Gaia DR3 Kataloğundan Seçilen Beyaz Cüce Yıldızlar ile LSR Hesaplaması

Özcan Çalışkan¹ , Selçuk Bilir²

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, İstanbul 34116, Türkiye
 ¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34119, Türkiye

Accepted: February 23, 2025. Revised: February 23, 2025. Received: December 8, 2024.

Özet

Bu çalışmada, *Gaia* uydusunun üçüncü veri sürüm (*Gaia* DR3) kataloğunda Güneş'ten 500 pc'lik bir uzay hacmi içinde bulunan beyaz cücelerden itibaren yerel durağanlık standardı (LSR) tayin edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 184,712 beyaz cüce, oluşturulan $M_{\rm G} \times (G_{\rm BP} - G_{\rm BP})$ renk-parlaklık diyagramı üzerinden seçilmiştir. Seçilen beyaz cücelerin uzay hız bileşenlerinin hesaplanabilmesi için yıldızlara ait astrometrik veriler ($\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\alpha}, \varpi$) *Gaia* DR3 kataloğundan sağlanmıştır. Beyaz cüce tayflarından radyal hız ölçümleri zor hesaplandığından özel bir kinematik yaklaşım kullanılarak örnekteki beyaz cücelerin ortalama uzay hızları ve hız dispersiyonları $10 < M_{\rm G}$ (kadir) ≤ 15.5 aralığındaki yıldızlar için birim aralıklar dikkate alınarak tayin edilmiştir. Kinematik analizler sonucunda 184,712 beyaz cücenin astrometrik verileri kullanılarak LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot} = (10.03 \pm 1.04, 6.05 \pm 1.07, 6.40 \pm 1.03)$ km s⁻¹ olarak tayin edilmiştir. Geniş bir mutlak parlaklık aralığı için yapılan analizlerde uzay hız dispersiyonlarının parlak mutlak kadirlerden ($M_{\rm G}=10$) sönük mutlak kadirlere ($M_{\rm G}=15.5$) doğru arttığı tespit edilmiştir. Böylece Gaia uydusunun sağlamış olduğu yüksek astrometrik hassasiyet ile literatürde ilk kez bu kadar büyük bir beyaz cüce örneğinden LSR tayini gerçekleştirilmiştir.

Abstract

In this study, the local standard of rest (LSR) was determined from the white dwarfs located within a space volume of 500 pc from the Sun by third data release (*Gaia* DR3) catalogue of the *Gaia* satellite. For this purpose, 184,712 white dwarfs were selected from the generated $M_{\rm G} \times (G_{\rm BP} - G_{\rm BP})$ colour-magnitude diagram. to calculate the space velocity components of the selected white dwarfs, astrometric data ($\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\alpha}, \varpi$) of the stars were provided from *Gaia* DR3 catalogue. Since radial velocity measurements from white dwarf spectra are difficult to calculate, a special kinematic approach was used to determine the mean space velocities and velocity dispersions of the white dwarfs in the sample by taking into account unit intervals for stars in the magnitude range of $10 < M_{\rm G}({\rm mag}) \le 15.5$. As a result of the kinematic analyses, the LSR values were determined as $(U, V, W)_{\odot} = (10.03 \pm 1.04, 6.05 \pm 1.07, 6.40 \pm 1.03)$ km s⁻¹ using the astrometric data of 184,712 white dwarfs. analyses performed for a wide absolute magnitude range determined that the space velocity dispersions increase from bright absolute magnitudes ($M_{\rm G}=10$) to faint absolute magnitudes ($M_{\rm G}=15.5$). Thus, with the high astrometric precision provided by the *Gaia* satellite, LSR determination was performed for the first time in the literature from such a large white dwarf sample.

Anahtar Kelimeler: Galaxy: Solar Neighbourhood — LSR Determination — Stars: White Dwarfs

1 Giriş

Beyaz cüceler, orta ve küçük kütleli yıldız evriminin son aşamalarından birini temsil eder ve Samanyolu'ndaki tüm yıldızların %97'sinden fazlasının yaşam döngüsünün son noktasıdır (Kleinman ve diğ. 2013). Kütlesi 8-10 M_☉'den daha küçük olan yıldızlar, yaşam döngülerinin sonunda genellikle karbon, oksijen ve neon içeren çekirdeklerini geride bırakarak beyaz cüceye dönüşür. Bu nesneler, Galaksi'deki en yaygın yıldız kalıntıları olup, yerel yıldız popülasyonunun yaklaşık %5-7'sini oluşturur (Tremblay ve diğ. 2024).

Gaia uydusunun hassas astrometrik ölçümleri sayesinde (Gaia Collaboration ve diğ. 2016) 350,000'den fazla beyaz cüce adayı literatüre önerilmiştir. Güneş civarındaki beyaz cüceler yaygın olmalarına rağmen, sönük mutlak parlaklıklarda bulundukları için tayfsal gözlemleri yeteri kadar hassas yapılamamaktadır. Dünya boyutlarında olan beyaz cüceler, aynı etkin sıcaklıktaki anakol ve evrimleşmiş yıldızlara göre çok daha düşük ışıma gücüne sahiptirler. Boyutları

© 2025 Turkish Astronomical Society (TAD)

küçük olmasına rağmen, beyaz cücelerin kütleleri Güneş kütlesi civarındadır. Beyaz cücelerin bu fiziksel özelliklerinden dolayı yoğunlukları Dünya'nın merkez yoğunluğunun yaklaşık 100,000 katına ulaşabilir (Blouin 2024). Beyaz cücelerin yüzey sıcaklıkları göreceli olarak yüksek, yarıçaplarının da kücük olması ısıma güclerinin düsük olmasına; bu nedenle mutlak parlaklıklarının da sönük hesaplanmasına neden olur. Gaia uydusundan sağlanan fotometrik ve astrometrik ölçümler sonucunda Güneş civarındaki beyaz cücelerin mutlak parlaklıklarının $10 < M_G(kadir) < 16$ aralığında bulunduğu tespit edilmiştir (Gaia Collaboration ve diğ. 2021). Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında beyaz cüce bölgesine ulaşan yıldız çekirdekleri yavaş bir soğuma süreci geçirerek zaman ile bir kara cüceye dönüşürler. Bu özelliklerinden dolayı literatürde yıldız popülasyonlarının tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır (Tremblay ve diğ. 2024).

Gaia çağı öncesinde Güneş civarında (d<50 pc) yaklaşık 500 beyaz cüce tespit edilmiştir (Limoges ve diğ. 2015; Holberg ve diğ. 2016). Ayrıca, Sloan Sayısal Gökyüzü Tarama (SDSS,

> 23. Ulusal Astronomi Kongresi – **UAK 2024** 2-6 Eylül 2024, İstanbul, İstanbul Üniversitesi



Şekil 1. Gaia DR3 kataloğundan seçilen yaklaşık 13.9 milyon yıldızın Schlafly & Finkbeiner (2011)'nin toz haritalarından belirlenen V bandı sönükleşmeleri (üst panel) ve Güneş-yıldız uzaklığına indirgenmiş sönükleşme değerleri (alt panel).

York ve diğ. 2000) programı kapsamından yürütülen tayfsal gözlemler sayesinde Güneş civarının çok ötesinde yaklaşık birkaç bin beyaz cüce daha keşfedilmiştir (York ve diğ. 2000; Kepler ve diğ. 2019). *Gaia* farklı gözlem dönemlerindeki verilerinin indirgenmesi sonucunda, beyaz cüce adaylarının sayısında önemli bir artış sağlamıştır. Örneğin *Gaia* DR2 (Gaia Collaboration ve diğ. 2018) ile *Gaia* DR3 (Gaia Collaboration ve diğ. 2023) veritabanlarında tespit edilen beyaz cücelerin sayısında bile %38'lik bir artış olmuştur. Bununla birlikte, *Gaia* DR3 kataloğunda tespit edilmiş beyaz cücelerin yaklaşık %10'unun orta çözünürlüklü tayfsal gözlemleri yapılabilmiştir (Gentile Fusillo ve diğ. 2021).

Bu çalışma kapsamında, Gaia DR3 (Gaia Collaboration ve diğ. 2023) kataloğundan seçilen beyaz cüce yıldızlar kullanılarak Güneş civarındaki kinematik yapı araştırılmıştır. Bu bağlamda bir kinematik yaklaşım yöntemi kullanılarak seçilen beyaz cücelerin toplam uzay hız dispersiyonlarının karesine (S^2) karşılık gelen uzay hız bileşenlerinden (U, V, W) LSR değerleri tayin edilmiştir. Ayrıca farklı mutlak parlaklıkta bulunan beyaz cücelerin uzay hız dispersiyonları

2 Veri

Çalışmada, Gaia DR3 kataloğunda Güneş merkezli 500 pc'lik bir uzay hacmi içinde bulunan beyaz cücelerin astrometrik verileri kullanılarak LSR tayini hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle Gaia DR3 kataloğundan aşağıda verilen SQL kodu yardımıyla yıldızlar seçilmiştir:

SELECT *
FROM gaiadr3.gaia_source
WHERE parallax_over_error > 10.0
AND astrometric_n_good_obs_al > 5

AND visibility_periods_used > 8 AND RUWE <= 1.4 AND 1000.0/parallax < 500

Hazırlanan SQL kod yardımıyla, Gaia DR3 kataloğundan, Güneş'ten itibaren 500 pc yarıçap içinde rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.1$, en az sekiz kere gözlemi yapılmış, astrometrik olarak en az beş kez doğrulanmış, RUWE (Renormalized Unit Weight Error) değeri 1.4'ten küçük ve yıldız olarak sınıflanan kaynakların seçilmesini sağlamıştır. RUWE parametresi Gaia uydu gözlemleriyle hesaplanan konum ve öz hareket ölçümlerinin tutarlılığı ve dolayısıyla verilerin güvenilirliğini değerlendiren bir parametredir (Lindegren ve diğ. 2021). Gaia DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalar sonucunda yaklaşık 13.9 milyon yıldıza ulaşılmıştır.

3 Analizler

3.1 Beyaz Cüce Yıldızların Seçimi

Oluşturulan yıldız örneği içinde beyaz cüceleri seçebilmek için $M_{\rm G} \times (G_{\rm BP} - G_{\rm BP})$ renk-parlaklık diyagramı (CMD) kullanılmıştır. parlaklıkları Yıldızların M_{G} mutlak $M_{\rm G}=G-5 \times \log(1000/\varpi) + A_{\rm G}$ uzaklık bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Bağıntıdan da görülebileceği gibi örnekteki her bir yıldızın G bandındaki AG sönükleşmelerinin bilinmesi gerekmektedir. Beyaz cücelerin G bandındaki sönükleşmelerinin hesaplanması için de Schlafly & Finkbeiner (2011)'nin toz haritası kullanılmıştır (Şekil 1). Toz haritasından elde edilen sönükleşme değerleri, Samanyolu'nun sınırlarına kadar etkili olduğundan, bu sönükleşme değerlerin Güneş ile yıldız arasındaki mesafeye göre indirgenmesi gerekmektedir. Bu analiz, aşağıda Bahcall & Soneira (1980) tarafından verilen bağıntıyla gerçekleştirilmiştir.

$$A_{\mathsf{d}}(V) = A_{\infty}(V) \times \left[1 - \exp\left(\frac{-|d \times \sin b|}{H}\right)\right]$$
(1)

Burada $A_{\infty}(V)$, Galaksi sınırına kadar ölçülen sönükleşme değerlerini, b yıldızın Galaktik enlemini, H tozun yükseklik ölçeğini göstermekte olup, çalışmada H=125 pc değeri kabul edilmiştir (Marshall ve diğ. 2006). Güneş ile yıldızlar arasındaki uzaklıklara indirgenen V bandı sönükleşme değerleri Şekil 1'in alt panelinde gösterilmiştir. Yıldızların G, $G_{\rm BP}$, $G_{\rm BP}$ filtrelerindeki sönükleşme etkisini arındırabilmek üzere Cardelli ve diğ. (1989)'nin selektif absorpsiyon katsayıları ($R_{\lambda}=A_{\lambda}/A_{\rm V}$) kullanılmıştır. Gaia filtrelerinin sönükleşmeden arındırılmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$G_{0} = G - A_{G} = G - 0.83627 \times A_{d}(V)$$
(2)

$$(G_{BP})_{0} = G_{BP} - A_{G_{BP}} = G_{BP} - 1.08337 \times A_{d}(V)$$
(G_{RP})_{0} = G_{RP} - A_{G_{RP}} = G_{RP} - 0.63439 \times A_{d}(V)

Oluşturulan yıldız örneğinden beyaz cüceleri seçebilmek için Şekil 2'de gösterilen $M_{\rm G} \times (G_{\rm BP} - G_{\rm BP})$ CMD yıldız sayı yoğunluklarına göre oluşturulmuştur. CMD üzerinde anakol, kırmızı dev kolu yıldızları ve beyaz cüceler, sayı yoğunlukları sayesinde kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Yıldız örneğindeki beyaz cüceleri seçebilmek için CMD üzerine kesikli çizgiyle gösterilen ayrım sınırı işaretlenmiş ve 204,127 beyaz cüce adayına ulaşılmıştır. Geniş bir mutlak parlaklık aralığına yayılan beyaz cüceler, CMD üzerindeki yoğunluklarına göre bir sınırlama daha getirilmiş ve mutlak parlaklıkları



Şekil 2. Gaia DR3 kataloğundan seçilen yaklaşık 13.9 milyon yıldızın renk-parlaklık diyagramı. Kesikli çizgi beyaz cüce ayrımını göstermektedir. Şekil üzerindeki renkler yıldız sayı yoğunluklarını ifade etmektedir.

 $10{<}M_{\rm G}({\rm kadir}){\leq}15.5$ aralığında bulunan 184,712 beyaz cüce adayı belirlenmiştir.

3.2 Beyaz Cüce Yıldızlarından LSR Hesabı

Güneş civarındaki yıldızlardan LSR tayininde genellikle erken tayf türündeki anakol yıldızları kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise göreceli olarak Güneş'e yakın beyaz cüce yıldızları dikkate alınarak LSR tayini gerçekleştirilmiştir. Beyaz cücelerin yüzey çekim ivmelerinin çok büyük ve mutlak parlaklıklarının da çok sönük olmalarından dolayı radyal hız ölçümleri kolaylıkla yapılmaktadır. Çalışmada, beyaz cücelerin radyal hız ölçümleri yapılamadığı için, tek tek yıldızların üç boyutlu uzay hareketlerini tam olarak hesaplamak imkansızdır. Dehnen & Binney (1998) tarafından geliştirilen bir yöntem ile beyaz cücelerin üç boyutlu hız dağılımlarına dair genel bilgiler elde edilebilir. Dehnen & Binney (1998)'in yaklaşımdaki ilk adım, yıldızların öz hareket ölçümlerinin diferansiyel dönme düzeltmelerinin yapılmasına yöneliktir. Bunun için Dehnen & Binney (1998)'in önerdiği aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.

$$\mu_{\ell} = \mu_{\ell}^{(\text{obs})} - A\cos(2\ell) - B,$$

$$\mu_{b} = \mu_{\ell}^{(\text{obs})} + A\sin(2\ell)\cos b\sin b.$$
(3)

Bağıntılarda verilen Oort sabitleri için $A=15.3\pm0.4$ ve $B=-11.9\pm0.4$ km s⁻¹ kpc⁻¹ değerleri Bovy (2017)'den alınmıştır. Bu aşamadan sonra yıldızların trigonometrik paralaksları (ϖ) ve öz hareketleri (μ) kullanılarak teğetsel hızları ($V_{\rm T}$) hesaplanmıştır:

$$V_{\rm T} = 4.74 \times \mu \times \frac{1000}{\varpi}.$$
 (4)

Hesaplanan teğetsel hız, yıldızların üç boyutlu uzay hareketi $(V_{\rm T})$ ile ilişkilidir. Bu ilişki, bir projeksiyon matrisi (A)aracılığıyla ifade edilir. Burada A, yıldızın yönünü belirten birim vektör (\hat{r}) kullanılarak ${\bf I}-\hat{\bf r}\otimes\hat{\bf r}$ bağıntısıyla tanımlanır. Bağıntıdaki \otimes dış çarpımı ifade eder. Ancak bu bağıntı, projeksiyon matrisinin tekil olması nedeniyle doğrudan tersine çevrilemez. Bu nedenle, uzay hız bileşenleri doğrudan hesaplanamaz. Ancak, tüm gökyüzüne yayılmış çok sayıda yıldızın verileri bir araya getirildiğinde, ortalama matris ($\langle {\bf A} \rangle$) tekil olmaktan çıkar. Bu durumda bağıntı ters çevrilebilir ve bu yöntem ile, incelenen yıldız grubunun Güneş'e göre ortalama hızı $({\bf v})$ hesaplanabilir.

Bu çalışmada Dehnen & Binney (1998) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak yıldızların U, V, W uzay hız bileşenleri hesaplanmıştır. Dehnen & Binney (1998)'in geliştirdiği yöntem, mutlak parlaklıkları $10 < M_{\rm G}({\rm kadir}) < 15.5$ aralığındaki 184,712 beyaz cüce uygulanmıştır. Beyaz cüceler mutlak parlaklık adımları 0.125 kadir olacak şekilde 44 alt gruba ayrılarak her bir gruptaki yıldızların ortalama uzay hızları ve uzay hız dispersiyonları hesaplanmıştır (Çizelge 1). Yıldızların U uzay hız bileşeni Galaksi merkezine, V uzay hız bileşeni Galaksi merkezine, V uzay hız bileşeni de kuzey Galaktik kutup noktasına doğru ölçülmektedir.

LSR hesaplamasındaki klasik yaklaşım sistemdeki yıldızların ortalama hızının sıfır olmasına dayalıdır. Bu yaklaşım, bir grup yıldızın hız dispersiyonu S^2 ile dönmeden kaynaklı geri kalma hızı arasındaki doğrusal ilişkiyi kullanır; bu ilişki ilk olarak Strömberg (1946) tarafından deneysel olarak tanımlanmıştır. Asimetrik sürüklenme bağıntısının modern teorik çerçevesi ise Binney & Tremaine (2008) tarafından verilmiştir. Pratikte, bu işlem, ortalama hızın $S^2=0$ 'a ekstrapolasyonuyla gerçekleştirilir ve bu yöntem sıfır hız dağılımına sahip teorik bir yıldız popülasyonuna göre Güneş hareketinin hesaplanmasını sağlar. Bu tür bir popülasyon, kapalı ve dairesel yörüngelerde hareket eden, yeni oluşmuş yıldızları temsil eder ve bu yıldızların hareketi, Güneş çevresindeki LSR'yi tanımlar.

Klasik LSR tayininde kullanılan yönteme göre farklı mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan uzay hız bileşenleri (U, V, ve W) ile bu bileşenlerin toplam uzay hız dispersiyonları (S^2) arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için Şekil 3'deki diyagramlar oluşturulmuştur. Ardından veriye doğrusal bir bağıntı geçirilerek, fit $S^2=0$ değerine ekstrapolasyon yapılmıştır. Böylece büyük bir beyaz cüce örneğinden itibaren LSR $(U, V, W)_{\odot}=(10.03\pm1.04, 6.05\pm1.07, 6.40\pm1.03)$ km s⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'deki panellerden de görülebileceği gibi U ve W uzay hız bileşenleri için bir korelasyon yokken, V uzay hız bileşeni için belirgin bir eğim vardır.

Çizelge 1. Çalışmadaki 184,712 yıldızın $\Delta M_{\rm G}$ =0.125 mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan Güneş'e göre ortalama uzay hızları ve hız dispersiyonları.

| $\langle M_{G} \rangle$ | Ν | Ortalama Hız (km s $^{-1}$) | | | Hız Dispersiyonu (km 2 s $^{-2}$) | | | | | |
|-------------------------|------|------------------------------|-------------|---------|---------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| (kadir) | | $V_{\sf U}$ | $V_{\sf V}$ | V_{W} | Σ_{UU} | $\Sigma_{\rm VV}$ | Σ_{WW} | $\Sigma_{\rm UV}$ | $\Sigma_{\sf UW}$ | $\Sigma_{\sf VW}$ |
| 10.063 | 466 | -9.23 | -22.36 | -7.35 | 1541.49 | 947.08 | 312.72 | 260.50 | -99.81 | -242.06 |
| 10.188 | 661 | -10.62 | -24.31 | -6.51 | 1394.14 | 663.56 | 374.85 | 319.42 | 33.37 | -35.95 |
| 10.313 | 912 | -10.66 | -23.37 | -7.50 | 1358.47 | 719.77 | 402.68 | 216.30 | 12.14 | 97.56 |
| 10.438 | 1278 | -10.12 | -21.87 | -7.21 | 1467.70 | 619.85 | 428.00 | 205.82 | -127.94 | 45.77 |
| 10.563 | 1756 | -9.04 | -22.26 | -8.09 | 1428.92 | 674.82 | 337.30 | 278.33 | 116.20 | 55.79 |
| 10.688 | 2437 | -10.04 | -22.72 | -8.24 | 1401.63 | 595.70 | 344.38 | 261.61 | 72.65 | 63.98 |
| 10.813 | 3235 | -9.25 | -20.47 | -6.83 | 1372.90 | 644.84 | 370.51 | 268.76 | -91.71 | 106.17 |
| 10.938 | 4056 | -10.60 | -22.92 | -8.65 | 1380.38 | 642.06 | 378.21 | 238.46 | -13.01 | 13.87 |
| 11.063 | 5042 | -9.86 | -20.96 | -8.50 | 1348.46 | 605.32 | 357.27 | 244.82 | 30.30 | 64.72 |
| 11.188 | 5901 | -9.95 | -21.37 | -7.18 | 1338.27 | 641.98 | 337.89 | 295.77 | 60.63 | 8.42 |
| 11.313 | 6626 | -9.83 | -21.58 | -7.84 | 1354.16 | 618.87 | 332.27 | 186.60 | 22.79 | 13.27 |
| 11.438 | 7202 | -9.66 | -21.00 | -8.13 | 1284.96 | 632.86 | 316.53 | 194.90 | 41.48 | 16.34 |
| 11.563 | 7633 | -10.06 | -21.45 | -7.66 | 1303.36 | 590.77 | 325.15 | 278.31 | 10.06 | -15.65 |
| 11.688 | 7943 | -10.05 | -20.75 | -7.07 | 1259.91 | 609.06 | 347.07 | 191.65 | 13.65 | 31.10 |
| 11.813 | 7927 | -8.90 | -20.29 | -7.12 | 1264.00 | 557.88 | 334.21 | 320.96 | 11.06 | -11.84 |
| 11.938 | 7825 | -9.44 | -20.03 | -7.03 | 1193.01 | 561.34 | 303.11 | 255.82 | 33.84 | 22.51 |
| 12.063 | 7263 | -9.09 | -19.78 | -7.41 | 1208.02 | 530.41 | 281.73 | 213.48 | 36.21 | -27.73 |
| 12.188 | 7199 | -9.78 | -19.78 | -7.13 | 1236.97 | 5/5.58 | 289.30 | 299.60 | 32.10 | 28.39 |
| 12.313 | 6861 | -9.35 | -20.51 | -7.80 | 1169.29 | 584.82 | 322.30 | 214.01 | 11.78 | 47.49 |
| 12.438 | 6406 | -8.84 | -20.11 | -7.31 | 1187.22 | 535.00 | 313.42 | 284.98 | 28.42 | 35.95 |
| 12.503 | 6490 | -9.08 | -20.11 | -7.29 | 1109.29 | 548.04 | 298.43 | 201.55 | 21.09 | 03.04 |
| 12.000 | 6000 | -9.91 | -20.40 | -0.92 | 1237.58 | 5/0.00 601.17 | 293.72 | 248.02 142 E4 | 45.50 | 4.59 |
| 12.013 | 5016 | -9.41 | -20.90 | -7.41 | 1245.00 | 001.17 | 217.03 | 145.54 | -39.03 | -10.15 |
| 12.950 | 5910 | -0.04 | -20.57 | -7.00 | 1240.34 | 555.07 | 224.22 | 200.42 | 2.00 | 25.40 25.72 |
| 12 100 | 5044 | -1.10 | -21.09 | -0.90 | 1203.30 | 555.55 | 201 27 | 200.24 | 95.00 | 10.67 |
| 13,100 | 5515 | -0.40 | -21.55 | -7.01 | 1294.01 | 535.65 | 328.85 | 203.70 | 0.34 | 19.07 63.40 |
| 13.313 | 1877 | -0.30 | -20.22 | -7.60 | 1250.42 | 502.66 | 358 16 | 213.01 | -9.54 | 5.63 |
| 13 563 | 4077 | -0.04 | -22.25 | -7.77 | 1362 /1 | 503.87 | 371 60 | 271.00 | 1.30 | 53 77 |
| 13.505 | 4568 | -9.00 | -22.30 | -7.44 | 1475 46 | 635.48 | 355 56 | 258.80 | -53 00 | 54 95 |
| 13 813 | 4476 | -9.23 | -23.81 | -7 50 | 1412 25 | 622.97 | 373 70 | 313 48 | -22.96 | 74 27 |
| 13 938 | 4179 | -8 91 | -24.34 | -7.81 | 1515 82 | 614 01 | 382.87 | 342 78 | 8 14 | 63 95 |
| 14 063 | 3917 | -9.09 | -23 97 | -7 73 | 1519 58 | 686 97 | 380.96 | 318 31 | 72 95 | 49 22 |
| 14 188 | 3305 | -9.69 | -24 77 | -7.63 | 1557 18 | 643 12 | 470.00 | 310 40 | 51 20 | 53 52 |
| 14.313 | 2813 | -8.92 | -23.88 | -7.25 | 1693.38 | 698.54 | 406.56 | 213.81 | -32.48 | 31.56 |
| 14.438 | 2397 | -8.09 | -26.31 | -6.77 | 1735.61 | 727.82 | 489.01 | 307.86 | 51.55 | 65.07 |
| 14.563 | 2137 | -9.77 | -25.65 | -8.12 | 1768.37 | 704.13 | 449.50 | 233.71 | -47.90 | 21.21 |
| 14.688 | 1977 | -7.28 | -26.90 | -7.46 | 1837.11 | 757.72 | 542.03 | 253.24 | -9.84 | 35.72 |
| 14.813 | 1737 | -7.86 | -28.92 | -7.79 | 1913.28 | 767.09 | 565.96 | 442.28 | -105.98 | 80.20 |
| 14.938 | 1361 | -9.56 | -30.34 | -7.32 | 2069.86 | 811.74 | 675.00 | 455.06 | -46.43 | 287.24 |
| 15.063 | 1055 | -10.36 | -30.18 | -5.77 | 2143.14 | 917.35 | 726.41 | 174.08 | -10.54 | 196.17 |
| 15.188 | 659 | -10.21 | -35.09 | -4.84 | 2579.53 | 840.78 | 842.45 | 78.37 | 75.65 | 50.12 |
| 15.313 | 406 | -14.57 | -38.27 | -2.05 | 2705.78 | 1050.50 | 927.81 | 88.78 | 327.50 | -14.43 |
| 15.438 | 261 | -9.89 | -41.00 | -5.72 | 2478.14 | 1202.54 | 1109.17 | 86.00 | 195.21 | 212.90 |

Çalışmada farklı G mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan U, V ve W uzay hız bileşenlerinin hız dispersiyonlarıyla değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi U ve W uzay hız bileşenlerinin mutlak parlaklık ile bir değişim göstermediği, ancak V uzay hız bileşeninin $M_{\rm G}{=}13$ kadirden daha sönük mutlak parlaklıklara gidildikçe belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bu durum toplam uzay hız bileşeni için de geçerlidir. Sönük mutlak parlaklıklarda görülen belirgin hız artışının nedeni farklı yaşlardaki beyaz cücelerin grup içinde bulunmasıdır. Bu da oluşturulan yıldız örneği içinde ince disk popülasyonu dışında kalın disk ve halo popülasyonuna üye beyaz cücelerin bulunduğunu göstermektedir.

4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Gaia DR3 kataloğundan (Gaia Collaboration ve diğ. 2023) seçilen beyaz cüce yıldız kullanılarak Güneş civarındaki kinematik yapı araştırılmıştır. Yıldızların seçiminde Gaia DR3 veritabanına getirilen bazı kısıtlamalar (başlıca d \leq 500 pc, RUWE \leq 1.4, $\sigma_{\varpi}/\varpi>$ 10) ile yaklaşık 13.9 milyon yıldıza ulaşılmıştır. Yıldızların Gaia bandlarındaki (G, G_{BP}, G_{BP}) sönükleşme etkisi Cardelli ve diğ. (1989)'in bağıntıları kullanılarak yıldızlararası sönükleşme etkisinden arındırılmıştır. Ardından oluşturulan $M_{\rm G} \times (G_{\rm BP} - G_{\rm BP})$ CMD yardımıyla mutlak parlaklıkları 10< $M_{\rm G}$ (kadir) \leq 15.5 arasında bulunan 184,172 beyaz cüce adayı seçilmiştir.

Kinematik analizlerde, Dehnen & Binney (1998) tarafından literatüre kazandırılan yöntem kullanılarak, geniş bir mutlak



Şekil 3. Güneş civarından seçilen beyaz cücelerin toplam uzay hız dispersiyonlarının kareleri ve uzay hız bileşenlerini için oluşturulan hız-hız diyagramları. Şekildeki doğrusal kalın çizgi verilere uygulanan doğrusal fitleri, ince çizgiler ise 1σ içindeki tahmin sınırlarını göstermektedir.

parlaklık aralığında ($10 < M_G(kadir) \le 15.5$) bulunan beyaz cüce örneği incelenmiştir. Bu örnek, 0.125 kadirlik adımlarla 44 alt gruba ayrılmış ve her bir gruptaki yıldızların ortalama uzay hızları ile uzay hız dispersiyonları hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 1). Gerçekleştirilen analizler sonucunda, LSR değeri $(U, V, W)_{\odot} = (10.03 \pm 1.04, 6.05 \pm 1.07, 6.40 \pm 1.03)$ km s⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu değer, *Gaia* DR2 kataloğunda d=250 pc'lik bir uzay hacmi içinde seçilen 78,511 beyaz cüce kullanılarak elde edilen $(U, V, W)_{\odot} = (9.5 \pm 1.2, 7.5 \pm 1.2, 8.2 \pm 1.2)$ km s⁻¹ LSR değerine oldukça yakındır (Rowell & Kilic 2019). Her iki çalışmada da aynı yöntem kullanılmış olmasına rağmen, son çalışmada bir öncekine göre iki katından daha fazla beyaz cücenin değerlendirilmesi, istatistiksel olarak daha doğru ve hassas sonuçların elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca bu çalışmada hesaplanan LSR değeri, son zamanlarda



Şekil 4. Beyaz cücelere göre ortalama Güneş hareketinin U, V ve W uzay hız bileşenleriyle skaler hız dağılımı (S). Diyagramda, V bileşeni ve S arasındaki eğilim, yıldızların büyüklüğüyle yaşları arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan asimetrik sürüklenme etkisini yansıtmaktadır.

Gaia uydu verileri kullanılarak farklı nesnelerden hesaplanan LSR değerleriyle de oldukça uyumludur (başlıca, Bobylev & Bajkova 2019; Ding ve diğ. 2019; Bobylev ve diğ. 2021).

Teşekkür

Bu çalışma Özcan Çalışkan'ın doktora tez çalışmasının bir bölümününden üretilmiştir. TÜBİTAK Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı (2211-A) ve TÜBİTAK Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı (2214-A) ile desteklenmiştir. 2214-A programı boyunca 1 yıl süre ile ABD'nin Oklahoma eyaletinde bulunan Oklhoma Üniversitesi (The University of Ohlahoma) Fizik ve Astronomi bölümünde gözlemsel ve astrofiziksel çalışmalara katılım sağlanmıştır.

Kaynaklar

- Bahcall J. N., Soneira R. M., 1980, ApJS, 44, 73
- Binney J., Tremaine S., 2008, Galactic Dynamics: Second Edition. Princeton University Press
- Blouin S., 2024, preprint, (arXiv:2409.03941)
- Bobylev V. V., Bajkova A. T., 2019, Astronomy Letters, 45, 109
- Bobylev V. V., Bajkova A. T., Rastorguev A. S., Zabolotskikh M. V., 2021, MNRAS, 502, 4377
- Bovy J., 2017, MNRAS, 468, L63
- Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, ApJ, 345, 245
- Dehnen W., Binney J. J., 1998, MNRAS, 298, 387
- Ding P. J., Zhu Z., Liu J. C., 2019, AJ, 158, 247
- Gaia Collaboration ve diğ., 2016, A&A, 595, A1
- Gaia Collaboration ve diğ., 2018, Astronomy and Astrophysics, 616, A1
- Gaia Collaboration ve diğ., 2021, A&A, 649, A6
- Gaia Collaboration ve diğ., 2023, A&A, 674, A1
- Gentile Fusillo N. P., ve diğ., 2021, MNRAS, 508, 3877
- Holberg J. B., Oswalt T. D., Sion E. M., McCook G. P., 2016, MNRAS, 462, 2295
- Kepler S. O., ve diğ., 2019, MNRAS, 486, 2169
- Kleinman S. J., ve diğ., 2013, ApJS, 204, 5
- Limoges M. M., Bergeron P., Lépine S., 2015, ApJS, 219, 19
- Lindegren L., ve diğ., 2021, A&A, 649, A4
- Marshall D. J., Robin A. C., Reylé C., Schultheis M., Picaud S., 2006, A&A, 453, 635
- Rowell N., Kilic M., 2019, MNRAS, 484, 3544

- Schlafly E. F., Finkbeiner D. P., 2011, ApJ, 737, 103
- Strömberg G., 1946, ApJ, 104, 12
- Tremblay P.-E., Bédard A., O'Brien M. W., Munday J., Elms A. K., Gentillo Fusillo N. P., Sahu S., 2024, New Astron. Rev., 99, 101705
- York D. G., ve diğ., 2000, AJ, 120, 1579

Access:

M25-0344: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.