



# Çok Boyutlu Uzayda Galaktik Disk Popülasyonlarına Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Başar Coşkunoglu<sup>1</sup>  

<sup>1</sup> Istanbul University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Sciences, 34119, Beyazıt, Istanbul, Turkey

Accepted: November 18, 2022. Revised: November 17, 2022. Received: November 3, 2022.

## Özet

Literatürde Galaksiye ait popülasyonlar (ince disk, kalın disk, halo) birbirinden ayrımları yapılırken konumsal, kinematik, dinamik, kimyasal özellikler ve yaş kriterleri dikkate alınmaktadır. Fakat, literatürdeki ayırım yöntemleri bu özelliklerin bir veya ikisi kullanılmaktadır. Sadece bir veya iki parametrenin kullanılması popülasyonların karmaşık ve dinamik yapısına aykırı olduğu için bir ayırım yapıldığında diğer özellikler bakımından ait oldukları bileşenleri temsil etmeyen örnekler seçilebilmektedir. Bu durum Galaktik Arkeoloji çalışmalarına bir engel oluşturmaktadır. Bu çalışmada popülasyonların çok boyutlu kimyasal ve kinematik uzayda birbirinden farklılıkları üzerine değinilecek olup, popülasyon ayırımına çok boyutlu uzayda makine öğrenmesi yaklaşımıyla yeni bir çözümü konu alan projemizin ön sonuçları tartışılmaktadır. Bu ön sonuç aşamasında GALAH gökyüzü taramasından seçilen örnek üzerine bir makine öğrenmesi modeli Gauss Karışım Modeli yardımıyla elde edilmiş ve bu model sayesinde birbirinden istatistiksel olarak ayrı olan üç disk popülasyonu ve halo için bir ayırım gerçekleştirilmiştir.

## Abstract

In the literature, spatial, kinematic, dynamic, chemical properties and age criteria are taken into account while the populations of the Galaxy (thin disk, thick disk, halo) are separated from each other. However, the separation methods in the literature use one or two of these features. Since the use of only one or two parameters is contrary to the complex and dynamic structure of populations, when a distinction is made, samples that do not represent the components they belong to in terms of other characteristics can be selected. This situation creates an obstacle to Galactic Archaeology studies. In this study, the differences of populations from each other in multidimensional chemical and kinematic space will be discussed, and the preliminary results of our project, which deals with a new solution to population separation in multidimensional space with a machine learning approach, are discussed. In this preliminary conclusion stage, a machine learning model was applied to the sample selected from the GALAH sky survey, with the help of the Gaussian Mixture Model, and a distinction was made for the three disk populations and halo that were statistically separate from each other thanks to this model.

**Anahtar Kelimeler:** milkyay, kinematics, populations

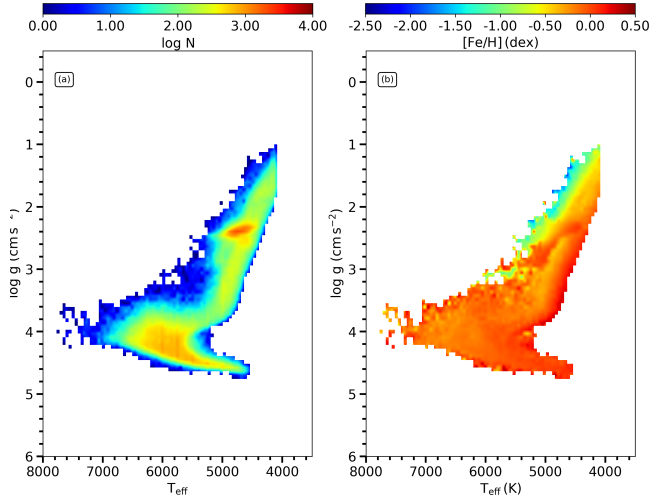
## 1 Giriş

Modern astrofizikteki önemli konulardan biri Galaksinin oluşumu ve evrimidir. Bu konudaki ilgilene araştırmalara “Galaktik Arkeoloji” denir. Galaktik Arkeoloji Galaksinin günümüzdeki gözlemsel özelliklerini ve gözlenen bu özelliklerin geçmişte nasıl ortaya çıktığını anlamaya çalışır. Bu alandaki ilk çalışma [Eggen ve diğ. \(1962\)](#) tarafından yapılmıştır. İsmi yazarlarının soyadlarının ilk harflerinin yan yana gelmesinden alan ELS modeli yıldızların konumlarıyla, demir bollukları ([Fe/H]) arasında bir bağlantı kurar. Galaktik düzlemde Galaksi merkezinden diskin ucuna doğru gidildikçe ve Galaktik düzlemde dikey doğrultuda uzaklaştıkça gözlemlenen [Fe/H] azalışının Galaksinin [Fe/H] bakımından fakir bir ilkel bulutun içe doğru çökmesi sonucunda oluştuğunu iddia eder. Bu çökmeyi takiben gazın Galaktik düzlemde toplanıp diski oluşturduğunu öne sürer. Model disk yıldızlarında gözlenen özelliklerin çoğunu açıklayabilse de, halo yıldızlarında gözlenen metal bolluğu aralığının ve yaş aralığının darlığını açıklayamamaktadır. Bu bulguları açıklayabilmek için [Searle &](#)

[Zinn \(1978\)](#) tek bir bulut yerine birden fazla küçük bulutun bir araya gelmesinin Galaksiyi oluşturduğunu iddia etmiştir. Küçük bulutların önce şişkin bölgeyi ve halodaki küresel kümeleri oluşturduğunu ve artan gazın disk bölgesine yığılarak diski oluşturduğunu öne sürmüştür. Bu çalışmalar Galaktik Arkeolojinin ilk örnekleridir.

Zamanla, ilerleyen teknoloji sayesinde, yeni bulgular elde edilmiştir: yıldızların sayı yoğunlukları incelendiğinde Galaksi diskinin tek bir yapı olmadığı, iki ayrı bileşenden meydana geldiği keşfedilmiştir. Diskin ikincil bileşenin diğer galaksilerde de gözlenen kalın disk olduğu sonucuna ulaşılmıştır ([Gilmore & Reid 1983](#); [Gilmore & Wyse 1985](#)). Diskin bu iki bileşenli yapısı ELS ve SZ modellerinin önerdiği gibi tek bir çökme olayıyla açıklanamamaktadır. Dolayısıyla, diskin görünen özelliklerini açıklayabilmek için yeni bir modele ihtiyaç duyulmuştur. İkili çökme modeli ([Chiappini ve diğ. 1997](#)) bu gözlemsel bulguları açıklamak için iki farklı çökme zamanı öne sürer. Bu modele göre Galaksi metalce fakir bir ilkel galaktik buluttan oluşmuştur. Bu bulut öncelikle görece kısa bir zaman ölçeğinde (~1 Gyl) çökerek şişkin bölgeyle birlikte haloyu oluşturur ve kalın disk bileşenin büyük bir bölümü bu zaman aralığında meydana gelir. Bu sürecin devamında diskte görece daha uzun bir

\* basarc@istanbul.edu.tr

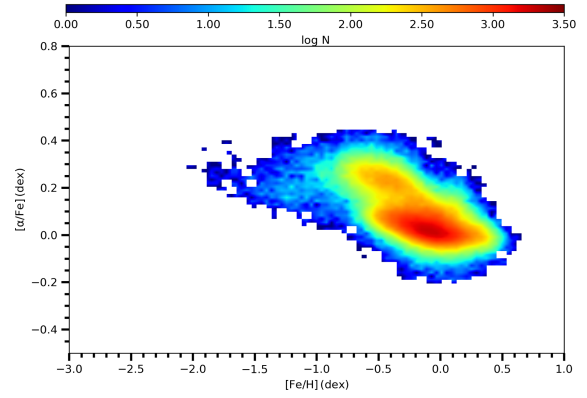


**Şekil 1.** Ana katalogdaki 192308 yıldızın Kiel diyagramı. Sol panel yıldız sayı yoğunluğuna göre, sağ panel yıldızların metal bolluğuna göre renklendirilmiştir.

çökme dönemi başlar ( $\sim 8$  G yıl) ve diskteki gaz içten dışa doğru çökerek ince diski ve kalın diskin kalanını oluşturur. Bu model ince diski ve kalın disk bileşeninde farklı zamanlarda oluştuğunu ve bu sebeple kimyasal özellikleri bakımından birbirinden ayrılabilirliğini öne sürer. Bu beklenti artan tayfsal gökyüzü taramaları sayesinde  $[\text{Fe}/\text{H}] \times [\alpha/\text{Fe}]$  düzleminde iki modlu bir yapının gözlenmesiyle (Freeman & Bland-Hawthorn 2002) modelin beklentisi karşılanmıştır. İlerleyen yıllarda araştırmacılar element bolluğu düzleminde gözlenen iki modlu yapının Galaksi diski boyunca farklı yarıçaplarda da varlığını gözlemiştir (Haywood 2008; Hayden ve diğ. 2015). Bu yapı ikili çökme modeliyle öngörülse de modelin orijinal versiyonuyla tam anlamıyla açıklanamamıştır. Modele gecikmeli çökme yaklaşımının eklenmesiyle  $[\text{Fe}/\text{H}] \times [\text{Mg}/\text{Fe}]$  düzleminde Spitoni ve diğ. (2021) gözlenen iki modlu dağılıma yeni bir açıklama getirmiştir.

Güncel çalışmalar Galaksi diskinin yapısının dinamik olduğunu göstermiştir. Yıldızlar yörüngelerinde dönerken, yörüngelerini etkileyebilecek ve onları oluştukları bölgeden uzaklaştırabilecek pertürbasyon kaynaklarıyla etkileşime girebilmektedir (Schönrich ve diğ. 2010; Bobylev & Bajkova 2014; Önal Taş ve diğ. 2018). Sharma ve diğ. (2021) ikili çökme modeline yıldızların doğdukları Galaktik yarıçaptan farklı yarıçaplara geçmeleri anlamına gelen radyal göçün etkisini eklemiş ve diskte gözlenen iki modlu kimyasal düzlemi farklı yarıçaplar ve yükseklikler için açıklamıştır. Bu modele göre yıldızlar doğdukları bölgenin karakteristik yörünge özelliklerini zaman içinde pertürbasyon kaynaklarıyla etkileşimlerinden dolayı kaybeder ve günümüzde farklı yarıçap ve yüksekliklerde gözlenir.

Modellerin öngördüğü ve bunu müteakip gözlemlerle doğrulanan iki modlu yapı Galaktik Arkeoloji çalışmalarının cevaplaması gereken "ince ve kalın diski nasıl ayırabiliriz?" önemli bir soru doğurmuştur. Diski oluşturan bileşenler kimyasal özelliklerinin yanı sıra, konum, kinematik, dinamik ve yaş bakımından da farklılık gösterdiğinden bu soruyu cevaplamak güçtür. Zaman içerisinde araştırmacılar konumsal (Gilmore & Reid 1983; Gilmore & Wyse 1985; Bilir ve diğ. 2008), kinematik (Bensby ve diğ. 2003, 2005), dinamik (Özdönmez



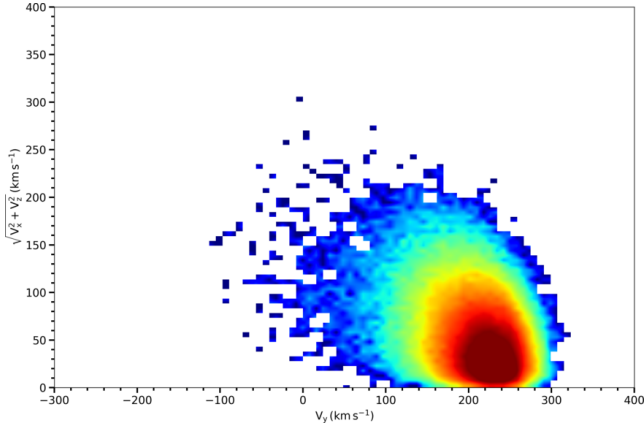
**Şekil 2.** Ana katalogdaki 192308 yıldızın kimyasal düzlemde sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş dağılımı.

ve diğ. 2015; Plevne ve diğ. 2015) ve kimyasal (Freeman & Bland-Hawthorn 2002; Hayden ve diğ. 2015; Bovy ve diğ. 2016; Plevne ve diğ. 2020) özelliklerini kullanarak bileşenlere ait yıldızları ayırt etmek için farklı veri uzaylarında yöntemler geliştirmiştir. Yöntemlerin sayısı çok olsa da, ne yazık ki hiçbiri, bileşenlerin bütün özelliklerini açıklayamamaktadır. Bu sebeple literatürde bu bileşenleri net bir şekilde ayıracak ve çoklu veri uzayında söz konusu bileşenin konumsal, kinematik, dinamik, kimyasal ve yaşlarını açıklayan bir ayırım yöntemine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada geliştirilen yeni ayırım yönteminin ilk sonuçları tartışılacaktır.

## 2 Veri Seçimi

Bu çalışmada GALAH DR3 (Buder ve diğ. 2021) ve Gaia eDR3 (Gaia Collaboration ve diğ. 2021) kataloglarından alınan yıldızlar kullanılmıştır. APOGEE ve GALAH taramalarındaki yıldızların atmosfer model parametreleri ve element bolluğu verileri kullanılırken, bu kataloglardaki yıldızların öz hareket ve trigonometrik paralaksı *Gaia* taramasından alınmıştır. Çalışmada kullanılacak yıldızlar seçilirken taramaların verdiği kalite kriterleri dikkate alınarak verilen en iyi ölçüm değerlerinin kullanılması amaçlanmıştır. Seçim yapılırken atmosfer model parametreleri taramanın yazılım hattından sorunsuz bir şekilde geçmiş veriler alınmış ve ayrıca S/N (Sinyal/Gürültü) oranı GALAH için  $\geq 40$  alınmıştır. *Gaia* taramasından gelen verilere rölatif paralaks hatası  $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$  kriteri uygulanmıştır. Bu sınırlamalar sonucunda elde edilen örnekte 192308 yıldız bulunmaktadır. Örnekte yıldızların yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinden elde edilmiş atmosfer model parametreleri, element bollukları, radyal hızları ile *Gaia* uydu gözlemlerinden ölçülen öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks verileri bulunmaktadır. Seçilen yıldızların Kiel diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Ana katalogu oluşturan gökyüzü taramalarının gözlem yaptıkları dalgaboyu ve parlaklık aralıkları birbirinden farklı olsa da diyagramdan görüldüğü üzere ışımaya gücü sınıfları rahatlıkla seçilebilmektedir: anakol, altdevler ve devler.

Örneğin kimyasal düzlem üzerindeki dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde ince ve kalın diski temsil eden iki ana yoğunlukla birlikte,  $[\text{Fe}/\text{H}] < 1$  dex'te, metalce fakir, kuyruğa benzer bir yapı görülmektedir. Bu yapıdaki yıldızların çoğu Galaksinin halosuna aittir. Halo yıldızları sayıca az olsalar da üç bileşenin her birinin şekilde görülebilir olması önemlidir.

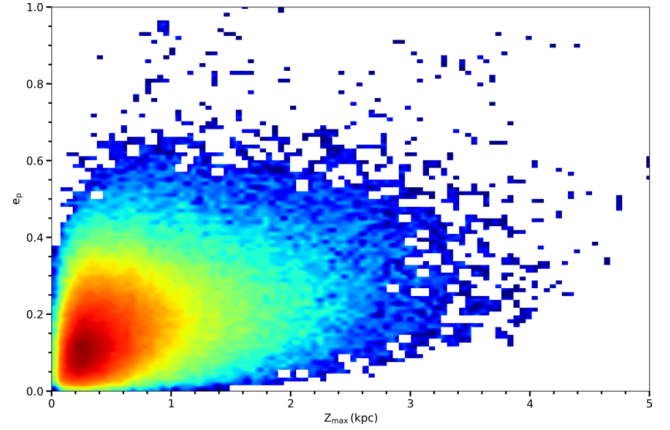


Şekil 3. Ana katalogdaki 192,308 yıldızın Toomre diyagramı. Yıldızlar sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.

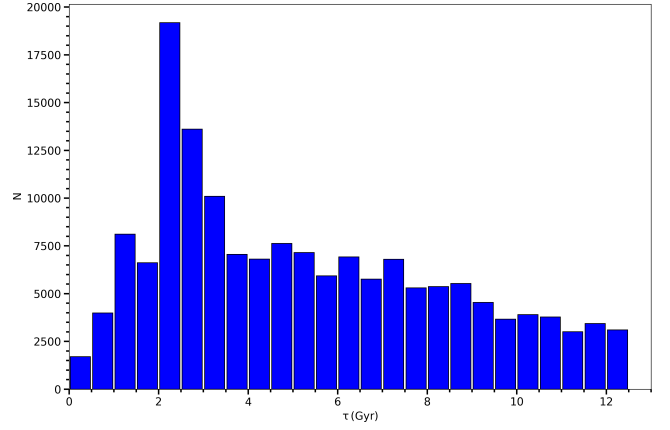
### 3 Kinematik ve Galaktik Yörünge Parametrelerinin Yaşın Hesaplanması

Örnekteki yıldızların uzay hızları Johnson & Soderblom (1987)'un algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bu algoritma ile bir yıldız örneğinin ekvatorial koordinatları, öz hareketleri, uzaklıkları veya trigonometrik paralaksı ve radyal hızları bilindiğinde,  $U$ ,  $V$  ve  $W$  uzay hız bileşenleri ile hataları hesaplanabilir. Uzay hızı bileşenlerinin yönlerinin belirlenmesinde sağ el koordinat sistemi seçilmiştir. Sağ el koordinat sistemine göre tayin edilen  $U$ ,  $V$  ve  $W$  hız bileşenleri için artı yönleri, sırası ile, Galaksi merkezi doğrultusu, Galaksinin dönme yönü ve Kuzey Galaktik Kutup (KGK) doğrultusundadır. Uzay hızları Blaauw ve diğ. (1960) tarafından tanımlanan Galaktik koordinat sistemi temel alınarak hesaplanmıştır. Çalışmadaki diferansiyel dönme düzeltmeleri Mihalas & Binney (1981)'in yöntemine göre yapılmıştır. Yıldızların uzay hızlarına yapılan son düzeltme Yerel Durağanlık Standardı (Local Standard of Rest - LSR) düzeltmesidir. Bu düzeltme, yıldızların hesaplanan uzay hız bileşenlerinden Güneş'in uzay hız bileşenlerinin etkisini kaldırmak için yapılır. Çalışmadaki LSR düzeltmesi için Coşkunoglu ve diğ. (2011) tarafından verilen  $U_{\odot}=8.50\pm 0.29$ ,  $V_{\odot}=13.38\pm 0.43$ ,  $W_{\odot}=6.49\pm 0.26$  km s<sup>-1</sup> değerleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve düzeltmeler sonucunda yıldızların uzay hızları eylemsiz referans sistemine aktarılmıştır. Hesaplanan Güneş merkezli uzay hızları gerekli dönüşümler kullanılarak (Mihalas & Binney 1981) Galaksi merkezli uzay hızlarına ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) dönüştürülmüştür. Yapılan kinematik hesaplamalar sonucunda elde edilen Toomre diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Örnek kinematik uzayda geniş bir aralığı kapsar ve içinde tüm galaktik popülasyonları barındırır.

Yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanmasında Bovy (2015) tarafından geliştirilen Galpy Python kütüphanesinin fonksiyonları kullanılmıştır. Galpy python kütüphanesinin içinde bulunan MWPotential2014 potansiyeli altında yıldızlar 5 milyar yıl boyunca Galaksi merkezi etrafında döndürülerek kapalı yörüngeleri oluşturulmuştur. Bu dönmenin sonucunda yıldızların yörüngesini betimleyen  $Z_{max}$ ,  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $e_p$  parametreleri elde edilmiştir.  $Z_{max}$  yıldızın yörünge hareketi boyunca Galaktik düzlem ile arasındaki en büyük dikey uzaklık,  $e_p$  yıldız yörüngesinin Galaktik düzlemdeki dış merkezliği,  $R_a$  ve  $R_p$  sırasıyla, yıldızın Galaktik yörüngesinin



Şekil 4. Ana katalogdaki 192308 yıldızın dinamik yörünge parametrelerine göre oluşturulmuş düzlemdeki dağılımı. Yıldızlar sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.

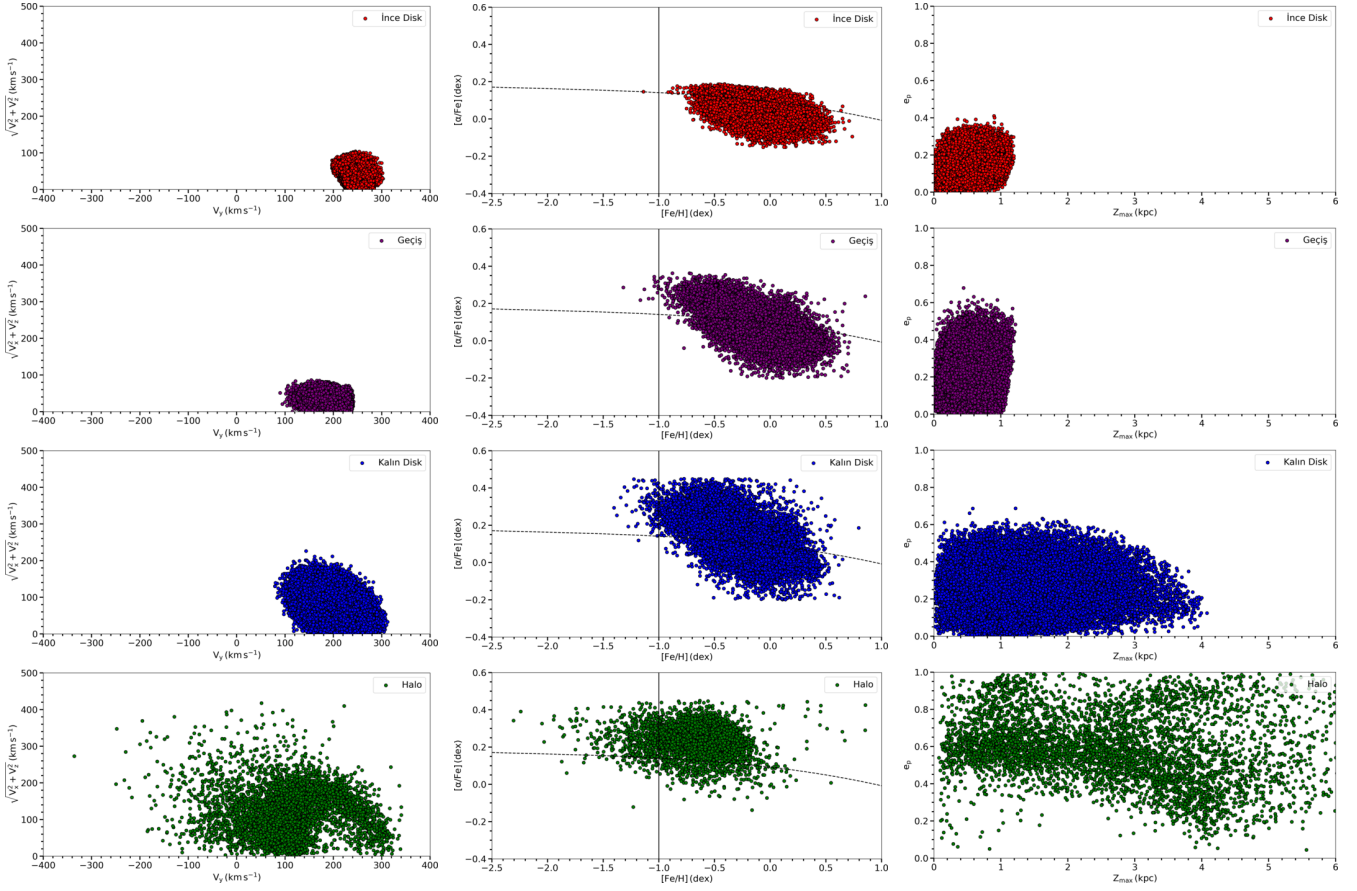


Şekil 5. 192,308 yıldızdan oluşan ana katalogun yaş histogramı.

enberi ve enöte noktaları olarak tanımlanmış olup, yörüngenin Galaktik merkeze disk düzlemindeki ortalama uzaklığı temsil eden  $R_m$  ise  $R_m=(R_a + R_p)/2$  bağıntısıyla hesaplanmıştır. Seçilen yıldızlara ait dinamik düzlem ( $Z_{max} \times e_p$ ) Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi örnek dinamik düzlemin çoğunu kapsamaktadır.

Yıldızların yaşını hesaplarken Pont & Eyer (2004) ve Jørgensen & Lindegren (2005) tarafından geliştirilen Bayes Yaş Tayin Yöntemi kullanılmıştır. Bayes Yaş Tayin Yöntemi, teorik yıldız evrim modellerinin yaş ( $\tau$ ), metal bolluğu ( $\zeta$ ) ve kütle ( $m$ ) bilgisini atmosferik parametreler, yani etkin sıcaklık ( $T_{eff}$ ), logaritmik yüzey çekim ivmesi ( $\log g$ ) ve gözlemsel metal bolluğu ( $[M/H]$ ), cinsinden ifade edebilmesi üzerine kuruludur. Bu yöntem, Galaksinin geçirdiği oluşum süreçlerini öncül bilgi olarak kabul eder ve teorik modellerdeki gözlemlenebilir parametreleri gözlemsel değerlerle karşılaştırıp yıldızın yaşını Bayes istatistik yardımıyla hesaplar. Hesaplanan yaşlara ait histogram Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi veri geniş bir yaş aralığını kapsar.

Bayes Yaş Tayin Yöntemi için PARSEC (Bressan ve diğ. 2012) eş yaş eğrileri kullanılmıştır. PARSEC kütüphanesinden  $-2.4 \leq [Fe/H] \leq 0.5$  dex ve  $0 < \tau \leq 13$  milyar yıl aralıklarında, sırası ile, 0.01 dex ve 0.1 milyar yıl adımlarla eş yaş eğrileri



**Şekil 6.** Farklı Galaktik popülasyonlardaki yıldızların Toomre diyagramları (sol paneller), kimyasal düzlemlerde (orta paneller) ve dinamik yörünge parametrelerine göre oluşturulan düzlemlerdeki (sağ paneller) dağılımları. Kırmızı: ince disk, mor: geçiş popülasyonu, mavi: kalın disk, yeşil: halo yıldızlarını temsil etmektedir.

elde edilmiştir. Oluşturulan model setinin adımlarının küçük olması yıldız yaşlarının hassas bir şekilde tayin edilebilmesi için önemlidir.

#### 4 Makine Öğrenmesi Yaklaşımıyla Popülasyon Ayırımı

Çalışmanın amacı makine öğrenmesiyle yeni bir popülasyon ayırımı geliştirmek olduğundan Galaktik popülasyonları tanımlayan kinematik, dinamik, bolluk ve yaş bilgilerini dikkate alan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu verileri kullanabilmek için literatürde popülasyonların birbirinden ayrılması için kullanılan Toomre diyagramı, kimyasal ve dinamik düzlemlere yaş dağılımı eklenerek bütün seçilen örnek için her bir yıldızın ait yedi boyutlu vektörler oluşturulmuştur. Bu yedi boyutlu vektörlerin bütün veri için birleştirilmesi ile yedi boyutlu faz uzayı oluşturulmuştur. Bu faz uzayı üzerinde bir denetimsiz makine öğrenmesi algoritması olan Gauss Karışım Modeli, yani scikit-learn (Pedregosa ve diğ. 2011) kütüphanesi içerisinde GaussianMixtureModel fonksiyonu uygulanmıştır. Bu fonksiyon yardımıyla elde edilen yedi boyutlu faz uzayına dört farklı popülasyonu temsil eden yedi boyutlu Gauss hiperdüzlemleri oturtulmuştur. Bu popülasyonlar ince disk, kalın disk, halo ve ince disk ile kalın diskin her ikisinin de özelliklerini taşıyan, fakat istatistiksel olarak yedi boyutlu uzayda her ikisinden de farklı bir şekilde kendisini gösteren geçiş popülasyonudur. Geçiş popülasyonu literatürde kalın diskin metalce zengin kuyruğu (Bensby ve diğ. 2007) veya yaşlı ince

disk (Hayden ve diğ. 2017) gibi isimlerle çalışmalarda tespit edilmiştir. Fakat, şu ana kadar, net bir ayırım kriteri ortaya konulmamıştır, çünkü bu yapı genellikle popülasyon ayırımı yapıldıktan sonra ayrı bir popülasyon olarak belirlenmeyip var olan bir popülasyona dahil edilmiş ve sonuçlarda bir anomali olarak görülmüştür. Çalışmanın temel amacı Galaksi diskindeki popülasyonları incelemek olduğundan literatürde az görülen bu geçiş popülasyonu da dikkate alınarak yedi boyutlu faz uzayına makine öğrenmesi ile Gaussian hiperdüzlemler oturtularak disk üç alt popülasyona ayrılmıştır.

Popülasyon ayırımı yapıldıktan sonra örnekteki dört popülasyon için Toomre diyagramı (sol panel), kimyasal (orta panel) ve dinamik (sağ panel) düzlemlerdeki dağılımlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Orta paneldeki yatay kesikli çizgi Plevne ve diğ. (2020)'den alınmıştır ve ince disk ile kalın diski ayırmaktadır. Dikey çizgi  $[Fe/H] = -1$  dex olup halo yıldızları ile disk yıldızlarını ayırmak için eklenmiştir. Bu iki çizgi model sonuçlarını kimyasal düzlemlerde diğer çalışmalarla karşılaştırmak amaçlı eklenmiş olup yonteme katkı sağlamamaktadır. Şekil 6'da görüldüğü üzere ince disk popülasyonundan halo popülasyonuna doğru gidildikçe kinematik ve dinamik düzlemlerde saçılmanın arttığı görülmektedir. Bu durum literatürün beklentileri ile uyumludur. Şekil 6'nın orta paneli incelendiğinde ince diskin haloya doğru yavaş bir geçiş olduğu ve bu geçişin metal bolluğunda azalmayla ve  $\alpha$  bolluğunda artışla gerçekleştiği görülmektedir. Orta paneldeki referans çizgileri dikkate

**Çizelge 1.** Popülasyonların kimyasal, kinematik, dinamik ve yaş bilgilerine ait median değerleri.

Popülasyon	[Fe/H] (dex)	[ $\alpha$ /Fe] (dex)	$V_x$ (km/s)	$V_y$ (km/s)	$V_z$ (km/s)	$e_p$	$Z_{max}$ (kpc)	Yaş ( $10^9$ yıl)
İnce Disk	-0.01	0.03	-5.5	240	0.38	0.12	0.39	5.95
Geçiş	-0.05	0.04	-10.7	205.6	-0.23	0.16	0.38	6.85
Kalın Disk	-0.29	0.13	-40.8	208.9	-0.51	0.23	1.09	8.71
Halo	-0.61	0.25	-20.2	104.8	-2.61	0.59	2.76	12.95

alandığında popülasyonların iç içe geçtiği gözlemlenirken, yeni modelin literatürden farklı bir şekilde popülasyon ayrımı yaptığı ve bu iç içe geçme durumunun çok boyutlu uzayda daha iyi ayrılabilirliği sonucuna varılabilir.

## 5 Tartışma ve Sonuç

GALAH ile *Gaia* kataloglarının eşleştirilmesi sonucunda elde edilen örneğe uygulanan, makine öğrenmesi ile yapılan popülasyon ayrımı sonucunda elde edilen parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede metal bolluğu, [ $\alpha$ /Fe] bolluğu, Galaksi merkezli uzay hızları, yörünge parametreleri ve yaş bilgilerinin median değerleri dört popülasyonun her biri için gösterilmiştir. Çizelgeden görülebileceği gibi metalce en zengin popülasyon beklediği gibi ince disk iken, en fakir popülasyon halodur. Bu durum [ $\alpha$ /Fe] bolluğu için tersine dönmektedir. Galaksi merkezi etrafında dönme hızı olan  $V_y$  yine ince diskten haloya doğru, literatürle uyumlu olacak şekilde, azalmaktadır. Bunun temel sebebi popülasyonların, ince diskten haloya doğru, Galaksi merkezine göre uzaklıklarının artmasıdır. Yörünge parametreleri incelendiğinde ince disk yıldızlarının dairesel ve Galaktik düzleme yakın yörüngelerde dolandığı, halo yıldızlarının ise eliptik ve Galaktik düzlemde yükselen yörüngelerde hareket ettiği görülmektedir. Popülasyonların yaşları da ince diskten haloya doğru artmaktadır. Bu sonuçlar en genç popülasyonun ince disk, en yaşlı popülasyonun ise halo olduğunu belirten literatürle uyumludur.

### 5.1 Geçiş Popülasyonu

Geçiş popülasyonunun örnek içerisinde belirgin bir şekilde ayrıştırılması bu çalışmanın en önemli bulgusudur. Bu popülasyonun varlığı literatürde (Bensby ve diğ. 2007; Hayden ve diğ. 2017) farklı çalışmalarda karşımıza çıksa da bu popülasyona ait yıldızlar net bir şekilde seçilememiştir. Bu çalışmada bu seçim işlemi başarılı şekilde sonuçlandırılmış olup, geçiş popülasyonunun ince disk ve kalın diskten net bir şekilde ayrılmıştır. Fakat, Çizelge 1 ve Şekil 6'da görülebildiği gibi her iki popülasyona çok benzemektedir. Geçiş popülasyonunun ince ve kalın disk yıldızlarına benzer özellikler göstermesi sebebiyle bu iki popülasyondan istatistiksel olarak ayrılma durumu tanımlanan yedi boyutlu faz uzayındaki her bir boyut için Kolmogrov-Smirnov testi uygulanarak araştırılmıştır. Uygulanan test sonucunda bütün boyutlarda geçiş popülasyonu ince ve kalın diskten ayrı bir popülasyon olduğu sonucu elde edilmiştir. Yani, geçiş popülasyonunun istatistiksel olarak anlamlı ve bilinen iki popülasyondan da farklı bir popülasyon olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışma GALAH gökyüzü taramasının üçüncü veri salınımından titizlikle seçilen örnek üstünde geliştirilen yeni ayırım yöntemi ile Galaksi diskini başarılı bir şekilde üç ayrı popülasyona ayırarak diske yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Bulunan bu üçüncü yapı literatürde yeni olmasa da, varlığı daha

önce net bir şekilde ortaya konmamıştır. Bu sebeple çalışmada elde edilen bulguların literatürde yeni çalışmalara ilham kaynağı olmasını umuyoruz.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 122F080 numaralı 1002 projesi tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Bensby T., Feltzing S., Lundström I., 2003, *A&A*, 410, 527  
 Bensby T., Feltzing S., Lundström I., Ilyin I., 2005, *A&A*, 433, 185  
 Bensby T., Zenn A. R., Oey M. S., Feltzing S., 2007, *ApJ*, 663, L13  
 Bilir S., Cabrera-Lavers A., Karaali S., Ak S., Yaz E., López-Corredoira M., 2008, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 25, 69  
 Blaauw A., Gum C. S., Pawsey J. L., Westerhout G., 1960, *MNRAS*, 121, 123  
 Bobylev V. V., Bajkova A. T., 2014, *Astronomy Letters*, 40, 783  
 Bovy J., 2015, *ApJS*, 216, 29  
 Bovy J., Bahmanyar A., Fritz T. K., Kallivayalil N., 2016, *ApJ*, 833, 31  
 Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S., Nanni A., 2012, *MNRAS*, 427, 127  
 Buder S., ve diğ., 2021, *MNRAS*, 506, 150  
 Chiappini C., Matteucci F., Gratton R., 1997, *ApJ*, 477, 765  
 Coşkunoğlu B., ve diğ., 2011, *MNRAS*, 412, 1237  
 Eggen O. J., Lynden-Bell D., Sandage A. R., 1962, *ApJ*, 136, 748  
 Freeman K., Bland-Hawthorn J., 2002, *ARA&A*, 40, 487  
 Gaia Collaboration ve diğ., 2021, *A&A*, 649, A1  
 Gilmore G., Reid N., 1983, *MNRAS*, 202, 1025  
 Gilmore G., Wyse R. F. G., 1985, *AJ*, 90, 2015  
 Hayden M. R., ve diğ., 2015, *ApJ*, 808, 132  
 Hayden M. R., Recio-Blanco A., de Laverny P., Mikolaitis S., Worley C. C., 2017, *A&A*, 608, L1  
 Haywood M., 2008, *MNRAS*, 388, 1175  
 Johnson D. R. H., Soderblom D. R., 1987, *AJ*, 93, 864  
 Jørgensen B. R., Lindegren L., 2005, *A&A*, 436, 127  
 Mihalas D., Binney J., 1981, *Galactic astronomy. Structure and kinematics*. W H Freeman and Co  
 Önal Taş Ö., Bilir S., Plevne O., 2018, *Ap&SS*, 363, 35  
 Özdönmez A., Ak T., Bilir S., 2015, *New Astron.*, 34, 234  
 Pedregosa F., ve diğ., 2011, *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825  
 Plevne O., Ak T., Karaali S., Bilir S., Ak S., Bostancı Z. F., 2015, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 32, e043  
 Plevne O., Önal Taş Ö., Bilir S., Seabroke G. M., 2020, *ApJ*, 893, 108  
 Pont F., Eyer L., 2004, *MNRAS*, 351, 487  
 Schönrich R., Binney J., Dehnen W., 2010, *MNRAS*, 403, 1829  
 Searle L., Zinn R., 1978, *ApJ*, 225, 357  
 Sharma S., Hayden M. R., Bland-Hawthorn J., 2021, *MNRAS*, 507, 5882  
 Spitoni E., ve diğ., 2021, *A&A*, 647, A73

## Access:

M23-0316: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.