

Güneş Civarından Seçilmiş Dört Metalce Fakir Yıldızın Galaktik Popülasyon Sınıflandırması

Deniz Cennet Çınar¹  , Selçuk Bilir² 

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

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

Accepted: February 26, 2025. Revised: February 26, 2025. Received: December 5, 2024.

Özet

Bu çalışmada, Güneş civarından seçilmiş metalce fakir yıldızların galaktik popülasyon türleri konumsal, kinematik, dinamik yörünge parametreleri ve kimyasal açıdan dört farklı yöntem ile eş zamanlı olarak araştırılmıştır. Seçilen dört yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfları PolarBase veri tabanından, fotometrik ve astrometrik verileri de *Gaia* DR3 kataloğundan alınmıştır. Dört yıldızın kinematik ve dinamik yörünge parametreleri Bovy (2015)'in geliştirmiş olduğu galpy kodu ve MWPotential2014 potansiyelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızlar için hesaplanan uzay hız bileşenlerine diferansiyel dönme ve LSR düzeltmeleri yapılarak uzay hız bileşenleri bilinen yanlışlıklardan arındırılmıştır. Farklı yöntemler ile eş zamanlı gerçekleştirilen analizler sonucunda Güneş civarındaki metalce fakir yıldızların galaktik popülasyonlarının farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. İncelenen yıldızların atmosfer model parametreleri, element bollukları ve kinematik analiz sonuçları dikkate alındığında bu hibrit yöntem ile gerçekleştirilen galaktik popülasyon ayrımının daha doğru yapıldığı belirlenmiştir. Buna göre HD 22879 ve HD 144579 Galaksi'nin kalın diskine, HD 188510 ve HD 201891'in ise halo popülasyonuna üyeliği tespit edilmiştir.

Abstract

In this study, the Galactic population types of selected metal-poor stars from the solar neighbourhood are investigated simultaneously with four different methods in terms of their spatial, kinematic, dynamical orbital parameters and chemical. High-resolution spectra of the four selected stars were obtained from the PolarBase database, while photometric and astrometric data were obtained from the *Gaia* DR3 catalogue. The kinematic and dynamical orbital parameters of the four stars were calculated using the galpy code developed by Bovy (2015) and the MWPotential2014 potentials. Differential rotation and LSR corrections were applied to the space velocity components calculated for the stars to remove known biases. As a result of the analyses performed simultaneously with different methods, it was found that the Galactic populations of metal-poor stars in the vicinity of the Sun differ. Considering the atmospheric model parameters, element abundances and kinematic analysis results of the stars, it was determined that the Galactic population separation performed by this hybrid method was more accurate. Accordingly, HD 22879 and HD 144579 belong to the thick disc of the Galaxy, while HD 188510 and HD 201891 belong to the halo population.

Anahtar Kelimeler: Galaxy: Solar Neighbourhood, Galaxy: Population Types, Stars: Metal Poor

1 Giriş

Galaksiler, kütle çekimiyle bir arada tutulan ve milyarlarca yıldız, yıldızlararası gaz, toz ile karanlık madde gibi bileşenlerden oluşan karmaşık sistemlerdir. Samanyolu, yaklaşık 400 milyar yıldızla sahip büyük bir çubuklu sarmal galaksi olup, Virgo Kümesi'nde yer alan Yerel Galaksi Grubu'nun bir üyesidir. Samanyolu'nun yapısının ve galaktik popülasyonların incelenmesinde fotometrik, astrometrik ve tayfsal yöntemler kullanılmaktadır. Galaktik yıldız popülasyonları, Samanyolu'ndaki çeşitli yıldız gruplarını ifade eder ve genellikle yaş, metal bolluğu, uzay dağılımı ve kinematik özelliklerine göre sınıflandırılır. Bu galaktik popülasyonların detaylı bir şekilde incelenmesi, Samanyolu'nun oluşumu ve evrimiyle ilgili önemli bilgilerin yanı sıra daha geniş galaktik astronomi alanına ışık tutar. Samanyolu'nun temel olarak şişkin bölge, disk ve halo olmak üzere üç galaktik popülasyonundan oluştuğu bilinmektedir. Farklı

popülasyonların yapılarını, özelliklerini ve evrimsel durumlarını anlamak, Samanyolu'nun kimyasal evrimi ve yıldız oluşumu süreçlerinin incelenmesine olanak sağlar.

Samanyolu'nun kimyasal evrimi, Galaksi evriminin temel bileşenlerinden biridir ve bu evrimin anlaşılması, Galaksi dinamiğinin ve yapısının incelenmesi için önemlidir. Samanyolu'nun kimyasal zenginleşme senaryolarını anlamak ve mevcut olanları sınamak için farklı popülasyonların element bolluklarının ayrıntılı tayfsal analizi gerekmektedir. Galaksi'nin kimyasal evriminin araştırılmasında, özellikle orta tayf türündeki metalce fakir yıldızlar önem taşımaktadır (Grillmair 2006; Belokurov ve diğ. 2007; Kepley ve diğ. 2007). Bu yıldızlar, galaktik yıldız popülasyonlarının oluşum senaryolarının incelenmesinde ve erken evre yıldız evrim modellerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Ancak, halen bu süreçlerin tam olarak anlaşılmadığı ve mevcut galaktik kimyasal evrim modellerindeki karmaşıklığından dolayı daha fazla gözlemsel verinin analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, metalce fakir yıldızların rolü üzerine yapılan araştırmalar, Samanyolu'nun evrimsel geçmişinin anlaşılmasında doğrudan

* denizcdursun@gmail.com

Çizelge 1. İncelenen yıldızların *Gaia* DR3 veri tabanındaki astrometrik ve tayfsal verileri.

Yıldız	α (°)	δ (°)	l (°)	b (°)	V_r (km s ⁻¹)	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yıl ⁻¹)	μ_δ (mas yıl ⁻¹)	ϖ (mas)
HD 22879	55.09	-03.21	189.77	-43.11	120.54±0.13	690.79±0.03	-213.44±0.03	38.32±0.03
HD 144579	241.23	+39.15	62.36	48.27	-59.22±0.12	-570.87±0.02	52.63±0.02	69.64±0.01
HD 188510	298.79	+10.74	49.93	-8.92	-192.23±0.17	-38.39±0.02	290.61±0.01	26.27±0.02
HD 201891	317.99	+17.72	66.70	-20.43	-44.15±0.12	-122.13±0.02	-899.4±0.02	29.87±0.02

katkı sağlamaktadır (Sesar ve diğ. 2007; Klement 2010; Helmi ve diğ. 2017; Li ve diğ. 2019).

Yıldızların temel astrofizik parametrelerini belirlemek için yer ve uzay tabanlı gözlemlerden elde edilen fotometrik, astrometrik ve tayfsal verilerin analizleri yapılmaktadır. Tayfsal analizde, yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal/gürültü (S/N) değerine sahip tayflar kullanılarak yıldızların etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, metal bollukları ve mikrotürbülans hızları gibi model atmosfer parametreleri elde edilir. Ancak, bu yöntem özellikle parlak yıldızlar için göreceli olarak duyarlı sonuçlar sağlarken, sönük yıldızlara gidildikçe ($V \geq 13$ kadar) duyarlılık azalmaktadır. Bu durum, sönük yıldızların özellikle daha düşük çözünürlüklü ve daha düşük S/N değerine sahip tayflarının analizini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, sönük yıldızların daha hassas bir şekilde incelenebilmesi için, farklı analiz yöntemlerinin bir arada kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda, yıldızların tayfsal enerji dağılımlarının analizleri, sönük yıldızların astrofizik özelliklerinin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlar (Vines & Jenkins 2022; Dursun ve diğ. 2023).

Samanyolu'ndaki yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesi, çeşitli parametrelerin bir araya getirilmesini gerektirir ve bu süreç, genellikle istatistiksel ve çoklu astrometrik yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Özellikle, Güneş civarında bulunan metalce fakir yıldızların konumsal verilerine dayalı analizleriyle galaktik popülasyon türünün belirlenmesine yönelik girişimler doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle, yıldızların galaktik popülasyon türlerinin belirlenmesi için, kinematik, dinamik yörünge analizi, yaş tespiti ve tayfsal analiz sonucunda elde edilen farklı veri setlerinin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Detaylı popülasyon analizleri, yıldızların galaktik bileşenlerindeki konumlarını ve kökenlerini daha doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmak ile birlikte Samanyolu'nun kemodinamik evriminin ortaya çıkarılmasını sağlar.

Bu çalışmada, Güneş civarında farklı yöntemler ile analiz edilen metalce fakir dört yıldızın (HD 22879, HD 144579, HD 188510 ve HD 201891) temel astrofizik parametreleri ve galaktik popülasyon türleri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde seçilen yıldızların tayfsal ve astrometrik verileri, üçüncü bölümde analiz yöntemleri ve elde edilen bulgular, son olarak dördüncü bölümde ulaşılan sonuçlar literatürdekiler ile karşılaştırılarak bir tartışma gerçekleştirilmiştir.

2 Veri

Çalışmada Güneş civarındaki metalce fakir yıldızların seçiminde *Gaia* DR3 veri tabanı kullanılmıştır (Gaia işbirliği ve diğ. 2023). *Gaia* uydusu, Galaksi ve galaksi dışı kaynakların görünür parlaklıklarını 3 ile 21 kadir arasında ölçmektedir, bu da milyarlarca yıldızın yanı sıra diğer gök cisimlerinin konumlarını, uzaklıklarını ve hareketlerini belirleme potansiyeline sahiptir. *Gaia* DR3 veri tabanı, farklı alt kategorilere ayrılmıştır;

Çizelge 2. PolarBase kütüphanesinden seçilen dört yıldızın tayf sınıfları, tayfların alındığı tayfçekerler, tayfların S/N oranları, radyal hızları (V_r) ve gözlem tarihleri. Yıldızların tayf türleri tipleri SIMBAD'den elde edilmiştir. Düzeltilmiş PolarBase tayfları, Güneş tayfıyla karşılaştırılarak helyosentrik radyal hızları dikkate alınmıştır.

Yıldız	Tayf Sınıfı	Tayfçeker	S/N	V_r (km s ⁻¹)	Tarih
HD 22879	G0VmF2	Narval	227	120.18	12.11.2010
HD 144579	G8V	ESPaDOs	150	-59.61	12.03.2017
HD 188510	G5V:	Narval	106	-192.72	11.08.2010
HD 201891	G5V	Narval	144	-44.69	16.08.2010

1,811,709,771 veri içeren *gaiadr3.mainsource*, *Gaia* DR3'ün en kapsamlı katalogu olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında incelenen dört yıldızın astrometrik (α , δ , $\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ , ϖ) ve tayfsal (V_r) parametreleri bu veri tabanının sorgulanmasıyla elde edilmiştir (bkz. Çizelge 1). Seçilen dört yıldızın tayf türü GV olup metal bollukları

HD 22879	0 ≤ [Fe/H] (dex) ≤ -0.5
HD 144579	-0.5 ≤ [Fe/H] (dex) ≤ -1
HD 188510	-1 ≤ [Fe/H] (dex) ≤ -1.5
HD 201891	-1.5 ≤ [Fe/H] (dex) ≤ -2

aralığındadır. Bunun ile birlikte, dört yıldızın literatürdeki çalışmaları da dikkate alınmıştır.

Çalışmada G tayf türünde dört anakol yıldızının yüksek çözünürlüklü ve yüksek S/N değerli tayfları PolarBase (Donati ve diğ. 1997; Petit ve diğ. 2014) tayf kütüphanesinden sağlanmıştır. PolarBase kütüphanesindeki yıldız tayflarının çözünürlükleri ve S/N değerleri, $R=76\,000$ ile $200 \leq S/N \leq 400$ arasındadır. Çalışmada incelenen dört yıldızın tayf verilerine ait bilgiler Çizelge 2'de sunulmuştur.

3 Analizler

Samanyolu'ndaki yıldız popülasyonlarının sınıflandırılmasında kullanılan yöntemlerin çeşitliliği, galaktik yapının ve evrim süreçlerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynar. İstatistiksel analizler, bir yıldızın hangi galaktik popülasyona ait olduğunu belirlemede önemli bir araç olmasına rağmen, bazı durumlarda eksikliklere yol açmaktadır. Örneğin, metalce fakir dört yıldızın Güneş civarında bulunması, konumsal analizlerde tam doğru sonuçları vermeyebilir. Bu nedenle, yıldızların galaktik popülasyonlarını belirlemek için konumsal, kinematik, dinamik, yaş ve tayfsal analizlerin bir arada değerlendirilmesinden oluşan kapsamlı bir yöntem benimsenmiştir.

3.1 Konumsal Analiz

Çalışmada incelenen HD 22879, HD 144579, HD 188510 ve HD 201891 yıldızlarının konumsal olarak galaktik popülasyonunu belirlemek için *Gaia* DR3 kataloğundan sağlanan trigonometrik

Çizelge 3. İnce disk, kalın disk ve halo popülasyonları için uzay hız dispersiyonları (σ_U , σ_V ve σ_W) ve bu popülasyonların asimetric sürüklenme hızları ($v_{i,a}$). Bütün değerler km s^{-1} birimindedir.

Popülasyon	σ_U	σ_V	σ_W	$v_{i,a}$
İnce disk (D)	35	20	16	-15
Kalın disk (TD)	67	38	35	-46
Halo (H)	160	90	90	-220

paralaks verileri d (pc)=1000/ ϖ (mas) bağıntısı kullanılarak, sırasıyla, 26.09 ± 0.02 pc, 14.35 ± 0.002 pc, 38.05 ± 0.03 pc ve 33.47 ± 0.02 pc olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 4).

3.2 Kinematik Analiz

Bu çalışmada yıldızların kinematik analizlerinin gerçekleştirilmesi için yıldızların uzay hız bileşenleri ve hataları hesaplanmıştır. Uzun hız bileşenleri diferansiyel galaktik dönme ve yerel durağanlık standardı (LSR) gibi iki temel yanlışlıktan arındırılması gerekmektedir. Yanlılık, sistematik hatalara yol açabilen bir etkidir ve gözlemsel verilerin yorumlanmasında sapmalara neden olabilir. Kinematik analizlerde, diferansiyel galaktik dönme ve LSR gibi etkiler düzeltilmediğinde yıldızların gerçek hareketleri doğru bir şekilde belirlenemez. Bu nedenle, analizlerde bu yanlışlıkların giderilmesi önemlidir. Diferansiyel dönme düzeltmesi için [Mihalas & Binney \(1981\)](#) bağıntıları kullanılırken, LSR düzeltmesinde ise [Coşkunoğlu ve diğ. \(2011\)](#)'nin (U , V , W) $_{\odot} = (8.83 \pm 0.24, 14.19 \pm 0.34, 6.57 \pm 0.21)$ km s^{-1} değerleri dikkate alınmıştır. Bahsedilen kinematik analizler neticesinde dört yıldızın (U , V , W) $_{\text{LSR}}$ uzay hız bileşenleri hatalarıyla birlikte hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 4).

Seçilen yıldızların uzay hızlarına dayalı galaktik popülasyon analizi [Bensby ve diğ. \(2003\)](#) kinematik kriterleriyle gerçekleştirilmiştir. Güneş civarındaki yıldız popülasyonlarını ayırt etmede kullanılan kinematik veriler, özellikle (U , V , W) $_{\text{LSR}}$ olarak ifade edilen uzay hızı bileşenlerine dayalı bir yaklaşım sunmaktadır. [Bensby ve diğ. \(2003\)](#), galaktik ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarını ayırt etmek için bu hız bileşenlerinin Gauss dağılımı sergilediği varsayımına dayanan bir metot geliştirmiştir. Bu metot, ince disk, kalın disk ve halo popülasyonları için (U , V , W) $_{\text{LSR}}$ olarak gösterilen uzay hızı bileşenlerinin Gauss dağılımları sergilediği varsayımına dayanır:

$$P_i(U, V, W) = k \exp \left(-\frac{U_{\text{LSR}}^2}{2\sigma_{i,U}^2} - \frac{(V_{\text{LSR}} - v_{i,a})^2}{2\sigma_{i,V}^2} - \frac{W_{\text{LSR}}^2}{2\sigma_{i,W}^2} \right) \quad (1)$$

burada k değeri, aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmaktadır:

$$k = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \frac{1}{\sigma_{i,U}\sigma_{i,V}\sigma_{i,W}} \quad (2)$$

Bağıntıdaki farklı popülasyonlar için uzay hız dispersiyonları (σ_U , σ_V ve σ_W) ve bu popülasyonların asimetric sürüklenme hızları ($v_{i,a}$) Çizelge 3'te listelenmiştir.

Bir yıldızın Samanyolu'ndaki popülasyon türünü belirlemek için Bağıntı 1'den elde edilen olasılık değerleri, her popülasyonun Güneş civarında bulunma olasılıklarıyla (X) çarpılır. X burada, Güneş civarındaki yıldızların popülasyon oranlarını temsil eden bir katsayıdır. Bu katsayılar ince disk, kalın disk ve halo popülasyonları için, sırasıyla, $X_D=0.9385$,

$X_{TD}=0.06$ ve $X_H=0.0015$ ([Robin ve diğ. 1996](#); [Buser, Rong & Karaali 1999](#)). Kalın diskin, ince disk ve halo'ya kıyasla göreceli olasılıkları aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır:

$$\frac{TD}{D} = \frac{X_{TD}}{X_D} \times \frac{P_{TD}}{P_D} \quad \frac{TD}{H} = \frac{X_{TD}}{X_H} \times \frac{P_{TD}}{P_H} \quad (3)$$

Her popülasyon için farklı hız dağılımları ve asimetric sürüklenme değerleri kullanılarak, yıldızların ince disk, kalın disk veya halo üyeliği olasılığı hesaplanır. Bu metot, her popülasyonun Güneş etrafındaki frekansını dikkate alarak olasılık yoğunluk fonksiyonları üzerinden hesaplama yapar. [Robin ve diğ. \(1996\)](#) tarafından önerilen katsayılar, bu oranların belirlenmesinde kullanılır ve sonuç olarak TD/D değeri yardımıyla yüksek veya düşük olasılıklı ince ve kalın disk yıldızları sınıflandırılır. Bu çalışmada incelenen dört metalce fakir yıldızın uzay hız bileşenleri [Bensby ve diğ. \(2003\)](#)'nin kinematik kriterlerine göre analiz edilmiş ve yıldızların TD/D oranları hesaplanmıştır. Bu analizlere göre HD 22879, HD 144579, HD 188510 ve HD 201891 yıldızlarının TD/D oranları, sırasıyla, 66, 0.015, 1.62×10^{-5} ve 13,111 olarak belirlenmiştir.

3.3 Dinamik Yörünge Parametreleri

Yıldızların Galaksi merkezi etrafındaki dinamik yörünge parametreleri galaktik popülasyonun belirlenmesinde kullanılmaktadır ([Taşdemir & Yontan 2023](#); [Elsanhoury ve diğ. 2024](#); [Taşdemir & Çınar 2025](#)). Bu amaç doğrultusunda [Bovy \(2015\)](#)'nin python dilinde geliştirdiği galpy yazılımı kullanılmıştır. Bu kod Samanyolu için geliştirilen farklı galaktik potansiyel fonksiyonlarını tanımlandığı bir kütüphane içermekte olup, Samanyolu'nun eksen simetrik bir yapıda olduğu varsayımı altında geliştirilen MWPotential2014 çalışmalarda tercih edilmektedir. Yıldızların yörünge analizlerinde Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı $R_{gc}=8$ kpc ([Bovy 2015](#)), yörünge dönme hızı $V_{rot}=220$ km s^{-1} ([Bovy & Tremaine 2012](#)) ve Güneş'in galaktik düzlemde dik uzaklığı da 27 ± 4 pc ([Chen ve diğ. 2000](#)) alınmıştır.

Bu çalışmada yörünge analizleri sonucunda incelenen dört yıldızın Galaksi merkezine en yakın R_a ve en uzak mesafeleri R_p ve Galaksik düzlemde ayrılacakları en büyük uzaklık Z_{max} hesaplanmıştır. Bu veriler dikkate alınarak yıldızların Galaksi merkezinden ortalama uzaklıkları

$$R_m = (R_a + R_p)/2 \quad (4)$$

bağıntısıyla, yörünge basıklıkları da

$$e = (R_a - R_p)/(R_a + R_p) \quad (5)$$

eşitliğiyle tayin edilmiştir. Galaktik yörünge parametrelerinin doğru ve hassas bir şekilde tayin edilebilmesi için yörünge kapalı bir hale getirilmesi gerektiğinden günümüzden 13 Gyl geriye 1 Myıl'lık adımlar ile gidilerek yıldızların galaktik yörüngeleri oluşturulmuştur.

Yıldızların dinamik yörünge parametrelerinden itibaren popülasyon analizlerinin gerçekleştirilmesinde $Z \times R_{gc}$ düzlemi kullanılmıştır. Bu düzlem, yıldızların Galaksi merkezine en yakın ve en uzak bulunduğu konumları göstermek ile birlikte, galaktik düzlemde ayrılabilirlikleri en büyük uzaklığı da belirlemektedir. Çalışmada incelenen dört yıldızın Şekil 1'de gösterilen $Z \times R_{gc}$ düzlemindeki yörüngeleri incelendiğinde, yıldızların bugünkü konumları gösterilmek ile birlikte galaktik yörünge parametreleri galpy koduyla elde edilmiş ve bulgular Çizelge 4'de listelenmiştir.

Yıldızların ortalama galaktik uzaklıkları dikkate alındığında

Çizelge 4. İncelenen dört yıldızın konumsal, kinematik, dinamik yörünge ve kimyasal özelliklerini içeren parametreler ve popülasyon türleri.

	Parametre	HD 22879	HD 144579	HD 188510	HD 201891
Konumsal	d (pc)	26.09±0.02	14.35±0.002	38.05±0.03	33.47±0.02
	Popülasyon Türü	İnce disk	İnce disk	İnce disk	İnce disk
Kinematik	U_{LSR} (km s ⁻¹)	-106.62±0.16	-54.50±0.11	-156.13±0.33	66.38±0.12
	V_{LSR} (km s ⁻¹)	-71.76±0.09	-17.31±0.02	-68.91±0.28	-121.79±0.15
	W_{LSR} (km s ⁻¹)	-34.56±0.15	-0.95±0.08	83.36±0.11	-21.78±0.10
	S_{LSR} (km s ⁻¹)	133.09±0.24	57.19±0.14	189.93±0.45	140.40±0.22
	TD/D	66	0.01	1.62×10 ⁵	13,111
	Popülasyon Türü	Halo	İnce disk	Halo	Halo
Dinamik Yörünge Parametreleri	R_a (pc)	9514	8132	10745	12427
	R_p (pc)	3349	4958	2637	4022
	R_m (pc)	6431	6545	6691	8225
	Z_{max} (pc)	712	161	2289	258
	e	0.48	0.24	0.61	0.51
	Popülasyon Türü	Yaşlı ince disk	Genç ince disk	Kalın disk	Genç ince disk
Kimyasal	[Fe/H] (dex)	-0.78±0.09	-0.65±0.10	-1.47±0.13	-1.02±0.14
	[Mg/Fe] (dex)	0.42±0.07	0.40±0.11	0.36±0.04	–
	[Si/Fe] (dex)	0.25±0.05	0.23±0.07	–	–
	Popülasyon Türü	Kalın disk/Halo	Kalın disk/Halo	Halo	Halo

üç yıldızın Güneş çemberi içerisinde bir yıldızın (HD 201891) ise Güneş çemberinin hemen dışında bir galaktik yörüngeye sahip oldukları tespit edilmiştir. Benzer şekilde yörünge basıklıkları dikkate alındığında ise HD 22879, HD 188510 ve HD 201891'in kalın disk ve halo popülasyonlarına uygun yörüngelerde hareket ettiği, HD 144579'un ise tipik bir ince disk yıldızının yörünge basıklığına sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşın yıldızların galaktik düzlemden ayrılabilirlikleri en büyük uzaklıkları incelendiğinde, HD 188510 dışındaki, üç yıldızın tipik ince disk popülasyonuna benzer yörüngelere sahip olduğu tespit edilmiştir. HD 188510'un ise $Z_{\text{max}}=2289$ pc'lik uzaklığıyla kalın disk popülasyonunun üyesi olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır (Tunçel Güçtekin ve diğ. 2019).

3.4 Kimyasal Analiz

Yüksek çözünürlüklü ve yüksek S/N oranına sahip PolarBase tayflarının analizi sonucunda dört yıldızın tayfında tespit edilen elementlerin bollukları ölçülmüştür. Galaksinin kimyasal evriminin anlaşılmasında alfa ([X/Fe]) ve demir ([Fe/H]) grubu elementlerin bir arada değerlendirilmesi farklı galaktik popülasyonların sınıflanmasında kullanılmaktadır (Fuhrmann 1998; Nissen & Schuster 2010). Yıldız tayflarında ölçülen yüksek alfa bolluğu ve düşük demir bollukları yıldızların kalın disk veya halo popülasyonuna üye olduğunu gösterirken düşük alfa bolluğu ve yüksek demir bolluğuna sahip yıldızların ise ince disk popülasyonunu teslim etmektedir (Bensby ve diğ. 2005). Alfa grubu elementleri içerisinde silisyum ve magnezyum bollukları galaktik popülasyon sınıflamasında iyi bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda program yıldızlarının demir bollukları dışında silisyum ve magnezyum bollukları da ölçülerek kimyasal düzlemler üzerinde popülasyon türleri kinematik kriterler de dikkate alınarak incelenmiştir.

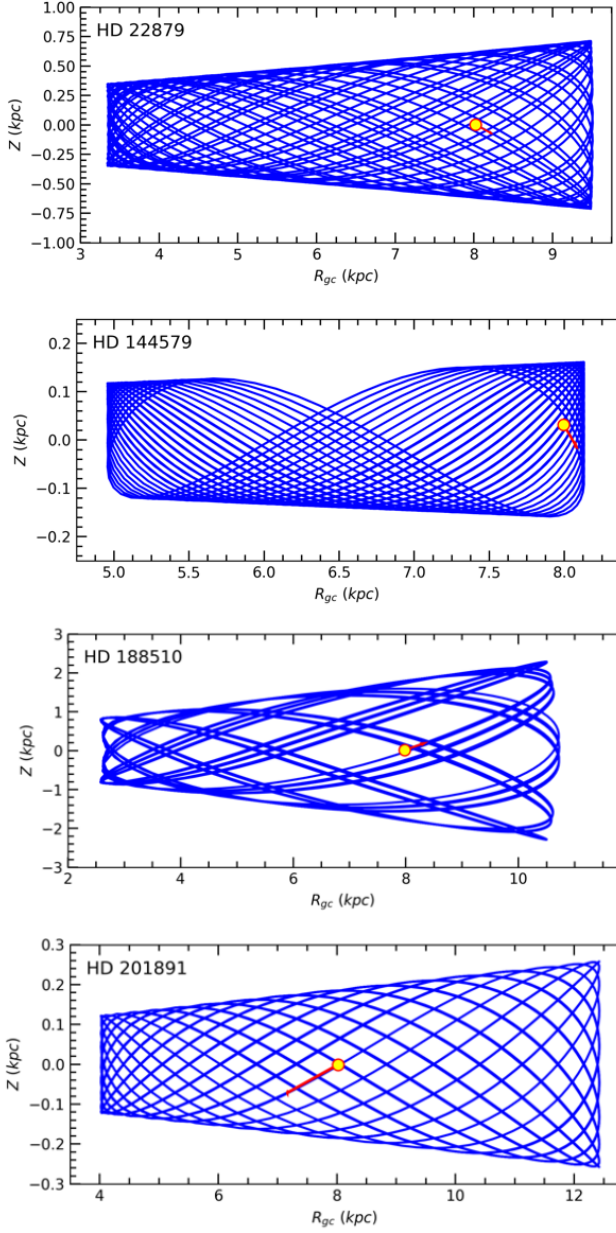
Bu çalışmada, incelenen dört metalce fakir yıldızın PolarBase kütüphanesinden indirilen tayfları yeniden normalize etmek için LIME kodu kullanılmıştır (Şahin 2017). LIME kodu, normalize edilmiş tayflarda çizgi teşhisini kolaylaştırarak Rowland Multiplet Sayısı (RMT), $\log gf$ ve alt seviyedeki uyarılma enerjisi (L.E.P.) gibi atomik veriler sağlamaktadır.

Atomik veriler NIST ve VALD kaynaklarından elde edilmiştir. Belirlenen çizgilerin çoğu, iyi bir izolasyon gösterdiğinden, eşdeğer genişlik (EW) analizine uygun hale gelmiştir. Bu çalışmada, seçilen dört yıldızın bolluk analizi için ATLAS9 model atmosferleri yerel termodinamik denge (LTE) altında hesaplanmıştır (Castelli & Kurucz 2004). Element bollukları hesaplamalarında M00G adlı LTE çizgi analiz yazılımı (Snedden 1973) kullanılmış ve önceki çalışmalardaki yöntemler ile tutarlılık göstermektedir (Şahin & Bilir 2020; Şahin ve diğ. 2023; Marışmak ve diğ. 2024; Şentürk ve diğ. 2024).

Bu çalışmada, alfa grubu elementler olarak bilinen silisyum ve magnezyum bollukları hesaplanmış olup, bu elementler galaktik popülasyonların sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Magnezyum bollukları üç yıldız (HD 22579, HD 144579 ve HD 188510) için iki çizgiden, HD 22879 için silisyum bollukları ise sadece üç çizgiden ve HD 144579 için ise beş çizgiden ölçülmüştür. Ayrıca incelenen yıldızların demir bollukları 29 ile 103 Fe I çizgisinden itibaren hesaplanarak bolluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizleri gerçekleştirilen yıldızların element bollukları Çizelge 4'te verilmiştir.

İncelenen yıldızların kimyasal ve kinematik kriterler altında galaktik popülasyon sınıflamasının yapılabilmesi için Bensby ve diğ. (2014) çalışmasındaki yıldızlar kullanılmıştır. Bensby ve diğ. (2014), Avrupa Güney Gözlemevleri'nin (ESO) çeşitli teleskoplarıyla elde edilen tayflar kullanılarak, Güneş civarındaki 714 F ve G türü cüce yıldızın tayfları analiz edilmiş ve yıldızların detaylı element bollukları (O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni, Zn, Y ve Ba), yaşları, kinematik ve yörünge parametreleri hesaplanmıştır. Bensby ve diğ. (2014)'nin çalışmasında listelenen 714 cüce yıldız, Bensby ve diğ. (2003)'nin kinematik kriterlerine göre $TD/D \leq 1$ ince disk, $1 < TD/D \leq 10$ kalın disk, $TD/D > 10$ halo olarak sınıflandırılmıştır.

Yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesinde, Bensby ve diğ. (2014)'in çalışmasında verilen [Mg/Fe], [Si/Fe] ve [Fe/H] bolluklarıyla kinematik ölçütler dikkate alınmıştır. Bu sınıflandırma çerçevesinde, Bensby ve diğ. (2014) çalışmasındaki yıldızlar ile çalışmada incelenen dört yıldız



Şekil 1. Çalışmada incelenen dört yıldızın Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri. Panellerdeki sarı daire sembolleri yıldızların mevcut konumlarını, kırmızı okların yönü ise yıldızların yörüngelerindeki doğrultularını göstermektedir.

farklı sembol ve renkler ile iki farklı kimyasal düzleme ($[X/Fe] \times [Fe/H]$) işaretlenmiştir. Şekil 2'nin üst panelinde $[Mg/Fe]$, alt panelinde ise $[Si/Fe]$ bollukları gösterilmiştir.

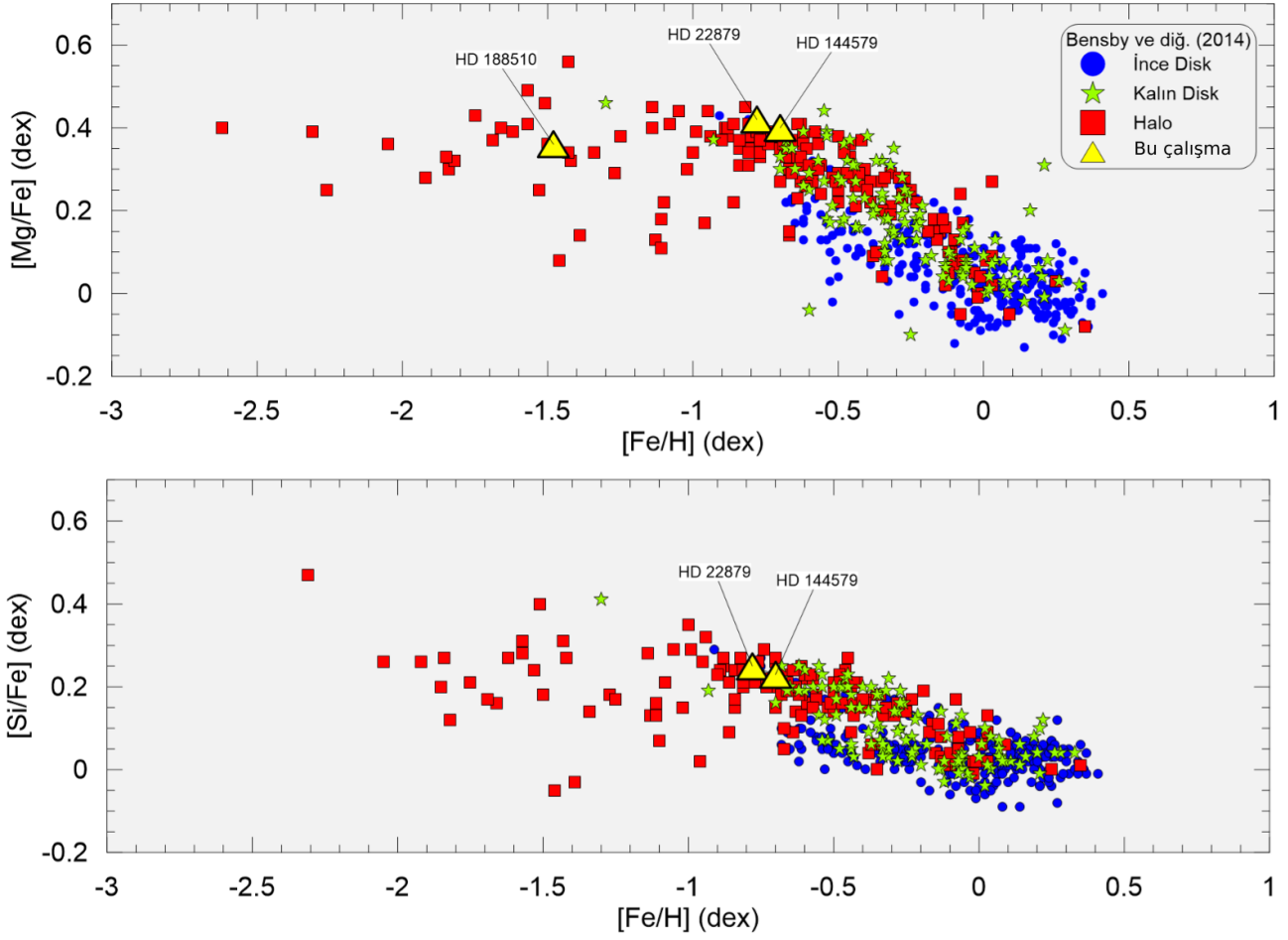
HD 188510 yıldızı hem kinematik hem de kimyasal bolluklar açısından halo popülasyonun bir üyesi olarak görünmektedir. HD 22879 ve HD 144579 yıldızlarının alfa element bollukları açısından kalın disk veya halo popülasyonunda, demir bollukları açısından ise daha çok kalın disk popülasyonunun baskın olduğu bölgede yer aldığı tespit edilmiştir (bkz. Şekil 2). HD 201891 yıldızı ise magnezyum ve silisyum bollukları ölçülemediğinden kimyasal düzlemlere işaretlenememiş fakat demir bolluğu dikkate alındığında

Galaksi'nin halo popülasyonuna ait olduğu belirlenmiştir (bkz. Çizelge 4).

4 Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada incelenen dört yıldızın galaktik popülasyon türleri yıldızların konumsal, kinematik, dinamik yörünge parametreleri ve kimyasal bolluklarına göre belirlenmeye çalışılmıştır. Yıldızların Güneş'e olan uzaklıkları dikkate alındığında (konumsal) dört yıldızın da ince disk popülasyonuna üye olduğu söylenebilir. Gerçekleştirilen kinematik analizlerin sonuçlarıyla [Bensby ve diğ. \(2003\)](#)'nin TD/D değerleri dikkate alındığında ise HD 144579'ın ince disk ($TD/D \leq 1$) ve HD 22879, HD 188510 ve HD 201891'in halo ($TD/D \geq 10$) popülasyonlarına üye oldukları tespit edilmiştir. Öte yandan galaktik yörünge parametreleri belirlenen HD 144579 ile HD 201891 yıldızlarının galaktik düzleme dik doğrultudaki uzaklıklarının 500 pc'i aşamadıkları, buna karşın HD 22879 ve HD 188510 yıldızlarının 750 pc'ten daha büyük uzaklıklara ulaştığı Şekil 1'den görülmektedir. Buna göre, HD 144579 ve HD 201891'in genç ince diske ($Z_{\max} < 500$), HD 22879'un yaşlı ince diske ($Z_{\max} \geq 500$) ve HD 188510'un kalın disk ($Z_{\max} \geq 500$) popülasyonuna üye olabileceği belirlenmiştir ([Dursun ve diğ. 2024](#)). Tayfsal analizler sonucunda alfa ve demir bollukları ölçülen ve [Bensby ve diğ. \(2003\)](#) kinematik kriterlerin dikkate alınması sonucunda HD 22879 ve HD 144579'un kalın disk veya halo popülasyonuna ve HD 188510'un ise halo üyesi olabileceği bulunmuştur. Ayrıca alfa element bolluğu ölçülemeyen HD 201891 yıldızının ise demir bolluğu dikkate alınarak yapılan popülasyon ayrımında halo popülasyonuna üye olabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada incelenen dört yıldızın Güneş'e göre göreceli yakınlıkları, yüksek çözünürlüklü ve yüksek S/N değerlerine sahip tayfların, büyük teleskoplar ve gelişmiş tayfçekerler ile elde edilmesi sayesinde hassas element bollukları analizleri yapılmıştır. Ayrıca, *Gaia* uydusunun gerçekleştirdiği uzay tabanlı fotometrik, astrometrik ve tayfsal gözlemler neticesinde, bu dört sistemin kinematik ve dinamik yörünge parametreleri şimdiye kadar ulaşılmamış bir hassasiyetle hesaplanmıştır. Yer ve uzay tabanlı gözlemlerin birlikte değerlendirildiği bu çalışmada, dört farklı yöntem kullanılarak yapılan galaktik popülasyon analizleri farklı sonuçlar vermiştir. Özellikle sistemlerin Güneş'e yakın olmaları, bu yıldızların konumsal olarak ince diske ait olduklarını gösterirken, Galaksi'deki uzay hızları ve yörüngelerinin belirlenmesi sonucunda metalce fakir olan bu yıldızların kalın disk veya halo popülasyonuna ait olabileceği gösterilmiştir. Ancak, metalce fakir anakol yıldızlarının galaktik popülasyon türlerinin belirlenmesinin sadece tek bir yöntemle dayalı olarak yapılamayacağı bu çalışmada ortaya konmuştur. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için yıldızların element bollukları ve kinematik-dinamik yörünge parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi kısmi bir çözüm sağlamıştır. Metalce fakir dört yıldızın Güneş civarında yer alması oldukça ilginçtir ve bu bölgeye nasıl geldikleri daha büyük bir öneme sahiptir. Yıldızların kökenleri, farklı gök cisimleriyle etkileşimleri neticesinde Güneş çevresine farklı senaryolarla gelmiş olabilir, bu da onların galaktik popülasyon sınıflamalarını daha belirgin hale getirebilir. Çalışmanın bir sonraki adımında, metalce fakir yıldızların köken analizleri, metalce fakir ve zengin küresel kümeler ile Samanyolu'na zayıf çekimsel kuvvetlerle bağlı cüce galaksilerle karşılaştırılarak sonuçlandırılacaktır.



Şekil 2. İncelenen üç yıldızın (sarı üçgen sembolü) kimyasal popülasyon ayrımı. Üst panel $[Mg/Fe]$ bolluğu ve alt panel $[Si/Fe]$ bolluğunu göstermektedir. Bensby ve diğ. (2014) ince disk yıldızlarını mavi daire sembolü, kalın disk yıldızlarını yeşil yıldız sembolü ve halo yıldızlarını ise kırmızı kare sembolü göstermektedir.

Teşekkür

Çalışmamıza yönelik yapıcı yorum ve önerileriyle katkıda bulunan isimlere teşekkür ederiz. Bu çalışma Deniz Cennet Çınar'ın yüksek lisans tez araştırmalarının bir bölümünü kapsamaktadır ve TÜBİTAK 121F265 numaralı projeye desteklenmiştir. Bu bildiri, 2-6 Eylül 2024 tarihlerinde İstanbul Üniversitesi'nde düzenlenen 23. Ulusal Astronomi Kongresi'nde Prof. Dr. Selçuk Bilir, Prof. Dr. Faruk Soyduğan, Prof. Dr. Timur Şahin, Prof. Dr. Cahit Yeşilyaprak ve Doç. Dr. Ebru Devlen'den oluşan ödül jürisinin değerlendirmeleri sonucunda **Türk Astronomi Derneği** (TAD) En İyi Sözlü Bildiri Ödülü'ne layık görülmüştür.

Kaynaklar

- Belokurov, V., Evans, N. W., Bell, E. F., & diğ., 2007, *ApJ*, 657, L89, doi: 10.1086/513144.
 Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, *A&A*, 410, 527, doi: 10.1051/0004-6361:20031213.
 Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2005, *A&A*, 433, 185-203.
 Bensby, T., Feltzing, S., Oey, M. S., 2014, *A&A*, 562, A71, doi: 10.1051/0004-6361/201322631.
 Bovy, J., 2015, *ApJS*, 216, 29, doi: 10.1088/0067-0049/216/2/29.

- Bovy, J., Tremaine, S., 2012, *ApJ*, 756, 89, doi: 10.1088/0004-637X/756/1/89
 Buser R., Rong J., Karaali S., 1999, *A&A*, 348, 98.
 Castelli, F., Kurucz, R. L., 2004, *A&A*, 419, 725-733. DOI: 10.1051/0004-6361:20040079.
 Chen, Y. Q., Nissen, P. E., Zhao, G., Zhang, H. W., Benoni, T., 2000, *A&AS*, 141, 491, doi: 10.1051/aas:2000124.
 Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., & diğ., 2011, *MNRAS*, 412, 1237, doi: 10.1111/j.1365-2966.2010.17983.x.
 Donati, J. F., Semel, M., Carter, B. D., Rees, D. E., Collier Cameron, A., 1997, *MNRAS*, 291, 658, doi: 10.1093/mnras/291.4.658.
 Dursun, D. C., Bilir, S., Şahin, T., Yontan, T., Plevne, O., 2023, *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 4, 97, doi: 10.55064/tjaa.1193792.
 Dursun, D. C., Tasdemir, S., Koc, S., Iyer, S., 2024, *Physics and Astronomy Reports*, 2, 1, doi: 10.26650/PAR.2024.00002.
 Elsanhoury, W. H., Haroon, A. A., Elkholy, E. A., & Çınar, D. C. 2024, *arXiv e-prints*, doi:10.48550/arXiv.2412.07871, arXiv:2412.07871.
 Fuhrmann, K., 1998, *A&A*, 338, 161-183.
 Gaia Collaboration, Vallenari, A., Brown, A. G. A., & diğ., 2023, *A&A*, 674, A1, doi: 10.1051/0004-6361/202243940.
 Grillmair, C. J., 2006, *ApJ*, 651, L29, doi: 10.1086/509255.
 Helmi, A., Veljanoski, J., Breddels, M. A., Tian, H., Sales, L. V.,

- 2017, A&A, 598, A58, doi: 10.1051/0004-6361/201629990.
- Kepley, A. A., Morrison, H. L., Helmi, A., & diğ., 2007, AJ, 134, 1579, doi: 10.1086/521429.
- Klement, R. J., 2010, A&ARv, 18, 567, doi: 10.1007/s00159-010-0034-0.
- Li, H., Du, C., Liu, S., Donlon, T., Newberg, H. J., 2019, ApJ, 874, 74, doi: 10.3847/1538-4357/ab06f4.
- Marismak, M., Şahin, T., Güney, F., Plevne, O., Bilir, S., 2024, Astron. Nachr., 345, e20240047. DOI: 10.1002/asna.20240047.
- Mihalas, D., Binney, J., 1981, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge.
- Petit, P., Louge, T., Théado, S., & diğ., 2014, PASP, 126, 469, doi: 10.1086/676976.
- Petit, P., Glorian, J. M., Stapel, H., Mathias, P., Paletou, F., 2022, in The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, 208, doi: 10.5281/zenodo.7656686.
- Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D. K., Bienayme, O., 1996, A&A, 305, 125, doi: 10.48550/arXiv.astro-ph/9504090.
- Şahin, T., 2017, Turk. J. Phys., 41, 367-376. DOI: 10.3906/fiz-1704-13.
- Şahin, T., Bilir, S., 2020, ApJ, 899, 41. DOI: 10.3847/1538-4357/aba2d2.
- Sahin T., Marismak M., Cinar N., Bilir S., 2023, PARep, 1, 54. doi:10.26650/PAR.2023.00007
- Senturk S., Sahin T., Guney F., Bilir S., Marismak M., 2024, arXiv, arXiv:2410.08270. doi:10.48550/arXiv.2410.08270
- Sesar, B., Ivezić, Ž., Lupton, R. H., & diğ., 2007, AJ, 134, 2236, doi: 10.1086/521819.
- Snedden, C., 1973, ApJ, 189, 493-507. DOI: 10.1086/152828.
- Nissen, P. E., Schuster, W. J., 2010, A&A, 511, L10.
- Taşdemir, S. & Yontan, T. 2023, *Physics and Astronomy Reports*, 1(1), 1. doi:10.26650/PAR.2023.00001, arXiv:2304.14270.
- Taşdemir, S. & Çınar, D.C.: 2025, *arXiv e-prints*, arXiv:2501.17235. doi:10.48550/arXiv.2501.17235.
- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., 2019, Advances in Space Research, 63, 1360, doi: 10.1016/j.asr.2018.10.041.
- Vines, J. I., Jenkins, J. S., 2022, MNRAS, 513, 2719, doi: 10.1093/mnras/stac956.

Access:

M25-0304: **Turkish J.A&A** — Vol.6, Issue 3.