yapısal ve astrofizik parametrelerin duyarlı ve iyi bilinen yöntemlerle tayin edilmesi, kümelerdeki dinamik evrim süreçlerinin yanısıra yıldız oluşum ve evrimi modellerinin tutarlı hale getirilmesinde önemlidir.

2 Veri

Dört açık kümenin astrometrik olarak, ekvatorial koordinat (α , δ), trigonometrik paralaks (ϖ) ve öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ), fotometrik olarak da *Gaia* parlaklık ve renk indeksi (G , $G_{BP} - G_{RP}$) verileri *Gaia* EDR3 (Gaia Collaboration et al. 2021) veri sürümünden ADQL sorgu

★ burcu.akbulut@ogr.iu.edu.tr

2 Akbulut ve diğ.



Şekil 1. Dört açık kümenin Galaktik düzlem üzerindeki konumları.

dili kullanılarak indirilmiştir¹. Küme alanlarındaki yıldızların *Gaia* EDR3 kata-loğundaki ekvatorial koordinatları yakın kızıl ötesine ait fotometrik verileri içeren 2MASS katalogundaki (Cutri et al. 2003) nesnelere eşleştirilerek dört kümenin astrometrik ve fotometrik verilerini içeren geniş kapsamlı katalogları oluşturulmuş ve analizlere hazır hale getirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, makine öğrenmesi yöntemiyle keşfedilmiş olan UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümelerinin (Sim et al. 2019) detaylı analizleri yapılmış olup astrofiziksel parametreleri belirlenmiştir. Seçilmiş dört açık kümenin galaksi düzlemindeki konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.

3 Analizler

Kümenin yapısal parametrelerinin tayininde her bir açık küme için oluşturulan radyal yıldız yoğunluk profillerine yapılan King (1962) modeli kullanılmıştır. Yıldız yoğunluk profilinde, kümelerin yıldız yoğunluğu ile alan yıldızlarının yoğunluğunun birleştiği nokta, kümenin etkin yarıçapı olarak kabul edilmiştir. Analizler sonucunda UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 kümelerinin etkin yarıçapları, sırasıyla, 18, 30, 35 ve 20 yay dakikası olarak belirlenmiştir. Kümelerin etkin yarıçaplarının hesaplanmasıyla küme üyeliklerinin belirlenmesine yönelik ilk aşama tamamlanmıştır.

Kümenin üye yıldızlarını tespit edebilmek için denetimsiz makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan Gaussian Mixture Model (GMM; Pedregosa et al. 2011) uygulanmıştır. GMM, küme doğrultusundaki yıldızların astrometrik ve fotometrik verilerini dikkate alarak kümeye üyelik olasılıklarını hesaplamaktadır. UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümeleri için GMM ile kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ hesaplanan yıldızların sayısı, sırasıyla, 46, 35, 130 ve 90'dır.

¹ <https://gea.esac.esa.int/archive/>

Her bir kümede üyelik olasılığı yüksek yıldızların ($P \geq 0.5$) öz hareket bileşenlerinin ortalama değerleri alınarak UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 için ortalama öz hareket bileşenleri, sırasıyla,

$$\begin{aligned}(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)_{\text{UPK51}} &= (+5.10 \pm 0.05, +1.98 \pm 0.04), \\(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)_{\text{UPK350}} &= (-4.85 \pm 0.06, -6.32 \pm 0.05), \\(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)_{\text{UPK579}} &= (-10.72 \pm 0.04, -3.23 \pm 0.03), \\(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)_{\text{UPK599}} &= (-9.96 \pm 0.09, +0.22 \pm 0.08)\end{aligned}$$

mas yıl⁻¹ hesaplanmıştır. Kümedeki yıldızların *Gaia* astrometrik verilerinden (α , δ , $\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ , ϖ) hesaplanan kümeye üyelik olasılıkları, radyal hızı bilinen yıldızlar ile birlikte ele alınarak bu çalışmada verilen kümeye üyelikler sınanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, dört açık kümedeki yıldızların ekvatorial koordinatları ve trigonometrik paralaks verileri üç boyutlu uzayda (α , δ , ϖ) işaretlenmiş ve her bir yıldızın öz hareket verisi ile yönelme açısına göre mavi renkli vektör ile gösterilmiştir (Şekil 3). Aynı diyagramda radyal hızı bilinen az sayıda yıldız da kırmızı renkli ok ile belirtilmiştir. Her bir küme için oluşturulan üç boyutlu diyagramlarda, GMM ile küme üyeliği belirlenmiş yıldızlar ile radyal hız verileri bilinenlerin uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu da yıldızların küme üyeliklerinin duyarlı belirlendiğini göstermektedir.

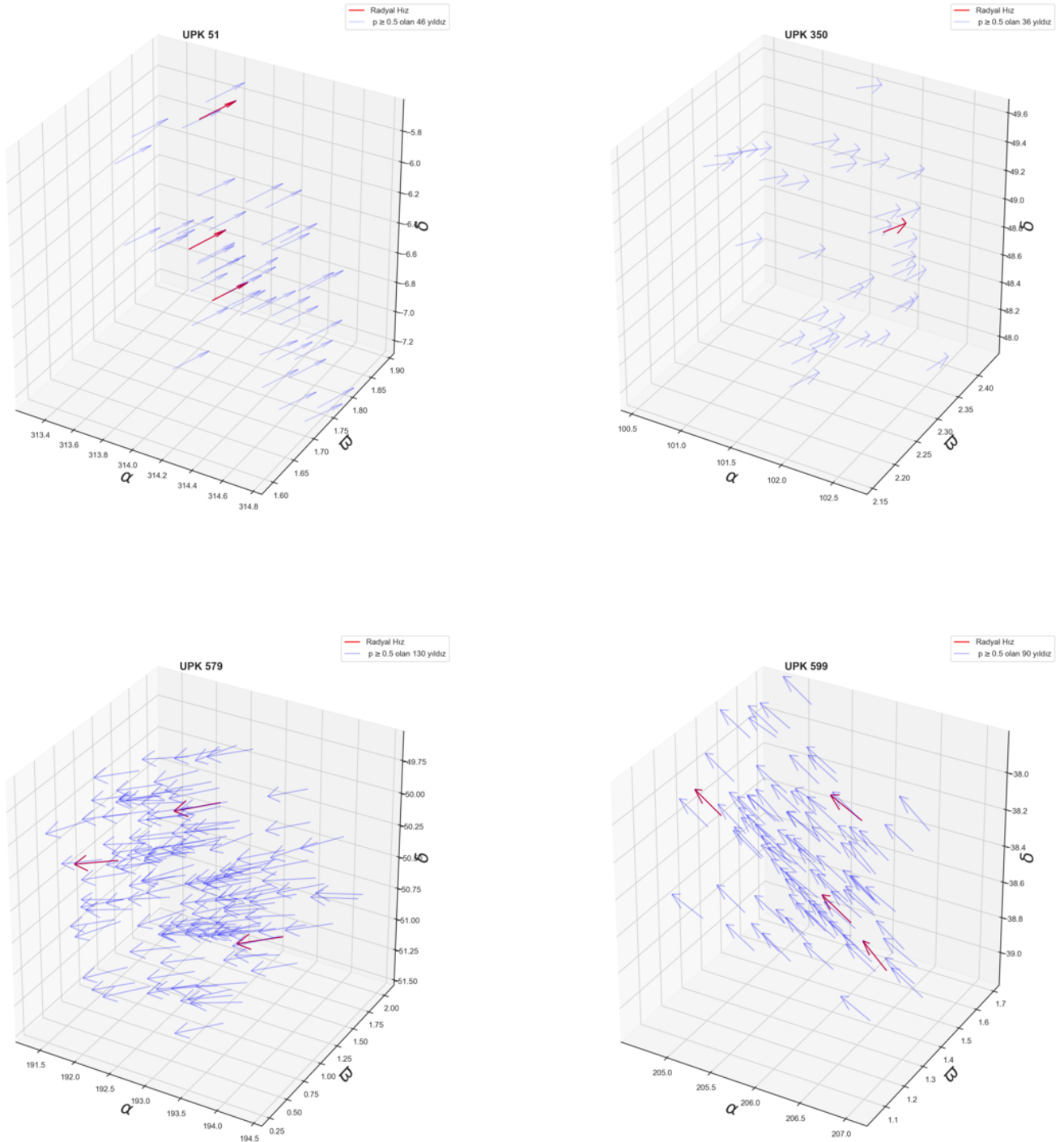
4 Kümelerin Astrofizik Parametrelerinin Belirlenmesi

Kümelerin astrofizik parametreleri tayin edilirken Bressan et al. (2012)'in PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. Küme üyeliği yüksek yıldızlar ($P \geq 0.5$) 2MASS ve *Gaia* fotometrik verilerinden oluşturulan, sırasıyla, $J - (J - H)$ ve $G - (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramlarına işaretlenmiştir (Şekil 3). Farklı yaş ve element bolluklarında seçilen PARSEC eş-yaş eğrileri diyagramlar üzerinde küme üyesi yıldızları temsil edecek şekilde kaydırılmıştır. Çalışmada küme üyesi yıldızlar ile en iyi uyumu sağlayan PARSEC modelleri dikkate alınarak kümelerin yaş (t), uzaklık modülü (μ) uzaklık d_{mod} ve sönümleme değerleri (A_G) belirlenmiştir. Bu yöntem ile temel astrofizik parametreleri tayin edilen dört açık kümenin yaş ve uzaklık modülünü en iyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri Şekil 3'te gösterilmiş ve sonuçlar Çizelge 1'de listelenmiştir.

5 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, makine öğrenmesi yöntemiyle keşfedilmiş dört açık kümenin yakın kızılötesi fotometrik verileriyle birlikte *Gaia* EDR3 katalogundan (Gaia Collaboration et al. 2021) sağlanan astrometrik ve fotometrik verileri kullanılarak kümelerin astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. Küme doğrultusundaki yıldızların kümeye üyelik olasılıkları GMM ile tayin edilmiş olup, üyelik olasılığı yüksek yıldızlardan ($P \geq 0.5$) kümelerin sönümleme (A_G), uzaklık (d), ağır element bolluğu (Z) ve yaşları ($\log t$) hesaplanarak Çizelge 1'de listelenmiştir. İncelenen açık kümelerin Güneş'ten 450 ile 690 pc uzaklık içinde yer aldığı, yaşlarının da 20 ile 320 Myıl aralığında bulunduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada incelenen dört açık küme *Gaia* çağında keşfedilmiştir. Sim et al. (2019) ve Cantat-Gaudin et al. (2020) dört kümenin astrofizik parametrelerini *Gaia* DR2 astrometrik ve fotometrik verilerini kullanarak elde etmiştir (bakınız, Çizelge 1). Bu çalışmada küme üyesi olarak belirlenen yıldız sayıları Cantat-Gaudin et al. (2020)'in çalışmasıyla uyumlu iken, Sim et al. (2019)'in belirlediği üye sayısından daha fazladır.



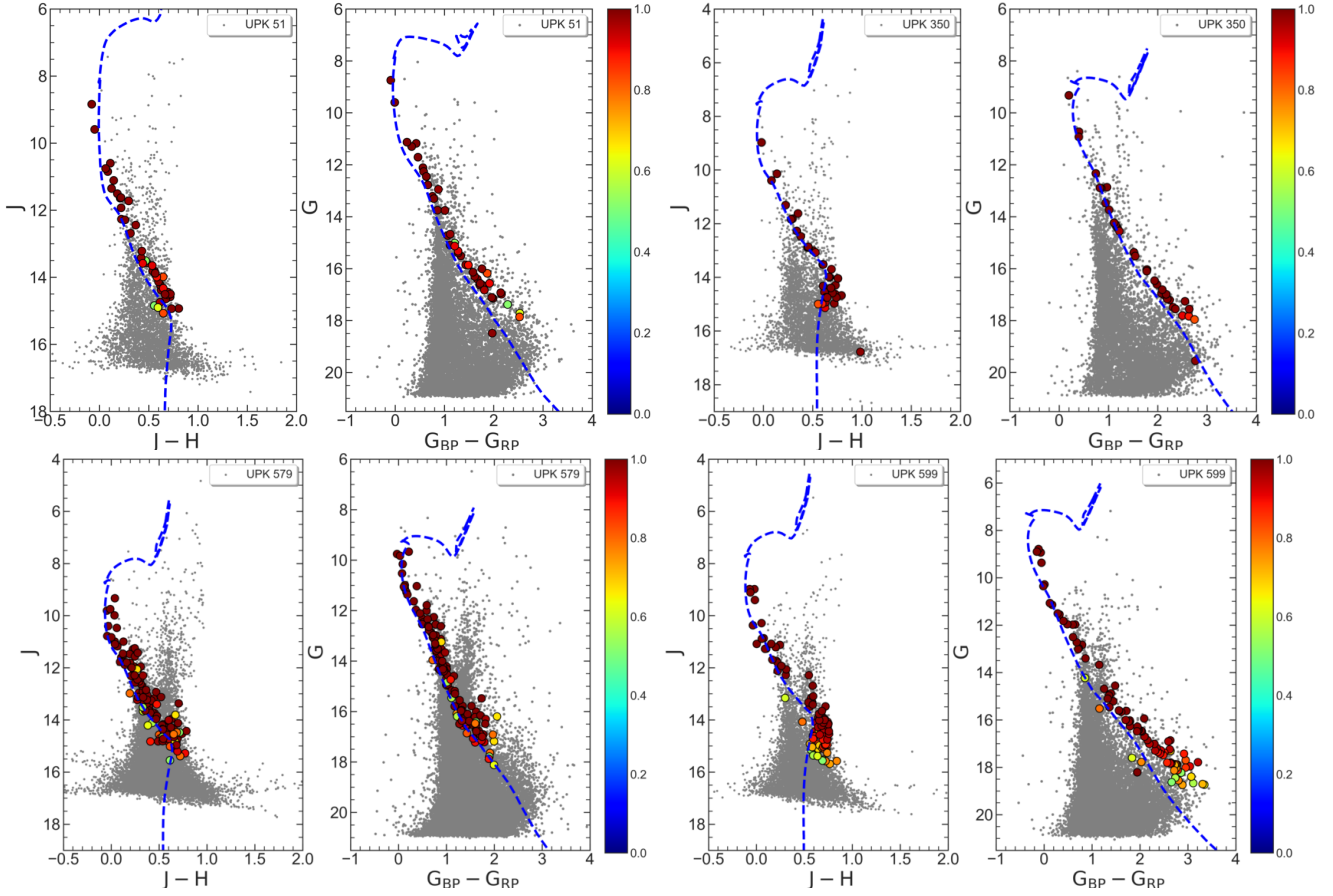
Şekil 2. Açık kümeler doğrultusunda küme üyelik olasılığı yüksek yıldızların ekvatorial koordinat ve trigonometrik paralaks verileri kullanılarak oluşturulan üç boyutlu uzaydaki konumları. Diyagramdaki yıldızlar öz hareket vektörlerine göre renklendirilmiştir. Kırmızı ve mavi renkler, sırasıyla, radyal hızı bilinen ve bilinmeyen yıldızları göstermektedir.

Gaia ve 2MASS fotometrisine ait renk-parlaklık diyagramlarından (Şekil 3) elde edilen sönmüleme (A_G) UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümeleri için, sırasıyla, 0.12, 0.10, 0.35, 0.10 kadirdir. Bu değerler [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#)'un çalışmasıyla karşılaştırıldığında, yalnızca UPK 599 kümesi için uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu farklılığın temel sebebi, [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#) çalışmasında dikkate alınan kümeleme algoritmasının, tüm kümeler için aynı anda bir sonuç elde etmesidir.

Bu çalışmada, $J - (J - H)$ ve $G - (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramlarından, uzaklık modülü ve trigonometrik paralaks kullanılarak elde edilen uzaklıklar UPK 51, UPK 350,

4 Akbulut ve diğ.



Şekil 3. Dört açık kümedeki küme üyelik olasılığı yüksek yıldızların $J - (J - H)$ ve $G - (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramları üzerindeki konumları ve bu yıldızları en iyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri. Renkli ve gri daireler, sırasıyla, kümeye üyelik olasılığı yüksek ($P \geq 0.5$) ve küme doğrultusundaki alan yıldızlarını göstermektedir.

Çizelge 1. Bu çalışmada hesaplanan ve literatürdeki çalışmalardan derlenen dört kümenin astrometrik ve temel astrofizik parametreleri. Literatür Kısaltmaları: [1]: Bu çalışma, [2]: [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#), [3]: [Sim et al. \(2019\)](#).

Literatür	Küme	Üye Sayısı	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ (mas yıl ⁻¹)	μ_{δ} (mas yıl ⁻¹)	ϖ (mas)	A_G (kadir)	d (pc)	Z	$\log t$ (dex)
[1]	UPK 51	46	$+5.10 \pm 0.05$	$+1.98 \pm 0.04$	1.75 ± 0.06	0.12	576	0.015	8.20
	UPK 350	35	-4.85 ± 0.06	-6.32 ± 0.05	2.31 ± 0.06	0.10	450	0.005	8.50
	UPK 579	130	-10.72 ± 0.04	-3.23 ± 0.03	1.30 ± 0.01	0.35	690	0.008	8.60
	UPK 599	90	-9.96 ± 0.09	-0.22 ± 0.08	1.47 ± 0.09	0.10	645	0.010	7.30
[2]	UPK 51	52	$+5.07 \pm 0.25$	$+2.02 \pm 0.22$	1.77 ± 0.10	0.06	581	0.015	8.03
	UPK 350	48	-4.85 ± 0.16	-6.35 ± 0.16	2.24 ± 0.11	0.19	463	0.015	8.11
	UPK 579	110	-10.71 ± 0.29	-3.23 ± 0.25	1.37 ± 0.08	0.11	702	0.015	8.08
	UPK 599	87	-9.95 ± 0.35	$+0.29 \pm 0.25$	1.46 ± 0.07	0.10	652	0.015	7.29
[3]	UPK 51	21	$+5.06 \pm 0.16$	$+2.07 \pm 0.11$	1.76 ± 0.07	0.12	567	0.02	8.00
	UPK 350	37	-4.88 ± 0.17	-6.39 ± 0.17	2.25 ± 0.12	0.15	444	0.02	8.00
	UPK 579	76	-10.73 ± 0.21	-3.20 ± 0.18	1.39 ± 0.08	0.35	717	0.02	7.90
	UPK 599	56	-9.95 ± 0.27	$+0.30 \pm 0.22$	1.49 ± 0.08	0.10	670	0.02	7.30

UPK 579 ve UPK 599 açık kümeleri için, sırasıyla, d_{mod} ; 571, 433, 772, 680 pc ve d_{ϖ} ; 576, 450, 690, 645 pc'dir. Bu sonuçlar [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#)'un çalışmasıyla karşılaştırıldığında UPK 51, UPK 350 ve UPK 599 kümeleri için uyumlu iken UPK 579'un uzaklığı bu çalışmada Güneş'e daha yakın tayin edilmiştir.

için yaşlar, sırasıyla, $\log t$; 8.20, 8.50, 8.60, 7.30 olarak tayin edilmiştir. [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#)'un çalışmasıyla karşılaştırıldığında, bu çalışmada, UPK 51, UPK 350 ve UPK 579 kümelerinin yaşları daha büyük tayin edilirken, UPK 599 için elde edilen yaşın [Cantat-Gaudin et al. \(2020\)](#) verdiği değer ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca UPK 51 açık kümesinin ağır element bolluğu Güneş bolluğunda tayin edilmiş olmasına

UPK 51, UPK 350, UPK 579 ve UPK 599 açık kümeleri

karşın diğer üç kümenin ağır element bolluğu (Z) Güneş'e göre metalce daha fakir tayin edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada optik ve yakın kızılötesi fotometrik veriler ile *Gaia* uydusunun son veri sürümündeki hassas astrometrik verilerin bir arada kullanılmış olması, bu çalışmada elde edilen bulguların literatürde verilen sonuçlara göre daha hassas olduğunu göstermiştir. *Gaia* uydu verilerinin ileriki dönemlerde literatüre kazandırılması ve uzay tabanlı çalışmaların yer tabanlı tayfsal gözlemler ile desteklenmesi, bu çalışmada belirlenen küme parametrelerinin daha duyarlı tayin edilmesine fırsat verecektir.

Kaynaklar

- Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S., Nanni A., 2012, *MNRAS*, 427, 127
Cantat-Gaudin T., et al., 2020, *A&A*, 640, A1
Cutri R. M., et al., 2003, 2MASS All Sky Catalog of point sources.. NASA/IPAC Infrared Science Archive
Friel E. D., Janes K. A., Hong L., Lotz J., Tavares M., 1995, in The Formation of the Milky Way. pp 189–190
Frinchaboy P. M., et al., 2013, *ApJ*, 777, L1
Gaia Collaboration et al., 2021, *A&A*, 649, A1
King I., 1962, *AJ*, 67, 471
Lada C. J., Lada E. A., 2003, *ARA&A*, 41, 57
Pedregosa F., et al., 2011, *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825
Sim G., Lee S. H., Ann H. B., Kim S., 2019, *Journal of Korean Astronomical Society*, 52, 145

Access:

M22-0311: *Turkish J.A&A* — Vol.3, Issue 3.