

F-G Tayf Türü Anakol Yıldızları için Yeni Fotometrik Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu

Mürvet ÇELEBİ¹ , Selçuk BİLİR² , Serap AK² , Tansel AK² ,
Zahide Funda BOSTANCI GÜVER² , Talar YONTAN¹ 

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, İstanbul, Türkiye

ORCID: M.Ç. 0000-0001-6016-0143; S.B. 0000-0003-3510-1509; S.A. 0000-0002-0912-6019; T.A. 0000-0002-0688-1983;
Z.F.B.G. 0000-0002-5665-3452; T.Y. 0000-0002-5657-6194

ÖZ

Çalışmada, *UBV* fotometrisi için Güneş civarından seçilen tayfsal, fotometrik ve astrometrik verileri duyarlı belirlenmiş F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları oluşturulmuştur. Kalibrasyon yıldızlarının seçiminde etkin sıcaklıkları $5300 < T_{\text{eff}} < 7300$ K, yüzey çekim ivmeleri $\log g \geq 4$ (cgs) ve renk indeksleri $0.3 < (B-V)_0 < 0.8$ kadir aralığındaki 504 F ve G tayf türünden anakol yıldızları kullanılmıştır. Yıldızların M_V mutlak parlaklıklarının hesaplanmasında rölatif paralaks hataları $\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$ olan *Gaia* DR2 verileri tercih edilmiştir. Yıldızların $(U-B)_0$ ve $(B-V)_0$ renk indekslerine duyarlı kalibrasyonların oluşturulmasında ikinci dereceden çok değişkenli denklem formunun kullanılması tercih edilmiştir. Oluşturulan metal bolluğu kalibrasyonu $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.5$ dex ve mutlak parlaklık kalibrasyonu da $2.5 < M_V < 6$ kadir aralığındaki anakol yıldızları için geçerlidir. Her iki kalibrasyondan hesaplanan veriler ile orijinaleri arasındaki farklarının ortalamaları ve standart sapmaları, sırasıyla, $\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.00 \pm 0.11$ dex ve $\Delta M_V = 0.00 \pm 0.22$ kadirdir. Literatürdeki diğer kalibrasyonlar ile karşılaştırıldığında bu çalışmadaki kalibrasyonların güncel metal bolluğu ve mutlak parlaklık değerlerinin daha duyarlı tayin edildiği gösterilmiştir.

1. Giriş

Samanyolu'nun yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasında duyarlı fotometrik, tayfsal ve astrometrik verileri bulunan farklı ışımaya gücündeki yıldızların önemi büyüktür. Özellikle F ve G tayf türünden anakol yıldızları uzun ömürlü ve oluştukları molekül bulutunun kimyasal özelliklerini yansıttıklarından Galaktik arkeoloji araştırmalarında tercih edilmektedir.

Submitted/Başvuru: 27.09.2019 Accepted/Kabul: 31.01.2020

Corresponding author/Sorumlu yazar: Mürvet Çelebi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. E-mail: murvet.celebi@istanbul.edu.tr

Citation/Atf: Çelebi ve diğ. 2021, in: F-G Tayf Türü Anakol Yıldızları için Yeni Fotometrik Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu, eds. S. Ak & S. Bilir, *Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book*, 167.
<https://doi.org/10.26650/PB/PS01.2021.001.019>

Samanyolu'nun kimyasal evriminin araştırılmasında yıldızların metal bolluklarıyla birlikte uzaklıklarının da bilinmesi gerekmektedir. Güneş civarındaki yıldızların uzaklıkları trigonometrik paralaks yöntemiyle hesaplanırken, daha uzaktakiler için fotometrik paralaks yöntemi tercih edilmektedir. *Gaia* uydusunun göreve başlamasından itibaren geçen 22 aylık döneme ait verilerin astronomlara sunulmasıyla *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. *Gaia* DR2 verileri analiz edildiğinde *G* bandında limit görünen parlaklıkları $G = 15$, $G = 17$, $G = 20$ ve $G = 21$ kadirlerindeki yıldızların trigonometrik paralakslarındaki belirsizlikler (σ_π), sırasıyla, 0.04, 0.1, 0.7, 2 mas olarak verilmektedir (*Gaia* işbirliği, 2018). Bu da sönük yıldızlara gidildikçe belirsizliklerin büyüdüğünü göstermektedir. Bu çalışmada, Güneş civarında tayfsal çözünürlüğü yüksek, fotometrik ve astrometrik verileri duyarlı F ve G tayf türünden anakol yıldızları için fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulması, *Gaia* DR2'nin (*Gaia* işbirliği, 2018) bir tamamlayıcısı olma niteliği taşımaktadır.

2. Veriler

Metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilmesinde literatürde duyarlı tayfsal, astrometrik ve fotometrik verileri bulunan yıldızlara öncelik verilmiştir. Bu kapsamda, tayfsal çalışmaları bulunan 12 araştırma grubunun (*Boesgaard ve diğ.*, 2011; *Nissen ve Schuster*, 2011; *Ishigaki ve diğ.*, 2012; *Mishenina ve diğ.*, 2013; *Molenda-Zakowicz ve diğ.*, 2013; *Bensby ve diğ.*, 2014; *da Silva ve diğ.*, 2015; *Sitnova ve diğ.*, 2015; *Brewer ve diğ.*, 2016; *Maldonado ve Villaver*, 2016; *Luck*, 2017; *Delgado Mena ve diğ.*, 2017) literatüre kazandırdığı veriler kullanılmıştır. 12 araştırma grubundan elde edilen toplam yıldız sayısı 5756 olup, F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının seçiminde tayfsal ve astrometrik verilere sınırlamalar getirilmiştir ($5300 < T_{\text{eff}} < 7300$ K, $\log g \geq 4$ (cgs), $0 < \sigma_\pi/\pi \leq 0.1$). Tayfsal sınırlamalara uygun olan 2959 anakol yıldızının literatürdeki *UBV* verileri araştırılmış ve 1377 yıldızın *UBV* parlaklıklarına ulaşılmıştır. Yıldızlar maruz kaldıkları Galaktik gaz ve tozun etkisinden *Schlafly ve Finkbeiner'in* (2011) toz haritalarından yararlanılarak arındırılmıştır. Oluşturulan yıldız örneğinin fotometrik verilerine de $0.3 < (B-V)_0 < 0.8$ kadir sınırlaması getirilmiştir. Ayrıca Simbad veritabanı¹ üzerinde değişen, kromosferik aktif, zonklama yapan vb. yıldızlar örnekten çıkarıldığında, kalibrasyonlarda kullanılmak üzere toplam 504 anakol yıldız seçilmiştir.

3. Yöntem

3.1. Metal Bolluğu Kalibrasyonu

Fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun oluşturulmasında; tayfsal, astrometrik ve fotometrik verileri duyarlı 504 F ve G tayf türünden anakol yıldız kullanılmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının $(U-B)_0$ ve $(B-V)_0$ renk indeksleriyle tayfsal metal bolluğu verileri arasında bağıntı (1) kabul edilerek, çoklu regresyon yöntemiyle değişkenlerin parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler ve hataları Tablo 1'de listelenmiştir.

$$[\text{FeH}] = a_1 (U-B)_0^2 + b_1 (B-V)_0^2 + c_1 (U-B)_0 \times (B-V)_0 + d_1 (U-B)_0 + e_1 (B-V)_0 + f_1 \quad (1)$$

Tablo 1: Bağıntı (1)'deki katsayılar ve hataları. Hatalar parantez içinde verilmiştir.

Katsayı	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1	f_1
Değer	-4.7503	-8.395	2.141	5.236	3.775	0.1597
	(0.7624)	(1.476)	(1.062)	(1.118)	(1.575)	(0.0418)

¹ <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Bağıntı (1)'in korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, $R^2 = 0.932$ ve $\sigma = 0.11$ dex'tir. Hesaplanan fotometrik metal bolluğu değerlerinin ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{est}}$) tayfsal metal bolluklarıyla ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{org}}$) karşılaştırılması ve bu metal bollukları arasındaki farklar ($\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{org}} - [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{est}}$) Şekil 1'de gösterilmiştir. Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntemden hesaplanan metal bolluğu değerleri arasındaki farkların ortalamasıyla standart sapma değeri, sırasıyla, $\langle[\text{Fe}/\text{H}]\rangle = 0.00$ ve $\sigma_{([\text{Fe}/\text{H}])} = 0.11$ dex'tir. Şekil 1'in üst panelinde dağılımın bire-bir çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve metal bolluğu farklarındaki saçılmanın da oldukça küçük olduğu görülmektedir. Şekil 1'in alt panelinde çoğu kalibrasyon yıldızının $\pm 1\sigma$ standart sapma değerleri arasında yer aldığı görülmüştür.

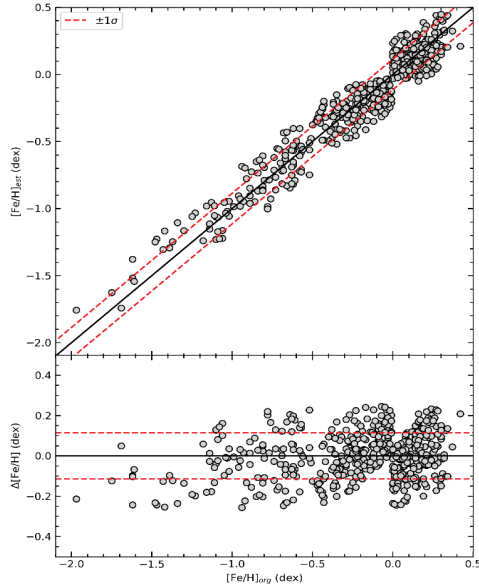
3.2. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu

UBV fotometrik sisteminde mutlak parlaklık (M_V) kalibrasyonunun oluşturulmasında F ve G tayf türünden seçilen 504 anakol yıldızı kullanılmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklıkları *Gaia* DR2'deki trigonometrik paralaks verilerinin ([Gaia işbirliği, 2018](#)) uzaklık modülü bağıntısında kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının $(U-B)_0$ ve $(B-V)_0$ renk indeksleriyle trigonometrik paralaks verilerinden hesaplanan M_V mutlak parlaklıkları arasında bağıntı (2) kabul edilerek, çoklu regresyon yöntemiyle değişkenlerin parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler ve hataları Tablo 2'de listelenmiştir.

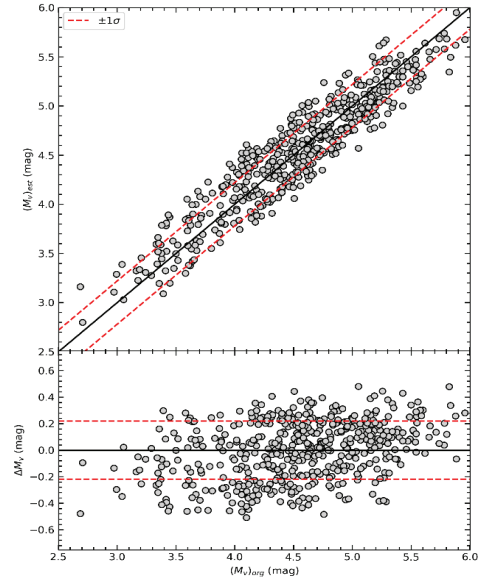
$$M_V = a_2(U - B)_0^2 + b_2(B - V)_0^2 + c_2(U - B)_0 \times (B - V)_0 + d_2(U - B)_0 + e_2(B - V)_0 + f_2 \quad (2)$$

Tablo 2: Bağıntı (2)'deki katsayılar ve hataları. Hatalar parantez içinde verilmiştir.

Katsayı	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2	f_2
Değer	4.382	17.242	-10.620	0.547	-7.885	3.4576
	(1.477)	(2.861)	(3.996)	(0.167)	(3.052)	(0.8104)



Şekil 1. 504 kalibrasyon yıldızının fotometrik metal bolluklarıyla tayfsal metal bollukları arasındaki dağılım (üst panel). Siyah düz çizgi bire-bir çizgisini, kesikli kırmızı çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapmaları gösterir. Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntemden belirlenmiş metal bolluğu farkları (alt panel).



Şekil 2. 504 kalibrasyon yıldızının bağıntı (2) ile belirlenen mutlak parlaklıklarıyla *Gaia* DR2 kataloğundaki trigonometrik verilerden hesaplanan mutlak parlaklıklarının dağılımı (üst panel). Siyah düz çizgi bire-bir çizgisini, kesikli kırmızı çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapmaları gösterir. Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntemden belirlenmiş mutlak parlaklık farkları (alt panel).

Bağıntı (2)'nin korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, $R^2 = 0.869$ ve $\sigma = 0.22$ kadirdir. Hesaplanan mutlak parlaklık değerlerinin ($(M_V)_{\text{est}}$) *Gaia* DR2'deki (*Gaia* işbirliği, 2018) trigonometrik paralaks verilerinden belirlenen mutlak parlaklıklar ile ($(M_V)_{\text{org}}$) karşılaştırılması ve iki farklı yöntemden elde edilen mutlak parlaklıklar arasındaki farklar ($\Delta M_V = (M_V)_{\text{org}} - (M_V)_{\text{est}}$) Şekil 2'de gösterilmiştir. Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntemden hesaplanan mutlak parlaklık değerleri arasındaki farkların ortalamasıyla bu farkların standart sapma değeri, sırasıyla, $\langle M_V \rangle = 0.00$ ve $\sigma_{\langle M_V \rangle} = 0.22$ kadirdir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, *UBV* fotometrisi için F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının literatürden derlenen duyarlı tayfsal, fotometrik ve astrometrik verileri kullanılarak fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarının hesaplanabilmesi için yeni kalibrasyonlar elde edilmiştir. Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulmasında yıldızların fotometrik verileri, tayfsal yöntemler ile belirlenen [Fe/H] metal bolluğu ve astrometrik yöntemler ile tayin edilen trigonometrik paralaksları arasında bir köprü vazifesi görececek çok değişkenli çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Yeni ve duyarlı kalibrasyonların anakol yıldızlarına uygulanmasıyla metal bollukları ve uzaklıkları tayin edilebilir ve Galaksimizin oluşum ve evriminin araştırılmasında dikkate alınan metal bolluğu hesaplamalarında kullanılabilir. Bununla birlikte, açık ve küresel kümeye üye yıldızların metal bollukları belirlenerek kümelerin ortalama metal bolluklarının ve uzaklıklarının tayin edilmesinde tercih edilebilir (Karaali ve diğ., 2003; Siegel ve diğ., 2009; Yontan ve diğ., 2015; Ak ve diğ., 2016; Bilir ve diğ., 2016; Bostancı ve diğ., 2015, 2018).

Kaynaklar

- Ak, T., Bostancı, Z.F., Yontan, T., Bilir, S., Güver, T., Ak, S., Ürgüp, H., Paunzen, E., 2016, *Ap&SS*, 361, 126
Bensby, T., Feltzing, S., Oey, M.S., 2014, *A&A*, 562, A71
Bilir, S., Bostancı, Z.F., Yontan, T. ve diğ., 2016, *AdSpR*, 58, 1900
Boesgaard, A.M., Rich, J.A., Levesque, E.M., Bowler, B.P., 2011, *ApJ*, 743, 140
Bostancı, Z.F., Ak, T., Yontan, T. ve diğ., 2015, *MNRAS*, 453, 1095
Bostancı, Z.F., Yontan, T., Bilir, S. ve diğ., 2018, *Ap&SS*, 363, 143
Brewer, J.M., Fischer, D.A., Valenti, J.A., Piskunov, N., 2016, *ApJS*, 225, 32
Delgado Mena, E., Tsantaki, M., Adibekyan, V.Zh. ve diğ., 2017, *A&A*, 606A, 94
da Silva, R., Milone, A.C., Rocha-Pinto, H.J., 2015, *A&A*, 580, 24
Gaia işbirliği, Brown, A.G.A., Vallenari, A. ve diğ., 2018, *A&A*, 616, 22
Ishigaki, M.N., Chiba, M., Aoki, W., 2012, *ApJ*, 753, 64
Karaali, S., Karataş, Y., Bilir, S., Ak, S.G., Hamzaoğlu, E., 2003, *PASA*, 20, 270
Luck, R.E., 2017, *ApJ*, 153, 21
Maldonado, J., Villaver, E., 2016, *A&A*, 588, 98
Mishenina, T.V., Pignatari, M., Korotin, S.A. ve diğ., 2013, *A&A*, 552A, 128
Molenda-Zakowicz, J., Sousa, S.G., Frasca, A. ve diğ., 2013, *MNRAS*, 434, 1422
Nissen, P.E., Schuster, W.J., 2011, *A&A*, 530A, 15
Schlafly, E.F., Finkbeiner, D.P., 2011, *ApJ*, 737, 103
Siegel, M.H., Karataş, Y., Reid, I.N., 2009, *MNRAS*, 395, 1569
Sitnova, T., Zhao, G., Mashonkina, L. ve diğ., 2015, *ApJ*, 808, 148
Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z.F. ve diğ., 2015, *Ap&SS*, 355, 267