

NGC 6811 Açık Kümesinin Fotometrik Çalışması

Talar Yontan^{1*}, Selçuk Bilir², Z. Funda Bostancı², T. Ak², S. Karaali², T. Güver², S. Ak², Ş. Duran¹, E. Paunzen³

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

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

³Masaryk Üniversitesi, Teorik Fizik ve Astrofizik Bölümü, Brno, Çek Cumhuriyeti

Özet

Bu çalışmada, Samanyolu Galaksi'sinin Orion-Cygnus kolunda, Kepler alanında bulunan NGC 6811 açık yıldız kümesinin T100 teleskobuyla yapılmış CCD *UBVRI* gözlemlerinin sonuçları sunulmuştur. Fotometrik analizler ile kümenin yapısal ve astrofiziksel parametreleri tayin edilmiştir. Analizlerde Bayesian istatistik kullanılarak kümenin renk artığı $E(B - V) = 0.05 \pm 0.01$ kadir, *V* bandı uzaklık modülü $(m - M) = 10.06 \pm 0.08$ kadir, metal bolluğu $[M/H] = -0.10 \pm 0.01$ dex, yaşı ise $t = 1 \pm 0.05$ Gyr olarak belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak tayin edilen bu parametreler, farklı yöntemler kullanılarak bağımsız olarak da hesaplanmış ve sonuçların birbiriyle uyumu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: (Galaxy:) open clusters and associations, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

1 Giriş

NGC 6811, Galaksinin Orion-Cygnus kolunda bulunan, $\alpha_{2000} = 19^{\text{h}}37^{\text{m}}17^{\text{s}}$, $\delta_{2000} = +46^{\circ}23'18''$ ve $l = 79^{\circ}.210$, $b = +12^{\circ}.015$ koordinatlarında, Güneş'ten yaklaşık 1215 pc uzaklıkta, 630 Myr yaşında bir açık kümedir. İlk kez Lindoff (1972), küme doğrultusundaki 377 yıldızın *UBV* parlaklıklarını fotoğrafik yöntem ile belirlemiş, aynı zamanda incelediği örnek içinde 20 yıldızın fotoelektrik parlaklıklarını da ölçerek kümenin yaşını $t = 0.5$ Gyr, Güneş'ten uzaklığını $d = 1100$ pc hesaplamıştır. NGC 6811'in en güncel çalışması Janes ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar farklı teleskoplar ile aldıkları CCD *UBVRI* fotometrik verilerini kullanarak, küme için renk artığını $E(B - V) = 0.074 \pm 0.024$ kadir, metal bolluğunu $[M/H] = -0.19$ dex, yaşı $t = 1 \pm 0.17$ Gyr, uzaklığı ise $d = 1 \pm 0.05$ kpc hesaplamıştır.

Bu çalışmada kümeye ait renk artığı, uzaklık modülü ve metal bolluğu parametreleri eş zamanlı Bayesian istatistik ve bağımsız yöntemler kullanılarak tayin edilmiştir. Bayesian istatistikten elde edilen parametreler dejenerasyona uğrayabileceğinden, aynı parametreler bağımsız yöntemler ile renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları kullanılarak da elde edilmiş ve iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

2 Gözlemler

Çalışmamızda incelenen NGC 6811 açık kümesinin fotometrik gözlemleri 18 Temmuz 2012 tarihinde, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki T100 teleskobuyla, Asahi marka Bessell *UBVRI* filtreleri kullanılarak yapılmıştır. NGC 6811 açık kümesi için farklı filtrelerde toplam 38 adet CCD görüntüsü alınmıştır. Gece fotometrik olup *V* bandı için ortalama görüş değeri 1.5 yaysaniyesi ölçülmüştür.

CCD verilerinin temel kalibrasyonları ile görüntülerdeki piksel koordinatlarının ekvatorial koordinatlara dönüşümleri standart IRAF yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca gece boyunca Landolt (2009) tarafından listelenmiş çok sayıda standart alan yıldızı

gözlenerek, yine IRAF yazılımlarıyla açıklık fotometrisi uygulanmış ve atmosferik sönmüleme ve gecelik dönüşüm katsayıları elde edilmiştir. Küme alanındaki yıldızların parlaklık tayini için SExtractor yazılımı uygulanmış ve alandaki yıldızların isophotal parlaklıkları tayin edilmiştir (Bertin ve Arnouts 1996). Daha sonra standart yıldızlardan elde edilen atmosferik sönmüleme ve dönüşüm katsayıları Janes ve diğ. (2013)'nin verdikleri denklemler dikkate alınarak isophotal parlaklıklara uygulanmış, küme doğrultusundaki yıldızların parlaklıkları standart sisteme çevrilmiş ve 1605 kaynağın fotometrik verilerinin bulunduğu bir katalog elde edilmiştir.

3 Veri Analizi

Küme doğrultusundaki galaksi dışı kaynaklarının belirlenmesinde SExtractor programının üretmiş olduğu yıldızlılık indeksi dikkate alınmıştır. Buna göre yıldızlılık indeksi 0.8'den küçük 14 kaynak galaksi dışı cisim olarak kabul edilmiştir; böylece küme doğrultusundaki yıldız sayısı 1591 olmuştur. Oluşturulan son örneğe ait *V* parlaklığı ve $U - B$, $B - V$, $V - R$, $R - I$ renklerindeki hesaplanan ortalama hatalar $V < 18$ kadire kadar oldukça düşük iken, bu değerden sonra, beklenildiği gibi, sönük *V* parlaklıklarına doğru hatalar üssel olarak artmaktadır. $V < 15$ ve $15 < V < 18$ aralığında hatalar, $B - V$, $V - R$ ve $V - I$ için, sırasıyla, 0.004 ve 0.022 kadirden daha az iken, aynı *V* değerlerindeki $U - B$ rengi için, sırasıyla, 0.004 ve 0.034 kadirdir. Bu çalışmada yıldızlar için hesaplanan parlaklık ve renkler hem fotometrik duyarlılığın ortaya konması hem de kümenin astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin sonuçlarının sinanması bakımından, Janes ve diğ. (2013)'nin ortak yıldızlarıyla karşılaştırılmış ve iki çalışma arasında sistematik farkların bulunmadığı gösterilmiştir (Yontan ve diğ. 2015).

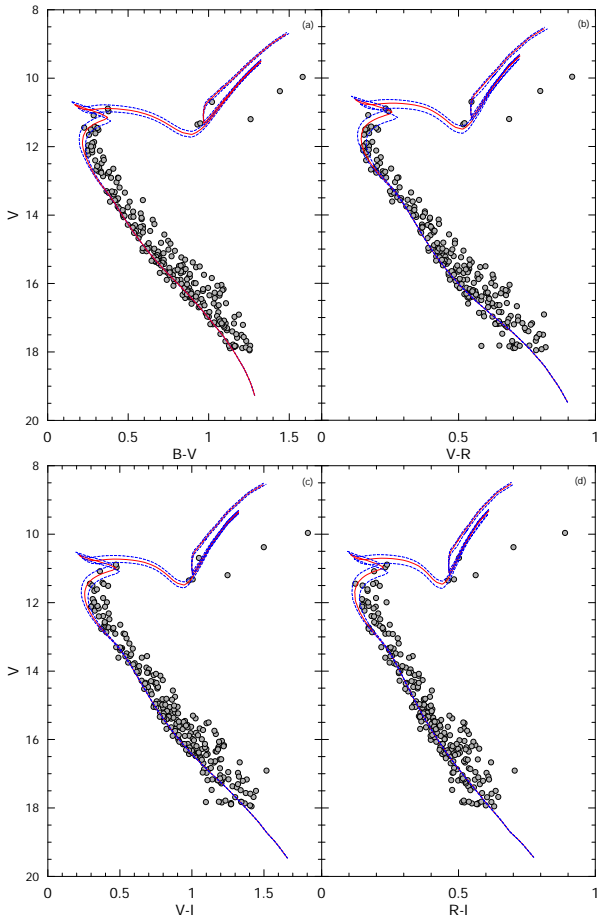
3.1 Kümenin Yapısal Parametreleri

Kümelere yapısal ve astrofizik parametrelerinin tayin edilmesi için en duyarlı yöntem renk-parlaklık diyagramlarının kullanılmasıdır. Bu nedenle çalışmamızda $V \times U - B$, $V \times B - V$, $V \times V - R$, $V \times R - I$ diyagramları dikkate alınmıştır. Kümeye ait parametrelerin tayini için öncelikle $V \times B - V$ diyagramlarından kümeye üye yıldızlar belirlenmiştir. Bunun için üç yöntem iz-

* talar.yontan@istanbul.edu.tr

Çizelge 1. Padova eş-yaş eğrileriyle küme yıldızlarının Bayesian istatistiğe göre karşılaştırılması sonucunda NGC 6811 için elde edilen astrofiziksel parametreler.

Renk-Parlaklık Diyagramı	Renk Artığı (kadir)	μ_1 (kadir)	$[M/H]$ (dex)	Yaş (Gyr)
$V \times B - V$	$E(B - V) = 0.05 \pm 0.01$	10.20 ± 0.18	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
$V \times V - R$	$E(V - R) = 0.05 \pm 0.01$	10.05 ± 0.15	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
$V \times V - I$	$E(V - I) = 0.08 \pm 0.01$	9.95 ± 0.17	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
$V \times R - I$	$E(R - I) = 0.04 \pm 0.01$	10.05 ± 0.16	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
Ortalama		10.06 ± 0.08	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05



Şekil 1. NGC 6811 açık kümesinin (a) $V \times B - V$, (b) $V \times V - R$, (c) $V \times V - I$ ve (d) $V \times R - I$ renk-parlaklık diyagramları ve bunlara en uygun Padova eş-yaş eğrileri. Daire sembolü kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.50$ olan yıldızları, düz çizgi en uygun eş-yaş eğrisini, kesikli çizgiler ise yaştaki hata mertebesine göre eş-yaş eğrisi aralığını göstermektedir.

lenmiştir. İlk önce Sharma et al. (2011)'nin *Galaxia* modeli kullanılarak küme doğrultusunda bulunan alan yıldızlarının renk uzaylarındaki konumlarına bakılmış, daha sonra küme alanındaki yıldızların öz hareket verilerinden Zacharias ve diğ. (2013) ve Balaguer-Núñez ve diğ. (1998)'nin geliştirmiş olduğu algoritmalarla itibaren yıldızlar için hesaplanan kümeye üyelik olasılıkları dikkate alınarak kümenin $V \times B - V$ diyagramındaki anakolu duyarlı bir şekilde belirlenmiştir. Küme üyesi yıldızların seçiminde

astrometrik ölçümlere ek olarak bunların renk uzaylarındaki konumları da dikkate alınmıştır. Bu problemin üstesinden gelmek için metal bolluğu $[M/H] = -0.50$ dex olan PADOVA¹ Sıfır Yaş Anakolu (ZAMS) eğrisi $V \times B - V$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde işaretlenmiştir. Ayrıca anakol kalınlaşmasında çift yıldız etkisinin de dikkate alınması amacıyla bu eğri 0.75 kadir parlaklaştırılmıştır. Böylece iki yaş eğrisi arasında kalan yıldızlar ile $V = 12$ 'den parlak yıldızlar da dikkate alınarak toplam 446 yıldız, kümenin en olası üye yıldızları olarak kabul edilmiştir.

Kümeye üye yıldızlar belirlendikten sonra ilk olarak kümenin yapısal parametreleri elde edilmiştir. Bunun için kümenin merkez koordinatlarından itibaren yıldız yoğunluk değerleri hesaplanmış, yıldız yoğunluk değerleri King modeliyle (King 1962) karşılaştırılarak gözlemsel yoğunlukları en iyi temsil eden fit belirlenmiştir. Kümenin zemin yıldız yoğunluğu f_{bg} , merkezi yıldız yoğunluğu f_0 , çekirdek yarıçapı r_c , sırasıyla, 0.592 ± 0.275 yıldız/yaydakikası², 1.566 ± 0.085 yıldız/yaydakikası² ve 3.860 ± 0.275 yaydakikası olarak hesaplanmıştır.

3.2 İki-Renk ve Renk-Parlaklık Diyagramları

Çalışmada beş fotometrik bant kullanıldığı için NGC 6811 doğrultusunda $U - B \times B - V$, $V - I \times V - R$ ve $R - I \times V - R$ iki- renk diyagramları çizilmiş ve yıldızlar arası ortamın sebep olduğu kızarma değerleri hesaplanmıştır. $U - B \times B - V$ iki- renk diyagramında kullanılan anakol, Sung ve diğ. (2013) tarafından üretilen Güneş bolluğundaki gözlemsel anakol verilerinden, $V - I \times V - R$ ve $R - I \times V - R$ iki- renk diyagramlarındaki anakollar için Marigo ve diğ. (2008)'nin Padova sentetik yıldız kütüphanesinden alınan Güneş bolluğundaki ZAMS verilerini dikkate alınmıştır. Kızarma değerlerinin hesaplanmasında Cardelli ve diğ. (1989)'nin katsayıları kullanılmıştır. Söz konusu anakollar iki- renk diyagramlarında küme verileriyle en iyi uyumu sağlayacak şekilde kaydırılarak küme alanı doğrultusundaki kızarma değerleri $E(U-B) = 0.033 \pm 0.011$, $E(B-V) = 0.046 \pm 0.012$, $E(V-R) = 0.053 \pm 0.010$, $E(V-I) = 0.102 \pm 0.018$, $E(R-I) = 0.046 \pm 0.010$ kadir olarak tayin edilmiştir.

Kümenin uzaklık tayininde anakol çakıştırma yöntemi kullanılarak, kümenin renk-parlaklık diyagramları üzerine küme üyesi yıldızları iyi temsil edecek ZAMS geçirilerle uzaklık modülü hesaplanmıştır. $V \times B - V$ için Sung ve diğ. (2013)'ne ait ZAMS kullanılırken, diğer renk-parlaklık diyagramlarında ise Marigo ve diğ. (2008)'ne ait ZAMS'lar kullanılmış ve kümenin anakolu ile üst üste gelecek şekilde kaydırılmıştır. Bu kaydırma işleminde χ^2 analizleri yapılmış ve en küçük χ_{min}^2 'ye karşılık

¹ <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

gelen değer kümenin uzaklık modülü olarak kabul edilmiştir. Analizler sonucunda farklı renk-parlaklık diyagramlarından uzaklık modülleri $\mu_{B-V} = 10.22 \pm 0.15$, $\mu_{R-I} = 10.32 \pm 0.46$, $\mu_{V-R} = 10.26 \pm 0.25$, $\mu_{V-I} = 10.22 \pm 0.25$, $\mu_{R-I} = 10.22 \pm 0.25$ kadir olarak hesaplanmış, bu değerlerin ortalaması alınarak NGC 6811 açık kümesinin uzaklık modülü $\mu = 10.15 \pm 0.11$ kadir tayin edilmiştir.

NGC 6811 açık yıldız kümesinin metal bolluğunun tayini için, kümenin F-G tayf türündeki anakol yıldızları $0.3 < (B - V)_0 \leq 0.6$ kadir aralığında seçilmiştir. İncelenen renk aralığındaki her bir yıldızın $(U - B)_0$ değeri ile bu yıldızın $(B - V)_0$ değerine karşılık gelen Hyades anakoluna ait $(U - B)_0$ farklarının alınmasıyla morötesi artıkları ölçülmüş, $(B - V)_0 = 0.6$ renk indeksinde kalibre edilmiş ve ortalama değeri hesaplanmıştır. Bu ortalama morötesi artık değeri **Karaali ve diğ. (2011)**'in fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuna yerleştirilerek kümenin ortalama metal bolluğu değeri $[M/H] = -0.074 \pm 0.020$ dex olarak hesaplanmıştır.

3.3 Yaş Tayini

Bu çalışmada NGC 6811 kümesinin yaşı Bayesian istatistiği kullanılarak tayin edilmiştir. Kümeye üyelik olasılığı yüksek yıldızlar kullanılarak oluşturulan renk-parlaklık diyagramları ile farklı metal bollukları ve yaşlar için hesaplanan Padova yıldız modelleri (**Marigo ve diğ. 2008**) karşılaştırılarak, kümenin yaşını en iyi şekilde temsil edecek eş-yaş eğrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Gözlemler ile karşılaştırılacak teorik modellerin seçiminde ağır element bolluğu $[-0.3, +0.2]$ dex, uzaklık modülü $[9, 11]$ ve renk artıkları da $[0, 0.20]$ aralıklarında alınmış olup, metal bolluğu değişim adımları 0.05 dex, uzaklık modülü ve renk artışı değişim adımları ise, sırasıyla, 0.01 ve 0.001 kadir olacak şekilde seçilmiştir. Farklı metal bollukları için hesaplanmış eş-yaş eğrileri ise $0-3$ Gyr aralığında 50 Myr'lık adımlar ile Padova web sitesinden alınmıştır.

Kümeye üye olduğu daha önce belirlenmiş 446 yıldızın fotometrik verilerinden oluşturulan renk-parlaklık diyagramları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu yıldızların içinde kümeye üyelik olasılıkları astrometrik yöntem ile $P \geq 0.50$ olarak belirlenmiş olanlar daire sembolüyle belirtilmiştir. Seçilen 446 yıldızın fotometrik verileriyle Padova eş-yaş eğrilerinin Bayesian istatistiği kullanılarak hesaplanmış en olası yaş değerleri ve bu yaşların standart sapmaları Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca aynı çizelge üzerinde kümenin renk artışı, kızarmadan arındırılmış uzaklık modülü ve metal bolluğu değeri de $V \times (B - V)$, $V \times (V - R)$, $V \times (V - I)$ ve $V \times (R - I)$ diyagramları için hesaplanmıştır. Şekil 1'de verilen renk-parlaklık diyagramları üzerinde düz çizgi küme için hesaplanan yaşı, kesikli çizgiler ise 3σ 'ya karşılık gelen yaş hatalarını göstermektedir.

4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde elde edilmiş gözlemsel veriler incelenerek NGC 6811 açık kümesinin *UBVRI* fotometrik analizleri yapılmış, kümenin yapısal ve astrofiziksel parametreleri hem geleneksel hem de gelişmiş yöntemler kullanılarak duyarlı bir şekilde incelenmiştir. Kümenin astrofiziksel parametreleri için her iki yöntemden elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve literatürden derlenen sonuçlarla karşılaştırılarak parametre dejenerasyonu olup olmadığı incelenmiştir.

NGC 6811 açık kümesinin renk artışı, uzaklık modülü, metal bolluğu ve yaşı gibi astrofiziksel parametrelerinin hesaplanmasında gözlemsel renk-parlaklık diyagramları üzerine

Padova eş-yaş eğrileri geçirilmiştir. Kümenin yaş tayini için en uygun Padova eş-yaş eğrisinin seçiminde Bayesian istatistik kullanılmıştır. Bu yöntemde geniş bir parametre seti kullanılmış olup, renk artışı, uzaklık modülü ve metal bolluğu kümenin yaşıyla eş zamanlı olarak çözülmüştür. Dört parametre eş zamanlı çözüldüğünden, parametre dejenerasyonu olması muhtemeldir. Bu dejenerasyonun kontrol edilerek, gerekirse giderilebilmesi için ikinci bir yöntem izlenmiştir. Buna göre kümenin renk artıkları iki- renk diyagramları üzerinde standart anakolların gözlemsel anakol yıldızlarını temsil edecek şekilde kaydırılmasıyla hesaplanmıştır. Kümenin uzaklık modülleri, Güneş bolluğundaki sıfır yaş anakolları gözlemsel anakolu en iyi temsil edecek şekilde parlaklık-renk diyagramları üzerinde kaydırılarak belirlenmiştir. Yaş tayini için gerekli olan son parametre kümenin metal bolluğudur ve bu parametrenin tayini kümedeki F-G tayf türünden anakol yıldızlarının mor ötesi artıklarının ölçülmesine dayanmaktadır. Çalışmada F0-G1 tayf türü aralığındaki 60 anakol yıldızının ortalama mor ötesi artışı hesaplanarak, kümenin metal bolluğu **Karaali ve diğ. (2011)**'nin fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu yardımıyla $[M/H] = -0.074 \pm 0.020$ dex bulunmuştur. NGC 6811 açık kümesinin iki farklı yöntem ile elde edilen parametrelerinin birbirine yakın oluşu, birden fazla parametrenin eş zamanlı elde edilmesinde en azından bu küme için dejenerasyon olmadığını göstermektedir.

NGC 6811 açık kümesi ilk kez **Lindoff (1972)** tarafından fotometrik olarak detaylıca incelenmiştir. Çalışmada elde edilen parametreler **Lindoff (1972)**'un değerleriyle karşılaştırıldığında, bu çalışmadaki renk artığının üç kat daha az, küme yaşının ise iki kat büyük hesaplandığı görülmektedir. İki çalışmada hesaplanan uzaklıkların hatalar dahilinde uyumlu oldukları söylenebilir. Kümenin ikinci detaylı analizi **Barkhatova ve diğ. (1978)** tarafından yapılmıştır. **Barkhatova ve diğ. (1978)**'nin fotometrik çalışmasında **Lindoff (1972)** ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Parametreler arasındaki en büyük farklılık küme yaşının **Barkhatova ve diğ. (1978)** tarafından 800 Myr, **Lindoff (1972)** tarafından ise 500 Myr verilmesidir. 2000 'li yıllara yaklaşırlarken NGC 6811 kümesi **Glushkova ve diğ. (1999)** tarafından bir kez daha incelenmiştir. **Glushkova ve diğ. (1999)** küme alanındaki yıldızların radyal hızlarıyla birlikte fotoelektrik *UBVRI* incelemesini yaparak, kümenin Güneş'ten uzaklığını $d = 1040$ pc ve yaşını $t = 700$ Myr hesaplamışlardır. Bu araştırmacıların sonuçları **Lindoff (1972)** ve **Barkhatova ve diğ. (1978)**'nin sonuçlarıyla uyum içindedir. Literatürde NGC 6811 açık kümesinin en detaylı CCD fotometrik çalışması **Janes ve diğ. (2013)** tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar kümenin astrofiziksel parametrelerini Bayesian istatistik kullanarak eş zamanlı olarak tayin etmişler, fakat hesapladıkları parametreler arasındaki dejenerasyonu tartışmamışlardır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar ile **Janes ve diğ. (2013)** tarafından elde edilenler karşılaştırıldığında, hesaplanan parametrelerin genelde uyumlu oldukları görülmektedir. Parametreler arasındaki en belirgin farklılık metal bolluğu değerlerinde görülmektedir. **Janes ve diğ. (2013)** NGC 6811 açık kümesinin metal bolluğunu bu çalışmada elde edilen değere göre yaklaşık 0.1 dex daha az vermektedir.

Teşekkür

Bu araştırma 113F201 ve 113F270 numaralı TÜBİTAK projeler ile desteklenmiştir. Gözlemler TUG T100 teleskobunda 12BT100-324 numaralı gözlem projesiyle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Balaguer-Núñez, L., Tian, K. P., Zhao, J. L., 1998, A&AS, 133, 387
Barkhatova, K. A., Zakharova, P. E., Shashkina, L. P., 1978, SvA, 22, 31
Bertin, E., Arnouts, S., 1996, A&AS, 117, 393
Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S., 1989, ApJ, 345, 245
Glushkova, E. V., Batyrshinova, V. M., Ibragimov, M. A., 1999, AstL, 25, 86
Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2013, AJ, 145, 7
Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoglu, B., 2011, PASA, 28, 95
King, I., 1962, AJ, 67, 471
Landolt, A. U., 2009, AJ, 137, 4186
Lindoff, U., 1972, A&A, 16, 315
Marigo, P., Girardi, ve diğ., 2008, A&A, 482, 883
Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., Johnston, K. V., Binney, J., 2011, ApJ, 730, 3
Sung, H., Lim, B., Bessell, M.S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M., Park, B., 2013, JKAS, 46, 103
Yontan, T., Bilir, S., ve diğ., 2015, Ap&SS, 355, 267
Zacharias, N., Finch, C. T., ve diğ., 2013, AJ, 145, 44

Erişim:

O41-1030: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).