

Eş-yaş eğrilerinden açık yıldız kümelerinde yaş duyarlılığının belirlenmesi

Edanur ÇÖRDÜK^{1,*}, Cenk KAYHAN², İnci AKKAYA ORALHAN²

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Melikgazi, Kayseri.

²Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Melikgazi, Kayseri.

Geliş Tarihi (Received Date): 01.04.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 06.08.2024

Öz

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı evrim kodu kullanılarak oluşturulmuş eş-yaş eğrileri (PARSEC, MIST, BASTI) ile daha önce az çalışılmış UPK 93 ve UPK 100 (NGC 6940) açık yıldız kümelerinin yaşları incelenmiştir. GaiaDR3'ten alınan veriler ile yapılan kümenin üyelik analizlerinde pyUPMASK koduyla kullanılmıştır. Analizler sonucunda her iki küme için de üyelik olasılığı %90'dan büyük olanlar küme üyesi kabul edilmiştir. Bu kümelerin yaşları, küme üye yıldızları ve farklı evrim kodlarından elde edilen eş-yaş eğrileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, PARSEC ile MIST ve BASTI'nin eş-yaş eğrilerinin kendi aralarında uyumlu olduğu belirlenmiştir. PARSEC eş-yaş eğrileri ile MIST eş-yaş eğrileri arasında 0.2 mag kadar fark bulunmuş ve PARSEC kümelerinin uzaklığını daha büyük elde edilmiştir. BASTI modellerine ait uzaklık modülü değerlerinin de diğer iki modelin bulduklarına yakın olduğu görülmüştür. UPK 93 ve UPK 100 kümeleri için uzaklık modülünde literatürle en iyi uyum veren model MIST olarak belirlenmiştir. BASTI'den elde edilen yaşların literatürden farkının oldukça büyük olduğu fark edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık yıldız kümesi, yıldız evrimi, eş-yaş eğrileri

*Edanur ÇÖRDÜK, 4011730061@erciyes.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0006-7949-8586>

Cenk KAYHAN, cenkkayhan@erciyes.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9198-2289>

İnci AKKAYA ORALHAN, iakkaya@erciyes.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1787-7418>

Determining open cluster age sensitivity from isochrones

Abstract

In this study, the ages of the poorly studied open star clusters UPK 93 and UPK 100 (NGC 6940) are analysed by using three different evolution codes (PARSEC, MIST, BASTI) commonly used in the literature. The pyUPMASK code was used in the cluster membership analyses with data from GaiaDR3. As a result of the analyses, for both clusters, those with a membership probability greater than 90% were accepted as cluster members. The ages of these clusters were compared by using the cluster member stars and the contour lines obtained from different evolution codes. As a result of this comparison, it was found that the contour lines of PARSEC, MIST and BASTI are compatible with each other in this study. A difference of 0.2 mag was found between the PARSEC isochrones and the MIST isochrones, and PARSEC obtained a larger distance of the clusters. The distance modulus values of the BASTI models are also close to those found by the other two models. For the UPK 93 and UPK 100 clusters, MIST was found to be the model with the best agreement with the literature in the distance modulus. It was noticed that the difference of the ages obtained from BASTI from the literature was quite large.

Keywords: *Open clusters, stellar evolution, isochrones*

1. Giriş

Açık yıldız kümeleri aynı moleküler buluttan, aynı anda oluşmuş, uzayda aynı doğrultuda hareket eden ve küresel yıldız kümelerine oranla daha seyrek ve dağınık yıldız gruplarıdır. Açık yıldız kümelerinin yaşları ortalama birkaç milyon yıl olup gökada düzlemine yakındırlar ve bakış doğrultusunda çok fazla alan yıldızı içerirler [1]. Buldukları galaktik konumdaki gaz ve tozun etkisinden dolayı açık yıldız kümeleri yüksek derecede sönmülemeye maruz kalır. Gökadamıza ait evrimsel sürecin daha anlaşılır olması bakımından yıldız kümelerinden elde edilecek parametreler (*kütle, yarıçap, metal bolluğu, renk artışı, uzaklık ve yaş vb.*) büyük öneme sahiptir.

Açık yıldız kümelerinin yaşları belirlenirken, gözlemsel renk-parlaklık diyagramları ile eş-yaş eğrileri karşılaştırılır[2]. Bu karşılaştırmada küme ile eş-yaş eğrisinin uyumunda küme dönüm noktasına (TO: Turn of Point) dikkat edilir [3]. Dönüm noktası, kütlelerine bağlı olarak, yıldızın merkezindeki hidrojeni tüketerek anakolu terk ettiği yer olarak tanımlanır[2]. Eş-yaş eğrileri yıldız evrim kodları ile türetilmektedir. Bu nedenle kullanılacak evrim kodunun yapısı ve içerisinde kullandığı fiziksel yaklaşımlar ile girdi olarak kullanılan değişken parametreler büyük öneme sahiptir [4, 5]. Farklı evrim kodlarında türetilen eş-yaş eğrileri için kullanılan parametre aralıkları da aynı değildir. Modeller arasındaki farklılıklar, küme parametrelerinin belirlenmesinde bizi farklı sonuçlara götürebilirken, özellikle küme yaşının belirlenmesinde bir belirsizlik oluşturabilir [6].

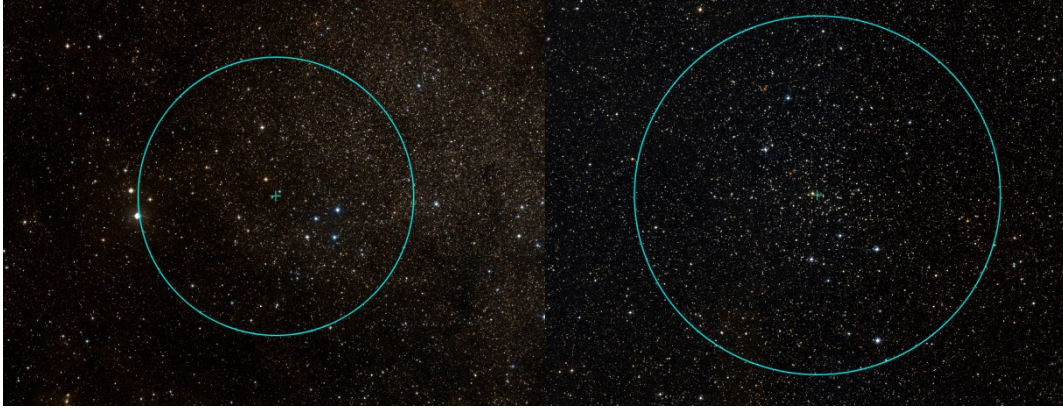
Bu çalışma kapsamında, küme parametrelerinin üç farklı yıldız evrim kodu kullanılarak değişimi incelenmiştir. Bu bilgiye ulaşmak için UPK Kataloğu'nda [7] yer alan iki açık yıldız kümesi (UPK 93 ve UPK 100) üzerinde analiz yapılmıştır. Bu modellerin

ayrıntıları Bölüm 2.2’de sunulmuş olup yapılan kuramsal karşılaştırmaların gözlemlerle olan uyumu ve varsa farkları Bölüm 3’de sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. İncelenen Kümeler

Bu çalışma kapsamında, Tablo 1’de bazı özellikleri sıralanan UPK 100 (NGC 6940) ve UPK 93 açık yıldız kümeleri incelenmiştir. Bu iki kümenin seçilme nedeni, sönümlenmeleri ve galaktik enlem/boylamlarının birbirine yakın olmasıdır. Ayrıca bu kümelerin seçilmelerinin bir diğer nedeni ise yaşlarının birbirine yakın olmasına rağmen dönüm noktalarındaki farklılıklardır. Buna göre, UPK 100 açık yıldız kümesi, yıldız yoğunluğunun fazla olmasından dolayı renk-parlaklık diyagramında belirgin bir dönüm noktası gösterirken, UPK 93 az sayıda yıldız içermesi bakımından belirgin bir dönüm noktasına sahip değildir. Küme sayı yoğunluğunun birbirinden farklı olduğu Şekil 1’de de açıkça görülmektedir. Gökyüzünde yaklaşık $\sim 1^\circ$ ’lik alanı kaplayan[8] UPK 93 ve UPK 100 açık yıldız kümelerinin fotometrik ve astrometrik verileri GaiaDR3 Kataloğu’ndan[9] alınmıştır. Bu katalogdan kümelere ait sağaçıklık (RA), dikaçıklık (DEC), öz hareket (μ_{RA} , μ_{DEC}), paralaks (π) ve parlaklık (G_{mag} , G_{BP} ve G_{RP}) değerleri alınmıştır.



Şekil 1. UPK93 (solda) ve UPK100 (sağda) açık yıldız kümelerinin 1° alan (mavi çember) içerisindeki SIMBAD görüntüleri [<https://simbad.unistra.fr/simbad/>]

Tablo 1. UPK100 ve UPK93 kümelerinin SIMBAD’den alınmış koordinat bilgileri ile literatürden alınmış logaritmik yaş ve uzaklık değerleri

Özellikler	UPK 100	UPK 93	Referans
RA	20 ^h 34 ^m 30.2 ^s	20 ^h 01 ^m 17.8 ^s	SIMBAD*
DEC	+28°16'41"	+29°58'16"	SIMBAD*
Galaktik Enlem (<i>l</i>)	69°.8652	67°.2062	SIMBAD*
Galaktik Boylam (<i>b</i>)	-7°.1628	-0°.2057	SIMBAD*
log(yaş) (yıl)	8.86	8.71	[10,11]
Uzaklık (pc)	770	692	[11,12]

*SIMBAD: Set of Identifications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data (<https://simbad.unistra.fr/simbad/>)

2.2. Yıldız evrim modelleri

Bu çalışmanın temel amacı küme yaşlarını belirlemede kullanılan çeşitli evrim kodlarıyla üretilen eş-yaş eğri modellerinin yaş duyarlılıklarının hesaplanması ve karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla, bu çalışmada *PARSEC* [13], *MIST* [7,14,15] ve *BASTI* [16,17] evrim kodları incelenerek, bu evrim kodları ile hesaplanan eş-yaş eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu evrim kodlarından, *PARSEC* (PAдова & TRieste), çeşitli başlangıç kimyasal kompozisyonları ile genişletilmiş eş-yaş eğrileri sunmaktadır. *MIST* (MESA Isochrones & Stellar Tracks) ise *MESA* (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics), geniş bir yaş, kütle ve metalisite aralığındaki yıldız evrim kodu kullanılarak oluşturulmuş eş-yaş eğrilerini içerir. *BASTI* (a Bag of Stellar Tracks and Isochrones), *PARSEC* ve *MIST*'e benzer olup önemli farkı evrim yolları arasında interpolasyon yaparak grid içinde bulunmayan bir kütle değeri için parametreleri belirlemesidir[18,19]. Kullanılan bu üç eş-yaş eğri modelleri için metal bolluğu, metalisite, kütle ve logaritmik yaş aralıkları ve Güneş metal bolluğu değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Bu çalışmada incelenen kümelerin üye yıldızlarının dönme parametreleri bilinmediğinden model eş-yaş eğrileri dönmesiz ($v/v_{rot} = 0$) olarak türetilmiştir. Aynı zamanda mikro fizik parametreleri olan karışım uzunluğu (α), konvektif overshooting, difüzyon, saydamsızlık parametresi (κ), hal denklemi (EOS) vb. yıldız içyapı ve model parametreleri eş-yaş eğrileri türetilirken modellerin varsayımlarına bağlı kalmıştır. Bu kapsamda her bir evrim kodunun parametre aralıkları birbirine yakın olup belirli metal bolluğu ve yaş aralığında eş-yaş çizgilerini önemli ölçüde etkilemediği varsayılmıştır.

Tablo 2. Evrim modellerinden elde edilen eş-yaş eğrilerine ait bazı parametre aralıkları

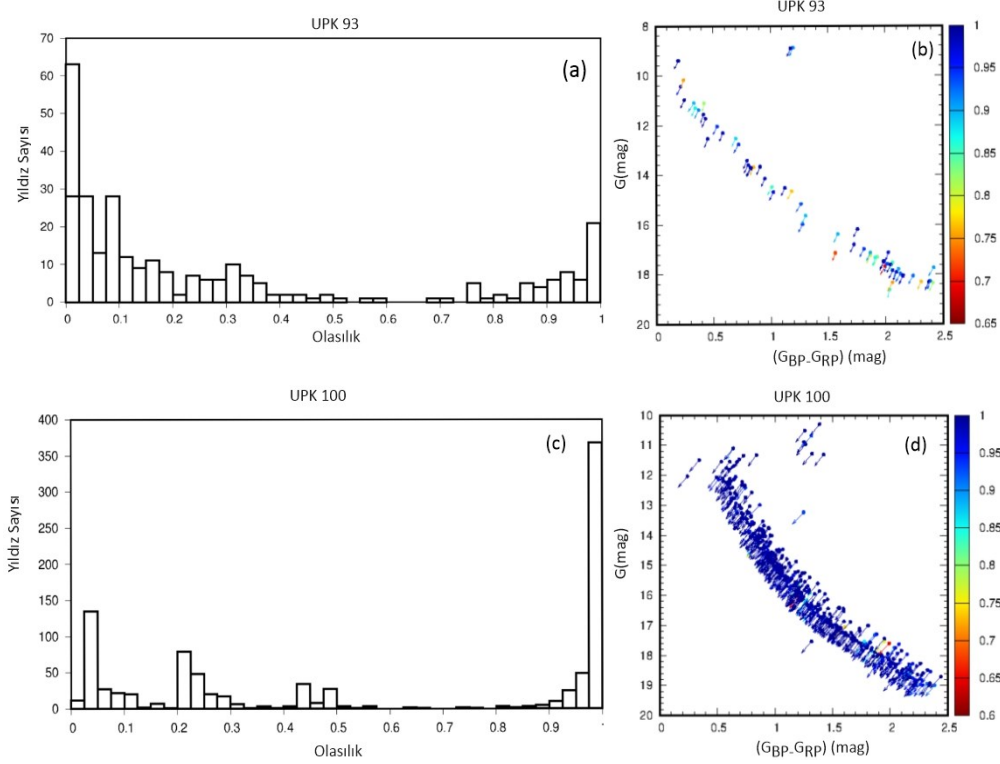
Parametreler	PARSEC	MIST	BASTI
Metal Bolluğu [Fe/H]	[-2.2,+0.5]	[-4.00,+0.5]	[-3.20,+0.45]
Metalisite (Z)	[0.0001,+0.06]	-	[0.00,+0.04]
Logaritmik Yaş (yıl)	[6.6,10.13]	[5 ,10.3]	[7.08, 10.30]
Z_{\odot}	0.0152	0.0142	0.0152

2.3. Küme üyeliklerinin belirlenmesi

Yıldız kümelerinin fotometrik incelenmesinde, doğru parametrelere ulaşmak için en önemli analiz aşaması küme üyeliklerinin belirlenmesidir. Üyeleri belirlemek için gökyüzünün aynı bölgesinde benzer öz harekete sahip ve aynı uzaklıktaki yıldızların seçimi yapılmalı ve alan yıldızlarından temizlenmelidir. Gökyüzünde büyük alanları kaplayan açık yıldız kümeleri de konumlarından dolayı bakış doğrultusunda çok sayıda alan yıldızı içermektedir.

Küme üyelerinin belirlenmesinde literatürde kabul görmüş bir algoritma[20] mevcut olup, bu çalışmada da Gaussian Mixture Modeli'ni (GMM) içerisine alan pyUPMASK algoritması kullanılmıştır. pyUPMASK, açık yıldız küme alanına konumlanmış yıldızların üyelik olasılığını bulmada kullanılan "Denetimsiz Fotometrik Üyelik Ataması" yapan, tamamen Python dilinde yazılmış bir pakettir [3]. GMM ise denetimsiz makine öğrenme yöntemlerinden biri olup kümedeki yıldızların küme üyelik olasılıklarını astrometrik ve fotometrik veriler yardımıyla hesaplar[20]. Algoritma temel olarak astronomik veriler (μ_{RA} , μ_{DEC} ve π) ile birlikte fotometrik verileri (G_{mag} , G_{BP} ve G_{RP}) bir arada kullanarak her bir yıldız için küme üyelik hesabı yapar.

Bu çalışma kapsamında her iki küme için, pyUPMASK kodu kullanılarak elde edilmiş grafikler Şekil 2’de gösterilmektedir. Küme alanı içerisinde kalan yıldızların üyelik olasılıklarına ait histogramlar Şekil 2a ve 2c’de verilmiştir. Bu histogramlarda üyelik olasılıkları %90’nın üstünde olan yıldızlar küme üyesi olarak kabul edilmiştir. Şekil 2b ve d ise küme üyeleri ile oluşturulan renk-parlaklık diyagramı görülmektedir. Gaia uzay teleskobunun duyarlılığından dolayı kümeye ait renk-parlaklık diyagramı oluşturulurken G parlaklık değeri 19 kadirden daha sönük yıldızlar çıkarılmıştır [21].



Şekil 2. UPK 93 ve UPK 100 için pyUPMASK algoritmasıyla elde edilen olasılık histogramları (a ve c) ve renk-parlaklık diyagramları (b ve d). Grafiklerde üyelik olasılığı renk ölçeğinde kırmızıdan maviye doğru artmaktadır.

UPK 93 ve UPK 100’ün üyeleri belirlendikten sonra bu üye yıldızlar üzerinden oluşturulan renk-parlaklık diyagramları ile eş-yaş eğrileri fit edilmiş ve küme parametreleri belirlenmiştir. İlk aşamada küme renk-parlaklık diyagramları ile *PARSEC* eş-yaş eğrileri fit edilmiştir. Küme yaşını en iyi temsil eden eş-yaş eğrisi belirlenirken her bir kümenin uzaklık modülü ve kızarma değerleri [22]’daki bağıntılar kullanılmıştır. Buna göre her iki küme için *PARSEC* eş-yaş eğrilerinin kullanıldığı renk-parlaklık diyagramları Şekil 3’de ayrıca verilmiştir. Bu diyagramlardan elde edilen yaşlar, UPK 93 için $\log(\text{yaş})=8.45$ yıl ve UPK 100 için $\log(\text{yaş})=9.05$ yıl olarak elde edilmiştir.

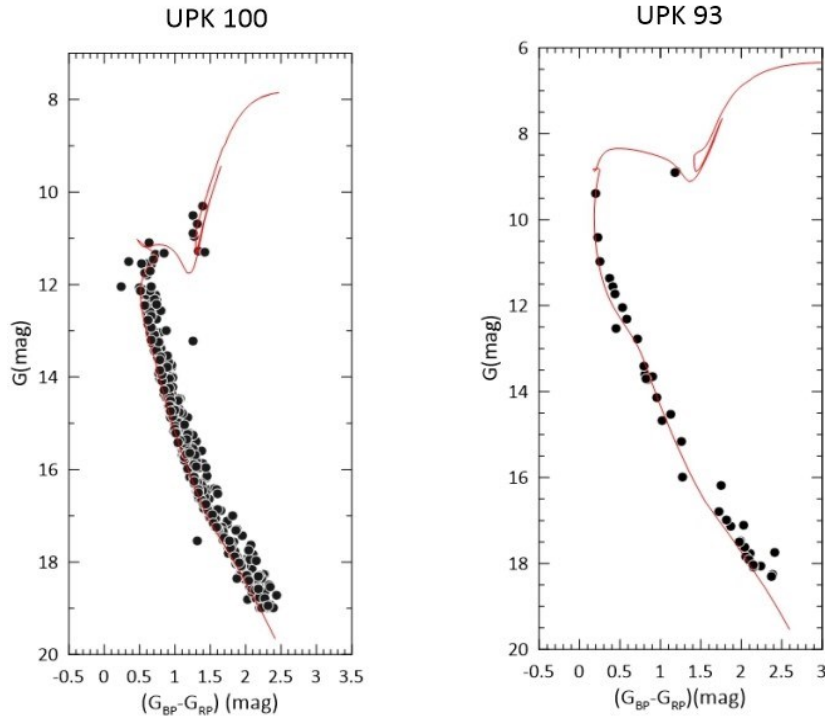
3. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, yukarıda ayrıntıları verilen üç farklı evrim modeli kullanılarak iki farklı kümenin evrim durumu incelenmiştir. Bu kümelerin seçilmesinin temel nedeni dönüm noktası belirgin olan ve olmayan kümelerin farklı eş-yaş eğrileri ile karşılaştırılmak istenmesidir. Küme seçiminde ayrıca daha önce Gaia DR3 verileriyle analizi yapılmamış

kümeler olmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla iyi bir dönüm noktası gösteren UPK 100 ve dönüm noktası belirgin olmayan UPK 93 kümeleri üzerinde eş-yaş eğrisi çakıştırma yöntemi kullanılarak kümelerin temel parametreleri belirlenmiştir.

Üyelik analizi sonucunda UPK 100 için olasılığı $>90\%$ olan 465 yıldız küme üyesi olarak belirlenirken, UPK 93 için ise üye yıldız sayısı 41 olarak belirlenmiştir. 90% gibi yüksek bir olasılığın kabul edilme nedeni bu çalışmanın temelinin üyelik analizi olmayıp, farklı evrim kodları ile türetilen model eş-yaş eğrilerinin bu kümelere uygulanacak olmasıdır. Bu nedenle en yüksek olasılıktaki üyeler (üye oldukları neredeyse kesin) çalışmada incelenmiştir. UPK 93 ve 100 AYK'ları daha önceden [23] ve [11] çalışmaları ile de incelenmiştir. UPK 93 için Gaia DR2 verileriyle UPMASK algoritmasını kullanarak sırasıyla [11] 70% olasılıkla 63 ve [23] 50% olasılıkla 60 üye yıldız bulmuşlardır. Aynı şekilde UPK 100 için 593 (70% olasılık ile [11]) ve 588 (50% olasılıkla [23]) üye yıldız bulunmuştur. Bu çalışmada belirlenen üye yıldızlar [26] ve [11] çalışmalarında elde edilen üyelerle kıyaslandığında UPK 93 için [11] karşılaştırmasında 29 ve [23] karşılaştırmasında 30 tane üye yıldız uyumludur. UPK 100 için ise sırasıyla 340 ve 359 tane uyumlu üye yıldız belirlenmiştir. Üye sayılarındaki farklardan birisi literatürdeki çalışmalar GaiaDR2 verilerini kullanırken bu çalışmada GaiaDR3 verileri kullanılmıştır. İkinci olarak, bu çalışmada UPMASK algoritmasının son sürümü olan pyUPMASK'ın kullanılmış olması ve son olarak, literatürde alınan olasılık değerleri ile bu çalışmada elde edilenler arasında $20\%-40\%$ aralığında bir farkın olması neden olmuştur.

Bu üye yıldızlardan üzerinden kızarmadan arındırılmış uzaklık modülü (DM_0) ve kızarma değerleri $E(G_{BP}-G_{RP})$, PARSEC eş-yaş eğrilerinde UPK 100 için $DM_0=10.1$ mag ve $E(G_{BP}-G_{RP})=0.15$ mag iken UPK 93 için $DM_0=10.7$ mag ve $E(G_{BP}-G_{RP})=0.17$ mag olarak bulunmuştur.



Şekil 3. UPK 100 (sol panel) ve UPK 93(sağ panel) açık yıldız kümeleri için GaiaDR3 verileri kullanılarak elde edilen renk-parlaklık diyagramları. Siyah noktalar kümelerin üye yıldızlarını, kırmızı çizgi ise PARSEC kodu ile fit edilen eş-yaş eğrisini göstermektedir.

Şekil 4a ve b’de görüldüğü gibi üç farklı teorik modelin küme parametreleri üzerine etkilerini görebilmek için her bir eş-yaş eğrisi küme renk-parlaklık diyagramında en iyi uyumu verecek şekilde fit edilmiştir. Her iki kümede de evrimleşmiş yıldız veya yıldızların bulunması kümelerle ait yaşların belirlenmesinde referans noktamız olmuştur. UPK 93 kümesi tek bir evrimleşmiş alt dev yıldızla sahipken UPK 100 kümesinde kırmızı dev kolunda kümelenmiş bir yıldız grubu mevcuttur. Küme dönüm noktaları da yaşlarına bağlı olarak UPK 93 için (*daha genç*) yaklaşık $G \approx 9$ mag ve UPK 100 için (*daha yaşlı*) daha sönük $G \approx 11$ mag değerindedir. Bu referans yıldızlar ve dönüm noktaları dikkate alınarak kümeler için en iyi uyum veren eş-yaş eğrileri ve bu modellere karşılık gelen uzaklık modülü ve yaş değerleri Tablo 3 ve 4’de her bir model için verilmiştir.

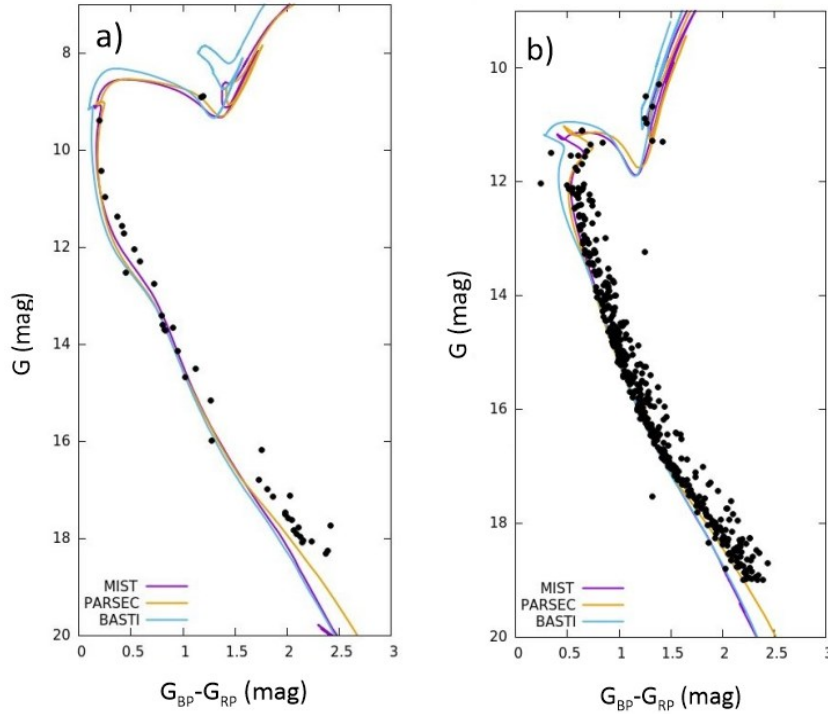
Şekil 4a ve b’de her iki kümeye ait renk-parlaklık diyagramında PARSEC ve MIST eş-yaş eğrilerinin özellikle küme anakollarında belirgin bir uyum gösterdiği ve her iki küme için de aynı yaş değerlerini verdiği görülmektedir. Buna göre UPK 93 için her iki modelde bulunan yaş değeri $\log(\text{yaş}) = 8.45$ iken UPK 100 için de yine bu iki modelde $\log(\text{yaş}) = 9.05$ olarak bulunmuştur. Her ne kadar yaşlarda tam bir uyum görülse de uzaklık modülünde modeller arasında az da olsa küçük bir fark (0.2 mag) mevcuttur (Bkz: Tablo 3 ve Tablo 4). Kızarmadan arındırılmış uzaklık modülleri üzerinden bulunan bu fark yaklaşık 73 pc’e karşılık gelmektedir ve PARSEC ve MIST modellerinde yaşa etki edecek kadar önemli bir fark değildir. Tablo 3 ve 4’te bulunan parametrelerin hata hesabına ait detaylar [24] çalışmasında sunulmuştur ve burada da aynı yöntemler izlenmiştir. Buna göre uzaklık modülü, uzaklık ve yaş parametrelerinin belirsizlikleri; fotometrik hatalar, mutlak parlaklık ve renk kalibrasyon hataları ile sönümleme etkisinin belirsizliklerinden kaynaklanmaktadır. BASTI teorik modellerinde, diğer iki modelden farklı olarak yaş değerinde UPK 93 için $\Delta\log(\text{yaş}) = 0.25$ ve UPK 100 için $\Delta\log(\text{yaş}) = 0.15$ kadarlık bir fark görülmektedir. Her iki küme için de BASTI eş-yaş eğrileri, küme renk-parlaklık diyagramlarında daha küçük yaş değerlerinde iyi uyum vermektedir. Bu fark diğer modellerle karşılaştırıldığında küçümsenecek bir fark olmayıp [8] ve [11] katalogları ile karşılaştırıldığında bu fark daha da artmaktadır. Öyle ki bu kataloglarda verilen $\log(\text{yaş})$ değerleri, Sim ve Cantat-Gaudin kataloglarında sırasıyla 8.6 ve 8.71 şeklindedir. Dolayısı ile hem kendi bulgularımızdan hem de literatürdeki bazı sonuçlardan görüldüğü ki BASTI teorik modellerine ait eş-yaş eğrileri literatürle karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar vermemekte ve diğer modellerden ayrılmaktadır.

Ele aldığımız üç teorik modelin tek kesişim noktası, küme anakolu ile uyumlarına bakıldığında uzaklık modüllerinin oldukça benzer olmasıdır. PARSEC ve MIST modellerinin uzaklık modülü ve yaş için benzer sonuçlar vermesine paralel olarak bu modellerin anakol dönüm noktaları ve dev kolları da hemen hemen üst üste çakışmaktadır. Fakat UPK 100 kümesinin renk-parlaklık diyagramında görüldüğü gibi (Şekil 4b), PARSEC eş-yaş eğrisinin dönüm noktası daha büyük yaşlara doğru gittikçe MIST modellerine göre daha parlak ve daha soğuk renklere doğru kayma eğilimi göstermektedir. BASTI eş-yaş eğrisinin dönüm noktası, G filtresinde bu iki modele oldukça yakın parlaklık değerine sahip olmasına rağmen $G_{BP}-G_{RP}$ renk indeksinde daha sıcak renklere doğru gitmektedir. $G_{BP}-G_{RP}$ renk indeksindeki bu farktan dolayı da, bu model her iki kümenin dönüm noktasındaki yıldızlarla iyi bir uyum göstermemektedir. BASTI modelinin dönüm noktasındaki bu fark daha küçük yaş değerinin kullanılmasının bir sonucudur. Fakat BASTI modeli ile kümelerin renk-parlaklık diyagramları arasında, hem anakol, hem de evrimleşmiş yıldızlar bakımından en iyi uyum daha küçük yaşlarda mümkün olabilmiştir.

Gaia veritabanı kullanılarak, her iki küme için, yapılan son çalışmalara ait küme parametreleri ayrıca Tablo 5 ve 6'da sunulmuştur. Amacımız doğrudan bir literatür karşılaştırılmasına girmek olmadığından, bu çalışmada daha çok model karşılaştırmaları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada güneş bolluğunda ve aynı yıldızlararası kızarma değerinde farklı modellere ait eş-yaş eğrilerinin, kümelerin uzaklık ve yaş parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Tüm bunların yanı sıra; dönme, kızarma ve metal bolluğu gibi diğer parametrelerin de eş-yaş eğrilerinde değişken alınarak kümelerin parametrelerindeki belirsizlikler daha da giderilebilir. Bundan sonraki çalışmalarımızda bu etkilerin de göz önüne alındığı yeni modeller yapılarak çeşitli yaşlardaki açık yıldız kümelerine uygulanması planlanmaktadır.

Sonuç olarak iki kümeye ait yaptığımız analizlerde, PARSEC, MIST ve BASTI modellerine ait öne çıkan farklar şu şekilde sıralanmıştır:

- 1) PARSEC eş-yaş eğrileri ile MIST eş-yaş eğrileri arasında 0.2 mag kadar fark bulunmakta ve PARSEC kümelerin uzaklığını daha büyük vermektedir. BASTI modellerine ait uzaklık modülü değerleri de diğer iki modelin bulduklarına yakındır. Fakat hem mevcut küme katalogları [8, 11] hem de Tablo 5 ve 6 incelendiğinde UPK 93 ve UPK 100 kümeleri için uzaklık modülünde literatürle en iyi uyum veren model MIST olarak belirlenmiştir.
- 2) PARSEC ve MIST eş-yaş eğrileri her iki küme için aynı yaş değeri verirken, BASTI daha küçük yaşlarda en iyi uyumu sağlamaktadır. Çalışmamızda PARSEC ve MIST modellerinden bulunan yaşlar, Gaia ile yapılan diğer çalışmalara göre (Bkz. Tablo 5 ve 6) daha küçük değerler verse de BASTI'den elde edilen yaşların literatürden farkı oldukça büyüktür.



Şekil 4. a) UPK 93 ve b) UPK 100 için aynı metal bolluğunda ($Z_{\odot}=0.0152$) farklı yaşlarda ve farklı uzaklık modülünde alınan 4 farklı izokron modelin göstermektedir. Renk-parlaklık diyagramında PARSEC(sarı), MIST(mor) ve BASTI(mavi) için en uyumlu modeller gösterilmiştir. Siyah noktalar küme üyesi yıldızları göstermektedir.

Tablo 3. UPK 93 için her bir evrim kodundan türetilen uzaklık modülü ve yaşları

UPK 93	Uzaklık Modülü (mag)	d (pc)	log(yaş)	Yaş (Myıl)
PARSE C	9.6 ± 0.10	832 ± 40	8.45 ± 0.05	280 ± 35
MIST	9.4 ± 0.15	759 ± 50	8.45 ± 0.05	280 ± 35
BASTI	9.5 ± 0.20	794 ± 70	8.20 ± 0.20	160 ± 90

Tablo 4. UPK 100 için her bir evrim kodundan türetilen uzaklık modülü ve yaşları

UPK 100	Uzaklık Modülü (mag)	d (pc)	log(yaş)	Yaş (Myıl)
PARSEC	10.1 ± 0.10	1047 ± 50	9.05 ± 0.05	1120 ± 140
MIST	9.9 ± 0.18	955 ± 40	9.05 ± 0.10	1120 ± 290
BASTI	9.9 ± 0.20	955 ± 90	8.90 ± 0.15	794 ± 300

Tablo 5. UPK 93 Açık Yıldız Kümesine ait literatür taraması

Uzaklık Modülü (mag)	d (pc)	log(yaş)	Yaş (Myıl)	Referans
9.16	680	8.74	550	[25]
9.20	692	8.71	512	[26]
9.02	637±400	8.766±0.092	575	[27]
9.14	675	8.76	575	[28]

Tablo 6. UPK 100(NGC 6940) Açık Yıldız Kümesine ait literatür taraması

Uzaklık Modülü (mag)	d (pc)	log(yaş)	Yaş (Myıl)	Referans
-	-	9.12	1320	[28]
11.01	1593	9.13	1350	[29]
10.16	1075	9.14	1380	[30]
10.21	1100	9.11	1288	[31]
10.05	1024	8.85	707	[32]

Teşekkür

Bu çalışmada Fransa Strazburg’da yer alan ve CDS tarafından yürütülen SIMBAD veritabanı kullanıldı. Bu araştırma, 122F364 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Sariya, D. P., “A Comprehensive Analysis of NGC 2158 in the Gaia Era: Photometric Parameters, Apex, and Orbit”, **The Astronomical Journal**, vol. 161, no. 3, (2021).
- [2] Karttunen, H. vd., “Fundamental astronomy”. **Physics and Astronomy Online Library (4th ed.)**. Springer. p. 321. ISBN 3-540-00179-4, (2003).
- [3] Chi, H., Wei, S., Wang, F., and Li, Z., Identifying 46 New Open Cluster Candidates in Gaia EDR3 Using a Hybrid pyUPMASK and Random Forest Method, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, vol. 265, no. 1, (2023).
- [4] Worthey, G. and Lee, H.-. chul ., “An Empirical UBVRJHK Color-Temperature Calibration for Stars”, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, vol. 193, no. 1. doi:10.1088/0067-0049/193/1/1 ,(2011).
- [5] Niederhofer, F., Georgy, C., Bastian, N., and Ekström, S., “Apparent age spreads in clusters and the role of stellar rotation”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 453, no. 2, pp. 2070–2074. doi:10.1093/mnras/stv1791 ,(2015).
- [6] Stauffer J. R., Star Clusters in the Era of Large Surveys, ed. André Moitinho, João Alves, **Springer Berlin Heidelberg**, p. 155, ISBN: 9783642221132, 3642221130 (2011).
- [7] Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., et al., “Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA)”, **Astrophysical Journal Supplement**, 192, 3, (2011).
- [8] Sim, G., Lee, S. H., Ann, H. B., and Kim, S., “207 New Open Star Clusters within 1 kpc from Gaia Data Release 2”, **Journal of Korean Astronomical Society**, vol. 52, pp. 145–158, (2019).
- [9] Gaia Collaboration, “VizieR Online Data Catalog: Gaia DR3 Part 1. Main source (Gaia Collaboration, 2022)”, **VizieR Online Data Catalog**. doi:10.26093/cds/vizie.1355 ,(2022).
- [10] Böcek Topcu, G., Afşar, M., and Sneden, C., “The chemical compositions and evolutionary status of red giants in the open cluster NGC 6940”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 463, no. 1, pp. 580–597. doi:10.1093/mnras/stw1974 ,(2016).
- [11] Cantat-Gaudin, T., “Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 640. doi:10.1051/0004-6361/202038192 ,(2020).
- [12] Loktin, A. V., Gerasimenko, T. P., and Malysheva, L. K., “The catalogue of open cluster parameters-second version”, **Astronomical and Astrophysical Transactions**, vol. 20, no. 4, pp. 607–633, 2001. doi:10.1080/10556790108221134.
- [13] Bressan, A., “PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 427, no. 1, pp. 127–145, (2012).

- [14] Paxton, B., Marchant, P., Schwab, J., et al., “Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Binaries, Pulsations, and Explosions”, **Astrophysical Journal Supplement**, 220, 15 (2015).
- [15] Paxton, B., Cantiello, M., Arras, P., et al., “Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars”, **Astrophysical Journal Supplement**, 208, 4 (2013)
- [16] Hidalgo, S. L., “The Updated BaSTI Stellar Evolution Models and Isochrones. I. Solar-scaled Calculations”, **The Astrophysical Journal**, vol. 856, no. 2. doi:10.3847/1538-4357/aab158 ,(2018)
- [17] Manzato, Patrizia et al. “BaSTI, a Bridge between Grid and Virtual Observatory Part 1: BaSTI inside the VO.” **Publications of the Astronomical Society of the Pacific** 120 : 922 - 932 ,(2008).
- [18] Stott, J. J., “Determining open cluster membership. A Bayesian framework for quantitative member classification”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 609, (2018).
- [19] Choi, J., Dotter, A., Conroy, C., Cantiello, M., Paxton, B., and Johnson, B. D., “Mesa Isochrones and Stellar Tracks (MIST). I. Solar-scaled Models”, **The Astrophysical Journal**, vol. 823, no. 2. doi:10.3847/0004-637X/823/2/102 ,(2016).
- [20] Agarwal, M., Rao, K. K., Vaidya, K., and Bhattacharya, S., ML-MOC: Machine Learning (kNN and GMM) based Membership determination for Open Clusters, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 502, no. 2, pp. 2582–2599, (2021).
- [21] Andrae, R., “Gaia Data Release 3. Analysis of the Gaia BP/RP spectra using the General Stellar Parameterizer from Photometry”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 674, (2023).
- [22] Bragaglia, A., Fu, X., Mucciarelli, A., Andreuzzi, G., and Donati, P., “The chemical composition of the oldest nearby open cluster Ruprecht 147”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 619, (2018).
- [23] Dias, W. S., “Updated parameters of 1743 open clusters based on Gaia DR2”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 504, no. 1, pp. 356–371. doi:10.1093/mnras/stab770 ,(2021).
- [24] Akkaya, I., “CCD UBVRI Photometry of the Galactic Open Clusters: Be 89, Ru 135, and Be 10”, **Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica**, vol. 46, (2010)
- [25] Tarricq, Y., “Structural parameters of 389 local open clusters”,**Astronomy and Astrophysics**, vol. 659, 2022. doi:10.1051/0004-6361/202142186.
- [26] Poggio, E., “Galactic spiral structure revealed by Gaia EDR3”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 651, (2021).(24)
- [27] Almeida, A., Monteiro, H., and Dias, W. S., “Revisiting the mass of open clusters with Gaia data”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 525, no. 2, OUP, pp. 2315–2340, 2023. doi:10.1093/mnras/stad2291
- [28] Viscasillas Vázquez, C., “The role of radial migration in open cluster and field star populations with Gaia DR3”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 679,(2023).
- [29] Zhong, J., Chen, L., Jiang, Y., Qin, S., and Hou, J., “New Insights into the Structure of Open Clusters in the Gaia Era, **The Astronomical Journal**, vol. 164, no. 2, IOP, 2022. doi:10.3847/1538-3881/ac77fa.
- [30] Tarricq, Y., “Structural parameters of 389 local open clusters”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 659, (2022).

- [31] Katime Santrich, O. J., Kerber, L., Abuchaim, Y., and Gonçalves, G., “On the validity of the spectroscopic age indicators [Y/Mg], [Y/Al], [Y/Si], [Y/Ca], and [Y/Ti] for giant stars”, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 514, no. 4, OUP, pp. 4816–4827, (2022).
- [32] Rain, M. J., Ahumada, J. A., and Carraro, G., “A new, Gaia-based, catalogue of blue straggler stars in open clusters”, **Astronomy and Astrophysics**, vol. 650, 2021. doi:10.1051/0004-6361/202040072.