







# Scorpius-Centaurus OB Oymağının Kinematik ve Fotometrik Analizi

Burcu Ülgen<sup>1</sup>  , Tansel Ak<sup>2</sup> , Selçuk Bilir<sup>2</sup> , Eyüp Kaan Ülgen<sup>1</sup> ,  
Lanz A. A. Lagman<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, 34116, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Türkiye

<sup>3</sup> University of the Philippines-Diliman, National Institute of Physics, 1101 Quezon City, Philippines

Accepted: February 1, 2023. Revised: December 18, 2022. Received: November 14, 2022.

## Özet

Genç yıldızlardan oluşan OB oymakları, bir yıldız bulutunun doğumundan dağılmasına kadar yıldız oluşumunun kaydını tutan laboratuvarlardır. Güneş'e en yakın olan Sco-Cen (Sco OB2) oymağı, aynı zamanda kütleli yıldız oluşumunun da bir örneğidir. Bu çalışmada Gaia DR3'ün yıldız paraklarının ve öz hareketlerinin yüksek kalitesinden dolayı  $(l, b) = (322^\circ, +10^\circ)$  merkezli 1 yarıçap içindeki dairesel bölgede  $G = 17.5$  kadire kadar olan Sco-Cen OB oymağı bölgesi incelendi. Oymağın alt-gruplarını ve yeni üyelerini belirleyebilmek için DBSCAN kümeleme algoritmasını seçilen bölgeye uygulandı. Toplamda 40 alt-grup ve 4777 üye yıldız belirlendi. Her bölgenin yıldız oluşum tarihini ortaya çıkarmak için PARSEC eş-yaş eğrilerini kullanarak altgrupların kümeleme analizi yapıldı.

## Abstract

OB associations of young stars are the laboratories that keep track of star formation from the birth of a star cloud to its dissolution. Sco-Cen OB association closest to the Sun is also an example of massive star formation. In this study, we research the Sco-Cen OB association region up to  $G = 17.5$  mag in the circular region within 1 radius centred  $(l, b) = (322^\circ, +10^\circ)$  due to the high quality of the stellar parallax and proper motions of Gaia DR3. We applied the DBSCAN clustering algorithm to the selected region to identify subgroups and new members of the associations. In total, we identified 40 subgroups and 4777 member stars. We provide cluster analysis of subgroups using PARSEC age isochrones to reveal the star formation history of each region.

**Anahtar Kelimeler:** Galaxy: open clusters and associations, individual: Sco-Cen OB association, Stars: Hertzsprung Russell (HR) diagram

## 1 Giriş

OB oymakları, tipik olarak birçok belirgin OB yıldızının yanı sıra çok sayıda düşük kütleli yıldız içeren düşük yoğunluklu genç yıldız gruplarıdır (Blaauw 1991; Brown ve diğ. 1999). Teknik olarak, parlak OB yıldızları içeren OB oymakları ve belirgin T-Tauri yıldızları içeren T oymakları olarak gökyüzünde bulunurlar. Fakat bu iki oymak çeşitinin toplam kütleleri dışında başka hiçbir fark yoktur ve oymak terimi genellikle her iki türe atıfta bulunmak için kullanılmaktadır. Oymakların sahip olduğu düşük uzay yoğunlukları ( $0.001\text{--}0.1 \text{ M}_\odot \text{pc}^{-3}$ ), onları Galaktik gelgit kuvvetlerine karşı dinamik olarak kararsız hale getirir ve bu nedenle zamanla dağılmaları beklenmektedir. Bir miktar uzaysal ve kinematik yoğunlaşma göstermeleri ve kısa ömürlü OB yıldızları içermeleri, genç olmaları gerektiğini ve dolayısıyla yıldız oluşum sürecinin birer izleyicileri olduklarının göstergesidir.

OB oymakları, 10 ila 50 Güneş kütlesi arasında toplam yıldız kütlelerine sahiptirler. Boyutları ise birkaç on ile yüz parsek arasında değişmektedir. Oldukça asimetric ve alt yapıdadırlar ve genellikle sınırları içinde açık kümeler veya yıldız oluşum bölgeleri bulunmaktadır. Oymakların yaşları, hem

yıldız oluşum geçmişine göre olan yaş dağılımlarına hem de altyapıların oluşumuna göre ile birkaç ila birkaç on Myl arasında değişebilmektedir. Alt yaş sınırı tarihsel olarak belirsiz ve gömülü sistemlerden oymakları ayırırken (gömülü kümeler, Lada & Lada 2003), üst sınır ise bundan daha yaşlı olan düşük yoğunluklu yıldız gruplarını belirlemenin zor olmasından kaynaklanmaktadır.

Tarihsel olarak oymaklar, galaksimizin diski boyunca gözlenmektedir ve dağılımları Samanyolu'nun sarmal yapısını izlemek, önceki nesil genç yıldızların haritasını çıkarmak ve yıldız oluşumunun yayılmasını incelemek amacıyla kullanılmıştır. OB oymaklarına ilişkin ilk bilgiler, hem Hipparcos Uydusu öncesi dönem (Blaauw 1964, 1991), hem de oymaklar ve onların doğaları ile ilgili bir çok büyük keşiflerin yapıldığı Hipparcos Uydusu döneminde (Brown ve diğ. 1999) yapılan bir çok çalışma ile mümkün olmuştur. Son birkaç yılda ise Gaia verilerinin kalitesi sayesinde ortaya çıkan oymaklarla alakalı çalışmaların zenginliği, bu sistemleri anlamamızı hızlandırmıştır.

OB oymakları, doğum ortamlarından Galaktik alana dağılan düşük yoğunluklu genç yıldız gruplarıdır. OB oymaklarının kinematiği, bunların küresel olarak bağlı olmadığını ve genişlediğini göstermiştir; son çalışmaların çoğu, oymakların alt gruplarındaki açık genişleme modellerine ilişkin

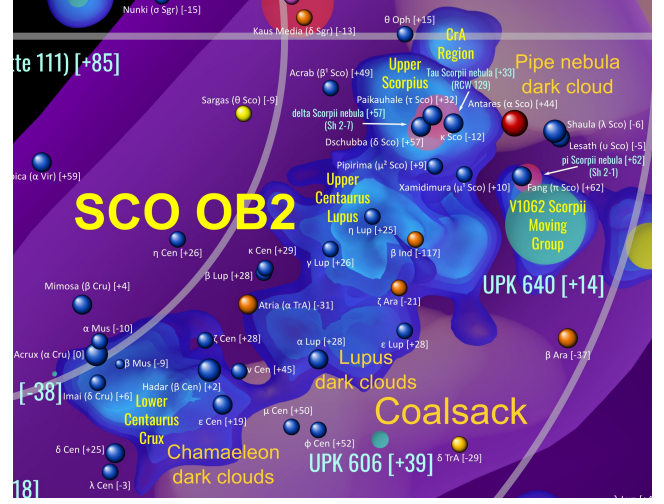
\* burcu.akbulut@ogr.iu.edu.tr

kanıtlar ortaya koyarak, alt grupların geçmişte daha kompakt olduğunu düşündürmektedir. Bu genişlemenin genellikle izotropik olmadığı görülmektedir. Oymakların yıldız oluşum geçmişleri genellikle karmaşıktır, yaş dağılımları ve zamansal altyapı sergiler, ancak şimdiye kadar yıldız oluşumu yayılımının basit modellerini ortaya çıkarmada başarısız olmuştur. OB oymaklarının yıldız karakterizasyonu geleneksel olarak, oymak üyelerinin ön ve arka plan alan yıldızı kirlenmesinden ayırmak için özhareket ve radyal hızlardan gelen kinematik bilgilere dayanıyordu (de Zeeuw ve diğ. 1999). Fakat bu yaklaşım, düşük kütleli anakol öncesi oymak üyeleri için genellikle ölçülemediğinden, kütleli anakol yıldızı bakımından bir ön yargıya yol açmaktadır.

Yıldızların soğuk moleküler bulutların çökmesinden kaynaklandığı ve çoğunlukla aşırı yoğun yapılarda ve genellikle yıldız oluşum bölgeleri (SFR'ler) olarak adlandırılan kümelerde oluştuğu artık iyi bilinmektedir. Çok erken evrelerde, genç yıldız nesnelere (YSO'lar), merkezi yıldızın etrafındaki optik olarak kalın düşen zarf veya çevresel diskin varlığı nedeniyle yakın, orta-uzak kızılötesi (IR) ve radyo dalga boylarında tanımlanabilir. Daha sonraki anakol öncesi aşamada, optik bantlarda da görünür hale gelirler. Ancak, disk malzemesinin nihai dağılımı gerçekleştiğinde ve yığılmayan geçiş diskleri oluştuğunda, YSO'lar artık IR veya radyo gözlemlerinde tanımlanamaz (Ercolano ve diğ. 2021) ve tam bir örnek sayımı yalnızca optik bantlarda mümkündür. Yalnızca optik fotometri kullanarak YSO'ların temiz bir şekilde tanımlanması çok zor olsa da, SFR'leri sistematik olarak ayırmanın etkili bir yolu, ortak bir uzay hareketine sahip kinematik yıldız gruplarının tanımlanmasıdır. Daha önce görülmemiş astrometrik hassasiyet ve gökyüzü kapsamı ile Gaia verileri, en azından Gaia gözlem limitleri dahilinde, SFR'leri ortak özhareket grupları olarak tanıma imkanı sunar. Gaia misyonundan elde edilen veriler, Galaktik bileşenlerin genel olarak anlaşılması için temel bilim hedeflerinden biri olan optik bantlarda Samanyolu'nun en genç yıldız popülasyonlarını belirlememize önemli ölçüde katkı sağlar. En genç yıldız bileşeni, Galaktik ince diski ve sarmal kollarını daha iyi karakterize etmek ve kökenini anlamak için çok önemlidir.

SCO OB2 Oymağı, (SCO OB2 olarak da bilinmektedir) son yüksek kütleli yıldız oluşumunun en yakın bölgesini temsil eden güney Samanyolu'nun çoğunu kapsayan kapsamlı bir oymaktır (de Zeeuw ve diğ. 1999). Oymak olarak ilk Kapteyn (1914) tarafından birlikte hareket eden O ve B tayf türünden yıldızların geniş bir yoğunluk göstermesi olarak tanımlandı ve sonraki on yılda bu orijinal görüş büyük ölçüde benimsendi. Oymakların altyapılarının ilk ipuçları, SCO-Cen oymağının literatürden sık sık atıfta bulunulan üç büyük alt bölgeye ayıran de Zeeuw ve diğ. (1999) tarafından önerilmiştir. Bunlar: Upper Sco (US), Upper Centaurus-Lupus (UCL) ve Lower Centaurus-CruX (LCC). Daha erken dönemde literatürde US için yapılan yaş belirlemeleri 5-11 Myıl arasında değiştiği belirlenmiştir (örneğin, Pecaut ve diğ. 2012; Preibisch & Mamajek 2008). UCL ve LCC için ise yaşın 20 Myıl'nin daha altındadır ((örneğin, Mamajek & Feigelson 2001).

Son zamanlarda, özellikle Gaia sonrası, daha detaylı bir SCO-Cen için mevcut makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmasıyla beraber binlerce yeni aday yıldız belirlenmiştir ((Örneğin, Pecaut ve diğ. 2012). Bölgedeki bilinen popülasyonlar giderek daha fazla tamamlandı, (Rizzuto ve diğ. 2012) geleneksel alt grupların üçünü de birbirine bağlayan geniş bir popülasyon varlığını ve bu alt grupların



Şekil 1. Sco-Cen OB oymağının 3 ana bölgesinin, Gaia EDR3 sürümü kullanılarak elde edilen harita üzerinde gösterimi Reylé ve diğ. (2021).

yıldız oluşumunun birbirine bağlı ve sürekli doğasını yakalamak için yetersiz olduğunu öne sürdü. Ophiuchus ve Lupus bulutları da artık yaygın olarak SCO-Cen oymağının bir parçası olarak kabul edilmektedirler ve son çalışmalarda Corona Australis (CrA), Chamaeleon kümeleri, TW Hydrae oymağı ve IC 2602 dahil olmak üzere diğer bir çok grubun dahil edilmesi gerektiği öne sürülmüştür (Mamajek ve diğ. 2000; Mamajek & Feigelson 2001; Damiani ve diğ. 2019).

Yapılan son çalışmalarda elde edilen OB oymağının haritası Şekil 1'de gösterilmektedir. Hassas özhareketlere ve astrometrik (konumlar ve paralaks) ve fotometrik ölçümlere sahip 1.3 milyarın fazla yıldızla Gaia DR2 verileri, Samanyolu'nun kümelenmiş popülasyonlarını tanımlamayı amaçlayan çeşitli çalışmalara izin verdi. Bu çalışmalardan bazıları SFR'leri, oymaklara ve hareketli gruplara ayrılmıştır. Zari ve diğ. (2018) fotometrik ve astrometrik kriterlerin bir kombinasyonunu kullanarak, 500 pc içindeki kümelenmiş ve dağınık genç popülasyonların bir analizini sunmuştur. Benzer şekilde, Kerr ve diğ. (2022), HDBSCAN kümeleme algoritmasını uygulayarak Güneş komşuluğunu incelemiştir. Bilinen kümeler ve SFR'lerle ilişkili 27 genç grup, oymak ve önemli altyapı buldular ve 333 pc içinde  $\sim 3 \times 10^4$  Gaia DR2 YSO'yu içeren bir katalog yayınladılar.

Cantat-Gaudin ve diğ. (2018), denetimsiz üyelik ve astrofiziksel parametreleri belirleyebilmek için, bilinen kümeler listesinden başlayarak yeni kümelerin keşfinde büyük bir çığır açtı. Diğer çalışmalar, Galaksidedeki açık kümeleri sistematik olarak bulmaya adanmıştır. Castro-Ginard ve diğ. (2018), DBSCAN algoritmasını (Ester ve diğ. 1996) bir aday açık kümeler listesi seçmek için kullandılar ve daha sonra iyi tanımlanmış bir anakola sahip gerçek OC'leri tanımlamak için temizlediler. Hem yeni açık kümeleri keşfetmek hem de parametrelerini üretmek için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan başka çalışmalar da yayımlandı (Cantat-Gaudin ve diğ. 2018, 2020; Castro-Ginard ve diğ. 2020; Liu & Pang 2019). SFR'ler de dahil olmak üzere Galaktik Düzlem kümelenmiş popülasyonları bulmaya yönelik yeni bir girişim, Kounkel & Covey (2019) tarafından yine Gaia DR2 verileri ve 5 boyutlu uzayda ( $l, b, \varpi, \mu_\alpha, \mu_\delta$ ) HDBSCAN kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada kapsamında, makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan DBSCAN uygulamasını kullanarak, Sco-Cen OB oymağına ait üyeleri belirledikten sonra, Tarihsel olarak **de Zeeuw ve diğ. (1999)** çalışmasında üç ana gruba ayrılmış Sco-Cen OB oymağının (US, UCL, LLC) alt gruplarını ve üye yıldızları belirleyebilmek için detaylı fotometrik ve kinematik analizi yapılarak, yıldız oluşum zamanına dair tahminlerde bulunuyoruz.

## 2 Veri

Bu çalışmada, Gaia verilerini (Gaia Collaboration ve diğ. 2016, 2021) hassas astrometri ve kinematik ( $l, b, \varpi, \mu_\alpha, \mu_\delta$ ) ve ayrıca üç geniş bantta ( $G, G_{BP}, G_{RP}$ ) hassas fotometriyi kullandık. Sco-Cen OB oymağında bulunan genç yıldız objelerini (Young Stellar Object – YSO) kaçırmamak adına veri seçimimizi, oymağın klasik sınırlarından daha da geniş tutarak  $285 \leq l \leq 360$  ve  $-10 \leq b \leq +32$  değerleri arasında sınırlandırıyoruz. Gaia DR3'ten aldığımız G parlaklığının, doymuş CCD görüntülerinden türetilen parlak nesnelere atabilmek amacıyla  $G \geq 7.5$  mag alt sınır şartı koyuyoruz. Bunun yanısıra G parlaklığı üst sınırını ise, belirsizliği 0.2 mag'den daha düşük olan nesnelere çoğunu dahil etmek için  $G \leq 20.5$  ile sınırlandırıyoruz. Sonuç olarak seçilen oymağın parlaklık kriterini  $7.5 \leq G \leq 20.5$  değerleri arasında sınırlandırıyoruz. Bu aralık ayrıca, sınırlayıcı parlaklık tarafından belirlenen Sco-Cen OB oymağı bölgesi içindeki bilinen yıldız oluşum bölgelerinin genç, düşük kütleli popülasyonlarını içermektedir ( $0.1 \leq M(M_\odot) \leq 1.5$ ). Bunun yanısıra paralaksa sınırlama getirerek sadece pozitif paralaks değerlerini dikkate aldık. Bu çalışmada negatif paralaks değerine sahip olabilecek yıldızların olmasını beklemediğimiz için, bu seçim çalışmamız açısından herhangi bir yanlışlık getirmemektedir. Son olarak, rölatif paralaks hatası  $\varpi/\sigma_\varpi \geq 10$  olan yıldızlar örnekten kaldırıldı. Özetlemek gerekirse, ilgilendığımız veriler, Denklem 2'deki 5 kriteri kullanarak, **ESA Gaia Arşivinin** Astronomik Veri Sorgulama Dili (ADQL) arayüzünden seçilerek elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} 285 &\leq l \leq 360 \\ -10 &\leq b \leq +32 \\ 7.5 &\leq G \leq 20.5 \\ \varpi &\geq 0 \\ \frac{\varpi}{\sigma_\varpi} &\geq 10 \end{aligned} \quad (1)$$

Sco-Cen OB oymağını incelerken elde ettiğimiz verinin SQL kodu aşağıda verilmiştir:

```
SELECT (gaia.astrometric_chi2_al /
(gaia.astrometric_n_good_obs_al - 5.0))
AS unit_weight FROM gaiadr3.gaia_source
AS gaia WHERE gaia.parallax >= 0
AND gaia.b >= -10.0 AND gaia.b <= 32.0
AND gaia.l >= 285.0 AND gaia.l <= 360.0
AND (gaia.parallax/gaia.parallax_error) >= 10.0
AND gaia.phot_bp_mean_flux_over_error >= 10
AND gaia.phot_rp_mean_flux_over_error >= 10
```

Bu kriterler sonucunda elde ettiğimiz 134.587 yıldız için gözlemsel H-R diyagramı Şekil 2'nin sol panelinde gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere herhangi bir üye kaybı olmaması adına Sco-Cen OB bölgesi oldukça geniş bir şekilde seçilmiştir. Bu nedenle H-R diyagramının alan yıldızlarınca oldukça kirlenmiş olduğu görülmektedir.

## 3 Analizler

Ş2'de açıklandığı gibi veri setinden başlayarak, Python'daki scikit-learn makine öğrenmesi paketi içinde yer alan DBSCAN kodunu (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, **Ester ve diğ. 1996**) kullanarak Sco-Cen bölgesinde kümeleme analizi gerçekleştirdik. Genç yıldız popülasyonumuzdaki yapıların varlığı Şekil 2'de bulunan aşırı yoğun noktalar aracılığıyla görülmektedir. Fakat bu yapıların sınırlarını belirleyebilmek için uygun bir yapı tanımlama aracı gerekmektedir. Analize Gaia DR3 verisinden elde ettiğimiz 5 parametreyi ( $l, b, \varpi, \mu_\alpha, \mu_\delta$ ) kullanarak başladık. DBSCAN algoritması için yalnızca iki giriş parametresine ( $\epsilon, \text{minPts}$ ) gerek duyulur. Aday kümeleri, beş parametrenin tümü için belirli bir bağlantı uzunluğu  $\epsilon$  komşuluğunda, öklidyen olduğu varsayılan istatistiksel bir uzaklık kullanılarak kaynak sayısının gerekli minimum nokta sayısını aştığı çok boyutlu bir uzayda aşırı yoğunluklar olarak tanımlar. DBSCAN, önceden belirlenmiş sayıda kümenin bilinmesini gerektirmez ve keyfi olarak şekillendirilmiş kümeleri algılayabilir. DBSCAN'a girdi olarak verilecek en iyi girdi parametrelerini belirlemek ve iki parametrenin en iyi kombinasyonunu en "doğru" tahmin ile sonuçlandırmak için, modelin hiperparametrelerini grid-search ile belirledik. Analizler sonucundan Sco-Cen kompleksinin üyelerinin gökyüzündeki konumları Şekil 2 sağ panelde gösterilmiştir.

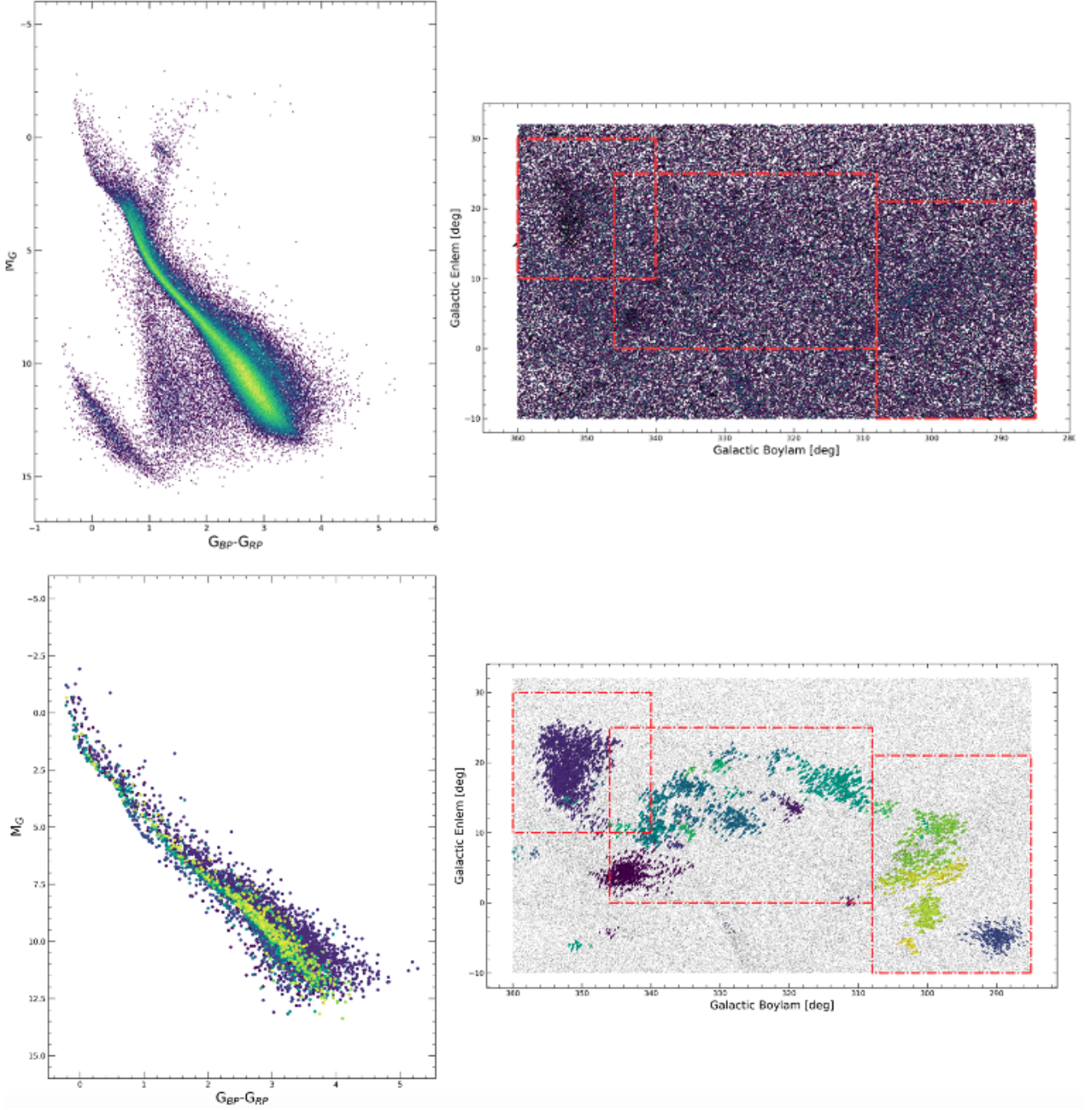
Analizler sonucunda, Sco-Cen OB oymağına ait 3 ana bölgenin alt yapısında 5 parametre uzayında yapılan analizler sonucu bölgede yıldız yoğunlaşmaları olduğu görülmüştür. Bu yoğunlaşmalar OB oymağının farklı zamanlarda yıldız oluşumunun tetiklenmesiyle oluşan alt gruplar olduğu yıldızların öz hareket uzayında yoğunlaşması sonucu belirlenmiş olup, DBSCAN algoritması kullanılarak Sco-Cen OB oymağına ait 40 alt grup olduğu elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, Sco-Cen OB oymağına ait 3 ana bölgenin sınırları **de Zeeuw ve diğ. (1999)** çalışmasından alınan US, UCL ve LCC) alt yapıları incelendiğinde, oymağın Galaktik koordinatlarda ve öz hareket uzayında yıldız öbeklenmeleri olduğu tespit edildi. Bu öbeklenmeler OB oymağının, farklı zamanlarda yıldız oluşumunun tetiklenmesiyle oluşan alt gruplar olduğu belirlenmiştir. Analizler sonucunda 40 alt grup belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen 40 alt grup, daha sonraki çalışmalarda kullanılarak, yıldız oluşumunun doğasına dair yeni bilgiler elde edilmek için kullanılacaktır.

## 4 Sco-Cen OB Oymağının Astrofiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi

### 4.1 Uzaklık

Bu çalışmada incelediğimiz Sco-Cen OB oymağının **de Zeeuw ve diğ. (1999)** çalışmasında verilen sınırlar dikkate alınarak 3 ana gruba ayrılmıştır. Oymakların uzanımsal olarak geniş bir yer kaplamalarından dolayı, uzaklığın hassas bir şekilde belirlenebilmesi için bu üç ana grup ayrı ayrı incelenmiştir. Yaptığımız bu çalışmada uzaklığı belirlerken, tek boyutlu Gaussian Mixture Model (GMM, **Dempster ve diğ. 1997**) kullandık. Bu model sayesinde her bir bölge için uzaklığın optimum kaç bileşene sahip olduğu, bileşen sayısının bir fonksiyonu olarak model seçim kriteri BIC (Bayesian Information Kriteria) kullanılarak elde edilmiştir. US, UCL ve LCC bölgesine uygulanan GMM Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, her bir altgrup iki farklı optimum bileşene sahiptir. Bu

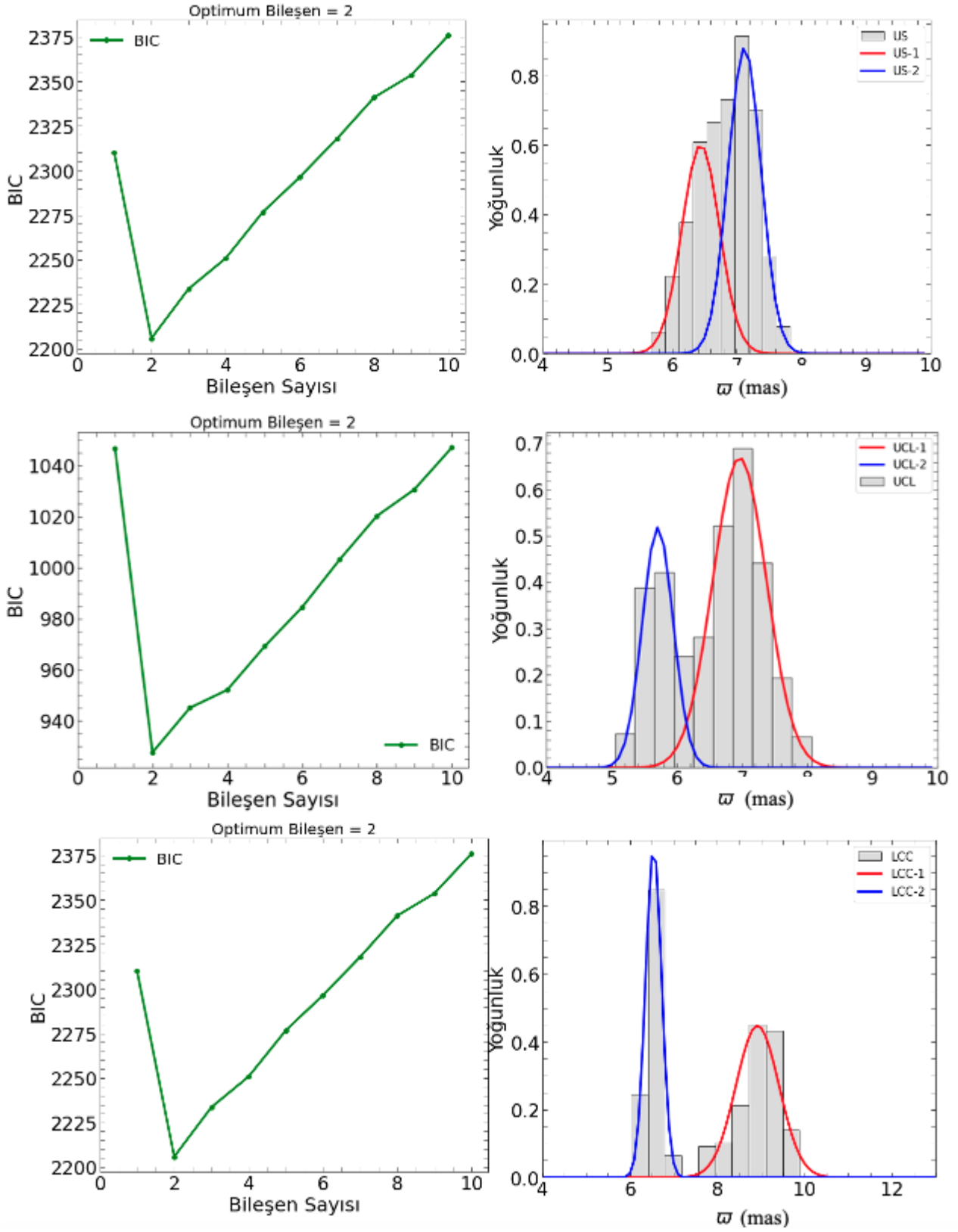


**Şekil 2.** (Üst sol panel) Sco-Cen OB oyağı doğrultusundaki tüm yıldızların Gaia renkleri ve parlaklığı ile oluşturulmuş H-R diyagramı ve (üst sağ panel) Sco-Cen OB oyağının gökyüzündeki dağılımı. (Alt sol panel) Sco-Cen OB oyağı doğrultusundaki DBSCAN ile belirlenmiş üye yıldızların Gaia renkleri ve parlaklığı ile oluşturulmuş H-R diyagramı, herbir renk ayrı grubu temsil etmektedir. (Alt sağ panel) Sco-Cen OB oyağının DBSCAN ile belirlenen üyelerinin gökyüzündeki dağılımını göstermektedir. Dağılımdaki her bir renk grubu, DBSCAN ile belirlenen alt grupları göstermektedir. Sco OB2'nin üç alt grubunun sınırları [de Zeeuw ve diğ. \(1999\)](#) çalışmasından alınmıştır (soldan sağa: Upper Scorpius, Upper Centaurus Lupus ve Lower Centaurus Crux).

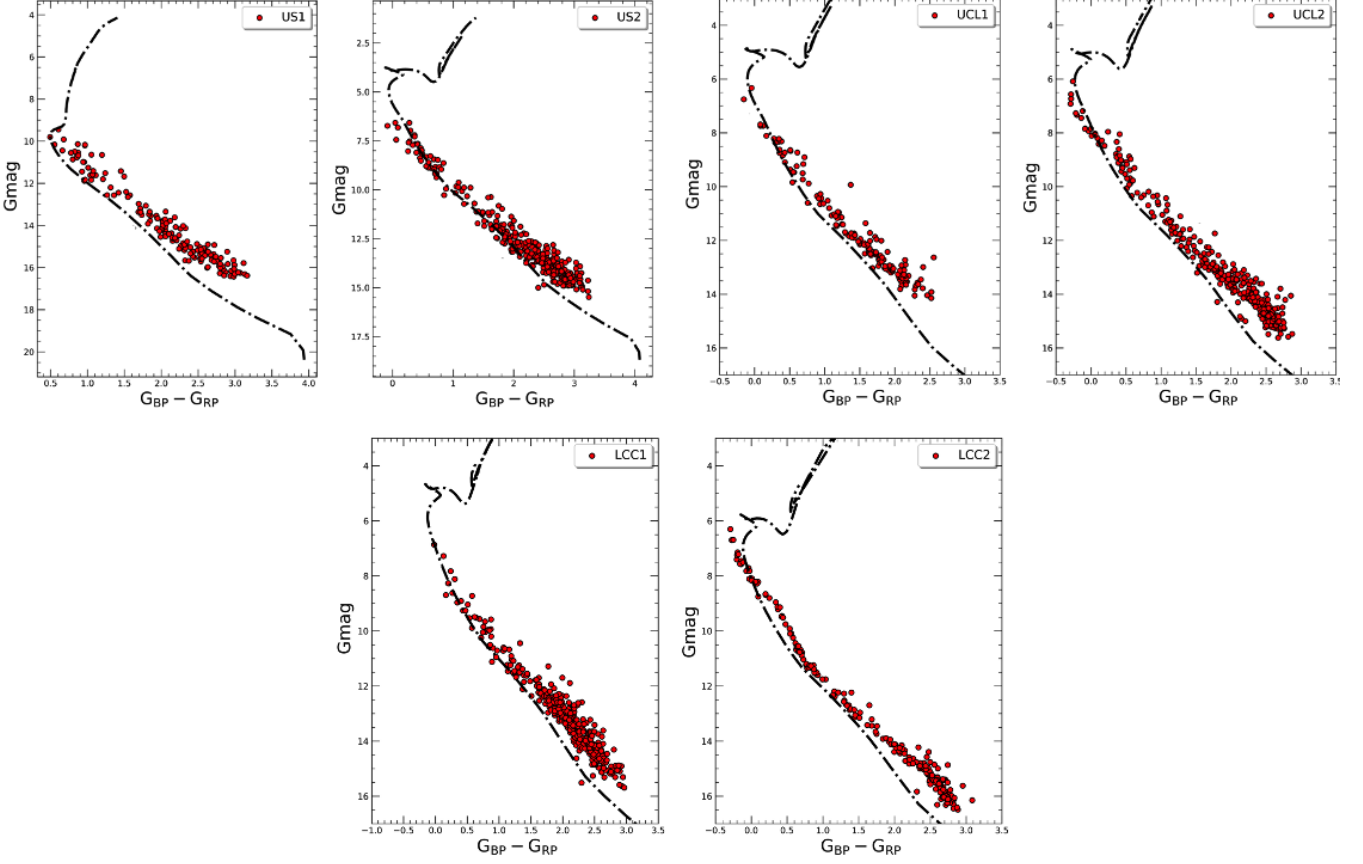
da OB oyağının farklı uzaklığa sahip olduğunun göstergesidir. Belirlediđimiz alt grupların uzaklıkları sırasıyla, US için  $d_{US1}$ :  $156 \pm 8.06$  pc ve  $d_{US2}$ :  $141 \pm 8.92$  pc, UCL için  $d_{UCL1}$ :  $176 \pm 9.17$  pc ve  $d_{UCL2}$ :  $142 \pm 9.25$  pc, LCC için ise  $d_{LCC1}$ :  $112 \pm 12.2$  pc ve  $d_{LCC2}$ :  $153 \pm 14.29$  pc şeklindedir.

#### 4.2 Yaşın Belirlenmesi

Bu çalışmada incelenen Sco-Cen OB oyağının yaşının hesaplanmasında güncel PARSEC eş-yaş eğrileri (ing. isocrone) [Bressan ve diğ. \(2012\)](#) kullanılmıştır. PARSEC eş-yaş eğrileri, temel astrofiziksel parametrelerin belirlenmesi için küme



Şekil 3. Sco-Cen OB oymağının, US, UCL ve LCC bölgeleri için ayrı ayrı olarak gösterilen tek boyutlu Gauss karışım modeli grafiklerde gösterilmiştir. Sağ paneller, iki bileşenli bir karışım için en uygun modelle birlikte bir veri histogramını göstermektedir. Sol paneller, bileşen sayısının bir fonksiyonu olarak model seçim kriteri olan BIC'i (Bayesian Information Criteria) göstermektedir. Kırmızı ve mavi model çizgilerinin tepe noktaları, temsil ettikleri bölgenin ortalama paralaks değerini göstermektedir.



**Şekil 4.** Sco-Cen OB oyağının US, UCL ve LCC bölgelerinin  $G-(G_{BP}-G_{RP})$  renk-parlaklık diyagramındaki konumları ve kümenin yaşını en iyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri. Eğrilerden elde edilen yaşlar, US1 ve US2 için sırasıyla  $16\pm 2$  Myıl ve  $11\pm 2$  Myıl, UCL1 ve UCL2 için  $15\pm 1$  Myıl, LCC1 ve LCC2 için  $21\pm 4$  Myıl şeklindedir.

alanlarında tespit edilen yıldızların  $G-(G_{BP}-G_{RP})$  renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş ve DBSCAN algoritması kullanılarak belirlenen yeni alt gruplar bu diyagramlar üzerinde işaretlenmiştir. Her bir bölge için Gaia DR3'den elde edilen uzaklıklar kullanılarak bu değere karşılık gelen farklı yaşlardaki PARSEC eş-yaş eğrileri seçilmiştir. Yaşı belirlerken, oyağın US, UCL ve LCC bölgeleri için üye yıldızlara ağırlık verilecek şekilde renk-parlaklık diyagramı üzerinde kaydırılmıştır. Sco-Cen OB oyağının yaşını belirlerken renk-parlaklık diyagramında parlak yıldızları ve anakolu temsil en iyi temsil eden uzaklık modülü ve yaşı veren PARSEC eş-yaş eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir.

## 5 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, denetimsiz makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan DBSCAN algoritması kullanılarak Sco-Cen OB oyağının üye yıldızları, Gaia DR3 kataloğundan (Babusiaux ve diğ. 2022) sağlanan astrometrik veriler ile belirlenmiştir. Üyeler belirlendikten sonra Gaia fotometrisi kullanılarak Sco-Cen OB oyağının astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. Oymak alanından belirlenen üye yıldızlar kullanılarak, sönümlenme ( $A_G$ ), uzaklık (d), öz hareket  $\mu_\alpha \cos \delta$  (mas yıl<sup>-1</sup>),  $\mu_\delta$  (mas yıl<sup>-1</sup>) ve yaş değerleri hesaplanarak Çizelge 1'de listelenmiştir.

Bu çalışmada Sco-Cen OB oyağı en yakın yıldız oluşum bölgesi olması sebebiyle oldukça çalışılmış bir bölgedir. Fakat

makine öğrenmesi yöntemi kullanarak yaptığımız analize en yakın yaklaşım, HDBSCAN algoritmasını kullanarak birden fazla yıldız oluşum bölgesini inceleyen Kerr ve diğ. (2022) çalışmasına aittir. Bu nedenle yaptığımız çalışmayı Kerr ve diğ. (2022) çalışmasıyla karşılaştırmaktayız.

Gaia fotometrisine ait renk-parlaklık diyagramlarından (Şekil 4) elde edilen sönümlenme değeri ( $A_G$ ) US, UCL ve LCC bölgeleri için sırasıyla 0.02, 0.05 ve 0.03 kadirdir. Bu değerler Kerr ve diğ. (2022)'un çalışmasıyla bakıldığında, birden fazla yıldız oluşum bölgesi çalışıldığından çok fazla detay verilmediği için karşılaştırılamamıştır. Diğer yandan uzaklıklara bakıldığında 3 ayrı bölge için uyum içinde olduğu görülmüştür. Çalışmada incelenen Sco-Cen OB yıldız oluşum bölgesi, US, UCL ve LCC için sırasıyla Güneş'ten, 147, 158 ve 166 parsec uzaklık içinde yer alırken, Kerr ve diğ. (2022) çalışmasında US için 146.4 pc, LCC için 176.3 pc olarak bulunmuştur. Kerr ve diğ. (2022) çalışmasında UCL bölgesinin ise geleneksel çalışmaların aksine keskin bir sınır olmadığı için, UCL yapısının aslında ayrı ayrı alt gruplardan oluşması sebebiyle bu bölgeyi UCL yapısı olarak incelenmemiştir. Dolayısıyla bundan sonraki karşılaştırmalar yalnızca US ve LCC alt grubu için yapılacaktır.

Bu çalışma kapsamında Sco-Cen OB oyağında bulunan US, UCL ve LCC bölgelerinin,  $G-(G_{BP}-G_{RP})$  renk-parlaklık diyagramı ve bu diyagrama en iyi uyumlu yaşı veren PARSEC eş-yaş eğrileri Şekil 4'de gösterilmiştir. PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak elde edilen yaşlar, US1, US2, UCL ve

**Çizelge 1.** Bu çalışmada hesaplanan ve literatürdeki çalışmalardan derlenen Sco-Cen bölgesinin astrometrik ve temel astrofizik parametreleri. Literatür: (1): Bu çalışma, (2): Kerr ve diğ. (2022).

Alt Gruplar	Üye Sayısı	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ (mas yıl <sup>-1</sup> )	$\mu_{\delta}$ (mas yıl <sup>-1</sup> )	$\varpi$ (mas)	$A_G$ (kadir)	Uzaklık (pc)	Yaş (Myıl)	Literatür
US-1	842	-10.589±0.242	-22.296±0.157	6.455±0.124	0.02	156±8.06	16±2	(1)
US-2	1140	-10.564±0.223	-24.495±0.145	7.123±0.112	0.02	141±8.92	11±2	(1)
UCL-1	820	-12.8455±0.203	-20.811±0.137	5.688±0.109	0.05	176±9.17	15±1	(1)
UCL-2	1021	-20.051±0.179	-22.682±0.144	7.023±0.108	0.05	142±9.25	15±1	(1)
LCC-1	225	-35.077±0.103	-12.284±0.088	9.318±0.078	0.03	112±12.2	21±4	(1)
LCC-2	414	-17.803±0.126	10.512±0.115	6.554±0.070	0.03	153±14.29	21±4	(1)
US	1478	-10.50	-23.6	-	-	146.4±9.3	11.3±0.3	(2)
UCL	-	-	-	-	-	-	-	(2)
LCC	370	-10.50	-23.60	-	-	176.3±6.3	18.8±0.6	(2)

LCC için sırasıyla 16±2 Myıl, 11±2 Myıl, 15±1 Myıl ve 21±4 Myıl olduğu belirlenirken, Kerr ve diğ. (2022) çalışmasında ise US ve LCC için sırasıyla 11.3±0.3 Myıl ve 18.8±0.6 Myıl şeklindedir. Sco-Cen yıldız oluşum kompleksi incelenirken farklı yazarların farklı sonuçlar bulmasının temel nedeni, Kerr ve diğ. (2022) gibi araştırmacıların bir çok yıldız oluşum bölgesi için yaş hesaplamasını her bir bölge için aynı anda yapmasından, dolayısıyla parametre dejenereliğinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada optik 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* uydusu verilerinin ileriki dönemlerde literatüre kazandırılması ve uzay tabanlı çalışmaların yer tabanlı tayfsal gözlemler ile desteklenmesi, bu çalışmada belirlenen Sco-Cen OB oymağının parametrelerinin daha duyarlı tayin edilmesine fırsat verecektir.

## Kaynaklar

- Babusiaux C., ve diğ., 2022, Gaia Data Release 3: Catalogue Validation
- Blaauw A., 1964, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 2, 213
- Blaauw A., 1991, *The Origin of Stars and Planetary Systems*. Edited by Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis. NATO ASI Series C, 342, 125
- Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Cero C. D., Rubele S., Nanni A., 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127
- Brown A. G. A., Blaauw A., Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., de Zeeuw P. T., 1999, *The Origin of Stars and Planetary Systems*. Edited by Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis. NATO ASI Series C, 342, 540
- Cantat-Gaudin T., ve diğ., 2018, *Astronomy & Astrophysics*, 618, A93
- Cantat-Gaudin T., ve diğ., 2020, *Astronomy & Astrophysics*, 640, A1
- Castro-Ginard A., Jordi C., Luri X., Julbe F., Morvan M., Balaguer-Núñez L., Cantat-Gaudin T., 2018, *Astronomy & Astrophysics*, 618, A59
- Castro-Ginard A., ve diğ., 2020, *Astronomy & Astrophysics*, 635, A45
- Damiani F., Prisinzano L., Micela G., Sciortino S., 2019, *Astronomy & Astrophysics*, 623, A25
- Dempster A. P., Laird N. M., Rubin D. B., 1997, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 39, 1
- Ercolano B., Picogna G., Monsch K., Drake J. J., Preibisch T., 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 508, 1675
- Ester M., Krieger H.-P., Sander J., Xu X., ve diğ., 1996, pp 226–231

- Kerr R., Kraus A. L., Murphy S. J., Krolkowski D. M., Offner S. S. R., Tofflemire B. M., Rizzuto A. C., 2022, *The Astrophysical Journal*
- Kounkel M., Covey K., 2019, *The Astronomical Journal*, 158, 122
- Lada C. J., Lada E. A., 2003, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 41, 57
- Liu L., Pang X., 2019, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 245, 32
- Mamajek E. E., Feigelson E. D., 2001, *Young Stars Near Earth: Progress and Prospects*, ASP Conference Series, Edited by Ray Jayawardhana and Thomas Greene, 244, 104
- Mamajek E. E., Lawson W. A., Feigelson E. D., 2000, *The Astrophysical Journal*, 544, 356
- Pecaut M. J., Mamajek E. E., Bubar E. J., 2012, *The Astrophysical Journal*, 746, 154
- Preibisch T., Mamajek E., 2008, *The Nearest OB Association: Scorpius-Centaurus (Sco OB2)*
- Reylé C., Jardine K., Fouqué P., Caballero J. A., Smart R. L., Sozzetti A., 2021, *Astronomy & Astrophysics*, 650, A201
- Rizzuto A. C., Ireland M. J., Zucker D. B., 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 421, L97
- Zari E., Hashemi H., Brown A. G. A., Jardine K., de Zeeuw P. T., 2018, *Astronomy & Astrophysics*, 620, A172
- de Zeeuw P. T., Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., Brown A. G. A., Blaauw A., 1999, *The Astronomical Journal*, 117, 354

## Access:

M23-0375: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.