

Yoğun Yıldız Oluşumu Bölgesi: Cygnus OB Oymağının Gaia DR3 ile Analizi

Burcu Ülgen¹, Tansel Ak², Eyüp Kaan Ülgen³

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

²Istanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34116, İstanbul, Türkiye

³Huawei Türkiye, Ar-Ge Merkezi, 34768, İstanbul, Türkiye

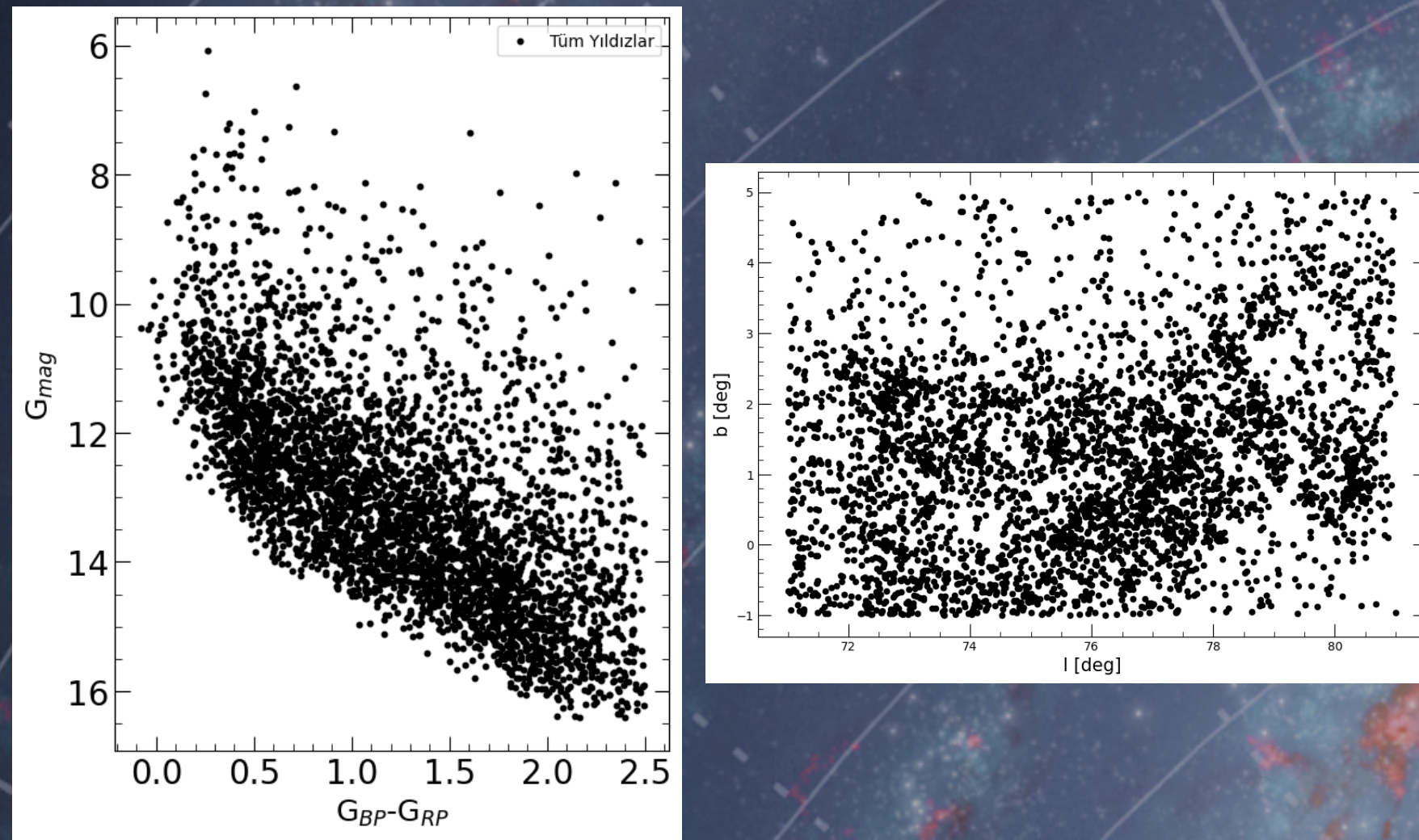


Özet

Genç yıldızlar genellikle yalnız bulunmaz; bunun yerine, genellikle birlikte hareket eden yıldız kümelerinde veya oymaklarda bulunurlar (Lada & Lada, 2003) Bu yıldız toplulukları, onları oluşturmak için çöken moleküler bulutun doğrudan kalıntılarıdır ve bu nedenle, bulutların yapısı ve dinamikleri hakkında önemli bilgileri korurlar. Özellikle genç O ve B spektral tipindeki yıldızlarının bulunduğu OB oymaklarının detaylı çalışılmasıyla, on milyonlarca yıl süren yıldız oluşumunu geriye doğru izleyebilmek mümkündür. OB oymakları, galaktik yapı içerisinde genç, sıcak ve kütleli O ve B tipi yıldızların gevşek gruplar halinde bulunduğu bölgeler olarak bilinmektedir. Gaia Uydusunun sağladığı yüksek hassasiyetli fotometri ve astrometrisi kullanılarak genç yıldız popülasyonlarını incelemek, yıldız oluşumunun tarihi hakkında benzersiz yeni bilgiler sunmaktadır.

Veriler ve Yöntem

Seçtiğimiz veri $l=[70^\circ, 80^\circ]$ ile $b=[0^\circ, 5^\circ]$ aralığını kapsayan 60 deg^2 lik bir alandır. Bu bölge, Cygnus bölgesinin en iyi incelenmiş beş OB kümesi olan Cyg OB1, OB2, OB3, OB8 ve OB9'u içermektedir. Cygnus'taki diğer OB oymakları olan Cyg OB4, OB5, OB6 ve OB7, daha geniş alanlara yayılmış oldukları ve daha büyük boylamlarda buldukları için bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Gaia DR3 kullanarak elde ettiğimiz veriyi düzenlemek ve OB oymaklarını, alan yıldızlarından ayırmak amacıyla bazı kısıtlamalar ekledik, $RUWE > 1.4$ Lindegren ve diğ., (2021a), $\frac{\sigma}{\sigma_{\text{par}}} > 10$ ve $BP-RP < 2.5$ Green ve diğ., (2019). Bu kısıtlamaları kullanarak, toplamda 20.754 yıldız belirledik. Elde ettiğimiz yıldızlar için çizilen H-R diyagramı ve Galaktik koordinat sistemine göre dağılımın şekil 1'de gösterilmiştir.



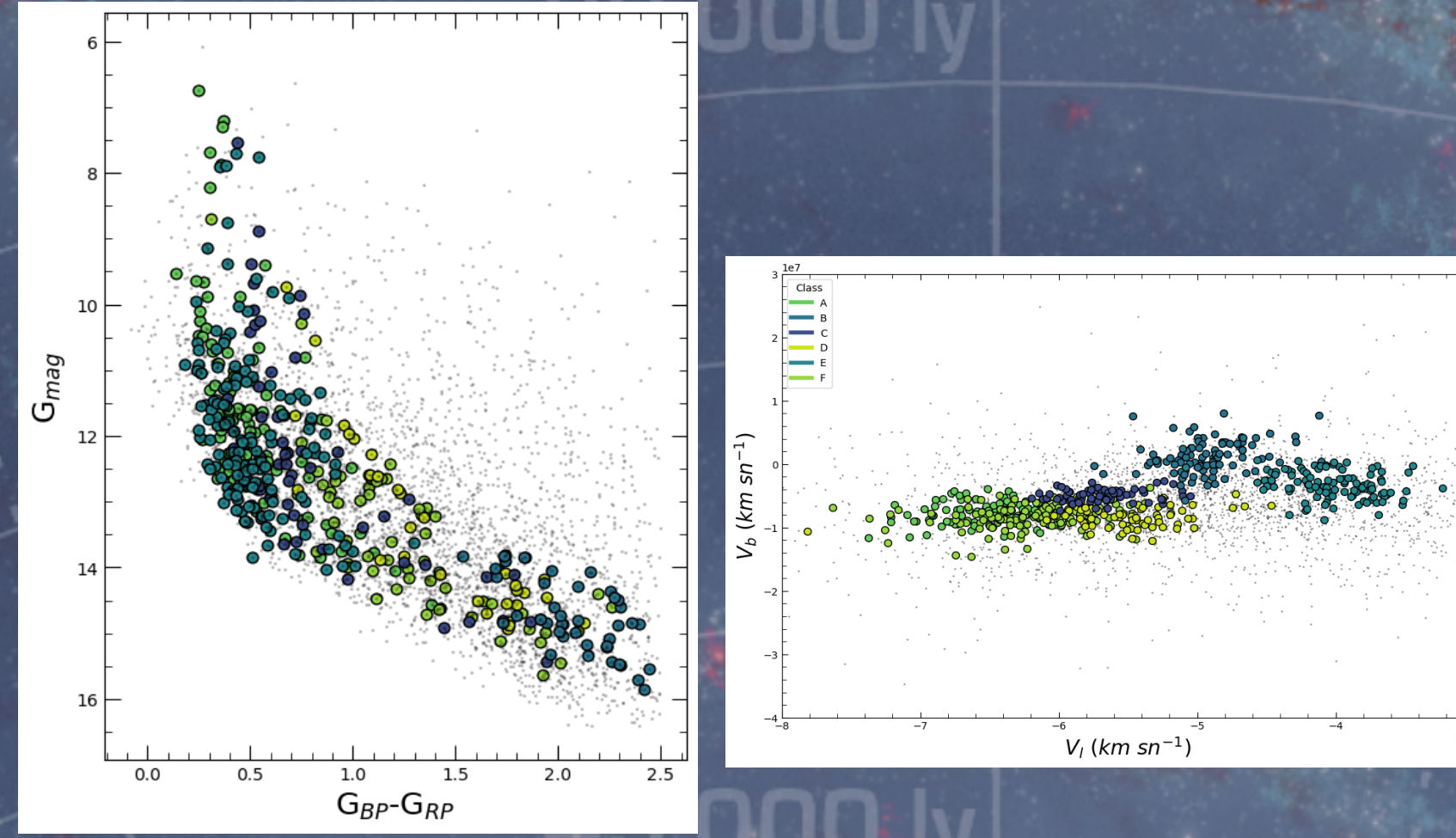
Şekil 3: Cygnus OB oymağı bölgesinden seçilen 10.754 yıldız için çizdirilen renk-parlaklık diyagramı ve bu yıldızların galaktik koordinatlardaki dağılımı.

Bu çalışmada, Gaia DR3 kataloğundan elde edilen veriler kullanılarak Cygnus OB oymağına ait 10.754 yıldızın kinematik ve uzaysal özellikleri incelenmiştir. Verilerdeki yıldızlar, V_l (galaktik boylam doğrultusundaki transvers hız), V_b (galaktik enlem doğrultusundaki transvers hız), X , Y ve Z koordinatları kullanılarak 5 boyutta analiz edilmiştir. Yıldızların bu parametreler doğrultusunda incelenmesi, onların galaktik yapı içindeki konumlarını ve hareketlerini anlamak açısından önemlidir.

Bu analizde, verilerin kümelenmesini ve alt grupların tespit edilmesini sağlamak amacıyla HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması kullanılmıştır. HDBSCAN, yoğunluk tabanlı bir kümeleme algoritması olup, verilerin doğal olarak yoğunlaşmış olduğu bölgeleri tespit eder ve bu bölgeleri küme-grup olarak tanımlar. Geleneksel kümeleme algoritmalarının aksine, HDBSCAN, kümelenemeyen veya gürültü olarak değerlendirilen verileri de ayırt edebilir. Bu sayede, yıldız popülasyonlarının doğal kütleçekimsel veya kinematik özelliklerine göre ayrışmasını sağlayarak, galaksinin yerel dinamik yapısının daha net bir şekilde anlaşılmasını mümkün kılar.

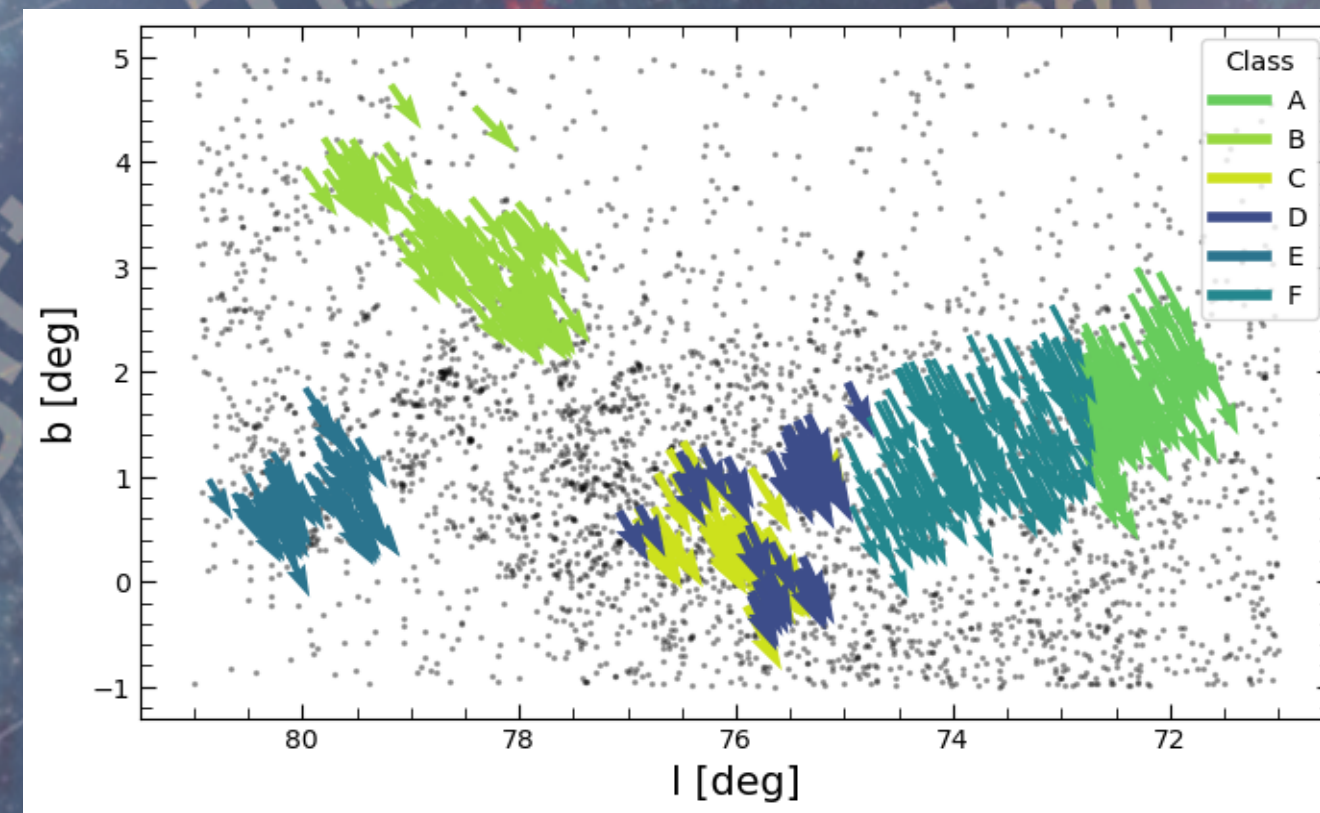
Bulgular

HDBSCAN algoritmasıyla gerçekleştirilen analiz sonucunda, Cygnus OB oymağında 6 alt-grup tespit edilmiştir. Bu alt-gruplar sırasıyla A (109 yıldız), B (96 yıldız), C (73 yıldız), D (65 yıldız), E (111 yıldız) ve F (145 yıldız) olarak etiketlenmiştir. Her bir alt-grup, kinematik özellikler ve uzaysal dağılımları açısından incelenmiş ve oymağın genel yapısı hakkında önemli bilgiler elde etmemize olanak sağlamıştır. HDBSCAN ile tespit edilen Cygnus OB oymağının alt-gruplarına ait renk-parlaklık diyagramı ve transvers hız dağılımı şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Cygnus OB oymağındaki alt-grupların renk-parlaklık diyagramını ve transvers hız bileşenleri (V_l ve V_b) arasındaki dağılım. Farklı renklerle gösterilen A, B, C, D, E ve F sınıfları, farklı yıldız alt-gruplarını temsil etmektedir. Küçük siyah noktalar ise bu alt-grupların dışında kalan yıldızları göstermektedir.

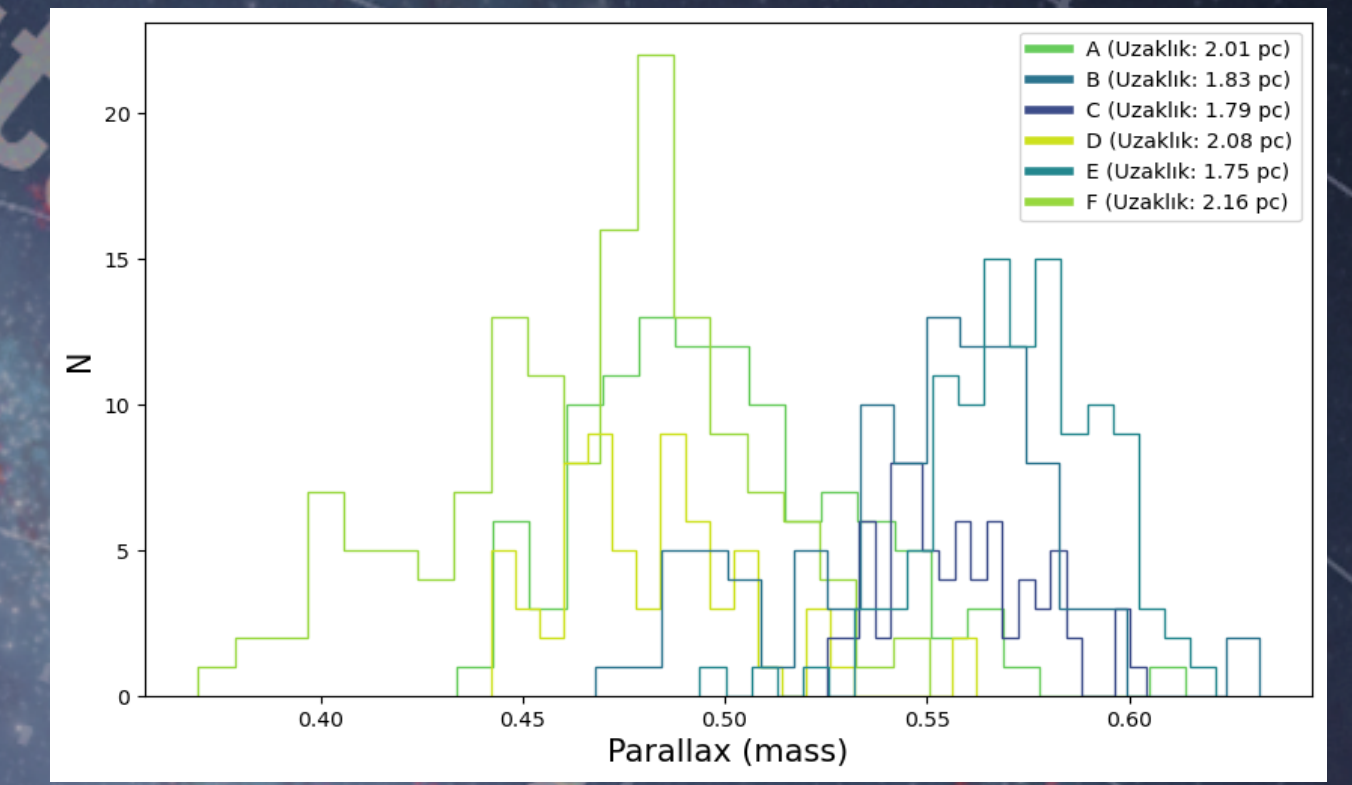
Şekil 2'e bakıldığında her bir alt-grubun kendi arasında hız grubuna sahip olduğu görülmektedir. Detaylı bir şekilde bakıldığında Cygnus OB oymağının alt-gruplarının transvers hızları arasında belirgin yayılma göstermektedir. Bu durum OB oymaklarındaki yıldızların farklı yönlerde hareket ettiklerini ve bu hareketlerin Galaktik yapı içerisindeki dinamik süreçlerin bir sonucu olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 3: Cygnus OB oymağının alt-gruplarının Galaktik boylam (l) ve Galaktik enlem (b) düzlemindeki dağılımı. Farklı renklerle gösterilen A, B, C, D, E ve F sınıfları, belirli OB yıldız gruplarını temsil ederken, siyah noktalar arka plandaki diğer yıldızları veya daha az belirgin olan yıldızları göstermektedir.

OB oymakları aynı gaz ve toz bulutundan oluştukları için, bu yıldız topluluklarının kütle çekimsel olarak birbirlerine bağlı olduklarından itibaren, beraber hareket etmesi gerektiği beklenmektedir. Bunun bir sonucu olarak da galaktik koordinat sisteminde, öz hareket vektörlerini incelediğimizde OB oymaklarının belirli bölgelerde yoğunlaştığını görmeyi mümkündür. Bu bakımdan, şekil 3'e baktığımızda her bir alt-grubun farklı enlemlerden itibaren aynı yöne doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu da belirlenen alt-grupların Cygnus OB oymağının bir yapısı olduğunu doğrular niteliktedir. Özellikle sınıfların l boylamı boyunca yatay bir dağılıma sahip olmaları, OB oymağının genişleme gibi kinematik sonuçlardan etkilendiğini düşündürmektedir.

OB oymakları, galaksimizdeki en genç ve en parlak yıldızların toplandığı bölgeler olarak bilinir. Bu yıldızlar, galaksinin yapısını ve evrimini anlamada önemli yol göstericilerdir. Ancak, bu oymakları doğru bir şekilde incelemek ve onların galaksindeki yerlerini belirlemek için paralaks ölçümleri hayati öneme sahiptir. Bu nedenle de, şimdiye kadar en hassas paralaks değerlerine sahip olmak, OB oymaklarının kökeni hakkında daha hassas inceleme yapmamızı sağlamaktadır. Şekil 4'e baktığımızda, belirlenen alt-grupların Gaia DR3 verisinden alınan paralaks değerlerini göstermektedir. Her bir alt-grubun paralaks değeri kendi arasında uyum gösterirken, Cygnus OB oymağı yapısı içinde incelendiğinde, alt-grupların gökyüzünde geniş bir aralıkta yoğunlaşmış olduğunu görmekteyiz. Alt-grupların uzaklıkları incelendiğinde en yakın grubun E grubu (1.75 pc) En uzak grubun ise F grubu (2.16 pc) olduğu görülmektedir. Bu durum, Cygnus OB oymağının geniş bir üç boyutlu yapıya sahip olduğunu ve alt grupların farklı derinliklerde yer aldığını işaret eder.



Şekil 4: Cygnus OB oymağının alt-gruplarının paralaks ve bu paralaksalara karşılık gelen uzaklık (pc) değerlerini gösteren histogram. Her alt grup (A, B, C, D, E, F) farklı bir renkle temsil edilmiştir.

Tartışma ve Sonuç

HDBSCAN Kümeleme algoritması kullanılarak, Cygnus OB oymağı içerisinde altı farklı alt-grup (A, B, C, D, E ve F) başarılı bir şekilde tanımlanmıştır. Alt-grupların paralaksları incelendiğinde, her bir alt grubun Samanyolu içerisinde farklı uzaklıklarda konumlandığı tespit edilmiştir. Örneğin, B ve C grupları daha yakın uzaklıklarda yoğunlaşırken, F grubu daha uzak bir konumda yer almaktadır. Bu dağılım, Cygnus OB oymağının üç boyutlu yapısının karmaşıklığını ve yıldız oluşum süreçlerinin farklı zaman ve ortamlarda gerçekleştiğini göstermektedir. Transvers hız bileşenleri (V_l ve V_b) analizlerine bakıldığında, her bir alt grubun kendine özgü kinematik davranışlara sahip olduğunu görülmüştür. Bazı gruplar benzer hız vektörlerine sahipken, diğerleri farklı yönlerde ve hızlarda hareket etmektedir. Bu kinematik farklılıklar, alt grupların oluşum tarihleri ve dinamik etkileşimleri hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Galaktik boylam (l) ve galaktik enlem (b) düzlemindeki ikinci grafik, Cygnus OB oymağının alt gruplarının gökyüzünde farklı konumlara yayıldığını ortaya koymaktadır. Özellikle, A ve F grupları galaktik düzlemin daha üst bölgelerinde yoğunlaşmışken, diğer gruplar galaktik düzleme daha yakın ve yatay olarak daha geniş bir dağılıma sahiptir. Bu dağılım, oymağın üç boyutlu yapısını ve yıldızların farklı alanlarda toplandığını göstermektedir. Elde edilen veriler, Cygnus OB oymağı içerisindeki alt grupların yapısal olarak birbirleriyle ilişkili olabileceğini, ancak farklı oluşum evrelerinden geçtiklerini göstermektedir. Yaş tahminleri ve yıldızların fiziksel özellikleri, bazı grupların daha genç veya daha yaşlı olabileceğini ve bu nedenle farklı evrimsel aşamalarda olduklarını işaret etmektedir. Gelecekteki çalışmalar, spektroskopik veriler ve daha hassas astrometrik ölçümler kullanılarak alt grupların kimyasal bileşimleri ve daha detaylı kinematik özellikleri üzerine odaklanarak, Cygnus OB oymağının oluşum ve evrim sürecini daha derinlemesine anlamamızı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Lada, C. J., & Lada, E. A., 2003, Embedded clusters in molecular clouds. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 41(1), 57-115. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.41.011802.094844>.
- [2] L. McInnes, J. Healy, ve S. Astels, 2017, hdbSCAN: Hierarchical density based clustering, Journal of Open Source Software, 2(11), 205. <https://doi.org/10.21105/joss.00205>.
- [3] Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, ve diğ., 2021, Gaia Early Data Release 3: Summary of the contents and survey properties, Astronomy & Astrophysics, 649, A1. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039657>.