

Seçilmiş Açık Kümelerin Fotometrik ve Astrometrik Analizleri

Hülya Erçay¹  , Talar Yontan²  Selçuk Bilir² 

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

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

Accepted: May 9, 2025. Revised: May 9, 2025. Received: December 2, 2024.

Özet

Bu çalışmada, Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümelerinin fotometrik ve astrometrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde *Gaia* uydusunun üçüncü veri sürümüyle (*Gaia* DR3) CCD *UBV* gözlemsel verileri birlikte kullanılmıştır. Kümeye üye yıldızların belirlenmesinde, *Gaia* DR3'ten sağlanan astrometrik veriler kullanılmıştır. Üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan yıldızlar kümelerin yüksek olasılıklı üyeleri kabul edilmiş olup, analizlerde dikkate alınmıştır. Bu yıldızların sayısı Roslund 3 için 198, Ruprecht 174 için de 395 olarak belirlenmiştir. İki kümenin renk artışı ve fotometrik metal bolluğu bağımsız yöntemler ile tayin edilmiştir. Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümeleri doğrultusundaki renk artışı değerleri $E(B-V)$, sırasıyla, 0.410 ± 0.046 ve 0.615 ± 0.042 kadir, fotometrik metal bollukları da $[Fe/H]$, sırasıyla, 0.030 ± 0.065 ve 0.041 ± 0.064 dex tayin edilmiştir. Kümelerin *UBV* ve *Gaia* tabanlı renk-parlaklık diyagramları üzerine PARSEC eş-yaş eğrilerinin, yüksek olasılıklı küme üyeleri dikkate alınarak, fit edilmesi sonucunda hesaplanan uzaklık ve yaş değerleri Roslund 3 için, sırasıyla, 1687 ± 121 pc ve 60 ± 10 Myıl, Ruprecht 174 için bu değerler, sırasıyla, 2385 ± 163 pc ve 520 ± 50 Myıl olarak elde edilmiştir.

Abstract

We present photometric and astrometric analyses of Roslund 3 and Ruprecht 174 open clusters. Both of the clusters are investigated by combining data sets from Third Data Release of *Gaia* satellite (*Gaia* DR3) and CCD *UBV* observational data. *Gaia* DR3 astrometric data were utilized to determine the member stars of the clusters. Stars with membership probabilities $P \geq 0.5$ were considered high-probability members of the clusters and included in the analyses. The number of such stars was determined to be 198 for Roslund 3 and 395 for Ruprecht 174. The color excess and photometric metallicity of both clusters were determined using independent methods. The color excess values, $E(B-V)$, along the line of sight to the Roslund 3 and Ruprecht 174 open clusters were found to be 0.410 ± 0.046 and 0.615 ± 0.042 mag, respectively. The photometric metallicities, $[Fe/H]$, were calculated as 0.030 ± 0.065 and 0.041 ± 0.064 dex, respectively. By fitting parsec isochrones to the *UBV* and *Gaia*-based color-magnitude diagrams according to high-probability cluster members, the distance and age values were derived as 1687 ± 121 pc and 60 ± 10 Myr for Roslund 3, and 2385 ± 163 pc and 520 ± 50 Myr for Ruprecht 174, respectively.

Anahtar Kelimeler: Open Clusters: Roslund 3, Ruprecht 174, Observational: two-colour diagrams, colour-magnitude diagrams

1 Giriş

Açık kümeler, zayıf kütle çekimiyle bir arada bulunan ve aynı molekül bulutunun çökmesi sonucu oluşan yıldız topluluklarıdır. Bu gök cisimleri, birkaç yüz ila birkaç bin yıldız içerebilir ve ağırlıklı olarak Galaksimizin ince disk bileşeninde yer alırlar. Aynı yaş ve benzer kimyasal bileşim özellikleriyle dikkat çeken açık küme yıldızları, yıldızların yaşam döngüsünü araştırmak için benzersiz bir ortam sunmakla birlikte Galaksi diskinin yapısını, oluşumunu ve evrimini araştırmak açısından önemli bilgi kaynaklarıdır. Küme doğrultusundaki yıldızların fotometrik, tayfsal ve astrometrik yöntemler ile elde edilen verilerinin analizi sonucunda hesaplanan uzaklık, renk artışı, metal bolluğu ve yaş gibi temel parametreler bu çalışmalarda kritik bir rol oynar.

Açık kümelerin temel astrofizik parametrelerinin bağımsız ve hassas bir şekilde belirlenmesi, parametre dejenerasyonu nedeniyle önemli bir zorluk oluşturmaktadır. Özellikle, yaş, renk artışı ve metal bolluğunun eş-zamanlı olarak modellenmesi, bu parametrelerin birbirini etkileyebilmesi nedeniyle genellikle belirsizliklere yol açmaktadır (Yontan ve diğ. 2015). Literatürde

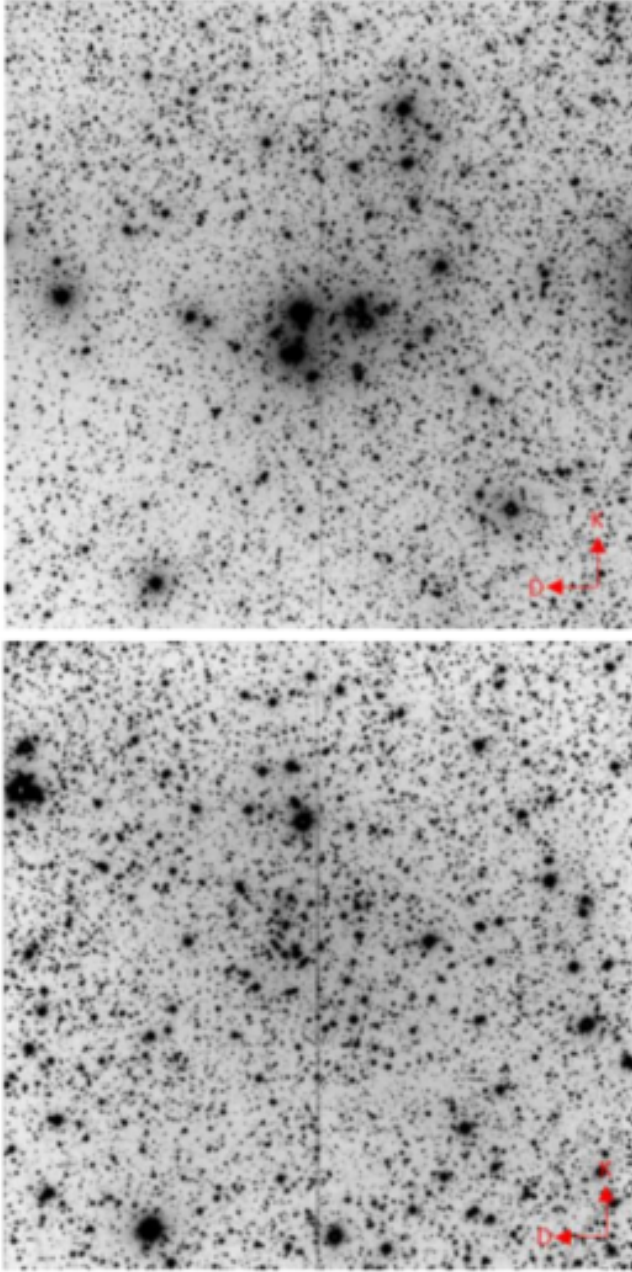
açık kümelerin parametrelerinin benzer modelleme ve eş-zamanlı tayin yaklaşımları ile belirlenmesi, geniş veri setleriyle tutarlılık sağlama açısından avantajlı görünse de, bu yaklaşımlar genellikle parametrelerin fiziksel farklılıklarını göz ardı ederek sistematik hatalara neden olabilmektedir. Bu bağlamda, temel astrofizik parametrelerin bağımsız yöntemler ile ve kümelere özgü fiziksel koşullar dikkate alınarak tayini, hem parametre dejenerasyonunun etkilerini azaltmak hem de daha güvenilir sonuçlar elde etmek için kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, CCD *UBV* fotometrik verileri ülkemizden yapılan Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümelerinin astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. *Gaia* uydusunun üçüncü veri sürümüne ait fotometrik ve astrometrik veriler (*Gaia* DR3, *Gaia* işbirliği 2023) iki kümenin gözlemlerinden elde edilen veriler ile birlikte kullanılmıştır. Analizlerde bağımsız yöntemler kullanılmış olup, tayin edilen astrofizik parametreleri arasındaki olası dejenerasyonluğun önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

2 Veri

Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümelerinin yer tabanlı CCD *UBV* gözlemleri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde

* hulyaercay5@gmail.com



Şekil 1. Roslund 3 (üst panel) ve Ruprecht 174 (alt panel) kümelerinin T100 ile V bandında alınan görüntüleri. Toplam poz süresi Roslund 3 ve Ruprecht 174 için, sırasıyla, 1200 s ve 600 s'dir.

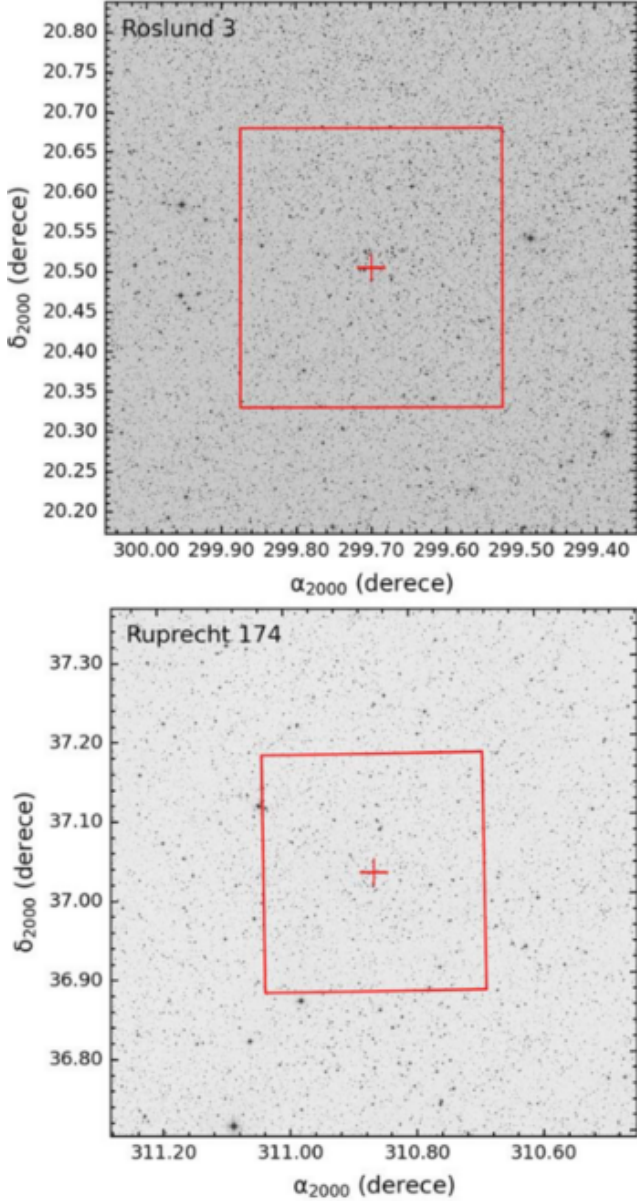
(TUG) gerçekleştirilmiştir. Gözlemler sırasında, 1-m ayna çapına sahip (T100), $f/10$ odak oranlı Ritchey-Chrétien tasarımlı teleskop kullanılmıştır. Teleskop, odak düzleminde $4k \times 4k$ piksel boyutunda, arkadan aydınlatmalı ve UV duyarlılığı artırılmış bir Fairchild CCD kamera ile donatılmıştır. Teleskopun optik sistemi ve CCD kameranın fiziksel özellikleri dikkate alındığında, gökyüzündeki görüş alanı 21.5×21.5 yay dakikasına, CCD üzerindeki her bir piksel ölçüsü de 0.31 yay saniyesine karşılık gelmektedir.

Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümeleri, sırasıyla, 23 Temmuz 2020 ve 31 Ağustos 2022 tarihlerinde gözlenmiştir. Küme alanlarındaki sönük parlaklıkların yüksek sinyal/gürültü

(S/N) oranlarında gözlenmesi, parlak yıldızların da CCD piksellerinde doymasını önlemek amacıyla gözlemlerde her bir filtrede kısa, orta ve uzun poz süreleri kullanılmıştır. Buna göre, Roslund 3 için U bandında 70 s (3 adet), 700 s (2 adet), 1600 s (1 adet), B bandında 8 s (4 adet), 80 s (4 adet) ve 900 s (3 adet) ile V bandında 5 s (4 adet), 60 s (5 adet) ve 600 s (2 adet) olmak üzere 28 görüntü alınmıştır. Ruprecht 174 için U bandında 15 s (4 adet), 150 s (6 adet), 1500 s (5 adet), B bandında 1.5 s (4 adet), 15 s (6 adet) ve 200 s (5 adet) ile V bandında 6 s (1 adet), 8 s (6 adet) ve 150 s (4 adet) olmak üzere 41 görüntü alınmıştır.

Her bir gözlem gecesine ait atmosferik sönümleme ve dönüşüm katsayılarının hesaplanması amacıyla Landolt'un (Landolt 2009) standart yıldızları da küme alanlarıyla birlikte farklı hava kütlelerinde ve UBV filtrelerinde gözlenmiştir. İki gözlem gecesi için 18 standart yıldız alanında bulunan toplam 99 standart yıldızın gözlemi gerçekleştirilmiştir. Standart alan gözlemleri sırasında 23 Temmuz 2020 tarihi için hava kütlesi $1.231 \leq X \leq 1.979$ arasında tespit edilmiş olup, bu aralık 31 Ağustos 2022 tarihi için $1.012 \leq X \leq 2.455$ 'tir. Gözlem görüntülerindeki sistematik hataların giderilmesi amacıyla görüntü analizlerine CCD kalibrasyonları uygulanarak başlanmıştır. Bunun için IRAF programında bulunan standart paketler kullanılmıştır. CCD kalibrasyonlarında uygulanan düz alan (flat) görüntüleri her gözlem gecesinin başlangıcında ve sonunda elde edilmiştir, sıfır görüntüleri de TUG veri tabanında bulunan ve farklı zamanlarda alınan görüntülerden sağlanmıştır. Standart yıldızların fotometrik parlaklık ölçümlerinde IRAF programının açıklık fotometrisi paketleri kullanılmıştır. Küme alanındaki yıldızların fotometrik parlaklıkları nokta yayılım fonksiyonu (Stetson 1987) uygulanarak tayin edilmiştir. Roslund 3 ve Ruprecht 174 için V bandında uzun poz sürelerinde alınan birleşik negatif görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kümelerin TUG'dan elde edilen görüntülerinin sayısal hale getirilmesinin ardından Roslund 3 ve Ruprecht 174 alanlarında tespit edilen yıldızların ekvatorial koordinatları (α, δ), V , $U-B$, $B-V$ parlaklık ve renklerini içeren UBV katalogları oluşturulmuştur. Küme alanlarında tespit edilen ve UBV kataloglarında derlenen yıldız sayıları ve V görünen parlaklık aralıkları, sırasıyla, Roslund 3 için 3,957 ve $10 < V < 19.5$ kadir, Ruprecht 174 için 6,999 ve $9 < V < 21.5$ kadir olarak belirlenmiştir. Analizlerde CCD UBV fotometrik verileriyle birlikte Gaia DR3 fotometrik ve astrometrik verileri bir arada kullanılmıştır. Galaksinin oluşum ve evriminin anlaşılmasına yönelik görev yapan Gaia uydusunun üçüncü veri sürümü (Gaia işbirliği 2023) yaklaşık 1.8 milyar nesne için yüksek kalitede astrometrik ve fotometrik veri sağlamaktadır. Yüksek hassasiyetteki astronomik ölçümler küme üyelerinin duyarlı bir şekilde belirlenmesine olanak vermekle birlikte, bu ölçümlerin uydudan sağlanan fotometrik veriler ile bir arada değerlendirilmesi renk-parlaklık diyagramlarında küme morfolojisinin belirgin bir şekilde ortaya konmasını sağlamaktadır. Roslund 3 ve Ruprecht 174 için Hunt & Reffert (2024) tarafından verilen merkezi ekvatorial koordinatlar (Roslund 3 için $\alpha = 19^h 58^m 46^s.80$, $\delta = +20^\circ 30' 32''.5$ ve Ruprecht 174 için $\alpha = 20^h 43^m 25^s.44$, $\delta = +37^\circ 01' 51''.7$) dikkate alınarak iki küme için 40'yıldız alanları içinde bulunan yıldızların Gaia DR3 astrometrik ve fotometrik verileri derlenmiştir. İki küme için Gaia uydusu verilerinden oluşturulan 40 yay dakikalık yıldız alanları, TUG'dan gözlenen 21.5×21.5 yay dakikalık küme alanlarıyla birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Roslund 3 (üst panel) ve Ruprecht 174 (alt panel) kümelerinin *Gaia* DR3 veri tabanından sağlanan 40 yay dakikalık yıldız alanlarının ekvatorial koordinatlardaki konumları. Kırmızı kare alanlar T100 ile gözlenen küme alanlarını belirtmekte olup, yukarı ve sol doğrultular, sırasıyla, Kuzey ve Doğu yönlerini göstermektedir.

Böylece küme alanında tespit edilen yıldızların ekvatorial koordinatlarının, *Gaia* DR3 *G* parlaklık ve $G_{BP}-G_{RP}$ renklerinin, öz hareket bileşenlerinin ($\mu_{\alpha} \cos \delta$, μ_{δ}) ve trigonometrik paralakslarının (ϖ) bulunduğu *Gaia* katalogları oluşturulmuştur. Dolayısıyla çalışmada kullanılmak üzere *UBV* ve *Gaia* DR3 tabanlı iki yıldız katalogu dikkate alınmıştır. Roslund 3 ile Ruprecht 174'nin *Gaia* kataloglarında yer alan yıldız sayıları, sırasıyla, 377.204 ve 193.424 olup, iki katalog için de yıldızlar $6 < G < 22.5$ kadir görünen parlaklık aralığında yer almaktadır. Çalışmada dikkate alınan *UBV* katalogları, kümelerin astrofizik parametreleri olan renk artışı, fotometrik metal bolluğu, uzaklık ve yaş tayinlerinde, *Gaia* katalogları da küme üyelerinin belirlenmesinde, kümelerin astrometrik ve

kinematik parametreleriyle birlikte, *Gaia* tabanlı renk artışı, uzaklık ve yaşlarının elde edilmesinde kullanılmıştır.

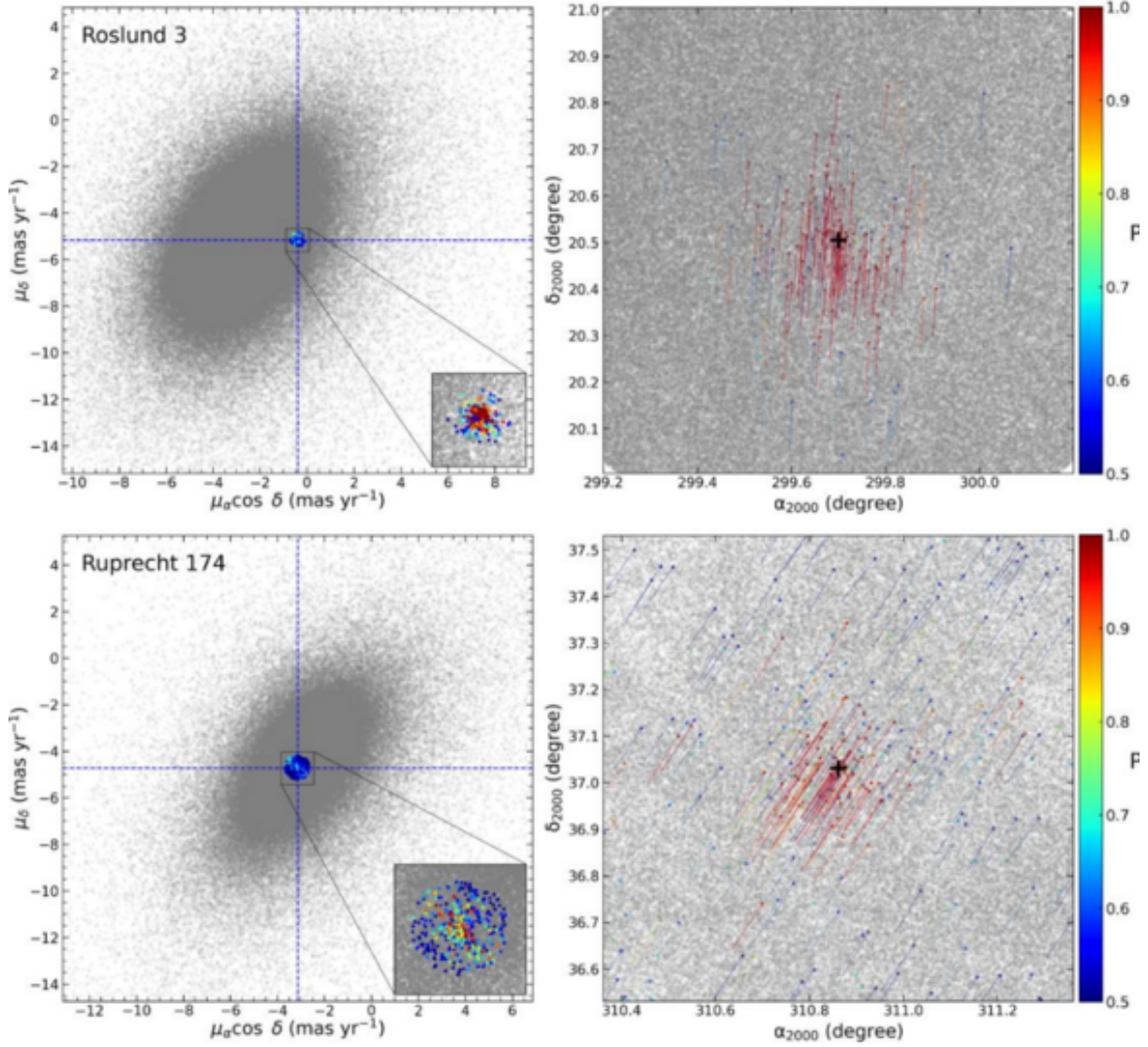
3 Yıldızların Kümeye Üyelik Olasılıklarının Belirlenmesi

Roslund 3 ve Ruprecht 174 alanlarında yer alan yıldızların kümelere üyelik olasılıklarının (P) hesaplanmasında Krone-Martins ve Moitinho (2014) tarafından geliştirilen upmask programı kullanılmıştır. Bu program k -means olarak tanımlanan bir kümeleme algoritması kullanmakta olup, bir veri setinde benzer özellikte bulunan parametreleri kümeleyerek en uygun olasılık değerlerini atamaktadır. k -means değerleri programa kullanıcı tarafından girilmekte olup, küme morfolojisine bağlı olarak 6 ile 30 arasında değişen tamsayı değerleri için en iyi çözümü sunar. Yıldızların kümelere üyelik olasılıklarının hesabında *Gaia* kataloglarındaki konum bilgileri ve astrometrik verileri ($\mu_{\alpha} \cos \delta$, μ_{δ} , ϖ) belirsizlikleriyle birlikte dikkate alınarak upmask programı beş-boyutlu parametre uzayında çalıştırılmıştır. Analizler sonucunda Roslund 3 ve Ruprecht 174 için en iyi küme morfolojisini veren k -means değerleri, sırasıyla, 8 ve 7 olarak belirlenmiştir. Bu k -means değerlerine karşılık gelen ve üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızlar kümelerinin en muhtemel üyeleri olarak belirlenmiştir. Böylece, Roslund 3 ve Ruprecht 174 için yüksek olasılıklı üyelerin sayısı, sırasıyla, 198 ve 395 olmuştur. Bu yıldızlar iki kümenin *Gaia* tabanlı analizlerinde dikkate alınmıştır. Kümelerin *UBV* tabanlı analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla, *Gaia* kataloglarındaki aynı yıldızların üyelik olasılıkları ekvatorial koordinatlarına göre eşleştirilmiştir. Böylece her iki katalogta bulunan aynı yıldızların kümeye üyelik olasılıkları eşleştirilmiştir.

4 Kümelerin Astrometrik Parametreleri

Roslund 3 ve Ruprecht 174 kümelerine yüksek olasılıklı üye yıldızlarının ($P \geq 0.5$) alan yıldızlarına göre öz hareket uzaylarındaki dağılımlarının incelenmesi ve ortalama öz hareket değerlerinin hesaplanması amacıyla iki kümenin vektör nokta diyagramları (VPD; vector point diagram) oluşturulmuştur. Ayrıca, bu yıldızların ekvatorial koordinatlarda gökyüzü vektörel hareketlerinin durumları da incelenmiştir. Şekil 3'te iki küme için yüksek olasılıklı yıldızlar ile alan yıldızlarının VPD ve ekvatorial koordinatlardaki dağılımları gösterilmiştir. Şekil üzerinde kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ ile $0 < P < 0.5$ olan yıldızlar, sırasıyla, renkli ve gri daire sembolleriyle gösterilmiştir. Şekilden, Roslund 3 (sol üst panel) ve Ruprecht 174'nin (sol alt panel), alan yıldızlarından oldukça etkilendikleri saptanmıştır. Kümelere üye yıldızlar ($P \geq 0.5$) incelendiğinde, Roslund 3 ve Ruprecht 174'nin merkezi yıldız yoğunluğuna sahip (Şekil 3 sol paneller) ve gökyüzünde aynı vektörel yönde hareket ettikleri (Şekil 3 sağ paneller) gözlemlenmiştir. Kümelerin ortalama öz hareket bileşenleri ($\langle \mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta} \rangle$) üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan yıldızların medyan değerleri hesaplanarak elde edilmiştir. Buna göre Roslund 3 ve Ruprecht 174 için bu değerler, sırasıyla, $(-0.401 \pm 0.003, -5.169 \pm 0.003)$ ve $(-3.139 \pm 0.006, -4.729 \pm 0.007)$ mas yıl⁻¹'dir (Çizelge 1).

Çalışmada ayrıca, iki kümenin ortalama trigonometrik paralaksları ($\langle \varpi \rangle$) da hesaplanmıştır. Bunun için üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan küme yıldızlarının trigonometrik paralaks ölçümlerinden itibaren histogramları oluşturulmuş ve dağılıma Gauss fonksiyonu uygulanmıştır. Analizlerde üye yıldızların rölatif paralaks hatalarına $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.2$ sınırlaması getirilmiş olup, Roslund 3 ile Ruprecht 174'nin ortalama trigonometrik paralaksları, sırasıyla, 0.573 ± 0.004 ve 0.412 ± 0.003 mas elde



Şekil 3. Sol üst ve sol alt paneller, sırasıyla, Roslund 3 ve Ruprecht 174 alanlarında yer alan yıldızların VPD'lerini göstermektedir. Üye yıldızların ekvatorial koordinatlarında gökyüzü vektörel hareket yönleri de Roslund3 ve Ruprecht 174 için, sırasıyla, sağ üst ve sağ alt panellerde yer almaktadır. Üyeliği $P \geq 0.5$ olan yıldızların olasılık değerleri renk ölçeği ile tanımlanmıştır. Sol panellerde kesikli çizgilerin kesişim bölgesi kümelerin ortalama öz hareket bileşen noktalarını, sağ panellerdeki siyah artı işareti de merkezi ekvatorial koordinat bölgesini ifade etmektedir.

edilmiştir. Bu değerler $d=1000/\varpi$ pc bağıntısı kullanılarak Güneş'ten olan uzaklıklara (d_ϖ) dönüştürülmüş olup, Roslund 3 ve Ruprecht 174 için bu değerler, sırasıyla, 1745 ± 12 ile 2427 ± 18 pc hesaplanmıştır. Şekil 4'te Roslund 3 (sol panel) ve Ruprecht 174'e (sağ panel) üye yıldızların trigonometrik paralaks histogramları ile dağılıma uygulanan Gauss fonksiyonu (kırmızı kesikli çizgi) gösterilmiştir. İki küme için elde edilen astrometrik parametreler Çizelge 1'de listelenmiştir.

5 Astrofizik Parametreler

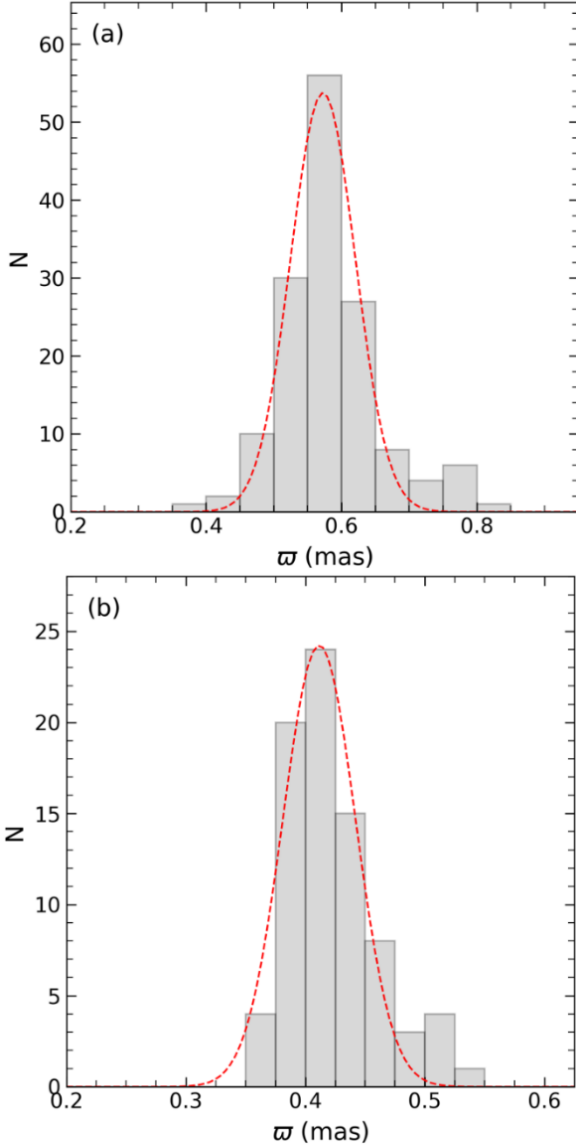
5.1 Kümelerin Renk Artığı Değerleri

Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümeleri doğrultusundaki $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıklarının tayininde iki-renk diyagramları kullanılmıştır. Bunun için UBV tabanlı kataloglarda kümeye üye anakol yıldızları seçilerek $(U-B) \times (B-V)$ diyagramlarında işaretlenmiş Güneş

metal bolluğundaki sıfır yaş anakolu (ZAMS) (Sung ve diğ. 2013) ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda minimum χ^2 istatistiği uygulanmış olup, ZAMS eğrisi $0.001 \leq E(B-V) \leq 1.5$ kadir aralığında 0.001 adımlar ile $E(U-B) = 0.72 \cdot E(B-V) + 0.05 \cdot E(B-V)^2$ (Garcia ve diğ. 1988) eşitliğine göre fit edilmiştir. Analizler sonucunda Roslund 3 ve Ruprecht 174'ün $E(B-V)$ renk artığı değerleri, sırasıyla, 0.410 ± 0.046 ve 0.615 ± 0.042 kadir hesaplanmıştır.

5.2 Kümelerin Fotometrik Metal Bolluğu Değerleri

Roslund 3 ve Ruprecht 174'ün fotometrik metal bolluğu tayini kümelere üye yüksek olasılıklı ($P \geq 0.5$) anakol yıldızlarının iki-renk diyagramları üzerinde Hyades açık kümesinin anakol yıldızlarıyla karşılaştırılması ve Karaali ve diğ. (2011)'nin fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Bunun için UBV tabanlı kataloglarda kümeye üye anakol yıldızlarının $(U-B)$ ile $(B-V)$ fotometrik renk



Şekil 4. Roslund 3 (a) ve Ruprecht 174 (b) kümelerine üye yıldızların trigonometrik paralaks histogramları.

indeksleri, bu çalışmadan hesaplanan $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıklarına göre kırmazmadan arındırılmıştır. Daha sonra, kırmazmadan arındırılmış $(B-V)_0$ renk indeksi 0.3-0.6 kadir aralığında bulunan F-G tayf türü yıldızlar (Eker ve diğ. 2018) $(U-B) \times (B-V)$ diyagramlarında Hyades anakoluyla birlikte işaretlenmiştir. Renk indeksleri aynı $(B-V)_0$ değerine karşılık gelen küme ve Hyades yıldızlarının $(U-B)_0$ değerleri arasındaki fark alınarak, her bir yıldızın morötesi artığı (δ) hesaplanmıştır. Bu değerler $(B-V)_0=0.6$ renk indeksine normalize edilerek normalize morötesi artığı $\delta_{0.6}$ değerleri elde edilmiş ve Karaali ve diğ. (2011)'nin bağıntısında kullanılarak kümelerin fotometrik metal bolluğu ($[Fe/H]$) değerleri tayin edilmiştir. Roslund 3 ve Ruprecht 174 için $[Fe/H]$, sırasıyla, 0.030 ± 0.065 ile 0.041 ± 0.064 dex hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Yaş tayinlerinde kullanılan yıldız evrim modelleri ağır element bolluğuna (Z) duyarlı olduğundan, kümelerin hesaplanan $[Fe/H]$ değerleri Z 'ye dönüştürülmüş olup, Güneş'in ağır element bolluğu 0.0152 alınmıştır (Bağıntılar için bkz.

Çizelge 1. Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümelerinin astrometrik ve astrofizik parametreleri. Koordinatlar J2000 epöğündadır.

Parametre	Birim	Roslund 3	Ruprecht 174
α	(h m s)	19:58:47.83	20:43:26.64
δ	(° ' ")	+20:37:18	+47:37:01.53
l	(°)	058.8409	78.0150
b	(°)	-04.6900	-03.3796
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	(mas yıl ⁻¹)	-0.401 $\pm$ 0.003	-3.139 $\pm$ 0.006
μ_{δ}	(mas yıl ⁻¹)	-5.169 $\pm$ 0.004	-4.729 $\pm$ 0.007
Küme üyesi	($P \geq 0.5$)	198	395
ϖ	(mas)	0.573 $\pm$ 0.004	0.412 $\pm$ 0.003
$E(B-V)$	(kadir)	0.410 $\pm$ 0.046	0.615 $\pm$ 0.042
$E(U-B)$	(kadir)	0.295 $\pm$ 0.027	0.0443 $\pm$ 0.030
A_V	(kadir)	1.271 $\pm$ 0.143	1.907 $\pm$ 0.130
(Fe/H)	(dex)	0.030 $\pm$ 0.065	0.041 $\pm$ 0.064
t	(Myıl)	60 $\pm$ 10	520 $\pm$ 50
Uzaklık modülü	(kadir)	12.398 $\pm$ 0.150	13.780 $\pm$ 0.144
Yaş eğrisinden uzaklık	(pc)	1687 $\pm$ 121	2385 $\pm$ 163

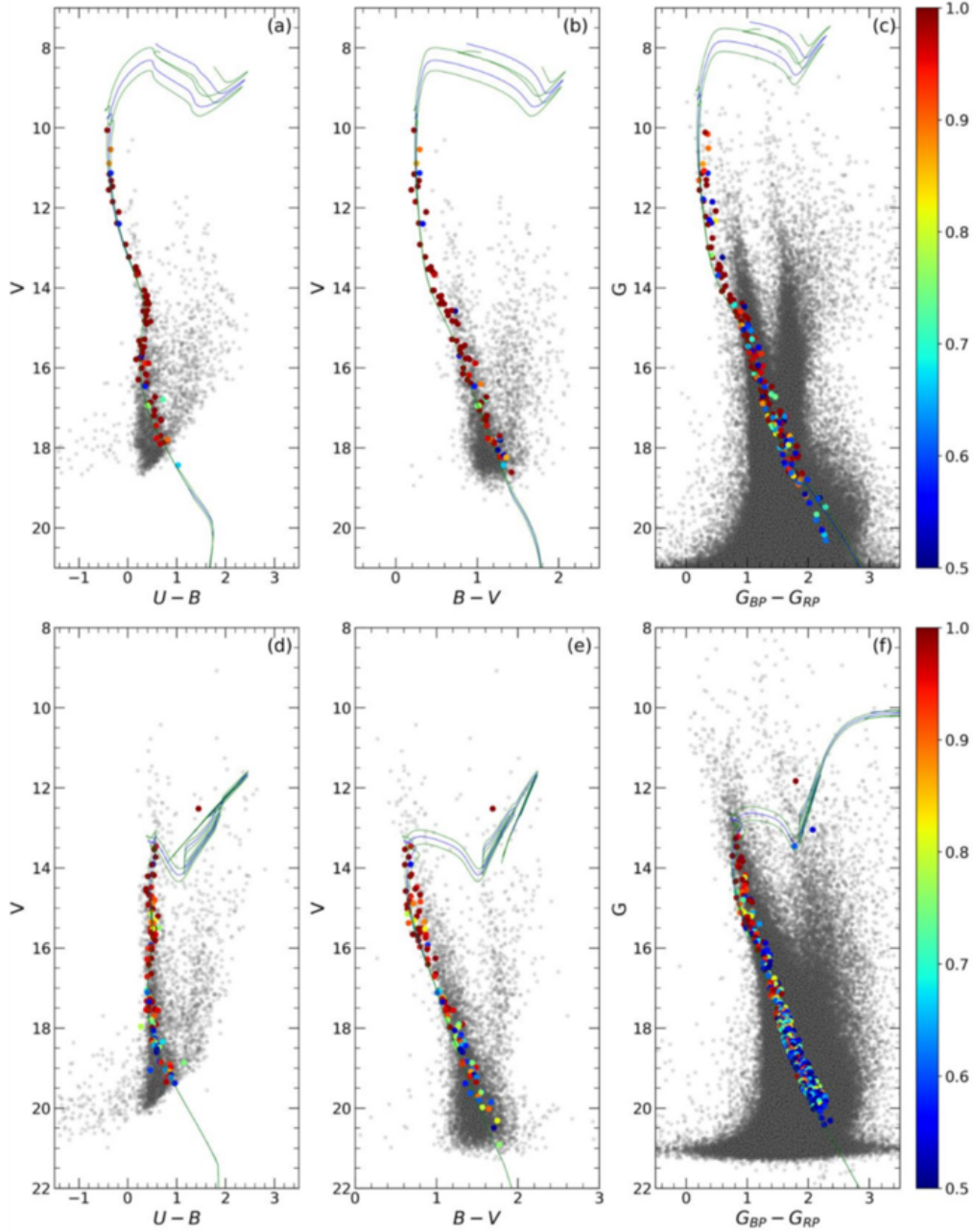
Çakmak ve diğ. (2024)). Roslund 3 ile Ruprecht 174 için Z değerleri, sırasıyla, 0.016 ve 0.017 belirlenmiştir.

5.3 Kümelerin Uzaklık Modülü ve Yaş Değerleri

Roslund 3 ve Ruprecht 174'ün uzaklık modülü ve yaşlarının belirlenmesi amacıyla, küme üyesi yıldızların ($P \geq 0.5$) UBV ve $Gaia$ fotometrik sistemlerinde renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş ve gözlemsel veriler bu diyagramlar üzerinde Bressan ve diğ. (2012)'nin parsec modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hesaplanan Z değerlerine göre farklı yaşlarda seçilen parsec modelleri $V \times (U-B)$, $V \times (B-V)$ ve $G \times (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde özellikle dönüm noktası ve dev bölgesinde bulunan küme üyesi yıldızlarına göre küme morfolojilerini en iyi temsil edecek şekilde fit edilmiştir. UBV tabanlı analizlerde kaydırma işlemi, yine bu çalışmadan elde edilen $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıklarına göre gerçekleştirilmiş, böylece metal bolluğu ve renk artığı değerleri sabit parametreler kabul edilmiş ve iki kümenin uzaklık modülüyle yaşı tayin edilmiştir. $Gaia$ tabanlı analizlerde ise renk artığı, uzaklık modülü ve yaş ile birlikte eş zamanlı belirlenmiştir. Roslund 3'ün uzaklık modülü (μ) ve yaşı (t), sırasıyla, 12.398 ± 0.150 kadir ve 60 ± 10 Myıl iken, Ruprecht 174 için bu değerler, sırasıyla, 13.780 ± 0.144 kadir ve 520 ± 50 Myıl'dır. İki küme için tayin edilen uzaklık modülleri $\mu_0 = \mu - 3.1E(B-V) = 5 \log(d) - 5$ bağıntısı kullanılarak Roslund 3 ve Ruprecht 174'ün Güneş'ten uzaklıkları (d), sırasıyla, 1687 ± 121 ve 2385 ± 163 pc hesaplanmıştır. İki küme için, gözlemsel veriye fit edilen ve astrofizik parametreler için en iyi sonucu veren parsec modelleri renk-parlaklık diyagramlarındaki konumları Şekil 5'te gösterilmiş olup, sonuçlar da Çizelge 1'de listelenmiştir.

6 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Galaksimizin I. çeyreğinde bulunan Roslund 3 ve Ruprecht 174 açık kümelerinin yer ve uzay tabanlı (CCD UBV , $Gaia$ DR3) gözlemlerinden elde edilen verileri analiz edilerek astrometrik ve astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. $Gaia$ uydusundan sağlanan yüksek hassasiyetli astrometrik veriler, küme üyesi yıldızların doğru ve duyarlı belirlenmesine olanak vermiştir. Kümelerin UBV tabanlı renk artığı ve fotometrik metal bolluğunun bağımsız ve



Şekil 5. Roslund 3 (a, b, c) ve Ruprecht 174'ün (d, e, f) UBV ve $Gaia$ tabanlı renk-parlaklık diyagramları. Küme yıldızlarının ($P \geq 0.5$) üyelik olasılıkları renk ölçeği ile gösterilmiştir. Gri daireler düşük olasılıklı yıldızları ($0 < P < 1$) ifade etmektedir. Mavi eğriler küme yaşını en iyi temsil eden parsec modellerini, yeşil eğriler de yaştaki hataları göstermektedir.

literatürde kabul gören yöntemler ile tayin edilmesi, uzaklık ve yaşın belirlenmesindeki parametre dejenerasyonluğunu en aza indirmiş, böylece elde edilen sonuçların duyarlılığı artmıştır. Küme alanlarında tespit edilen yıldızların üyelik olasılıkları beş-boyutlu astrometrik uzayda $upmask$ programı kullanılarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan yıldızlar küme üyesi olarak kabul edilmiş olup, bu yıldızların sayısı Roslund 3 ve Ruprecht 174 için, sırasıyla, 198 ve 395 olarak belirlenmiş ve iki kümenin astrometrik ile astrofizik parametrelerinin tayininde kullanılmıştır. Elde edilen bulgular Çizelge 1'de listelenmiştir.

Roslund 3 ve Ruprecht 174'ün farklı araştırmacılar

tarafından literatüre sunulan yaş ve uzaklıkları incelendiğinde bu parametrelerin geniş bir değer aralığında bulunduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada Roslund 3'e üye yıldızlardan itibaren tayin edilen renk artışı değeri $E(B-V)=0.410 \pm 0.046$ kadir, fotometrik metal bolluğu $[Fe/H]=0.030 \pm 0.065$ dex, uzaklığı $d=1687 \pm 121$ pc ve yaşı $t=60 \pm 10$ Myl'dir.

- **Turner (1993)** kümenin ilk fotoelektrik ve fotografik UBV analizlerini gerçekleştirerek renk artışı $E(B-V)=0.25$ kadir, uzaklığını $d=2290 \pm 50$ pc ve yaşını $t=90$ Myl vermiştir.
- **Kharchenko ve diğ. (2005)** literatürden derlediği ve küme

doğrultusundaki parlak yıldızların BV verilerinden Roslund 3'ün astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin etmiştir. Araştırmacılar, kümenin renk artığı $E(B-V)=0.34$ kadir, uzaklığını $d=1515$ pc ve yaşını $t=41$ Myıl elde etmiştir.

- **Wu ve diğ. (2009)** Samanyolu'nda bulunan 488 açık kümenin DAML (Dias ve diğ. 2002) ile Hipparcos (ESA 1997) kataloglarından derlediği fotometrik ve astrometrik verilerini analiz ederek kümenin uzaklığını $d=1467\pm293$ pc yaşını $t=109$ Myıl, ve ortalama öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-1.61\pm0.47, -5.28\pm0.47)$ mas yıl⁻¹ tayin etmiştir.
- **Loktin (2017)** 959 açık kümenin 2MASS (Skrutskie ve diğ. 2006) ve PPMXL (Roeser ve diğ. 2010) kataloglarından aldığı verileri analiz ederek Roslund 3'ün renk artığını $E(B-V)=0.34\pm0.032$ kadir, uzaklığını $d=1522$ pc, yaşını $t=106\pm51$ Myıl ve öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-2.385\pm0.191, -8.765\pm0.225)$ mas yıl⁻¹ olarak vermiştir.
- **Cantat-Gaudin ve diğ. (2018)** 1229 Galaktik açık kümenin *Gaia* DR2 verilerini analiz ederek temel astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Araştırmacılar, küme analizlerinde eş-zamanlı parametre tayini yöntemini kullanmıştır. Buna göre çalışmada kümenin uzaklığı $d=1629^{+317}_{-229}$ pc, öz hareket bileşenleri de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-0.386\pm0.086, -5.108\pm0.092)$ mas yıl⁻¹ verilmiştir.
- **Liu ve Pang (2019)** Roslund 3'ün de bulunduğu 2,443 açık kümenin *Gaia* DR2 verilerini analiz ederek, parametre tayininde otomatik algoritmaları kullanmıştır. Çalışmada kümenin uzaklığı $d=1727\pm86$ pc, yaşı $t=363\pm22$ Myıl ve öz hareket bileşenleri de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-0.379\pm0.142, -5.088\pm0.187)$ mas yıl⁻¹ olarak sunulmuştur.
- **Bossini ve diğ. (2019)** *Gaia* DR2'nin fotometrik ve astrometrik verilerini kullanarak kümenin yaşını $t=44\pm3$ Myıl, uzaklığını $d=1080\pm13$ pc ve metal bolluğunu $[Fe/H]=0$ dex olarak eş zamanlı hesaplamıştır.
- **Cantat-Gaudin ve diğ. (2020)** 1867 açık kümenin *Gaia* DR2 verilerini incelemiş ve astrofizik parametrelerinin tayinini yapmıştır. Çalışmada Roslund 3'ün uzaklığı $d=1616$ pc, renk artığı $E(B-V)=0.248$ kadir yaşı $t=54$ Myıl ve öz hareket bileşenleri de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-0.386\pm0.086, -5.108\pm0.092)$ mas yıl⁻¹ belirlenmiştir.
- **Dias ve diğ. (2021)** *Gaia* DR2 verilerini dikkate alarak 1,743 açık kümenin eş-zamanlı yöntemler ile temel astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Çalışmada Roslund 3'ün renk artığı değeri $E(B-V)$ kadir $=0.347\pm0.010$, fotometrik metal bolluğu $[Fe/H]$ dex $=0.197\pm0.095$, uzaklığı d pc $=1583\pm43$, yaşı t Myıl $=109\pm39$ ile öz hareket bileşenleri $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)$ mas yıl⁻¹ $=(-0.376\pm0.010, -5.107\pm0.012)$ tayin edilmiştir.
- **Ray ve diğ. (2022)** Roslund 3'e üye bir dev yıldızın metal bolluğunu Cerro Tololo Inter-Amerikan Gözlemevi'nde bulunan Hydra tayfçekerinden elde ettiği veriler sonucunda hesaplamıştır. Çalışmada kümenin tayfsal metal bolluğu $[Fe/H]=0.03\pm0.027$ dex belirlenmiştir.
- **Almeida ve diğ. (2023)** 773 açık kümenin *Gaia* EDR3 verilerinden itibaren Roslund 3'ün renk artığı değerini $E(B-V)=0.371\pm0.019$ kadir, fotometrik metal bolluğunu $[Fe/H]=0.112\pm0.080$ dex, uzaklığını $d=1617\pm28$ pc ve yaşını $t=105\pm11$ Myıl hesaplamıştır.
- **Hunt & Reffert (2024)** *Gaia* DR3'ten sağlanan astrometrik ve fotometrik verilerden açık küme olarak doğruladığı 4,105 gök cisminin analizlerinde makine öğrenmesi metodunu kullanmıştır. Çalışmada Roslund 3'ün renk artığı değeri $E(B-V)=0.312$ kadir, uzaklığı $d=1652$ pc, yaşı $t=75$ Myıl

ve öz hareket bileşenleri $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-0.405\pm0.116, -5.153\pm0.119)$ mas yıl⁻¹ belirlenmiştir.

Bu çalışmada Ruprecht 174'e üye yıldızlardan itibaren tayin edilen renk artığı değeri $E(B-V)=0.615\pm0.042$ kadir, fotometrik metal bolluğu $[Fe/H]=0.041\pm0.064$ dex, uzaklığı $d=2385\pm163$ pc ve yaşı $t=520\pm50$ Myıl'dır.

- Kümenin ilk detaylı çalışması Bonatto ve Bica (2010) tarafından gerçekleştirilmiş olup analizler 2MASS fotometrik verilerinden itibaren eş-zamanlı tayin edilmiştir. Çalışmada Ruprecht 174'ün renk artığı $E(B-V)=0.32\pm0.06$ kadir, yaşı $t=800\pm100$ Myıl ve uzaklığı $d=2110\pm200$ pc belirlenmiştir.
- **Kharchenko ve diğ. (2013)** kümenin renk artığını $E(B-V)=0.321$ kadir, uzaklığını $d=1817$ pc, yaşını $t=794$ Myıl ve öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-2.30\pm0.34, -2.66\pm0.34)$ mas yıl⁻¹ tayin etmiştir.
- **Loktin (2017)** kümenin renk artığını $E(B-V)=0.435$ kadir, uzaklığını $d=2599$ pc, yaşını $t=676$ Myıl ve öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-2.730\pm0.230, -4.990\pm0.140)$ mas yıl⁻¹ vermiştir.
- **Cantat-Gaudin ve diğ. (2018)** kümenin uzaklığını $d=2328^{+735}_{-429}$ pc, öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.154\pm0.084, -4.675\pm0.097)$ mas yıl⁻¹ olarak sunmuştur.
- **Liu ve Pang (2019)** Ruprecht 174'ün uzaklığını $d=2519\pm241$ pc, yaşını $t=692\pm42$ Myıl ve öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.152\pm0.272, -4.677\pm0.313)$ mas yıl⁻¹ vermiştir.
- **Cantat-Gaudin ve diğ. (2020)** küme için uzaklığı $d=2368$ pc, renk artığını $E(B-V)=0.461$ kadir yaşı $t=479$ Myıl ve öz hareket bileşenlerini de $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.154\pm0.084, -4.675\pm0.097)$ mas yıl⁻¹ belirlemiştir.
- **Dias ve diğ. (2021)** küme için artığı değerini $E(B-V)=0.633\pm0.033$ kadir, fotometrik metal bolluğunu $[Fe/H]=-0.031\pm0.123$ dex, uzaklığı $d=2069\pm142$ pc, yaşı $t=323\pm139$ Myıl ile öz hareket bileşenlerini $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.152\pm0.230, -4.672\pm0.012)$ mas yıl⁻¹ tayin edilmiştir.
- **Angelo ve diğ. (2021)** Ruprecht 174'ün de içinde bulunduğu 38 Galaktik açık kümenin *Gaia* DR2 verilerini analiz ederek astrofizik parametreleri eş-zamanlı tayin etmiştir. Buna göre çalışmada kümenin renk artığı $E(B-V)=0.63\pm0.10$ kadir, fotometrik metal bolluğu $[Fe/H]=-0.32\pm0.24$ dex, uzaklığı $d=1585\pm234$ pc, yaşı $t=631\pm260$ Myıl ve öz hareket bileşenleri $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.17\pm0.11, -4.69\pm0.13)$ mas yıl⁻¹ belirlenmiştir.
- **Hunt & Reffert (2024)**'nin çalışmasında kümenin renk artığı değeri $E(B-V)=0.608$ kadir, uzaklığı $d=2369$ pc, yaşı $t=254$ Myıl ve öz hareket bileşenleri $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)=(-3.145\pm0.075, -4.705\pm0.097)$ mas yıl⁻¹ tayin edilmiştir.

Literatürde Roslund 3 için verilen sonuçlar incelendiğinde, küme doğrultusundaki renk artığının $0.24\leq E(B-V)\leq 0.371$ kadir aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada Roslund 3 için hesaplanan renk artığı değeri, söz konusu aralığın üst sınır değerlerine yakındır (Almeida ve diğ. 2023). Üyelik olasılığı yüksek F-G tayf türü anakol yıldızlarından bu çalışmadan tayin edilen fotometrik metal bolluğu Ray ve diğ. (2022)'nin tayfsal metal bolluğu değeriyle oldukça uyumludur. Literatürdeki çalışmalarda kümenin yaşı $41\leq t\leq 363$ Myıl gibi geniş bir aralıkta verilmiştir. Bu çalışmada hesaplanan küme yaşı Cantat-Gaudin ve diğ. (2020) ile Hunt & Reffert (2024)'nin

bulgularına yakındır. Farklı araştırmacılar tarafından kümenin uzaklığı $1080 \leq d \leq 2290$ pc aralığında verilmiş olup bu çalışmada elde edilen sonucun bu aralıktaki üst değer dışında (Turner 1993), tüm çalışmalarda sunulan sonuçlar ile hata mertebeleri dahilinde uyumlu oldukları tespit edilmiştir. Roslund 3 için literatürde verilen temel astrofizik parametrelerinin geniş bir aralıkta yer alması analizlerin eş-zamanlı gerçekleştirilmesinden, buna bağlı olarak parametreler arasındaki dejenerasyonluktan kaynaklanmaktadır. Kümenin ortalama öz hareket bileşenleri incelendiğinde, bu çalışmadan elde edilen sonuçların *Gaia* çağında yapılan çalışmalarda sunulan bulgular ile oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Literatürde Ruprecht 174 için verilen sonuçlar incelendiğinde, küme doğrultusundaki renk artışının $0.32 \leq E(B-V) \leq 0.633$ kadar aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada küme için hesaplanan renk artışı değeri, bu aralığın üst sınır değerleriyle uyumludur (Dias ve diğ. 2021; Angelo ve diğ. 2021; Hunt & Reffert 2024). Kümenin metal bolluğu literatürde fotometrik yöntemlerden elde edilen sonuçlar şeklinde verilmiştir (Dias ve diğ. 2021; Angelo ve diğ. 2021). Araştırmacılar, fotometrik metal bolluğunu renk-parlaklık diyagramlarından renk artışı, uzaklık ve yaş ile eş-zamanlı tayin etmiştir. Bu çalışmada Ruprecht 174'ün metal bolluğu, üyelik olasılığı yüksek yıldızlar dikkate alınarak, bağımsız yöntem ile hassas bir şekilde hesaplanmıştır. Analizlerde kullanılan yöntemlerin farklılığı, bu çalışmada elde edilen fotometrik metal bolluğunun literatürden neden farklı sonuç verdiğini açıklamaktadır. Literatürdeki çalışmalarda kümenin yaşı $254 \leq t \leq 800$ Myr gibi geniş bir aralıkta verilmiştir. Bu çalışmada hesaplanan küme yaşı Cantat-Gaudin ve diğ. (2020)'nin bulgularına yakındır. Farklı araştırmacılar tarafından kümenin uzaklığı $1585 \leq d \leq 2599$ pc aralığında verilmiş olup, bu çalışmada Ruprecht 174 için hesaplanan sonuçlar ile uyumludur. Kümenin ortalama öz hareket bileşenleri incelendiğinde, Roslund 3'e benzer şekilde, bu çalışmadan elde edilen sonuçların *Gaia* çağında yapılan çalışmalarda sunulan bulgular ile oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Düşük hassasiyetli ve küme üyeliklerinin belirlenmesinde önemli veri seti sağlayan astrometrik ölçümler, yaş tayininde kullanılan eski yıldız evrim modellerinin güncel olmaması ve eş-zamanlı parametre tayini yaklaşımları bir arada değerlendirildiğinde kümelerin elde edilen astrofizik parametreleri arasında dejenerasyonluğa sebep olmaktadır. Bu durum, literatürde sunulan sonuçların geniş bir aralıkta yer almasını açıklamaktadır. *Gaia* çağının başlamasıyla yüksek hassasiyette astrometrik ölçümler kullanıma sunulmuş ve duyarlı küme üyeliklerinin tayinine olanak vermiştir. Bununla birlikte, *Gaia* verilerinin kullanılarak yapılan açık küme çalışmalarında astrofizik parametreler otomatik algoritmalar veya makine öğrenmesi yöntemleri ile tayin edilmektedir. Dolayısıyla, küme yaşlarının ve uzaklıklarının belirlenmesinde önemli olan parlak küme üyeleri (dönüm noktası, dev, alt dev yıldızları) gözden kaçmakta ve hatalı sonuçların elde edilme ihtimalini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada Roslund 3 ve Ruprecht 174 kümelerine yüksek olasılıklı üye yıldızlardan hesaplanan ortalama trigonometrik paralaksıları ve buradan elde edilen uzaklıkları, renk-parlaklık diyagramlarından tayin edilen değerler ile hatalar mertebesinde oldukça uyumludur. Bağımsız iki yöntem sonucu hesaplanan uzaklıkların uyumlu olması, bu çalışmada küme uzaklıklarının duyarlı tayin edildiğini göstermektedir. Ayrıca, renk artışı ve metal bolluklarının yaş ve uzaklık tayininde sabit

parametreler olarak kullanılması da, sonuçların duyarlılığını desteklemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 1001 kodlu 122F109 numaralı proje ile desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan yer tabanlı CCD gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi tarafından 18CT100-1396 numaralı ve "Seçilmiş Açık Kümelerin CCD UBVRI Gözlemleri - III" isimli gözlem projesiyle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Almeida, A., Monteiro, H., & Dias, W. S., 2023, Revisiting the Mass of Open Clusters with Gaia Data. MNRAS, 525, 2315-2340
- Angelo M. S., Corradi W. J. B., Santos J. F. C., Maia F. F. S., Ferreira F. A., 2021, MNRAS, 500, 4338
- Bonatto, C., Bica, E., 2010, Characterization of 15 Overlooked Ruprecht Clusters with Ages within 400 Myr and 3 Gyr. MNRAS 407, 1728-1738.
- Bossini D., Vallenari A., Bragaglia A., Cantat-Gaudin T., Sordo R., Balaguer-Núñez L., Jordi C., et al., 2019, A&A, 623, A108
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S. Nanni, A., 2012, MNRAS, 427, 127
- Çakmak H., Yontan T., Bilir S., Banks T. S., Michel R., Soyduğan E., Koç S., et al., 2024, AN, 345
- Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., ve diğ., 2018, A&A, 618, A93
- Cantat-Gaudin, T., Anders, F., Castro-Ginard, A., ve diğ., 2020, A&A, 640, A1
- Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., Lépine J. R. D., 2002, A&A, 389, 871
- Dias, W. S., Monteiro, H., Moitinho, A., Lepine, J. R. D., Carraro, G., Paunzen, E., Alessi, B., Villela, L., 2021, A&A, 564, 8
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., ve diğ., 2018, MNRAS, 479, 5491
- ESA, 1997, ESA SP, 1200
- Friel, E. D., 1995, ARA&A, 33, 381
- Gaia Collaboration, Vallenari A., Brown A. G. A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Arenou F., Babusiaux C., et al., 2023, A&A, 674, A1
- Hunt E. L., Reffert S., 2024, A&A, 686, A42
- Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S., Schilbach E., Scholz R.-D., 2005, A&A, 440, 403
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Roeser, S., Scholz, R.-D., 2013, A&A, 558, 8
- Garcia, B., Claria, J. J. Levato, H., 1988, Ap&SS, 143, 317
- Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoglu, B. 2011, PASA, 28, 95
- Krone-Martins, Moitinho, A., 2014, A&A, 561, 57
- Landolt, A. U., 2009, AJ, 137, 4186
- Liu, L., Pang, X., 2019, ApJS, 245, 32
- Loktin A. V., Popova M. E., 2017, AstBu, 72, 257
- Ray A. E., Frinchaboy P. M., Donor J., Chojnowski S. D., Melendez M., 2022, AJ, 163, 195
- Roeser S., Demleitner M., Schilbach E., 2010, AJ, 139, 2440
- Stetson, P. B., 1987, PASP, 99, 191
- Sung, H., Lim, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M., Park, B., 2013, JKAS, 46, 103
- Skrutskie M. F., Cutri R. M., Stiening R., Weinberg M. D., Schneider S., Carpenter J. M., Beichman C., et al., 2006, AJ, 131, 1163
- Turner, R. K., Pearce, D. W., and Bateman, I., 1993, Nature
- Wu Z.-Y., Zhou X., Ma J., Du C.-H., 2009, MNRAS, 399, 2146
- Yontan T., Bilir S., Bostancı Z. F., Ak T., Karaali S., Güver T., Ak S., et al., 2015, Ap&SS, 355, 267

Access:

M25-0324: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.