

2MASS, SDSS VE BVRI FOTOMETRİK SİSTEMLERİ ARASINDAKİ DÖNÜŞÜM FORMÜLLERİ

Serap AK¹, Selçuk BİLİR¹, Salih KARAALİ², Antonio
CABRERA-LAVERS³, Taylor CHONIS⁴, C. Martin GASKELL⁵

¹*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119,
Üniversite – İstanbul*

e-posta: {akserap, sbilir}@istanbul.edu.tr

²*Beykent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bilgisayar Bölümü,
Ayazağa 34396, İstanbul*

e-posta: skaraali@beykent.edu.tr

³*Instituto de Astrofísica de Canarias, 38205 La Laguna, Tenerife, Spain e-
posta: acabrera@iac.es*

⁴*Department of Physics & Astronomy, University of Nebraska, Lincoln, NE 68588-
0111, USA*

e-posta: tschonis@bigred.unl.edu

⁵*Astronomy Department, University of Texas, Austin, TX 78712 e-posta:
gaskell@astro.as.utexas.edu*

Özet

Bu çalışmada, 2MASS (İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması) fotometrik sistemi ile Johnson-Cousins UBVRI ve SDSS (Sloan Dijital Gökyüzü Taraması) ugriz sistemleri arasında renk dönüşümlerini sunuyoruz. Yıldızların 2.5m lik teleskopla ölçülmüş SDSS gri parlaklıkları SDSS DR5 (Data Release 5) veri tabanından, BVRI ve JHK_s parlaklıkları, sırası ile, Stetson kataloğu ile Cutri ve diğ.'den (2003) alındı. Üç fotometrik sistemdeki binlerce yıldız, koordinatlarına göre eşleştirildi ve daha önceki dönüşüm denklemlerinde kullanılmayan aşağıdaki sınırlamalar gözönüne alınarak 825 yıldız içeren homojen bir örnek elde edildi: (1) veriler kızarmadan arındırılmıştır, (2) dev yıldızlar alınmamıştır ve (3) örnek en kaliteli yıldızlardan

oluşturulmuştur. Böylece, metal bolluğuna ve popülasyon tipine bağlı iki renkli dönüşüm formülleri elde edilmiştir. Dönüşüm formülleri, parlak SDSS ugriz kadirlerinin satürize (doymuş) olduğu yakın yıldızlar için, 2MASS kadirleri yardımı ile tayin edilecek mutlak kadirlerin SDSS ugriz sistemine dönüştürülmesine ve uzak bölgeler için tayin edilecek SDSS ugriz mutlak kadirleri ile birleştirilerek Güneş'ten itibaren büyük uzaklıklara kadar uzay yoğunluklarının tayin edilmesine olanak vermektedir. Yakın uzaklıklardan tayin edilecek uzay yoğunlukları özellikle farklı popülasyonlara ait yerel (lokal) uzay yoğunluklarının tayinine, dolayısı ile diğer model parametrelerinin daha duyarlı olarak belirlenmesine imkan vermektedir.

Anahtar Kelimeler: teknikler: fotometrik – kataloglar – taramalar

Abstract

We present colour transformations for the conversion of the 2MASS photometric system to the Johnson-Cousins UBVRI system and further into the SDSS ugriz system. We used the SDSS gri magnitudes of stars measured with the 2.5-m telescope from SDSS Data Release 5 (DR5), and BVRI and JHK_s magnitudes from Stetson's catalogue and Cutri et al. (2003), respectively. We matched thousands of stars in the three photometric systems by their coordinates and obtained a homogeneous sample of 825 stars by the following constraints, which are not used in transformations appeared so far: (1) the data are de-reddened, (2) giants are omitted, and (3) the sample stars are selected such as to be of highest quality. We give two colour transformations which are metallicity and population type dependent. The transformations provide absolute magnitude and distance determinations which can be used in space density

evaluations at short distances where *some or all of* the SDSS ugriz magnitudes are saturated. The combination of these densities with those evaluated at larger distances by using SDSS ugriz photometry will supply accurate Galactic model parameters, particularly the local space densities for each population.

Key words: techniques: photometric – catalogues – surveys

1. Giriş

Birçok gökyüzü taraması arasında iki tanesi son yıllarda çok kullanılır olmuştur. Bunlardan ilki, optik dalgaboylarında en büyük fotometrik ve spektroskopik gökyüzü taraması olan Sloan Dijital Gökyüzü Taraması'dır (SDSS, York ve diğ. 2000). İkincisi, kırmızı ötesi dalgaboylarında gökyüzünü görüntüleyen İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması'dır (2MASS, Skrutskie ve diğ. 2006).

SDSS görüntüleri eş zamanlı olarak merkezi dalga boyları, sırası ile, 3540, 4760, 6280, 7690 ve 9250 Å olan beş geniş bantta (u, g, r, i ve z) alınmaktadır (Fukugita ve diğ. 1996, Gunn ve diğ. 1998, Hogg ve diğ. 2001, Smith ve diğ. 2002). Fotometrik pipeline, (Lupton ve diğ. 2001) tespit ettiği cisimleri beş banttan gelen veriler ile eşleştirerek aletsel akıları, konumları ve şekil parametrelerini ölçer. Şekil parametreleri, cismin nokta kaynak veya uzamış kaynak olarak sınıflanmasına yardımcı olan parametrelerdir. Fotometrik kalibrasyonun g, r ve i bantlarında doğruluğu yaklaşık % 2 iken parlak (< 20 kadir) nokta kaynaklar için u ve z bantlarında % 3-5 tir. DR5 görüntü kataloğu 8000 der² lik alanı kapsamaktadır (Adelman-McCarthy ve diğ. 2007) ve limit parlaklıkları, sırası ile, 22.0, 22.2, 22.2, 21.3 ve 20.5 olan u, g, r, i ve z bantlarında nokta kaynakların tekrarlanan gözlemleri % 95 tamamlanmıştır. Verilerin aşırı doyma durumu g, r ve i bantları için yaklaşık 14 kadir, u ve z bantları için yaklaşık 12 kadir (Chonis ve Gaskell 2008).

2MASS gökyüzü taraması yakın kırmızı ötesi Galaktik nokta kaynakların en zengin veri tabanını sağlar. Bu gökyüzü tarama programında, 1.3 m'lik iki teleskop kullanılmıştır: Biri Kuzey yarıküredeki gökyüzünü gözlemek için kullanılan Mt. Hopkins'teki (Arizona) teleskop diğeri ise Güney yarıküredeki gökyüzünü

gözlemek için kullanılan Cerro Tololo'daki (Şili) teleskop. Gözlemler, J ($1.25\mu\text{m}$), H ($1.65\mu\text{m}$) ve K_s ($2.17\mu\text{m}$) bandlarında, sırası ile, 15.8, 15.1 ve 14.3 limit kadirlerine kadar gökyüzünün % 99.998'ini (Skrutskie ve diğ. 2006) içerir. Astrometrik doğruluk 100 mas mertebesindedir.

Yeni tanımlanan bir fotometrik sistem ile daha geleneksel fotometrik sistem (Johnson-Cousins UBVRI sistemi gibi) arasında dönüşüm formülleri elde etmek önemlidir. Bu nedenle u'g'r'i'z', ugriz ve $UBVR_{CI}$ sistemleri arasında birtakım dönüşüm formülleri elde edilmiştir.

SDSS u'g'r'i'z' sistemi ile Johnson-Cousins fotometrik sistemi arasındaki ilk dönüşümler Smith ve diğ. (2002) tarafından elde edilmiştir. Landolt'un (1992) UBV standart yıldızları ile Isaac Newton Teleskobu'nda (INT) u'g'r' filtrelerinden elde edilen gözlemler arasındaki geliştirilmiş dönüşümler ise Karaali ve diğ. (2005) tarafından elde edilmiştir. Karaali ve diğ. (2005), ilk kez, iki renk içeren dönüşüm denklemlerini elde etmişlerdir. Rodger ve diğ. (2006) dönüşüm denklemlerinde iki renk veya kuadratik formları düşünmüşlerdir. Jordi ve diğ. (2006) ise SDSS DR4 ve farklı kaynaklardan alınan BVRI fotometrisini kullanarak SDSS ve UBVRI sistemleri arasında popülasyona (ve metal bolluğuna) bağlı olarak dönüşüm denklemlerini elde etmişlerdir. Ayrıca, SDSS ve RGU sistemleri arasında da dönüşüm denklemlerini elde etmişlerdir. En yeni çalışma, Chonis ve Gaskell (2008) tarafından yapılmıştır. CCD sıfır noktalarını belirlemek için SDSS ugriz ile UBVRI sistemleri arasında ışıma gücü veya metal bolluğuna bağlı olmayan dönüşümler elde etmişlerdir.

2MASS ve diğer fotometrik sistemler arasındaki ilk dönüşümler, M ve L cüce yıldızlarındaki manyetik aktivite düzeyini tayin eden Walkowicz ve diğ. (2004) ile West ve diğ.'ne (2005) aittir. Davenport ve diğ. (2006) ise soğuk yıldızların mutlak kadirlerini hesaplamak için 2MASS ve diğer sistemler arasındaki dönüşümleri elde etmişlerdir. Covey ve diğ. (2007), sıra dışı renklere sahip cisimleri belirlemek için ugrizJHK yıldız konumlarını (yani, yedi boyutlu renk diyagramında anakol yıldızlarının konumunu) göz önüne alarak dönüşümleri elde etmişlerdir

Bu çalışmada, 2.5 m'lik teleskobun kullanıldığı SDSS ugriz sistemi ile 2MASS ve 2MASS ile Johnson-Cousins sistemleri

arasındaki dönüşümleri veriyoruz. Bu tür dönüşüm denklemleri, model parametresi hesaplarında 2MASS ve SDSS verilerini birleştirerek Galaktik yapıyı inceleyen araştırmacılara yardımcı olabilir. Böylece, 2MASS verileri yakın uzaklıklarda satüre olmuş (doymuş) SDSS verilerindeki uzay yoğunluklarının boşluğunu doldurabilir. Bu çalışmada, dönüşüm denklemleri ışıma gücüne, metal bolluğuna ve iki renge bağlı olarak elde edilmiştir.

2. Veriler

Verilerimizin ilk ana kaynağı Stetson kataloğudur. Stetson, Landolt alanlarında ve gökyüzünün diğer bölgelerinde CCD gözlemlerinin büyük bir setini kullanmıştır ve onları Landolt UBVRI standartlarına indirgemıştır. Daha büyük alan kaplayan ve daha duyarlı olan CCD gözlemlerinin daha önceki fotokatlandırıcılı gözlemlerle karşılaştırılması, Stetson kataloğunda $V \sim 20$ kadire kadar yıldızların bulunmasını sağlamıştır. 2000 yılından bu yana Stetson, Kanada Astronomi Veri Merkezi'nin³ web sayfasında bulunan, tekrarlayan gözlemlere sahip elverişli sönük yıldızların artan bir listesini yayınlamaktadır (Stetson 2000). Stetson kataloğu, ortalama kadiri 0.02 den daha az standart hataya sahip fotometrik şartlar altında en az 5 kez gözlenmiş yıldızları içermektedir. Stetson'ın veri tabanı Landolt'ta bulunmayan alanları da içermektedir. Landolt'un orijinal alanları başlıca popülasyon I yıldızlarından oluşurken, Stetson'ın yeni alanları popülasyon II yıldızlarının büyük bir kısmını da içermektedir. Ancak, Stetson kataloğu U bandını içermediğinden sadece BVRI için dönüşüm denklemlerini elde ediyoruz. Stetson kataloğunun mevcut hali 40 090 yıldız içermektedir.

Kullandığımız ikinci kaynak SDSS DR5⁴ tir. Stetson'ın yayınlanmış fotometrisini SDSS DR5 fotometrisi ile eşleştirerek standart yıldız örneğimizi belirledik. Yıldızların eşleştirilmesi, SDSS DR5'in web sayfasında yayınlanan Robert Lupton'un SQL kodu kullanılarak yapıldı. Bu eşleştirmeden 3798 yıldız elde edilmiştir.

Çalışmamızda kullandığımız son kaynak ise 2MASS Nokta Kaynakların Tüm Gökyüzü Kataloğu'dur (Cutri ve diğ. 2003).

³ <http://www2.cadc-ccda.hia-ihc.nrc-cnrc.gc.ca/community/STETSON/archive>

⁴ <http://www.sdds.org/dr5/>

2MASS, SDSS kadar derin değildir. Stetson verileri ve SDSS DR5 verilerinin eşleştirilmesinden elde edilen 3798 yıldızdan sadece 1984 tanesini 2MASS içermektedir. 2MASS kadirleri Vizier⁵'den alınmıştır.

Üç fotometrik sistemin eşleştirilmesinden bulunan 1984 yıldızın yakın kırmızı ötesi kadirleri optik kadirler kadar duyarlı değildir. Seçilmiş yıldızların daha duyarlı yakın kırmızı ötesi kadirlere sahip olanlarını seçmek için 2MASS Nokta Kaynakların Tüm Gökyüzü Kataloğu'nda (Cutri ve diğ. 2003) üç filtre için kadirlerin kalitesini gösteren "AAA" işaretli yıldızlar tercih edilmiştir. Kaliteli verilere dayandırılan bu seçim kriterinin uygulanmasından sonra üç fotometrik sistemdeki (BVRI, SDSS, 2MASS) yıldızların toplam sayısı 886'dır.

2.1. Kızarma

Standart yıldızlar farklı Galaktik enlemlerdeki alanlarda bulunurlar ve her bir yıldız alanı da farklı miktarlarda kızarmaya sahiptir. Örnekteki bazı yıldızlar 150 pc içinde bulduklarından kızarmadan etkilenmemişlerdir. Yıldızların $E(B-V)$ renk artıkları iki adımda hesaplanmıştır. İlk olarak, NASA Ekstragalaktik Veritabanı'ndan⁶ Schlegel ve diğ.'nin (1998) haritaları kullanılarak her bir yıldız için model $E_{\infty}(B-V)$ renk artığı hesaplanır. Ancak bu değer, bir yıldız doğrultusunda bulunan sonsuz uzaklık içindir ve her bir yıldızın gerçek uzaklığına göre indirgenmelidir. Bunu yapmak için, ilgilenilen yıldız doğrultusunda fotometrik V bandındaki toplam yıldızlararası soğurma,

$$A_{\infty}(b) = 3.1E_{\infty}(B - V) \quad (1)$$

bağıntısından bulunur. Daha sonra ilgilenilen yıldızın uzaklığına kadar toplam soğurma değeri de aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır (Bahcall ve Soneira 1980):

$$A_d(b) = A_{\infty}(b) \left[1 - \exp\left(\frac{-|d \sin b|}{H}\right) \right] \quad (2)$$

⁵ <http://webviz.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

⁶ <http://nedwww.ipac.caltech.edu/forms/calculator.html>

Burada b ve d , sırası ile, yıldızın Galaktik enlemi ve uzaklığıdır. H yıldızlararası toz için yükseklik ölçeğidir ve 125 pc alınmıştır (Marshall ve diğ. 2006).

Sonunda, her bir yıldız için $E_d(B-V)$ renk artışı,

$$E_d(B - V) = A_d(b)/3.1 \quad (3)$$

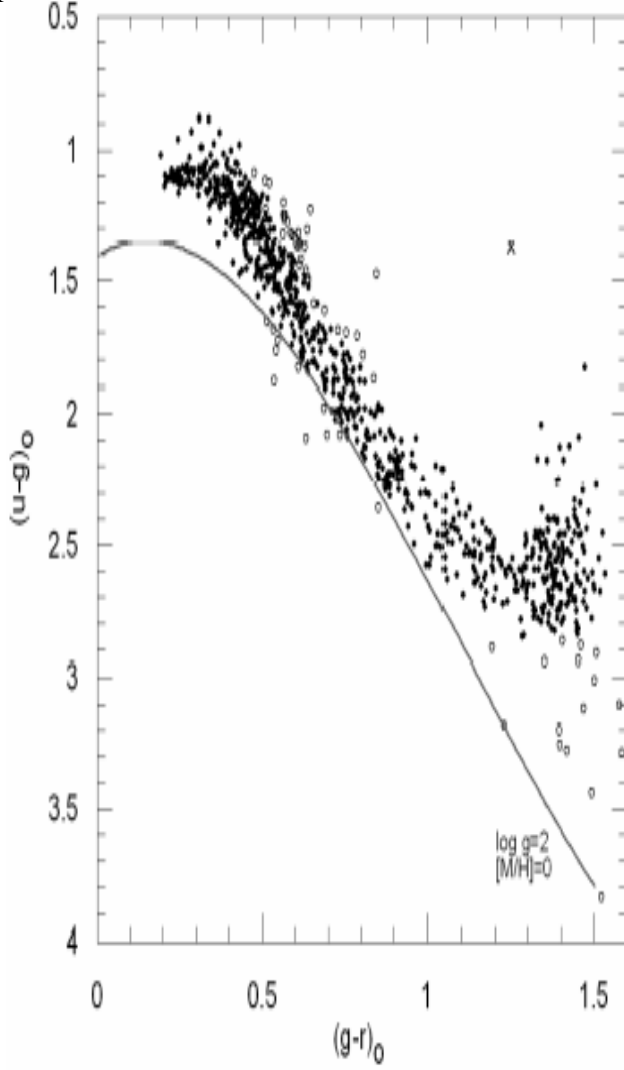
bağıntısı ile hesaplanır.

SDSS bandları için toplam soğurma, A_m , Fan (1999) tarafından verilen A_m/A_V verileri yardımı ile hesaplanmıştır. Yani, A_m/A_V değerleri $m = u, g, r$ ve i için, sırası ile, 1.593, 1.199, 0.858 ve 0.639 dur. 2MASS kadirleri için ise $E(R-I) = 0.60 \times E(B-V)$ Fiorucci ve Munari (2003), $A_J = 0.887 \times E(B-V)$, $A_H = 0.565 \times E(B-V)$ ve $A_{K_s} = 0.382 \times E(B-V)$ (Bilir ve diğ. 2006; Ak ve diğ. 2007) bağıntıları kullanılmıştır.

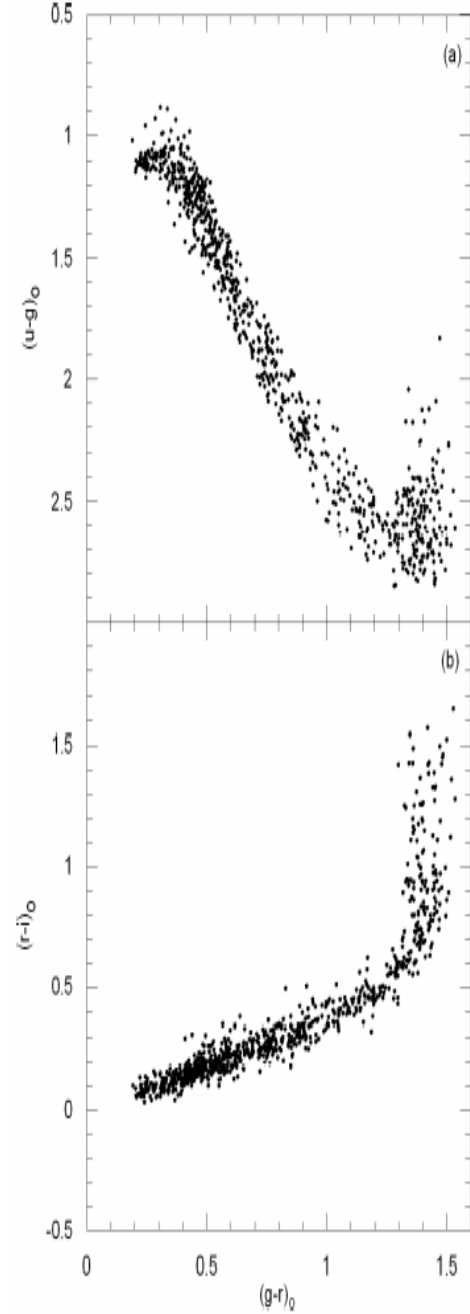
Şekillerde ve yazı içinde kullanılan “o” alt indisi kızarmadan arındırılmış renkler ve kadirleri göstermektedir.

2.2. Cüce ve devlerin ayrımı

Homojen bir yıldız örneği elde etmek için en iyi kalitedeki J , H , K_s kadirlerine sahip yıldızlar ile üç katalogtaki ortak yıldızların $(u-g)_o / (g-r)_o$ iki renk diyagramına (Şekil 1) gereksinim vardır. Şekil 1’de beklenmeyen bir saçılma ve geniş bir yıldız dağılımı göze çarpmaktadır. Bunu gidermek için, $(u-g)_o > 2^m.85$ değerine sahip olan saçılmış 16 kırmızı yıldız dev olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, 11 yıldız Ivezic ve diğ.’nin (2007) yöntemine göre metalce zengin dev yıldız olarak sınıflandırılmış ve örnekten çıkarılmıştır. Ivezic ve diğ. (2007) cüce ve dev yıldızların ayrımını sağlayan metal bolluğu ve yüzey çekim ivmesine göre $(u-g)_o / (g-r)_o$ iki renk diyagramının kalibrasyonunu yapmışlardır. Bu yöntem göre



Şekil 1. Ivezic ve diğ. (2007) ile Helmi ve diğ.'nin (2003) yöntemlerine göre belirlenen dev (o) ve cüce (●) yıldızların $(u-g)_0/(g-r)_0$ iki renk diyagramındaki konumları. (x) işareti, sınıfı belirlenemeyen yıldız; düz çizgi, Kurucz'un (1979) $\log g = 2$ ve $[M/H] = 0$ dex olan yıldız modelini gösterir.



Şekil 2. 825 cüce yıldız içeren örneğin iki renk diyagramları. (a) $(u-g)_0/(g-r)_0$ ve (b) $(g-r)_0/(r-i)_0$ diyagramları.

örnekten çıkarılan 11 yıldız, Şekil 1'de Kurucz'un (1979) $\log g = 2$ ve $[M/H] = 0$ dex olan yıldız modelini gösteren düz çizginin solunda yer alır. Son olarak, Helmi ve diğ.'nin (2003) yöntemi uygulanarak 33 yıldız metalce fakir dev yıldız olarak sınıflandırılmış ve örnekten çıkarılmıştır. Helmi ve diğ.'nin (2003) yöntemi, Washington fotometrisini kullanan Spaghetti Fotometrik Taraması'na (SPS,

Morrison ve diğ. 2003) dayanır. Washington fotometrisinde metalce fakir yıldızlar, 5200 Å civarında Mg_b ve MgH çizgilerinin şiddeti ve sıcaklığına duyarlı (M-T2) ve (M-51) renklerinin temelinde belirlenirler. Sonuç olarak yukarıda bahsedilen yöntemlere göre 60 yıldız, dev yıldız olarak sınıflandırılmış ve örnekten çıkarılmışlardır.

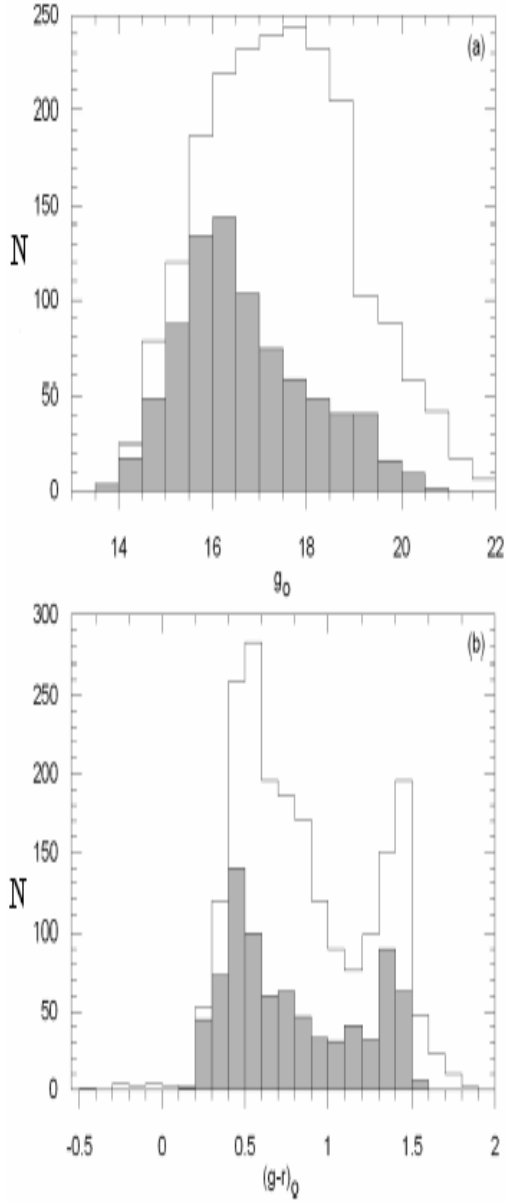
2.3. Son örnek

Şekil 1'deki iki renk diyagramında konumundan dolayı bir yıldız örnekten çıkarılmıştır. Böylece, çalışmada kullanılacak son örnekteki yıldız sayısı 825 tir. Bu yıldızların 2MASS JHK_s, SDSS gri ve BVRI verileri Tabo 1'de verilmiştir. $(u-g)_o / (g-r)_o$ ve $(g-r)_o / (r-i)_o$ iki renk diyagramları Şekil 2'de gösterilmiştir. Renk aralıkları, $0.30 < (B-V)_o < 1.70$, $0.23 < (R-I)_o < 1.78$, $0.18 < (g-r)_o < 1.54$, $0 < (r-i)_o < 1.65$, $0 < (J-H)_o < 0.98$ ve $-0.23 < (H-K_s)_o < 0.63$ tür.

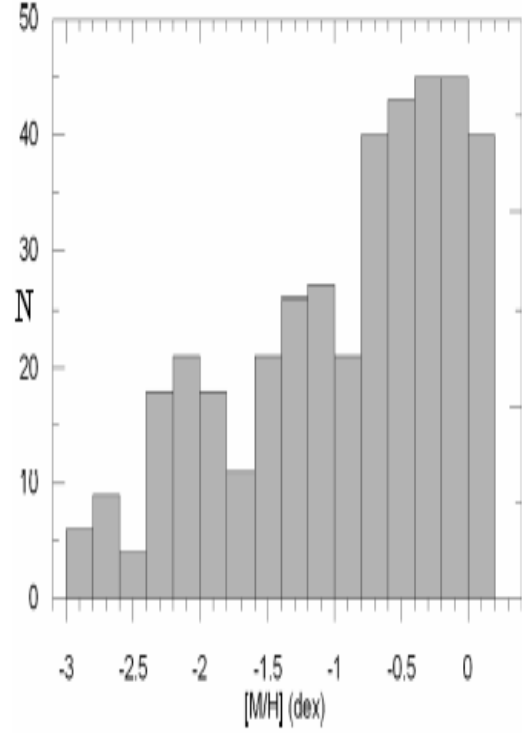
Şekil 3'te gösterilen g_o histogramı örneğimizin $14 < g_o < 20$ aralığında farklı görünen kadirlerdeki yıldızları içerdiğini gösterir. Diğer taraftan aynı şekildeki $(g-r)_o$ renk histogramı çok modlu bir dağılıma işaret eder. Bu çok önemlidir. Çünkü yıldız örneği farklı popülasyon tip ve metal bolluğunun bir birleşimini içeriyorsa o zaman farklı dönüşüm denklemleri elde edilmelidir.

Tablo 1. Örnek yıldızların (toplam 825 yıldız) Johnson-Cousins, SDSS ve 2MASS kadirleri. Kolonlar, (1) yıldız adı, (2) ve (3) Galaktik koordinatlar, (4) V görünen kadir, (5) ve (6) $(B-V)$ ve $(R-I)$ renk indeksleri, (7) g görünen kadir, (8), (9) ve (10) $(u-g)$, $(g-r)$ ve $(r-i)$ renk indeksleri, (11) J görünen kadir, (12) ve (13) $(J-H)$ ve $(H-K_s)$ renk indeksleri ve (14) indirgenmiş $E_d(B-V)$ renk artığını verir.

(1) Star	(2) $l(^{\circ})$	(3) $b(^{\circ})$	(4) V	(5) $(B-V)$	(6) $(R-I)$	(7) g	(8) $(u-g)$	(9) $(g-r)$	(10) $(R-I)$	(11) J	(12) $(J-H)$	(13) $(H-K_s)$	(14) $E_d(B-V)$
L107-S61	5.437	41.308	18.472	1.499	1.054	19.334	2.695	1.466	0.796	15.357	0.775	-0.100	0.093
L107-S83	5.454	41.266	17.421	1.548	1.259	18.272	2.736	1.468	1.015	13.862	0.672	0.262	0.076
L107-S97	5.499	41.257	16.145	0.692	0.461	16.446	1.267	0.507	0.176	14.783	0.397	-0.081	0.103
.
.
.



Şekil 3. (a) g_o görünen kadir histogramı ve (b) $(g-r)_o$ renk histogramı. Koyu alan “AAA” kaliteli yıldız örneğini, beyaz alan ise üç fotometride bulunan yıldızları gösterir.



Şekil 4. Örnek yıldızların metal bolluğu dağılımı.

Yıldızların metal bolluğu, Karaali ve diğ.’nin (2003) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, $-2.7 \leq [M/H] \leq +0.1$ dex aralığındaki $0.10 < (g-r)_o \leq 0.95$ olan yıldızlar için tanımlanmıştır. $(g-r)_o$ daki sınırlama kalibrasyon için kullanılan örneğin renk aralığından dolayıdır. $(g-r)_o > 0.95$ olan kırmızı yıldızlar, ortalama $[M/H] = -0.1 \pm 0.3$ dex (Cox

2000) metal bolluğuna sahip yaşlı ince disk cüce yıldızlarıdır. Bu nedenle, bu yıldızlar için metal bolluğu $[M/H] > -0.4$ dex olarak kabul edildi. Şekil 4, yıldız örneğimizin $[M/H] = -3$ dex metal bolluğuna kadar olan yıldızları içerdiğini gösterir. Metalce fakir yıldızların ($[M/H] \leq -1.2$ dex) sayısı ihmal edilemez. Bu nedenle, yıldız örneği üç farklı metal bolluğu aralığına ayrılmıştır: metalce zengin yıldızlar ($[M/H] > -0.4$ dex), orta metal bolluğundaki yıldızlar ($-1.2 < [M/H] \leq -0.4$ dex) ve metalce fakir yıldızlar ($-3 < [M/H] \leq -1.2$ dex). Dönüşüm denklemleri her bir metal bolluğu aralığı için elde edilmiştir.

3. Sonuçlar

3.1. 2MASS ve Johnson-Cousins fotometrileri arasındaki dönüşümler

Aşağıdaki genel denklemleri kullanarak 2MASS ve Johnson-Cousins BVRI fotometrileri arasında dört set dönüşüm denklemi elde edilmiştir: (1) 825 yıldız içeren tüm örnek için dönüşümler, (2) metalce zengin yıldızlar için dönüşümler, (3) orta metal bolluğundaki yıldızlar için dönüşümler ve (4) metalce fakir yıldızlar için dönüşümler. Dönüşümleri elde etmek için kullanılan genel denklemler şunlardır:

$$(V-J)_o = a_1(B-V)_o + b_1(R-I)_o + c_1 \quad (4)$$

$$(V-H)_o = a_2(B-V)_o + b_2(R-I)_o + c_2 \quad (5)$$

$$(V-K_s)_o = a_3(B-V)_o + b_3(R-I)_o + c_3 \quad (6)$$

Dönüşümlerin a_i , b_i ve c_i ($i = 1, 2, 3$) katsayıları Tablo 2'de verilmektedir. Renklerin bulunduğu her bir sütunda ve dönüşümlerin elde edildiği metal bolluğu aralığında dördüncü ve beşinci satırlar ilgili renklere ait korelasyon katsayısını ve standart sapmayı gösterir. Tüm örnek için elde edilen katsayılar ile alt örnekler için elde edilenler arasında fark vardır. Bununla beraber, metalce zengin yıldızlar için elde edilen katsayılar tüm örnek için elde edilenlere yakındır. Aynı benzerlik, orta metal bolluğundaki yıldızlar için elde edilen dönüşüm katsayıları ile metalce fakir yıldızlar için elde edilenler arasında vardır. Bu alt örneklerin ($-0.4 < [M/H]$, -1.2

$<[M/H] \leq -0.4$ ve $-3 < [M/H] \leq -1.2$ dex) metal bolluğu dağılımı, ince veya kalın disk veya haloaya ait yıldızların metal bolluğu aralıklarını hatırlatır. Dolayısı ile, bu çalışmada elde edilen dönüşümler ışımaya gücüne ve metal bolluğuna bağlıdır. Ayrıca iki renge de bağlı olduklarından daha duyarlıdır.

Tablo 2. Dört yıldız örneği için (4), (5) ve (6) dönüşüm denklemlerinin a_i , b_i ve c_i ($i = 1, 2, 3$) katsayıları. (R^2) korelasyon katsayısını, (s) standart sapmayı gösterir.

		(1) (V - J) ₀	(2) (V - H) ₀	(3) (V - K _s) ₀
Tüm örnek	a_i	1.210 ± 0.032	1.816 ± 0.039	1.896 ± 0.044
	b_i	1.295 ± 0.038	1.035 ± 0.046	1.131 ± 0.052
	c_i	-0.046 ± 0.014	0.016 ± 0.017	-0.004 ± 0.019
	R^2	0.983	0.982	0.980
	s	0.098	0.119	0.133
$-0.4 < [M/H]$	a_i	1.180 ± 0.042	1.815 ± 0.050	1.878 ± 0.058
	b_i	1.346 ± 0.045	1.062 ± 0.052	1.165 ± 0.061
	c_i	-0.051 ± 0.023	-0.015 ± 0.027	-0.018 ± 0.032
	R^2	0.985	0.984	0.981
	s	0.103	0.121	0.142
$-1.2 < [M/H] \leq -0.4$	a_i	1.557 ± 0.111	2.109 ± 0.157	2.031 ± 0.150
	b_i	0.461 ± 0.205	0.612 ± 0.290	0.878 ± 0.277
	c_i	0.049 ± 0.049	-0.016 ± 0.069	0.004 ± 0.066
	R^2	0.902	0.894	0.906
	s	0.080	0.113	0.108
$-3.0 < [M/H] \leq -1.2$	a_i	1.542 ± 0.081	1.920 ± 0.108	2.044 ± 0.123
	b_i	0.447 ± 0.156	0.845 ± 0.207	0.974 ± 0.237
	c_i	0.095 ± 0.036	0.055 ± 0.048	-0.022 ± 0.054
	R^2	0.943	0.942	0.936
	s	0.084	0.112	0.128

3.2. 2MASS ve SDSS fotometrisi arasındaki dönüşümler
2MASS ve SDSS fotometrileri arasındaki dönüşüm formülleri de benzer genel denklemler kullanılarak elde edilmiştir:

$$(g-J)_0 = d_1(g-r)_0 + e_1(r-i)_0 + f_1 \quad (7)$$

$$(g-H)_0 = d_2(g-r)_0 + e_2(r-i)_0 + f_2 \quad (8)$$

$$(g-K_s)_0 = d_3(g-r)_0 + e_3(r-i)_0 + f_3 \quad (9)$$

Dönüşümlerin d_i , e_i ve f_i ($i = 1, 2, 3$) katsayıları Tablo 3'te yukarıda tanımlanan dört set için verilmektedir.

		(1) (g - J) ₀	(2) (g - H) ₀	(3) (g - K _s) ₀
Tüm örnek	d_i	1.379 ± 0.015	1.849 ± 0.021	1.907 ± 0.023
	e_i	1.702 ± 0.019	1.536 ± 0.025	1.654 ± 0.028
	f_i	0.518 ± 0.007	0.666 ± 0.010	0.684 ± 0.011
	R^2	0.994	0.991	0.990
	s	0.083	0.115	0.126
-0.4 < [M/H]	d_i	1.361 ± 0.016	1.823 ± 0.022	1.881 ± 0.024
	e_i	1.724 ± 0.019	1.561 ± 0.026	1.675 ± 0.028
	f_i	0.521 ± 0.009	0.670 ± 0.013	0.692 ± 0.014
	R^2	0.995	0.993	0.992
	s	0.080	0.111	0.121
-1.2 < [M/H] ≤ -0.4	d_i	1.536 ± 0.102	1.792 ± 0.134	1.790 ± 0.143
	e_i	1.400 ± 0.215	2.092 ± 0.281	2.272 ± 0.301
	f_i	0.488 ± 0.028	0.584 ± 0.037	0.628 ± 0.039
	R^2	0.928	0.924	0.918
	s	0.085	0.112	0.120
-3.0 < [M/H] ≤ -1.2	d_i	1.435 ± 0.061	1.711 ± 0.075	1.741 ± 0.086
	e_i	1.769 ± 0.137	2.339 ± 0.169	2.640 ± 0.192
	f_i	0.481 ± 0.022	0.598 ± 0.027	0.583 ± 0.031
	R^2	0.960	0.960	0.954
	s	0.088	0.108	0.123

Tablo 3. Dört yıldız örneği için (7), (8) ve (9) dönüşüm denklemlerinin d_i , e_i ve f_i ($i = 1, 2, 3$) katsayıları. (R^2) korelasyon katsayısını, (s) standart sapmayı gösterir.

3.3. Gözlenmiş renkler ile hesaplanmış renkler arasındaki farklar

Gözlenmiş renkler ile (4)-(9) denklemleri yardımı ile hesaplanan renkler arasındaki farklar hesaplanmış ve bu farkların ortalamasının küçük olduğu görülmüştür. Bununla beraber, farklı renklere ait farkların aralığı aynı değildir. (4) ve (7) denklemlerinden elde edilen farkların aralığı daha küçüktür. Daha uzun dalgaboylu kadirler için ise farkların aralığı daha büyüktür. Yani, J kadiri için $\Delta(V-J)$ ve $\Delta(g-J)$ farkları -0.2 ile +0.2 arasında iken $\Delta(V-H)$, $\Delta(g-H)$, $\Delta(V-K_s)$ ve $\Delta(g-K_s)$ farkları -0.4 ile +0.4 arasındadır. Bu, yukarıda verilen dönüşümler yardımı ile hesaplanan J kadirlerinin daha duyarlı

olduğunu gösterir.

Şekil 5, tüm örnek için iki renkli ve tek renkli dönüşümlerden elde edilen farkların karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu şekilden de görüleceği gibi, bu çalışmada elde edilen dönüşümler tek renkli olanlardan daha iyidir. Tek renkli dönüşümler için saçılma iki renkli olanlardan çok daha fazladır ve sistematik bir hataya sahiptir.

3.4 Ters dönüşüm formülleri

2MASS verileri Johnson-Cousins veya SDSS sistemine dönüştürülmek istenebilir. Bu nedenle, (4)–(6) ve (7)–(9) denklemlerinin ters dönüşümleri de aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

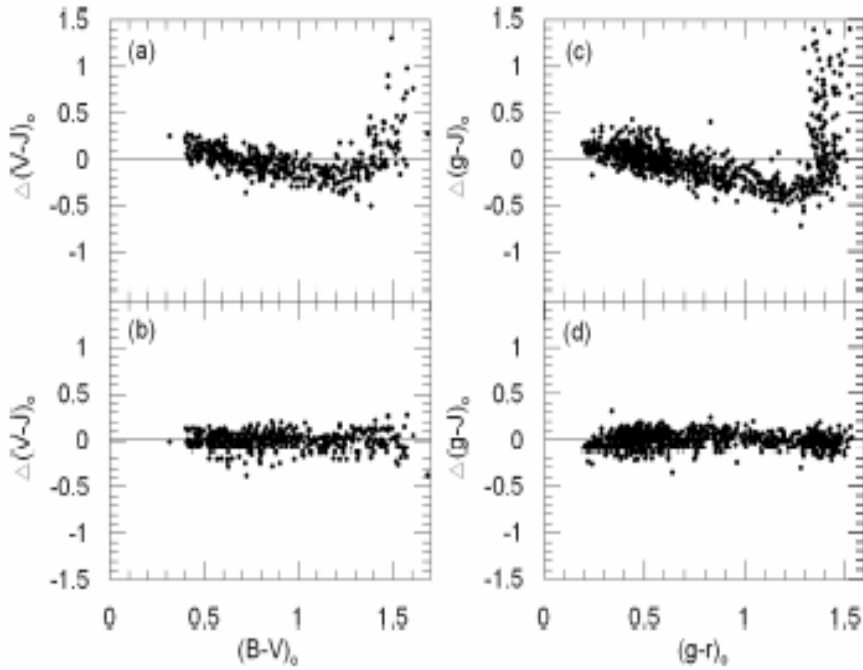
$$(B-V)_o = \alpha_1(J-H)_o + \beta_1(H-K_s)_o + \gamma_1 \quad (10)$$

$$(R-I)_o = \alpha_2(J-H)_o + \beta_2(H-K_s)_o + \gamma_2 \quad (11)$$

$$(g-r)_o = \alpha_3(J-H)_o + \beta_3(H-K_s)_o + \gamma_3 \quad (12)$$

$$(r-i)_o = \alpha_4(J-H)_o + \beta_4(H-K_s)_o + \gamma_4 \quad (13)$$

Dönüşüm formüllerinin α_i , β_i ve γ_i ($i=1, 2, 3, 4$) katsayıları daha önceki bölümlerde tanımlanan dört set için Tablo 4’te verilmiştir.



Tablo 4. Dört yıldız örneği için ters dönüşüm formüllerinin α_i , β_i ve γ_i ($i = 1, 2, 3, 4$) katsayıları.

Johnson-Cousins	$(B - V)_0 = \alpha_1(J - H)_0 + \beta_1(H - K_s)_0 + \gamma_1$					$(R - I)_0 = \alpha_2(J - H)_0 + \beta_2(H - K_s)_0 + \gamma_2$				
	α_1	β_1	γ_1	R^2	s	α_2	β_2	γ_2	R^2	s
Tüm örnek	1.622 ± 0.032	0.912 ± 0.051	0.044 ± 0.015	0.845	0.120	0.954 ± 0.028	0.593 ± 0.050	0.025 ± 0.013	0.755	0.101
-0.4 < [M/H]	1.640 ± 0.044	1.033 ± 0.075	0.050 ± 0.022	0.855	0.125	1.027 ± 0.040	0.658 ± 0.080	-0.003 ± 0.020	0.772	0.117
-1.2 < [M/H] ≤ -0.4	1.103 ± 0.074	0.486 ± 0.091	0.228 ± 0.029	0.665	0.077	0.521 ± 0.054	0.311 ± 0.066	0.179 ± 0.021	0.546	0.050
-3.0 < [M/H] ≤ -1.2	1.276 ± 0.056	0.541 ± 0.066	0.173 ± 0.025	0.782	0.088	0.608 ± 0.038	0.322 ± 0.051	0.172 ± 0.017	0.712	0.054
SDSS	$(g - r)_0 = \alpha_3(J - H)_0 + \beta_3(H - K_s)_0 + \gamma_3$					$(r - i)_0 = \alpha_4(J - H)_0 + \beta_4(H - K_s)_0 + \gamma_4$				
	α_3	β_3	γ_3	R^2	s	α_4	β_4	γ_4	R^2	s
Tüm örnek	1.951 ± 0.032	1.199 ± 0.050	-0.230 ± 0.015	0.879	0.135	0.991 ± 0.026	0.792 ± 0.042	-0.210 ± 0.012	0.760	0.107
-0.4 < [M/H]	1.991 ± 0.040	1.348 ± 0.066	-0.247 ± 0.019	0.900	0.136	1.000 ± 0.036	1.004 ± 0.064	-0.220 ± 0.017	0.779	0.120
-1.2 < [M/H] ≤ -0.4	1.217 ± 0.078	0.491 ± 0.091	0.050 ± 0.030	0.663	0.083	0.600 ± 0.035	0.268 ± 0.040	-0.049 ± 0.013	0.708	0.037
-3.0 < [M/H] ≤ -1.2	1.422 ± 0.065	0.600 ± 0.076	-0.003 ± 0.029	0.749	0.099	0.609 ± 0.030	0.279 ± 0.035	-0.047 ± 0.013	0.728	0.045

4. Sonuç

Bu çalışmada, 2MASS, SDSS ve Johnson-Cousins fotometri sistemleri arasında elde edilen dönüşüm formülleri sunulmuştur. En duyarlı dönüşümleri elde etmek için, daha önce SDSS ve diğer sistemler arasındaki dönüşümleri elde eden araştırmacıların kullandıklarına ilaveten verilere bazı sınırlamalar yapılmıştır. Bu sınırlamalar: (1) veriler kızarmadan arındırılmıştır, (2) dev yıldızlar örnekten çıkarılmıştır, (3) örnek yıldızlar kaliteli verilerden seçilmiştir, (4) dönüşümler farklı metal bolluğu ve popülasyon tipleri için elde edilmiştir ve (5) dönüşümler iki renge bağlı olarak elde edilmişlerdir.

Dört yıldız örneği için elde edilen dönüşümlerin korelasyon katsayıları (R) oldukça iyidir. Korelasyon katsayılarının en küçüğü $(V-H)_0$ için $R^2 = 0.894$ değeridir. Diğerleri, 0.900 ile 0.995 arasında bulunurlar. Standart sapma 0.1'dir. Dört yıldız örneği için elde edilen dönüşüm denklemlerinin katsayıları arasında farklar olması bu çalışmada elde edilen dönüşümlerin metal bolluğuna bağlı olduğunu gösterir. Tüm örnek dışındaki üç alt örneğin metal bolluğu aralıkları, $-0.4 < [M/H]$, $-1.2 < [M/H] \leq -0.4$ ve $-3 < [M/H] \leq -1.2$ dex, ince disk, kalın disk ve haloya karşılık gelir. Dolayısı ile dönüşüm formülleri ışığa gücüne de bağlıdır.

Kaynaklar

Adelman-McCarthy, J. K. ve diğ., 2007, VizieR On-line Data Catalog, II/276

Ak, T., Bilir, S., Ak, S., Retter, A., 2007, NewA, 12, 446

Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, ApJS, 44, 73

Bilir, S., Güver, T., Aslan, M., 2006, AN, 327, 693

- Chonis, T. S., Gaskell, C. M., 2008, AJ, 135, 264
Covey, K. R., ve diğ., 2007, AJ, 134, 2398
Cox, A. N., 2000, in Cox A. N., ed., Allen's Astrophysical Quantities, p. 482
Cutri, R. M. ve diğ., 2003, CDS/ADC Electronic Catalogues, 2246
Davenport, J. R. A., ve diğ., 2007, AJ, 134, 2430
Fan, X., 1999, AJ, 117, 2528
Fiorucci, M., Munari, U., 2003, A&A, 401, 781
Fukugita, M., 1996, AJ, 111, 1748
Gunn, J. E. ve diğ., 1998, AJ, 116, 3040
Helmi, A., ve diğ., 2003, ApJ, 586, 195
Hogg, D. W., Finkbeiner, D. P., Schlegel, D. J., Gunn, J. E., 2001, AJ, 122, 2129
Ivezic, Z., ve diğ., 2007, AJ, 134, 973
Jordi, K., Grebel, E. K., Ammon, K., 2006, A&A, 460, 339
Karaali, S., Bilir, S., Karataş, Y., Ak, S. G., 2003, PASA, 20, 165
Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, PASA, 22, 24
Kurucz, R. L., 1979, ApJS, 40, 1
Landolt, A. U., 1992, AJ, 104, 340
Lupton, R. H., Gunn, J. E., Ivezic, Z., Knapp, G. R., Kent, S., Yasuda, N., 2001, in Harden F. R., Jr, Primiini F. A., Payne H. E., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 238, p. 269
Marshall, D. J., Robin, A. C., Reyle, C., Schultheis, M., Picaud, S., 2006, A&A, 453, 635
Morrison, H. L., ve diğ., 2003, AJ, 125, 2502
Rodgers, C. T., Canterna, R., Smith, J. A., Pierce, M. J., Tucker, D. L., 2006, AJ, 132, 989
Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M., 1998, ApJ, 500, 525
Skrutskie, M. F. ve diğ., 2006, AJ, 131, 1163
Smith, J. A., ve diğ., 2002, AJ, 123, 2121
Stetson, P. B., 2000, PASP, 112, 925
Walkowicz, L. M., Hawley, S. L., West, A. A., 2004, PASP, 116, 1105
West, A. A., Walkowicz, L. M., Hawley, S. L., 2005, PASP, 117, 706
York, D. G., ve diğ., 2000, AJ, 120, 1579