

FOTOMETRİK SİSTEMLERİN KALİBRASYONU

Yüksel Karataş¹, William .J. Schuster²

Özet

F, G ve erken K tipi anakol ve dönüm noktası yıldızlarının gittikçe artan sayıda yüksek çözünürlüklü spektroskopik metal bollukları, Hipparcos paralaksarı ve uydu kızarma değerleri [1], Strömngren $uvby-H_{\beta}$ fotometrisi verileri ile birleştirilerek oluşturulan veri tabanından itibaren $uvby-H_{\beta}$ fotometrik indeksler m_1 , c_1 , $(b-y)$, β ile $(b-y)_o$, $[Fe/H]_{spec}$ ve M_v astrofiziksel parametreleri arasında kalibrasyonlar elde edilmiştir. Hipparcos relatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ ve $E(B-V) < 0.03$ olan 510 cüce ve dönüm noktası yıldız için $(b-y)_o$ ile m_1 , c_1 , β fotometrik indisler arasında 8 terimli $\beta - (b-y)_o$ bağıntısı elde edilmiştir. 131 F ile 246 G ve erken K tipi yıldızın m_1 , c_1 , $(b-y)$ fotometrik indeksleri ile Spektroskopik metal bolluğu $[Fe/H]_{spec}$ arasında elde edilen metal bolluğu bağıntıları ± 0.17 dispersiyon değeri ile spektroskopik bolluklar ile uyum içerisindedir. Hipparcos paralaksarından elde edilen M_v mutlak kadir ile m_1 , c_1 , $(b-y)$ fotometrik indeksleri arasında 550 yıldız için 17 terimli mutlak kadir bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntı ± 0.22 dispersiyon değeri ile $0.279 \leq (b-y) \leq 0.728$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.757$, $0.088 \leq c_1 \leq 0.504$, $2.486 \leq \beta \leq 2.668$, $2.60 \leq M_v \leq 7.84$ aralığında geçerlidir.

Mevcut veri tabanından itibaren UBV fotometri sisteminde, cüce ve dönüm noktası yıldızları için M_v ile $(B-V)$, $\delta_{0.6}$ arasında bir hibrid kalibrasyon oluşturulmuştur [2]. Yıldızlar halosuna ait tipik renk indeksi olan $B-V = 0.70$ değerinde, Hipparcos paralaksarı Hyades'e göre $\Delta M_v^H(B-V)$ farkını 1.37 olarak vermektedir. Bu fark, yer tabanlı paralaksara dayandırılan [3] e ait çalışmada 1.58 olarak verilmiştir. Genelde, Hipparcos paralaksarı yer tabanlı paralaks değerlerinden büyük olmakta ve daha sönük mutlak kadirler vererek, $\Delta M_v^H(B-V) < 0.1$ ve $\delta_{0.6} < 0.18$ aralığında, Hipparcos'a ait $\Delta M_v^H(B-V) - \delta_{0.6}$ bağıntısının LCL88 e ait bağıntıdan sapmasına neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler : fotometri , mutlak kadir, morötesi artışı, Galaksimiz

Abstract

Calibrations of $uvby-H_{\beta}$ are presented here for intrinsic colour $(b-y)_o$, metallicity ($[Fe/H]_{spec}$) and absolute magnitude (M_v) in terms of m_1 , c_1 , $(b-y)$, β , making use of high-resolution spectroscopic abundances, Hipparcos parallaxes, reddenings of Schlegel et al. (1998) for F, G and early K type dwarf and turn-off stars. An intrinsic colour $(b-y)_o - \beta$ relation is constructed between photometric indices m_1 , c_1 , β and $(b-y)_o$ from 510 dwarf and turn-off stars with $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ and $E(B-V) < 0.03$. The metal abundance $[Fe/H]$ relations derived for 131 F and 246 G and early K type stars respectively are in good agreement with the spectroscopic metal abundances, $[Fe/H]_{spec}$, as can be seen in Fig.6. Absolute magnitude M_v relation constructed between Hipparcos-based absolute magnitudes and photometric indices m_1 , c_1 , $(b-y)$ contain 17 terms with a dispersion ± 0.22 , and valid for the ranges of $0.279 \leq (b-y) \leq 0.728$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.757$, $0.088 \leq c_1 \leq 0.504$, $2.486 \leq \beta \leq 2.668$ and $2.60 \leq M_v \leq 7.84$.

¹ İ.Ü. Fen Fak. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt, İstanbul, karatas@istanbul.edu.tr

² Observatorio Astronomico Nacional (UNAM), Ensenada, B.C., Mexico, schuster@astro.unam.mx

For dwarf and turn-off stars, a new hybrid M_V calibration for UBV photometry is also presented, based on Hipparcos parallaxes with $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$ and with a dispersion of ± 0.24 in M_V . This hybrid M_V calibration contains $\delta_{0.6}$ and $(B-V)$ terms, plus higher-order cross terms of these, and is valid for the ranges of $0.37 \leq (B-V) \leq 0.88$, $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$, and $3.44 \leq M_V \leq 7.23$. For dwarf and turn-off stars, the relation for ΔM_V^H revised and updated in terms of $(B-V)$ and $\delta_{0.6}$, for the ranges of $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$, and $0.49 \leq (B-V) \leq 0.89$, again making use of Hipparcos parallaxes with $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$. These parallaxes for metal-poor dwarf and turn-off stars in our sample reveal that the difference of $\Delta M_V^H(B-V)$ relative to Hyades at $(B-V) = 0.70$ should be 1.37, instead of the 1.58 given by Laird et al.~(LCL88). In general, Hipparcos parallaxes are larger than ground-based ones, causing a divergence of our $\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6})$ relation (the solid line in Fig.~13b), from the one of LCL88 (the dashed line) for the range , $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$; our absolute magnitudes are fainter, as has been confirmed for local subdwarfs by Reid

Key words: photometry, absolute magnitude, ultraviolet excess, the Galaxy

1. Giriş

F ve G tipi anakol ve dönüm noktası yıldızlarının gittikçe artan sayıda yüksek çözünürlüklü spektroskopik metal bollukları, Hipparcos paralaksları ve [1] e ait uydu kızarma değerleri, Strömgren $uvby-H_\beta$ fotometrisi verileri ile birleştirilerek bir veri tabanı oluşturulmuş ve $uvby-H_\beta$ fotometrik indeksler m_1 , c_1 , $(b-y)$ ile kızarmadan bağımsız indeks β , $[Fe/H]_{\text{spec}}$ ve M_V astrofiziksel parametreleri arasında kalibrasyonlar elde edilmiştir.

Bu kalibrasyonlar, galaktik diskte F ve G cüce ve dönüm noktası yıldızlarının gözlemsel yaş-metal bolluğu bağıntısı ([4], [5], [6]), G cüce problemi ve metal bolluğu dağılımının ortaya çıkarılmasında etkin bir şekilde kullanılacaktır.

Galaksimizde CCD UBV fotometrik taramalardan yıldız popülasyonlarının uzaklık ve metal bolluğunu elde etmek için, $[Fe/H]$ ve M_V nin $\delta_{0.6}$ ya göre güvenilir kalibrasyonlarına gereksinim vardır. $(U-B, B-V)$ iki renk diyagramında Hyades anakoluna göre [7] tarafından tanımlanan ve kalibre edilen $\delta_{0.6}$ morötesi artığı, Galaksimizdeki yıldız ve kümelerin metal bolluklarını çıkarmada fotometrik bir parametre olarak kullanılmaktadır. $0.4 \leq (B-V) \leq 0.8$ renk indeksi aralığında cüce, altcüce ve altdev yıldızları için $(U-B, B-V)$ iki renk diyagramında yıldızların dağılımında sıfır metal bolluğuna uyan bir maksimum renk indeksi olan $(B-V) = 0.6$ renk indeksine göre bir kalibrasyon verilmiştir ([8]). Bu alanda gözlemsel diğer kalibrasyonlar [9] ve [10] tarafından yayınlanmıştır. $[Fe/H]$ ile $\delta_{0.6}$ arasında sentetik bir kalibrasyon ise [11] tarafından yapılmıştır.

$\delta_{0.6}$ ve $(B-V)$ nin bir fonksiyonu olarak $\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6})$ kalibrasyonu yer tabanlı paralaks verilerinden itibaren [3] tarafından verilmiştir. Metal bolluğu bilgisi olmadan

$(B-V)$ tek başına mutlak kadirin (M_V) bir fonksiyonu olamaz. Ne var ki, [8] ve LCL88 tarafından oluşturulan kalibrasyonlar sınırlı sayıda yer tabanlı paralakslara, eski spektroskopik $[Fe/H]_{\text{spec}}$ metal bolluklarına dayandırılmıştır. Hipparcos paralaksları [1] e ait kızarma haritaları ve artan sayıda yüksek çözünürlüklü spektroskopik $[Fe/H]_{\text{spec}}$ bolluklar sayesinde

M_V nin $\delta_{0.6}$ ya göre iki takım kalibrasyonları oluşturulmuştur. Bunlardan biri $\delta_{0.6}$ ve $B-V$ nin bir fonksiyonu olarak M_V hibrid ile LCL88 stilinde $\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6})$ kalibrasyonlarıdır.

2. Veri

2.1. uvby-H β fotometrisi

uvby- H β fotometrisinin $(b-y)_0$ - H β , M_V , [Fe/H] kalibrasyonu için iki veri seti oluşturulmuştur. İlk kalibrasyon seti için, [12] (SN), [13], [14], [15] e ait kataloglardaki veriler bir araya getirilmiştir. [12] ye ait katalogdaki "(N,D), (N, D*), (S, D), (S, D*), (N/S, D), (N/S, D*), (S, HM), R, R?" gibi ifadeleri içeren yıldızlar kataloglarından çıkarılmıştır.

[13] (SPC) e ait katalogdaki 553 yıldızdan, "++" sembolü içeren kırmızı altdev veya dev yıldızlar ile "+" sembolü içeren fakat $(b-y) < 0.50$ olan kırmızı yıldızlar çıkarılmıştır

[15] (446 yıldız; SPG) a ait katalogda tekrarlayan SN ve SPC ye ait yıldızlar yerine, SPG ye ait yıldızların fotometrik gözlemleri tercih edilmiştir. SPG katalogundan "++" sembole sahip yıldızlar çıkarılmıştır. SPG katalogunda "faint star (just) outside diaphragm" işaretine sahip yıldızlar ise katalogta tutulmuştur. [14] e ait metalce fakir yıldızlardan ibaret katalogdan ise 250 yıldız alınmıştır. Özetle, SN, SPC, SPG ve [14], [15] e ait kataloglarda toplam 1475 yıldızın uvby-H β fotometrisi bir araya getirilmiştir. 1475 yıldızın uvby- H β fotometri aralığı, $0.159 \leq (b-y) \leq 0.728$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.757$, $0.088 \leq c_1 \leq 0.842$, $2.486 \leq \beta \leq 2.792$ şeklindedir.

İkinci kalibrasyon seti [16a], [16b], [16c] nin uvby- H β fotometrik gözlemlerinin birleştirilmesinden oluşturulmuştur. [16] tarafından oluşturulmuş F ve G yıldızlarından ibaret katalog 30 465 yıldız içermektedir. Bu katalogdan fotometrinin diyaframında iki veya daha fazla yıldızın ölçüldüğü ve de "AB", "AC", "ABC", "BC", "AD", "CDE" sembolleri ile gösterilen yıldızlar çıkarılmıştır. Oysa, "A", "B", "C", "D" sembolleri ile gösterilen yıldızlar katalogda tutulmuştur. Böylelikle, [16] ya ait katalogda 10076 yıldız kalibrasyon amaçları için seçilmiştir.

2.2. Spektroskopik Metal ([Fe/H]) Bollukları

Spektroskopik metal ([Fe/H]) bolluğu verilerinin elde edilmesinde [17] ye ait katalog ile literatürdeki yüksek çözünürlüklü spektroskopik [Fe/H] verilerinden yararlanılmıştır.

2.3. Paralaks ve Galaktik Koordinatlar

uvby-H β ve UBV fotometrisinin kalibrasyonlarının elde edilmesinde güneş civarındaki yıldızlara sınırlandırma koyabilmek için veri tabanımızda bulunan yıldızların Hipparcos paralaks (π) ve hatası (σ_π) ile Galaktik enlem (b), SIMBAD veri tabanından yararlanmak sureti ile toplanmıştır. Hipparcos paralaks verisi ayrıca mutlak kadir hesabında da kullanılmıştır. Böylelikle paralaksları mevcut 988 yıldızdan, relative paralaksı $\sigma_\pi / \pi \leq 0.10$ olan 596 yıldız kalibrasyonda kullanılmıştır.

Olsen'in fotometrik gözlemlerine dayanan 10 076 yıldızın Hipparcos paralaks ve hatası [5] e ait katalogda hazır olduğu için doğrudan alınmıştır.

2.4. Kızarma

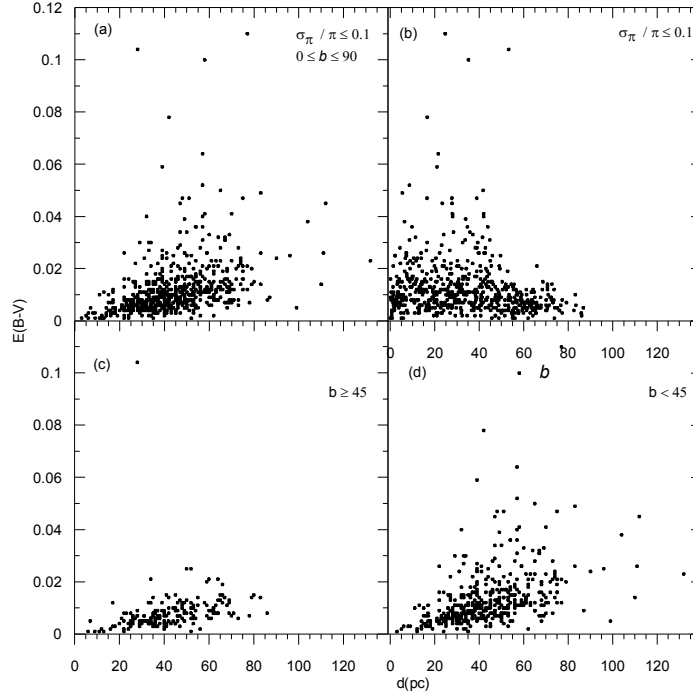
$(b-y)_0$ - H β kalibrasyonunu elde etmek için, yıldızlararası kızarmanın daha az veya ihmal edildiği güneş civarına ait uzaklığa uyan relatif paralaks hatası $\sigma_\pi / \pi \leq 0.10$ olan yıldızlar göz önünde bulundurulmuştur. Güneş civarındaki kızarmanın dağılımını görebilmek için, örneğimizdeki tek tek yıldızların $E(B-V)(l,b)_\infty$ değerleri, [1] e ait haritaların yerleştirildiği NED web sayfasından tek tek alınmıştır.

Belirli bir yıldızın $E(B-V)(l,b)_\infty$ kızarma değeri, $[1 - \exp(-d \sin(b)/H)]$ faktörü kadar, güneş civarındaki uygun kızarma değerlerine indirgenmiştir. Burada b ve d (pc) sırası ile, galaktik enlem ve uzaklık (pc) dir. Toz tabakasının kalınlığı (H) 125 pc olarak alınmıştır.

[18] in [1] e ait kızarma haritalarının, $E(B-V) > 0.15$ olan kızarma değerlerinde fazla değerler verdiği uyarısını dikkate alarak, [1] e ait kızarma değerleri aşağıdaki aralıklar için bir miktar revize edilmiştir.

$$E(B-V)_A = 0.10 + 0.65(E(B-V)-0.10), \quad E(B-V) > 0.10,$$

$$E(B-V)_A = E(B-V), \quad E(B-V) < 0.10$$



Şekil 1. (a) $E(B-V) - d(\text{pc})$, (b) $E(B-V) - \text{galaktik enlem } (b)$, (c) $E(B-V) - d(\text{pc})$, $b > 45$ (d) $E(B-V) - d(\text{pc})$, $b < 45$. $(b-y)_o - H\beta$ bağıntısının elde edilmesinde, $E(B-V) < 0.03$ olan yıldızlar göz önünde bulundurulmuştur.

3. $(b-y)_o - H\beta$ Kalibrasyonu

$(b-y)_o - H\beta$ kalibrasyonunu elde etmek için rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi / \pi \leq 0.10$ olan yıldızlar göz önünde bulundurulmuştur. Bu paralaks hatasına bir başka ifade ile 100 pc den küçük uzaklıklardaki kalibrasyon yıldızlarının $E(B-V) - d(\text{pc})$ ilişkisi, Şekil 1a,c ve d de verilmiştir. $E(B-V) - b$ ilişkisi ise Şekil 1b de verilmiştir. Şekil 1a-d güneş civarındaki kızarma üzerine önemli sınırlamalar koymaya olanak vermektedir.

Şekil 1a dan yıldızların çoğunluğunun $E(B-V) < 0.03$ ve $d < 90$ pc değerlerinde, daha küçük kızarma değerlerine sahip olduğu görülebilir. Şekil 1b de, $b = 45^\circ$ de bir kesikliliğin varlığından bahsedilebilir. Şekil 1c ve d den, $E(B-V) - d(\text{pc})$ ilişkilerinde, $b \geq 45^\circ$ ve $d < 90$ pc ve $b < 45^\circ$ ve $d < 80$ pc değerlerinde, $E(B-V) = 0.00$ alınmak sureti ile kızarma ihmal edilmiştir. Özetle, Şekil 1c ve d den, $E(B-V) < 0.03$ kızarma değerlerine sahip 510 kalibrasyon yıldızı için kızarmayı, $E(B-V) = 0.00$ olarak kabul ettik. 510 kalibrasyon yıldızı için, $uvby-H\beta$ fotometrik indislerin aralığı, $0.303 \leq (b-y) \leq 0.589$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.574$, $0.126 \leq c_1 \leq 0.463$, $2.531 \leq \beta \leq 2.646$ dır.

510 yıldızdan itibaren, $(b-y)_o - H\beta$ kalibrasyonunu elde etmek için, bağımsız değişkenlere karşı bağımlı bir değişkenin regresyonuna olanak veren *Minitab* isimli bir matematiksel programdan faydalanılmıştır. Bu program ile, katsayılar ile hesaplanan hata arasındaki *t-oranları* önemi olmayan terimleri elimine etmek için kullanılmıştır. Çözümler

itere edilerek, her adımda en küçük t-oranına sahip terimler çıkarılmış ve iterasyon, tüm terimler önemli olan değerlere sahip olana kadar yapılmıştır.

(b-y)_o - H β kalibrasyonu için, basit terimlerden yüksek mertebeye ve bunların hibrid terimlerini içeren 17 terim test edilmiştir. Test edilen terimler şöyledir: m_o , m_o^2 , c_o , c_o^2 , $\Delta\beta$, $\Delta\beta^2$, $m_o\Delta\beta$, $m_o c_o$, $m_o^2 c_o$, $m_o c_o^2$, $m_o^2 c_o^2$, $c_o\Delta\beta$, $m_o\Delta\beta^2$, $m_o^2\Delta\beta$, $c_o^2\Delta\beta$, $c_o\Delta\beta^2$, $m_o c_o\Delta\beta$.

± 0.025 değerinden büyük rezidüele sahip 13 yıldız istatistikten kaldırılmış olup, 479 serbestlik derecesi ve 0.995 den büyük anlamlılık düzeyinde tüm terimler sıfır değildir. Çözümler tüm terimlerin t-oranları 3 den büyük oluncaya kadar itere edilmiştir.

İterasyonlarda sırası ile şu terimler çözümden çıkarılmıştır: m_o^2 , c_o^2 , $m_o\Delta\beta$, c_o , m_o^2 , $m_o^2\Delta\beta$,

m_o , $\Delta\beta^2$, $c_o\Delta\beta^2$, $m_o c_o^2$. ± 0.009 mertebesinde çok küçük dispersiyon ile (b-y)_o - H β bağıntısı aşağıdaki gibidir.

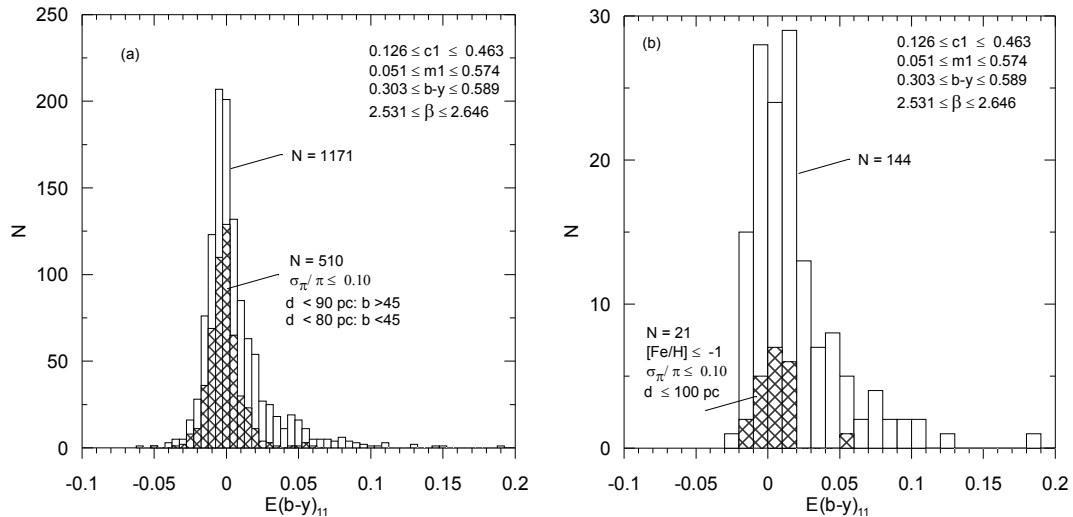
$$(b-y)_o = 0.278(\pm 0.02) + 1.140(\pm 0.09)\Delta\beta + 4.608(\pm 0.19)m_o c_o - 5.249(\pm 0.70)c_o\Delta\beta \quad (1)$$

$$+ 14.827(\pm 1.10)m_o\Delta\beta^2 - 1.974(\pm 0.14)c_o^2 + 21.550(\pm 2.00)c_o^2\Delta\beta$$

$$- 27.987(\pm 1.71)m_o c_o\Delta\beta$$

(1) nolu bağıntı, $0.303 \leq (b-y) \leq 0.589$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.574$, $0.126 \leq c_1 \leq 0.463$, ve $2.531 \leq \beta \leq 2.646$ aralığında kızarma tayininde kullanışlıdır.

(1) nolu bağıntıdan hesaplanan E(b-y) dağılımı Şekil 2a da verilmiştir. Şekil 2a da 1171 yıldız için E(b-y) dağılımı gösterilmiştir. Histogramın sağ tarafındaki kuyruk E(b-y) = 0.10 a doğru uzanmaktadır ve E(b-y)=0.00 da simetrik bir dağılım görülmektedir. Şekil 2a da, gölgeli histogram, $b > 45^\circ$ ve $d < 90$ pc ile $b < 45^\circ$ ve $d < 80$ pc ve $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$ sahip 510 yıldız için (1) nolu bağıntıdan hesaplanan E(b-y) dağılımını göstermektedir. Beklenildiği gibi, gölgeli histogram $d < 90$ pc için E(b-y) = 0.000 civarında simetrik bir dağılım vermektedir.



Şekil 2. (1) nolu bağıntıdan elde edilen E(b-y) dağılımları (a) ve (b) panellerinde gösterilmiştir. (a) Schuster ve ark. ait kataloktaki tüm uzaklıklardaki 1171 yıldızın E(b-y) dağılımı. Taralı histogram, aynı kataloktaki, ($d < 90$ pc, $b \geq 45$) ve ($d < 80$ pc, $b < 45$) kriterlerine uyan 510 yıldızın E(b-y) dağılımı.

(b) Metalce fakir ($[Fe/H]_{spec} < -1.0$) 144 yıldızın E(b-y) dağılımı. Taralı histogram ise ($d < 90$ pc, $b \geq 45$) ve ($d < 80$ pc, $b < 45$) kriterlerine uyan metalce fakir 21 yıldızın E(b-y) dağılımını göstermektedir. E(b-y) dağılımının geçerli olduğu fotometri aralığı şu şekildedir: $0.303 \leq (b-y) \leq 0.589$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.574$, $0.126 \leq c_1 \leq 0.463$, $2.531 \leq H\beta \leq 2.646$,

Şekil 2 b de, metalce fakir ($[Fe/H] < -1.0$) 144 yıldız için (1) nolu bağıntıdan hesaplanan $E(b-y)$ dağılım ile $d < 90$ pc sahip metalce fakir 21 yıldızın $E(b-y)$ dağılımı (gölgeli histogram) gösterilmiştir. 144 yıldızın dağılımında $E(b-y) > 0.03$ olan yıldızlar görülmektedir. Oysa gölgeli histogram $E(b-y)=0.000$ değerinde hemen hemen simetriktir. Gölgeli histogramda $E(b-y) > 0.05$ olan tek bir yıldız (HD 132475) görülmektedir. HD 132475 yıldızı için $[Fe/H] = -1.59$, $(b-y) = 0.401$, $m_1 = 0.063$, $c_1 = 0.285$, $\beta = 2.578$ dir.

$5 \leq d(\text{pc}) \leq 962$ uzaklık aralığında (1) nolu bağıntıdan hesaplanan $\langle E(b-y) \rangle$ değerleri $[Fe/H] < -1.0$ için 0.017, $[Fe/H] < -1.5$ için 0.022 ve $[Fe/H] < -2.0$ için 0.030 dur. (1) nolu bağıntı ile elde edilen $\langle E(b-y) \rangle$ değerleri farklı metal bolluğu aralığı için [19] (SN89) e ait eşitlikten hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. $\Delta E(b-y)(Eş.1-SN89) = E(b-y)(Eş.1) - E(b-y)(SN89)$ ortalama farkı oldukça küçük olup, $\langle E(b-y) \rangle$ $[Fe/H]$ ile sistematik bir eğilim göstermemektedir. (1) nolu bağıntı tüm uzaklıktaki yıldızlar ile metalce-fakir yıldızlarda güneş civarından beklenildiği gibi, uygun bir $E(b-y)$ dağılımı üretmektedir.

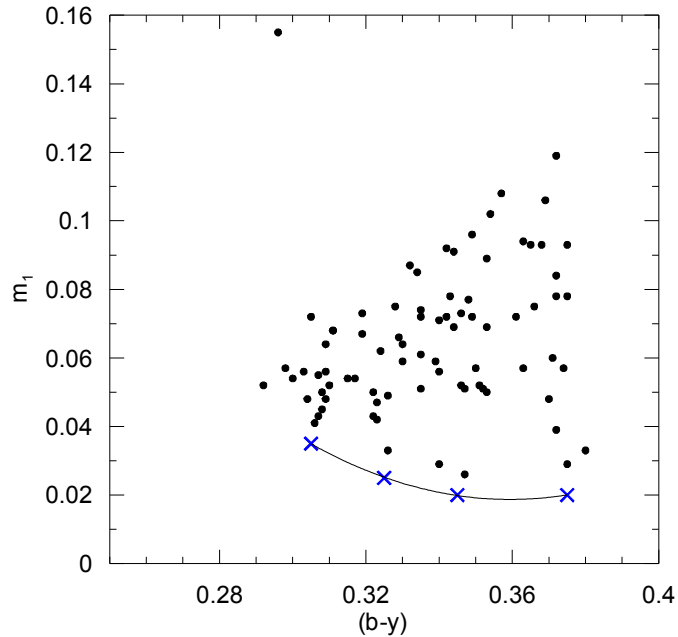
4. Metal ($[Fe/H]$) Bolluğu Kalibrasyonları

Spektroskopik metal bolluğu ($[Fe/H]_{\text{spec}}$) ile fotometrik indisler m_1 , c_1 , $(b-y)$ arasında metal bolluğu kalibrasyonları F, G ve erken K tipi yıldızlar için elde edilmiştir.

Örneğimizdeki F, G ve erken K tipi yıldızlar, (1) nolu bağıntıdan elde edilen $E(b-y)$ değerleri ile kızarmadan arındırılmıştır. Birkaç iterasyondan sonra $E(b-y) > 0.015$ olan yıldızlar,

$E(b-y) = (b-y) - (b-y)_o$, $m_o = m_1 + 0.3E(b-y)$, $c_o = c_1 - 0.2E(b-y)$ bağıntıları ile kızarmadan arındırılmıştır. $0.23 \leq (b-y) \leq 0.38$ renk indeksi aralığındaki F tipi yıldızların metal bolluğu kalibrasyonunu çıkarmadan evvel, $m_1 - (b-y)$ düzlemindeki asimptotik davranışı oluşturmak için bir çaba harcanmıştır. Bu iş için $[Fe/H] < -1.0$ sahip yıldızlardan faydalanılmış olup yıldızların

$m_1 - (b-y)$ diyagramı Şekil 3 te verilmiştir. Şekil 3 te, $(b-y)$ aralıkları için m_1 değerlerine sahip metalce çok fakir yıldızlar seçilmek sureti ile metalce fakir zarf elde edilmiştir.



Şekil 3. (2) nolu bağıntıdaki logaritmik terimler için $m_1 - (b-y)$ bağıntısı.

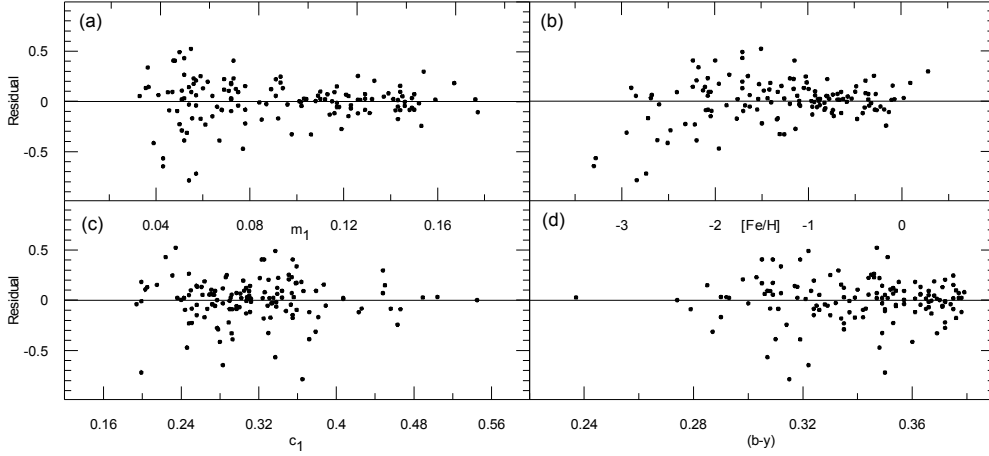
(x) sembolleri sınırlı $(b-y)$ aralıkları için extrapole edilen m_1 değerlerini göstermektedir.

(x) sembollerinden geçirilen fit denklemi, $m_1 = 0.727 - 3.942(b-y) + 5.484(b-y)^2$.

Hesaplanan metalce-fakir zarf, Şekil 3 te (x) sembolü ile gösterilmiştir. (x) sembolüne uygulanan bir fit metalce fakir zarfı $m_1=0.727 - 3.942(b-y) + 5.484(b-y)^2$ olarak vermektedir. F tipi yıldızlara ait kalibrasyon yıldızların uvby-H β fotometri aralığı şu şekildedir: $0.23 \leq (b-y) \leq 0.38$, $0.026 \leq m_1 \leq 0.177$, $0.194 \leq c_1 \leq 0.545$, $2.564 \leq \beta \leq 2.677$, $-3.30 \leq [Fe/H]_{spec} \leq +0.28$.

F tipi yıldızları için 7 logaritmik terim içeren toplam 21 terim test edilmiş olup terimler şu şekildedir: m_1 , c_1 , $(b-y)$, m_1^2 , c_1^2 , $(b-y)^2$, m_1c_1 , $m_1c_1^2$, $m_1^2c_1$, $m_1^2c_1^2$, $m_1(b-y)$, $m_1^2(b-y)$, $m_1(b-y)^2$, $m_1^2(b-y)^2$, $\log(m_1-c_3)$, $m_1\log(m_1-c_3)$, $m_1^2\log(m_1-c_3)$, $c_1\log(m_1-c_3)$, $c_1^2\log(m_1-c_3)$, $(b-y)\log(m_1-c_3)$, $(b-y)^2\log(m_1-c_3)$.

138 F tipi yıldızın metal kalibrasyonunun çıkarılmasında ilk iterasyon standart sapmayı, Şekil 4a-d deki büyük negatif rezidüellerden dolayı ± 0.23 olarak vermiştir. Şekil 4a ve b den görülebileceği gibi, $[Fe/H] < -2.5$ aralığındaki metalce fakir yıldızlar -0.50 den büyük büyük negatif rezidüeller göstermektedir. Rezidüelleri büyük 7 yıldız istatistikten çıkarıldığında, regresyonun standart sapması ± 0.17 değerine düşmüştür.



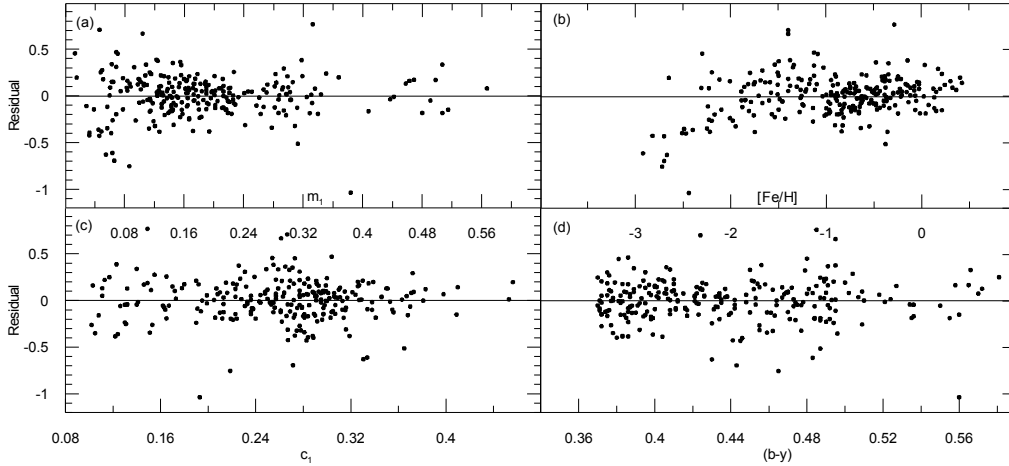
Şekil 4. 138 yıldız için (a) m_1 , (b) $[Fe/H]_{spec}$, (c) c_1 , (d) $(b-y)$ için rezidüel grafikleri. Panel (a) ve (b) den, metalce fakir ($[Fe/H]_{spec} < -2.5$) yıldızların -0.50 den büyük negatif rezidüellere sahip olduğu dikkati çekmektedir. Metal bolluğu bağıntısında bu yıldızlara gereksinim duyulmasına rağmen iterasyonlarda çıkarılmak zorunda kalmıştır.

Böylelikle, 131 yıldız için 0.995 anlamlılık seviyesinde t oranı 2.62 den küçük $m_1(b-y)^2$, m_1 , $m_1^2c_1^2$, $(b-y)^2$, $(b-y)$, $c_1\log(m_1-c_3)$, m_1c_1 , m_1^2 , $c_1^2\log(m_1-c_3)$, $m_1(b-y)$ terimler iterasyonlarda elimine edilmiştir. Sonuçta elde edilen F tipi yıldızları için metal bolluğu bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$[Fe/H]_{spec} = -2.67 - 13.8c_1 - 2498m_1^2(b-y) + 3591m_1^2(b-y)^2 + 44.4c_1^2 + 1190m_1^2c_1 - 378m_1c_1^2 + [35.4 - 36.0m_1 - 195(b-y) - 240m_1^2 + 273(b-y)^2] \log(m_1 - c_3) \quad (2)$$

$$\text{Burada } c_3 = 0.727 - 3.942(b-y) + 5.484(b-y)^2$$

(2) nolu bağıntı için standart sapma ± 0.17 olup m_1 , $[Fe/H]_{spec}$, c_1 ve $(b-y)$ e karşı çizilen rezidüeller ± 0.50 den küçüktür. Şekil 6a da, (2) nolu bağıntıdan elde edilen 131 yıldız için fotometrik bolluklar ($[Fe/H]_{phot}$) spektroskopik bolluklar ($[Fe/H]_{spec}$) ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6a ya uygulanan fit $[Fe/H]_{phot} = (0.95 \pm 0.02)[Fe/H]_{spec} - (0.15 \pm 0.03)$ şeklinde olup, ± 0.17 dispersiyon ve 0.94 korelasyon katsayısı ile oldukça tatmin edici bir uyum vermektedir.



Şekil 5. 255 yıldız için (a) m_1 , (b) $[Fe/H]_{spec}$, (c) c_1 , (d) $(b-y)$ için rezidüel grafikleri. Panel (a) ve (b) den, metalce fakir ($[Fe/H]_{spec} < -2.5$) yıldızların -0.50 den büyük negatif rezidüellere sahip olduğu dikkati çekmektedir. G ve erken K tipi yıldızların metal bolluğu bağıntısında bu yıldızlara gereksinim duyulmasına rağmen iterasyonlarda çıkarılmak zorunda kalmıştır.

G ve erken K tipi yıldızlar için seçilen 255 kalibrasyon yıldızının uvby-H β fotometrik indislerinin aralığı şöyledir: $0.37 \leq (b-y) \leq 0.581$, $0.003 \leq m_1 \leq 0.567$, $0.102 \leq c_1 \leq 0.465$, $2.501 \leq \beta \leq 2.615$, $-2.92 \leq [Fe/H]_{spec} \leq +0.42$. G ve erken K tipi yıldızların metal bolluğu kalibrasyonu için test edilen 17 terim ise şu şekildedir: m_1 , c_1 , $(b-y)$, m_1^2 , c_1^2 , $(b-y)^2$, m_1c_1 , $m_1c_1^2$, $m_1^2c_1$, $m_1^2c_1^2$, $m_1(b-y)$, $m_1^2(b-y)$, $m_1(b-y)^2$, $m_1^2(b-y)^2$, $c_1(b-y)$, $c_1(b-y)^2$, $c_1^2(b-y)^2$, $c_1^2(b-y)$.

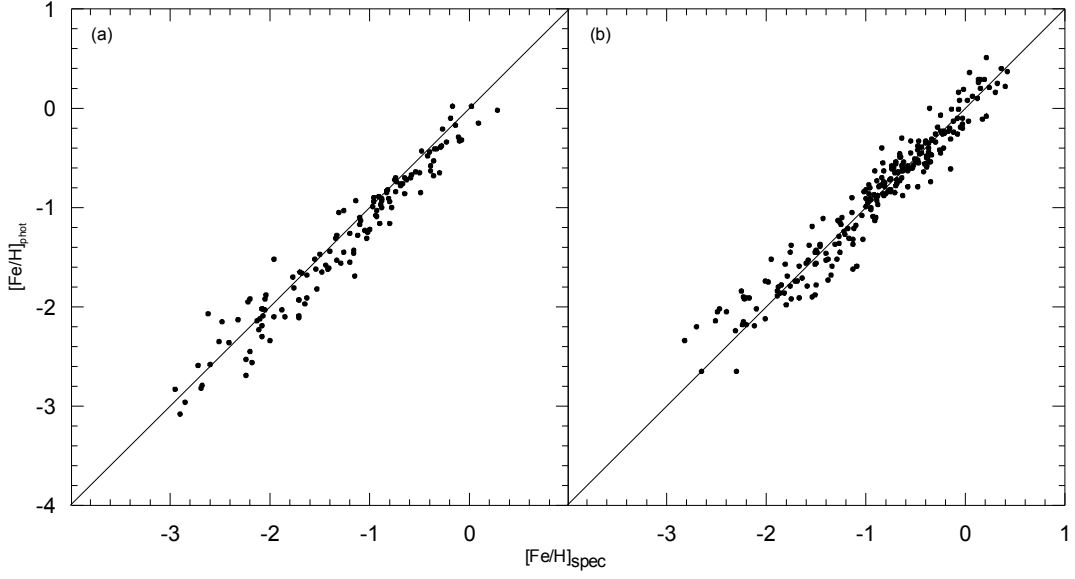
255 G ve erken K tipi yıldızların metal bolluğu kalibrasyonunun oluşturulmasında ilk iterasyon Şekil 5a-d deki büyük negatif rezidüellerden dolayı standart sapmayı ± 0.23 olarak vermiştir. Şekil 5a-d den görüleceği gibi, $[Fe/H] < -2.2$ değerlerine sahip metalce fakir 5 yıldız, -0.50 den büyük negatif rezidüeller göstermektedir. 3 yıldız ise $+0.50$ den büyük pozitif rezidüele sahiptir. Toplam 9 yıldız istatistikten çıkarıldığında, standart sapma ± 0.18 e düşmüştür. Bundan sonra, 255 yıldız için 0.995 önem seviyesinde t-oranı 2.60 dan küçük terimleri elimine etmek için iterasyon prosedürü uygulanmış ve iterasyonlarda sırası ile şu terimler atılmıştır: $c_1(b-y)$, $m_1c_1^2$, $c_1^2(b-y)^2$, $(b-y)^2$, $m_1(b-y)^2$, $(b-y)$, $m_1^2c_1$, $m_1^2(b-y)$, $m_1^2c_1^2$, $c_1(b-y)^2$, c_1^2 , c_1 .

Sonuçta, elde edilen G ve erken K tipi yıldızları için metal bolluğu bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$[Fe/H]_{spec} = -2.40 + 31.2m_1 - 33.7m_1^2 - 57.4m_1(b-y) + 106m_1^2(b-y)^2 + 25.9m_1c_1 - 6.59c_1(b-y)^2 \quad (3)$$

Şekil 6b de, (3) nolu bağıntıdan elde edilen 246 yıldız için fotometrik metal bollukları $[Fe/H]_{phot}$, spektroskopik $[Fe/H]_{spec}$ bollukları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 6b ye uygulanan fit ± 0.17 dispersiyon ve 0.97 korelasyon katsayısı ile $[Fe/H]_{phot} = (0.93 \pm 0.02)[Fe/H]_{spec} - (0.05 \pm 0.02)$ şeklinde olup, spektroskopik ve fotometrik bolluklar için uyum oldukça tatmin edicidir.

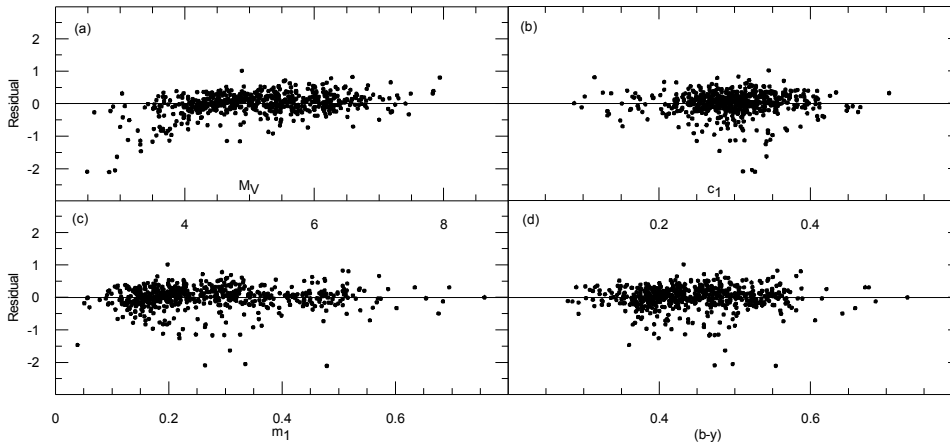


Şekil 6. (a) 131 F tipi yıldızı ve (b) 246 G ve erken K tipi yıldızlar için $[Fe/H]_{phot} - [Fe/H]_{spec}$ ilişkisi.

5. Mutlak Kadir (M_V) Kalibrasyonu

Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi / \pi \leq 0.10$ olan yıldızlar için Hipparcos paralakslarından hesaplanan M_V mutlak kadirler ile uvby-H β fotometrisine ait indisler arasında bir bağıntı elde edilmiştir. 590 yıldızın mutlak kadirlerine Lutz-Kelker [21] düzeltmeleri uygulanmıştır. Kalibrasyonda kullanılan 590 yıldızın uvby-H β fotometrisi, $0.279 \leq (b-y) \leq 0.728$, $0.003 \leq m_1 \leq 0.757$, $0.088 \leq c_1 \leq 0.504$, $2.486 \leq \beta \leq 2.668$ şeklindedir. Kalibrasyon yıldızlarını kızarmadan arındırmak için (1) nolu bağıntı kullanılmak suretiyle elde edilen $E(b-y)$ renk artığına birkaç iterasyona uygulanmış ve $E(b-y)=0.0001$ mertebesinde güneş civarına uygun kızarma dağılımı elde edilmiştir. Kızarma düzeltmeleri $E(b-y) \geq 0.015$ olan 22 yıldız için $E(b-y) = (b-y) - (b-y)_0$, $m_0 = m_1 + 0.3E(b-y)$, $c_0 = c_1 - 0.2E(b-y)$, $V_0 = V - 4.18E(b-y)$ bağıntıları yardımı ile uygulanmıştır.

M_V mutlak kadir kalibrasyonun elde edilmesinde basitten yüksek mertebeye ve bunların hibrid terimlerinden oluşturulmuş 32 terim test edilmiştir.



Şekil 7. 590 yıldız için (a) M_V , (b) c_1 , (c) m_1 , (d) $(b-y)$ için rezidüel grafikleri. ± 0.70 den büyük rezidüellere sahip 40 yıldız istatistikten çıkarılmıştır.

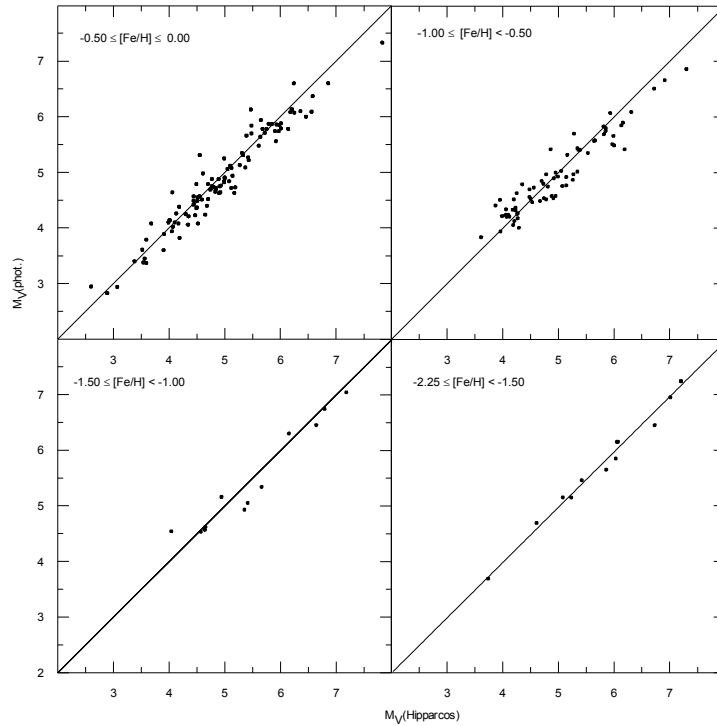
590 yıldız için yapılan ilk iterasyonda standart sapma, Şekil 7 deki büyük negatif rezidüellerden dolayı ± 0.36 olarak elde edilmiştir. Rezidüelleri ± 0.70 den büyük 40 yıldız istatistikten çıkarılmış ve iterasyonlar yapılabilmıştır. 518 serbestlik derecesi ve 0.995 anlamlılık düzeyinde tüm terimler sıfır olmayıp, T-oranı 2.60 dan olup iterasyonlardan çıkarılan terimler şu şekildedir: $c_1^2(b-y)$, $m_1^2c_1^3$, $m_1^3c_1$, m_1^3 , $c_1^2(b-y)^2$, $c_1(b-y)^2$, $(b-y)^2$, $c_1^3(b-y)^3$, m_1c_1 , $m_1^3c_1^2$, $m_1^3c_1^3$, $m_1^2(b-y)^3$, $m_1^2(b-y)$, m_1^2 .

Neticede elde edilen M_V mutlak kadir kalibrasyonu aşağıdaki gibidir:

$$M_V = -2.02 + 12.84(b-y) - 74.78m_1 + 50.47c_1 - 152.02c_1^2 + 455.27c_1^3 + 165.46m_1(b-y) - 249m_1^2(b-y)^2 - 257.32m_1^3(b-y) + 816.9m_1^3(b-y)^2 - 436.3m_1^3(b-y)^3 - 419.32m_1^2c_1^2 + 155.52m_1^2c_1 + 506m_1c_1^2 - 697.4m_1c_1^3 - 2281.6c_1^3(b-y) - 1785.5c_1^2(b-y)^3 + 4752c_1^3(b-y)^2 \quad (4)$$

(4) nolu bağıntıya ait dispersiyon ± 0.22 dir. (4) nolu bağıntıdan elde edilen mutlak kadirler Hipparcos paralakslarından elde edilen mutlak kadirlerle karşı farklı metal bolluğu aralıklarında, $-0.50 \leq [Fe/H]_{spec} \leq 0.00$, $-1.00 \leq [Fe/H]_{spec} < -0.50$, $-1.50 \leq [Fe/H]_{spec} < -1.00$,

$-2.25 \leq [Fe/H]_{spec} < -1.50$ Şekil 8 de işaretlenmiştir. Şekil 8 den görüleceği gibi, (4) nolu bağıntıdan hesaplanan M_V değerleri Hipparcos paralakslarından elde edilenler ile uyum içerisindedir.



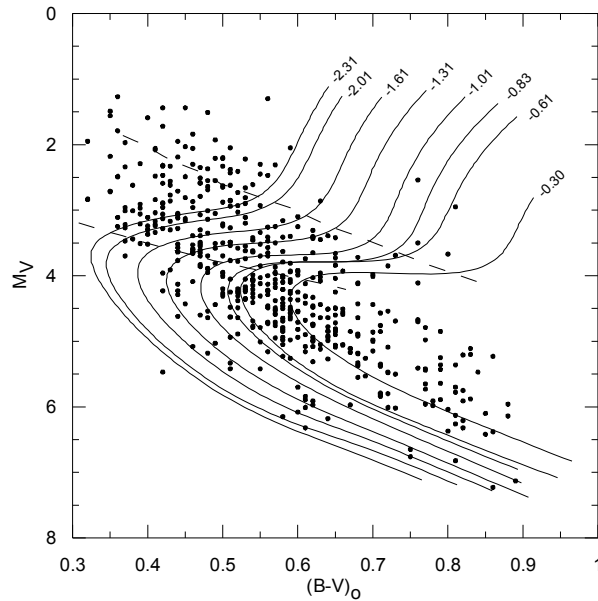
Şekil 8. 234 yıldız için (4) nolu bağıntıdan hesaplanan M_V mutlak kadirleri ile Hipparcos mutlak kadirleri arasında farklı metal bollukları ilişkileri. (a) $-0.50 \leq [Fe/H]_{spec} \leq 0.00$, (b) $-1.00 \leq [Fe/H]_{spec} < -0.50$, (c) $-1.50 \leq [Fe/H]_{spec} < -1.00$, (d) $-2.25 \leq [Fe/H]_{spec} < -1.50$.

6. UBV fotometrisi için Metal ($[Fe/H]$) Bolluğu ve Mutlak Kadir (M_V) Kalibrasyonları

6.1. $[Fe/H]_{spec} - \delta_{0.6}$ Kalibrasyonu

Spektroskopik $[Fe/H]_{spec}$ metal bolluğunun fotometrik $\delta_{0.6}$ mor ötesi artığı indeksine göre kalibrasyonu, cüce, dönüm noktası ve alt dev yıldızları ile sadece cüce ve dönüm noktası yıldızları için elde edilmiştir. Bunun için, cüce, dönüm noktası ve alt dev yıldızları, Şekil 9 daki ait izokronlara ([22] ,BV&VC) göre kalibre edilen M_V -(B-V) diyagramında sınıflandırılmıştır. Şekil 9 daki katı çizgiler $-2.31 \leq [Fe/H] \leq -0.30$ metal bolluğu aralığındaki 12 Gyr için çizilen yaş eğrilerini göstermektedir. Şekil 9 daki paralel çizgiler arasına düşen yıldızlar ile $[Fe/H] = -2.31$ izokronun soluna uzanan yıldızlar alt dev yıldızı olarak sınıflandırılmıştır. $[Fe/H] = -0.30$ izokronun sağına uzanan yıldızlar ve en alttaki kesikli çizginin altındaki yıldızlar ise dönüm noktası ve cüce olarak sınıflandırılmıştır.

Üstteki kesikli çizginin yukarısına düşen 42 yıldız olası dev yıldız olarak istatistikten çıkarılmıştır. 470 cüce, dönüm noktası ve altdev yıldızları için $[Fe/H]_{spec} - \delta_{0.6}$ arasındaki ilişki Şekil 10 a ait sol panelde gösterilmiştir. Şekil 10 da sol paneldeki yıldızlardan fit edilen ikinci mertebeden polinom için Minitab Matematiksel Paket Programı ile üretilen $[Fe/H]_{spec}$ ve $\delta_{0.6}$ için rezidüel grafiklerde ± 0.4 den büyük rezidüellere sahip 23 yıldız istatistikten çıkarılmıştır. Böylelikle, 447 yıldız $-2.23 \leq [Fe/H]_{spec} \leq +0.41$ aralığında, 0.06 dex aralıklar

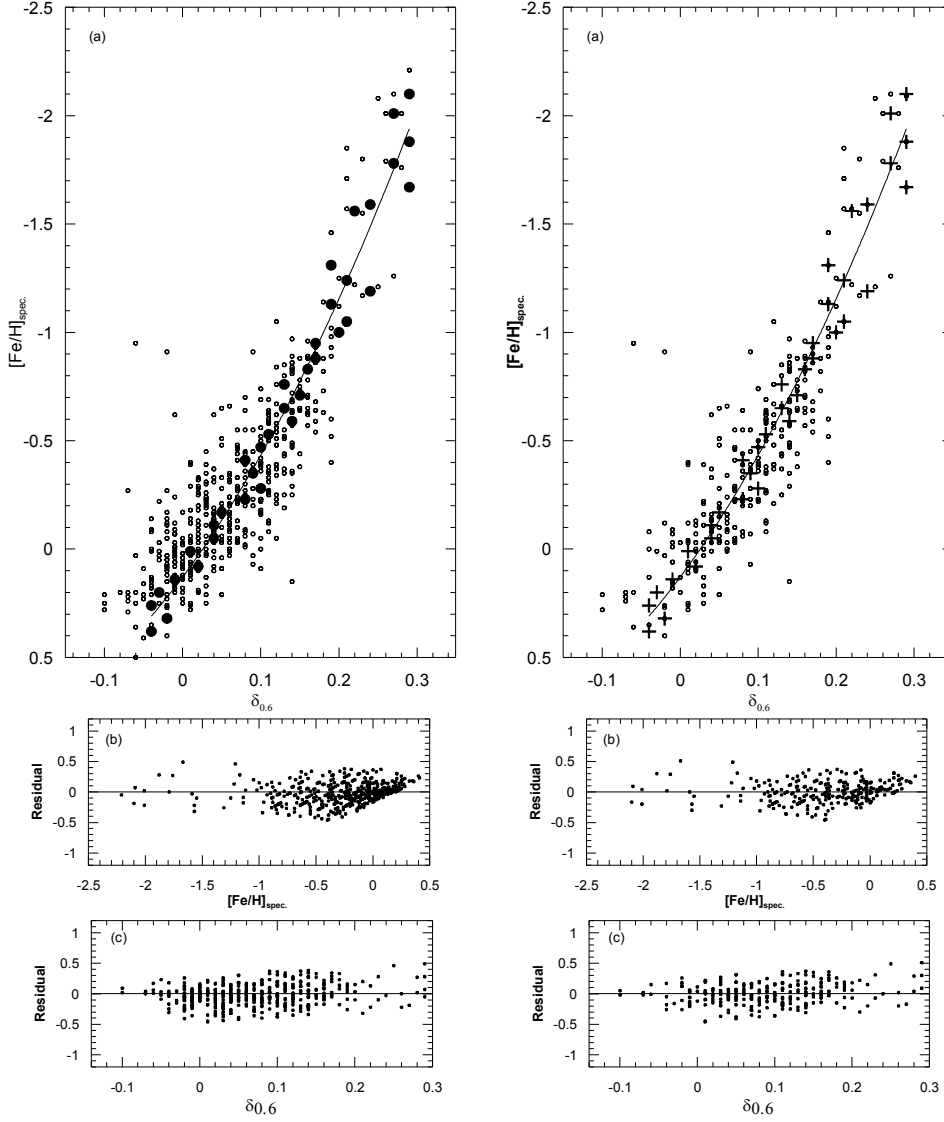


Şekil 9. Lutz-Kelker düzeltmesi uygulanmış 514 yıldız için M_V -(B-V) diyagramı. Katı çizgiler $-2.31 \leq [Fe/H] \leq -0.30$ bolluk aralığındaki izokronları göstermektedir. 12 Gyr için [22] (BV&VC) e ait izokronlar ($[\alpha/Fe] = +0.30$, $[Fe/H] \leq -0.60$) ve ($[\alpha/Fe] = 0.00$, $[Fe/H] > -0.60$) kullanılmıştır. Paralel çizgiler arasındaki yıldızlar ile $[Fe/H] = -2.31$ izokronun soluna uzanan yıldızlar altdev olarak sınıflandırılmıştır. $[Fe/H] = -0.30$ izokronun sağına uzanan yıldızlar ve en alttaki kesikli çizginin altındaki yıldızlar dönüm noktası ve cüce yıldız olarak sınıflandırılmıştır. Üstteki kesikli çizginin üzerindeki 42 yıldız olası dev yıldız olarak bu çalışmadan çıkarılmıştır.

ile 44 metal bolluğuna ayrılmış ve bolluk aralığına düşen yıldızların medyan $[Fe/H]_{spec}$ ve $\delta_{0.6}$ değerleri hesaplanmış ve Şekil 10 daki sol panelde içi dolu büyük daireler

(●) ile gösterilmiştir. İçi dolu (●) medyan değerlerine uygulanan ikinci mertebeden polinom, ± 0.16 dispersiyon ve 0.95 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilmiştir.

$$[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} = +0.13(\pm 0.05) - 5.43(\pm 0.78) \delta_{0.6} - 6.28(\pm 2.93) \delta_{0.6}^2 \quad (5)$$



Şekil 10. Soldaki panel: $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$ aralığındaki 470 altdev, cüce ve dönüm noktası yıldızı için $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} - \delta_{0.6}$ ilişkisi. $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$ ve $\delta_{0.6}$ a ait rezidüel grafiklerden (panel b ve c) ± 0.40 dan büyük rezidüellere sahip yıldızlar atıldıktan sonra, 447 yıldız için içi dolu büyük daireler (●) 0.06 dex aralıklar ile 44 metal $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$ aralığı için hesaplanan medyan $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$ ve $\delta_{0.6}$ ilişkisini göstermektedir. İçi dolu büyük daireler (●) den geçirilen fit (5) nolu bağıntıda verilmiştir. Sağdaki panel, 285 cüce ve dönüm noktası yıldız için soldaki panelde uygulanan yöntemde uygulandığı gibi büyük (+) semboller 266 yıldızla ait medyan $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$ ve $\delta_{0.6}$ ilişkisini göstermektedir. Büyük (+) sembellere uygulanan fit (6) nolu bağıntıda gösterilmiştir.

285 cüce ve dönüm noktası yıldızı için $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} - \delta_{0.6}$ arasındaki ilişki ise Şekil 10 da sağ panelde gösterilmiş ve fit edilen ikinci mertebeden polinom için Minitab Matematiksel Paket Programı ile üretilen $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$ ve $\delta_{0.6}$ e ait ilk rezidüel grafiklerden ± 0.4 den büyük rezidüellere sahip 19 yıldız istatistikten çıkarılmıştır. Böylelikle, 266 yıldız,

$-2.11 \leq [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} \leq +0.41$ aralığında, 0.06 dex aralıklar ile 44 bolluk aralığına ayrılmış ve her bir metal bolluğu aralığına düşen yıldızların medyan $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}}$, $\delta_{0.6}$ değerleri hesaplanarak Şekil 10 da sağ panelde artı sembolü (+) ile gösterilmiştir. (+) sembolleri ile gösterilen medyan değerlerine uygulanan ikinci mertebeden polinom ± 0.13 dispersiyon ve 0.97 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilmiştir.

$$[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} = +0.13(\pm 0.04) - 4.84(\pm 0.60) \delta_{0.6} - 7.93(\pm 2.24) \delta_{0.6}^2 \quad (6)$$

(5) ve (6) nolu bağıntılar için sıfır noktası $\delta_{0.6} = 0$ için $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.13(\pm 0.05)$ ve $+0.13(\pm 0.04)$ olup orijinden geçmemektedir ve Hyades açık kümesine ait spektroskopik bolluk tespitleri için elde edilen [23] e ait $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.12 \pm 0.03$ ve [24] e ait $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.13 \pm 0.02$ değerleri ile uyum içerisindedir. Hyades için ölçülen en yeni spektroskopik bolluk tespiti $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.14 \pm 0.05$ olarak verilmektedir ([25]). (5) ve (6) nolu bağıntılar, [9] a ait +0.11 ve [10] e ait +0.08 e ait fotometrik sıfır noktaları ile uyum içerisindedir.

6.2. Mutlak Kadir Kalibrasyonu

Hipparcos tabanlı iki takım M_V mutlak kadir kalibrasyonu oluşturulmuştur. Birinci kalibrasyon $(B-V)_o$ ve $\delta_{0.6}$ in fonksiyonu olarak, hibrid M_V kalibrasyonu, diğeri ise Hyades'e göre LCL88 stilindeki $(B-V)_o = 0.70$ renk indeksi için Hyades ile metalce fakir yıldızlar arasındaki farka ilişkin $\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6})$ kalibrasyonudur. İkinci kalibrasyon için M_V ve $(B-V)$ arasında Hipparcos paralaksları kullanılmak suretiyle Hyades ve metalce fakir yıldızlar için iki bağıntı elde edilmiştir. Bu iki M_V kalibrasyonu için mutlak kadirler $M_V = V_o - 5 \log(1/\pi) + 5 + \delta M_{LK}$ bağıntısından hesaplanmıştır. Burada, δM_{LK} Lutz-Kelker düzeltmesi olup, $\delta M_{LK} = -63.0303(\sigma_\pi/\pi)^3 - 1.0736(\sigma_\pi/\pi)^2 - 0.3286(\sigma_\pi/\pi) + 0.0008$ bağıntısı ile hesaplanmış ve örneğimizdeki 514 yıldız için elde edilen mutlak kadirler düzeltilmiştir.

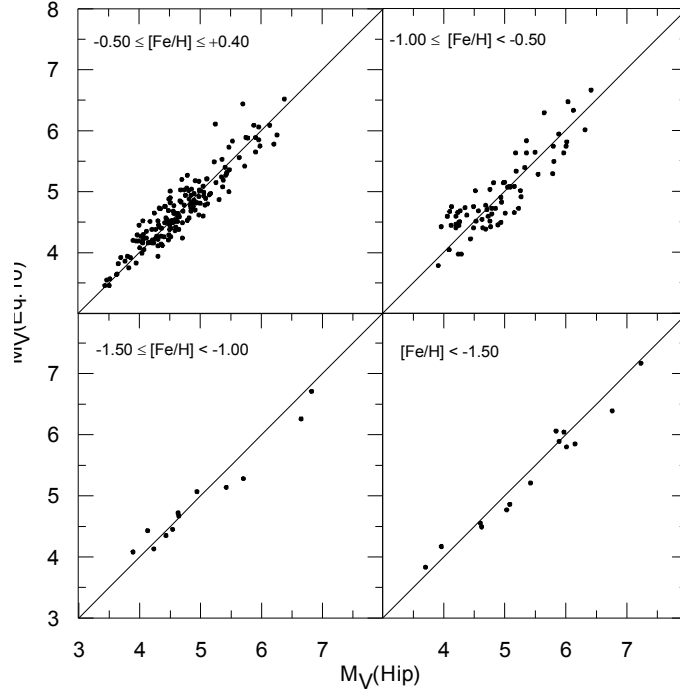
6.3. Hibrid M_V Kalibrasyonu

285 cüce ve dönüm noktası yıldızının M_V hibrid kalibrasyonu için test edilen 15 terim şu şekildedir: $(B-V)_o$, $(B-V)_o^2$, $(B-V)_o^3$, $\delta_{0.6}$, $\delta_{0.6}^2$, $\delta_{0.6}^3$, $(B-V)_o \delta_{0.6}$, $(B-V)_o \delta_{0.6}^2$, $(B-V)_o \delta_{0.6}^3$, $(B-V)_o^2 \delta_{0.6}$, $(B-V)_o^2 \delta_{0.6}^2$, $(B-V)_o^2 \delta_{0.6}^3$, $(B-V)_o^3 \delta_{0.6}$, $(B-V)_o^3 \delta_{0.6}^2$, $(B-V)_o^3 \delta_{0.6}^3$. Minitab paket programı ile elde edilen regresyona ait rezidüel grafiklerde ± 0.6 dan büyük 23 yıldız standart sapmayı ± 0.34 verdiği için istatistikten çıkarılmış ve böylelikle regresyonun standart sapması ± 0.24 e düşmüştür. Daha sonra yukarıdaki 15 terim için iterasyon yapılarak, 262 yıldız için 246 serbestlik derecesi ve 0.995 anlamlılık düzeyinde, t-oranı 2.59 dan küçük terimler çıkarılmış ve aşağıdaki M_V hibrid bağıntısı elde edilmiştir.

$$M_V = 2.77 + 4.38(B-V)_o^2 - 48.98 \delta_{0.6}^2 + 219.75(B-V)_o \delta_{0.6}^2 - 198.93(B-V)_o^2 \delta_{0.6}^2 + 11.04 (B-V)_o^3 \delta_{0.6} \quad (7)$$

(7) nolu bağıntı ± 0.24 dispersiyon ile $3.44 \leq M_V \leq 7.23$, $0.37 \leq (B-V)_o \leq 0.88$, $0.10 \leq \delta_{0.6} \leq 0.29$ aralığında geçerlidir.

Şekil 11 de (7) nolu bağıntıdan hesaplanan mutlak kadirler (M_V), Hipparcos paralakslarından hesaplanan mutlak kadirler ($M_V(\text{Hip})$) karşı $-0.50 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.40$, $-1.00 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < -0.50$, $-1.50 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < -0.50$, $-2.25 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.50$ aralıklarında işaretlenmiştir. Şekil 11 den görülebileceği gibi, 4 panelde de mutlak kadirler arasındaki uyum oldukça tatmin edicidir.



Şekil 11. (7) nolu bağıntıdan hesaplanan M_V mutlak kadirlerine karşı Hipparcos paralakslarından hesaplanan $M_V(\text{Hip})$ mutlak kadirlerin farklı metal bollu aralıklarına göre ilişkileri.

6.4. $\Delta M_V^H(\text{B-V}, \delta_{0.6})$ Kalibrasyonu

6.4.1 Hyades'e ait $M_V^H(\text{B-V})$ Kalibrasyonu

Metalce zengin yıldızların kalibrasyonu için, [26] dan alınan Hyades yıldızlarının Johnson V kadirleri, (B-V) renk indeksleri ve Hipparcos paralaksları kullanılmıştır. Yıldızlararası kızarma Hyades için [27], [28] ve [26] ya ait çalışmalarda belirtildiği gibi ihmal edilmiştir. Hyades yıldızları Şekil 12 de M_V -(B-V) diyagramında içi dolu üçgen (\blacktriangle) sembolleri ile gösterilmiştir. Şekil 12 de içi boş kare (\square) sembolleri ise yer tabanlı paralaks verisinden hesaplanan Hyades yıldızları için LCL88 e ait bağıntıdan hesaplanan değerleri göstermektedir. Şekil 12 de içi dolu üçgenlere (\blacktriangle) uygulanan birinci mertebeden fit ± 0.10 dispersiyonu ile aşağıda verilmiştir.

$$M_V^H(\text{B-V}) = (5.542 \pm 0.27)(\text{B-V}) + (1.110 \pm 0.17) \quad (8)$$

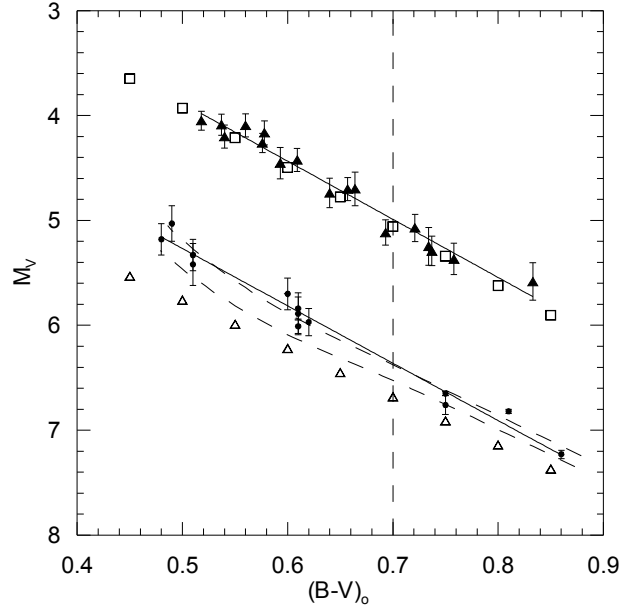
Şekil 12 de Hyades'e ait Hipparcos tabanlı mutlak kadir değerlerinin LCL88 e ait yer tabanlı mutlak kadir değerleri ile uyum içerisinde olduğu görülebilir.

6.4.2 Metalce Fakir Cüce Yıldızlar için $M_V(\text{B-V})$ Kalibrasyonu

Örneğimizden seçtiğimiz Hipparcos relatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$ olan $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{spec}} < -1.2$ aralığına ait metalce fakir 13 yıldız, Hyades ile metalce fakir yıldızların $\Delta M_V^H(\text{B-V})$ farkını elde etmek için kullanılmış ve metalce fakir 13 yıldız, Şekil 12 de içi dolu daireler (\bullet) ile gösterilmiştir.

Şekil 12 de $(\text{B-V})_0 = 0.70$ deki dikey çizgi, $\Delta M_V^H(\delta_{0.6})$ kalibrasyonun LCL88 tarafından yapıldığı renk indeksini göstermektedir. Şekildeki içi boş üçgenler (\triangle) yer tabanlı paralakslardan elde edilen, $0.4 < (\text{B-V}) < 0.90$ renk indeksi aralığı ve $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.75$ metal bolluğu için elde edilen mutlak kadirleri göstermektedir. Şekilden, LCL88 den elde edilen mutlak kadirlerin [2] ye ait mutlak kadirlerin altında yer aldığı görülmektedir. Bunun nedeni, LCL88 tarafından kullanılan paralaksların yer tabanlı olması ve LCL88 in mutlak kadirlerini

$[Fe/H] = -1.75$ dex e düzeltmeleridir. Şekil 12 de gösterilen kesikli çizgiler $[Fe/H] = -1.31$ ($Z=0.00169$, $Y=0.237$, $[\alpha/Fe] = +0.30$) ve $[Fe/H] = -1.61$ ($Z=0.00084$, $Y=0.236$, $[\alpha/Fe] = +0.30$) için BV&VC e ait 12-Gyr izokronlarını göstermektedir. Şekilde, 12 Gyr a ait $[Fe/H] = -1.31$ ve $[Fe/H] = -1.61$ izokronları, metalce fakir 13 yıldızın $\langle [Fe/H] \rangle = 1.64$ ortalama metal bolluğu değeri ile karşılaştırıldığında, ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = 1.64$ dex olan metalce fakir 13 yıldızı ile en uyumlu izokron $[Fe/H] = -1.31$ olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Hyades ve metalce fakir ($[Fe/H] < -1.2$) 13 yıldız için M_V -($B-V$) diyagramı. İçi dolu üçgen (\blacktriangle) sembolleri Hyades yıldızlarını göstermektedir. İçi boş kareler (\square) LCL88 nin bağıntısından hesaplanan Hyades yıldızlarını göstermektedir. İçi dolu (\bullet) semboller metalce fakir 13 yıldızı göstermektedir. İçi boş üçgenler (\triangle) yer tabanlı paralakslardan elde edilen LCL88 e ait metalce-fakir yıldızları göstermektedir. Kesikli çizgiler $[Fe/H]=-1.31$ ($Z=0.00169$, $Y=0.237$, $[\alpha/Fe] = +0.30$) ve $[Fe/H]=-1.61$ ($Z=0.00084$, $Y=0.236$, $[\alpha/Fe] = +0.30$) için BV&VC e ait 12-Gyr izokronları göstermektedir. Dikey kesikli çizgi, LCL88 in Hyades ile metalce fakir yıldızlar arasındaki $\Delta M_V^H(\delta_{0.6})$ farkını kalibre ettiği ($B-V$) = 0.70 renk indeksini göstermektedir. Hyades ve metalce-fakir yıldızlar arasındaki $\Delta M_V^H(B-V)$ farkı, Şekilden ($B-V$) = 0.70 renk indeksinde 1.37 olarak hesaplanmıştır.

12 Gyr izokron Galaktik halonun yaşı ile uyumlu olduğu için göz önünde bulundurulmuştur. $[Fe/H] = -1.61$ izokronu metalce fakir 13 yıldız ile uyum içerisinde değildir. Bunun sebeplerinden bir tanesi izokronlar arasındaki sistematik problemlerden ileri gelebilir.

Şekil 12 de metalce-fakir 13 yıldızın uygulanan fit ± 0.10 dispersiyon değeri ile (9) nolu bağıntıda verilmiştir.

$$M_V(B-V) = (5.467 \pm 0.24)(B-V) + (2.534 \pm 0.15) \quad (9)$$

Şekil 12 de Hyades ve metalce fakir 13 yıldız için hata barları $\sigma_{M_V} = 2.17\sigma_\pi / \pi$ bağıntısı ile hesaplanmıştır.

6.5. $\Delta M_V^H(B-V)$ Kalibrasyonu

Hyades ile metalce fakir yıldızlar arasındaki $\Delta M_V^H(B-V)$ farkının $\delta_{0.6}$ ın bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Metal bolluğu bilgisi olmadan M_V , (B-V) renk indeksinin bir fonksiyonu olamaz ve tek başına (B-V) renk indeksinden hesaplanamaz. Bu temel bilgi göz önünde bulundurularak, $\Delta M_V^H(B-V)$ farkı, (9) nolu bağıntı (8) nolu bağıntıdan çıkarılmak sureti ile aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\Delta M_V^H(B-V) = [1.424-0.075(B-V)] \quad (10)$$

Burada, $\Delta M_V^H(B-V) = M_V(B-V) - M_V(\text{Hyades}, B-V)$ dir.

(10) nolu bağıntı, (B-V) = 0.70 renk indeksi değerinde metalce fakir yıldızlar ile Hyades arasındaki ΔM_V^H farkını 1.37 olarak vermektedir. Oysa, LCL88 $\Delta M_V^H(B-V)$ farkını

(B-V) = 0.70 değerinde 1.62 olarak vermiştir. LCL88 e ait M_V değerleri, (9) nolu bağıntıdan elde edilen M_V değerlerinden daha büyük ve sönüktür. Bir başka ifade ile Hipparcos paralakslarına dayanan (9) nolu bağıntının, yer tabanlı paralakslara dayanan mutlak kadirlerden daha parlak değerlere neden olduğu anlamına gelmektedir. Bu sonuç, yer tabanlı paralaks ile Hipparcos tabanlı paralakslardan elde edilen metalce fakir kümelerin uzaklıklarının %5 – 15 seviyesinde artması gerektiği sonucunu elde eden [29] ile uyum içerisindedir.

6.6. $\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6})$ Kalibrasyonu

Hipparcos paralakslarına sahip 257 cüce ve dönüm noktası yıldızı için, LCL88 in kullandığı (B-V) = 0.70 renk indeksinde, LCL88 ile karşılaştırma yapmak ve LCL88 in bağıntısını revize etmek için, $0.49 < (B-V) < 0.89$ ve $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$ aralıklarında $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ arasında bir bağıntı elde edilmiştir. LCL88 de olduğu gibi, $\delta_{0.6} = 0$ için Hipparcos paralakslarından itibaren oluşturulan (8) nolu bağıntıdaki $dM_V/d(B-V) = 5.542$ ve $\delta_{0.6} = 0.24$ için (9) nolu bağıntıdaki $dM_V/d(B-V) = 5.467$ eğimleri kullanılarak, Hyades ile metalce fakir bolluk değerleri arasında orta bolluk değerlerine sahip yıldızların, $\delta_{0.6}$ morötesi artıkları için interpolate edilen $dM_V/d(B-V)$ değerleri, $M_V(\text{corr}) = M_V + dM_V/d(B-V)[0.70 - (B-V)_0]$ bağıntısında kullanılarak, 257 cüce ve dönüm noktası yıldızın mutlak kadirleri (B-V) = 0.70 renk indeksine düzeltilmiştir. $\Delta M_V^H = M_V(\text{corr}) - 4.99$ farkları, Şekil 13 de $\delta_{0.6}$ indeksine karşı işaretlenmiştir. Burada, $M_V^H = 4.99$, (B-V) = 0.70 renk indeksi için (8) nolu bağıntıdan Hyades için hesaplanan mutlak kadir değeridir. 257 cüce ve dönüm noktası yıldızı için $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ arasında elde edilen üçüncü mertebeden polinom fit için çizilen $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ a ait rezidüel grafiklerde ± 0.65 den büyük rezidüellere sahip 16 yıldız istatistikten çıkarılmıştır. Böylelikle, Şekil 13 de 241 yıldız için $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ arasında üçüncü mertebeden polinom fiti, ± 0.11 dispersiyon ve 0.68 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilmiştir.

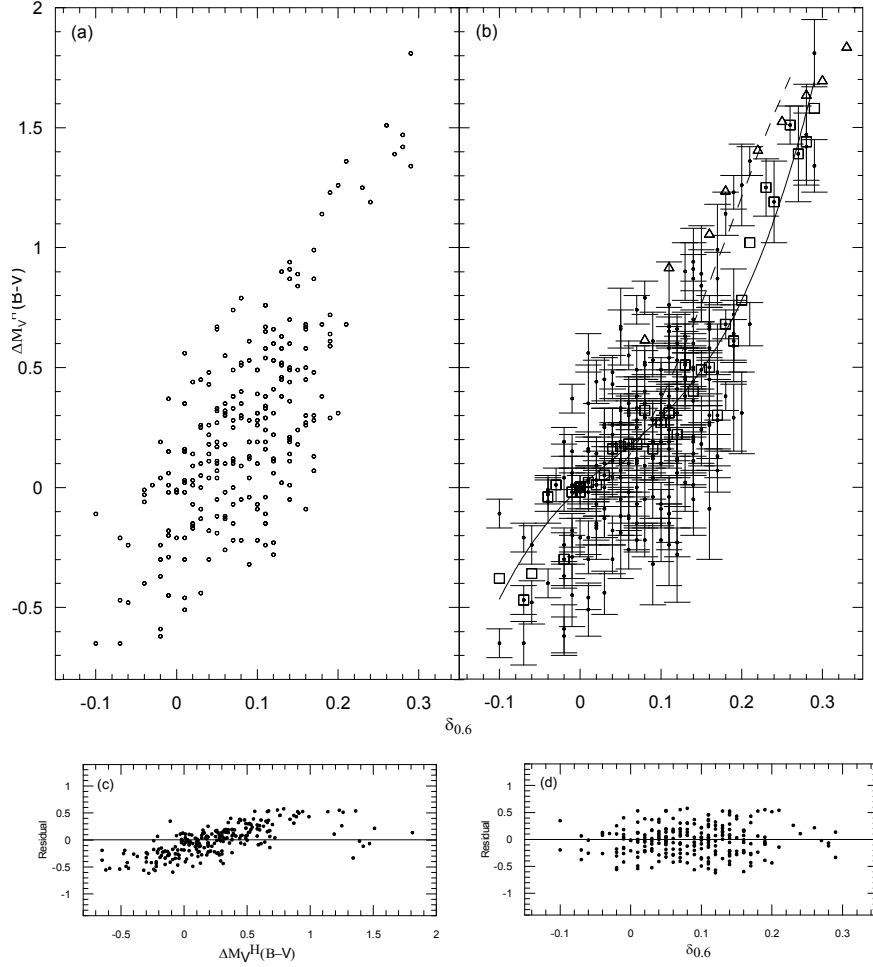
$$\Delta M_V^H(\delta_{0.6}) = (+3.25 \pm 0.21) \delta_{0.6} - (12.26 \pm 2.42) \delta_{0.6}^2 + (72.67 \pm 7.31) \delta_{0.6}^3 \quad (11)$$

Korelasyon katsayısının 0.68 oluşu Şekil 13 deki saçılmanın büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı, $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$ aralığında $\delta_{0.6} = 0.01$ dex aralıklar ile ΔM_V^H farklarının medyan değerleri hesaplanmış ve Şekil 13 de büyük açık kareler (\square) ile gösterilmiştir. $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$ aralığındaki medyan ΔM_V^H noktalarından geçirilen üçüncü mertebeden fit ± 0.03 dispersiyon ve 0.97 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilmiştir.

$$\Delta M_V^H(\delta_{0.6}) = (+3.17 \pm 0.09) \delta_{0.6} - (8.69 \pm 0.94) \delta_{0.6}^2 + (61.77 \pm 2.90) \delta_{0.6}^3 \quad (12)$$

Şekil 12 den $(B-V) = 0.70$ renk indeksinde (8) ve (9) nolu bağıntılar yardımı ile Hyades ve metalce fakir yıldızlar arasında hesaplanan $\Delta M_V^H(B-V)$ deki 1.37 farkı da dikkate alınarak, (12) ve (10) nolu bağıntılar birleştirildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6}) = \frac{1.42 - 0.08B - V}{1.37} [(+3.17 \pm 0.09)\delta_{0.6} - (8.69 \pm 0.94)\delta_{0.6}^2 + (61.77 \pm 2.90)\delta_{0.6}^3] \quad (13)$$



Şekil 13. (a) *Hipparcos* paralakslarına sahip 257 cüce ve dönüm noktası yıldızının $(B-V) = 0.70$ renk indeksinde, $0.49 < (B-V) < 0.89$ ve $-0.10 \leq \delta_{0.6} \leq +0.29$ aralıklarında $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ arasındaki ilişkisi. Rezidüelleri büyük 16 yıldız istatistikten çıkarılmıştır. 257 yıldızın $\Delta M_V^H(B-V)$ farkları $(B-V) = 0.70$ renk indeksine göre düzeltilmiştir. (b) Katı çizgi 241 yıldız için medyan $\Delta M_V^H(B-V)$ değerlerinden ($\delta_{0.6} = 0.01$ dex aralıkları için hesaplanan medyan $\Delta M_V^H(B-V)$ değerleri \square sembolleri ile gösterilmiştir) geçirilen üçüncü mertebeden fiti göstermektedir. Kesikli çizgi ise LCL88 e ait $\Delta M_V^H(B-V) - \delta_{0.6}$ bağıntısını göstermektedir. Şekilde gösterilen hata barları $(\sigma_{M_V}^2 + \sigma_{M_V(H)}^2)^{0.5}$, $2.17\sigma_\pi / \pi$ bağıntısı ile hesaplanmıştır. 241 yıldız için $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ e ait nihai rezidüeller panel (c) ve (d) de gösterilmiştir. İçi boş üçgenler (Δ) ile gösterilen BV&VC e ait $[\alpha/Fe] = 0.00$, $[Fe/H] > -0.60$, $[Fe/H] \leq -0.60$ kriterleri için 6 Gyr izokronundan hesaplanan $\Delta M_V^H(B-V)$ ve $\delta_{0.6}$ değerlerini göstermektedir.

7. Sonuçlar

Hipparcos relatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ olan 510 cüce ve dönüm noktası yıldız için $(b-y)_0$ ile m_1 , c_1 , β fotometrik indisler arasında 8 terimden ibaret $\beta - (b-y)_0$ bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntı ± 0.009 dispersiyon değeri ile $0.303 \leq (b-y) \leq 0.589$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.574$, $0.126 \leq c_1 \leq 0.463$, $2.531 \leq \beta \leq 2.646$ aralığında uygulanabilir.

131 F ve 246 G tipi yıldızının m_1 , c_1 , $(b-y)$ fotometrik indeksleri ile Spektroskopik metal bolluğu ($[Fe/H]_{\text{spec}}$) arasında elde edilen metal bolluğu bağıntıları ± 0.17 dispersiyon ile spektroskopik bolluklar ile uyum içerisindedir. Hipparcos paralakslarından elde edilen M_v mutlak kadir ile m_1 , c_1 , $(b-y)$ fotometrik indeksleri arasında 590 yıldız için 32 terim test edilmiş ve 518 serbestlik derecesi ve t oranı 2.60 dan büyük 17 terimli mutlak kadir bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntı ± 0.22 dispersiyon değeri ile $0.279 \leq (b-y) \leq 0.728$, $0.051 \leq m_1 \leq 0.757$, $0.088 \leq c_1 \leq 0.504$, $2.486 \leq \beta \leq 2.668$, $2.60 \leq M_v \leq 7.84$ aralığında geçerlidir.

Mevcut veri tabanından itibaren UBV fotometri sisteminde, cüce ve dönüm noktası yıldızları için M_v ile $(B-V)$, $\delta_{0.6}$ arasında bir hibrid M_v kalibrasyonu oluşturulmuştur [2]. Yıldızlar halosuna ait tipik renk indeksi olan $B-V = 0.70$ değerinde, Hipparcos paralaksları Hyades'e göre $\Delta M_v^H(B-V)$ farkını 1.37 olarak vermektedir. Bu fark, yer tabanlı paralakslara dayandırılan [3] (LCL88) e ait çalışmada 1.58 olarak verilmiştir. Genelde, Hipparcos paralaksları yer tabanlı paralaks değerlerinden büyük olmakta ve daha parlak mutlak kadirler vererek, $\Delta M_v^H(B-V) < 0.1$ ve $\delta_{0.6} < 0.18$ aralığında, Hipparcos'a ait $\Delta M_v^H(B-V) - \delta_{0.6}$ bağıntısının LCL88 e ait bağıntıdan sapmasına neden olmaktadır. Hipparcos paralaksları, [1] in uydu kızarma verileri ve yüksek çözünürlüklü Spektroskopik $[Fe/H]$ bolluk değerlerine dayandırılan, $(B-V)$, $\delta_{0.6}$ ile M_v arasındaki UBV fotometrisi için [2] ye ait kalibrasyonlar, [30] tarafından sağlanan *SAI41 CCD UBVR* alan yıldızlarına uygulanarak galaktik yıldız popülasyonlarının ayrımı ve kimyasal evrimi araştırılacaktır.

Bu çalışma İ.Ü. Araştırma Fonu BYP-781/05102005 ve CONACyT 49434 (Meksika, UNAM) projelerinin bir ürünüdür.

Kaynaklar

- [1] Schlegel, D.J., Finkbeiner, D.P., Davis M., 1998, ApJ, 500, 525
- [2] Karatas, Y, Schuster, W.J, 2006, MNRAS, (kabul edildi)
- [3] Laird, J.B., Carney, B., Latham, D.W., 1988, AJ, 95, 1843 (LCL88)
- [4] Feltzing, S, Holmberg, J., Hurley, J.R., 2001, A&A, 377, 911
- [5] Nordstrom, B ve ark. 2004, A&A, 418, 989
- [6] Karataş, Y, Bilir, S, Schuster, W.J., 2005, A&A, 360, 1345
- [7] Sandage, A, 1969, AJ, 158, 1115
- [8] Carney, B., 1979, ApJ, 233, 211
- [9] Cameron, L.M., 1985, A&A, 145, 59
- [10] Sandage, A., Fouts, G., 1987, AJ, 92, 74
- [11] Buser, R, Kurucz, R., 1992, A&A, 264, 557
- [12] Schuster, W.J., Nissen, P.E., 1988, A&AS, 73, 225 (SN)
- [13] Schuster, W.J., Parrao, L., Contreras-Martinez, M.E., 1993, A&AS, 97, 951 (SPC)
- [14] Schuster, W.J., Beers, T.C., Michel, R., Nissen, P.E., Garcia, G., 2004, A&A, 422, 527
- [15] Schuster, W.J., Moitinho, A., Marquez, A., Parrao, A., Covarrubias, E., 2006, A&A, 445, 939
- [16a] Olsen, E.H., 1983, A&AS, 54, 55
- [16b] Olsen, E.H., 1993, A&AS, 102, 89
- [16c] Olsen, E.H., 1994, A&AS, 104, 429
- [16d] Olsen, E.H., 1994, A&AS, 106, 257
- [17] Cayrel de Strobel, G., Soubiran, C., Ralite, N., 2001, A&A, 373, 159
- [18] Arce, H.G., Goodman, A.A., 1999, ApJ, 512, L135
- [19] Schuster, W.J., Nissen, P.E., 1989, A&A, 221, 65
- [20] Olsen, E., 1988, A&A, 189, 173

- [21] Lutz, T.E., Kekler, D.H., 1973, PASP, 85, 573
- [22] Bergbusch, P.A., VandenBerg, D.A., 2001, ApJ, 556, 322
- [23] Cayrel, R., Cayrel de Strobel, G., Campbell, B., 1985, A&A, 146, 249.
- [24] Boesgaard, A.M., Friel, E.D., 1990, ApJ, 351, 467
- [25] Cayrel de Strobel, G., Crito, F., Lebreton, Y., 1997, Proceedings of the ESA Symposium 'Hipparcos-Venice 97', ESA SP-402, p.687
- [26] Perryman, M.A.C. ve ark., 1998, A&A, 331, 81
- [27] Crawford, D.L., 1975, AJ, 80, 955
- [28] Reid, I.N., 1997, AJ, 114, 161
- [29] Siegel, M.H., Majewski, S.R., Reid, I.N., Thompson, I.B., 2002, ApJ, 578, 151

