





Gaia Çağında İnce Disk Yıldızlarının Galaksi Model Parametrelerinin Tayini

Sabiha Tunçel Güçtekin¹  , Serap Ak¹ , Selçuk Bilir¹ 

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

Accepted: November 13, 2022. Revised: November 13, 2022. Received: October 31, 2022.

Özet

Bu çalışmada Güneş civarında farklı mutlak parlaklık aralığındaki ince disk anakol yıldızlarının Galaksi model parametrelerinin hesaplanması hedeflenmiştir. *Gaia* EDR3 kataloğundan Güneş'e 1 kpc uzaklıkta bulunan rölatif paralaks hatası 0.1'den küçük 41.9 milyon yıldız seçilmiştir. Seçilen yıldızlar renk-parlaklık diyagramı üzerinde ince disk popülasyonunu ifade eden PARSEC eş-yaş eğrileriyle birlikte işaretlenmiş ve 39.2 milyon ince disk anakol yıldızı tespit edilmiştir. Anakol yıldızları birim mutlak parlaklık aralıklarına ayrılarak uzay yoğunluk profilleri oluşturulmuş ve bu profiller tek bileşenli exp, sech ve sech² yoğunluk kanunlarıyla karşılaştırılarak her bir mutlak parlaklık aralığı için uzay yoğunlukları ve yükseklik ölçekleri hesaplanmıştır. Yıldızların erken tayf türünden geç tayf türüne doğru yükseklik ölçeklerinin arttığı ve uzay yoğunluklarının da literatürde verilen yoğunluklar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Abstract

In this study, it is aimed to calculate the Galaxy model parameters of thin disk main-sequence stars with different absolute magnitude ranges in the solar neighbourhood. From the *Gaia* EDR3 catalog, 41.9 million stars with a relative parallax error of less than 0.1, located at a distance of 1 kpc from the Sun, were selected. Selected stars are plotted on the color-magnitude diagram with PARSEC isochrone describing the thin disk population. The result is 39.2 million thin disc main-sequence stars. Space density profiles were created by dividing the main-sequence stars into unit absolute magnitude intervals and then space densities and scaleheight were calculated for each absolute magnitude range by overlaying these profiles with the one-component intensity laws (exp, sech and sech² function). As a result, it has been seen that the scaleheight of the stars increase from the early spectral type to the late spectral type. In addition, it has been seen that the space densities are compatible with the densities given in the literature.

Anahtar Kelimeler: Stars: Luminosity function, Galaxy: Thin Disc, Method: Galaxy model parameters

1 Giriş

1980'den beri Samanyolu'nun yapısı ve yıldız popülasyonlarının araştırılması modern yıldız sayımı yöntemiyle incelenmektedir (Bahcall ve Soneira 1980; Bahcall 1986; Majewski 1993; Siegel ve diğ. 2002). Geçen yüzyılda Galaksimizin farklı doğrultularında seçilen yıldız alanları fotoğrafik plaklar ile gözlenirken, bu yüzyılda teknolojinin gelişmesine paralel olarak geliştirilen duyarlı CCD dedektörlerin kullanımına geçilerek sönük ve geniş alan fotometrik gökyüzü tarama programları başlatılmıştır (York ve diğ. 2000).

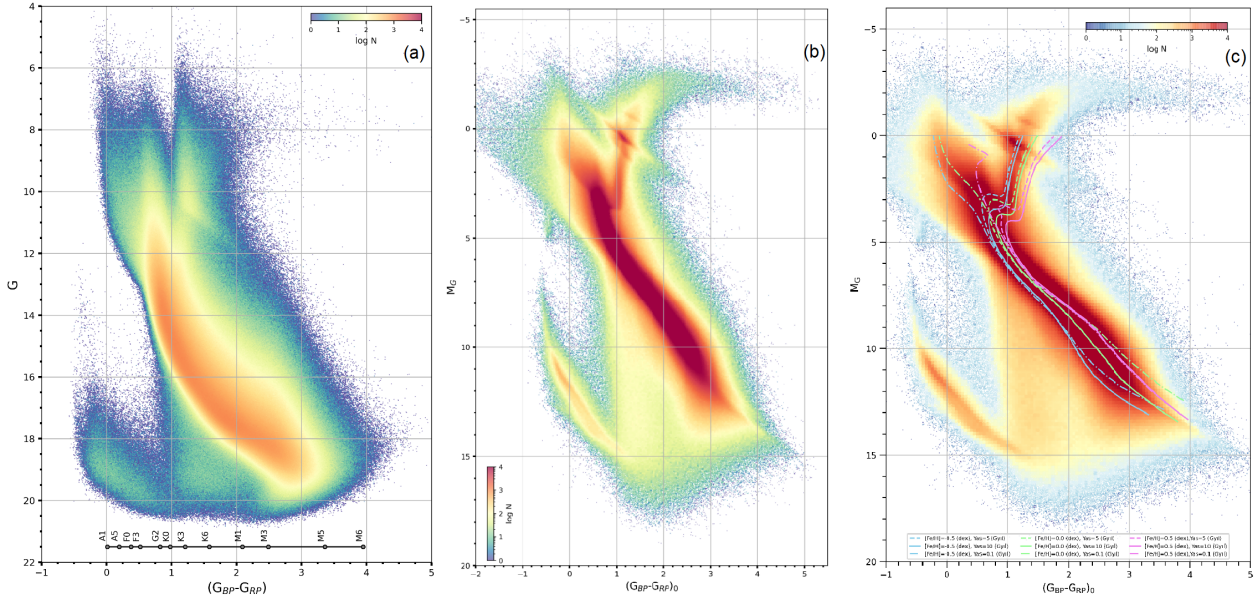
Samanyolu'nun yapısına yönelik araştırmaların başlatılmasında geniş ve derin gökyüzü tarama programlarından sağlanan hassas fotometrik verilerin önemi büyüktür. Özellikle SDSS ve 2MASS gibi gökyüzü tarama programlarından sağlanan verilerden Galaksi'nin farklı doğrultularındaki yıldız sayımı sonuçlarının Galaktik popülasyonlar için hesaplanan model parametre sonuçlarıyla farklılıklar içerdiği tespit edilmiştir (bkz. Bilir ve diğ. 2008). Literatürde farklı yöntemler ile elde edilen Galaksi model parametreleri Karaali ve diğ. (2004)'nin çalışmasında listelenmiştir. Listedeki parametrelere bakıldığında, zaman içinde değiştiği görülmektedir. Özellikle

kalın disk popülasyonuna ait uzay yoğunlukları ve yükseklik ölçeği parametrelerinin geniş bir aralıkta yer aldığı görülmüştür (Juric ve diğ. 2008). Bununla birlikte, güncel çalışmaların en doğru ve duyarlı sonuçları vermesi beklenmektedir. Bu da model parametrelerinin değer aralıklarının dar veya parametre hatalarının küçük olmasını gerektirir.

Galaksi model parametrelerinin geniş bir aralıkta verilmesinin birkaç nedeni olabilir: (i) Galaksi model parametreleri yıldız alanlarının galaktik enlem ve boylamına bağlıdır. Buser ve diğ. (1998, 1999) Galaksi'nin farklı doğrultularındaki yıldız alanlarından elde ettikleri model parametrelerinde belirgin farklılıklar tespit etmiştir. Benzer durum gökyüzü tarama programlarından elde edilen galaksi model parametrelerinde de görülmüştür (Bilir ve diğ. 2006a,b; Cabrera-Lavers ve diğ. 2007; Ak ve diğ. 2007; Yaz ve Karaali 2010). (ii) Galaksi model parametreleri yıldızların mutlak parlaklıklarına bağlıdır (Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2006c). (iii) Galaksi model parametreleri yıldızların limit uzaklıklarıyla farklılık göstermektedir (Karaali ve diğ. 2007). Farklı Galaktik enlem ve boylamlardaki yıldız alanları için hesaplanan Galaksi model parametrelerinin farklı oluşu, Galaksi diskinin flare (alevlenme) ve warp (burulma) etkisiyle açıklanabilir (Cabrera-Lavers ve diğ. 2007; Bilir ve diğ. 2008).

Gaia uydusunun 19 Aralık 2013 tarihinde uzaya gönderilmesiyle Güneş civarındaki yıldızların $G=20.7$ limit

* sabihatuncel@gmail.com



Şekil 1. Çalışmadaki yaklaşık 41,9 milyon yıldızın logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş renk-parlaklık diyagramları. (a) Görünen parlaklık-renk dağılımı, (b) Kızarmadan arındırılmış mutlak parlaklık-renk dağılımı, (c) Farklı demir bolluklarında ve farklı yaşlarda bulunan PARSEC eş-yaş eğrilerinin diyagramdaki dağılımı.

parlaklığına kadar duyarlı fotometrik ve astrometrik gözlemleri yapılabilmektedir. *Gaia* uydusunun hassas gözlemlerinden elde edilen verilerin astronomların kullanımına açılmasıyla birlikte Samanyolu'na ait galaksi model parametrelerinin daha duyarlı tayin edilmesi söz konusu olmuştur. *Gaia* uyu verilerinin erken üçüncü veri sürümünün (EDR3) literatüre kazandırılmasıyla mevcut yıldız katalogu, *Gaia* yakın yıldızlar katalogu (GYK) adını almıştır. GYK, 100 pc içinde M8 tayf türüne kadar tüm yıldızları içerecek şekilde derlenmiştir (*Gaia işbirliği 2021*). *Gaia* uydusuyla, Güneş civarı yakın yıldızlara ait trigonometrik paralaks verilerinin 1 kpc uzaklığa kadar çok hassas ölçülebilir olması özellikle Güneş civarında etkin olan ince disk popülasyonunun model parametrelerinin duyarlı hesaplanmasını mümkün kılmıştır.

Bu çalışmada, *Gaia* EDR3 verileri kullanarak seçilen büyük bir yıldız alanındaki ince disk popülasyonuna üye farklı mutlak parlaklık aralıklarındaki yıldızların uzay yoğunlukları ve yükseklik ölçükleri hesaplanmıştır. Kullanılan veri seti ve ince disk yıldızların seçimi Ş2'de, Galaksi model parametrelerinin tayini Ş3'te ve elde edilen bulgular ve tartışma da Ş4'te verilmiştir.

2 Malzeme ve Yöntem

2.1 Veri

Galaksimizin ince disk bileşeninde geniş bir tayf türü aralığındaki anakol yıldızlarının uzay yoğunlukları ve yükseklik ölçüklerinin hesabı için *Gaia* EDR3 veri tabanı kullanılmıştır (*Gaia işbirliği 2021*). Katalogta yaklaşık 1.8 milyardan fazla nesnenin duyarlı ekvatorial koordinatları (α , δ), öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ), trigonometrik paralaks (ϖ) ve *Gaia* fotometrik bandlarına ait parlaklık (G , G_{BP} , G_{RP}) ölçümleri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan *Gaia* fotometrik ve astrometrik verileri *Gaia Archive* arayüzü kullanılarak ADQL kodu yardımıyla alınmıştır. Veri çekiminde yıldızların Güneş'ten

1 kpc'lik uzaklık içinde olmasına ($\varpi \geq 1$ mas) ve rölatif paralaks hatalarının ($\sigma_\varpi / \varpi \leq 0.10$) da yeterince duyarlı olmasına dikkat edilmiştir. *Gaia* EDR3 kataloguna getirilen sınırlamalar sonucunda 41,848,305 yıldız belirlenmiştir. Yıldızların *Gaia* fotometrik verilerinden elde edilen $G \times (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramı Şekil 1a gösterilmiştir. İncelenen örnekteki nesnelerin geç B tayf türünden geç M tayf türüne kadar farklı ışımaya gücü sınıfındaki yıldızlardan oluştuğu görülmüştür. Ayrıca oluşturan renk-parlaklık diyagramında yıldızların aşırı derece saçılmış olduğu ve bu etkinin yıldızlararası ortamdan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

2.2 Yıldızlararası Ortamın Etkilerinden Arındırma

Yıldızlar Güneş civarında bulunsalar bile parlaklık ve renkleri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme ve kızarmadan etkilenmektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması için *Schlafly ve Finkbeiner (2011)*'in Galaksimiz için oluşturdukları güncellenmiş toz haritasından faydalanılmıştır. NASA Extragalactic Database (*NED*) web sayfasındaki renk artışı hesaplama aracı üzerinde, yıldızların Galaktik koordinatları girilerek yıldız alanı doğrultusunda Galaksi sınırına kadar ölçülmüş V bandı sönükleşme değerleri elde edilmiştir. Yıldız alanı doğrultusunda (l , b) Galaksi sınırına kadar geçerli olan V bandındaki sönükleşme $A_\infty(b)$ değerleri *Bovy ve diğ. (2016)* tarafından hazırlanan *mw dust.py* python kodu yardımıyla belirlenmiştir. Güneş ile yıldızlar arasındaki sönükleşme değerlerinin belirlenebilmesi için *Bahcall ve Soneira (1980)*'nin bağıntısı kullanılmıştır.

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

Burada b yıldızın Galaktik enlemi, d yıldızın Güneş'e uzaklığı, H tozun yükseklik ölçüğü ($H=125$ pc, *Marshall ve diğ. 2006*), $A_\infty(b)$ yıldız doğrultusunda *Schlafly ve Finkbeiner*

(2011)'in verdiği V bandındaki sönükleşme değeri ve $A_d(b)$ de yıldız ile Güneş arasındaki uzaklık için indirgenmiş V bandı sönükleşme değeridir. Yıldızların $E_d(B-V)$ renk artıklarının hesaplanmasında [Cardelli ve diğ. \(1989\)](#)'nin bağıntısı kullanılmıştır.

$$E_d(B-V) = A_d(b) \times 3.1 \quad (2)$$

Çalışmada *Gaia* EDR3 veri tabanındaki fotometrik veriler kullanıldığından yıldızlara ait parlaklıklar yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşmeden arındırılmalıdır. Bunun için indirgenmiş $E_d(B-V)$ renk artığı dikkate alınarak G , G_{BP} ve G_{RP} bandlarına ait sönükleşme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. *Gaia* fotometrik verilerinin sönükleşmeden arındırılmasında [Weiler \(2018\)](#)'in *Gaia* fotometrik bandları ve renk artığı için belirlediği bağıntılar kullanılmıştır.

$$G_0 = G - 0.85926 \times E_d(B-V) \quad (3)$$

$$(G_{BP} - G_{RP})_0 = (G_{BP} - G_{RP}) - 0.41595 \times E_d(B-V) \quad (4)$$

Yıldızların Güneş'e uzaklıkları trigonometrik paralaks $d(\text{pc})=1000/\varpi$ (mas) bağıntısından, M_G mutlak parlaklıkları da literatürde iyi bilinen uzaklık bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$M_G = G_0 - 5 \times \log d + 5 \quad (5)$$

Burada M_G mutlak parlaklığı, G_0 *Gaia* görünen parlaklığı, d yıldızın Güneş'e uzaklığını, ϖ yıldızın *Gaia* kataloğundan alınan mili yay saniyesindeki (mas) trigonometrik paralaks verisini göstermektedir. Yıldızların görünen parlaklık ve renkleri yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırıldıktan sonra yıldız sayı yoğunluğuna göre oluşturulan $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ renk-parlaklık diyagramına işaretlenerek (Şekil 1b) farklı ışımaya gücü sınıfındaki yıldızların renk-parlaklık diyagramındaki konumları belirginleştirilmiştir. Şekil 1b incelendiğinde renk-parlaklık diyagramında farklı tayf türünde ve farklı ışımaya gücü sınıflarında yıldızların bulunduğu görülmektedir. Çalışmada anakol yıldızları kullanılacağı için, *Gaia* uydu verileri içinde sadece ince disk popülasyonundaki anakol yıldızlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu amaç için [Bressan ve diğ. \(2012\)](#)'nin PARSEC evrim modeli kullanılmıştır. PARSEC evrim modelindeki eş-yaş eğrilerinin seçiminde ince disk popülasyonunu temsil eden ağır element bollukları ($-0.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] (\text{dex}) \leq 0.5$) ve yaş değerleri ($0 < t(\text{Gy}) \leq 10$) dikkate alınmıştır ([Cox 2000](#)). Seçilen anakol yıldızlarının $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerindeki konumları Şekil 1c'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi anakol bandı kuramsal yıldız evrim sınırlarından daha geniş bir dağılım göstermiştir. Bu durum çift yıldız etkisinden kaynaklanmaktadır. Çift yıldız etkisi bir yıldızın parlaklığında en fazla 0.75 kadirlik bir artışa neden olur. Çalışmada ince disk popülasyonunu ifade eden metal bolluğu ve yaş değerlerine ait eş-yaş eğrilerine 0.75 kadirlik çift yıldız etkisi ilave edilmiştir. Böylece anakol bandı Şekil 1c'de gösterildiği gibi çift yıldız etkisini de içerecek biçimde oluşturulmuştur. Çift yıldız etkisini içeren eş-yaş eğrisinin oluşturduğu anakol bandı A1 ile M6 tayf türü ve $0 < M_G < 15$ mutlak parlaklık aralığında olup 39,131,320 yıldız içermektedir.

2.3 Anakol Yıldızlarının Tamlık Sınırının Tayini

Yıldız alanlarında nesnelerin uzaklık tamlıkları söz konusu olduğu zaman yıldızların mutlak parlaklıkları önem kazanmaktadır. Tamlık sınırları hesabında yıldız alanındaki görünen parlak ve sönük limit kadirler belirledikten sonra örnekteki yıldızlar ardışık birim mutlak parlaklık aralıklarına

ayrılır. Örneğin, bir yıldız alanında görünen parlak ve sönük limit parlaklıklar, sırasıyla, m_1 ve m_2 olsun. Bu görünen parlaklıklar için ardışık M_1 ve M_2 mutlak parlaklık aralığı seçildiğinde yakın ve uzak tamlık sınırları bağıntı (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_{yk} = 10^{[m_1 - M_2 + 5 - A_\lambda]/5} \quad (6)$$

$$d_{zk} = 10^{[m_2 - M_1 + 5 - A_\lambda]/5} \quad (7)$$

Burada d_{yk} ve d_{zk} , sırasıyla, seçilen görünen ve mutlak parlaklık aralığındaki yakın ve uzak tamlık sınırlarını, A çalışmanın gerçekleştirildiği filtre sistemdeki sönükleşme değerini ifade eder. Çalışmada geniş tayf türü aralığındaki anakol yıldızları kullanılmıştır.

Yıldız uzaklıkları trigonometrik paralaks verilerinden tayin edildiğinden yıldızların mutlak parlaklıkları oldukça doğru ve hassas hesaplanmıştır. Birim mutlak parlaklık aralıklarındaki uzay yoğunluk profillerinin elde edilmesinde $d = N/\Delta V_{1,2}$ bağıntısı kullanılmıştır. Burada D birim hacimdeki uzay yoğunluğu, N birim hacimdeki yıldız sayısı ve $\Delta V_{1,2}$ de uzay hacmini ifade eder. Oluşturulan uzay hacminin hesabında

$$\Delta V = \frac{4}{3} \pi [d_1^3 + d_2^3]$$

bağıntısı kullanılmakta olup burada, d_1 ve d_2 , sırasıyla, Güneş'ten itibaren seçilen ardışık uzaklıkları gösterir. Hesaplanan uzay yoğunlukları çok küçük değerlerde olduğundan bu yoğunluk değerlerinin daha anlamlı bir şekilde ifade edilebilmesi için literatürde uzay yoğunluklarının logaritmasının alınması ve 10 sayısı ile toplanması ($D^* = \log D + 10$) tercih edilmektedir ([Fenkart ve Karaali 1990](#)).

3 Yoğunluk Profilleri ve Galaksi Model Parametrelerinin Tayini

Bir yıldız alanı için hesaplanan yıldız yoğunluk profillerinin Galaksi modelleriyle karşılaştırılmasıyla Galaktik popülasyonların Galaksi model parametreleri elde edilir. Galaksi model parametrelerinin hesaplanabilmesi için öncelikle yıldız alanlarının belirlenmesi, ardından mutlak parlaklık aralıklarına göre uzay yoğunluk profillerinin oluşturulması gerekmektedir. Güneş civarındaki ince disk popülasyonuna ait Galaksi model parametrelerinin hesaplanmasında Galaksimizin kuzey ve güney yarımkürelerinde, Galaktik enlemler 30° 'ar derecelik ($0 < b^\circ \leq 30$, $30 < b^\circ \leq 60$ ve $60 < b^\circ \leq 90$) ve Galaktik boylamlar 60° 'ar derecelik ($0 < l^\circ \leq 60$, $60 < l^\circ \leq 120$, $120 < l^\circ \leq 180$, $180 < l^\circ \leq 240$, $240 < l^\circ \leq 300$ ve $300 < l^\circ \leq 360$) dilimlere bölünerek yıldız alanları oluşturulmuştur. Ardından her bir yıldız alanındaki yıldızlar $2 < M_G \leq 3$, $3 < M_G \leq 4$, ..., $12 < M_G \leq 13$ kadir olacak şekilde birim mutlak parlaklık aralıklarına ayrılmıştır.

Seçilen yıldız alanlarında, birim mutlak parlaklık aralıkları için oluşturulan uzay yoğunluk profilleri Bağıntı (6) ile verilen üç Galaksi modeliyle karşılaştırılmıştır.

$$D_1(x, z) = n_1 \times \exp(-z/H_1) \quad (8)$$

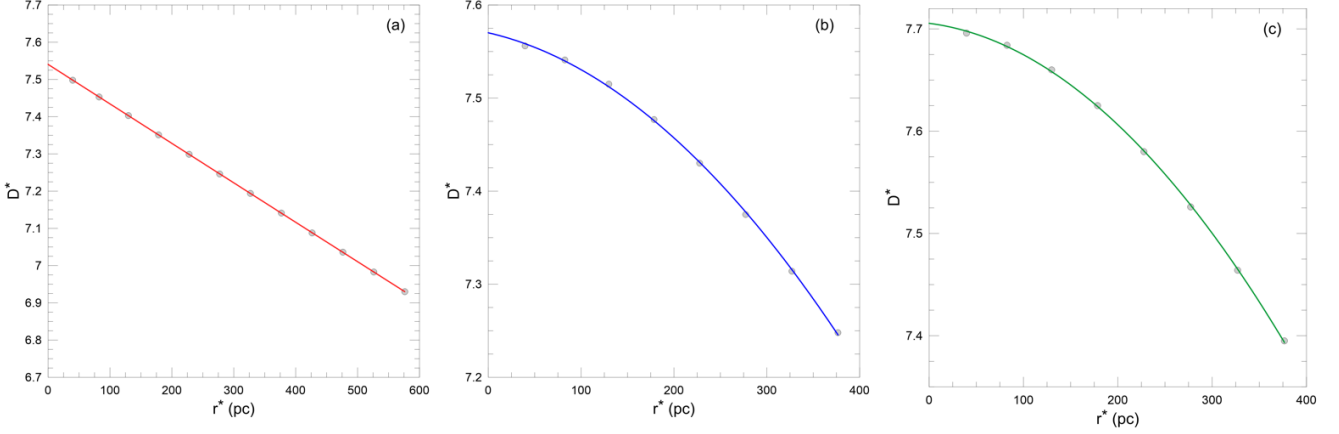
$$D_2(x, z) = n_2 \times \text{sech}(-z/H_2) \quad (9)$$

$$D_3(x, z) = n_3 \times \text{sech}^2(-z/H_3) \quad (10)$$

Bağıntılarda ince disk bileşenini ifade eden üç farklı (\exp , sech ve sech^2) yoğunluk kanunu bulunmaktadır. İnce disk popülasyonu için verilen bağıntılardaki $n_{1,2,3}$ ve $H_{1,2,3}$ parametreleri, sırasıyla, ilgili yoğunluk kanunlarına göre

Çizelge 1. Seçilen örnek yıldız alan için hesaplanan Galaktik model parametre değerleri. D^* Güneş civarındaki logartimik uzay yoğunluğunu, H yükseklik ölçeğini ve ϕ Gaia işbirliği (2021)'nin anakol yıldızlarından hesaplanan Güneş civarı logartimik uzay yoğunluk değerini gösterir.

Yoğunluk Kanunu	l ($^\circ$)	b ($^\circ$)	M_G (kadir)	D^*	H (pc)	ϕ
exp	(120, 180]	(30, 60]	$5 < M_G \leq 6$	7.54	290	7.55
sech	(120, 180]	(30, 60]	$7 < M_G \leq 8$	7.56	328	7.56
sech ²	(120, 180]	(30, 60]	$8 < M_G \leq 9$	7.70	331	7.71



Şekil 2. Seçilen örnek yıldız alanı için hesaplanan (a) $5 < M_G \leq 6$, (b) $7 < M_G \leq 8$ ve (c) $8 < M_G \leq 9$ mutlak parlaklık aralıklarındaki anakol yıldızlarının uzay yoğunluk profilleri. Kırmızı çizgi exp, mavi çizgi sech, yeşil çizgi sech² yoğunluk kanunlarını ifade etmektedir.

hesaplanan yerel uzay yoğunluklarını ve yükseklik ölçeklerini göstermektedir. Geniş bir parametre aralığında hesaplanan Galaksi model parametreleri gözlemsel olarak elde edilen uzay yoğunluk profilleriyle karşılaştırılmıştır. Gözlemsel yoğunluk profilleriyle kuramsal hesaplamalardan belirlenen yoğunluk profillerinin karşılaştırılmasında χ^2 analizden faydalanılmıştır. Bu karşılaştırmada gözlemsel profillere en iyi uyan modelin belirlenmesinde ise χ^2_{\min} değerli model alınmış ve bu modele ait parametreler de birim mutlak parlaklık aralığı için üretilen gözlemsel yoğunluk profilinin Galaksi model parametreleri olarak kabul edilmiştir. Galaksi modellerindeki sech ve sech² kanunları için verilen yükseklik ölçekleri exp kanun için verilen değerde ifade edilmiştir. Bunun için Bilir ve diğ. (2006a) tarafından verilen $H_1=1.65745 \times H_2$ ve $H_1=1.08504 \times H_3$ bağıntıları kullanılmıştır.

İncelenen yıldız alan sayılarının fazla olması nedeniyle, örnek bir yıldız alanına ($30 < b(^\circ) \leq 60$ ve $120 < l(^\circ) \leq 180$) ait sonuçlar verilmiştir. Seçilen yıldız alanında $5 < M_G \leq 6$, $6 < M_G \leq 7$ ve $7 < M_G \leq 8$ mutlak parlaklık aralıkları için yoğunluk profilleri en iyi uyumu gösteren üç Galaksi modeliyle karşılaştırılmıştır. Mutlak parlaklık aralıklarına göre oluşturulan yoğunluk profilleri ve Galaksi modelleri Şekil 2’de gösterilmiş elde edilen Galaksi model parametreleri de Çizelge 1’de listelenmiştir.

4 Tartışma ve Sonuç

Güneş civarındaki yıldız alanlarına ait yoğunluk profilleri ince diski temsil eden tek bileşenli üç farklı yoğunluk fonksiyonuyla karşılaştırılarak Galaksi model parametreleri elde edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi ince disk bileşeni için elde edilen Galaksi model parametrelerinin farklı olduğu bu çalışmada da tesbit edilmiştir. Bu durum Galaksi

model parametrelerinin Galaktik koordinatlara ve mutlak parlaklıklara bağlı olduğunu gösterir (Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2008). Ayrıca farklı mutlak parlaklık aralıklarındaki yıldızların farklı yoğunluk kanunlarıyla ifade edilmesi gerekliliği ispatlanmıştır (Bilir ve diğ. 2006a,b). Bu çalışmada erken tayf türünden geç tayf türüne doğru gidildikçe yükseklik ölçeğinin ve Güneş civarı uzay yoğunluğunun arttığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 37153 numaralı Doktora Sonrası Araştırma Projesi (DOSAP) ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007, AN, 328, 169
- Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, ApJS, 44, 73
- Bahcall, J. N., 1986, ARA&A, 24, 577
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006a, NewA, 12, 234
- Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006b, MNRAS, 366, 1295
- Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S. G., 2006c, AN, 327, 72
- Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira M., 2008, PASA, 25, 69
- Bovy, J., Rix, H.-W., Green, G. M., Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2016, ApJ, 818, 130
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S. Nanni, A., 2012, MNRAS, 427, 127
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, A&A, 331, 934
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, A&A, 348, 98
- Cabrera-Lavers, A., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2007, A&A, 464, 565

- Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S., 1989, ApJ, 345, 245
Cox, A. N., 2000. Allen's astrophysical quantities, 4th ed. Publisher:
New York: AIP Press; Springer, 2000. Edited by Arthur N. Cox.
ISBN: 0387987460
Fenkart, R., Karaali, S., 1990, A&AS, 83, 481
Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2021,
A&A, 649, 1
Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., ve diğ., 2008, ApJ, 673, 86
Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E., 2004, MNRAS, 355, 307
Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., Buser, R., 2007, PASA,
24, 208
Majewski, S. R., 1993, ARA&A, 31, 575
Marshall, D. J., Robin, A. C., Reylé, C., Schultheis, M., Picaud, S.,
2006, A&A, 453, 635
Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2011, ApJ, 737, 103
Siegel, M. H., Majewski, S. R., Reid, I. N., Thompson, I. B., 2002,
ApJ, 578, 151
Weiler, M., 2018, A&A, 617, A138.
Yaz, E., Karaali, S., 2010, NewA, 15, 234
York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., ve diğ., 2000, AJ, 120,
1579

Access:

M23-0311: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.