Galaktik Kalın Disk Oluşum Mekanizmalarının İncelenmesi

Serkan Yıldız¹ [●], Özgecan Önal Taş² [●] ★

¹ Istanbul University, Graduate School of Science, Department of Astronomy and Space Sciences, 34116, Beyazıt, Istanbul, Turkey ¹ Istanbul University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Sciences 34119, Beyazıt, Istanbul, Turkey

Accepted: March 5, 2025. Revised: March 5, 2025. Received: December 9, 2024.

Özet

Bu çalışmanın amacı, Samanyolu kalın diskinin oluşumuna yol açabilecek senaryoların olası etkilerini anlamaktır. Kalın disk oluşumu için önde gelen mekanizmalar olarak yığılma, birleşme, göç ve ısınma senaryoları önerilmiştir. Olası oluşum senaryoların araştırmak için APOGEE DR17 kızılötesi tayfsal gökyüzü tarama kataloğundan seçilen farklı ışıma gücü sınıflarına sahip yıldızlar incelenmiştir. Galaktik kalın diski, yıldızların kimyasal, kinematik ve dinamik özelliklerini kısıtlayarak seçtik. Her örnek için bir yörünge basıklığı dağılımı çizip, bunu her modeli temsil eden sentetik kalın disk örneklerinin yörünge basıklığı dağılımlarıyla karşılaştırdık. Çalışmada Galaktik kalın disk oluşumu için en belirgin mekanizmanın göç modeli olduğunu bulduk. Ayrıca, ilkel gazın Samanyolu diskine düşmesinden sonra kalın diskin bulunduğu yerde oluşan bazı yıldızlar olduğunu belirledik, bu da Galaktik kalın diskin bazı yıldızlarını oluşturan bir birleşme geçmişi olduğuna işaret ediyor.

Abstract

The aim of this study is to understand the possible effects of scenarios that could lead to the formation of the Milky Way thick disk. Accretion, merger, migration and heating scenarios have been proposed for thick disk formation as leading mechanisms. To investigate the possible formation scenarios, we investigate stars with different luminosity classes selected from the APOGEE DR17 spectral catalogue. We select the Galactic thick disk by constraining chemical, kinematic, and dynamic properties of the stars. For each sample we plot an eccentricity distribution and compare it with the synthetic thick disc samples that represent each model. We find the most prominent mechanism for thick disc formation is migration model. We also determine that there are some stars that were formed where the thick disc reside after their primordial gas fall into the Milky Way disc, which points out there is a merger history that formed some star of the Galactic thick disc.

Anahtar Kelimeler: Galaxy – thick disc – kinematics & dynamics

1 Giriş

Galaksimiz Samanyolu, Evrende gözlenen gevşek olmayan sarmal kollara sahip, kücük siskin bölgesi ve uzun cubuğu olan tipik bir disk galaksisidir (Önal Taş 2016). Durgun halde bakıldığında, Galaksimizin farklı geometrik forma sahip, yapısında yaş, kimya, kinematik ve dinamik bakımdan farklılık gösteren yıldız popülasyonlarına sahip üç ana bileşeni vardır. Bunlar içten dışa doğru şişkin bölge, disk ve halo olarak sıralanabilir(Bland-Hawthorn & Gerhard 2016). Dinamik durumda Galaksimize baktığımızda bu düzenli görünüm yerini farklı ölçeklerdeki çekimsel pertürbasyon kaynaklarına (uzun cubuk, spiral kollar, dev molekül bulutları vb.), yıldızları bircok düzlemde birbiri icerisine gecmis Galaktik bilesenlere, uydu cüce galaksilere, diskin alevlenmesi ve burulması vb. yapılara bırakmıştır (Önal Taş 2016; Önal Taş, Bilir & Plevne 2018). Bu durum bilimsel analiz süreçlerinde çeşitli karmaşalara neden olmaktadır. Örneğin, Galaktik yapı çalışmaları açısından Galaksi diskinin alt bileşenlerini, disk ile halo ve disk ile şişkin bölge karakteristiği gösteren yıldızları birbirinden ayırabilmek oldukça önemlidir (Önal Taş 2016). Bu çalışma açısından Galaksi diskinin iki ana bileşeni olan ince disk ve kalın disk yıldızlarının birbirinden ayrıştırılması önemlidir (Navarro ve diğ. 2011; Juric ve diğ. 2008; Chiba & Beers 2000). Bu ayırma

işlemi yıldızların yaşlarına, kimyalarına, kinematik ve dinamik parametrelerine sınırlamalar getirilerek ya da bunların bir kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilebilir. Özellikle duyarlı tayin edilen yıldız yaşları daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Bununla birlikte, tek yıldızlar için yaş hesaplamaları günümüzde hala yeterince duyarlı sonuçlar vermediğinden bu çalışmanın kapsamının dışında bırakılarak diğer yöntemler tercih edilmiştir (Döner ve diğ. 2023).

Galaksi diskinde potansiyel alt bileşenlerin varlığı fikri Gilmore & Reid (1983)'in çalışmasında ortaya atılmıştır.Bu çalışmada, güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldızların fotometrik yıldız sayım yöntemiyle incelenmesi sonucunda Galaktik diske dik doğrultuda hesaplanan yıldız yoğunlukları iki üstel fonksiyon ile ifade edilmistir. Bu kesif Galaksi diskini iki popülasyona bölmüştür: ince disk ve kalın disk. Bu keşfin ardından yapılan çok sayıda çalışma (örneğin; Nemec & Nemec (1991, 1993); Norris (1999); Nykytyuk & Mishenina (2006)) bu iki bileşene ait yıldızların gerçekten de farklı özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur. İnce disk yıldızları Galaksinin en genç, en çember yörüngeli, metalce zengin ve alfa-elementleri bakımından fakir yıldızlarıdır. Kalın disk yıldızları ise ince diske göre daha yaşlı, yörüngeleri basıklaşmış, metalce daha fakir ve alfa elementleri bakımından daha zengin yıldızlardır. Günümüzde bu özelliklerin, birbirini devam eden süreçlerle mi, yoksa her iki bileşenin farklı evrim basamaklarıyla mı oluştuğu önemli bir tartışma konusudur.

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

^{*} ozgecan.onal@istanbul.edu.tr



Şekil 1. APOGEE DR17 taramasından seçilen 352462 yıldızın Kiel diyagramı.

Bunun bir diğer nedeni, ince disk ve kalın disk yıldızları arasında benzer özellikli bir geçiş popülasyonu olmasıdır. Bu nedenle, disk içerisindeki yıldızların birbirinden ayrıştırılması kadar, bu bileşenlerin birbirine karışmasına neden olan mekanizmaların oynamış oldukları rollerin anlaşılması da önemlidir (Bland-Hawthorn & Gerhard 2016).

Literatürde kalın diskin nasıl oluştuğunu açıklamaya çalışan çok sayıda simülasyon çalışması yapılmıştır (Yoachim & Dalcanton 2006; Saha, Tseng & Taam 2010; Minchev ve diğ. 2015; Aumer, Binney & Schönrich 2016; Buck 2020). Bu çalışmalardan en göze çarpanı, başlıca önerilen dört modelin simülasyonlarını yaparak sentetik kalın disk yıldızı üreten Sales ve diğ. (2009)'nin çalışmasıdır. Çalışmada üretilen kalın disk yıldızlarının yörünge basıklıkları hesaplanarak dağılımları oluşturulmuştur. Her bir dağılım ise sentetik örneğin üretildiği kalın disk oluşum modelini temsil etmiştir. Çalışmada incelenen dört temel senaryo göç, yığışma, birleşme ve ısınma senaryolarıdır. Göç senaryosu Sellwood & Binney (2002) tarafından önerilmiştir. Buna göre Galaksi diskinde bulunan spiral kollar hareket eden yoğunluk dalgaları olduklarından bu hareketin sonucunda rezonans bölgeleri oluştururlar. Spiral kollardan kaynaklanan rezonans bölgeleri civarında bulunan yıldızlar bu bölgelerin etkisiyle bir sıkışmaya maruz kalarak Galaksi düzlemi boyunca içe ya da dışa doğru göç edebilirler. Yiğışma senaryosu Abadi ve diğ. (2003) tarafından önerilmiştir. Buna göre, Galaksimizin çekim alanına kapılıp parçalanan daha küçük galaksilerden çalınan yıldızlar Galaksi düzlemine doğru hareket ederek yığışmış ve bunlar zamanla es düzlemli yörüngelere verleserek Galaktik kalın diski oluşturmuştur. Birleşme senaryosu Brook ve diğ. (2004) tarafından önerilmiştir. Buna göre Galaksimizin geçmişinde gazca zengin birleşmelerin aktif olduğu, yani Galaksimizin bol miktarda gaz biriktirdiği bir dönemin sonucunda disk düzlemine inen bu gazlar ve oluşturdukları yıldızlar sayesinde dönen kalın bir disk bileşeninin oluşması tasvir edilmiştir. *Isınma* senaryosu Villalobos & Helmi (2008) tarafından önerilmiştir. Modele göre başlangıçtan beri var olan büyük bir ilkel uydu galaksinin, dönen ince diskle birleşmesiyle dinamik bir ısınma süreci başlamış olur. Buna göre disk yıldızlarının dinamik ısınmayla hız dispersiyonu artmış ve bu yıldızların disk düzleminden yukarılara doğru çıkmasıyla kalın disk oluşmuştur.

Bu çalışmada, bir bütün olarak Galaksimizin maruz kaldığı iç ve dış ortam kaynaklı etkiler ve yıldız evrimi dikkate alınarak Galaktik kalın disk oluşumunun hangi süreç(ler) ile meydana geldiğinin çözümlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre makale şöyle düzenlenmiştir: ikinci bölümünde verilerin seçimi ve kinematik, dinamik parametre tayini, ışıma gücü sınıflarının belirlenmesi, Galaktik kalın disk alt örneklerinin farklı yöntemlerle belirlenmesi anlatılmış; üçüncü bölümde kinematik, dinamik ve kimyasal özelliklerine göre belirlenen kalın disk örneklerinin yanı sıra ideal koşullar altında seçilen kalın disk yıldızlarından elde edilen bulgular incelenmiş ve son olarak dördüncü bölümde kalın disk örnekleriyle karşılaştırılması yapılmış ve literatür bulgularıyla birlikte değerlendirilerek elde edilen sonuçlar bildirilmiştir.

2 Veri ve Yöntem

Bu çalışmada ana tayfsal veri kaynağı olarak APo-Galactic Evolution Explorer kızılötesi tayfsal gökyüzü tarama programının 17. veri sürümü (DR17; Abdo'rrauf ve diğ. 2022) kullanılmış ve astrometrik veri kaynağı olarak da Gaia uydusunun üçüncü veri (DR3; Gaia İşbirliği 2021, 2023) sürümü kullanılmıştır. APOGEE DR17 kataloğunda 733,901 yıldıza ait 191 sütun teknik ve bilimsel veri yer almaktadır. Öncelikle APOGEE DR17 kataloğu ile Gaia DR3 kataloğu birleştirilerek her iki katalogta bulunan yıldızların olduğu tek bir katalog oluşturulmuştur. Oluşturulan katalogtaki verilerden güvenilir sonuçların elde edilmesi için verilere şu temizlik kriterleri uygulanmıştır: (i) Gözlemsel tayfların sentetik tayflarla eşleştirme süreçlerinin güvenilirliğinin göstergesi olan STARFLAG, ASPCAPFLAG ve FE_H_FLAG bitmask değerleri sıfıra eşit olan yıldızlar seçilmiştir. (ii) Atmosfer model parametreleri olan yıldızlardan yüzey çekim ivmesi $(\log g)$, etkin sıcaklık $(T_{\rm eff})$, metal bolluğu ([Fe/H]) ve alfa bolluğu ([α /Fe]) parametrelerine, sırasıyla, $\log g > 0$, $T_{\rm eff} > 0$, -3<[Fe/H] \leq 1.5 ve $-2 < [\alpha/Fe] < 2$ sınırlamaları getirilmiştir. (iv) Radyal hız değeri pozitif olan (γ >0) yıldızlar ve (v) Gaia DR3 kataloğundan alınan trigonometrik paralaks değerleri pozitif (ϖ >0) olan yıldızlar seçilmiştir. Bu sınırlamalardan sonra geriye 352462 yıldız kalmıştır. Bu örnekteki yıldızların Kiel diyagramındaki dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bir yıldıza ait trigonometrik paralaks hatası, trigonometrik paralaks ölçümlerine oranlandığında rölatif paralaks hatası elde edilir. APOGEE DR17 yıldızlarının Gaia DR3 kataloğunda verilen büyüklüklerinden hesaplanan rölatif paralaks hatası dağılımına bakıldığında (Şekil 2), başlangıçta temizlenen yıldız örneğinin %90'ının 0.15 ve daha küçük bir rölatif hataya sahip oldukları tespit edilmiştir. Rölatif hata dağılımının medyan değeri 0.025 ve standart sapması 0.075 olarak hesaplanmıştır. 0.15 değerinin tercih edilmesinin sebebi mümkün olduğunca çok



Şekil 2. APOGEE DR17 taramasından seçilen 352 462 yıldızın rölatif paralaks hatası histogramı.

yıldızı hesaplamalara dahil etmek ve kalın disk yıldızı havuzunu genişletebilmektir.

Çalışmada kullanılan yıldızların astrometrik özelliklerine bakıldığında özhareketlerinin -100 $<\mu<$ 100 mas yıl⁻¹ aralığında değiştiği ve bileşke özhareketin medyanı 9.64 mas yıl $^{-1}$ aralığında değişmekte olup ve medyan radyal hız 2.64 ${\rm km~s}^{-1}$ 'dir. Atmosfer model parametrelerinin histogramları Şekil 3'te gösterilmektedir. Buna göre etkin sıcaklık ($T_{\rm eff}$) histogramında iç içe geçmiş ve ayrık olmak üzere çok modlu bir dağılımla karsımıza cıkmaktadır. Bu da APOGEE kızılötesi tayfsal gökyüzü tarama programının gözlem stratejisinin bir yansımasıdır. Bu görünüm bize örnek içerisinde F, G, K ve M tayf türünden yıldızların baskın olarak bulunduğunu söyler. Yüzey çekim ivmesi $(\log g)$ histogramında da iç içe geçen çok modlu bir dağılım görülmektedir. Bu dağılım özellikle anakol yıldızlarının baskın olduğu 4< $\log g < 5$ bölgesinde ve dev yıldızların baskın olduğu $\log g < 3$ bölgesinde belirgin modlar olarak görülmektedir. Yıldızların [Fe/H] histogramında Galaktik diskteki Güneş civarındaki yıldızlardan beklenildiği gibi [Fe/H]=0 dex civarında normale yakın bir dağılım ve bu dağılımın metalce fakir tarafta uzamıs kuyruğu görülmektedir. Bu kuyruğun nedeni Galaktik kalın disk ve halo yıldızlarıdır. Öte yandan, $[\alpha/Fe]$ histogramında iki modlu bir dağılım görülmektedir. Bu dağılım örneğimiz içerisinde belirgin iki alfa popülasyonu olduğunu söyler. Biri yüksek-alfa, diğeri ise düşük-alfa popülasyonlarıdır. Yüksek- α popülasyonu [Fe/H] düzleminde metalce fakir yıldızları olan kalın disk ya da halo yıldızlarını temsil ederken, düşük- α popülasyonu metalce zengin ve çok büyük bir kısmı ince diske ait yıldızları temsil eder. Bu diyagramdaki iki mod ayrık olmadığından örnek içerisinde hatrı sayılır miktarda geçiş bölgesi yıldızı olduğuna da dikkat edilmelidir.

2.1 Kinematik, Dinamik ve Kimyasal Büyüklüklerin Tayini

Çalışmada yıldızların uzaklıkları (d) Gaia DR3 trigonometrik paralakslarından $1/\varpi$ ilişkisiyle hesaplanmıştır. Gaia DR3 kataloğu APOGEE DR17 yıldızlarının kinematik ve dinamik parametrelerinin hesaplanması için gerekli olan altı boyutlu parametre uzayının başlıca beş parametresini son derece yüksek bir duyarlılıkla sağlamaktadır. Bunlar yıldızların ekvatoral koordinatları (α, δ) , özhareket bileşenleri



Şekil 3. Çalışmadaki yıldızların etkin sıcaklık (Üst panel), yüzey çekim ivmesi (Üstten ikinci panel), [Fe/H] bolluğu (Alttan ikinci panel) ve $[\alpha/Fe]$ bolluk oranı (Alt panel) histogramları.



Şekil 4. Farklı metal bolluğu aralıklarında anakol, alt dev ve dev şıma gücü sınıflarındaki yıldzların Kiel diyagramındaki görünümleri.

 $(\mu_{\alpha}\cos\delta, \mu_{\delta})$ ve trigonometrik paralakslarıdır (ϖ). Bunlara ek olarak, APOGEE'nin yüksek sinyal-gürültü oranlı ve yüksek çözünürlüklü tayflarından gelen radyal hız (γ) ölçümleri eklenince çalışmamızdaki yıldızların kinematik parametreleri oldukça duyarlı hesaplanmıştır. Dinamik yörünge parametreleri için ise yalnızca modellerden gelen yanlılıklardan etkileneceklerini söyleyebiliriz. Bu çalışmada, yıldızların kinematik analizler için gerekli olan uzay hızı bileşenleri (U, V, V)W) ve toplam uzay hızı (S) ile dinamik analizler için gerekli olan yörünge parametreleri (z_m ve e) bir Python kütüphanesi olan galpy (Bovy 2015) ile hesaplanmıştır. Uzay hızı bileşenleri galpy ile hesaplandıktan sonra diske paralel uzay hızları olan U ve V'ye diferansiyel dönme düzeltmesi uygulanarak disk yıldızlarının Galaksi merkezine göre uzaklıklarından kaynaklanan sapmalar bertaraf edilmiştir. Ardından tüm uzay hızı bileşenleri Coşkunoğlu ve diğ. (2011)'nin yerel durağanlık standardı değerleri kullanılarak Güneş civarı için net hızlara dönüştürülmüştür. Dinamik yörünge parametreleri Galpy programında MWPotential2014 simetrik Galaktik potansiyeli kullanılarak yıldızların yörüngelerini birkaç kez kapatabilmesi için 3 Gyıl boyunca 3 Myıl adımlarla oluşturulmuştur. APOGEE DR17 kataloğu yapısında radyal hız ve atmosfer model parametrelerine ek olarak 27 elemente ait kimyasal bolluk değerlerini içermektedir. Çalışmamızdaki yıldızların [Fe/H] ve $[\alpha/Fe]$ bolluk oranları doğrudan katalogtan gelmektedir.

2.2 Işıma Gücü Sınıflarının Belirlenmesi

Bu çalışmada APOGEE DR17 kataloğundan seçilen yıldızlar anakol, altdev ve dev yıldızlar olmak üzere ışıma gücü sınıflarına ayrılmıştır. Işıma gücü sınıflarının belirlenmesinde Bilir ve diğ. (2020) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem PARSEC kütle yolları kullanılarak -3.5<[Fe/H]<1 (dex) aralığındaki yıldızları farklı genişlikteki ardışık 10 metal bolluğu aralığına böler. Her bir aralık için sıfır yaş (ZAMS) ve terminal yaş (TAMS) anakolunu temsil eden eşyaş eğrileri Kiel diyagramına yerleştirilerek anakol yıldızları ve evrimleşmiş yıldızlar seçilmiştir. ZAMS ve TAMS arasındaki yıldızlar anakol, TAMS eğrisinin üstünde kalan tüm yıldızlar ise evrimleşmiş ve ZAMS eğrisinin altında kalan yıldızlar istatistik dışı yıldızlar olarak sınıflandırılmışlardır. Evrimleşmiş yıldızlar karma bir grup olup altdev ve dev popülasyonları karışık haldedir. Bu popülasyonların birbirlerinden ayrılmasında ise log g parametresi kullanılmıştır. Buna göre $3 < \log g < 4$ olan yıldızlar alt dev, $\log g \le 3$ olan yıldızlar ise dev yıldızlar olarak seçilmiştir. Şekil 4'te 10 metal bolluğu aralığı için ışıma gücü sınıflarına ayrılmış yıldızların Kiel diyagramı görülmektedir. Mavi noktalar anakol, yeşil noktalar evrimleşmiş ve pembe noktalar istatistik dışı bırakılan yıldızları temsil etmektedir.

2.3 Galaktik Kalın Disk Popülasyonlarının Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi

Bu çalışmada Galaktik kalın disk popülasyonlarının belirlenmesi için kinematik, kimyasal ve dinamik olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Buradan hareketle kinematik, dinamik ve kimyasal kalın disk yıldızı alt örnekleri oluşturulmuştur.

2.3.1 Kinematik Kalın Disk Yıldızları

Anakol, altdev ve dev olarak ışıma gücü sınıflarına ayrılan yıldızların kinematik özelliklerine göre disk alt popülasyonlarına ayrılmasında Bensby ve diğ. (2003, 2014) tercih edilmiştir. Bensby ve diğ. (2014) çalışmasında yıldızların uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonları kullanılarak ince disk, kalın disk ve halo yıldızlarının bir Gauss dağılımı ortaya koydukları varsayılmış her bir Galaktik popülasyon için bir f değeri hesaplanmıştır. Bu değer söz konusu yıldız popülasyonunun uzay hızı bileşenlerine ve asimptotik sürüklenme hızlarıyla ilişkili olarak hesaplanan Gauss dağılımını temsil eder. f = f(U, V, W)

Çizelge 1. Güneş komşuluğundaki yıldızların Galaktik bileşenlere göre gözlenme oranları, U, V, W hız bileşenlerindeki dispersiyonları ve asimptotik sürüklenme hızları (Bensby ve diğ. 2003).

| | | (km s^{-1}) | | | |
|-----------------|-------|----------------------|------------|------------|------------|
| Bileșen | X (%) | σ_U | σ_V | σ_W | V_{asym} |
| İnce Disk (D) | 94 | 35 | 20 | 16 | -15 |
| Kalın Disk (TD) | 6 | 67 | 38 | 35 | -46 |
| Halo (H) | 0.15 | 160 | 90 | 90 | -220 |

olmak üzere değeri aşağındaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$f = X \ k \ \exp\left(-\frac{U_{\mathsf{LSR}}^2}{2\sigma_U^2} - \frac{(V_{\mathsf{LSR}} - V_{\mathsf{asym}})^2}{2\sigma_V^2} - \frac{W_{\mathsf{LSR}}}{2\sigma_W^2}\right) \quad (1)$$

Burada U_{LSR} , V_{LSR} ve W_{LSR} , yerel durağanlık düzeltmesi ve diferansiyel dönme düzeltmesi uygulanmış uzay hızı bileşenleri, V_{asym} , asimptotik sürüklenme hızı, σ_U , σ_V ve σ_W her bir uzay hızı bileşenine ait hız dispersiyonları, X, Çizelge 1'de verilen popülasyon yüzdesi ve k uzay hız dispersiyonlarına bağlı tanımlanmış olan Gauss dağılımını temsil eden bir çarpandır. k çarpanı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$k = (2\pi)^{-3/2} \frac{1}{\sigma_U \sigma_V \sigma_W}$$
(2)

İnce ve kalın disk bileşenleri için f değerleri, bu bileşenlerin Güneş civarında görülme yüzdeleri (bkz. Çizelge 1) aşağıdaki bağıntıya yerleştirilerek kalın disk olma olasılığının ince disk olma olasılığına oranı (TD/D) hesaplanmıştır:

$$TD/D = \frac{x_{TD}f_{TD}}{x_{D}f_{D}}.$$
(3)

Yapılan analizlerde TD/D oranının hala ince disk ve halo yıldızları tarafından bir miktar kirletildiği tespit edilmiştir. Bensby ve diğ. (2014) çalışmasına göre TD/D>2 koşulunu sağlayan yıldızlar yüksek olasılıklı kalın disk yıldızlarını temsil etmektedir. Bunun da önüne geçmek için yüksek olasılıklı kalın disk popülasyonu yıldızlarına, Nissen (2004)'in toplam uzay hızlarına (S) getirdiği sınırlar kullanılmıştır. Buna göre, $S \le 50$ km s⁻¹ olanlar ince disk popülasyonunu, $50 < S \le 70$ km s⁻¹ ince disk ile kalın disk arasındaki geçiş bölgesini, $70 < S \le 180$ km s⁻¹ kalın disk popülasyonunu, S > 200 km s⁻¹ ise halo popülasyonunu temsil etmektedir.

2.3.2 Dinamik Kalın Disk Yıldızları

Dinamik kalın disk yıldızlarını belirlemek için bir yıldız yörüngesinin Galaktik düzleme olan en büyük dik uzaklığı olarak tanımlanan z_m parametresi kullanılmıştır. Wilson ve diğ. (2010) çalışmasında Galaktik kalın disk yıldızlarını incelerken bu örneğin durgun haldeki konumlarını temsil eden |z| değerine sınırlamalar getirmişlerdir. Bu sayede kalın disk popülasyonu içerisindeki ince disk ve halo yıldızlarından kaynaklanan kirlenmeyi azaltarak salt kalın disk popülasyonunun yörünge basıklıklarını incelemişlerdir. Yaptıkları analizlerden kalın disk yıldızlarının 3 kpc'den öteye uzanamayacağını bulmuşlardır. Kalın diskin yükseklik ölçeği kullanılarak kalın disk yıldızlarının $1 < |z| \le 1.3$ (kpc) ve $1.3 < |z| \le 3$ (kpc) uzaklık aralıklarında yıldız sayı yoğunluğu bakımından benzer oranlarda olacaklarını tespit etmişlerdir. $1 < |z| \le 1.3$ (kpc) uzaklık aralığında ince disk ve kalın disk yıldızları benzer yoğunluklarda karşımıza çıkarken özellikle 1.3< $|z| \leq$ 3 (kpc) aralığı kalın disk popülasyonunun fiziksel anlamda baskın olduğu bölgeleri temsil eder. Çalışmamızda Wilson ve diğ. (2010) çalışmasında kullanılan |z|aralıkları yerine z_m değerleri kullanılmıştır. Dinamik kalın disk alt örneğinin belirlenmesinde $1.3 < z_m \le 3$ (kpc) aralığı yüksek olasılıklı kalın disk bölgesi olması bakımından tercih edilmiştir.

2.3.3 Kimyasal Kalın Disk Yıldızları

Bu çalışmada kimyasal uzay $\left[\alpha/\text{Fe}\right] \times \left[\text{Fe}/\text{H}\right]$ düzlemi olarak seçilmiştir. Kimyasal uzaydan kalın disk popülasyonunu belirlemek için $[\alpha/Fe] \times [Fe/H]$ düzlemine Gausyen Karışım Modeli (GMM) uygulanmıştır Pedregosa ve diğ. (2011). GMM, bir makine öğrenme algoritması olarak veriyi tercih edilen sayıda Gauss düzlemiyle fit ederken her birinin o düzlemdeki olasılığını hesaplar. Gauss bölgeleri arasından geçirilen ayrım (ya da karar sınır) çizgisine göre örnek düşük- $[\alpha/Fe]$ ve yüksek- $[\alpha/Fe]$ popülasyonları olarak ayrılır. GMM ile belirlenen karar sınır çizgisinin altında kalan yıldızlar düşük- $[\alpha/Fe]$ 'ye sahip ince disk popülasyonlarıdır. Karar sınır çizgisinin üstünde kalan yıldızlar ise daha yaşlı yıldızlardan oluşan ve kimyasal açıdan alfa elementlerince zengin olan yüksek- $[\alpha/Fe]$ popülasyonlarıdır. Yüksek olasılıklı kimyasal kalın disk yıldız popülasyonu kalın disk yıldızları içermesinin yanı sıra halo yıldızlarıyla kirlenir. Halo yıldızları kalın disk ve ince diske nazaran metalce rölatif olarak daha fakir ve alfa elementleri bakımından ise kalın disk popülasyonlarından daha zengindirler. Kalın disk yıldızlarının örnekten çıkarılması için [Fe/H]>-1.5 (dex) sınırı getirilmiştir.

3 Bulgular

Bu çalışmada APOGEE DR17 kataloğundan seçilen anakol, alt dev ve dev yıldızların kinematik, kimyasal ve dinamik özelliklerine getirilen sınırlamalarla üç tür yüksek olasılıklı kalın disk popülasyonu oluşturulmuştur. Bu popülasyonların birbirlerine göre kalın disk popülasyonunu ne kadar iyi yansıttıkları ya da hangi yöntemin en çok Galaktik kalın diski temsil ettiği önemli bir problemdir. Ne yazık ki üç yöntemin de tek başına yetersiz kaldığı literatürde bilinen bir durum olduğundan bu çalışmada yöntemlerin birbirlerine göre durumları irdelenerek en iyi temsilin nasıl sağlanabileceği araştırılmıştır.

3.1 Farklı Kalın Disk Örneklerinin Uyumu

Bu kısımda yüksek olasılıklı kinematik, dinamik ve kimyasal kalın disk örneklerinin Galaktik kalın diski ne kadar iyi temsil ettiklerine dair bulgular ortaya konmuştur. Çalışmada yüksek olasılıklı kinematik kalın disk örneği, TD/D>2 koşulunu sağlayan yıldızlar kümesine Nissen (2004)'in toplam uzay hızı hatasına uyguladığı 70< $S \le 180$ (km s⁻¹ koşulu getirilerek oluşturulmuştur. Şekil 5'da farklı ışıma gücü sınıfındaki yıldızların yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla kinematik, dinamik ve kimyasal yöntemlere göre seçilmiş kalın disk örneklerinin Toomre diyagramları gösterilmiştir. Buna göre kinematik yolla seçilen yıldızlar dışında kimyasal ve dinamik uzayda tüm ışıma gücü sınıflarında gerek ince disk gerek de halo yıldızlarınca belirgin kirlenme vardır. Dinamik yolla seçilen anakol yıldız örneği ince disk kirlenmesinin en az görüldüğü örnektir. Bununla beraber, dev yıldızlar söz konusu olduğunda kinematik olarak yüksek olasılıklı seçilen dev kalın disk yıldızları dinamik ve kimyasal olarak kalın disk popülasyonunu tam olarak vansıtmamaktadırlar.

Dinamik olarak yüksek olasılıklı kalın disk yıldızları $1.3 < z_m \le 3$ (kpc) aralığındadırlar. Dinamik olarak seçilen bu



Şekil 5. Toomre diyagramları. Kinematik yolla seçilen yıldız örneklerinin dinamik ve kimyasal uzaylardaki durumu görülmektedir.

örneğin kinematik, dinamik ve kimyasal uzaylardaki görünümü Şekil 6'de gösterilmiştir. Şekilde ince disk ve halo yeşil, ince disk-kalın disk geçiş bölgesi pembe, kalın disk mavi renkli çubuklarla temsil edilmiştir. Şeklin üst panelinde dinamik olarak seçilmiş kalın disk örneğinin kinematik uzayın z_m histogramına yansıması görülmektedir. Buna göre dinamik olarak seçilen örnekler kinematik anlamda yüksek olasılıklı kalın diski yansıtmazlar. Benzer şekilde dinamik olarak seçilen kalın disk örneği Şeklin alt paneline bakıldığında tüm ışıma gücü sınıflarında yine dinamik kalın diski yansıtmamakta ince disk ve halo yıldızlarınca kirlenmeye maruz kalmaktadırlar.

GMM yöntemiyle karar çizgisinin üzerinde kalan yıldızlar yüksek-[α /Fe] yıldızları [Fe/H]=-1.5 dex değerinde sınırlandırıldığında kimyasal anlamda yüksek olasılıklı kalın disk örnekleri elde edilmiştir. Bu örnekler kinematik ve dinamik uzayda da kalın disk yeterliliklerini sağlıyor mu sorusuna yanıt olarak Şekil 7 çizilmiştir. Şekil incelendiğinde en alt panelde kimyasal kalın disk örnekleri anakol, alt dev ve dev yıldızlar için çizilmiştir. Şeklin üst ve orta panelleri incelendiğinde kinematik ve dinamik uzaylardaki yıldızların birbirinden iyi ayrılmadıkları yine dikkati çekmektedir.

Tüm kirlenmeler örneğin kinematik olarak seçilmesinin kimyasal ve dinamik anlamlarda kalın diski yansıtmaması (ya

da benzer şekilde diğer kombinasyonların) ideal kalın disk diye bir popülasyonun var olup olmadığının sorgulanmasına neden olmuştur. İdeal kalın disk şöyle tanımlanabilir: kinematik anlamda TD/D>2 ve 70< $S{\leq}180~(\rm km/s)$, kimyasal olarak yüksek-[α /Fe] yıldızları ve metal bollukları [Fe/H]=-1.5 dex değerinden daha fakir olmayan ve dinamik olarak da $1.3{<}z_{\rm m}{\leq}3~(\rm kpc)$ olan yıldızlar. Bu sınırlamalar getirildiğinde oluşturulan ideal kalın disk örneğinde 696 yıldız olduğu görülmüştür.

3.2 Kalın Disk Oluşum Modellerinin Testi

Galaktik kalın disk oluşum modellerinin sınaması, Sales ve diğ. (2009)'nin ısınma, yığışma, göç ve birleşme senaryolarına göre yapılmıştır. Sales ve diğ. (2009)'in her bir senaryo için oluşturduğu sentetik yıldız örneklerinin yörünge basıklık dağılımları, APOGEE DR17 kataloğundan kinematik, kimyasal ve dinamik yöntemlerle seçilen kalın disk yıldızlarının yörünge basıklık dağımları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda hangi oluşum senaryosunun kalın diski daha iyi temsil ettiğine bakılmıştır. Sales ve diğ. (2009) çalışmasında test edilen senaryolara ait sentetik yıldız örneklerinin yörünge basıklığı dağılımları Şekil 8'da görülmektedir. Diyagram üzerinde her bir modelin histogramı farklı bir renkle çizilmiştir. Birleşme, Yığışma, Göç ve Isınma senaryoları sırasıyla, mavi,



Şekil 6. z_m histogramları. Dinamik olarak $1.3 < z_m \le 3$ (kpc) aralığında seçilen yıldızların kinematik ve kimyasal uzaylardaki durumu görülmektedir.

kırmızı, turkuaz ve sarı basamak fonksiyonlar ile temsil edilmiştir. Her bir dağılımın tepe noktasını temsilen siyah kesikli çizgiler yerleştirilmiştir. Diğerlerinden farklı olarak yalnızca ısınma senaryosunda iki tepe ve bir dip noktası için üç adet kesikli çizgi kullanılmıştır.

Özetle, Sales ve diğ. (2009) çalışmasında irdelenen senaryoların yörünge basıklık frekans dağılımları ile bu çalışmada seçilen kalın disk alt örneklerinin yörünge basıklıklarının frekans dağılımlarının diyagramları karşılaştırılmıştır. Senaryolar test edilirken dağılımın medyan değeri ve dağılımın şekli dikkate alınmıştır. Diyagramlarda (bkz. Şekil 9, 10, 11 ve 12) yıldızların dağılımı açık mavi basamak fonksiyonla her bir örneğin medyan yörünge basıklığı mavi kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Her bir medyan değeri her senaryoya özgü olacak şekilde farklı renklerde kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.

Yüksek olasılıklı kinematik kalın disk yıldızları için elde edilen bulgulara bakıldığında tüm ışıma gücü sınıflarında birleşme senaryosunun desteklenmediği görülmektedir. Şekle bakıldığında hem yörünge basıklığı histogramlarının tepe noktalarının hem de dağılımın örtüşmediği görülmektedir. Yüksek olasılıklı dinamik kalın disk örnekleri için gözlemsel verilerin medyan değerleri ile dağılımın şekli uyum içerisindedir. Dağılımın şekline bakıldığında dev yıldızların birleşme senaryosunun yörünge basıklığı dağılımına daha çok uyduğu görülmektedir. Dağılımın tepe noktalarının farkı ise anakoldan deve doğru gidildikçe 0.04, 0.02, 0.01 kadardır. Yüksek olasılıklı

TJAA Vol. 6, Special Issue, p.175–188 (2025).

dinamik kalın disk için birleşme senaryosunun geçerli olduğu söylenebilir. Kimyasal kalın disk örneklerine bakıldığında anakoldan yıldızlarından dev yıldızlara doğru gidildikçe medyan değeri ile simülasyon dağılımının tepe noktalarının birbirinden uzaklaştığı yalnızca frekans dağılımın şeklinin model ile uyumlu olduğu görülür.

Yiğişma senaryosu simülasyonu yıldızlarının yörünge basıklıklarının medyan değeri 0.54 olarak hesaplanmıştır ve bu değer şekil üzerinde siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Modelde yörünge basıklığı dağılımı hemen hemen simetriktir ve *e*=0.9 değerine ulaşıldığında frekans dağılımı bitmektedir. Yüksek olasılıklı kalın disk örneklerinin medyan değerleri (mavi kesikli çizgi) ile senaryonun tepe noktası (kırmızı kesikli çizgi) tüm ışıma gücü sınıflarında birbirlerinden oldukça farklı noktalardadır. Belirgin bir uyumsuzluk vardır. Bu uyumsuz durum kinematik, dinamik ve kimyasal kalın disk örneklerinin tamamında ve tüm ışıma gücü sınıflarında görülmüştür. Bu yüzden seçilen kalın disk örneklerinin yiğışma senaryosu ile uyumlu olmadığı açıkça görülmektedir.

Göç senaryosu simülasyonu yıldızlarının yörünge basıklıklarının medyan değeri 0.27 olarak hesaplanmıştır ve bu değer şekilde siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Kinematik, dinamik ve kimyasal kalın disk alt örneklerinin önemli bir kısmı Göç senaryosu yıldızlarının yörünge basıklık dağılımlarıyla benzer özellik göstermektedir. Göç senaryosuna göre yörünge basıklığı dağılım hemen hemen simetrik bir dağılım ortaya koymakta ve dağılım e=0.5 değerinden sonra daha yavaş



Şekil 7. Yüksek- $[\alpha/Fe]$ popülasyonunun Gausyen karışım modeline göre kimyasal uzaydaki durumu. Kimyasal olarak seçilen kalın disk örneklerinin kinematik ve dinamik uzaylardaki durumu görülmektedir.

bir azalma eğilimine girmekte ve frekans dağılımı e=0.8'den itibaren en düşük seviye ulaşmakta ve 0.9'a ulaşıldığında sonlanmaktadır. Anakol ve alt dev için yüksek olasılıklı kalın disk TD/D>2 alt örneklerinin model ile oldukça uyumlu olduğu dev alt örneğinin ise tam uyumlu olduğu görülmektedir. Kinematik açıdan yüksek olasılıklı kalın disk örnekleri için medyan değerler (mavi kesikli çizgiler) ile göç örneğinin tepe noktaları (turkuaz kesikli çizgi) ya çok yakın ya da çakışık haldedir. Ancak özellikle anakol frekans dağılımlarının şekileri çok benzememektedir. Yalnızca tam uyumlu dev örneğinin dağılımının şekli de uyumludur. $1.3 < z_m \leq 3$ (kpc) aralığına

gelindiğinde dinamik kalın disk alt örneklerinin medyan değerleri ile göç modelinin medyan değeri arasında 0.03 ile 0.05 fark vardır; yani değerler oldukça yakındır. Dağılımlar açısından bu alt örnekler değerlendirildiğinde şekilleri de modele benzer bulunmuştur. Kimyasal kalın disk alt örneklerinde ise anakol yıldızları ile göç modelinin medyan değeri çakışmıştır. Dağılımın şekli modelle uyumludur. Alt dev ve dev yıldız kalın disk örneklerinin medyan değerleri ile model arasındaki fark düşünüldüğünde gözlemsel örneğin medyan değeri 0.04 ve 0.05 kadar daha basık bulunmuştur. Bununla birlikte, dağılımların şekilleri göç modeliyle uyumludur.



Şekil 8. Kalın disk oluşum model simülasyonlarından elde eidlen sentetik yıldız örneklerinin yörünge basıklık histogramları. Siyah kesikli çizgiler her bir model için dağılımın medyan değerini temsil eder. Yalnızca ısınma modeli için üç kesikli çizgi verilmiştir. En soldaki medyan değer, diğer iki çizgi ise çukur ve tepe değerleri gösterir.

Isınma senaryosu simülasyonu yıldızlarının iki modlu bir dağılım ortaya koydukları görülmüştür. Bu dağılımın ilk modunun tepe noktası e=0.21'de geçiş noktası e=0.64'te ve ikinci modun tepe noktası da e=0.94'tedir. Bu noktalar şekilde siyah kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Isınma senaryosunun test edildiği modele ait üç noktayı temsil eden çizgiler turuncu kesikli çizgiyle, gözlemsel kalın disk örneklerinin medyan değerleriyse mavi kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Kinematik olarak yüksek olasılıklı kalın disk yıldızlarının yörünge basıklığı dağılımının medyan değerleriyle modelin medyan değerleri örtüşmemektedir. Dağılımın şekli benziyor ve de dağılımlara ait yüksek basıklık değerleri görülüyor olsa da modeldeki gibi ikincil bir tepe oluşmamıştır. Kinematik olarak seçilen kalın disk örnekleri için ısınma senaryosu geçerli değildir.

Dinamik olarak seçilen kalın disk yıldızlarına bakıldığında her birinin medyan değerleri, ısınma model verilerinin yörünge basıklığı dağılımının ilk modunun tepe noktasıyla neredeyse eşleşmiş haldedir. $1.3 < z_m \le 3$ (kpc) aralığında anakol, alt dev ve dev yıldızları için bulgular medyan değerleri bakımından oldukça uyumludur. Söz konusu aralıkta bu bölgeye düşen yıldız sayısında da tüm ışıma gücü sınıflarında belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Bu bakımlardan ısınma senaryosunun dinamik olarak seçilen kalın disk örnekleri için geçerli olabilecekleri düşünülmektedir.

Kimyasal olarak seçilen kalın disk örneklerine bakıldığında kimyasal anakol yıldızlarının, kimyasal alt dev ve kimyasal dev yıldız örneklerine nazaran ısınma senaryosunun ilk tepesine

TJAA Vol. 6, Special Issue, p.175–188 (2025).

daha benzer bir dağılım ortaya koymuş oldukları görülmektedir ancak dağılımın ikincil modu oluşmamıştır. Kimyasal alt dev ve dev örneklerinin medyan noktaları ısınma modelinin ilk tepesiyle çakışmamakla beraber yayvan bir tepe ve yüksek basıklık değerlerine doğru bir kuyruk oluşturmuştur. Her iki alt örneğin belirgin kuyrukları olmakla beraber ısınma senaryosunda görülen belirgin ikincil mod görülmemektedir. Bu nedenle kimyasal kalın disk örnekleri içerisinde ısınmanın katkısı, dinamik alt örneklerdeki gibi belirgin değildir.

Kinematik, dinamik ve kimyasal özelliklerine göre tarif edilen hiçbir kalın disk örneğinin tek başına Galaktik kalın diski temsil etmemesi ve kirlenmeden tam olarak arındırılmaması sebebiyle bu çalışma için ideal bir kalın disk popülasyonu tasarlanmıştır. Şekil 13'te ideal kalın disk yıldızlarının farklı ışıma gücüne dağılımları dört senaryoyu test edecek şekilde gösterilmiştir. Şekilde düz mavi çizgi ile söz konusu örneğin medyan basıklık değeri temsil edilmiştir. Ayrıca yukarıdan aşağıya dört panelde sırasıyla birleşme (koyu mavi), yığışma (kırmızı), göç (turkuaz) ve ısınma (turuncu) senaryolarını temsil eden medyan basıklık değerleri ilgili senaryonun rengine uygun şekilde kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Birleşme senaryosu ve ideal kalın disk örneklerine bakıldığında medyan değerlerin hiçbir ışıma gücü sınıfında eşleşmediği görülmektedir. Bununla birlikte ideal anakol kalın disk alt örneklerinin dağılımlarının tepe noktaları birbirine yakın bulunmuştur. Ayrıca dağılımın şekli de birleşme senaryosuna benzemektedir. Yiğışma senaryosu ve ideal

184 Yildız, S. ve diğ.



Şekil 9. Birleşme modeli ile farklı ışıma gücü sınıfında bulunan kinematik (üst panel), dinamik (orta panel) ve kimyasal (alt panel) kalın disk örneklerindeki yıldızların basıklık histogramlarının karşılaştırması.



Şekil 10. Göç modeli ile farklı ışıma gücü sınıfında bulunan kinematik (üst panel), dinamik (orta panel) ve kimyasal (alt panel) kalın disk örneklerindeki yıldızların basıklık histogramlarının karşılaştırması.



Galaktik Kalın Disk Oluşum Mekanizmalarının İncelenmesi 185

Şekil 11. Isınma modeli ile farklı ışıma gücü sınıfında bulunan kinematik (üst panel), dinamik (orta panel) ve kimyasal (alt panel) kalın disk örneklerindeki yıldızların basıklık histogramlarının karşılaştırması.



Şekil 12. Yiğışma modeli ile farklı ışıma gücü sınıfında bulunan kinematik (üst panel), dinamik (orta panel) ve kimyasal (alt panel) kalın disk örneklerindeki yıldızların basıklık histogramlarının karşılaştırması.



Şekil 13. İdeal kalın disk örneklerinin kalın disk oluşum modellerinden üretilen sentetik yıldız yörünge basıklıklarıyla karşılaştırılması.

kalın disk örnekleri yörünge basıklığı histogramları açısından değerlendirildiğinde yığışma senaryosu daha yüksek basıklık değerinden geçmektedir. Bu da ideal örnek ile uyumsuz bir senaryo olduğunu göstermektedir. Göç senaryosu ve ideal kalın disk örneklerinin gerek medyan değerlerin modelin medyan değerlerine yakın oluşu gerekse dağılımın şekli bakımından yüksek basıklık değerlerine doğru uzaması bu senaryonun anakol ve dev alt örnekleri açısından uyumludur. Son olarak, ısınma senaryosuyla ideal kalın disk alt örnekleri değerlendirildiğinde tıpkı birleşme senaryosunda olduğu gibi bir uyum tespit edilememiştir.

4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bir bütün olarak Galaksimizin maruz kaldığı iç ve dış ortam kaynaklı etkiler ve yıldız evrimi dikkate alınarak Galaktik kalın disk bileşeninin oluşumunun hangi süreç ya da süreçlerle meydana geldiğinin çözümlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için APOGEE DR17 kataloğundan seçilen yıldızların yörünge basıklıkları ile kalın disk oluşum modellerine ait simülasyonlarla elde edilen sentetik model yıldız basıklıklarının karşılaştırılarak hangi oluşum senaryosunun/larının öne çıktığının belirlenmesi için analizler yapılmıştır.

Birleşme senaryosuna göre geçmişte galaksinin gazca zengin birleşmeler yaşadığı bir milat esnasında dönen bir kalın disk bileşeni meydana gelmiştir (Brook ve diğ. 2004, 2005). Bu bileşeni oluşturan yıldızlar da bu gazca zengin ortamda oluşmuşlardır. Birleşme senaryosunun en etkin olduğu örneklerin dinamik kalın disk örnekleri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle $1.3{<}z_{\rm m}{\leq}3$ (kpc) aralığında anakol, alt dev ve dev yıldızların yörünge basıklık dağılımlarının tepe noktası ve şeklinin birleşme modeli ile uyumlu olduğu görülmüştür. O halde gazca zengin birleşme döneminde oluşmuş yıldızların dinamik uzayda $1.3{<}z_{\rm m}{\leq}3$ (kpc) yüksekliğe erişebilen $z_{\rm m}$

değerleri olmalıdır. Bu bölgede görülen dinamik kalın disk örneği yıldızlarının bu birleşmenin yaşandığı dönemde bu bölgelerde doğmuş olmaları muhtemeldir.

Galaksimizin çekim alanına kapılarak parçalanan daha küçük galaksilerden yığışan yıldızların zamanla Galaksi düzlemine doğru hareket ettikleri ve bunların zamanla eş düzlemli yörüngelere yerleşerek yaşlı bir kalın disk popülasyonu oluşturabileceği hatta bu yıldızların rölatif olarak daha genç olan disk yıldızlarının kütlesinin üçte biri kadar olabileceği Abadi ve diğ. (2003) çalışmasında literatüre takdim edilmiştir. Çalışmamızda üretilen hiçbir kalın disk alt örneğinin yığışma yoluyla kalın disk oluşum senaryosunu desteklemediği tespit edilmiştir.

Galaksimizin ilkel evrelerdeki dönmeyle desteklenen ince diskinin büyük kütleli bir uyduyla birleşmesi sonucunda meydana gelen dinamik ısınma süreciyle kalın disk oluşmuş olabilir. Elimizde veriler ışığında ısınma senaryosu da test edilmiş olup ısınma senaryosunun en etkin olduğu örneklerin birleşme senaryosuna benzer bir şekilde yalnızca dinamik kalın disk örnekleri olduğu bulunmuştur. Isınma senaryosunda yörünge basıklıkları 0.21'de bir tepe ve 0.94'te daha düşük seviyeli ikinci bir tepe yapmaktadır ve geçiş 0.64 noktasındadır. Dinamik kalın disk senaryosunun e=0.21 tepesi dinamik kalın disk örnekleriyle uyumludur. Birinci tepenin 0.64'te tükenip ikinci tepenin başlaması ise veride var olan belli belirsiz kuyruk ile uyumlu değildir.

Galaksimizin ince disk yıldızları spiral kolların neden olduğu eş dönme rezonansı bölgesine hapsolabilirler ve açısal momentumun korunumundan dolayı spiral yoğunluk dalgalarıyla Galaksi diski boyunca iç ya da dış kısımlara göç edebilirler. Bu da göç senaryosunun özünü teşkil eder. Bu türden bir göç senaryosunun Galaktik kalın disk yıldızlarının oluşumunu temsil edip etmediğini sınamak için yörünge basıklık diyagramlarına baktığımızda hem kinematik hem dinamik hem de kimyasal olarak yüksek olasılıklı kalın disk örneklerinin, göç senaryosunu temsil eden sentetik yıldızların yörünge basıklığı frekans dağılımının tepe noktası ve morfolojisiyle uyumlu cıktığı tespit edilmiştir. Bu durum diğer modellerden oldukça farklıdır. İlk kez hem kinematik hem dinamik hem de kimyasal olarak seçilen kalın disk örnekleri göç senaryosunu desteklemiştir. Bu bulgular kinematik, dinamik ve kimyasal anlamda ideal olarak nitelendirilen kalın disk örneğinden gelen bulgularla da desteklenmektedir. Son olarak, ideal kalın disk için senaryolar ele alındığında çalışmada kullandığımız örneklemin yörünge basıklıkları göç senaryosuyla daha uyumlu bulunmuştur.

Bulgularımız literatürdeki bulgular ile karşılaştırıldığında, özellikle Sales ve diğ. (2009)'nin önerdiği simülasyon bulguları ile tam olarak örtüşmemekle birlikte ters de düşmemektedir. Wilson ve diğ. (2010)'nin RAVE verileriyle yaptığı çalışma ise bu çalışma ile yer yer uyum içerisindedir. Minchev ve diğ. (2015)'nin simülasyon yaptığı modellerden Galaktik disk için elde ettiği sonuçlar da göç mekanizması hakkında elde ettiğimiz bulgular ile tezat içerisindedir.

Özetle, Galaktik kalın disk bileşeninin ana oluşum mekanizmasının, ince disk yıldızlarının büyük ölçekli Galaktik spiral kolların eş-dönme rezonansı bölgesinde hapsolması ve zamanla spiral yoğunluk dalgalarıyla Galaktik disk boyunca içe ya da dışa doğru göç etmesi olarak ifade edilen göç mekanizması olduğu söylenebilir. Dinamik kalın disk örneklerine bakıldığında, yani $1.3 < z_m \leq 3$ (kpc) aralığında olan yıldızlar gazca zengin bir birleşmenin sonucu olarak bulundukları bölgede oluşmuş olabileceklerine dair ipuçları bulunmuştur.

Bulgularımız literatürdeki başlıca çalışmalarla kısmen uyumlu bulunmuş olsa da söz konusu literatür çalışmalarına göre en yüksek duyarlılığa ve örnekleme sahip olan çalışmadır. Bu bağlamda, çalışmamızın şimdiye kadar yapılan gözlemsel çalışmalardan daha duyarlı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bununla birlikte (Sales ve diğ. 2009)'nin senaryo başlangıç koşullarının değişimiyle sentetik yıldız örneklerinin yörünge basıklık dağılımlarının ne tür farklılıklara uğrayabileceği öngörülememektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 118F350 kodlu TÜBİTAK MFAG 1001 araştırma projesiyle desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abadi, M. G., Navarro, J. F., Steinmetz, M., Eke, V. R., 2003, ApJ, 597, 21–34
- Abdurro'uf, Accetta K., Aerts C., ve diğ., 2022, ApJS, 259, 35.
- Aumer, M., Binney, J., & Schönrich, R., 2016, MNRAS, 462, 1697
- Bland-Hawthorn J., Gerhard O., 2016, ARA&A, 54, 529-596.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, A&A, 410, 527
- Bensby, T., Feltzing, S., Oey, M. S., 2014, A&A, 562
- Bilir, S., Alan, N., Tunçel Güçtekin, S., ve diğ., 2020, Publ. Astron. Soc. Australia37, article id. e22.
- Bovy, J., 2015, ApJS, 216, article id. 29, 27.
- Brook, C. B., Kawata, D., Gibson, B. K., Freeman, K. C., 2004, ApJ, 612, 894-899
- Brook, C. B., Gibson, B. K., Martel, H., Kawata, D., 2005, ApJ, 630, 298-308.
- Buck, T. 2020, MNRAS, 491, 5435
- Chiba, M. & Beers, T. C. 2000, AJ, 119, 2843
- Coșkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., ve diğ., 2011, MNRAS, 412, 1237-1245
- Döner, S., Ak, S., Önal Taş,Ö., Plevne, O., 2023, Physics and Astronomy Reports, 1, pp. 11-26
- Gaia İşbirliği, Brown A. G. A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Babusiaux C., Biermann M., ve diğ., 2021, A&A, 649, A1.
- Gaia İşbirliği, Vallenari A., Brown A. G. A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Arenou F., Babusiaux C., et al., 2023, A&A, 674, A1.
- Gilmore, G., Reid, N., 1983, MNRAS, 202, 1025-1047.
- Juri ´c, M., Ivezi ´c, Z., Brooks, A., et al. 2008, ApJ, 673, 864
- Minchev, I., Martig, M., Streich, D., et al. 2015, ApJL, 804, L9
- Navarro, J. F., Abadi, M. G., Venn, K. A., Freeman, K. C., & Anguiano, B. 2011, MNRAS, 412, 1203
- Nemec, J. & Nemec, A. F. L. 1991, PASP, 103, 95
- Nemec, J. & Nemec, A. F. L. 1993, AJ, 105, 1455
- Nissen, P. E., 2004, Thin and Thick Galactic Disks, Origin and Evolution of the Elements, from the Carnegie Observatories Centennial Symposia. Published by Cambridge University Press, as part of the Carnegie Observatories Astrophysics Series. Edited by A. McWilliam and M. Rauch, 2004, p. 154
- Norris, J. E. 1999, Ap&SS, 165, 213
- Nykytyuk1, T. V., Mishenina, T. V., 2006, A&A, 456, 969
- Önal Taş, Ö., 2016, Radyal Hız Deneyindeki Kırmızı yığın Yıldızlarının Kinematik İncelenmesi, Danışman: Selçuk Bilir, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 1284.
- Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G. M. S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., 2016, Publ. Astron. Soc. Australia, 33, id.e044 20 pp.
- Önal Taş, Ö., Bilir, S., Plevne, O., 2018, Ap&SS, 363, 35.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Vincent, M., 2011, Journal of Machine Learning Research, 12.
- Saha, K., Tseng, Y. H., & Taam, R. E. 2010, ApJ, 721, 1878

188 Yıldız, S. ve diğ.

- Sales L. V., Helmi A., Abadi M. G., Brook C. B., Gómez F. A., Roškar R., Debattista V. P. ve diğ., 2009, MNRAS, 400, L61–L65.
- Sellwood, J. A., Binney, J. J., 2002, MNRAS, 336, 785-796.
- Villalobos, Á., Helmi, A., 2008, MNRAS, 391, 1806- 1827.
- Wilson, M. L., Helmi, A., Morrison, H. L., ve diğ., 2010, MNRAS, 413, 2235.
- Yoachim, P. & Dalcanton, J. J. 2006, AJ, 131, 226.

Access:

M25-0363: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.