T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NGC 6811 AÇIK KÜMESİNİN FOTOMETRİK ÇALIŞMASI

Talar YONTAN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Selçuk BİLİR

Haziran, 2014

İSTANBUL

Bu çalışma 18 / 06 / 2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Selçuk BİLİR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Tansel AK
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Doç. Dr. Tolga GÜVER
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ders ve tez çalışmalarım boyunca bilimsel bilgi birikimini benimle paylaşması ve beni desteklemesinin yanı sıra, bir akademisyen olarak çalışma prensibini ve dürüst kişiliğini örnek aldığım değerli danışmanım Doç. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Tezde kullanılan tüm verilerin indirgenmesinde, analizinde ve kullanılmasında deneyimlerini bizimle paylaşan, bir danışman gibi destek veren ve NGC 6811 açık kümesinin gözlemlerini yapan Prof. Dr. Tansel AK'a,

İndirgeme programlarının, tezde kullanılan programlama dillerinin yazılmasında ve geliştirilmesinde önemli katkıları olan Doç. Dr. Tolga GÜVER'e, Yard. Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER'e ve Şivan DURAN'a

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen, tezi titizlikle inceleyen ve şekillenmesinde önemli katkılarda bulunan Prof. Dr. Serap AK'a,

Yılların kazandırdığı bilgi birikimi ve deneyimi sayesinde çalışmamda önerilerde bulunan Prof. Dr. Salih KARAALİ'ye,

Yüksek lisans eğitimim boyunca TÜBİTAK proje burslarıyla desteklenmemi sağlayan Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN ve Prof. Dr. Tansel AK'a,

Ayrıca, beni bugüne kadar özveriyle yetiştiren, hep daha ileriye adım atmam için bana manevi desteklerini eksik etmeyen, tez çalışmalarım boyunca yanımda olup sabır gösteren aileme,

Yüksek lisans çalışmamda beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK 111T224 ve 113F270),

En samimi duygularımla teşekkür ederim…

Haziran, 2014 Talar YONTAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. AÇIK KÜME TARAMALARI 5
2.2. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI 10
2.3. YAPISAL ÖZELLİKLER VE DİNAMİK EVRİM 15
2.4. KÜMENİN KÜTLE FONKSİYONU 17
2.5. ÇİFT YILDIZLAR VE MAVİ AYKIRI YILDIZLAR 19
2.6. GALAKTİK AÇIK KÜMELER 20
2.6.1. Kümelerin Uzaysal Dağılımları 21
2.6.2 Kümelerin Fiziksel Parametreleri 24
2.6.3. Spiral Kollar ve Açık Kümelerin Konumları 27
3. MALZEME VE YÖNTEM **29**
3.1. GÖZLEMLER 29
3.1.1 Standart Yıldız Alanı Gözlemleri 30
3.1.2 Kümenin Literatür Özeti ve Gözlemleri 32
3.2. CCD KALİBRASYONLARI 33
Sıfır Görüntü 33
Kara Akım Görüntüsü 34
Düz Alan Görüntüsü 35
Girişim Saçakları 35
3.3. STANDART YILDIZLARIN FOTOMETRİSİ 35

3.4. NGC 6811 AÇIK KÜMESİNİN FOTOMETRİSİ 36
3.5. ÂLETSEL PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ 38
3.6. KIZARMADAN ARINDIRILMIŞ RENKLER 40
3.7. SIFIR YAŞ ANAKOL BAĞINTILARI 42
3.8. VERİ ANALİZİ ARAÇLARI 44
3.8.1 Kızarma Kanunu 44
3.8.2 Kümeye Üyelik Kriterleri 45
3.8.3 Uzaklık 47
3.8.4 Metal Bolluğu 48
3.8.5 Padova Yaş Eğrileri ve Yaş Tâyini 51
4. BULGULAR 54
4.1. KÜME VERİLERİNİN ANALİZİ 55
4.2. FOTOMETRİK VERİLERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI 57
4.3. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI 61
4.4. KÜMENİN YOĞUNLUK PROFİLİ 65
4.5. İKİ RENK DİYAGRAMLARI VE UZAKLIK MODÜLÜ 66
4.6. KÜMENİN KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI 70
4.7. KÜMENİN YAŞ TÂYİNİ 74
4.8. KÜMENİN METAL BOLLUĞUNUN BELİRLENMESİNDE FARKLI BİR YÖNTEM 79
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 81
KAYNAKLAR 86
ÖZGEÇMİŞ 95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Trumpler sınıflamasına göre gruplanmış açık kümeler. Sütundaki kümeler (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmalarına göre, satırlardaki (r, m ve p) kümeler ise yıldız sayılarına göre sınıflandırılmıştır. 4

Şekil 2.2: Yıldız oluşum bölgeleriyle aynı konumu paylaşan IC 2944 açık kümesinin görünüşü. Fotoğraf Avrupa Güney Gözlemevi'nin (ESO, European Southern Observatory) Paranal Gözlemevindeki Çok Büyük Teleskobuna bağlı FORS kamerasıyla çekilmiştir. 6

Şekil 2.3: Dias ve diğ.'ne (2002) ait güncel katalogdan alınan açık kümelerin galaktik koordinatlara göre dağılımları. Mavi noktalar Güneş'e uzaklığı 2 kpc içindeki açık kümeleri, kırmızı noktalar ise 2 kpc ötesindeki açık kümeleri göstermektedir. 8

Şekil 2.4: M67 açık kümesinin $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramı (Montgomery ve diğ., 1993). . 11

Şekil 2.5: Collinder 261 kümesinin farklı büyüklükleri için çizilmiş (V, $B\text{-}V$) renk-parlaklık diyagramları (Gozzoli ve diğ., 1996). Sol panelde küme doğrultusundaki tüm kaynaklar, orta ve sağ panellerde ise sırasıyla küme merkezinden itibaren 6 ve 3.5 yay dakikası içindeki kaynaklar gösterilmiştir. 12

Şekil 2.6: NGC 3680 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı Nordstrom ve diğ. (1997). Küçük noktalar küme üyesi olmayan yıldızları, içi dolu daireler kümenin tekil yıldızlarını, içi boş daireler ise kümenin çift yıldızlarını göstermektedir. 12

Şekil 2.7: h ve χ Persei açık kümelerinin çok renk fotometrik görüntüsü (sol panel) ve kümeler doğrultusundaki renk-mutlak parlaklık diyagramı (sağ panel; Slesnick ve diğ., 2002). Sağ paneldeki sıfır yaş anakolu (Zero Age Main Sequence, ZAMS) ile 10 ve 20 Myr teorik eş-yaş eğrileri düz çizgilerle, anakol öncesini gösteren 10 ve 20 Myr teorik eş-yaş eğrileri ise kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Mavi ve kırmızı noktalar sırasıyla h ve χ Persei kümelerinin 7 yay dakikası içindeki yıldızlarını, siyah renkli noktalar ise yıldız alanındaki diğer nokta kaynakları göstermektedir. 13

Şekil 2.8: Trapeizum kümesinin başlangıç kütle fonksiyonu (Lada ve Lada, 2003). 18

Şekil 2.9: NGC 6791 açık kümesinin Hubble Uzay Teleskobundan (HST) alınan görüntülerinin analiziyle elde edilmiş renk-parlaklık diyagramı (King ve diğ., 2005). Kümenin anakolu üzerinde çift yıldız kolu görünmektedir. 20

Şekil 2.10: WIYN Açık Küme Taramasıyla incelenen NGC 188 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı. Mavi mücadeleci yıldızlar anakolun dönüm noktasının parlak ve mavi tarafından yer almaktadır (Mathieu ve Geller, 2009). 20

Şekil 2.11: Dias ve diğ. (2002) kataloğundaki açık kümelerin yaşlarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasındaki değişim. 22

Şekil 2.12: Galaksimizdeki spiral kollar ve bulundukları doğrultulardaki takımyıldızlar.....27

Şekil 3.1: *UBVRI* filtrelerinin rölatif geçirgenlik eğrileri. 30

Şekil 3.2: 100 cm ayna çaplı T100 teleskobu. 31

Şekil 3.3: SI 1100 Cryo modeli CCD kamera. 31

Şekil 3.4: Fairchild marka CCD486 model arkadan aydınlatmalı CCD yongasının kuvantum verimliliği. 31

Şekil 3.5: NGC 6811 kümesinin T100 ile alınan *R* bandı görüntüsü. Görüntünün yönlendirilmesi şekilin sağ alt köşesinde gösterilmiştir. 34

Şekil 3.6: Açık kümelerde bulunan 225 O ve B tayf türünden yıldızın $E(B\text{-}V)$ ile $E(U\text{-}B)$ renk artıklarının karşılaştırılması. Çember ve daireyle gösterilen semboller sırasıyla B ve O tayf türündeki anakol yıldızlarını yıldız sembolü ise evrimleşmiş yıldızları göstermektedir (Sung ve diğ., 2013).....45

Şekil 3.7: Hyades anakolu üzerindeki bir yıldız için morötesi artığı $\delta_{U\text{-}B}$ ve blanketing vektörünün şematik gösterimi.....49

Şekil 4.1: Küme doğrultusunda belirlenen 1605 nesnenin yıldızımsılık indeksi değerlerinin *V* görünen parlaklığına göre dağılımı. Kesikli çizgi yıldızımsılık indeksinin 0.8'e eşit olduğu yer olup, bu sınır yıldız/galaksi ayrımında kullanılmaktadır. 56

Şekil 4.2: NGC 6811 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 1591 yıldızın parlaklık ve renk hatâlarının *V* parlaklığına göre dağılımı. 57

Şekil 4.3: Kuğu takımyıldızı doğrultusunda 100 derece kare büyüklüğündeki Kepler alanının ekvatoral koordinat sistemindeki görüntüsü. Şekildeki kutular *Kepler* uydusunun CCD yongalarına denk gelen alanları göstermektedir. Kepler alanında bulunan dört açık küme kırmızı renkli içi dolu daireler ile gösterilmiştir. 59

Şekil 4.4: Aynı yıldızlar için bu çalışmada ve Janes ve diğ.'nde (2013) yapılmış fotometrik ölçümlerin karşılaştırılması. Her panelde ortalama farklar ve bu farkların standart sapmaları gösterilmiştir. 60

Şekil 4.5: NGC 6811 açık kümesinin renk parlaklık diyagramları: (a) $V \times U\text{-}B$, (b) $V \times B\text{-}V$, (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times R\text{-}I$. 61

Şekil 4.6: NGC 6811 açık kümesinin $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları: (a) Galaxia modeli kullanılarak üretilen sentetik renk-parlaklık diyagramı, (b) astrometrik verilere dayalı olasılıklar (*P*) dikkate alınarak seçilen ve (c) eş yaş eğrilerine göre seçilen küme yıldızları. Mavi düz çizgi, metal bolluğu $[M/H] = 0$ dex olan Padova ZAMS'ını, kırmızı düz çizgi ise mavi çizginin çift yıldız etkisiyle kalınlaşan anakol üst sınırını göstermektedir. 63

Şekil 4.7: NGC 6811 açık kümesinin radyal yüzey dağılımı. Noktalar gözlemsel verileri, düz kırmızı çizgi King profilini, kesikli mavi çizgi ise zemin yıldızlarının Galaxia modeliyle hesaplanan sayısını göstermektedir. 66

Şekil 4.8: İki renk diyagramları: (a) $U\text{-}B \times B\text{-}V$, (b) $V\text{-}I \times V\text{-}R$, (c) $R\text{-}I \times V\text{-}R$. Kesikli mavi çizgiler kızarmamış anakolları, kırmızı düz çizgiler kızarmış anakolları

göstermektedir. Diyagramların sol alt köşesinde kızarma hesabında bulunan χ^2 değerlerinin kontur dağılımları verilmiştir. Panel (a)'da Sung ve diğ.'ne (2013) ait eğriler kullanılırken, panel (b) ve (c)'de Marigo ve diğ.'ne (2008) ait Güneş bolluğundaki sıfır yaş Padova eğrileri kullanılmıştır. 68

Şekil 4.9: Anakol çakıştırma yöntemiyle küme uzaklığının belirlenmesi: (a) $V \times B\text{-}V$ (b) $V \times V\text{-}R$ (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları. Yeşil daireler kümeye üyelik olasılığı $P > 0.5$ olan yıldızları göstermektedir. Uzaklık modülünün hesabındaki χ^2 analizlerinin sonuçları her bir renk-parlaklık diyagramının sol alt kısmında gösterilmiştir. Panel (a)'daki kırmızı çizgi Sung ve diğ.'ne (2013), panel (b-d)'deki kırmızı çizgi ise Marigo ve diğ.'nin (2008) Güneş bolluğundaki ZAMS eğrilerini göstermektedir. 69

Şekil 4.10: NGC 6811 açık kümesinin dönüm noktası ve kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu renk parlaklık diyagramı (a): Yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarına göre farklı renkler ile gösterilmiştir. Cüce ve dev yıldızların ayrımında kullanılan parlaklık-parlaklık diyagramı (b) panelinde sunulmuştur. Mavi düz çizgi Bilir ve diğ.'nin (2006) cüce ve dev yıldız ayırım sınırını göstermektedir. 71

Şekil 4.11: NGC 6811 açık kümesinin (a) $V \times B\text{-}V$ (b) $V \times V\text{-}R$ (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk parlaklık diyagramları ve bunlara en uygun Padova eş yaş eğrileri. Yeşil daireler kümeye üyelik olasılığı $P > 0.5$ olan yıldızları, kırmızı düz çizgi en uygun eş yaş eğrisini, mavi kesikli çizgiler ise yaştaki hata mertebesine göre eş yaş eğrisi aralığını göstermektedir. 76

Şekil 4.12: Kümeye üye yıldızların (a) $V \times B\text{-}V$, (b) $V \times V\text{-}R$, (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk parlaklık diyagramları ile Padova eş yaş eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen normalize edilmiş G değerlerinin yaş ile değişimi. 77

Şekil 4.13: Padova modellerinin gözlemsel verilerle karşılaştırılması sırasında kullanılan farklı astrofiziksel parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkileri ve minimum χ^2 analizi sonuçları. "+" sembolü modellerle gözlemsel veriler arasında en iyi uyumun olduğu noktayı gösterir. 78

Şekil 4.14: NGC 6811 açık kümesinin F0-G1 tayf türü aralığındaki 99 anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki renk diyagramındaki konumları. Şekil üzerinde yıldızların kümeye üyelik olasılıkları mavi kare ($P > 0.7$), kırmızı üçgen ($0.5 < P \leq 0.7$) ve gri daireler ($P \leq 0.5$) ile işaretlenmiştir. Şekildeki siyah eğri Hyades ana kolunu göstermektedir. 80

Şekil 4.15: NGC 6811 açık kümesindeki 99 anakol yıldızının $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ rengine kalibre edilmiş morötesi artık değerlerinin frekans dağılımı. 80

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Gözlemde kullanılan *UBVRI* filtrelerinin etkin dalgaboyları ve yarı band genişlikleri (Fiorucci ve Munari, 2003). 30

Tablo 3.2: 18 Temmuz 2012 gecesi gözlenen standart yıldız alanları ve bunların merkezi koordinatları. 32

Tablo 3.3: NGC 6811 kümesi için Bessell *UBVRI* filtrelerinde verilen poz süreleri ve sayıları. 33

Tablo 3.4: 18.07.2012 gecesi için (3.3-3.9) bağıntılarıyla hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ile gecelik sabitler. 39

Tablo 3.5: Farklı ışıma gücü sınıfından yıldızların kızarmadan arındırılmış *B-V*, *U-B* ve *V-I* renkleri ve *V* parlaklıkları (Sung ve diğ., 2013). 41

Tablo 3.6: Optik renkler için ZAMS bağıntıları. 43

Tablo 3.7: Sandage'in (1969) Hyades açık kümesiyle metalce fakir zarfı kullanarak elde ettiği $f(\delta_{0.6}/\delta(U-B))$ faktörleri. İlk iki sütunda Hyades kümesinin $(B-V)$ ve $(U-B)_H$ renk indeksleri, üçüncü sütunda metalce fakir zarfın $(U-B)_M$ renk indeksleri, dördüncü sütunda aynı $(B-V)$ renk indeksine karşılık gelen $(U-B)$ renk indeksleri farkı ve son sütunda ise $(B-V) = 0.6$ renk indeksine kalibre edilmiş $\delta_{0.6}/\delta(U-B)$ değerleri verilmiştir. 50

Tablo 4.1: Görünen parlaklığa göre hesaplanan ortalama fotometrik hatâlar. Burada *N* parlaklık aralığına düşen yıldız sayısını göstermektedir. 56

Tablo 4.2: NGC 6811 açık kümesinin aday KY yıldızlarının ekvatoral koordinatları (Epok: 2000.0), kümeye üyelik olasılıkları ($P_{Zac.}$ ve $P_{Roe.}$), *V* ve *J* görünen ve kızarmadan arındırılmış (V_0 ve J_0) parlaklıkları ile ışıma gücü sınıfları. $P_{Zac.}$ ve P_{Roe} , sırasıyla, Zacharias ve diğ. (2013) ve Roeser ve diğ.'nin (2010) astrometrik kataloglarınan hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir. 72

Tablo 4.3: NGC 6811 açık kümesinin aday olarak önerilen üç KY yıldızının gözlemsel ve gerçek parlaklık ve renkleri, denklem (4.4)'ten hesaplanan mutlak parlaklıklar ve Güneş'ten uzaklıkları. 73

Tablo 4.4: Padova eş yaş eğrileriyle küme yıldızlarının Bayesian istatistiğe göre karşılaştırılması sonucunda küme için elde edilen astrofiziksel parametreler. 77

Tablo 5.1: NGC 6811 açık kümesinin bu tez çalışmasında ve literatürde verilen astrofiziksel parametreleri. 84

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\mathbf{A_v}$	**:** *V* bandındaki sönümleme miktarı (kadir)
b	**:** b bandı âletsel kadiri
b	**:** Galaktik enlem (derece)
d	**:** Uzaklık (pc)
B-V	**:** *B-V* renk indeksi (kadir)
C	**:** Gecelik sabit
E(B-V)	**:** *B-V*'ye ait renk artığı (kadir)
E(R-I)	**:** *R-I*'ya ait renk artığı (kadir)
E(U-B)	**:** *U-B*'ye ait renk artığı (kadir)
E(V-I)	**:** *V-I*'ye ait renk artığı (kadir)
E(V-R)	**:** *V-R*'ye ait renk artığı (kadir)
f	**:** Morötesi artığının B-V=0.6 rengine kalibrasyonunda kullanılan sabit
$\mathbf{f_0}$	**:** Kümenin merkezi yoğunluğu
i	**:** *i* bandı âletsel kadiri
k	**:** Parlaklık ve renklerdeki birinci mertebe sönümleme katsayıları
k'	**:** Parlaklık ve renklerdeki ikinci mertebe sönümleme katsayıları
L	**:** Likelihood fonksiyonu
l	**:** Galaktik boylam
log g	**:** Yüzey çekim sabiti
$\mathbf{\log(r_t/r_c)}$	**:** Kümenin merkezi yoğunlaşma oranı
$\mathbf{M_\odot}$	**:** Güneş kütlesi
[M/H]	: Fotometrik metal bolluğu
$\mathbf{M_V}$	**:** Mutlak parlaklık (kadir)
$\mathbf{n_c}$	**:** Normalize edilmiş alan yıldız sayısı
$\mathbf{n_f}$	**:** Normalize edilmiş küme yıldız sayısı
r	**:** Küme merkezinden uzaklık
r	**:** *r* bandı âletsel kadiri
r_c	**:** Kümenin etkin yarıçapı
$\mathbf{R_v}$	**:** Sönümleme katsayısı
R-I	**:** *R-I* renk indeksi (kadir)
t	**:** Küme yaşı (yıl)
$\mathbf{T_{eff}}$	**:** Etkin sıcaklık
u	**:** *u* bandı âletsel kadiri
U-B	**:** *U-B* renk indeksi (kadir)
$\mathbf{(U\text{-}B)_H}$	**:** Hyades kümesine ait *U-B* renk indeksi (kadir)
$\mathbf{(\mathit{U\text{-}B})_M}$	**:** Metalce fakir zarfa ait *U-B* renk indeksi (kadir)
UV	**:** Morötesi artık
V	**:** Görünen parlaklık (kadir)
V	**:** Anakol yıldızı
v	**:** *v* bandı âletsel kadiri
V-I	**:** *V-I* renk indeksi (kadir)

V-R	**:** *V-R* renk indeksi (kadir)
X	**:** Hava kütle değeri
X, Y	**:** CCD görüntüsü üzerindeki kaynakların piksel koordinatları
Z	**:** Ağır element bolluğu
Å	**:** Angström
α	**:** Standart sisteme dönüşüm katsayılarını
α_{2000}	**:** Sağ açıklık
δ_{2000}	**:** Dik açıklık
δ**(U-B)**	**:** Morötesi fazlalık (kadir)
$\delta(\mathbf{U-B})_{0.6}$	**:** B-V=0.6 için normalize edilen morötesi fazlalık (kadir)
σ_c	**:** Küme üyesi yıldızların gerçek öz hareket dispersiyonu
σ_V	**:** V bandındaki ortalama hata
σ_{U-B}	**:** U-B rengi için ortalama hata
σ_{B-V}	**:** B-V rengi için ortalama hata
σ_{V-R}	**:** V-R rengi için ortalama hata
σ_{V-I}	**:** V-I rengi için ortalama hata
σ_{R-I}	**:** R-I rengi için ortalama hata
ε_{xi}	**:** Bir yıldızın x doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
ε_{yi}	**:** Bir yıldızın y doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
γ	**:** Korelasyon katsayısı
λ	**:** Dalgaboyu
$\Delta\lambda$	**:** Band genişliği
μ	**:** Uzaklık modülü
ξ	**:** Gözlenen yıldız alan merkezinin zenit uzaklığı
χ	**:** Ki-kare değeri
ρ	**:** Yıldız yoğunluğu
Ia	**:** Süper parlak dev yıldız
Ib	**:** Daha az parlak dev yıldız
III	**:** Dev yıldız
x_c	**:** Açık kümenin x eksenindeki merkezi koordinati
x_i	**:** CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın x koordinat değeri
y_c	**:** Açık kümenin y eksenindeki merkezi koordinati
y_i	**:** CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın y koordinat değeri
P_c	**:** Bir yıldızın kümeye üyelik olasılığı

Kısaltmalar **Açıklama**

CCD : Charge Coupled Device
CMD : Colour-Magnitude Diagram (Renk Parlaklık Diyagramı)
e^- : Elektron
GLIMPSE : Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire
Gyr : Milyar yıl
HR : Hertzprung-Russell
IDL : Interactive Data Language
IMF : Initial Mass Function (Başlangıç Kütle Fonksiyonu)
IRAF : Image Reduction and Analysis Facility (Görüntü İndirgeme ve Analiz Programı).
kpc : Kiloparsek
LTE : Yerel Termik Denge
Myr : Milyon yıl
ON : Orion Bulutsusu
pc : Parsek
PSF : Point Spread Function
SExtractor : Software for source extraction
sn : Saniye
TUG : TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
T100 : TUG'daki 100 cm ayna çaplı teleskop
WEBDA : Base Donnees Amas'dan (BDA) elde edilen web tabanlı veri merkezidir.
WIYN : Wisconsin-Madison, Indiana Universitesi, Yale Üniversitesi ve Ulusal Optik Astronomi Gözlemevi'nin (NOAO) bir araya gelmesiyle oluşturulan Gözlemevi birliği
ZAMS : Zero Age Main Sequence (Sıfır Yaş Anakolu)
2MASS : Two Micron All-Sky Survey (İki Mikron Gökyüzü Taraması)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NGC 6811 AÇIK KÜMESİNİN FOTOMETRİK ÇALIŞMASI

Talar YONTAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk BİLİR

Yüksek lisans tez çalışmasında, Samanyolu Galaksisinin Orion-Cygnus kolunda bulunan NGC 6811 açık yıldız kümesinin (α_{2000} = 19^h 37^m 17^s, δ_{2000} = +46^o 23' 18" ve l = 79°.210, b = +12°.015) CCD *UBVRI* fotometrik gözlemleri 18 Temmuz 2012 tarihinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) 100 cm ayna çaplı T100 teleskobuyla yapılmıştır. Kümenin gözlemlerinin ve indirgemelerinin yanısıra gece boyunca çok sayıda standart yıldızın da gözlemleri yapılarak, bu gözlemlerden elde edilen katsayılar küme alanındaki kaynaklar için fotometrik parlaklık tâyininde kullanılmıştır. Böylece analizler sonucunda kümenin yapısal ve astrofiziksel parametreleri tâyin edilmiştir. King modeli kullanılarak kümenin merkezi yoğunluğu f_0 = 1.35 ± 0.03 yıldız/(yay dakika)^2 ve etkin yarıçapı r_c = 3.12 ± 0.09 yay dakikası bulunmuştur. Bayesian istatistik kullanılarak kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.05 ± 0.01 kadir, uzaklık modülü $(m\text{-}M)_V$ = 10.20 ± 0.18 kadir, metal bolluğu $[M/H]$ = -0.10 ± 0.01 dex, yaşı ise t = 1 ± 0.025 Gyr olarak belirlenmiştir. Eş zamanlı tâyin edilen bu parametreler farklı yöntemler kullanılarak bağımsız olarak da hesaplanmış ve sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları gösterilmiştir.

Haziran, 2014, 96 sayfa

Anahtar kelimeler:

Galaksi: Açık Kümeler ve Oymaklar, Açık Küme: NGC 6811, Fotometri: *UBVRI*

SUMMARY

M.SC. THESIS

PHOTOMETRIC STUDY OF OPEN CLUSTER NGC 6811

Talar YONTAN

İstanbul University

Graduate School of Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk BİLİR

CCD *UBVRI* photometric observations of the open stellar cluster NGC 6811 (α_{2000} = 19^h 37^m 17^s, δ_{2000} = +46^o 23' 18" and l = 79°.210, b = +12°.015) located in the Orion-Cygnus arm of the Milky Way Galaxy were obtained on 18th July 2012 in the TÜBİTAK National Observatory (TUG) with T100 telescope whose primary mirror has diameter of 100 cm. During the observing run, photometric standards were also observed. The CCD *UBVRI* observations of the NGC 6811 open cluster were reduced and the transformation and extinction coefficients, which were calculated from the observations of standard stars, were used to calculate photometric magnitudes of stars in the cluster field. Thus structural and astrophysical parameters of the cluster were estimated. Using the King profile, central density and effective radius of the cluster were found f_0 = 1.35 ± 0.03 star/arcmin^2 and r_c = 3.12 ± 0.09 arcmin, respectively. By using Bayesian statistics, colour excess, distance modulus, metallicity, and age of the cluster were simultaneously estimated $E(B\text{-}V)$ = 0.05 ± 0.01, $(m\text{-}M)_V$ = 10.20 ± 0.18, $[M/H]$ = -0.10 ± 0.01 dex and t = 1 ± 0.025 Gyr, respectively. These parameters were also estimated by independent methods. The results obtained from simultaneous solution and the independent methods are in agreement.

June, 2014, 96 pages

Keywords:

Galaxy: Open Clusters & Associations, Open Cluster: NGC 6811, Photometry: *UBVRI*

1. GİRİŞ

Yıldız kümeleri yıldızların yapısı, oluşumu ve evrimlerinin anlaşılmasında ve teorik modellerin test edilmesinde tercih edilen en önemli gök cisimlerindendir. Yıldızların iç yapılarının ve evrimlerinin anlaşılmasında galaktik kümeler (açık kümeler) mükemmel bir laboratuvar ortamı sağlarlar. Genel karakteristikleri dikkate alındığında yerel ve genel yıldız oluşumlarından, galaksilerin yapı ve evrimlerine kadar uzanan geniş bir alanda incelenen gök cisimleridir. Samanyolu Galaksisinde yıldız kümeleri, iç yapılarında konveksiyon ya da radyasyon ile enerji transferi yapan orta kütleli A-G tayf türündeki yıldızların evrimlerinin araştırılmasında kullanıldıkları gibi, dinamik yıldız sistemlerinin doğrulukla modellenmesinde, galaksi birleşmeleri ve hiyerarşik galaksi oluşum teorilerinin anlaşılmasında da kullanılmaktadır. Ayrıca ışıma gücü, kütle dağılımı, yapısal özellik ve yaş gibi parametreleri duyarlı şekilde tâyin edilebildiğinden, açık kümeler astrofiziksel araştırmalarda da önemli yere sahiptirler.

Açık kümeleri "açık" yapan nedir? Bu tanım, daha kalabalık ve yoğun olan küresel kümelerin görünüşleri dikkate alınarak yapılmıştır. Açık kümeler, küresel kümelere göre daha düşük kütleli ve merkezi bölgeleri daha az yoğun olan gök cisimleridir. Gökyüzünde genellikle dağınık ve seyrek bir şekilde görünürler. Tipik bir açık küme, yaklaşık 100 veya daha fazla sayıda görünen fiziksel üyeye sahip olduğundan yıldız alanlarında keşfedilmeleri ve sınıflandırılmaları kolaydır. Açık kümeler şekil ve yoğunluk bakımından geniş bir aralıkta çeşitlilik gösterirler. Örneğin M11 oldukça kalabalık, M67 seyrektir. NGC 3680 ise birkaç düzine yıldızdan meydana gelir (bkz. Şekil 2.1).

Bir açık kümenin tanımlanmasında kümenin yapısal özellikleri ile birlikte astrofiziksel parametrelerinin de değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirmelerde kümelerin sadece görünüşleri değil aynı zamanda Galaksideki konumları, yaşları, kinematik özellikleri ve kimyasal kompozisyonları da kullanılmaktadır. Bir yıldız popülasyonunun belirlenmesinde olduğu gibi "açık küme" olarak sınıflanacak bir kümenin üye yıldızlarının da benzer özellikler göstermeleri gerekir. Galaksimizdeki açık kümelerin

istatistiksel olarak çalışılmaya başlanmasıyla çoğu kümenin astrofiziksel parametreleri elde edilmiş ve açık kümeler bu parametrelere göre sınıflandırılmıştır. İncelenen küme sayısının artmasıyla bu sınıflamalar geliştirilmiştir.

Açık kümeler, Samanyolu'nun daha çok disk bölgesinde bulunduklarından 'galaktik açık kümeler' veya sadece 'galaktik kümeler' olarak da isimlendirilirler. Açık yıldız kümeleri Galaksideki konumları ve astrofiziksel parametreleri açısından da küresel kümelerden farklıdır. Açık kümeler galaktik düzlem civarında, ince disk popülasyonuna benzer bir dağılım gösterirler. Tüm galaktik düzlem boyunca dağılmış açık kümelerin sistematik olarak araştırılması Galaksi diskinin yapısının ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır.

Tipik bir açık küme görece genç (birkaç yüz milyon yıl) olmakla beraber Galaksi diskinde farklı yaşlarda açık kümeler bulunmaktadır. Genç kümeler henüz oluşum aşamasında bulunduklarından, bunların araştırılması yıldız evriminin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Geniş yaş aralıklarını içine alan açık yıldız kümeleri galaktik diskin evrimini bir bütün olarak araştırma olanağı sağlar.

Galaktik diskte bulunan açık kümelerin kimyasal yapıları Güneş'inkine benzer. Galaksimizde bulunan küresel kümeler ise metalce daha fakirdirler ve kimyasal yapıları Güneş'ten çok farklıdır. Açık kümelerin ayrıntılı incelenmesi, hem yıldız evriminin altında yatan süreçlerin, hem de Galaksinin evrimi boyunca kimyasal zenginleşmesini tanımlayan modellerin anlaşılmasına katkıda bulunmuştur.

Dolayısı ile astrofiziksel parametreleri bilinen açık yıldız kümeleri birikimine katkıda bulunacağı ve çok gözlenen kümelerin parametrelerinin duyarlığının artmasını sağlayacağı için bilinen açık yıldız kümelerinin her birinin detaylı gözlemsel çalışması önemlidir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde elde edilmiş gözlemsel veriler incelenerek NGC 6811 açık kümesinin çok renk fotometrik analizi yapılmış ve kümenin yapısal, astrofiziksel ve evrimsel durumu gelişmiş yöntemler kullanılarak duyarlı bir şekilde incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Açık kümeler Galaksimizin spiral kollarının iç kısımlarında bulunurlar ve genellikle genç, parlak ve sıcak yıldızlardan oluşurlar. Çoğu açık kümenin iç ve dış kısımlarında görülen gaz ve tozdan meydana gelen ortam yıldız oluşumundan arta kalan maddeyi gösterir. Galaktik düzlem civârında yıldız oluşumu devam ettiğinden açık kümelerin evrimleri halen sürmektedir. Kümedeki yıldızlar birbirleri etrafında dolanırlar ve karşılıklı çekimsel kuvvetlerden etkilenirler. Ayrıca moleküler bulutların açık kümeler üzerine uyguladıkları çekimsel tedirginlikler de zaman içinde küme yıldızlarının alan yıldızlarına karışmasına neden olur. Sonuç olarak açık kümeler hem iç dinamiklerinden hem de galaktik etkileşimlerden etkilenerek dağılırlar ve gözden kaybolurlar.

Açık kümelerin çeşitli ölçütlere göre sınıflanmaları mümkündür. En modern sınıflama Trumpler (1925) tarafından kümelerin görünümlerine göre yapılmıştır. Bu sınıflamada üç ana kriter bulunmaktadır: 1) merkezi yoğunlaşma, 2) parlaklık ve 3) zenginlik.

● *Merkezi Yoğunlaşma: Kümenin dağılımının alan yıldızlarınınkinden farkı ve yoğunluğu hakkında bilgi verir. Yoğunlaşma miktarları I, II, III ve IV Romen sayılarıyla gösterilir.*

I – Alan yıldızlarına göre belirgin, kuvvetli merkezi yoğunlaşma

II – Alan yıldızlarına göre belirgin, zayıf merkezi yoğunlaşma

III – Alan yıldızlarına göre belirgin, merkezi olmayan yoğunlaşma

IV – Alan yıldızlarıyla birleşmiş, belirgin olmayan yoğunlaşma

● *Parlaklık*: *Kümedeki yıldızların parlaklıkları hakkında bilgi verir. Parlaklık aralıkları 1, 2, 3 sayılarıyla gösterilir.*

1 – Kümede yıldızların çoğu aynı parlaklıkta

2 – Kümedeki yıldızların çoğu orta parlaklıkta

3 – Küme parlak ve sönük yıldızlardan oluşuyor

● *Zenginlik*: Kümedeki yıldız sayısı hakkında bilgi verir.

Fakir küme (*p*): 50'den daha az yıldız içerir

Orta zengin küme (*m*): 50 ile 100 arasında yıldız içerir

Zengin küme (*r*): 100'den daha fazla yıldız içerir

Sınıflamada kullanılan son terim ise *N* ile gösterilir. Bu terim kümenin çevresindeki bulutumsu yapıyı işaret eder. Şekil 2.1'de Trumpler sınıflamasına göre belirlenmiş açık kümeler gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Trumpler sınıflamasına göre gruplanmış açık kümeler. Sütundaki kümeler (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmalarına göre, satırlardaki (r, m ve p) kümeler ise yıldız sayılarına göre sınıflandırılmıştır.

Açık kümelerin erken dönemindeki renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde, topluluğu oluşturan yüzlerce yıldızın astrofiziksel çalışmalar için önemli kaynaklar olduğu görülmektedir. Açık küme analizleri sonucunda elde edilen en önemli bulgu, aynı yaş ve aynı kimyasal yapıda bulunan küme üyelerinin, oluştukları bulutun fiziksel özelliklerini yansıttıkları yönündedir. Kümelerdeki yıldızlar özellikle yıldız oluşumu ve evrimi, yıldız etkileşimleri, çekimsel olarak bağlı bulundukları kümenin dinamik evrimi ve yıldızların merkezlerinde nükleer reaksiyonlar ile üretilen elementler hakkındaki bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

2.1. AÇIK KÜME TARAMALARI

Açık kümeleri birer astrofizik laboratuvarı olarak ya da Samanyolu'nun yapısı ve evriminin araştırılmasında kullanabilmek için öncelikle bunların güvenilir biçimde belirlenmeleri gerekir. Açık kümelerde bulunan genç ve parlak yıldızların sayısı yıldız alanlarında bulunanlara göre daha fazla olduğundan tespitleri daha kolaydır. Bu nedenle galaktik ölçekte yapılan araştırmalarda bu türden cisimler sıkça kullanılmaktadır. Küme üyesi parlak yıldızlar, açık kümelerin kütle fonksiyonunun maksimum sınırının belirlenmesine olanak vermekle beraber, çok uzaklarda bulunan açık kümelerin kolaylıkla tesbit edilebilmesini de sağlarlar. Kümelerin yaş, kızarma, uzaklık gibi astrofiziksel parametreler birçok yıldızdan belirlendiği için bu tür nicelikler duyarlı şekilde elde edilirken, alan yıldızları için aynı duyarlılıkla hesaplanamazlar. Kümelerin iki renk diyagramları ve renk-parlaklık diyagramlarının eş-yaş eğrileriyle birlikte analizi sonucunda temel astrofiziksel parametreleri hesaplanabilir.

İçinde meydana gelen kararsızlık sonucunda bir molekül bulutunun çökmeye başlamasıyla bir grup ilkel yıldızın oluşum süreci de başlar. Bulutta doğmuş büyük kütleli yıldızların anakola ulaşmasıyla önce bir O-B oymağı, orta kütleli yıldızların anakola gelmesiyle de açık küme oluşmaya başlar (Şekil 2.2). Bu oluşum senaryosu geçerliyse küme yıldızları üzerinde çalışmak kütle, ışıma gücü, yüzey çekim ivmesi, ağır element bolluğu gibi temel astrofiziksel parametrelerin belirlenmesinde önemli bir kolaylık sağlar. Kümeye üye olduğu anlaşılmış çok sayıda yıldızın fotometrik ve tayfsal analizleri yapılarak, hızları, kimyasal yapıları ve yıldız aktiviteleri gibi nicelikleri hesaplanabilir. Bu niceliklerin bir arada incelenmesi küme parametrelerinin duyarlı bir şekilde tâyin edilmesine olanak verir.

Samanyolu Galaksisi'nde bulunan açık kümeleri büyük kataloglarda toplayabilmek için bugüne kadar ciddi çaba harcanmış olup, bu türden çalışmalar elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde sürdürülen gökyüzü tarama programlarıyla devam etmektedir. Böyle çalışmalara referans olacak en önemli katalog, üretildiği 1987 yılından bu yana literatürde yaygın olarak kullanılan ve çalışmalar için temel oluşturan Lynga Kataloğudur[1]. İlk kez 1980'li yılların başlarında literatürde bağımsız yayımlanan açık

[1] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=VII/92A

kümelerin temel parametreleri derlenmek suretiyle bir araya getirilmiş bir katalog olarak literatürde yer almıştır. Geçen yıllar içinde katalog farklı zamanlarda güncellenerek 1987 yılında beşinci sürümüyle birlikte 1151 açık kümenin yapısal ve astrofiziksel parametrelerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Katalogda, fotoğraf plaklarına çekilmiş küme görüntülerinin analiziyle açık kümelerin sınıflaması yapılmıştır. Derlenen ilk Lynga kataloğunda açık kümelerin galaktik yapının özelliklerine işaret eden ilk sonuçlarına ulaşılmıştır (Lynga, 1982). Janes ve diğ. (1988), Lynga kataloğunu kullanarak açık kümelere ait parametreler arasındaki ilişkileri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada çok sayıda gözlemsel verisi olan kümelere farklı ağırlıklar verilmiş ve galaktik metal bolluğu gradiyenti, küme yaşı ve küme boyutu konuları üzerinde ayrıntılı analizler yapılmıştır.



Şekil 2.2: Yıldız oluşum bölgeleriyle aynı konumu paylaşan IC 2944 açık kümesinin görünüşü. Fotoğraf Avrupa Güney Gözlemevi'nin (ESO, European Southern Observatory) Paranal Gözlemevindeki Çok Büyük Teleskobuna bağlı FORS kamerasıyla çekilmiştir.

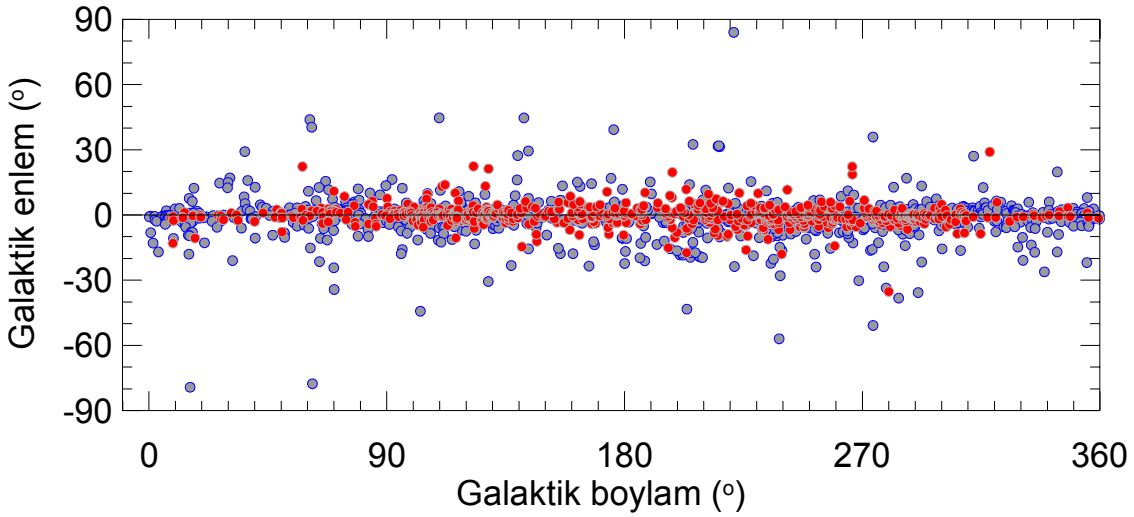
Bir diğer önemli adım, Mermilliod ve diğ.'nin (2008) galaktik açık kümeler için kurduğu Base Donnees Amas'dan (BDA) elde edilen web tabanlı veri merkezidir (WEBDA[2]). Bu veri tabanı kümelerden elde edilen yaş, uzaklık, kızarma, metal bolluğu ve küme doğrultusundaki alan yıldızlarının fotometrik ve tayfsal ölçümlerini içerir. WEBDA birçok fotometrik sistemde gözlemi yapılan küme yıldızlarının fotometrik

[2] http://www.univie.ac.at/webda/

verilerini, tayf türünü, radyal ve rotasyon hızlarını, üyelik olasılıklarını, konumlarını, yayımlanmış verilerin kaynakçalarını ve diğer çalışmalar ile karşılaştırmalarını içeren bir veri tabanıdır. Kapsamlı küme özelliklerinin birçok çalışmasının yapıldığı WEBDA temel bir veri merkezi olup Galaksimizdeki ve Magellan Bulutlarındaki açık kümeleri içermektedir.

WEBDA gözlemleri yapılarak astrofiziksel parametreleri elde edilmiş kümelerle birlikte henüz bu işlemleri tamamlanmamış aday kümelerin listelerini de içermektedir. Dias ve diğ. (2002), tanımlanmış tüm açık kümeler ile birlikte küme adaylarını kapsayacak şekilde WEBDA veri bankasını derleyerek güncel bir katalog yayımlamıştır. Bu katalogda 1629 açık kümenin bilinen tüm parametreleri tek bir veri tablosuna işlenerek literatüre sunulmuştur. Kataloğun veri tabanında açık kümelerin %99'unun görünen çapları yer alırken, sadece %38'inin Güneş'ten uzaklığı, $E(B\text{-}V)$ renk artığı ve yaşı mevcuttur. "Optically Visible Open Clusters and Candidates (Optik Olarak Görünen Açık Kümeler ve Adayları)" isimli Dias ve diğ.'ne (2002) ait katalog günümüze kadar üç farklı veri sürümüyle içeriğini zenginleştirmiştir. Bu kataloğun en güncel hâli 10 Ocak 2013 tarihinde yayımlanan V3.3 sürümü olup toplam 2174 açık küme içermektedir. Katalogdaki 1620 (%74.5) açık kümenin uzaklık, renk artığı ve yaşı yüksek bir duyarlılıkla bilinmektedir. Güncel katalogdaki açık kümelerin galaktik koordinatlara (l, b) göre dağılımları Güneş'ten uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Güneş'ten 2 kpc uzaklığa kadar konumlanmış açık kümeler nispeten geniş bir galaktik enlem aralığında bulunurlarken, 2 kpc ötesindeki çoğu açık kümenin galaktik enlemi $|b| \leq 30^{o}$ aralığında yer alır.

Elektromanyetik tayfın optik bölgesinde sürdürülen taramalar özellikle Galaksinin iç kısımlarında, galaktik düzleme gömülü ya da yıldız oluşum bölgelerinde şekillenmekte olan açık kümeleri belirleyememektedir. Yakın kızılötesi bölgede üç filtre takımıyla (JHK_s) tanımlanan İki Mikron Gökyüzü Tarama programı (Two Micron All Sky Survey, 2MASS) Galakside henüz keşfedilmemiş açık kümelerin belirlenmesi bakımından en önemli gökyüzü tarama programlarından biri olmuştur (Skrutskie ve diğ. 2006). Cutri ve diğ.'nin (2003) yayımlamış olduğu 2MASS nokta kaynak kataloğu yeni açık kümelerin belirlenmesi açısından önemli bir veri tabanıdır.



Şekil 2.3: Dias ve diğ.'ne (2002) ait güncel katalogdan alınan açık kümelerin galaktik koordinatlara göre dağılımları. Mavi noktalar Güneş'e uzaklığı 2 kpc içindeki açık kümeleri, kırmızı noktalar ise 2 kpc ötesindeki açık kümeleri göstermektedir.

Bica ve diğ. (2003) yakın kızılötesi bölgede yapılan gökyüzü taramalarında yıldız kümeleri ve gruplarını içeren birçok makale yayımladılar. Bu çalışmalar, açık küme taramalarının tamamlanmamış olduğu galaktik bölgelere odaklandıkları gibi, optik ve radyo bulutsularının bulunduğu konumları da içermektedir. Birbirini takip eden bu ayrıntılı çalışmalar, başlangıçta tanımlanan birçok küme adayının üyelikleri hakkında belirsizlikler içerdiğini gösterir.

Froebrich ve diğ. (2007), 2MASS fotometrik verilerini kullanarak galaktik enlemi $|b| < 20^o$ olan bölge içinde 1788 açık küme adayı belirlediler. Yapılan analizlerde %40'ının daha önce keşfedilmiş açık ve küresel kümeler olduğu belirlenmiş ve geri kalan yeni adayların %50'sinde ise kirlenmeler olacağı tahmin edilmiştir. İncelenen alanlardaki ani yıldız yoğunluğu artışından belirlenen aday açık kümeler dikkat edilmesi gereken bir konudur. Özellikle galaktik merkeze yakın ve yoğun bölgelerdeki değişken yıldız yoğunluğu aday açık kümelerinin sayısal istatistiğini etkileyen önemli bir seçim etkisidir. Küme yoğunluk profillerinin analizlerinden açık kümeler ile küresel kümelerin ayırımı kolaylıkla yapılabilmektedir. Froebrich ve diğ.'nin (2007) önerdiği çoğu adayın açık küme olduğu bu analizler ile ortaya çıkartılmıştır.

Froebrich ve diğ.'nin (2007) çalışmasını takip eden, özellikle yeni küresel kümelerin veya yüksek kütleli genç ve orta yaşlı kümelerin bulunmasıyla ilgilenen birçok çalışmada (örneğin Bonatto ve Bica 2008; Froebrich ve diğ. 2008) bu aday kümelerin

yapısal özellikleri incelenmiştir. Bonatto ve Bica (2008) incelenen kümelerin zemin kirlenmesi düzeltmesi yapıldıktan sonra gerçek renk-parlaklık diyagramlarının, yoğunluk profillerinin ve kütle fonksiyonlarının elde edilmesinin zor olacağını belirttiler. Froebrich ve diğ.'nin (2008) önermiş oldukları aday kümelerden 74'ünün ayrıntılı fotometrik analizlerini yaparak bunların yarısının temel parametrelerini tâyin edebilmişlerdir. Sekiz açık kümenin yaşının 100 Myr'den küçük, yaklaşık 40 kümenin yaşının ise 1 Gyr'den büyük olduğu belirlenmiştir. Froebrich ve diğ. (2008), yapmış oldukları analizler sonucunda önerilen küme adaylarının büyük kısmının Güneş çemberinin içinde ve dışında yer alan açık kümeler olduklarını söylemişlerdir.

Gökyüzü tarama programlarına ait veriler 2002 yılından itibaren literatürde verilmeye başlanmıştır. Bu gökyüzü taramalarında halen keşfedilmemiş açık kümeler kalmış olabilir. Aday olarak önerilen kümeler için gerçek çekimsel sınır ile fiziksel üyelik arasındaki farkın ortaya konması önemlidir. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için küme adaylarının derin gökyüzü taramalarıyla ayrıntılı incelemeleri yapılmalıdır. Derin gökyüzü taramaları sayesinde Galaksinin daha önce keşfedilmemiş uzak bölgeleri araştırılıp seyrek kümeler keşfedilebilir. Carraro ve diğ.'nin (2005) çalışmasında gösterdikleri gibi galaktik merkez yönünde yapılan araştırmalar artan yıldız yoğunlukları ve düzensiz bir şekilde dağılmış toz engeliyle karşılaşmaktadır. Yıldızlararası ortamın en önemli etkilerinden biri de incelenen kaynakların daha uzakta görünmesine yol açmasıdır. Renk artığının iyi tâyin edilememesi durumunda, kümeyle fiziksel bağı bulunmayan parlak yıldızların küme üyesi olarak değerlendirilmesi riski vardır. Bu durum, kümenin renk-parlaklık diyagramında anakolun görünüşünü bozar ve kümenin alan yıldızlarından ayırt edilmesine olanak vermez.

Küme taramalarına yönelik yöntemlerde seçim yanlılıkları mutlaka dikkate alınmalıdır. Açık kümeler galaktik diskte bulundukları için doğrultuları boyunca toz yapılarının neden olduğu etkilere maruz kalırlar. Bu nedenle toz ortamın sönümleme etkisi ve galaktik yapının genel özellikleri zemin yıldız yoğunluğunda fazlalık ve değişkenliğe sebep olabilir. Zemin yoğunluğundaki bu karakteristik değişimler küme örnekleri içinde belirgin seçim etkilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bir kümenin kolaylıkla tesbit edilebilmesinde yapısal küme parametreleri olarak da bilinen küme zenginliği, açısal büyüklük veya yoğunluk, parlak küme üyelerinin görünürlüğü ve evrim durumu göz

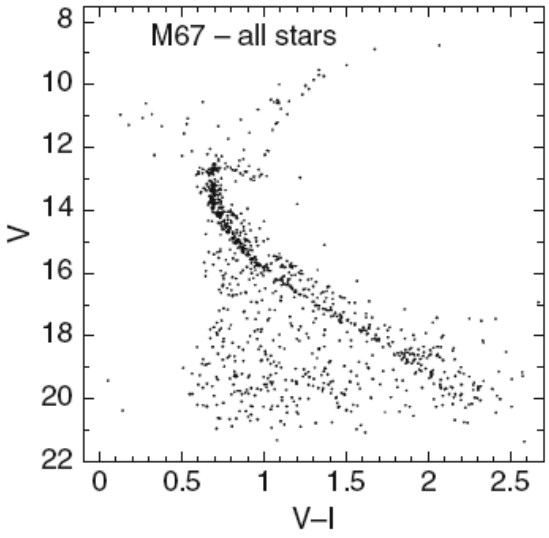
önüne alınır. Örneğin kalabalık yıldız alanlarında bulunan seyrek veya az yıldız içeren kümeleri teşhis etmek zordur. Bu tür kümelerin sistematik olarak daha küçük çaplara sahip olmaları beklenir. Bonatto ve diğ. (2006), bu etkileri çalışmalarında ayrıntılı olarak tartışmışlardır.

Galaktik düzleme yakın bulunan açık kümelerin optik dalgaboylarında keşfedilmeleri yoğun gaz ve tozun neden olduğu sönükleşme etkisinden dolayı zordur. Ayrıca Galaksi merkezinden ve galaktik düzlemden uzaklaştıkça yıldız yoğunluğundaki değişimler nedeniyle kuvvetli seçim etkilerine maruz kalındığından kümelerin keşfi zorlaşır. Bonatto ve diğ. (2006) kümelerin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde bu etkilerin göz önüne alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

2.2. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI

Renk-parlaklık diyagramları (Colour Magnitude Diagrams, CMDs), açık ve küresel kümelerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel araçlardandır. Bu diyagramlar kümenin evrim durumunun belirlenmesinin yanı sıra çift yıldızların sıklığı, aykırı yıldızların varlığı, ışıma gücünün doğası, kütle fonksiyonu, kızarma, uzaklık ve metal bolluğu gibi temel astrofiziksel parametrelerin tâyininde de kullanılır.

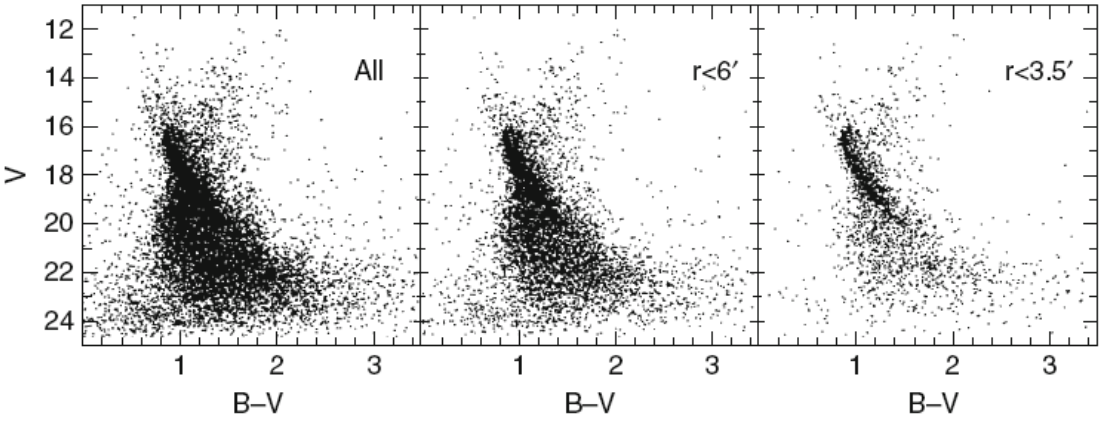
Şekil 2.4'te M67 açık kümesinin (V, V-I) renk-parlaklık diyagramı gösterilmiştir. Güneş ile benzer ağır element bolluğuna sahip, yaklaşık 4 Gyr yaşındaki M67 açık kümesi literatürde en iyi çalışılmış açık kümelerden biridir (Montgomery ve diğ., 1993). Şekilde kümenin anakolu, alt dev ve dev kolu ile anakolun dönüm noktası kolaylıkla görülmektedir. Çekirdeklerinde helyum yakan kırmızı yığın yıldızları da diyagramın yaklaşık (V, V-I) = (10.5, 1.05) bölgesinde yer almaktadır. Kümenin çift yıldızları anakolun üstünde yaklaşık 0.75 kadirlik bir bölge içinde bulunmaktayken, anakolun altında büyük bir saçılma gösteren yıldızlar ise alan yıldızlarını gösterir. Ayrıca yıldız evrim modellerine meydan okuyan ve dönüm noktasının üzerinde bulunan mavi aykırı yıldızlar da bu şekilde göze çarpmaktadır.



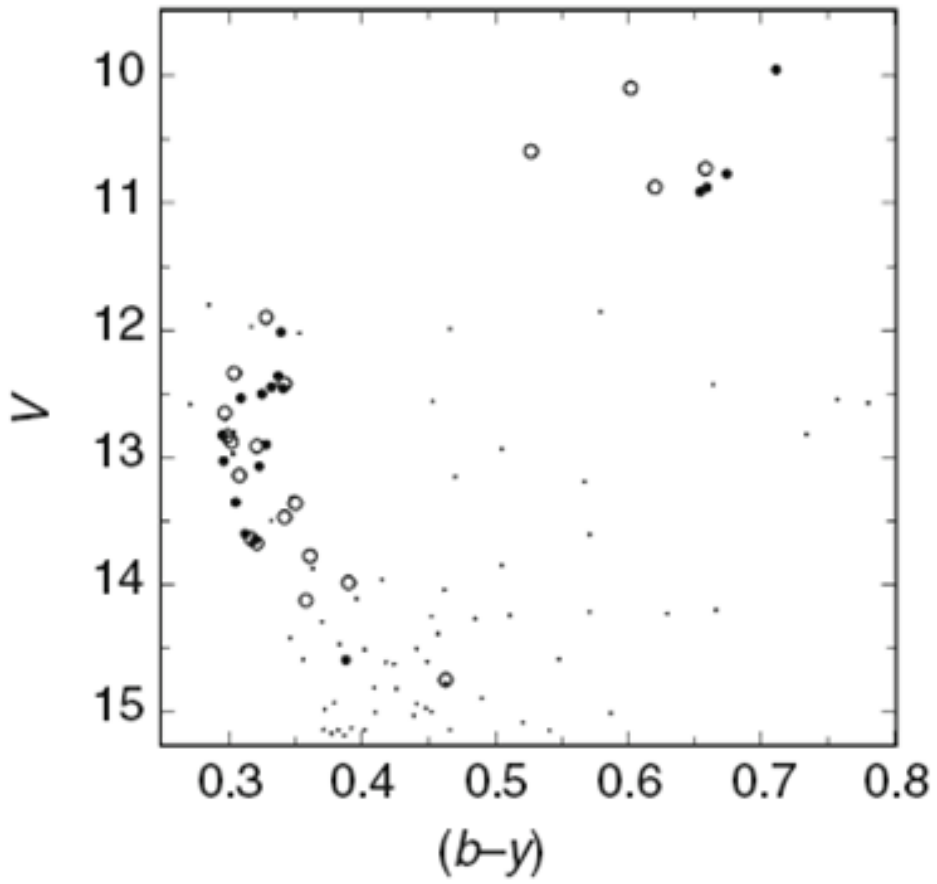
Şekil 2.4: M67 açık kümesinin $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramı (Montgomery ve diğ., 1993).

Renk-parlaklık diyagramlarının çoğu M67 kümesindeki gibi 'temiz' görünmez. Şekil 2.5'te gösterilen Collinder 261 kümesinin CMD'leri bu duruma iyi birer örnektir (Gozzoli ve diğ., 1996). Kümenin anakolu kalabalık alan yıldızlarıyla karışmıştır. Kalabalık alanlara getirilecek istatistiksel sınırlamalar küme anakolunun alan yıldızlarından temizlenmesini sağlar. Gökyüzünde geniş alan kaplayan açık kümelerde üye yıldızlar küme merkezinden itibaren büyük uzaklıklara kadar tesbit edilebilirler. Bunun için küme merkezinden farklı uzaklıklarda bulunan yıldızların renk-parlaklık diyagramları oluşturulur ve küme doğrultusu için sentetik renk-parlaklık diyagramları çizilerek gözlemsel olanlarla karşılaştırılır. Gozzoli ve diğ.'nin (1996) Collinder 261 kümesinin üyelerini belirlerken uyguladıkları seçim yöntemi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

NGC 3680 açık kümesi gayet seyrek bir kümedir (Nordstrom ve diğ., 1997). Seyrek görünümlü kümelerdeki üyelerin belirlenmesi zordur ki bu da kümenin yapısal ve astrofiziksel özelliklerinin anlaşılmasında ciddi sorunlar yaratır. Bu türden kümeler doğrultusundaki yıldızların üyelik tespitlerinde radyal hız ve öz hareket verilerinden faydalanılır. Nordstrom ve diğ. (1997), NGC 3680 küme alanındaki 120 yıldızdan sadece 44'ünün küme üyesi, 25'inin çift yıldız, kalanların ise alan yıldızı olduğunu belirlediler. Anakolun sönük kısımlarına doğru yayılmış küme üyesi olmayan çok sayıda yıldızın varlığı, kümenin bozulma aşamasının son evresinde olduğunu gösterir (Şekil 2.6). Kümenin düşük kütleli yıldızları kümeden ayrıldığı için kütle fonksiyonunda ciddi süreksizlikler vardır.

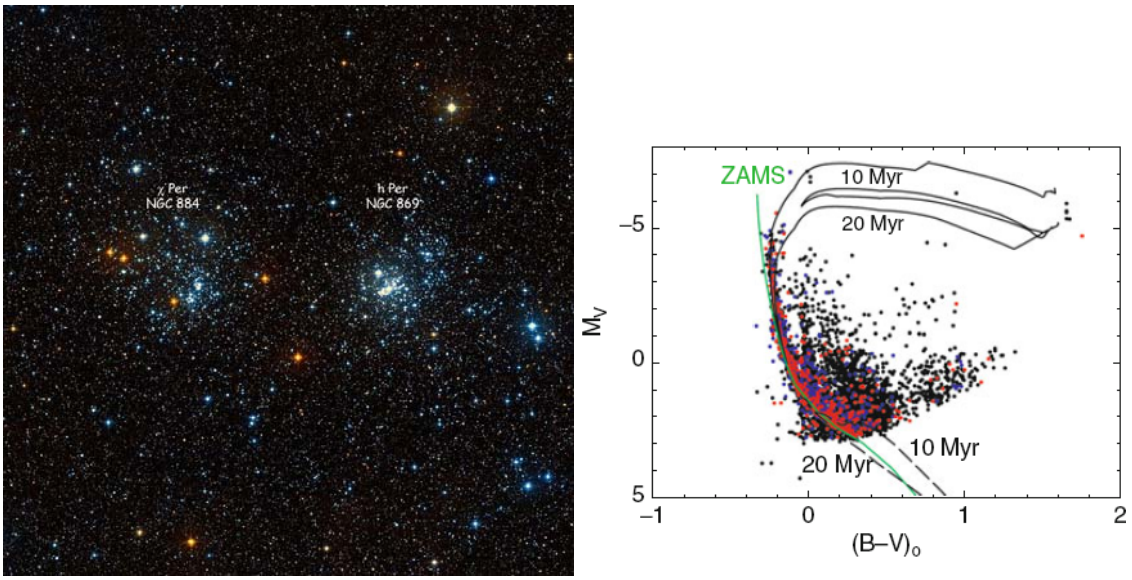


Şekil 2.5: Collinder 261 kümesinin farklı büyüklükleri için çizilmiş (*V*, *B-V*) renk-parlaklık diyagramları (Gozzoli ve diğ., 1996). Sol panelde küme doğrultusundaki tüm kaynaklar, orta ve sağ panellerde ise sırasıyla küme merkezinden itibaren 6 ve 3.5 yay dakikası içindeki kaynaklar gösterilmiştir.



Şekil 2.6: NGC 3680 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı Nordstrom ve diğ. (1997). Küçük noktalar küme üyesi olmayan yıldızları, içi dolu daireler kümenin tekil yıldızlarını, içi boş daireler ise kümenin çift yıldızlarını göstermektedir.

h (NGC 869) ve χ Persei (NGC 884) gibi çok genç ve bir arada bulunan açık kümelerin renk-parlaklık diyagramları kendi içlerinde yorumlanmalıdır (Slesnick ve diğ., 2002). Bu kümelerin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde parlak yıldızların anakolu erken tayf türündeki yıldız bölgesinde yoğunlaşırken, sönük anakol yıldızlarının geç tayf türündeki anakol çevresinde geniş bir şekilde yayıldığı görülmektedir (Şekil 2.7; sağ panel). Kümenin büyük kütleli yıldızları hızlı bir şekilde oluşarak anakola ulaşırken, küçük kütleli yıldızları ise anakola yolculuklarını hâlen sürdürmektedirler. Bu durum çok genç kümelerin renk-parlaklık diyagramlarının yorumlanmasını zorlaştırır. Elektromanyetik tayfın özellikle yakın kızılötesi bölgesinde yapılan fotometrik gözlemler ile H_α gibi dar band görüntüleri ve tayfsal çalışmalar küme üyeliğinin anlaşılmasında ve anakolun oluşturulmasında önemlidirler.



Şekil 2.7: h ve χ Persei açık kümelerinin çok renk fotometrik görüntüsü[3] (sol panel) ve kümeler doğrultusundaki renk-mutlak parlaklık diyagramı (sağ panel; Slesnick ve diğ., 2002). Sağ paneldeki sıfır yaş anakolu (Zero Age Main Sequence, ZAMS) ile 10 ve 20 Myr teorik eş-yaş eğrileri düz çizgilerle, anakol öncesini gösteren 10 ve 20 Myr teorik eş-yaş eğrileri ise kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Mavi ve kırmızı noktalar sırasıyla h ve χ Persei kümelerinin 7 yay dakikası içindeki yıldızlarını, siyah renkli noktalar ise yıldız alanındaki diğer nokta kaynakları göstermektedir.

[3] http://cseligman.com/text/stars/starclusters.htm

Küme üyeliği güvenilir şekilde belirlenmiş yıldızlardan oluşturulan renk-parlaklık diyagramları kümenin yapısal ve astrofiziksel parametrelerinin elde edilmesinde önemlidirler. Renk-parlaklık diyagramlarının teorik eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılması suretiyle kızarma, uzaklık modülü, metal bolluğu ve yaş gibi kümeye ait temel parametreler elde edilir. Küme yaşlarının tâyinindeki en büyük zorluk, kızarma, metal bolluğu ve uzaklık modülünün eş zamanlı tâyin edilmesidir. Bu niceliklerin bağımsız yöntemlerle tâyin edilmesi durumunda küme yaşı daha duyarlı bir şekilde belirlenebilir. Küme doğrultusundaki kızarmanın tâyini için farklı iki renk diyagramlarının, uzaklık modülünün tâyininde anakol çakıştırma yönteminin, kümenin metal bolluğunun belirlenmesinde ise fotometrik veya tayfsal analizlerin kullanılması, küme yaşının parametreler arasındaki dejenerasyonluktan bağımsız ve daha doğru belirlenmesine imkân tanır.

Teorik eş-yaş eğrilerinde dikkate alınması gereken başka bir konu da modellerin opasite ve konveksiyon gibi parametrelerinin seçimidir. Teorik model parametrelerinin gözlemler ile karşılaştırılmaları Grocholski ve Sarajedini (2003) tarafından tartışılmıştır. Grocholski ve Sarajedini (2003) WIYN Açık Küme Taraması'ndan seçtikleri açık küme örneklerini literatürdeki teorik eş-yaş eğrileriyle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, literatürdeki hiçbir teorik modelin gözlemsel anakolu üretmediği ve eş-yaş eğrileri arasında hem şekil hem de sıfır noktaları bakımından önemli farkların olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak, gözlemsel verilerden hesaplanan küme parametrelerini anlamak kabul edilen modellere bağlıdır.

Gözlemsel verilerle çakıştırılan teorik modellerin kullanılmasıyla elde edilecek parametrelerin değişim aralıkları da kolaylıkla belirlenebilir. Kümelerin yaş ve uzaklıklarında %10 - %20 oranlarında belirsizlik görmek normaldir. İki renk diyagramlarından tâyin edildiği için yıldızlararası kızarmadaki büyük belirsizlikler renk-parlaklık diyagramından elde edilen yaş ve uzaklığı çok etkilemez. Örneğin Berkeley 17 yaşlı açık kümesinin yaşı 12 Gyr'den (Phelps, 1997) 8.5-9.0 Gyr'ye (Bragaglia ve diğ., 2006) kadar uzanmaktadır. Literatürde yaşlı açık kümeler için 2-3 Gyr'lik yaş farklarının olması sık karşılaşılan bir durumdur. Bu farklılıklar kullanılan teorik modellerden kaynaklandığı için renk-parlaklık diyagramlarındaki evrim yollarına bakış açısı ve yorumlar sonuçlarda farklılıklara neden olmaktadır.

2.3. YAPISAL ÖZELLİKLER VE DİNAMİK EVRİM

Açık kümeler az sayıda yıldız barındıran düzensiz biçimlerde görünebilecekleri gibi birkaç onbin yıldız barındıran kalabalık, yoğun ve nispeten küresel biçimlerde de görünebilirler. Kümelerin biçimlerinde görülen bu çeşitlilik onların yapısal özelliklerinin belirlenmesini zorlaştırır. King (1962, 1966) ve Mathieu (1984) gel-git kuvvetleriyle etkileşen eş ısısal kürelerin yüzey parlaklık profillerinin açık kümeler için de elde edilebileceğini ve gruplandırılabileceğini gösterdiler. Yüzey yoğunluk profillerine uygulanan modellerin çakıştırılması sayesinde tipik açık kümelerin çekirdek yarıçapları 1-2 pc, gel-git yarıçapları ise 10-25 pc olarak hesaplanmaktadır. Kümenin merkezi yoğunlaşma oranı olarak bilinen $\log(r_t/r_c)$ ifadesinin alacağı değer açık kümelerde 1'den küçükken, küresel kümelerde 1 ile 2 arasındadır. Bununla birlikte AM4 veya Pal4 gibi bazı seyrek küresel kümelerin yoğunlaşma oranlarının açık kümelerinkine yakın olması gibi beklenmedik durumlarla da karşılaşılabilir.

Açık kümelerdeki yıldızların hız dispersiyonları birkaç km/s mertebesindedir. Bu değer dinamik yöntemlerden tahmin edilen ve uzay dağılımlarından bulunan dispersiyonlar ile uyum içindedir. Örneğin, Mathieu (1985) M11 ve M67 açık kümeleri için hız dispersiyonlarını sırasıyla 1.2 ± 0.35 ve 0.25 ± 0.18 km/s bulmuştur. Açık kümelerin hız dispersiyonları küçük olduğundan küme içindeki uzun yörünge dönemli tayfsal çiftleri belirlemek zordur. Çünkü uzun yörünge dönemli tayfsal çiftlerin belirlenebilmesi için farklı evrelerde alınan çok sayıda tayfa ihtiyaç vardır. Buradan hesaplanacak ortak kütle merkezinin hızı ise kümenin tekil yıldızlarından bulunan hızlara göre daha büyük olacağından, açık kümenin hız dispersiyonu suni olarak artar. Geller ve diğ.'nin (2008) NGC 188 kümesi için çok sayıda yıldızın radyal hız ölçümlerinden itibaren hesapladığı hız dispersiyonu 0.64 ± 0.04 km/s'dir. Fakat bu hız dispersiyonunun çözümlenmemiş çift yıldız popülasyonunu da içerebileceğini dikkate alan araştırmacılar, kümenin hız dispersiyonunun 0.23 km/s kadar artmış olabileceğini ifade etmişlerdir. Kümedeki çözümlenmemiş çift yıldız etkileri de dikkate alındığında radyal hız dispersiyonu hemen hemen eş ısısal radyal bir dağılım gösterir.

Kümelerin üye yıldızlarının belirlenmesi zor olduğundan ve gözlemsel ışıma gücü fonksiyonlarının hesaplanmasına sınırlamalar getirildiğinden açık kümelerin kütlelerini tâyin etmek güçtür. Kütle tâyininde öncelikle kümelerin açısal büyüklükleri belirlenir.

Tipik bir açık kümenin çapı yaklaşık 5 pc'tir. Bu değer kümenin gerçek yapısal özelliklerini ortaya koymadığından daha çok kümenin yarı-kütle çapını dikkate almak gerekir. Açık kümelerin düşük yoğunluklarından dolayı birçok çalışmada kümelerin gerçek boyutları hesaplanamamıştır. Bununla birlikte dinamik modeller kümelerin zaman içinde evrimleşmesiyle yıldız sayılarını artırarak daha büyük gel-git yarıçapına sahip olacaklarını, bunun sonucu olarak da küme çaplarının daha belirgin ve daha büyük olacağını öngörür. Bu durumda basit yıldız sayımlarından belirlenen küme üyeleri daha sonra yapılan analizlerde yanıltıcı sonuçların elde edilmesine sebep olabilir. Böylece kümenin toplam kütlesi yanlış hesaplanabilir. Açık kümelerde küme üyelerinin %50'sine varan oranlarda çift yıldız vardır. Bu çift yıldızlar renk-parlaklık diyagramlarındaki konumlarından ve uzun dönemli radyal hız gözlemlerinden belirlenebilirler. Yıldız sayımlarından ve gözlenen ışıma gücü fonksiyonlarından tahmin edilen açık kümenin toplam kütlesinin, yukarıda sözü edilen belirsizlikler için düzeltilmesi gerekir.

Kümeler için gözlenen ışıma gücü fonksiyonu kümedeki sınırlı bir kütle aralığı için geçerlidir. Kütle fonksiyonu yaşlı kümelerin dinamik evrimleri ve düşük kütleli yıldızların eksikliği sebebiyle kısa olduğundan düşük kütleli yıldızlara doğru uzatılır. Birçok çalışmada kütle ayırımı yapılamadığı ve düşük kütleli yıldızların azaldığı merkezi bölgelere ağırlık verildiğinden açık kümelerin kütlelerinin belirlenmesi karmaşık bir hal alır.

Açık kümelerin kütlelerinin belirlenmesi için yukarıda bahsedilen etkilere göre düzeltmeler yapılması gerekir. Mathieu (1984), 200 milyon yıl yaşındaki M11 kümesinin yapısal parametrelerini ve dinamiklerini içeren ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. 15 pc'lik gel-git yarıçapı ve 0.2 pc'lik kor yarıçapı M11 açık kümesinin önemli miktarda kütle içerdiğini gösterir. Çift yıldız düzeltmesi, kütle birikimi ve küme kütlesi dışındaki gel-git yarıçapını içeren düzeltmeleri yapan Matheiu (1984), M11 kümesinin toplam kütlesini 5200 $M_{\odot}$ olarak hesaplamıştır. Bu değer 0.7 $M_{\odot}$'ten daha büyük kütledeki yıldızlar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplar kümenin 0.1-0.7 $M_{\odot}$ kütlesindeki yıldızlarının toplam kütleye katkısının, kümenin toplam kütlesinin %40'ını içerebileceğini göstermiştir.

Kaluzny ve Udalski (1992), 8-9 Gyr yaşındaki NGC 6791 açık kümesinin bugünkü kütle fonksiyonunu elde etmek için $V = 21$ kadirden daha parlak yıldızları dikkate alarak kümenin toplam kütlesini 4070 $M_{\odot}$ olarak hesapladılar. Araştırmacılar hesaplamalarında kümedeki çift yıldız etkisini ve 0.6 $M_{\odot}$'ten daha küçük kütleli yıldızları dikkate almamışlardır. Geller ve diğ. (2008) benzer bir yöntem kullanarak 7 Gyr yaşındaki NGC 188 açık kümesinin toplam kütlesini 2300 ± 460 $M_{\odot}$ olarak hesaplamıştır. Bu konuda yapılan en ayrıntılı çalışma Currie ve diğ. (2010) tarafından genç çift açık kümeler h ve χ Persei üzerine yapılandır. Araştırmacılar açık küme bölgesinde 20000'e yakın üyeyi belirleyerek kümelerin toplam kütlesini 20000 $M_{\odot}$ olarak hesapladılar. Çalışmalarında orta M tayf türündeki yıldızlara kadar olan verileri dikkate alarak kümenin yıldız popülasyonunun tam bir sayımını yaptılar.

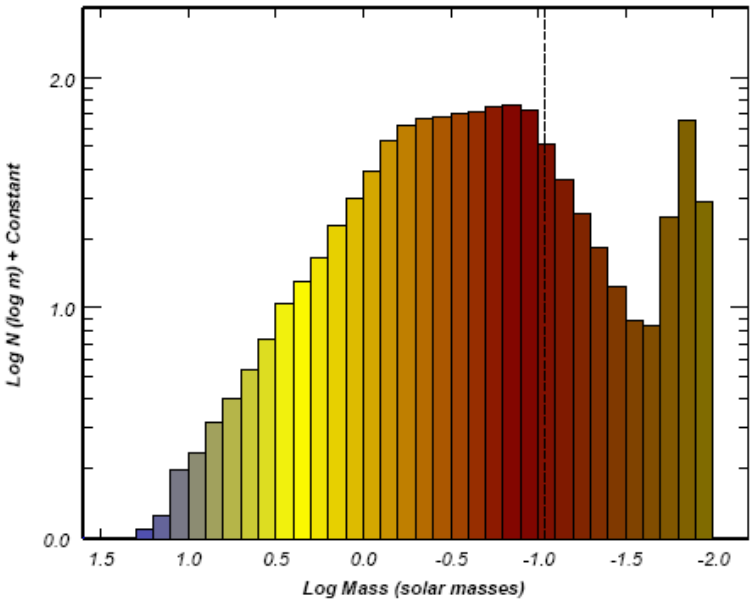
Açık kümeler genellikle birkaç düzineden birkaç yüze kadar yıldız barındırıyor olsalar bile toplam kütleleri geniş bir aralıkta bulunur. Galaksimizde büyük açık kümelerin varlığı bilinmektedir. Bunların bugünkü kütleleri 10^4 $M_{\odot}$'ten büyük, başlangıç kütleleri ise günümüzdekinden çok daha büyüktür.

2.4. KÜMENİN KÜTLE FONKSİYONU

Gözlem ve modeller açık kümelerin yaşamları boyunca kütle fonksiyonlarının değişime uğradığını göstermektedir. Yıldız laboratuvarları olan açık kümeler başlangıç kütle fonksiyonlarının çalışılması için en iyi ortamı oluşturur. Küme üyelerinin yaş, metal bolluğu, uzaklık ve kimyasal yapısı aynı olduğundan alan yıldızlarına göre kümedeki yıldızların astrofiziksel parametrelerini belirlemek daha kolaydır. Bu nedenle açık kümeler galaktik oluşum tarihinin farklı zaman ve yerlerinde başlangıç kütle fonksiyonlarının (Initial Mass Function; IMF) belirlenmesi için en uygun cisimlerdir. Kümelerdeki kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde birtakım zorluklar vardır. Kütle fonksiyonunun belirlenmesinde öncelikle kümeye üyelik olasılığı düşük yıldızların varlığı ve düşük kütleli alan yıldızları tarafından kirletilme gibi küme yapısını değiştiren dinamik problemlerin üstesinden gelinmesi gerekir.

Lada ve Lada (2003), IMF'nin elde edilmesi için yıldız oluşum bölgelerine gömülü genç kümelerin kullanılmasının yukarıda sözü edilen problemleri giderdiğini göstermiştir. Araştırmacılar Orion bulutsusunda bulunan gömülü genç kümelerden en

çok çalışılan Trapezium'un bugünkü kütle fonksiyonunun, yaklaşık 10 $M_{\odot}$ kütleli O-B tayf türündeki yıldızlardan 0.1 $M_{\odot}$ kütleli kahverengi cücelere kadar geniş bir aralıkta değişebileceğini gösterdiler. Trapezium için elde edilen bu kütle fonksiyonunun eğimi -1.2 olup Salpeter'in (1955) alan yıldızları için elde ettiği -1.35 eğim değerine yakındır. Kütle fonksiyonunun artışı düşük kütlelerde daha yavaş olur ve yaklaşık 0.1 $M_{\odot}$'te en üst noktaya ulaşırken, yıldız olmaya aday kahverengi cüce aralığında ise düşüş görülür (Şekil 2.8). IMF'nin kabaca 0.6 $M_{\odot}$'ten 0.1 $M_{\odot}$'e kadar uzanan geniş tepesi, Orion bulutsusunda yıldız oluşum süreci tarafından üretilen kütlelerin ayırt edici özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. Trapezium için elde edilen IMF alan yıldızlarından bulunan IMF ile uyumludur ki bu da bilinen yıldız oluşum süreçlerinin doğruluğunu kanıtlamaktadır (Kroupa, 2002). Diğer kümelerin ışıma gücü fonksiyonlarındaki gözlemsel değişimler, farklı yaşlardaki kümelerde bulunan anakol öncesi yıldızların ışıma güçlerinin evrimiyle açıklanabilir. Fakat gözlenen bu çeşitli ışıma gücü fonksiyonları temelde kütle fonksiyonuyla benzerlik gösterir.



Şekil 2.8: Trapeizum kümesinin başlangıç kütle fonksiyonu (Lada ve Lada, 2003).

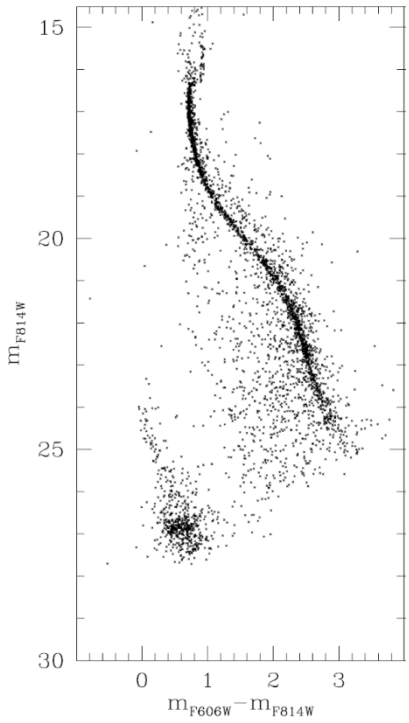
Yaşlı kümelerdeki kütle fonksiyonunun evrenselliğinin araştırılmasında dinamik evrimin etkilerini anlamak ve var olan eksiklikleri tamamlamak önemlidir. 100 ile 700 Myr yaş aralığında bulunan açık kümelerin en düşük kütleli üyeleri üzerine yapılan araştırmalar, küme özellikleri ve bulundukları çevre şartları da dikkate alındığında, kütle fonksiyonunun büyük ölçüde aynı olduğuna dair önemli ipuçları sağlamıştır. Moraux ve

diğ. (2007), yaptıkları çalışmada Pleiades, Blanco 1 ve Hyades kümeleri için 0.03 ile 3 $M_{\odot}$ aralığındaki kütle fonksiyonlarını karşılaştırmış ve bu dağılımların ortak bir logaritmik normal dağılım ile çakıştırılabileceğini göstermiştir. Kümelerin dinamik evrimini ve düşük kütleli küme üyelerinin kaybını dikkate alan Moraux ve diğ. (2007), bu kümelerin bugünkü kütle fonksiyonlarının başlangıç kütle fonksiyonlarıyla uyumlu olduğu ve bulundukları galaktik bölgeyle benzerlik gösterdikleri sonucuna varmıştır. Bu sonuç başlangıç kütle fonksiyonunun çevreye bağlı olmadığını göstermekte olup yıldız oluşumlarıyla ilgili teorileri kısıtlamaktadır.

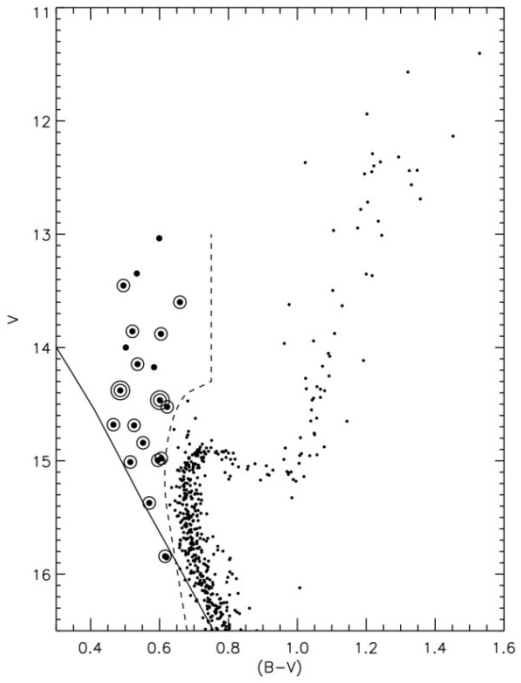
2.5. ÇİFT YILDIZLAR VE MAVİ AYKIRI YILDIZLAR

Çift yıldızların doğasının ve dinamik evriminin çalışılması için açık kümeler mükemmel laboratuvarlardır. Az sayıda alan yıldız kirlenmesi görülen ve özellikle yakın veya göreceli olarak yüksek enlemlerde bulunan açık kümelerin renk-parlaklık diyagramlarında anakol dışında belirgin çift yıldız kolları da sıklıkla görülmektedir (Şekil 2.9). Kütle oranları bire yakın olan çift yıldızlar anakolda bulunan tek yıldızlara göre 0.75 kadir daha parlak görünürlerken, farklı kütle oranlarındaki çift yıldızlar bu parlaklık limitinin altında yer alırlar. Bu etki anakolun daha kalın görünmesinin nedenlerinden biridir. Açık kümelerdeki üye yıldızların analizleri tüm kümelerin yaklaşık %20-%50 oranında çift yıldız içerdiklerini göstermiştir. Bu bulgu alan yıldızlarından elde edilen sonuçlarla uyumludur. Açık kümelerde tayfsal yıldız taraması yapan Mermilliod ve diğ. (2008), küme üyelikleri, çift yıldız oranları ve yıldızların dönme hızları üzerine kapsamlı bir çalışma yapmış ve bu tarama sonucunda küme yıldızlarının %30'unun tayfsal çiftler olduğu anlaşılmıştır.

Yaşlı açık kümelerin çoğunda mavi mücadeleci yıldızlar bulunur. Bu yıldızlar bulundukları kümenin anakolunun dönüm noktasından daha parlaktırlar ve daha mavi tarafta yer alırlar (Şekil 2.10). Mavi mücadeleci yıldızların kütle transferi yapan çift yıldızlardan veya çarpışmalar sonucu bir araya gelen tekil yıldızlardan oluştukları düşünülmektedir. Oluşumları henüz anlaşılamayan mavi mücadeleci yıldızların açık kümelerde bulunması, bu tür yıldızların oluşumu ve evrimiyle ilgili modellerin test edilmesinde önemlidir (Hurley ve diğ., 2005). Mathieu ve Geller (2009), NGC 188 yaşlı açık kümesindeki 21 mavi aykırı yıldızın %76'sının kümedeki çift yıldızlardan meydana geldiğini tayfsal çalışmalar ile ortaya koymuşlardır.



Şekil 2.9: NGC 6791 açık kümesinin Hubble Uzay Teleskobundan (HST) alınan görüntülerinin analiziyle elde edilmiş renk-parlaklık diyagramı (King ve diğ., 2005). Kümenin anakolu üzerinde çift yıldız kolu görünmektedir.



Şekil 2.10: WIYN Açık Küme Taramasıyla incelenen NGC 188 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı. Mavi mücadeleci yıldızlar anakolun dönüm noktasının parlak ve mavi tarafından yer almaktadır (Mathieu ve Geller, 2009).

2.6. GALAKTİK AÇIK KÜMELER

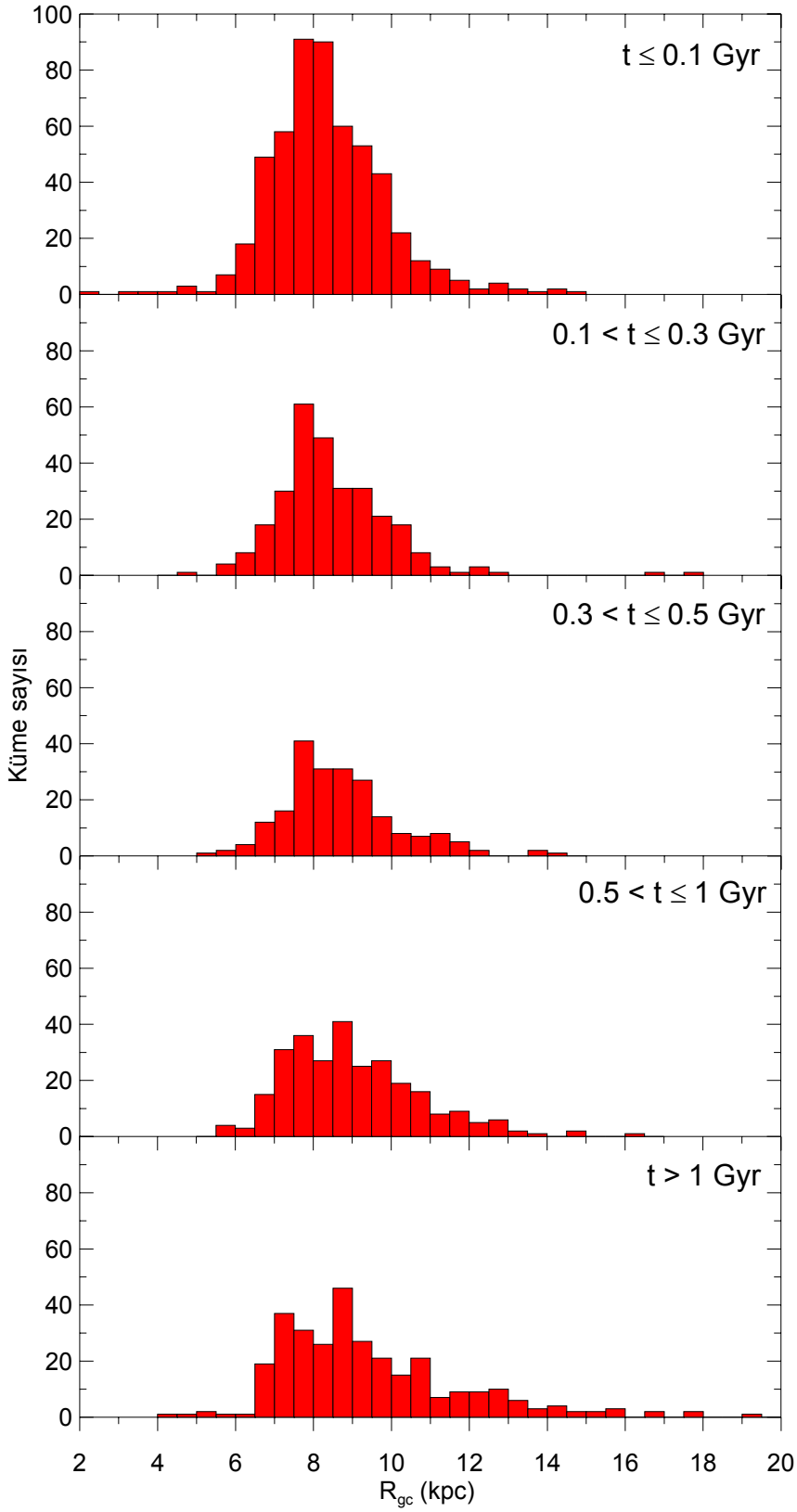
Açık kümelerin özellikleri ve Samanyolu Galaksisindeki dağılımlarına bakıldığında oluşum süreçleri hakkında birçok önemli bilgiye ulaşılır. Açık kümeler Galaksi düzleminde yoğunlaştıkları için özellikleri ve galaktik konumları arasında birçok ilişki kurulmuştur. Bununla birlikte çevresel etkileşimler küme popülasyonlarını da şekillendirmiştir. 20. yüzyılın ortalarında yaklaşık 20 açık kümenin analizini yapan van den Bergh (1958), bunlardan dördünün diğer kümelere göre daha yaşlı olduklarını ve galaktik düzlemden daha uzakta bulunduklarını göstermiştir. van den Bergh ve McClure (1980), yaşları 1 Gyr'den daha büyük olan açık kümelerin genellikle Galaksi merkezinin zıt yönünde konumlandıklarını keşfetmişlerdir. Oort (1958) yaşlı açık kümelerin genç açık kümelere göre beklenenden daha az sayıda olduklarını göstermiş,

Spitzer (1958) ise buna neden olarak çoğu açık kümenin büyük kütleli molekül bulutları ile karşılaşmalar sonucu yıldız alanlarına dağıldığını iddia etmiştir. Fakat yukarıda önerilen bu süreçler yaşlı açık kümelerin az sayıda bulunmasını yeteri kadar açıklayamamaktadır. Günümüzde kümelerin oluşum süreçlerinin küme iç dinamikleriyle galaktik çevreleri arasındaki karşılıklı etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Dias ve diğ. (2002) güncel açık küme kataloğunda yaşı ve uzaklığı bilinen kümelerin yaşlarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasındaki değişim Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Küme yaşları büyüdükçe radyal uzaklık profilleri Galaksi diskinin dışına doğru genişlemektadir.

2.6.1. Kümelerin Uzaysal Dağılımları

Kümelerin genel özellikleriyle ilgili yapılan ilk kapsamlı çalışma Janes ve diğ. (1988) tarafından analiz edilen Lynga kataloğuna (1982) dayanmaktadır. Lynga kataloğundan düzenli ve sistematik bir yaklaşımla seçilen 421 açık küme örneğinden itibaren kümelerin birçok özelliği ortaya konulmuştur. Bu özelliklerden ilki açık kümelerin uzaysal dağılımlarıdır. Yapılan ilk analizlerde kümelerin uzaysal dağılımlarının küme yaşı ile değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Açık kümelerin Galaksideki radyal dağılımları dikkate alındığında, yaşlı açık kümelerin Galaksinin iç kısımlarında yer almadığı görülmüş ve Güneş çemberinin dışına doğru ortalama küme yaşları artarken, en yaşlı kümelerin Galaksinin dış diskinde bulundukları gösterilmiştir.

Açık kümelerin galaktik düzlemdeki konumlarının yaşa bağlı olduğu bilinmektedir. Yaşı 300 Myr'den küçük olan açık kümelerin yükseklik ölçeği 55 pc iken daha yaşlı kümeler için bu değer yaş ile artmaktadır. Bununla birlikte, tüm kümeler dikkate alındığında Galaksi merkezinden radyal doğrultuda uzaklaştıkça diskin kalınlaştığı ve Galaksi diskinin sınırlarında yaşlı açık kümelerin baskın olduğu bilinmektedir. Janes ve Phelps (1994), yaşları Hyades'ten daha büyük olan kümelerin galaktik düzlemden uzaklık dağılımlarını incelediklerinde yükseklik ölçeğinin 375 pc olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 2.11: Dias ve diğ. (2002) kataloğundaki açık kümelerin yaşlarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasındaki değişim.

Janes ve diğ.'nin (1988) çalışmasından yaklaşık 20 yıl sonra, bilinen açık küme sayısının %50 oranında artmasıyla birlikte Bonatto ve diğ. (2006) benzer analizleri tekrarladılar ve ilk olarak uzaklığı iyi bilinen 654 açık küme için yükseklik ölçeğinin yaşa bağlılığını incelediler. Bu çalışma daha önce yapılan makaleleri tamamlayacak niteliktedir. Örneklerindeki tüm açık kümelerin kullanılması durumunda galaktik açık kümelerin yükseklik ölçeğinin 57 pc olduğunu bulan Bonatto ve diğ. (2006), örneklerini yaşa göre alt sınıflara ayırdıklarında yükseklik ölçeğinin yaş ile arttığını da göstermişlerdir: 200 Myr'den daha genç olan kümelerin yükseklik ölçeği 48 pc, 200 Myr ile 1 Gyr aralığındaki kümelerin yükseklik ölçeği 150 pc'tir. 1 Gyr'den daha yaşlı açık kümeler ise galaktik düzlemden 400 pc'lik uzaklık içinde düzgün dağılmışlardır. Bonatto ve diğ.'nin (2006) genç kümeler için hesapladıkları yükseklik ölçeğinin Janes ve diğ.'nin (1988) sonuçlarıyla uyumluyken, yaşlı kümeler için bu durum geçerli değildir.

Galaktik diskin geniş alanına yayılan kümelerle yapılan tüm çalışmalardan elde edilecek sonuçların gözlemsel belirsizliklere ve seçim etkilerine açık oldukları göz ardı edilmemelidir. Kümelerin eksik parametreler içermesinin en önemli nedenlerinden biri Güneş'e olan uzaklıklarıdır. Örneğin farklı galaktik doğrultulardaki aşırı yıldız yoğunlukları açık kümelerin yıldız alanlarından ayırt edilememesine neden olabilir. Bu sebeple açık kümeleri daha kolay ayırt edilebilmenin en etkili yolu galaktik merkeze göre zıt doğrultularda çalışmaktır. Bonatto ve diğ. (2006) 2MASS fotometrik verilerini kullanarak daha önce keşfedilmemiş açık kümeleri bulmak amacıyla gökyüzünün farklı doğrultularında tarama yapmışlardır. Araştırmacılar oluşturdukları model yardımıyla kümelerin radyal ve dik doğrultulardaki dağılımlarında düzeltmeler yaparak, bu düzeltmelerden sonra açık kümelerin yükseklik ölçeklerinde yaklaşık %50 oranında bir artış olduğunu belirlediler.

Küme ve küme karakteristiklerinin yorumlarında radyal dağılımın üzerindeki düzeltme etkileri daha önemlidir. Yukarıda söz edildiği gibi genel olarak yaşlı açık kümelerin çok azı Güneş çemberinin içindedir. Bu gözlemsel sonuç literatürdeki çalışmalarda küme ve galaktik dinamik etkisini açıkça ortaya koymasına rağmen, gözlemsel seçim etkisinin bu durumu ne ölçüde etkilediği belli değildir. Janes ve Phelps (1994) çok sayıda yaşlı açık kümeden oluşturdukları bir örneği inceleyerek, bunların galaktik dağılımlarının dikkate

değer derecede asimetrik olduğunu göstermiştir. Örneklerindeki hiçbir yaşlı açık küme Galaksi merkezinden 7.5 kpc uzaklık içinde yer almamaktadır (Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı 8.5 kpc olarak kabul edilmiştir). Araştırmacılar genç kümelerin Güneş çemberi civarında merkezlenmiş bir dağılım göstermelerinden yola çıkarak, yaşlı açık kümelerin dağılımlarının tümüyle gözlemsel seçim etkilerinden kaynaklanmadığını ileri sürmektedirler.

Bonatto ve diğ. (2006) tüm açık kümelerin radyal uzaklık dağılımını inceleyerek, beklenen gözlemsel seçim etkilerinden dolayı, küme sayısının Güneş çemberi civarında en büyük sayıya ulaştığını, Güneş çemberinin içinde ve dışında kalan uzaklıklarda ise açık küme sayılarının azaldığını gösterdiler. Örnekteki belirsizliklerden kaynaklanan bu azalmanın nereye kadar sürdüğü halen açık değildir. Belirsizliklerdeki bu durumu en aza indirebilmek için Güneş'e uzaklığı 1.3 kpc ile sınırlanan bir uzay hacminde bulunan açık kümeler kullanılarak diskin uzunluk ölçeği 1.4 ± 0.2 kpc hesaplanmıştır. Bonatto ve diğ. (2006) örnekteki tüm açık kümeleri dikkate aldıklarında diskin uzunluk ölçeğini 1.5-1.9 kpc aralığında tâyin etmişlerdir. Bu değer Galaksimizdeki ince disk popülasyonu için hesaplanan uzunluk ölçeğinin neredeyse yarısı kadardır. Bu durumun alan yıldızı popülasyonundan mı yoksa seçim etkilerinin belirsizliklerinden mi kaynaklandığı henüz belli değildir.

2.6.2 Kümelerin Fiziksel Parametreleri

Kümelerin fiziksel parametreleri ve boyutları, kümelerin oluşumu ve dinamik evrimlerinin anlaşılmasında önemli kısıtlamalar getirilmesine yardımcı olur. Küme boyutları Galaksinin farklı bölgelerinde başlangıçtaki gaz yoğunluğunu veya yıldız oluşumunun alt sınırını yansıtabilir. Kütlesi bilinen bir açık kümenin dinamik evrimi kümenin boyutundan itibaren belirlenir. Kütleli fakat küçük bir küme iç etkileşimlerden dolayı dağılırken, aynı kütledeki geniş boyutlu bir küme ise galaktik alan veya molekül bulutlarıyla gel-git etkileşimlerinden dolayı dağılır. Bu nedenle açık kümelerin görünür çapları onların dinamik evrimsel süreçlerine ışık tutar.

Janes ve diğ. (1988) ve van den Bergh (2006), sırasıyla, Lynga (1982) ve Dias ve diğ.'nin (2002) açık küme kataloglarındaki küme çaplarının dağılımlarını araştırmışlardır. Sırasıyla yaklaşık 400 ve 600 açık küme içeren iki çalışmada küme

boyutlarının kümelerin Galaksideki konumları ve yaşlarıyla uyumlu olduğu gösterilmiştir. En geniş kümelerin en genç kümeler oldukları da bulunmuştur. Bu geniş kümelerin büyük çoğunluğu fiziksel olarak bağlı olmayan sistemlerdir ve radyal hız çalışmaları da bu oymakların birkaç milyon yıl içinde yok olacaklarını göstermektedir. van den Bergh (2006), Dias ve diğ.'nin (2002) kataloğunda yaşı 15 Myr'dan küçük olan "kümelerin" yaklaşık %20'sinin yeni oluşmakta olan yıldız oymakları olduğunu ifade ettikleri gibi, küme oluşturabilecek yapılar olabileceğini de öne sürmüştür. Lada ve Lada (2003), gömülü genç kümelerin oluştukları molekül bulutları içinde uzun bir süre geçirdikten sonra gelişerek denge haline ulaştıklarını söylemektedirler. 10 Myr'den daha genç olan oymakların bir açık küme meydana getirebilmesi ortamın dinamiğine ve galaktik çevrelerine bağlıdır.

Janes ve diğ. (1988) yaşları yaklaşık 50 Myr ve 1 Gyr arasındaki kümeler için küme boyutuyla yaşları arasında bir uyumun olmadığını göstererek, kümelerin varlığını devam ettirebilmeleri için bir kütle ölçeği bulunmadığı sonucuna vardılar. van den Bergh (2006) ise daha geniş bir örnek (Dias ve diğ., 2002) kullanarak küme boyutlarıyla yaş arasında artan zayıf bir ilişkinin varlığını ispatlamıştır. Yaşları 150 Myr ile 1.5 Gyr aralığında bulunan kümelerin boyutları 15 ile 150 Myr arasında bulunanlara göre sistematik olarak daha büyüktür. Bu iki yaş grubu arasındaki tipik bir açık kümenin çapı 2 pc'ten 3 pc'e kadar artar. van den Bergh (2006) bu etkinin kümedeki yıldızların evrimleşmesi sırasında yaşanan gaz kaybından kaynaklanabileceğini öne sürmüştür.

Literatürdeki tüm çalışmalar 1-1.5 Gyr'den daha yaşlı açık kümelerin genç olanlara göre sistematik olarak daha büyük boyutlu olduklarını göstermektedir. Bu durum başlangıçta sürpriz gibi görünebilir, fakat yaşlı kümelerin daha büyük yaşlarda görünebilmesi için küme yıldızlarının birbirlerine daha sıkı bağlar ile bağlı olması gerekir. Bununla birlikte yaşlı açık küme popülasyonlarını büyük çoğunluğundan ayırmak için daha farklı özellikleri de vardır. Yaşlı kümelerin çoğu galaktik düzlemden büyük uzaklıklarda ve Galaksi merkezinin çok ötelerinde, dış diskte konumlandıkları için galaktik çevreleriyle daha az etkileşirler ve yapılarını bozmadan daha uzun yaşarlar.

Galaksi merkezinden artan uzaklıklar ile küme çaplarının büyüdüğünü gösteren bazı belirtiler vardır. Çok sayıda açık küme içeren katalogların analizleri (van den Bergh, 2006) büyük uzaklıklarda küçük çaplı kümelerin oranının, büyük çaplı kümelere göre

daha az olduğunu gösterir. Büyük çaplı kümeler Galaksi merkezinin çok uzaklarında baskındır. Çünkü büyük çaplı kümeler Galaksi merkezine yakın yörüngelerde bulunurlarsa galaktik çevreleriyle dinamik olarak daha çok etkileşecekleri için kısa sürede çözülerek yıldızlararası ortama karışırlar. Yukarıda sözü edilen bu senaryo açık küme verilerinin genel istatistiğinden elde edilen sonuçları destekliyor olsa bile gözlemsel seçim etkilerinin varlığı dikkate alınmalıdır. Buna en iyi örnek, büyük uzaklıklardaki küçük çaplı kümelerin ayırt edilme ihtimalinin büyük çaplı kümelere göre daha az olmasıdır. Daha önceki bölümlerde de tartışıldığı gibi değişen zemin yoğunluğu, seyrek açık kümelerin keşfedilmesini etkiler. Daha da önemlisi kümenin kütlesi, kümenin yarı-ışık yılı ya da yarı-kütle çapı gibi fiziksel parametrelerini temsil etmeyen görünen küme çapını etkiler. Kalabalık kümelerin çoğu daha büyük çaplara sahip olduklarından ve düşük yoğunluklu zemine göre daha çok küme üyesi yıldız belirlenebileceğinden Galaksi merkezinden büyük uzaklıklarda kolaylıkla keşfedilebilirler.

Kızılötesi gökyüzü tarama programları (örneğin, 2MASS) sonucunda yeni açık kümelerin keşfedilmesiyle bilinen küme sayısı artmış ve keşfedilen yeni kümelerin galaktik çevreleriyle dinamik etkileşimleri daha iyi anlaşılmıştır. Froebric ve diğ. (2007) ile Bonatto ve Bica (2007, 2008) yeni keşfedilen açık kümelerin yarıçaplarının önceden bilinen aynı yaştakilere göre sistematik olarak daha küçük olduğunu gösterdiler. Güneş çemberi içindeki kümelerin çemberin dışında bulunan kümelere göre sistematik olarak daha küçük çekirdek ve sınırlı çaplarda olması, bunların hızlı dinamik evrimlerinin gel-git kuvvetleriyle etkilendiğini göstermektedir.

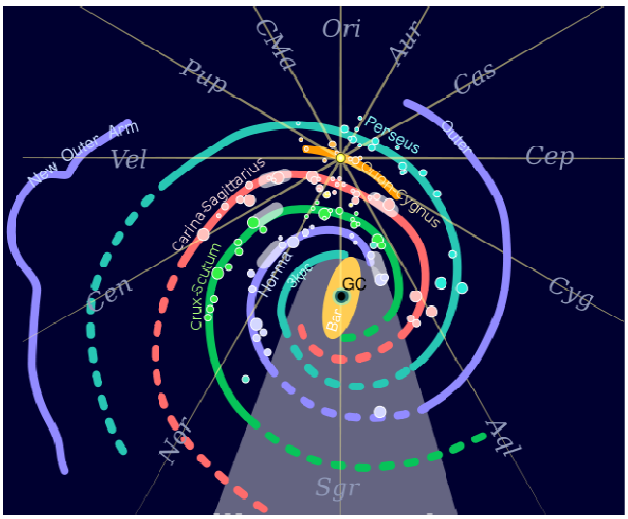
Araştırmacılar daha önceki çalışmalardan bahiste belirtildiği gibi, açık küme boyutlarının Galaksi merkezinden artan uzaklıklarla arttığını göstermekle beraber, özellikle Galaksi merkezinden 8-10 kpc uzaklık aralığında bulunan yeni keşfedilen açık kümelerin bilinenlere göre daha küçük boyutlara sahip olduklarını da gösterdiler. Bu durum için Froebric ve diğ. (2007) ile Bonatto ve Bica (2007, 2008) Galaksinin iç kısımlarındaki yüksek yoğunluklu moleküler gazın başlangıçta daha küçük çaplı kümeler üretebileceğini önermektedir.

Literatürdeki son çalışmalar dinamik etkilerin kümelerin bazı fiziksel özelliklerini değiştirdiği sonucunu göstermektedir. Daha geniş ve seyrek görülen kümeler,

Galaksideki molekül bulutlarının veya benzer güçlü çekimsel kuvvetlerin etkisinin daha az olduğu dış galaktik disk bölgesinde dağılmadan çok uzun süre kalabilirler. Kümelerin keşfedilmelerinde ve parametrelerinin tâyininde gözlemsel seçim etkileri önemli olduğundan, kümelerin dinamik yapılarındaki kararlılığı üzerine ayrıntılı araştırma yapmak zordur. Kümelerin yarı-ışık veya yarı-kütle yarıçapı gibi yapısal parametrelerine dayalı fiziksel ölçümlerinin elde edilmesinde görünen çaptan yola çıkmak, kümeye üyelik ile ilgili testlerin ayrıntılı yapılamamasından dolayı doğru sonuçlar vermez. Küme yapısı ve yaşam süresi üzerindeki tüm dinamik evrim etkileri ancak gerçeğe uygun galaktik potansiyelde ayrıntılı n-cisim benzetimleriyle çözümlenebilir.

2.6.3. Spiral Kollar ve Açık Kümelerin Konumları

Yıldızlararası ortam ve yıldızları içeren spiral kollar genellikle yıldız oluşumunun iyi birer göstergesi olan HII bölgeleri ve yoğun molekül bulutları gibi yıldızlararası toz ve gazdan meydana gelir. Galaksimizin bulundukları takımyıldızlara göre isimlendirilmiş dört ana spiral kolu vardır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Galaksimizdeki spiral kollar ve bulundukları doğrultulardaki takımyıldızlar.

Açık kümelerin konumları Galaksi diskindeki yıldız oluşum bölgelerini ve spiral kolları belirlemek için kullanılır. 1980'li yılların başında oluşturulan açık küme katalogları spiral kolların geniş yapısıyla ilgili bir bilgi içermemektedir. Yaşı 20 Myr'den daha genç ve karmaşık bir yapı gösteren kümeler spiral yapıyla uyumluyken, yaşlı kümeler spiral yapının anlaşılmasında ayırt edici bir özellik göstermemiştir (Lynga, 1982).

Bonatto ve diğ., (2006) ile van den Bergh (2006) güncel açık küme kataloglarını (Dias ve diğ., 2002) kullanarak, kümelerin boylamsal dağılımının aktif yıldız oluşumu ve spiral yapının varlığına dair güçlü kanıtlar içerdiği sonucuna ulaştılar. Araştırmacılar, galaktik boylamı l=285 derece civarındaki kümelerin sayısında belirgin bir artış olduğunu (Carina spiral kolu), bununla birlikte özellikle yaşı 10 Myr'den daha genç olan kümelerin de l=125 derecelik galaktik boylam çevresinde yoğunlaştıklarını (Cassiopeia spiral kolu) göstermiştir. Galaktik düzlemdeki açık kümeler incelendiğinde yaşı 60 Myr'den daha genç olan kümelerin Orion spiral kolunda bulundukları, Orion ile Sagitarius spiral kolları arasında ise açık küme olmadığı belirtilmiştir (Bonatto ve diğ., 2006; van den Bergh, 2006).

Aktif yıldız oluşumu bölgelerinin incelendiği yeni kızılötesi gökyüzü taramaları sayesinde kümelerin oluşum süreçleri daha iyi anlaşılabilir. Kümelerin oluşum yeri olarak bilinen yoğun molekül bulutlarının galaktik dağılımlarının incelenmesinden spiral kolların yapısı ortaya konabilir.

GLIMPSE (Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire; Benjamin ve diğ., 2003) gökyüzü taramasıyla Galaksinin iç bölgeleri orta kızılötesi dalgaboylarında (3.6, 4.5, 5.8 ve 8 mμ) haritalandı ve Mercer ve diğ. (2005) tarafından tesbit edilen aday yıldız kümelerinin bir listesi oluşturuldu. GLIMPSE verilerinin analizleri molekül bulutlarının içine yoğun bir şekilde gömülmüş genç kümelerin ve onların ilginç asimetriler gösteren galaktik dağılımlarının keşfedilmesinde etkili rol oynamıştır. GLIMPSE'nin keşfettiği kümelerin boylamsal dağılımlarının 330 ile 313 derece arasında bir yığılma göstermesi bu boylamdaki Carina-Sagitarius spiral kolunun takip edilebilmesine olanak vermiştir. Yeni keşfedilen açık kümelerin galaktik dağılımlarını araştırmak için kullanılan gökyüzü taramaları son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gökyüzü tarama programlarından elde edilecek verilerin analizinden galaktik diskin iç bölgelerindeki yıldız ve küme oluşumlarına dair soru işaretlerinin giderilmesi beklenmektedir. Sistematik gökyüzü tarama programlarından elde edilecek verilerin analizleri galaktik diskin oluşumuna ışık tutacak gözlemsel kanıtların ortaya çıkartılmasında önemli olacaktır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GÖZLEMLER

Çalışmamızda incelenen NGC 6811 açık kümesinin fotometrik gözlemleri 18 Temmuz 2012 tarihinde, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin deniz seviyesinden 2547 m yükseklikteki Bakırlıtepe Yerleşkesi'nde bulunan T100[4] teleskobuyla, Asahi marka Bessell *UBVRI* filtreleri kullanılarak yapılmıştır. Gece fotometrik olup *V* bandı için ortalama görüş değeri 1".5 olarak ölçülmüştür. Kullanılan filtrelerin etkin dalgaboyları ve yarı bant genişlikleri Tablo 3.1'de verilmiş, duyarlı oldukları dalgaboyu aralıkları ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir. T100 birinci aynası 1 metre çapında, f/10 odak oranına sahip Ritchey-Chrétien optik düzenekli bir teleskoptur (Şekil 3.2). T100'ün odak düzleminde Spectral Instruments (SI) tarafından üretilmiş 1100 Cryo modeli bir CCD kamera[5] bulunmaktadır (Şekil 3.3). Kamerada kullanılan Fairchild marka CCD486 model arkadan aydınlatmalı ve *UV* duyarlığı arttırılmış CCD yongası 4096×4096 piksel formatlı olup, yongadaki piksellerin fiziksel boyutları 15 mikron × 15 mikrondur. Teleskobun temel parametreleri ile birlikte bu yonga özellikleri, kamera için 0.31 "/piksel'lik bir piksel ölçeği ve 21'.5×21'.5 görüş alanı sağlamaktadır. CCD kamera mutlak olarak -100 ^{o}C'a kadar soğutulabilmektedir. Kameranın "Bias" seviyesi 500 ADU civarında, kara akımı 0.0002 e^{-}/piksel/sn, kuyu derinliği 142900 elektron kadardır. Bu kameradaki CCD yongasının gözlemlerimiz için en önemli avantajları, çoğu açık yıldız kümesinin tek pozla görüntülenebilmesini sağlayan geniş görüş alanı ve hem uzun hem de kısa dalgaboylarındaki yüksek kuvantum verimliliğidir (Şekil 3.4).

[4] http://www.tug.tubitak.gov.tr/t100_ozellikler.php

[5] http://www.tug.tubitak.gov.tr/t100_si_ccd.php

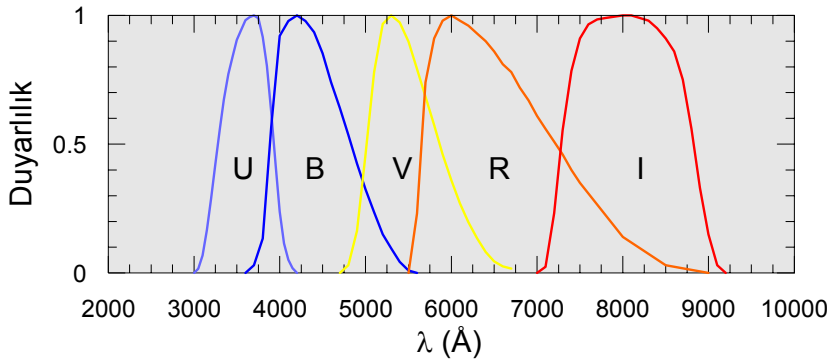
3.1.1 Standart Yıldız Alanı Gözlemleri

CCD gözlemleriyle elde edilen âletsel parlaklıkların standart fotometrik sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmesi amacıyla, hem sönümleme katsayılarının hem de standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayılarının hesaplanması için standart yıldız alanları gözlenmiştir. Gözlenen standart yıldız alanları Landolt (2009) tarafından verilen katalogdan seçilmiş ve bu alanlar küme gözleminin yapıldığı gece boyunca farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir.

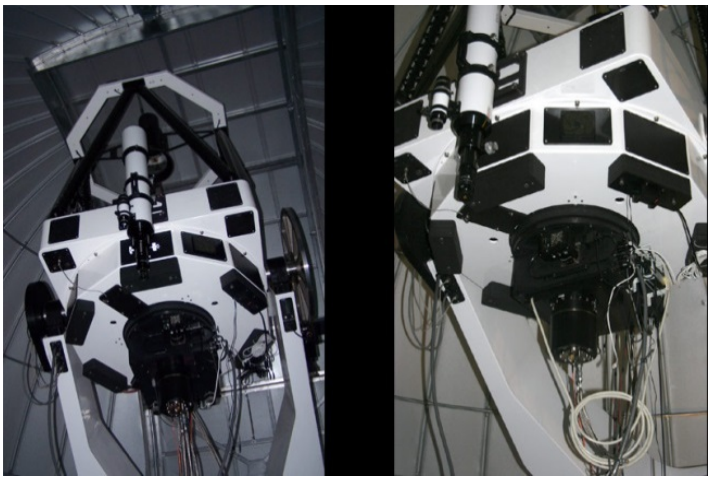
Sönümleme ve standart sisteme dönüşüm katsayıları standart yıldızların gözlemlerinden belirlenerek, bulunan katsayılar o gece elde edilen âletsel parlaklıkların standart sisteme dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Gözlenmek üzere seçilen standart yıldızların geniş bir *B-V* aralığında olmalarına ve farklı hava kütlelerinde gözlenmelerine dikkat edilmiştir. Gece boyunca *UBVRI* filtrelerinde toplam altı standart alan gözlenmiştir. Gözlemleri yapılan standart yıldız alanları ve bunların merkezi koordinatları Tablo 3.2'de verilmiştir. SA 112 standart yıldız alanı (Landolt, 2009) mavi ve kırmızı yıldızları içerdiğinden gece boyunca daha sık gözlenmiştir. Her pozda mümkün olduğunca çok sayıda standart yıldız gözlenmesi için standart yıldız alanlarının merkezi koordinatları tarafımızdan belirlenmiştir.

Tablo 3.1: Gözlemde kullanılan *UBVRI* filtrelerinin etkin dalgaboyları ve yarı band genişlikleri (Fiorucci ve Munari, 2003).

Filtre	λ(Å)	Δλ(Å)
U	3717	601
B	4204	900
V	5300	842
R	6002	1484
I	8067	1402



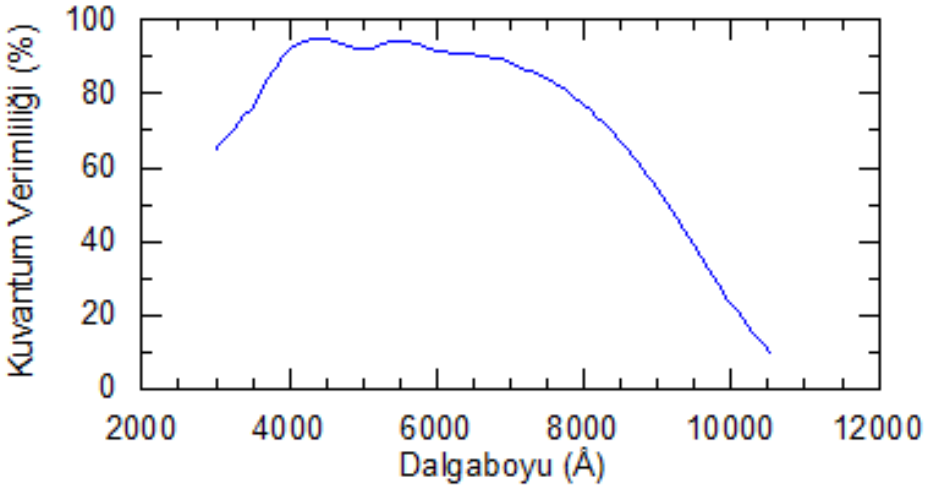
Şekil 3.1: *UBVRI* filtrelerinin rölatif geçirgenlik eğrileri.



Şekil 3.2: 100 cm ayna çaplı T100 teleskobu.



Şekil 3.3: SI 1100 Cryo modeli CCD kamera.



Şekil 3.4: Fairchild marka CCD486 model arkadan aydınlatmalı CCD yongasının kuvantum verimliliği.

Tablo 3.2: 18 Temmuz 2012 gecesi gözlenen standart yıldız alanları ve bunların merkezi koordinatları.

Standart Alan	$\alpha_{2000.0}$ (hh:mm:ss)	$\delta_{2000.0}$ (dd:mm:ss)
PG1530+057	15:33:13	+05:32:00
SA 112	20:42:26	+00:14:00
SA 110 SF2	18:43:25	+00:26:00
SA 111	19:37:30	+00:18:00
SA 113	21:41:48	+00:20:26
SA 114	22:41:48	+01:04:44

3.1.2 Kümenin Literatür Özeti ve Gözlemleri

Şekil 3.5'te gösterilen NGC 6811, Galaksinin Orion-Cygnus kolunda bulunan, $\alpha_{2000} = 19^h\ 37^m\ 17^s$, $\delta_{2000} = +46^o\ 23'\ 18''$ ve $l = 79°.210$, $b = +12°.015$ koordinatlarında, Güneş'ten yaklaşık 1215 pc uzaklıkta, 630 Myr yaşında orta yaşlı bir açık kümedir[6]. Küme doğrultusundaki 377 yıldızın *UBV* parlaklıklarını fotoğrafik yöntem ile ilk kez belirleyen Lindoff (1972), aynı zamanda incelenen örnek içinde 20 yıldızın da fotoelektrik parlaklıklarını ölçerek kümenin yaşını t = 500 Myr, Güneş'ten uzaklığını ise d = 1100 pc hesaplamıştır. Barkhatova ve diğ. (1978) NGC 6811 kümesi doğrultusunda V = 15.2 kadirden daha parlak yaklaşık 2000 yıldızın fotoğrafik fotometrisini yaptı. Analizlerinde kümenin Güneş'ten uzaklığını d = 1150 pc, yaşını ise t = 800 Myr hesapladılar. Kümenin ilk astrometrik çalışması Sanders (1971a) tarafından yapılmış olup, küme merkezi civarında bulunan 296 yıldızın öz hareketleri ölçülmüştür. Sanders'in (1971a) çalışmasında V = 14 kadirden daha parlak 97 olası küme üyesi tesbit edilmiştir. Mermilliod ve Mayor (1990), NGC 6811 küme alanındaki 10 kırmızı yıldızın radyal hızlarını hassas bir şekilde ölçtüler ve küme üyesi üç yıldızın ortalama radyal hızını 7.14 ± 0.15 kms^{-1} olarak hesapladılar. Glushkova ve diğ. (1999) küme alanındaki yıldızların radyal hızlarını ölçerek ve fotoelektrik *UBVRI* incelemesini yaparak, kümenin Güneş'ten uzaklığını d = 1040 pc ve yaşını t = 700 Myr buldular. Ayrıca fotometrik verileri kullanarak kümenin olası üyelerini de belirlediler. NGC 6811'in en güncel çalışması Janes ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar farklı teleskoplarla aldıkları CCD *UBVRI* fotometrik verilerini kullanarak, küme için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.074 \pm 0.024$ kadir, metal bolluğunu $[M/H] = -0.19$ dex, yaşını $t = 1 \pm 0.17$ Gyr, uzaklığını ise $d = 1000 \pm 50$ pc hesapladılar.

[6] http://www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=ngc+6811

NGC 6811'in gözlemleri sırasında küme alanındaki sönük ve parlak yıldızların ölçümlerini yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranıyla elde etmek ve parlak yıldızların CCD piksellerini doyurmasını önlemek için, her filtrede en az üç farklı poz süresi kullanılmış ve toplam 38 görüntü alınmıştır. Kümenin farklı filtrelerde yapılan gözlem sayıları ve poz süreleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: NGC 6811 kümesi için Bessell *UBVRI* filtrelerinde verilen poz süreleri ve sayıları.

Filtre	***U***	***B***	***V***	***R***	***I***
Poz süresi (s) × poz sayısı	360 × 3 90 × 2 35 × 1 60 × 1	120 × 1 90 × 3 20 × 3	60 × 6 7 × 1 5 × 3	20 × 3 3 × 1 2 × 3	10 × 3 2 × 1 1 × 3
Toplam poz sayısı	7	7	10	7	7

3.2. CCD KALİBRASYONLARI

Teleskop ve odak düzlemi âletleri gözlemlerin kalitesini ve sonuçlarını etkiler. CCD kameralarla alınan görüntüler sistematik hatâlar içerir. Bu sebeple görüntüleri çözümlemeden önce bu sistematik hatâların giderilmesi gerekir. Bu hatâların giderilmesi için kullanılan kalibrasyon görüntüsü türleri aşağıda verilmiştir.

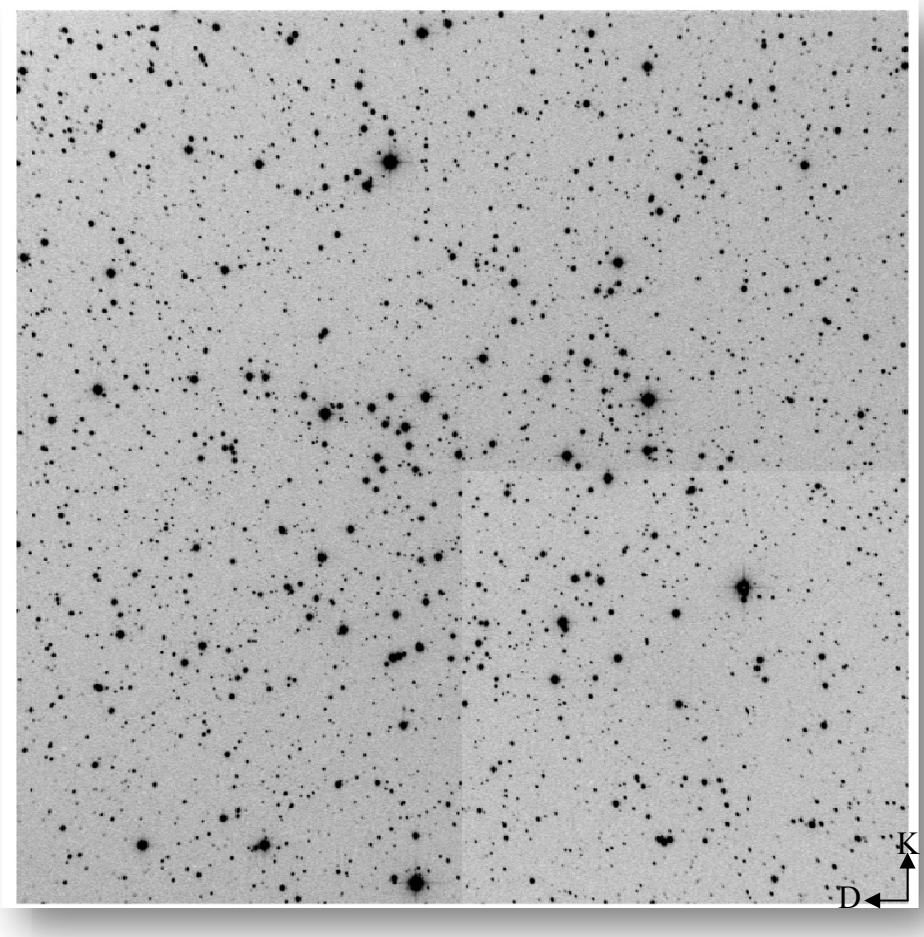
Sıfır Görüntü

Kamera elektroniğinin piksellerde biriken elektronları okuması, sinyali yükseltmesi ve sayısal hale getirmesi sırasında ortaya çıkan elektronik gürültü sistematik hatâlara sebep olur. Sıfır görüntüler (zero frame, bias frame) sadece bu sistematik hatâları içerirler. Sıfır poz süresi ile alınan görüntülerdir. Çekimleri sırasında ışık kullanılmadığı için bu görüntüler filtrelerden bağımsızdır. Bu sebeple gece boyunca tüm filtrelerde alınan görüntüler için kullanılabilirler. Temel amaç her piksel için okumadan kaynaklanan gürültü miktarının ölçülmesidir. NGC 6811'in gözlemleri başlamadan önce ve bittikten sonra çok sayıda sıfır görüntü alınmış, bu sıfır görüntüler IRAF[7]'ın *zerocombine* yazılımı kullanılarak birleştirilmiş ve bir birleşik (master) sıfır görüntü oluşturulmuştur. Birleşik sıfır görüntü ilgilenilen tüm görüntülerden çıkartılarak sıfır görüntü kalibrasyonu yapılmıştır.

[7]**IRAF:** Image Reduction and Analysis Facility (Görüntü indirgeme ve analiz programı). Program Ulusal Optik Astronomi Gözlemevleri tarafından hazırlanmıştır.

Kara Akım Görüntüsü

CCD kameranın sıcaklığı nedeniyle piksellerde termal elektronlar toplanır. Bu elektronlardan kaynaklanan hatâları içeren görüntüler kara görüntü olarak isimlendirilir. Her pikselde ne kadar termal elektron toplandığını ölçmek için, CCD yongasının önü kapalıyken, küme görüntüleri ile aynı poz süresinde görüntüler alınır ve bu görüntülerden birleşik kara görüntü elde edilir. Kalibrasyon için, birleşik kara görüntü ilgilenilen görüntüden çıkartılır. SI CCD kameranın kara akımı (dark current) -100 °C'de sadece 0.0002 e^-/piksel/sn olduğundan, gözlemlerde kullanılmış poz süreleri göz önüne alınarak kara akım düzeltmesine gerek duyulmamıştır. Bu nedenle NGC 6811'in görüntülerinin kalibrasyonlarında kara akım düzeltmesi yapılmamıştır.



Şekil 3.5: NGC 6811 kümesinin T100 ile alınan *R* bandı görüntüsü. Görüntünün yönlendirilmesi şekilin sağ alt köşesinde gösterilmiştir.

Düz Alan Görüntüsü

CCD yongasının önündeki koruyucu cam ve filtrenin yüzeyinde toz vb. madde olabileceği gibi, yonganın yüzeyinde üretim aşamasından kalan izler bulunur. Bunlardan kaynaklanan hatâların düzeltilmesi gereğinin yanı sıra, görüntülerin pikselden piksele değişen kuvantum verimliliği farklarının yarattığı sistematik farklara göre kalibre edilmeleri de gerekir. Bu işlem için düz alan görüntüleri kullanılır. Düz alan görüntüleri alınırken yonga yüzeyi, tüm dalgaboylarında ışınım yapan bir kaynakla homojen şekilde aydınlatılmalıdır. Tez çalışmamızda bu amaçla tan vakti zemin aydınlanması kullanılmıştır. Gözlemler sırasında her filtre (*UBVRI*) için çok sayıda düz alan görüntüsü alınmış ve bunlar birleştirilerek her bir filtre için birer adet birleşik düz alan görüntüsü elde edilmiştir. Tüm filtrelerde yeterli sayıda düz alan görüntüsü alınması için tek gece yeterli olmadığından, başka gözlem gecelerinde tarafımızdan alınmış düz alan görüntüleri de bu amaçla kullanılmıştır. Birleşik düz alan görüntüsü piksel sayımlarının mod değerine göre normalize edildikten sonra, ilgilenilen görüntünün bu normalize düz alan görüntüsüne bölünmesiyle kalibrasyonu yapılmıştır.

Girişim Saçakları

Uzun dalgaboylu fotonlar CCD yongasını geçip geri yansıdıkları sırada yeni gelen fotonlarla yonga yüzeyinde karşılaşırlar. Bu karşılaşmalar sonucunda optik girişimden kaynaklanan girişim saçakları (interference fringes) oluşur, oluşan girişim saçakları da sistematik hatâlara yol açar. Bu hatâlar tez çalışmasında kullanılan *I* filtresinde çok belirgin ve fotometrik ölçüm hatâlarını arttıracak düzeydedir. Girişim saçaklarının giderilebilmesi için sadece girişim hatâlarını içeren bir saçak modeli elde edilerek kalibrasyonda kullanılmalıdır. Saçak modeli oluşturmak için başka bir gözlem gecesinde 'boş' gökyüzü alanlarının görüntüleri *I* filtresiyle 600 sn'lik uzun poz süreleri kullanılarak elde edilmiştir. Girişim saçakları IRAF ile modellenmiş ve elde edilen saçak modeli *I* filtresi ile alınmış görüntülerin kalibrasyonunda kullanılmıştır.

3.3. STANDART YILDIZLARIN FOTOMETRİSİ

Parlaklıkları tâyin edilen standart yıldızlar (Landolt, 2009) küme doğrultusundaki yıldızların âletsel parlaklıklarının standart fotometrik sisteme dönüştürülmesinde

kullanılır. Standart yıldızların âletsel parlaklıkları hesaplanmadan önce, bu yıldızları içeren görüntülere sıfır, düz alan ve gerekli hallerde girişim düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonra, IRAF programının *apphot* paketi kullanılarak standart yıldızların âletsel parlaklıkları açıklık fotometrisi yöntemiyle ölçülmüştür. Açıklık fotometrisi, CCD görüntüsü üzerindeki bir nokta kaynağın merkezinden itibaren çember şekilli bir açıklık içindeki toplam akısının ölçülmesi yoluyla parlaklığının hesaplanmasına dayanan bir yöntemdir. Açıklık kaynaktan gelen tüm akının ölçülebilmesine yetecek kadar büyük olmalıdır. Bahsi geçen açıklıktan ölçülen toplam akı değeri yıldızın akısıyla birlikte gökyüzü zemin akısını da içerir. Gökyüzü zemin akısının her piksele katkısını ölçmek için kaynağın çevresinde bir halka daha belirlenir ve buradan piksel başına düşen ortalama sayım değeri (*pixel count, birimi ADU, Analog-to-Digital Unit*) hesaplanır. Böylece açıklık içindeki toplam zemin sayımı değeri, açıklıktaki toplam sayım değerinden çıkarılarak ve bu sonuç poz süresine bölünerek yıldızdan gelen akının hesaplanması sağlanır. Âletsel parlaklık hesâbı,

$$m_i = 25 - 2.5 \log_{10} \frac{[F_t - (Z_{ort} \times N)]}{T} \tag{3.1}$$

denklemi kullanılarak yapılır. Burada F_t açıklık içindeki toplam piksel sayımı, Z_{ort} ortalama zemin sayımı, N açıklık içindeki piksel sayısı, T ise saniye biriminde poz süresidir. Bu çalışmada kullanılan standart yıldızların açıklık yarıçapları alandan alana değişiklik göstermektedir. Bu uygulama sonucunda her bir standart yıldızın *UBVRI* filtrelerindeki âletsel parlaklıkları elde edilmiştir. Yıldızların hem âletsel hem de standart parlaklıkları bilindiğinden, bu değerlerden parlaklık ve renk eşitlikleri kullanılarak sönümleme ve indirgeme katsayıları hesaplanmış ve küme yıldızlarının fotometrik parlaklıkları belirlenmiştir.

3.4. NGC 6811 AÇIK KÜMESİNİN FOTOMETRİSİ

NGC 6811 açık kümesinin görüntüleri, düz alan ve sıfır görüntüleri kullanılarak kalibre edilmiş ve sistematik hatâlardan arındırıldıktan sonra, görüntülerdeki yıldızların koordinatlarının belirlenmesi ve ortak bir görüş alanı elde edilebilmesi için astrometrik kalibrasyon yapılmıştır.

Bu amaçla küme görüntülerinin her birinde tesbit edilen tüm kaynaklar USNO A2.0 Kataloğu'ndaki yıldızlarla eşleştirilmiş ve IRAF *ccmap* programıyla görüntülerin astrometrik kalibrasyonları yapılmıştır. Böylece görüntülerde tesbit edilen her bir kaynağın (X, Y) piksel koordinatları, (α, δ) ekvatoral koordinatlarına dönüştürülmüştür. PYTHON programlama dilinde hazırlanan özel bir yazılım ile astrometrik kalibrasyonu yapılan her görüntüdeki her yıldızın, diğer görüntülerde de aynı piksel koordinatlarında olmaları sağlanmıştır.

Kümenin *UBVRI* filtrelerindeki kısa ve uzun poz sürelerinde alınan görüntülerinden IRAF'ın *imcombine* yazılımı kullanılarak her filtre için birleştirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Küme alanındaki kaynakların âletsel parlaklıkları SExtractor[8] (Bertin ve Arnouts, 1996) programıyla ölçülmüştür. Bu program kalabalık yıldız alanlarındaki kaynakları belirler, galaksi-yıldız ayırımını yapar ve kaynakların akılarını toplayarak âletsel parlaklıklarını hesaplar. Kalabalık yıldız alanlarında PSF (Point Spread Function) fotometrisi yapılması genel bir uygulama olsa da T100 teleskobuyla elde edilen görüntülerde görüş alanının kenarına doğru optik kusurların artması sebebiyle yıldız görüntülerinin basıklaşması PSF fotometrisinin ölçüm hatâlarının çok artmasına yol açar. Bu sebeple PSF fotometrisi yerine SExtractor ile fotometri yapılması tercih edilmiştir. SExtractor programı altında çalışan ISOPHOTAL fotometri, birleştirilmiş görüntülerdeki kaynakların akılarını kaynağın merkezinden yıldız görüntüsünün zemin bölgesine olan sınırına kadar ölçer ve belirlenen akı değerlerinden âletsel parlaklıkları hesaplar. ISOPHOTAL fotometrinin uygulanmasında kısa ve uzun poz sürelerinde en çok kaynağın görüldüğü *R* bandındaki görüntüler referans olarak alınmış ve poz süreleri için bir sıfır noktası hesaplanmıştır. Bu yolla *R* filtresinde merkezi koordinatları belirlenmiş kaynakların diğer filtrelerdeki konumları dikkate alınarak kısa ve uzun poz sürelerindeki akıları belirlenmiş ve âletsel parlaklıkları hesaplanmıştır. Kaynakların akılarının belirlenmesinde bazı istatistiksel yaklaşımlar (kaynak tespitinde kullanılan standart sapma ve zemin değeri) kullanıldığından kaynaklardan gelen tüm akılar belirlenmemiş olabileceğinden aletsel parlaklıklar yeterli duyarlılıkla hesaplanamayabilir. Bunun için yıldız alanı içinden 100-150 kaynak seçilerek bu kaynaklar için açıklık fotometrisi yapılmış ve sonuçlar ISOPHOTAL parlaklıklar ile

[8]SExtractor: Software for source extraction.

karşılaştırılmıştır. Böylelikle bir açıklık düzeltmesi elde edilmiş ve küme doğrultusundaki tüm kaynaklara bu düzeltme uygulanmıştır. Bu şekilde alandaki tüm kaynakların âletsel parlaklıkları duyarlı şekilde hesaplanmıştır.

3.5. ÂLETSEL PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

NGC 6811 kümesi doğrultusundaki kaynakların mutlak fotometrilerinin yapılmasında 18 Temmuz 2012 gecesi gözlenen altı standart yıldız alanından faydalanılmış ve standart yıldız alanları gece boyunca farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir. Hava kütlesi değeri gözlemi yapılan görüntü dosyalarına otomatik eklenmesine rağmen, dosyaların başlık bilgilerindeki bu hava kütlesi değeri kaba bir sonuç veren $X = \sec \zeta$ formülünden hesaplanmıştır. Bu sebeple gözlemlerin indirgenmesinde daha duyarlı değer veren

$$X = \sec\zeta - 0.018167\,(\sec\zeta - 1) - 0.002875\,(\sec\zeta - 1)^2 - 0.0008083\,(\sec\zeta - 1)^3 \quad (3.2)$$

denklemi (Henden ve Kaitchuck, 1990) kullanılmıştır. Burada ζ gözlenen alanın merkezinin zenit uzaklığıdır. İncelenen yıldız alanlarındaki standart yıldız alanı görüntülerinin kalibrasyonları yapıldıktan sonra, alanlarda ilgilenilen standart yıldızların âletsel parlaklıkları açıklık fotometrisi yöntemiyle ölçülmüştür. Standart yıldızların mutlak parlaklık ve renkleri Landolt'un (2009) güncel kataloğundan alınmış ve fotometrik dönüşüm formüllerindeki katsayıların elde edilmesinde kullanılmıştır. Âletsel parlaklıkların standart fotometrik sisteme dönüştürülmesinde Janes ve diğ.'nin (2013) verdiği bağıntılar tercih edilmiştir. Buna göre *V*, *B-V* ve *U-B* parlaklık ve renklerinin belirlenmesinde;

$$v = V + \alpha_{bv}(B - V) + k_v X + C_{bv} \quad (3.3)$$

$$b = V + \alpha_b(B - V) + k_b X + k'_b X(B - V) + C_b \quad (3.4)$$

$$u = V + (B - V) + \alpha_{ub}(U - B) + k_u X + k'_u X(U - B) + C_{ub} \quad (3.5)$$

V, *V-R* parlaklık ve rengi için;

$$v = V + \alpha_{vr}(V - R) + k_v X + C_{vr} \quad (3.6)$$

$$r = V + \alpha_r(V - R) + k_r X + C_r \tag{3.7}$$

V, *V-I* parlaklık ve rengi için ise

$$v = V + \alpha_{vi}(V - I) + k_v X + C_{vi} \tag{3.8}$$

$$i = V + \alpha_i(V - I) + k_i X + C_i \tag{3.9}$$

bağıntıları kullanılmıştır. Burada *u*, *b*, *v*, *r*, *i* âletsel parlaklıkları, *V*, *U-B*, *B-V*, *V-R* ve *V-I* renkleri standart yıldızların parlaklık ve renklerini, *X* hava kütlesini, *k* ve *k'* parlaklık ve renklerdeki birinci ve ikinci mertebe sönümleme katsayılarını, α standart sisteme dönüşüm katsayılarını, *C* ise gecelik sabitleri temsil eder. Katsayıların indisleri ilgilenilen filtre veya rengi gösterir. Âletsel parlaklıkların standart sisteme çevrilmesinde kullanılan (3.3-3.9) bağıntılarında çok sayıda standart yıldız kullanılmış ve denklemlerdeki katsayılar çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen katsayılar Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4'te verilen katsayılar eşitlik (3.3 – 3.9)'da verilen bağıntılarda yerine yazılarak NGC 6811 kümesi doğrultusunda belirlenen kaynakların âletsel parlaklık ve renkleri, standart fotometrik sistemdeki renk ve parlaklık değerlerine dönüştürülmüştür. Bütün bu işlemlerin yapılması için gerekli yazılımlar IDL (Interactive Data Language[9]) programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.4: 18.07.2012 gecesi için (3.3-3.9) bağıntılarıyla hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ile gecelik sabitler.

Filtre/ Katsayı	***k***	***k'***	***α***	***C***
U	0.5968 ± 0.0319	-0.0580 ± 0.0315	---	---
B	0.3920 ± 0.0218	-0.0296 ± 0.0192	0.9303 ± 0.0430	0.7707 ± 0.0503
V	0.2467 ± 0.0048 (*B-V*)'den 0.2439 ± 0.0077 (*V-R*)'den 0.2539 ± 0.0045 (*V-I*)'dan	---	---	---
R	0.1468 ± 0.0101	---	-0.9507±0.0196	0.9209 ± 0.0276
I	0.0985 ± 0.0051	---	-1.0375 ± 0.0082	1.4970 ± 0.0138
U-B	---	---	0.9294 ± 0.0541	3.1110 ± 0.0542
B-V	---	---	0.0557 ± 0.0061	0.7986 ± 0.0103
V-R	---	---	0.1082 ± 0.0057	0.7967 ± 0.0097
V-I	---	---	0.0517 ± 0.0061	0.7872 ± 0.0105

[9] http://www.exelisvis.co.uk/ProductsServices/IDL.aspx

3.6. KIZARMADAN ARINDIRILMIŞ RENKLER

Galaksi diskinde yoğunlaşan yıldızlararası ortam fotometrik gözlemlerde kaynakların parlaklıklarında sönümlemeye, renklerinde ise kızarmaya yol açar. Kızarma tâyininde birçok iki renk diyagramı kullanılmasına rağmen (*U-B, B-V*) iki renk diyagramı en iyi sonuç veren ve en çok kullanılan diyagramdır. İki renk diyagramı kızarma doğrusuna kalibre edildiği için yoğun kızarmaya maruz kalan yıldızlar, kızarmadan arındırılmış anakolu temsil eden eğriyle uyum sağlanana kadar kaydırılarak yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılır, böylece *E(B-V)* renk artığı tâyin edilir.

(*U-B, B-V*) iki renk diyagramındaki gerçek renk bağıntıları, *UBV* fotometrik sisteminin tanıtılmasından sonra birçok araştırmacı tarafından elde edilmiştir (Johnson, 1966; FitzGerald 1970; Mermilliod, 1981 ve Schmidt-Kaler, 1982). Johnson (1966) ve FitzGerald (1970) gerçek renk bağıntılarını tüm ışıma gücü sınıfları için verirken, Mermilliod (1981) bu bağıntıları yalnız anakol yıldızları için vermiştir. Araştırmacılar bağıntıları iyi gözlenmiş açık küme verilerinden itibaren elde etmişlerdir. Gerçek renk bağıntılarının incelendiği en güncel çalışma Sung ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır. Sung ve diğ. (2013) erken tayf türünden anakol yıldızları için Mermilliod'un (1981), diğer ışıma gücü sınıfındaki yıldızlar için Johnson'ın (1966) çalışmalarında elde edilmiş renk bağıntılarını kullanırken, geç tayf türünden yıldızlar için FitzGerald'ın (1970) verilerini ve düzeltilmiş ilişkileri kullanmışlardır. Söz konusu bağıntılar Tablo 3.5'te verilmiştir.

$E(V\text{-}I)$, $E(V\text{-}J)$, $E(V\text{-}H)$ veya $E(V\text{-}K_s)$ gibi diğer renk artıkları iki renk diyagramlarından kolayca belirlenemez. Renk artığı kızarmadan arındırılmış renk ile $(B\text{-}V)_o$ arasındaki ilişkiden elde edilebilir. Buna ek olarak yakın ve orta kızılötesi bölgede renk artığı oranları, kızarma kanunu $R_v \equiv A_v/E(B\text{-}V)$'in elde edilmesi için önemlidir. Sung ve diğ. (2013) 2MASS için $(B\text{-}V)_o$ ile $(V\text{-}\lambda)_o$ (burada λ *J, H,* K_s filtrelerini ifade etmektedir) arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartabilmek amacıyla Pleiades, NGC 2362, NGC 2264 ve Orion Bulutsusundaki (ON) kümelerin 2MASS verilerini kullanmıştır. Seçilen kümeler Güneş'e görece yakın oldukları için yıldızlararası ortamdan az etkilenmişlerdir. Ayrıca Sung ve diğ. (2013) O ve B tayf türünden yıldızların Tlusty nonLTE model atmosferini (Hubeny ve Lanz, 1995) kullanarak 2MASS ve *Spitzer* IRAC bandlarındaki sentetik

renkleri elde etmişlerdir (Lanz ve Hubeny, 2003; 2007). Kümelerin gözlenmiş ve sentetik renkleri arasındaki uyumu dikkate alarak, program dâhilindeki kümelerin hassas renk artıklarını hesaplamışlar ve erken tayf türündeki yıldızlar için gerçek renkleri tâyin etmişlerdir.

Tablo 3.5: Farklı ışıma gücü sınıfından yıldızların kızarmadan arındırılmış *B-V*, *U-B* ve *V-I* renkleri ve *V* parlaklıkları (Sung ve diğ., 2013).

		$(U-B)_o$			$(V-I)_o$	
$(B-V)_o$	*V*	III	Ib	Ia	*V*	III
–0.325	–1.180	–1.200	–1.180	–1.180	–0.355	–0.340
–0.300	–1.060	–1.100	–1.150	–1.150	–0.330	–0.320
–0.275	–0.990	–1.000	–1.120	–1.120	–0.305	–0.304
–0.250	–0.890	–0.900	–1.080	–1.090	–0.280	–0.270
–0.225	–0.790	–0.790	–1.040	–1.050	–0.250	–0.230
–0.200	–0.700	–0.680	–1.000	–1.010	–0.220	–0.200
–0.175	–0.600	–0.570	–0.950	–0.970	–0.190	–0.170
–0.150	–0.500	–0.470	–0.880	–0.920	–0.160	–0.140
–0.125	–0.400	–0.370	–0.800	–0.860	–0.130	–0.110
–0.100	–0.300	–0.280	–0.740	–0.810	–0.110	–0.080
–0.075	–0.200	–0.200	–0.660	–0.760	–0.080	–0.053
–0.050	–0.110	–0.110	–0.580	–0.710	–0.056	–0.026
–0.025	–0.050	–0.055	–0.480	–0.650	–0.030	+0.000
+0.000	+0.000	+0.000	–0.350	–0.590	–0.003	+0.027
+0.050	+0.055	+0.065	–0.150	–0.330	+0.054	+0.080
+0.100	+0.085	+0.110	+0.010	–0.060	+0.110	+0.130
+0.150	+0.095	+0.120	+0.080	+0.060	+0.170	+0.190
+0.200	+0.085	+0.110	+0.160	+0.150	+0.230	+0.244
+0.250	+0.060	+0.095	+0.230	+0.230	+0.294	+0.300
+0.300	+0.350	+0.075	+0.270	+0.275	+0.353	+0.356
+0.350	+0.005	+0.070	+0.300	+0.300	+0.410	+0.410
+0.400	–0.010	+0.070	+0.325	+0.330	+0.470	+0.467
+0.450	–0.020	+0.075	+0.350	+0.350	+0.525	+0.520
+0.500	+0.000	+0.090	+0.375	+0.375	+0.575	+0.570
+0.600	+0.090	+0.160	+0.420	+0.420	+0.660	+0.670
+0.700	+0.230	+0.280	+0.450	+0.450	+0.740	+0.760
+0.800	+0.410	+0.440	+0.490	+0.490	+0.840	+0.830
+0.900	+0.650	+0.620	+0.630	+0.630	+0.950	+0.890
+1.000	+0.860	+0.840	+0.810	+0.810	+1.080	+0.960
+1.100	+1.040	+1.040	+0.980	+0.980	+1.220	+1.045
+1.200	+1.130	+1.240	+1.150	+1.150	+1.375	+1.140
+1.300	+1.200	+1.440	+1.330	+1.330	+1.555	+1.253
+1.400	+1.220	+1.640	+1.510	+1.510	+1.775	+1.386
+1.500	+1.170	+1.810	+1.680	+1.680	+2.250	+1.570
+1.600	+1.190	+1.890	+1.860	+1.860	+2.600	+1.800

3.7. SIFIR YAŞ ANAKOL BAĞINTILARI

Sıfır Yaş Anakol (ZAMS) bağıntıları açık kümelerin yaşlarının hesaplanmasında kullanılan en temel yöntemdir. Johnson ve Hiltner (1956) yıldızların anakoldaki evrim aşamalarının ihmâl edilmesi durumunda, açık kümelerin uzaklıklarındaki hatâların artabileceğini belirtmiş ve "sıfır" yaş için standart anakolu ortaya koymuştur. "Sıfır-yaş-anakolu" terimini literatüre kazandıran araştırmacı Sandage'dir (1957). ZAMS bağıntılarının elde edilmesi için iyi bilinen iki standart küme bulunmaktadır. Bunlar uzaklığı iyi bilinen ve Güneş'e en yakın açık küme olan Hyades ile A tayf türüne kadar anakol yıldızları içeren Pleiades (M45) açık kümesidir. Genç açık kümeler küme boyunca genelde farklı (diferansiyel) kızarma gösterirler; kızarmaları fazladır ve kızarma kanunları normalden farklıdır. Ayrıca Perseus kolundaki yıldızların metal bolluğunun Güneş civarındakilere göre daha fakir oldukları bilinmektedir. Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS bağıntıları Johnson ve Hiltner (1956), Sandage'in (1957) ve Blaauw (1963) bağıntılarıyla benzerlik gösterir. Mermilliod (1981) birçok açık kümenin fotometrik verisinden yeni bir ZAMS bağıntısı oluşturmuş olmasına rağmen, bu bağıntı literatürdeki diğer ZAMS'lara göre daha az duyarlıdır (Blaauw, 1963; Schmidt-Kaler, 1982). Metal bolluğuna daha az duyarlı olan *V-I* rengi için ZAMS bağıntıları Sung ve Bessel (1999) tarafından üretilmiştir.

Optik renkler için oluşturulan en güncel ZAMS bağıntıları Sung ve diğ. (2013) tarafından üretilmiştir. Sung ve diğ. (2013), ZAMS'ın üst kısmının oluşturulmasında η Carina bulutsusundaki açık kümeleri (Hur ve diğ. 2012) ve NGC 6811'in kızarmadan arındırılmış parlaklık-renk diyagramlarını, orta ve geç tayf türündeki ZAMS değerleri için, sırasıyla, Mermilliod'un (1981) ve Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS bağıntılarını kullanmıştır. Tez çalışmasında *V-I* ve *R-I* renkleri için ZAMS bağıntıları hesaplanırken kızarmadan arındırılmış renk ilişkileri kullanılmış ve bunlar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Optik renkler için ZAMS bağıntıları.

M_V	$B-V$	$U-B$	$V-I$	$R-I$
–5.0	–0.330	–1.210	–0.360	–0.190
–4.5	–0.330	–1.190	–0.360	–0.190
–4.0	–0.325	–1.170	–0.355	–0.180
–3.5	–0.320	–1.150	–0.350	–0.180
–3.0	–0.310	–1.100	–0.330	–0.170
–2.5	–0.295	–1.040	–0.320	–0.160
–2.0	–0.270	–0.970	–0.300	–0.150
–1.5	–0.245	–0.870	–0.270	–0.140
–1.0	–0.220	–0.770	–0.240	–0.120
–0.5	–0.185	–0.650	–0.205	–0.105
0.0	–0.155	–0.520	–0.170	–0.085
+0.5	–0.120	–0.380	–0.130	–0.060
+1.0	–0.075	–0.200	–0.080	–0.040
+1.5	–0.010	–0.010	–0.015	–0.005
+2.0	+0.085	+0.080	+0.090	+0.060
+2.5	+0.200	+0.085	+0.230	+0.130
+3.0	+0.310	+0.030	+0.365	+0.190
+3.5	+0.395	–0.010	+0.465	+0.235
+4.0	+0.475	–0.010	+0.550	+0.275
+4.5	+0.560	+0.050	+0.630	+0.310
+5.0	+0.640	+0.150	+0.690	+0.340
+5.5	+0.720	+0.290	+0.770	+0.370
+6.0	+0.810	+0.470	+0.860	+0.420
+6.5	+0.900	+0.650	+0.970	+0.470
+7.0	+1.010	+0.840	+1.100	+0.510
+7.5	+1.120	+1.000	+1.250	+0.580
+8.0	+1.220	+1.130	+1.40 0	+0.660
+8.5	+1.320	+1.210	+1.560	+0.745
+9.0	+1.380	+1.220	+1.700	+0.840
+9.5	+1.430	+1.200	+1.860	+0.950
+10.0	+1.470	+1.180	+2.000	+1.040
+11.0	+1.540	+1.170	+2.310	+1.230
+12.0	+1.570	+1.200	+2.610	+1.460
+13.0	+1.610	+1.300	+2.900	+1.660
+14.0	+1.730	+1.410	+3.220	+1.840
+15.0	+1.840	+1.500	+3.480	+1.950

3.8. VERİ ANALİZİ ARAÇLARI

3.8.1 Kızarma Kanunu

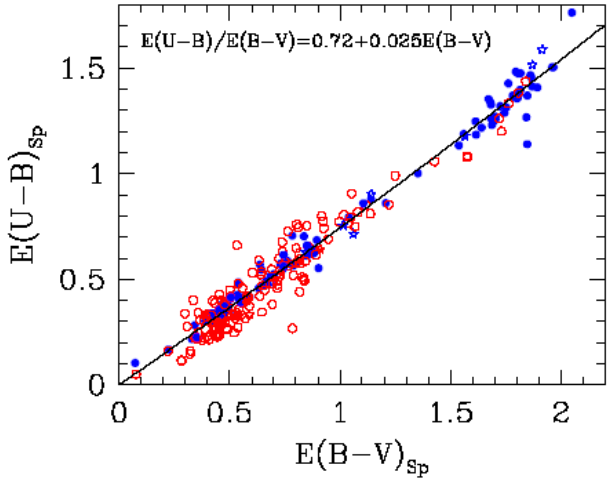
Yıldızların ve kümelerin fiziksel parametrelerinin büyük bir doğrulukla tâyin edilebilmesi için yıldızlararası kızarma değerlerine ihtiyaç vardır. Birçok araştırmacı *V* bandındaki sönükleşme hesâbında $A_V/E(B\text{-}V)$ oranını 3.1 kabul eder (Cardelli ve diğ., 1989). Bununla birlikte yıldızlararası kızarma kanunu Galaksinin farklı doğrultularında farklı oranlara sahiptir (Cardelli ve diğ., 1989; Fitzpatrick ve Massa, 2009). Ayrıca birçok genç açık kümenin de düzensiz kızarma kanunları gösterdiği bilinmektedir. Sung ve diğ. (2013), 200 genç açık kümenin optik ve yakın kızılötesi (2MASS) verilerini analiz ederek kızarma kanununun galaktik boylamla değiştiğini göstermiştir.

Renk artığı oranlarını elde etmeden önce (*U-B, B-V*) iki-renk diyagramından *E(B-V)* renk artığını hesaplamak gerekir. İki-renk diyagramındaki eğimin kızarma miktarına ve gerçek renge bağlı olduğu bilinmektedir (Golay, 1974). Sung ve diğ. (2013), genç açık kümelerdeki yaklaşık 255 OB yıldızından tayf türü ile gerçek renk arasındaki bağıntıları kullanarak *E(B-V)* ve *E(U-B)* renk artıklarını hesaplamıştır. Araştırmacılar O ve B yıldızları arasında renk artıkları bakımından dikkate değer bir farklılığın olmadığını göstererek, bunun *E(B-V)* ve *E(U-B)* renk artıkları arasındaki bağıntının sadece kızarma miktarına bağlı (Şekil 3.6) olduğunun kanıtı kabul etmiş ve *E(B-V)* ve *E(U-B)* renk artıkları için aşağıda bağıntıyı sunmuşlardır:

$$E(U-B)/E(B-V) = 0.72 + 0.025E(B-V) \tag{3.10}$$

Cardelli ve diğ. (1989) toplam sönümleme A_λ'nın basit bir fonksiyon olan $R_V=A_V/E(B\text{-}V)$ olarak elde edilebileceğini göstermişlerdir. Sung ve diğ. (2013) ile Cardelli ve diğ.'nin (1989) elde ettikleri bu değeri kabul ettiklerinde renk artığı oranının (3.11) denkleminde verildiği gibi ifade edilebileceğini belirtmişlerdir:

$$E(U-B)/E(B-V) = 0.859 - 0.045R_V \tag{3.11}$$



Şekil 3.6: Açık kümelerde bulunan 225 O ve B tayf türünden yıldızın *E*(*B*-*V*) ile *E*(*U*-*B*) renk artıklarının karşılaştırılması. Çember ve daireyle gösterilen semboller sırasıyla B ve O tayf türündeki anakol yıldızlarını yıldız sembolü ise evrimleşmiş yıldızları göstermektedir (Sung ve diğ., 2013).

Bu durumda düzensiz kızarma kanunu gösteren genç açık kümeler için oranın çok küçük olması gerekir. Buna örnek olarak Hur ve diğ. (2012), η Car bulutsusundaki genç açık kümeleri örnek vermiştir. Sung ve diğ. (2013) çalışmalarında η Car bulutsusundaki O tayf türünden yıldızların renk artıkları arasında herhangi bir farklılık bulamamışlar, bu nedenle R_V'nin *E(U-B)/E(B-V)* üzerindeki etkisini ihmâl etmişlerdir.

3.8.2 Kümeye Üyelik Kriterleri

Açık kümelerin konumları galaktik düzleme yakın olduğundan küme doğrultusundaki yıldız sayıları fazladır. Bu durum fotometrik yöntemler kullanılarak küme üyesi yıldızların belirlenmesini zorlaştırır. Küme üyesi yıldızların belirlenmesinde en çok astrometrik ve tayfsal çalışmalar sonucunda elde edilen radyal hız verilerinin analizleri kullanılır. Fakat radyal hız tâyini için çok sayıda yıldızın tayf gözlemine ihtiyaç duyulduğundan tayfsal yöntem pratik değildir. Bu nedenle araştırmacılar genellikle yıldızların öz hareket verilerini dikkate alarak küme üyesi yıldızları belirlerler. Yıldızların öz hareket bileşenlerinin yeterince duyarlı hesaplanabilmesi için en az 50-100 yıllık gözlemler gerektiğinden günümüzde geçmiş zamanlarda fotoğraf plaklarına çekilmiş gökyüzü görüntülerinin sayısallaştırılmış verileri önem kazanmıştır. Plak görüntülerinin düşük kuvantum verimliliği ve günümüz şartlarına göre çok parlak kalan

limiti nedeniyle ancak *V*=16 kadire kadar olan kaynakların astrometrik çalışmaları yapılabilmektedir. Günümüzün en duyarlı öz hareket kataloğu Birleşik Devletler Deniz Kuvvetleri Gözlemevinden (USNO) elde edilen CCD-tabanlı UCAC-4 kataloğudur (Zacharias ve diğ., 2013). Bu katalog sınırlı limit parlaklığından dolayı ancak Güneş'ten 1 kpc uzaklığa kadar bulunan açık kümelerin üyelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu tez çalışmasında Zacharias ve diğ. (2013) tarafından yayınlanan UCAC-4 kataloğundaki öz hareket verileri olası küme yıldızlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yıldız alanında bulunan küme üyelerinin belirlenmesinde öz hareket bileşenleri ve bunların ölçüm hatâları dikkate alınır. Küme üyelerinin belirlenmesinde normal dağılım fonksiyonu kullanılarak her bir yıldızın küme üyeliğinin olasılığı aşağıda verilen (3.12) bağıntısıyla hesaplanır (Sanders, 1971b; Balaguer-Nunez ve diğ., 1998):

$$\Phi_c^v = \frac{1}{2\pi(\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_c^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\mu_{xi}+\mu_{xy})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yc})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \qquad (3.12)$$

Burada: (μ_{xi},μ_{yi}): i. yıldızın öz hareketlerini, $(\mu_{xy,}\mu_{yc})$: kümenin öz hareket merkezini, σ_c: üye yıldızların gerçek öz hareket dispersiyonlarını, $\epsilon_{xi},\epsilon_{yi}$: i. yıldızın öz hareket bileşenlerinin gözlenen hatâlarını temsil eder.

Yıldız alanı için ise bu bağıntı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\Phi_f^v = \frac{1}{2\pi(1-\gamma^2)^{1/2}(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_{yf}^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\gamma^2)}\left[\frac{(\mu_{xi}-\mu_{xf})^2}{\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2}-\frac{2\gamma(\mu_{xi}-\mu_{xf})(\mu_{yi}-\mu_{yf})}{\left(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2\right)^{1/2}\left(\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2\right)^{1/2}}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yf})^2}{\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \qquad (3.13)$$

Burada, (μ_{xi},μ_{yi}), i. yıldızın öz hareketlerini; $(\mu_{xf,}\mu_{yf})$, yıldız alanının öz hareket merkezini; $\epsilon_{xi},\epsilon_{yi}$, i. yıldızın öz hareket bileşenlerinin gözlenen hatalarını; σ_{xf},σ_{yf}, yıldız alanının gerçek öz hareket dispersiyonlarını, γ ise korelasyon katsayısını gösterir.

Diğer taraftan küme üyelerinin yüzey-yoğunluk-sayısı kümenin konumunun bir fonksiyonudur ve bir Gaussian profil ile aşağıdaki gibi seçilebilir.

$$\Phi_c^r = \frac{1}{2\pi r_c^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x_i - x_c}{r_c}\right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{r_c}\right)^2\right]\right\} \quad (3.14)$$

Burada, x_c, y_c, kümenin merkezini ve r_c kümenin gökyüzündeki açısal uzanımını (yarıçapını) gösterir. Alan yıldızlarının kabul edilen homojen dağılımı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\Phi_f^r = \frac{1}{\pi r_{max}^2} \quad (3.15)$$

Alandaki tüm yıldızların dağılımı aşağıda verilen denklemle belirlenebilir:

$$\Phi = \Phi_c + \Phi_f = \sum_{c=1}^{2} n_c . \Phi_c^v \Phi_c^r + n_f . \Phi_f^v . \Phi_f^r$$

$$\sum_{c=1}^{2} n_c + n_f = 1 \quad (3.16)$$

$\Phi_f^v, \Phi_f^r, \Phi_c^v, \Phi_c^r$ küme üyelerinin ve alan yıldızlarının (r) ve göreceli öz hareket (v) uzaylarındaki konumlarının normalize edilmiş dağılımlarını; n_f normalize edilmiş alan yıldız sayılarını, n_c ise normalize edilmiş küme yıldız sayılarını gösterir. Sonuç olarak bu dağılım için bilinmeyen parametreler $(n_c, x_c, y_{c,} r_c, \mu_{xc}, \mu_{yc}, \sigma_c)$ ve $(n_f, \mu_{xf}, \mu_{yf}, \sigma_{xf}, \sigma_{yf}, \gamma)$ dir. c kümesinin i'inci yıldızının üyelik olasılığı aşağıdaki P_c bağıntısıyla hesaplanabilir:

$$P_c = \frac{\Phi_c(i)}{\Phi\,(i)} \quad (3.17)$$

3.8.3 Uzaklık

Açık kümelerin uzaklıkları genelde kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarına ZAMS bağıntıları uygulanarak hesaplanır. 1990 yılından önce *UBV* bantlarında gözlemler yapıldığından, açık kümelerin uzaklıkları (*B-V, M_V*) renk-parlaklık diyagramında uygulanan ZAMS bağıntılarıyla elde edilirdi. 2000'li yılların başından itibaren CCD kameraların etkin olarak astronomide kullanılmasıyla açık küme gözlemleri *VRI* ve *BVRI* filtrelerini kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Uzun dalgaboyunda ölçülen akının yıldızlararası kızarmaya ve metal bolluğuna daha az duyarlı olması sebebiyle, küme uzaklıklarının hesaplanmasında daha elverişlidir. Optik

bantlardaki özellikle *U* ve *B* filtreleri için üretilen ZAMS bağıntıları metal bolluğu farkının yanı sıra (Sung ve Bessell, 1999) kromosferik aktiviteden de etkilenebilirler (Sung ve diğ., 2002).

İncelenen açık kümelerin renk artıkları belirlendikten sonra iyi bilenen ZAMS bağıntıları, küme için çizilen renk-parlaklık diyagramında dik yönde kümenin anakolu ile en iyi uyumu sağlayacak şekilde kaydırılarak kümenin uzaklık modülü elde edilir. Bu yöntem literatürde 'anakol çakıştırması' olarak bilinir. Kümenin optik ya da kızılötesi bölgede oluşturulacak çok sayıda renk-parlaklık diyagramı sayesinde farklı filtre sistemlerinde yapılmış gözlemler için uzaklık modülleri elde edilir ve bu değerlerin aritmetik ortalaması kümenin uzaklığı için en iyi ölçümü temsil eder.

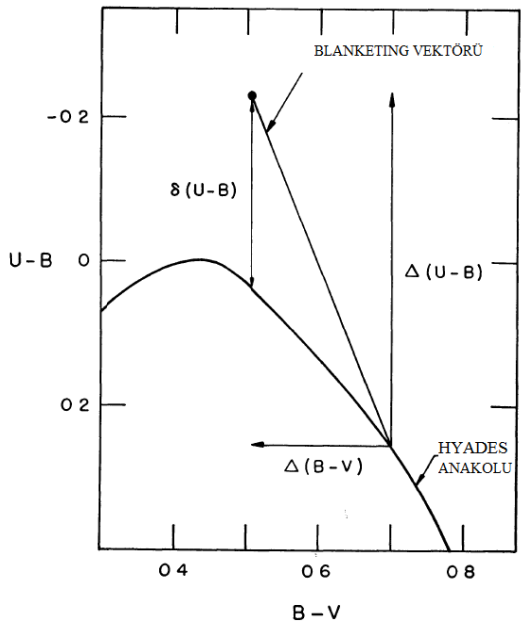
3.8.4 Metal Bolluğu

Açık kümelerdeki yıldızlar aynı molekül bulutundan oluştukları için küme yıldızlarının metal bollukları birbirine benzer. Metal bolluğu tayfsal ve fotometrik yöntemler ile belirlenebilir. Küme doğrultusundaki aday yıldızlar belirlendikten sonra yüksek çözünürlüklü tayf verileri ile yıldızların metal bollukları elde edilebilir. Yıldız tayfının alınması ve analiz edilmesi üye sayısı fazla olan açık kümelerde zordur ve uzun gözlem zamanına ihtiyaç vardır. Bu sebeple yıldızların fotometrik metal bolluklarının tâyininde genelde geniş band *UBV* verileri kullanılır. Yıldızların (*U-B, B-V*) iki renk diyagramı üzerindeki konumlarının Güneş metal bolluğundaki Hyades kümesinin aynı renkteki anakoluna göre *U-B* farkları metal bolluğuna duyarlıdır. Morötesi artığı δ_{U-B} olarak bilinen bu fark Sandage (1969) tarafından tayfsal metal bolluklarına göre kalibre edilmiştir. Kalibre edilen morötesi artıklar yıldızların metal bolluklarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bir anakol yıldızının atmosferinde belirlenmiş ağır elementler tek tek çıkartılabilseydi, yıldız tayfının sürekliliğe yaklaştığı ve (*U-B, B-V*) iki renk diyagramındaki anakolunu *blanketing vektörleri* boyunca terk ettiği görülürdü. Kuramsal modellere göre yıldızın etkin sıcaklığı sabit tutulup metal bolluğu arttırıldığında merkezde üretilen enerjinin bir kısmı yıldız atmosferindeki ağır elementler tarafından engellenerek atmosferin ısınmasına neden olurken (geri ısınma), bir kısmı da etkileşimlerden sonra atmosferden yayınlanır. Blanketing vektörü yıldızda üretilen enerjinin yıldız atmosferinde soğurulma

oranıyla yayınlanma oranının bir bileşkesi olup, yıldızdan *U* bandında alınan akıda artışa neden olur.

Metalce zengin yıldızların atmosferlerindeki morötesi (*UV*) bölgede görülen soğurma çizgileri metalce fakir olanlardan fazla olduğundan, metalce fakir yıldızların morötesi artıkları daha büyüktür. Morötesi artığının sayısal olarak ifade edilebilmesi için Hyades açık kümesindeki yıldızların anakol üzerindeki değerleri dikkate alınır. Metalce fakir yıldızların *U* bandındaki akıları metalce zengin olanlara göre büyüktür. Bu durumda (*U-B, B-V*) iki renk diyagramının aynı renkteki metalce zengin olan Hyades kümesindeki anakol yıldızına göre bir *UV* fazlalığı gözlenir (Şekil 3.7). Hyades kümesinin (*U-B, B-V)* verileri Tablo 3.7'de verilmiştir. Güneş civarındaki yıldızlar *U-B* × *B-V* iki renk diyagramına yerleştirildiğinde, yıldızların morötesi artıkları *B-V*=0.6 renk indeksinde en büyük değere ulaşmaktadır. Bu renk indeksinin mavi ve kırmızı taraflarında morötesi artığı aynı bir metal bolluğu değeri için azalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Sandage (1969) farklı renk indekslerindeki morötesi artıklarını *B-V* = 0.6'daki morötesi artığına kalibre etmek üzere *f* ile gösterilen bir ifadeyle genişletmiştir. Bu yöntemle elde edilen mor ötesi artığı $\delta_{0.6}$ ile gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Hyades anakolu üzerindeki bir yıldız için morötesi artığı δ_{U-B} ve blanketing vektörünün şematik gösterimi.

Tablo 3.7: Sandage'in (1969) Hyades açık kümesiyle metalce fakir zarfı kullanarak elde ettiği f ($\delta_{0.6}/\delta(U-B)$) faktörleri. İlk iki sütunda Hyades kümesinin (B-V) ve $(U-B)_H$ renk indeksleri, üçüncü sütunda metalce fakir zarfın $(U-B)_M$ renk indeksleri, dördüncü sütunda aynı (B-V) renk indeksine karşılık gelen (U-B) renk indeksleri farkı ve son sütunda ise (B-V) = 0.6 renk indeksine kalibre edilmiş $\delta_{0.6}/\delta(U-B)$ değerleri verilmiştir.

$B-V$	$(U-B)_H$	$(U-B)_M$	$\delta(U-B)$	$\delta_{0.6}/\delta(U-B)$
0.35	0.03	-0.22	0.25	1.24
0.40	0.01	-0.25	0.26	1.19
0.45	0.00	-0.27	0.27	1.15
0.50	0.03	-0.25	0.28	1.11
0.55	0.08	-0.22	0.30	1.03
0.60	0.13	-0.18	0.31	1.00
0.65	0.19	-0.11	0.30	1.03
0.70	0.25	-0.03	0.28	1.10
0.75	0.34	0.08	0.26	1.19
0.80	0.43	0.19	0.24	1.29
0.85	0.54	0.32	0.22	1.41
0.90	0.64	0.44	0.20	1.55
0.95	0.74	0.55	0.19	1.63
1.00	0.84	0.67	0.17	1.82
1.05	0.94	0.79	0.15	2.06
1.10	0.99	0.87	0.12	2.58

Tez çalışmasında NGC 6811 kümesinde belirlenecek F ve G anakol yıldızlarının fotometrik metal bolluğu tâyininde Sandage'in (1969) *UV* artığı yöntemi kullanılarak metal bollukları belirlenecektir. Astronomide gelişen teknoloji ile birlikte alınan gözlem verilerinin hassasiyetinin artmasıyla Sandage'in (1969) önerdiği yöntem de zamanla geliştirilmiştir (Laird ve diğ., 1988; Karaali ve diğ., 2003; 2005; 2011). Tez çalışmasında Karaali ve diğ.'nin (2011) çalışması dikkate alınmıştır. Bu çalışmada Pastel Kataloğundan metal bollukları tayfsal yöntemle belirlenen 701 yıldız (Soubiran ve diğ. 2010) geniş bir metal bolluğu ($-1.76 \leq [M/H] \leq +0.40$ dex) ve renk aralığında ($0.32 \leq (B-V)_0 \leq 1.16$) yer almaktadır. Karaali ve diğ. (2011) tayfsal metal bolluklarıyla yıldızların morötesi artıkları arasında bir ilişki kurarak anakol yıldızları için

$$[M/H] = -14.310\delta_{0.6}^2 - 3.557\delta_{0.6} + 0.105 \qquad (3.12)$$

bağıntısını elde etmişlerdir. Burada $\delta_{0.6}$ (B-V) = 0.6 renk indeksinde ölçülen morötesi renk artığı, $\delta_{0.6}$ ise yıldızın U-B renk indeksiyle Hyades koluna karşılık gelen U-B renk indeksi arasındaki farkın normalize edilmiş halidir.

3.8.5 Padova Yaş Eğrileri ve Yaş Tâyini

Kuramsal yıldız yaşlarının tâyininde başlangıç kütle değerleri, metal bollukları ve kütle kayıpları gibi değişkenler dikkate alınarak evrim modelleri hazırlanır. Literatürde bu türden pek çok çalışma vardır: Pols ve diğ. (1998), Demarque ve diğ. (2004), Girardi ve diğ. (2010), Ekstrom ve diğ. (2012). Bu çalışmalar içinde en çok kullanılanlardan biri Padova grubu tarafından üretilen yıldız evrim modelleridir (Bressan ve diğ., 1993; Fagotto ve diğ., 1994a, b; Bertelli ve diğ., 1994). Padova evrim modellerinde geniş bir kütle (0.6 – 120 $M_{\odot}$) ve metal bolluğu (Z = 0.004–0.050) aralığı vardır. Modeller OPAL opasite, sabit bir helyum-metal değişim oranı, konvektif çekirdeği olan yıldızlarda sabit bir konvektif taşıma ve büyük kütleli yıldızlarda kütle kaybı gibi temel özelliklere sahiptir. Daha sonra Girardi ve diğ. (1996) bu modelleri çok düşük metal bolluğu değerlerini (Z = 0.0001) kapsayacak şekilde genişletmiştir. Son olarak Marigo ve diğ. (2008) tarafından verilen yıldız modelleri $0.0001 \leq Z \leq 0.03$ metal bolluğu, 0 – 17 Gyr yaş ve $0.15 \leq M/M_{\odot} < 100$ kütle aralığı için kullanılabilir. Çalışmada Güneş'in ağır element bolluğu $Z_{\odot} = 0.015$ kabul edilmiştir.

Padova yıldız evrim modellerinin literatürdeki diğer modellerden en önemli farkı model sonuçlarının birçok fotometrik sistem için üretilmiş olması ve bu modellerin kırmızı dev yıldızların iç yapılarındaki karmaşık konvektif hareketler ile çevrelerindeki toz yapıları dikkate alan fotometrik sonuçlar üretmesidir. Ayrıca, Dr. Leo Girardi tarafından hazırlanan bir web sayfası[10] üzerinden farklı seçenekler kullanılarak yıldız evrim modelleri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında NGC 6811 açık kümesinin evrimsel durumu inceleneceği için Padova grubu tarafından verilen geniş bir metal bolluğu ve yaş aralığına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle web sayfası üzerinde $-0.5 < [M/H] \leq 0.2$ dex metal bolluğu ve $6 \leq \log(t/\text{yıl}) \leq 9.5$ yaş aralığı dikkate alınmıştır.

NGC 6811 açık kümesinin yaş tâyininde kümenin farklı fotometrik bantlar için çizilen renk-parlaklık diyagramları kullanılacaktır. Kümeye üyelik olasılığı yüksek yıldızlardan itibaren oluşturulacak renk-parlaklık diyagramları, Padova yaş eğrileri ile

[10] http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd

karşılaştırılarak kümenin yaşı hesaplanacaktır. Kümenin yaşının belirlenmesinde Bayesian istatistik kullanılacaktır.

Yıldız yaşlarının tâyininde Bayesian yöntem ilk kez Pont ve Eyer (2004) tarafından kullanılmış ve bu yöntem Jørgensen ve Lindegren (2005) tarafından geliştirilmiştir. Teorik yıldız modellerinden itibaren yaş (τ), metal bolluğu (ζ) ve kütle (m) parametreleri, gözlemsel renk (*U-B*, *B-V*, *V-R*, *R-I*, *V-I*), mutlak parlaklık (M_V) ve metal bolluğu ([*M*/*H*]) parametreleriyle karşılaştırılır. Gözlemsel parametrelerdeki hatâların Gaussian ve bağımsız olduğu varsayılarak olabilirlik (likelihood) fonksiyonu L şu şekilde tanımlanır:

$$L(\tau,\zeta,m)=\left(\prod_{i=1}^{n}\frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma_i}\right)\times\exp(-\frac{\chi^2}{2}), \tag{3.13}$$

burada

$$\chi^2=\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{q_{i,\text{gözlemsel}}-q_{i,\text{model}}(\tau,\zeta,m)}{\sigma_{i,\text{gözlemsel}}}\right)^2\text{'dir.} \tag{3.14}$$

q fonksiyonu gözlemsel ve kuramsal renk, mutlak parlaklık ve metal bolluğu parametrelerini, n parametre sayısını ve σ her bir parametrenin hatâsını göstermektedir. İkinci adım Bayesian düzeltme yapıp son olasılığın yoğunluk fonksiyonunu elde etmektir:

$$f(\tau,\zeta,m)\propto f_0(\tau,\zeta,m)\times L(\tau,\zeta,m). \tag{3.15}$$

Burada f_0 başlangıç olasılığının yoğunluğu olup $f_0(\tau,\ \zeta,\ m) = \psi(\tau)\ \varphi(\zeta/\tau)\ \xi(m/\zeta\tau)$ ifadesiyle verilir. $\psi(\tau)$ yıldız oluşum oranını, $\varphi(\zeta/\tau)$ metal bolluğu dağılımını ve $\xi(m/\zeta\tau)$ metal bolluğu ve yaşın bir fonksiyonu olarak başlangıç kütle fonksiyonunu gösterir. Metal bolluğu düz bir fonksiyon olarak kabul edilir. Başlangıç fonksiyonu (IMF) da $\xi(m) \propto m^{-2.7}$ şeklinde bir üssel bir fonksiyon olarak alındı. O zaman $f(\tau) \propto \psi(\tau)\ G(\tau)$ olur. Burada $G(\tau)$

$$G(\tau)\propto\iint L(\tau,\zeta,m)\xi(m)dmd\zeta. \tag{3.16}$$

olup yıldızın gözlemsel parametreleri ile farklı yaş, metal bolluğu ve kütleye sahip kuramsal eş yaş eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen olasılık değerlerini temsil eder. Jørgensen ve Lindegren'in (2005) izlediği yol takip edilerek (3.16) denklemi yerine (3.17)'deki toplamlı ifade yazılabilir.

$$G(\tau_j) \propto \sum_k \sum_l L(\tau_j, \zeta_k, m_{jkl}) \xi(m_{jkl})(m_{jkl+1} - m_{jkl-1}). \qquad (3.17)$$

Denklem (3.17) her bir eş yaş eğrisi seti için hesaplanarak, her yıldızın olası yaş dağılımı belirlenir. Sonuç olarak $G(\tau_j)$'nin en büyük değerine karşılık gelen τ_j değeri incelenen yıldız için en muhtemel yaşı verir. Bu tez çalışmasında küme üyeliği yüksek olan yıldızlar yukarıda anlatılan Bayesian istatistik kullanılarak Padova yaş eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Gözlemler ile kuramsal modellerin karşılaştırılması sonucunda en iyi uyum sağlayan model değerleri kümenin astrofiziksel parametreleri olarak kabul edilip, bu modellerin temsil ettiği yaş ise kümenin yaşı olarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

NGC 6811 açık yıldız kümesi 18 Temmuz 2012 tarihinde TUG'daki T100 teleskobuna takılı *UBVRI* filtreleriyle gözlenmiştir. Gözlemlerde her bir filtre için farklı poz süreleri kullanılarak kümenin sönük ve parlak yıldızlarını içerecek veriler elde edilmiştir. Gözlem gecesi küme görüntüleri dışında Landolt'un (2009) standart yıldızlarını içeren yıldız alanları da gözlenmiştir. Tüm gözlemlerin kalibrasyonları Bölüm 3.2'de verilen yöntemlerle yapılmış ve böylece teleskoptan ve CCD kameradan kaynaklanan sistematik hatâlar küme ve standart yıldız alanlarının görüntülerinden arındırılmıştır. Aletsel parlaklıkların ölçülmesi, standart yıldız gözlemlerinden sönümleme ve dönüşüm katsayıları ile gecelik sabitlerin hesaplanması, küme alanındaki yıldızlar için standart parlaklıkların ve renklerin elde edilmesi işlemleri Bölüm 3.3, 3.4 ve 3.5'te verilen yöntemlerle gerçekleştirilmiştir.

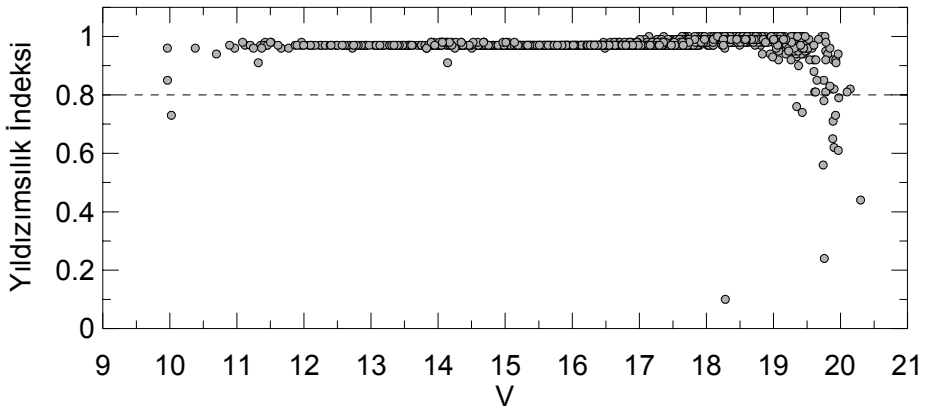
NGC 6811 küme alanındaki kaynakların âletsel parlaklıklarının ölçülmesinden önce astrometrik düzeltme yapılarak (Bölüm 3.4) görüntü üzerindeki her bir kaynağın ekvatoral koordinatları (α, δ) belirlenmiştir. Kümenin *UBVRI* filtrelerindeki görüntülerinden IRAF yazılımı kullanılarak her bir filtre için birleştirilmiş görüntüler elde edilmiş ve küme alanındaki kaynakların aletsel parlaklıkları SExtractor programıyla (Bertin ve Arnouts, 1996) ölçülmüştür. Âletsel parlaklıklardan mutlak fotometriye geçilmesinde (3.3)-(3.12) bağıntıları ve standart yıldız gözlemlerinden hesaplanarak Tablo 3.4'te bu bağıntılar için verilen katsayılar kullanılmıştır. Böylece küme doğrultusundaki kaynakların âletsel parlaklıkları standart sisteme dönüştürülmüştür.

İndirgemeler sonucunda NGC 6811 küme alanında belirlenen 1605 kaynağın ekvatoral ve galaktik koordinatları, *UBVRI* parlaklık ve renkleriyle ölçüm hatâları ve yıldızımsılık indekslerini içeren bir katalog hazırlanmıştır. Kataloğumuzdaki kaynakların ekvatoral koordinatları Zacharias ve diğ.'nin (2013) kataloğundaki koordinatlar ile açısal uzaklık için 5 yay saniyelik bir üst sınır gözetilerek eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme sonucunda

1578 kaynaktan 608 tanesinin öz hareket verisine ulaşılmış ve kataloğumuza bu veriler de işlenmiştir.

4.1. KÜME VERİLERİNİN ANALİZİ

NGC 6811 kümesi doğrultusunda alınan görüntülerde küme üyesi yıldızları belirlemeden önce görüntülerdeki yaygın kaynakların (galaksi dışı cisimler) teşhis edilerek oluşturulacak katalogdan çıkartılması gerekmektedir. Bu tür kaynakların belirlenebilmesi için küme doğrultusundaki tayfsal veya fotometrik ölçümlere ihtiyaç vardır. İlgilenilen kaynağın Samanyolu Galaksisinin üyesi olup olmadığı radyal hız ölçümlerinden ortaya konabilirken, fotometrik gözlemlerden cismin CCD görüntüsündeki şekline ya da renk uzaylarındaki konumuna bakılır. Bu tez çalışmasında NGC 6811'in sadece fotometrik gözlemleri yapıldığından, küme doğrultusundaki galaksi dışı cisimlerin ayırımında kaynakların şekilsel özelliklerine bakılmıştır. Kaynakların ve âletsel parlaklıkların belirlenmesinde kullanılan SExtractor programı aynı zamanda CCD görüntüsündeki cisimlerin yıldızımsılık indekslerini (basıklık oranlarını) de verir. Bu veri, katalogta bulunan 1605 kaynak için hesaplanmıştır. Galaksi dışı kaynakların belirlenmesi için V görünen parlaklığı ile yıldızımsılık indeksi arasındaki ilişkiye bakılmalıdır. Literatürdeki çoğu çalışmada (Andreuzzi ve diğ., 2002; Karaali ve diğ., 2004) galaksi dışı cisimlerin ayırımı için yıldızımsılık indeksinin üst sınırı 0.8 kabul edilmiştir. Şekil 4.1'de NGC 6811 açık küme alanındaki nesnelerin yıldızımsılık indeksi değerlerinin V görünen parlaklığına göre dağılımı gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi parlak cisimlerin büyük bir kısmı nokta kaynakken, sönük nesnelere gidildikçe yaygın kaynaklar da ortaya çıkmaktadır. Küme doğrultusunda yer alan kaynakların 14'ünün yıldızımsılık indeksi 0.8'den küçüktür ve bu nesneler yıldız tanımına uymadıklarından istatistik dışı bırakılmışlardır. Böylece NGC 6811 doğrultusunda 1591 yıldız belirlenmiştir.

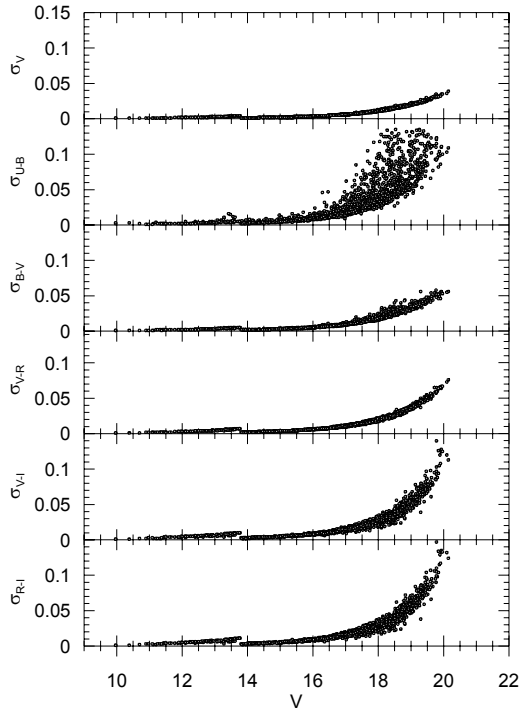


Şekil 4.1: Küme doğrultusunda belirlenen 1605 nesnenin yıldızımsılık indeksi değerlerinin *V* görünen parlaklığına göre dağılımı. Kesikli çizgi yıldızımsılık indeksinin 0.8'e eşit olduğu yer olup, bu sınır yıldız/galaksi ayrımında kullanılmaktadır.

NGC 6811 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 1591 yıldızın parlaklık ve renk hatâları *V* parlaklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.2'de, istatistiksel veriler ise Tablo 4.1'de verilmiştir. Parlaklık hatâları âletsel parlaklıkların istatistiksel belirsizliklerinden, renk hatâları ise hatâların yayılımından hesaplanmıştır. *V* görünen parlaklığına göre çizilen hatâlarda V=13.8 kadirinde bir süreksizlik görülmektedir. Bu süreksizlik kısa ve uzun poz sürelerinin kullanım sınırından kaynaklanmaktadır. Sönük yıldızlara gidildikçe *V* bandındaki belirsizlikler 0.04 kadire kadar ulaşmaktadır. Renk hatâları söz konusu olduğunda alandaki en sönük yıldızlar için morötesi ve kızılötesi renklerde hatâlar 0.1 kadirden daha büyük değerlere ulaşırken, gene bu nesneler için optik bölgenin merkezi yakınında bulunan *B*-*V* renk indeksi hatâlarının 0.05 kadire yaklaştığı Şekil 4.2'den görülmektedir.

Tablo 4.1: Görünen parlaklığa göre hesaplanan ortalama fotometrik hatâlar. Burada *N* parlaklık aralığına düşen yıldız sayısını göstermektedir.

Parlaklık Aralığı	***N***	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}	σ_{V-R}	σ_{V-I}	σ_{R-I}
$10 < V \leq 12$	28	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
$12 < V \leq 13$	45	0.002	0.003	0.003	0.004	0.006	0.006
$13 < V \leq 14$	67	0.003	0.005	0.004	0.005	0.006	0.007
$14 < V \leq 15$	85	0.002	0.004	0.002	0.003	0.004	0.004
$15 < V \leq 16$	161	0.003	0.008	0.004	0.005	0.004	0.007
$16 < V \leq 17$	289	0.005	0.015	0.008	0.008	0.011	0.012
$17 < V \leq 18$	394	0.009	0.034	0.014	0.015	0.020	0.022
$18 < V \leq 19$	378	0.015	0.069	0.026	0.027	0.037	0.040
$19 < V \leq 20$	142	0.025	0.095	0.040	0.046	0.070	0.076



Şekil 4.2: NGC 6811 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 1591 yıldızın parlaklık ve renk hatâlarının *V* parlaklığına göre dağılımı.

4.2. FOTOMETRİK VERİLERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Ötegezegen taramalarının sıklaştığı günümüzde galaktik diskte yer alan bazı bölgeler elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde sürdürülen *Kepler*[11], NGTS[12], WTS[13] gibi gökyüzü taramalarıyla incelenmektedir. Gezegen taramalarının yapıldığı bu alanlardan biri de atmosfer dışındaki *Kepler* uydusu tarafından gözlenen Kuğu takımyıldızındaki 100 derece kare boyutlarındaki Kepler alanıdır (Şekil 4.3). *Kepler* uydusunun analizleri sonucunda gezegene sahip olma ihtimali yüksek yıldızlar takip gözlemleriyle izlendikleri için Kepler alanı birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir (Borucki ve diğ., 2010). Bu yıldız alanı içinde NGC 6811, NGC 6866, NGC 6819 ve NGC 6791 açık kümeleri de yer almaktadır. Adı geçen kümelerin yaşları yaklaşık 1-8 Gyr aralığında olup, yaşlı açık kümelerin yapısal ve astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde önemlidirler (Janes ve diğ., 2014). Janes ve diğ. (2013), Kepler alanında bulunan NGC 6811 açık kümesinin duyarlı *UBVRI* fotometrik gözlemlerini yaparak kümenin yapısal ve astrofiziksel parametrelerini elde etmiştir. Tez çalışmasında

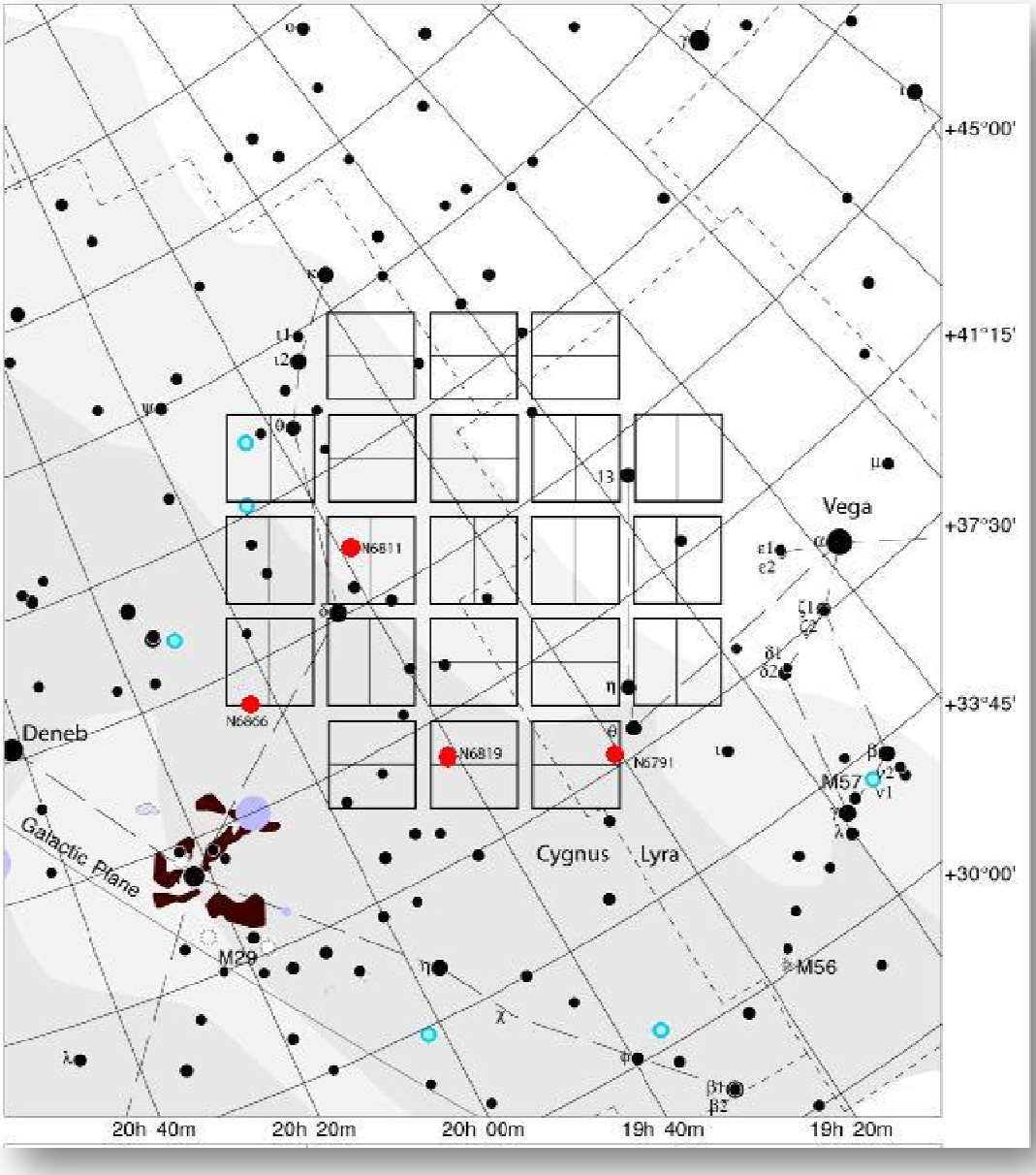
[11] http://kepler.nasa.gov/

[12] http://www.ngtransits.org/science.shtml

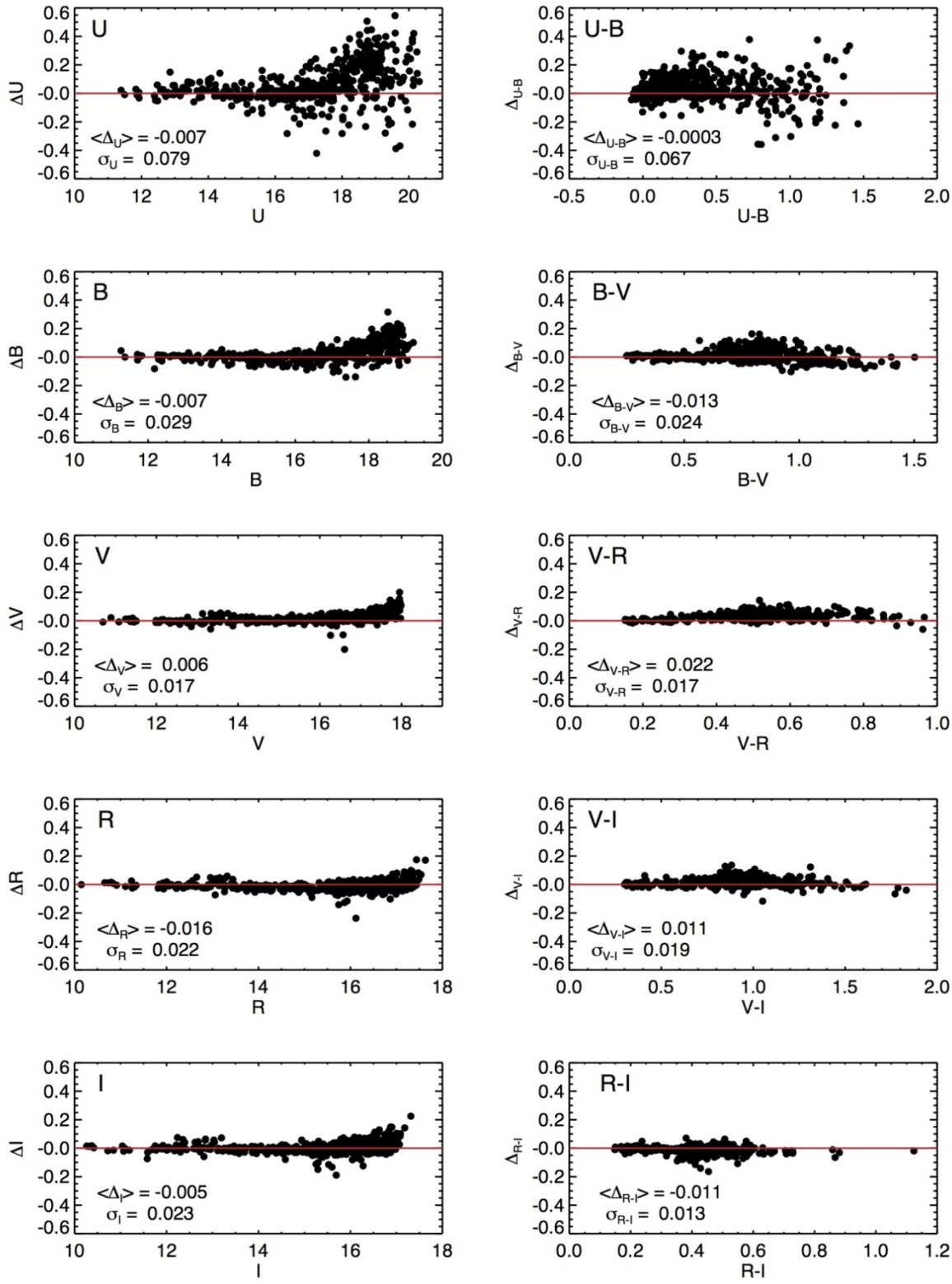
[13] http://www.herts.ac.uk/research/stri/research-areas/car/surveys/surveys-for-extra-solar-planets

NGC 6811 açık kümesi Janes ve diğ.'nin (2013) çalışmalarından bağımsız olarak aynı fotometrik sistemde gözlenmiş ve incelenmiştir. Ülkemizde bu kümenin gözlemleri ilk kez yapıldığından Janes ve diğ.'nin (2013) sonuçları ile yapılacak karşılaştırmalar hem fotometrik duyarlılığın ortaya konması hem de kümenin astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin doğruluklarının gösterilmesinde önemli olacaktır.

NGC 6811 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 1591 yıldızın ekvatoral koordinat verileri dikkate alındığında, bunların 653 tanesinin Janes ve diğ.'nin (2013) kataloğundaki yıldızlarla eşleştikleri görülmüştür. NGC 6811 açık kümesi hem Janes ve diğ.'nin (2013) çalışmasında hem de bu tez çalışmasında *UBVRI* filtreleriyle gözlenmiş olduğu için, iki ayrı çalışma ölçülen parlaklık ve renkler bakımından Şekil 4.4.'te karşılaştırılmıştır. Şekil 4.4'teki her grafiğin yatay ekseninde bu tez çalışmasında kullanılan parlaklık ve renkler, dikey ekseninde ise bu çalışmada hesaplanan parlaklık ve renkler ile Janes ve diğ.'nin (2013) verdiği değerlerin farkları yer almaktadır. Ayrıca söz konusu farkların ortalama değerleri ve standart sapmaları da ilgili panellerde verilmiştir. Karşılaştırmalarda en büyük saçılmanın beklenildiği gibi morötesi dalgaboylarına karşılık gelen *U* bandında olduğu dikkati çekmektedir. İki çalışma arasındaki farklar kızılötesine gidildikçe küçülmektedir. Fotometrik bantlar arasındaki en küçük parlaklık farkı *V* bandında hesaplanan değerlerde görülmüştür. İki çalışmada hesaplanan renklerin farkları dikkate alındığında, *U-B* renklerindeki ortalama sapma değerleri sıfır civarında çıkmasına rağmen saçılmaların büyük olduğu tesbit edilmektedir. *B-V*, *V-I* ve *R-I* renk indeksleri için çizilen diyagramlardaki renk farklarında yanlı bir dağılım görülmezken, *V-R* rengi için çizilen diyagramda büyüyen renk indeksi değeriyle hafifçe artan sistematik bir değişimin olduğu dikkati çekmektedir. Bununla birlikte *V-R* rengi için elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri oldukça küçüktür.



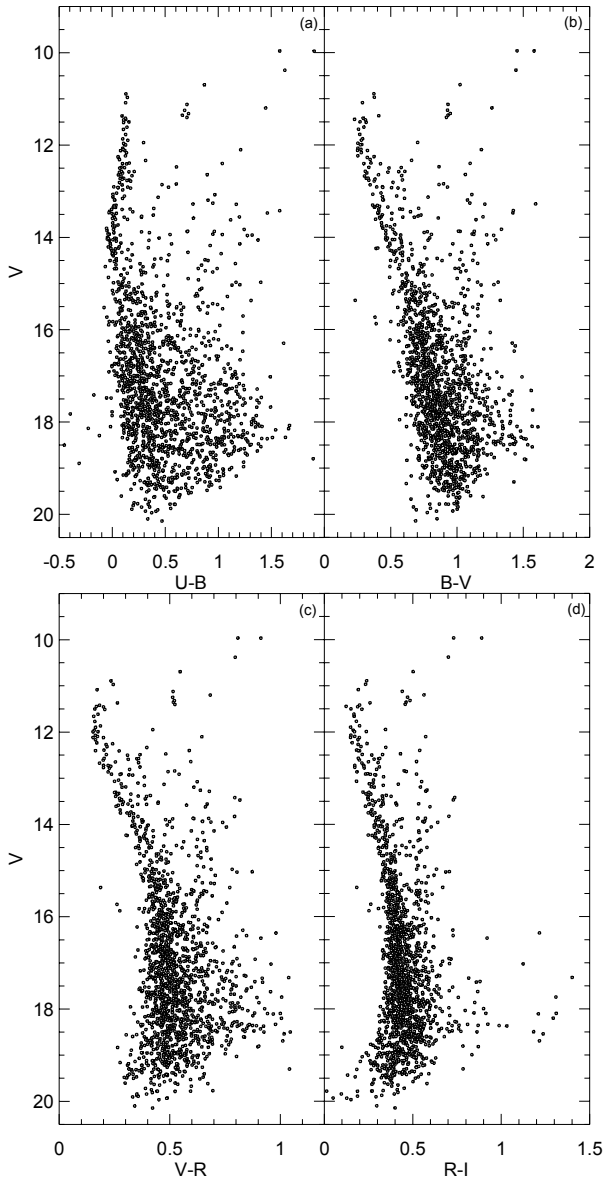
Şekil 4.3: Kuğu takımyıldızı doğrultusunda 100 derece kare büyüklüğündeki Kepler alanının ekvatoral koordinat sistemindeki görüntüsü. Şekildeki kutular *Kepler* uydusunun CCD yongalarına denk gelen alanları göstermektedir. Kepler alanında bulunan dört açık küme kırmızı renkli içi dolu daireler ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Aynı yıldızlar için bu çalışmada ve Janes ve diğ.'nde (2013) yapılmış fotometrik ölçümlerin karşılaştırılması. Her panelde ortalama farklar ve bu farkların standart sapmaları gösterilmiştir.

4.3. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI

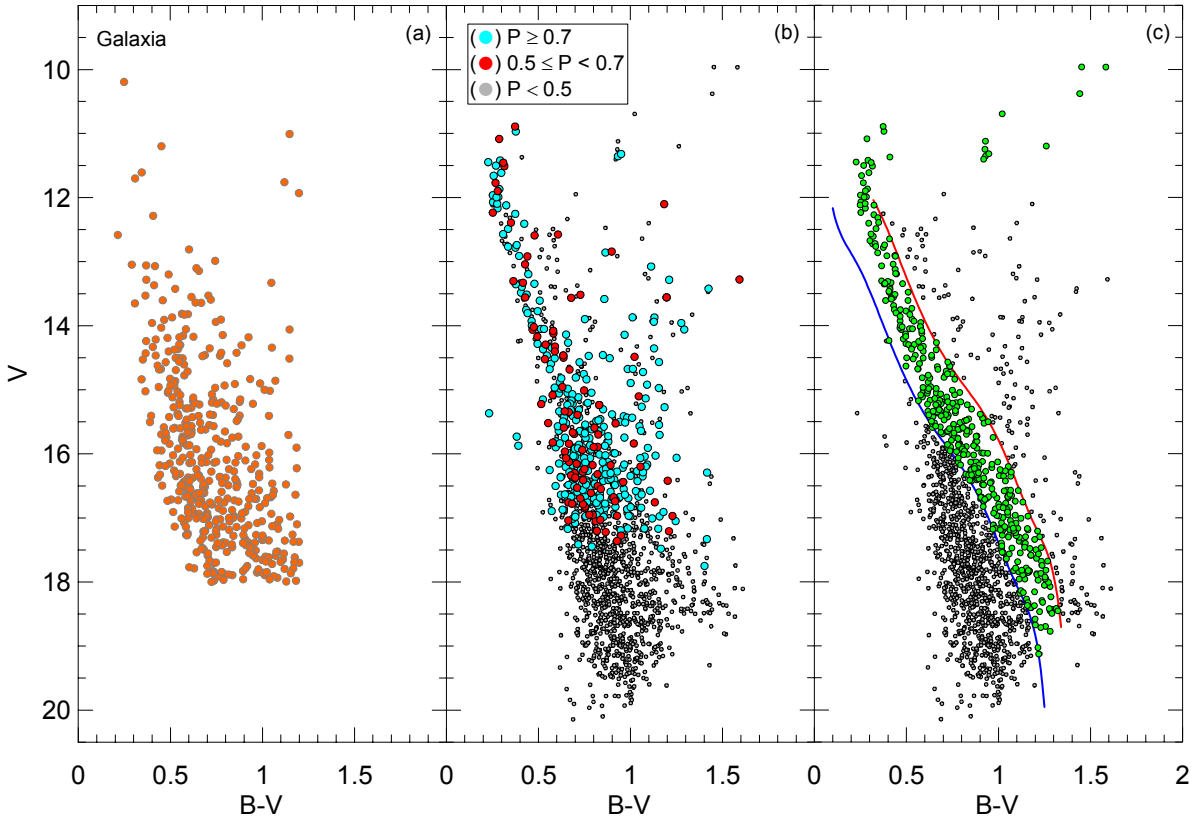
Açık kümelerin astrofiziksel parametrelerinin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan araçların başında renk-parlaklık diyagramları gelir. Geniş bant çok renk fotometrik çalışmaları kümelerin uzaklıklarının ve yaşlarının tâyininde kullanılmaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında NGC 6811 açık kümesinin farklı renkler için renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 4.5'te NGC 6811 açık kümesinin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$, $V \times R\text{-}I$ renk parlaklık diyagramları gösterilmiştir. Bu diyagramlarda kümenin olası üyeleri kabaca anlaşılsa bile alan yıldızlarının neden olduğu karışım olası küme üyesi yıldızların ayırımını güçleştirmektedir.



Şekil 4.5: NGC 6811 açık kümesinin renk parlaklık diyagramları: (a) $V \times U\text{-}B$, (b) $V \times B\text{-}V$, (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times R\text{-}I$.

Şekil 4.5'ten görüleceği gibi görünen parlaklıkları $11 < V < 12$ kadir ve renk indeksi $0.2 < B\text{-}V < 0.3$ kadir aralığında bulunan yıldızlar kümenin dönüm noktasına, yine aynı görünen parlaklık aralığında ve renk indeksi $0.9 < B\text{-}V < 1$ kadir aralığındaki yıldızlar ise kümenin kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu bölgeye karşılık gelmektedir. Kümenin dönüm noktasının altında bulunan anakol yıldızları V=16 kadire kadar belirgin bir şekilde görülmektedir. Sönük görünen parlaklıklara doğru ilerledikçe kümenin olası üyelerini alan yıldızlarından ayırt etmek imkânsız hale gelmektedir.

Literatürde kümenin olası yıldızlarının belirlenmesinde çoğunlukla $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı kullanıldığından, tez çalışmasında da söz konusu diyagram tercih edilmiştir. Kümenin olası adaylarının belirlenmesinde literatürden farklı olarak sentetik renk-parlaklık diyagramları, astrometrik veriler ve eş yaş eğrileri kullanılmıştır. Kuramsal renk-parlaklık diyagramlarının seçiminde Sharma ve diğ.'nin (2011) Galaxia modeli kullanılmıştır. Galaxia modeline kümenin merkezi galaktik koordinatları (l = 79°.210, b = +12°.015), büyüklüğü (0.1136 derece kare), renk indeksi ($0 < B\text{-}V <$ 1.5 kadir) ve görünen parlaklık aralığı ($10 < V < 18$ kadir) girilerek, küme doğrultusunda bulunabilecek farklı popülasyonlardan (ince disk, kalın disk, halo, şişkin bölge) yıldızların sentetik fotometrik verileri üretilmiştir. Küme doğrultusu Galaksi diskinde bulunduğu için model verilerden üretilen şişkin bölge, kalın disk, halo ve 5 Gyr'dan yaşlı ince disk yıldızları istatistik dışı bırakılarak küme doğrultusunda görülmesi gereken 446 yıldızın $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı elde edilmiştir (Şekil 4.6a).



Şekil 4.6: NGC 6811 açık kümesinin $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları: (a) Galaxia modeli kullanılarak üretilen sentetik renk-parlaklık diyagramı, (b) astrometrik verilere dayalı olasılıklar (P) dikkate alınarak seçilen ve (c) eş yaş eğrilerine göre seçilen küme yıldızları. Mavi düz çizgi, metal bolluğu $[M/H] = 0$ dex olan Padova ZAMS'ını, kırmızı düz çizgi ise mavi çizginin çift yıldız etkisiyle kalınlaşan anakol üst sınırını göstermektedir.

Şekil 4.6b'de tez çalışmasında yıldız olarak belirlenen 1591 kaynağın renk-parlaklık diyagramı gösterilmiştir. Ayrıca bu diyagram üzerindeki yıldızların öz hareket verileri dikkate alınarak kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmış ve yıldızlar diyagram üzerinde kümeye üyelik olasılıklarına göre farklı renklerle gösterilmiştir. Çalışmamızda yıldızların öz hareketleri Zacharias ve diğ. (2013) ve Roeser ve diğ.'nin (2010) kataloglarından alınmıştır. Zacharias ve diğ.'nin (2013) astrometrik kataloğu hassas öz hareket verileri içermesine rağmen, $V = 16$ kadirden daha sönük yıldızlar için öz hareket hatâları arttığından kataloğun duyarlılığı azalır. Roeser ve diğ.'nin (2010) kataloğundaki öz hareket hatâları Zacharias ve diğ.'ne (2013) göre daha büyük olduğundan tez çalışmasında tercih edilmemiştir. Zacharias ve diğ.'nin (2013) kataloğu incelenerek örneğimizdeki 1591 yıldızdan 624'ünün öz hareket verilerine ulaşılmıştır. Bu yıldızların öz hareketlerindeki hatâlar 0.71 ile 27 mili yay saniyesi/yıl aralığında olup, örnekteki yıldızların öz hareket hatâları %20'den az, %20-80 arasında ve %80'den büyük

olanların sayıları, sırasıyla 125, 369 ve 130'dur. Katalogdaki öz hareket hatâları V görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak incelendiğinde $V \leq 14$, $14 < V \leq 16$ ve $16 < V \leq 18$ kadir aralıkları için elde edilen ortalama hatâlar, sırasıyla, 4.42, 10.29 ve 11.25 mili yay saniyesi/yıl'dır. 624 yıldız için elde ettiğimiz öz hareket verileri ve hatâları Bölüm 3.8.2'de verilen denklemlere yerleştirilerek yıldızların kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. Buna göre kümeye üyelik olasılıkları astrometrik yöntemle belirlenmiş yıldızların istatistiksel dağılımları şu şekildedir: 207 yıldız için $P \leq 0.5$, 93 yıldız için $0.5 < P \leq 0.7$ ve 324 yıldız için $P > 0.7$. Kümeye üyelik olasılıkları bilinen yıldızların renk-parlaklık diyagramları üzerindeki dağılımları Şekil 4.6b'de farklı renklerle gösterilmiştir. Buna göre kümeye üyelik olasılığı $P \leq 0.5$, $0.5 < P \leq 0.7$ ve $P > 0.7$ olan yıldızlar renk-parlaklık diyagramı üzerinde sırasıyla gri, kırmızı ve mavi renklerle gösterilmiştir.

Astrometrik verilerden hesaplanan olasılıklar dikkate alındığında kümenin dönüm noktası ile dönüm noktasının altında yer alan anakol Şekil 4.6b'de belirgindir. Öz hareket verileri V görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak incelendiğinde sönük parlaklıklara doğru duyarlılıklar azalmaktadır. Şekil 4.6b'den görüleceği gibi kümeye üyelik olasılığı $P = 0.5$'ten büyük ve $V = 16$ kadirden daha sönük parlaklıklarda bulunan yıldızların alan yıldızları içine karıştığı görülmektedir. Ayrıca astrometrik ölçümler kümeye üyelik olasılığı $P = 0.7$'den büyük olan, renk indeksleri $0.9 < B\text{-}V < 1$ kadir ve görünen parlaklığı $11 < V < 11.5$ kadir olan iki yıldızın da kümenin kırmızı yığın yıldızları olduklarını göstermektedir. Şekil 4.6b'de renk indeksi $B\text{-}V > 0.7$ kadir ve görünen parlaklığı $12 < V < 16$ kadir ve kümeye üyelik olasılığı yüksek yaklaşık 20 yıldızın alan yıldızlarının bulunduğu bölgede yer aldığı ve renk-parlaklık uzayındaki konumlarına göre küme üyesi olmadıkları görülmektedir.

Yukarıdaki paragrafta söz edildiği gibi küme üyesi yıldızların seçiminde astrometrik ölçümlere ek olarak bunların renk uzaylarındaki konumlarının da dikkate alınması gerekir. Bu problemin üstesinden gelmek için metal bolluğu [M/H] = 0 dex olan sıfır yaş Padova eş yaş eğrileri $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.6c). Ayrıca anakol kalınlaşmasında çift yıldız etkisinin de dikkate alınması amacıyla bu eğri 0.75 kadir parlaklaştırılmıştır. Kümenin yapısal ve astrofiziksel

parametrelerinin belirlenmesinde Şekil 4.6c'de gösterildiği gibi eş-yaş eğrisi arasında kalan yıldızlar ile V = 12 kadirden sönük yıldızlar (toplam 446 yıldız) kümenin anakoldaki üye yıldızları olarak kabul edilmiştir.

4.4. KÜMENİN YOĞUNLUK PROFİLİ

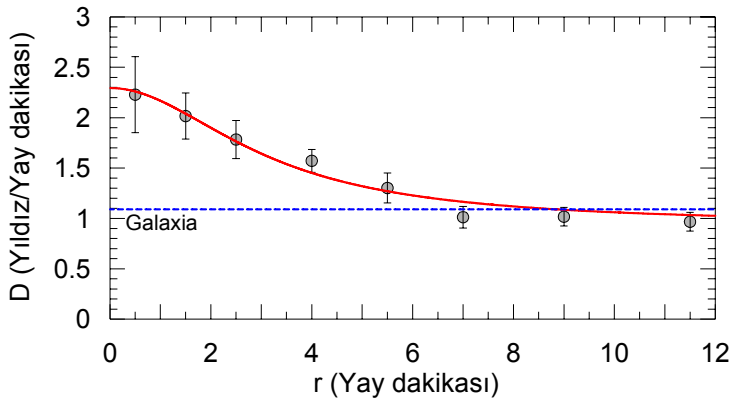
NGC 6811 açık kümesinin yoğunluk profilinin belirlenmesinden önce kümenin merkezi koordinatlarının bilinmesi gerekir. Janes ve diğ.'nin (2013) kümenin merkezi için verdiği ekvatoral ve galaktik koordinatları sırasıyla (α_{2000}, δ_{2000}) = ($19^h\ 37^m\ 17^s$, $+46^o\ 23'\ 18''$) ve (l, b) = (79°.210, +12°.015) olup bu koordinatlar tez çalışmasında da merkez kabul edilmiştir. Kümenin radyal yoğunluk profilini oluşturmak için küme merkezinden farklı uzaklık aralıkları içinde bulunan yıldızlar sayılmıştır. Kümenin yıldız yoğunluğu düşük olduğundan yoğunluk profilinin oluşturulmasında farklı uzaklık aralıkları dikkate alınmıştır. Buna göre küme merkezinden 6' (yay dakikası) kadar olan uzaklıklarda 1'; 6' ile 12' uzaklıklarda ise 2' uzaklık aralıkları seçilmiştir. Daha sonra, bir önceki alandaki yıldızlar bir sonraki alanda bulunan yıldız sayılarından çıkartılarak incelenen bölgenin yıldız sayısı hesaplanmıştır. Her bir alandaki yıldız sayıları bulundukları daire parçasının alanına bölünmek suretiyle yoğunluklar tâyin edilmiştir. Her alandaki yoğunluk belirsizliği Poisson gürültü istatistiğine göre hesaplanmıştır.

Küme merkezinden itibaren r = 12' uzaklık içindeki her bir alan için hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Küme merkezinde görülen ρ = 2.29 yıldız/(yay dakika)^2 maksimum yoğunluk, merkezden r = 12' uzaklığında ρ = 1.03 yıldız/(yay dakika)^2 değerine azalmaktadır. Yaklaşık r = 9' uzaklığında yoğunluk değeri azalarak yatay eksene göre asimptotik olmakta ve bu uzaklığın ötesinde az sayıda küme yıldızı bulunmaktadır. Tez çalışmasında kümenin yapısal parametrelerini belirlemek için King modeli kullanılmıştır (King, 1966). King modeli şu şekilde verilir:

$$\rho(r) = f_{bg} + \frac{f_o}{1+(r/r_c)^2}, \qquad (1)$$

Burada f_{bg}, f_0 ve r_c, sırasıyla zemin ve merkezi yıldız yoğunluklarını ve kümenin kor yarıçapını göstermektedir. Şekil 4.7'den görüleceği gibi zemin yıldızı yoğunluğu f_{bg} = 0.94 ± 0.01 yıldız/(yay dakika)^2 elde edilmiştir. Gözlemsel verilerin King modeline uyumunda minimum χ^2 analizinden faydalanılmıştır. χ^2 analiziyle merkezi yıldız

yoğunluğu ve kümenin merkezi yarıçapı sırasıyla f_0 = 1.35 ± 0.03 yıldız/(yay dakika)^2 ve r_c=3.12 ± 0.09 yay dakikası hesaplamıştır. Şekil 4.7'de içi dolu noktalar gözlemsel değerleri, kalın çizgi ise King profilini göstermektedir.



Şekil 4.7: NGC 6811 açık kümesinin radyal yüzey dağılımı. Noktalar gözlemsel verileri, düz kırmızı çizgi King profilini, kesikli mavi çizgi ise zemin yıldızlarının Galaxia modeliyle hesaplanan sayısını göstermektedir.

Tez çalışmasındaki zemin yoğunluğunu kontrol edebilmek için Galaxia modelinden elde edilen teorik yıldız sayıları kullanılmıştır (Sharma ve diğ., 2011). NGC 6811 kümesinin doğrultusu için Galaxia modeline girilen parametreler Bölüm 4.3'te verilmiştir ve modelin önerdiği yıldız sayısı 446'dır. Gözlenen bölgenin alanı ise 409 (yay dakika)$^{2'}$dir. Modelden elde edilen yıldız sayısının hesaplanan alana oranıyla yay dakikası başına düşen yıldız sayısı 1.09 olarak hesaplanır. Bu değer King modelinden elde edilen 0.94 değeriyle uyum içinde olup kümenin yapısal parametrelerinin tarafımızdan doğru hesaplandığını göstermektedir.

4.5. İKİ RENK DİYAGRAMLARI VE UZAKLIK MODÜLÜ

Küme doğrultusundaki yıldızların kızarma, ışıma gücü sınıfı ve metal bolluğunun tâyininde iki renk diyagramları kullanılır. Tez çalışmasında beş fotometrik bant kullanıldığı için küme doğrultusunda *U-B* × *B-V*, *V-I* × *V-R* ve *R-I* × *V-R* iki renk diyagramları çizilmiş ve yıldızlararası ortamın sebep olduğu kızarma değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.6c'deki renk-parlaklık diyagramından küme üyesi olarak seçilen 446 yıldız Şekil 4.8'deki *U-B* × *B-V*, *V-I* × *V-R* ve *R-I* × *V-R* iki renk diyagramları

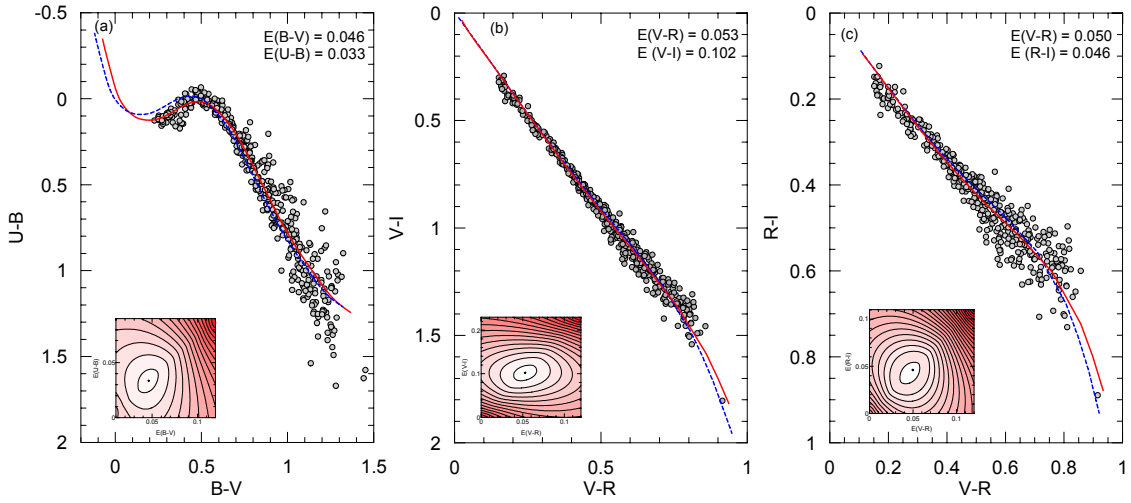
üzerinde gri renkli daire sembolüyle gösterilmiştir. Yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma değerlerini bulmak için bu diyagramlarda kullanılan anakollar farklı iki kaynaktan alınmıştır. İlk kaynak, Sung ve diğ. (2013) tarafından üretilmiş olup *U-B* × *B-V* iki renk diyagramı için Tablo 3.5'te verilen Güneş bolluğundaki gözlemsel anakol verilerini içerir. Diğer kaynak *V-I* × *V-R* ve *R-I* × *V-R* iki renk diyagramlarında kullanılmak üzere Marigo ve diğ.'nin (2008) Padova sentetik yıldız kütüphanesinden alınan Güneş bolluğundaki sıfır yaş verileridir. Kızarmadan arındırılmış olarak verilen bu veriler Şekil 4.8 üzerinde kesikli mavi çizgiler ile gösterilmiştir. İki renk diyagramları üzerindeki kızarma değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntılar kullanılmıştır (Cardelli ve diğ., 1989).

$$E(U-B) = E(B-V) \times [0.72 \times 0.05 \times E(B-V)], \tag{4.1}$$

$$E(V-R) = 0.65 \times E(B-V), \tag{4.2}$$

$$E(V-I) = 1.25 \times E(B-V) \tag{4.3}$$

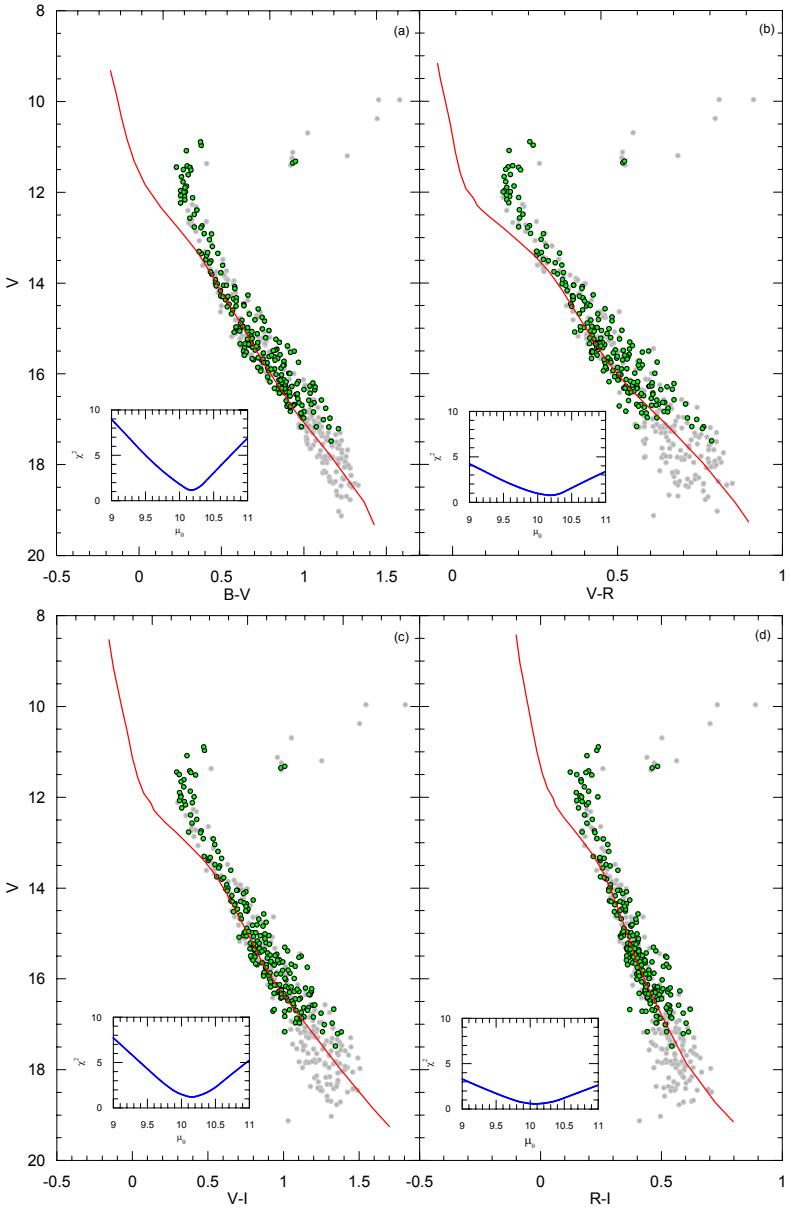
Sung ve diğ. (2013) ile Marigo ve diğ.'nin (2008) kızarmamış anakol verileri, (4.1)-(4.3) eşitlikleri yardımıyla NGC 6811 kümesi için seçilen 464 muhtemel küme üyesi yıldızla uyum sağlayıncaya kadar kaydırılmıştır. Renk artıklarının belirlenmesinde *B-V*, *V-I*, *V-R* ve *R-I* renkleri için 0 ile 0.2 kadir aralığında 0.001 kadirlik adımlarla analizler yapılmıştır. Üye yıldızlar ile seçilen anakollar arasında en iyi uyumu veren kızarma değerinin belirlenmesinde minimum χ^2 yöntemi kullanılmış ve verileri en iyi temsil eden kızarmış anakollar Şekil 4.8'de kırmızı düz çizgilerle gösterilmiştir. İki renk diyagramlarının χ^2 analizlerine ait hesaplar her bir diyagramın sol alt köşesinde kontur dağılımları biçiminde verilmiş ve en iyi çözüm "+" sembolüyle işaretlenmiştir. Minimum χ^2 yöntemiyle elde edilen renk artıkları; $E(U-B) = 0.033 \pm 0.011$, $E(B-V) = 0.046 \pm 0.012$, $E(V-R) = 0.050 \pm 0.010$, $E(V-I) = 0.102 \pm 0.018$ ve $E(R-I) = 0.046 \pm 0.010$ kadirdir.



Şekil 4.8: İki renk diyagramları: (a) *U-B* × *B-V*, (b) *V-I* × *V-R*, (c) *R-I* × *V-R*. Kesikli mavi çizgiler kızarmamış anakolları, kırmızı düz çizgiler kızarmış anakolları göstermektedir. Diyagramların sol alt köşesinde kızarma hesabında bulunan χ^2 değerlerinin kontur dağılımları verilmiştir. Panel (a)'da Sung ve diğ.'ne (2013) ait eğriler kullanılırken, panel (b) ve (c)'de Marigo ve diğ.'ne (2008) ait Güneş bolluğundaki sıfır yaş Padova eğrileri kullanılmıştır.

Küme uzaklıklarının tâyininde Bölüm 3.8.3'te sözü edilen anakol çakıştırma yöntemi kullanılır. Bunun için kümenin renk-parlaklık diyagramları üzerine küme üyesi yıldızları iyi temsil edecek Sıfır Yaş Anakolu (ZAMS) geçirilerek uzaklık modülü hesaplanır. Şekil 4.9'da NGC 6811 açık kümesinin uzaklığının hesaplanması için, kümeye üye 448 yıldızın $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$, $V \times V\text{-}I$ ve $V \times R\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları verilmiştir. Astrometrik ölçümlerden kümeye üyelik olasılıklarını $P > 0.50$ olarak hesaplanan yıldızlar bu diyagramlarda yeşil daire sembolüyle gösterilmiştir (Şekil 4.9). $V \times B\text{-}V$ için (Şekil 4.9a) Sung ve diğ.'ne (2013) ait ZAMS kullanılırken, diğer renk-parlaklık diyagramlarında (Şekil 4.9b, c, d) ise Marigo ve diğ.'ne (2008) ait ZAMS'lar tercih edilmiştir. ZAMS'lar bu tez çalışmasında hesaplanan renk artığı değerleri olan $E(B\text{-}V) = 0.046 \pm 0.012$, $E(V\text{-}R) = 0.050 \pm 0.010$, $E(V\text{-}I) = 0.102 \pm 0.018$ ve $E(R\text{-}I) = 0.046 \pm 0.010$ kadire göre kızartılmış ve kümenin anakolu ile üst üste gelecek şekilde kaydırılmıştır. Diyagramların ordinat ekseninde yer alan V bandının sönükleşme değeri için $V = V_0 + 3.1 \times E(B\text{-}V)$ bağıntısı kullanılmıştır. Bu kaydırma işleminde uzaklık modülü değerleri 9-11 kadir aralığında 0.01 kadir adımlarla değişecek şekilde yapılmış ve χ^2 analizleri gerçekleştirilmiştir. En küçük χ^2'ye karşılık gelen değer kümenin uzaklık modülü olarak kabul edilmiş ve kümenin anakol yıldızlarıyla en iyi

uyumu sağlayan teorik anakol Şekil 4.9'da kırmızı düz çizgiyle gösterilmiştir. Uzaklık modüllerinin χ^2 analizleri her bir diyagramın sol alt köşesinde verilmiştir. Analizler sonucunda farklı renk-parlaklık diyagramlarından elde edilen kızarmadan arındırılmış uzaklık modülü değerleri; $\mu_{0(B-V)} = 10.18 \pm 0.23$, $\mu_{0(V-R)} = 10.18 \pm 0.31$, $\mu_{0(V-I)} = 10.15 \pm 0.32$, $\mu_{0(R-I)} = 10.06 \pm 0.35$ kadirdir. Uzaklık modüllerinin hatâları minimum χ^2 değerine 1 ilave edilerek hesaplanmıştır (Phleps ve diğ., 2000).



Şekil 4.9: Anakol çakıştırma yöntemiyle küme uzaklığının belirlenmesi: (a) $V \times B\text{-}V$ (b) $V \times V\text{-}R$ (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları. Yeşil daireler kümeye üyelik olasılığı $P > 0.5$ olan yıldızları göstermektedir. Uzaklık modülünün hesabındaki χ^2 analizlerinin sonuçları her bir renk-parlaklık diyagramının sol alt kısmında gösterilmiştir. Panel (a)'daki kırmızı çizgi Sung ve diğ.'ne (2013), panel (b-d)'deki kırmızı çizgi ise Marigo ve diğ.'nin (2008) Güneş bolluğundaki ZAMS eğrilerini göstermektedir.

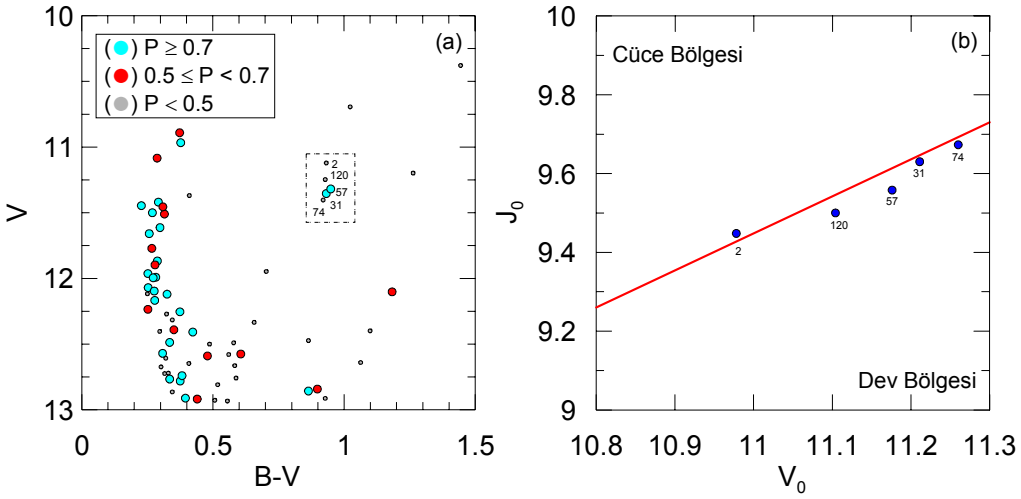
4.6. KÜMENİN KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI

Kırmızı yığın (KY) yıldızları özellikle yıldız kümelerinin Hertzsprung-Russell (HR) diyagramının yatay kollarında toplanmış, ileri evrim aşamalarında bulunan ve çekirdeklerinde helyum yakan dev yıldızlardır. Son yıllarda yapılan birçok çalışmada renk-parlaklık diyagramlarında küçük ve seçilebilir bir bölgede yer almalarından dolayı mutlak parlaklıklarının çok dar bir aralıkta bulunduğu belirlenmiştir (Alves 2000, Grocholski ve Sarajedini 2002, Bilir ve diğ. 2013). G8III-K2III tayf türü aralığı için optik bölgedeki mutlak parlaklıkları $0.7 \leq M_V \leq 1$ kadir aralığındadır (Keenan ve Barnbaum, 1999).

KY yıldızları için duyarlı mutlak parlaklık çalışmaları özellikle yeni indirgenen Hipparcos Kataloğu'ndaki paralaks verileri (van Leeuwen, 2007) kullanılarak yapılmıştır. Groenewegen (2008) yeni indirgenmiş Hipparcos Kataloğu'nu kullanarak HR diyagramı üzerinden KY yıldızlarını belirlemiş ve bu yıldızların koordinat bilgilerine göre yakın kızılötesi verilerini 2MASS Nokta Kaynak Kataloğu'ndan almıştır (Cutri ve diğ. 2003). Seçtiği yıldızların M_{Ks} mutlak parlaklıklarını Pogson bağıntısıyla hesaplamış, mutlak parlaklıkların histogramından da KY yıldızları için ortalama mutlak parlaklığının değerini $\langle M_{Ks} \rangle$ = -1.54 ± 0.04 kadir olarak belirlemiştir. Optik bölgede KY yıldızlarının mutlak parlaklıkları üzerine yapılan en yeni çalışma Bilir ve diğ.'ne (2013) aittir. Bilir ve diğ. (2013) yeniden indirgenen Hipparcos kataloğundaki KY yıldızlarını belirleyerek, mutlak parlaklıklarının hesaplanması için optik bölgede iki renge duyarlı bir ışıma gücü-renk ilişkisi elde etmişlerdir:

$$M_V = 1.398(B-V)_0 - 0.011(V-I)_0 - 0.577. \quad (4.4)$$

NGC 6811 açık kümesinin renk parlaklık diyagramları, kırmızı yığın yıldızlarının yeri, dönüm noktası ve anakol gibi bölümleri astrometrik verilere dayalı kümeye üyelik olasılıkları dikkate alınarak Bölüm 4.3'te incelenmişti. Kümenin öz hareket verilerine dayanan analizleri kümeye üyelik olasılığı $P > 0.7$ olan iki yıldızın kümenin KY bölgesinde olabileceğini göstermiştir (Şekil 4.6b). KY yıldızlarının bulunduğu bölgenin detaylı renk-parlaklık diyagramı, Şekil 4.10a'da yıldızların kümeye üyelik olasılıklarıyla birlikte gösterilmiştir. Bu bölgede kümeye üyelik olasılığı $P < 0.5$ olan üç yıldızın da bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.10: NGC 6811 açık kümesinin dönüm noktası ve kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu renk parlaklık diyagramı (a): Yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarına göre farklı renkler ile gösterilmiştir. Cüce ve dev yıldızların ayrımında kullanılan parlaklık-parlaklık diyagramı (b) panelinde sunulmuştur. Mavi düz çizgi Bilir ve diğ.'nin (2006) cüce ve dev yıldız ayırım sınırını göstermektedir.

Çeşitli astrometrik kataloglarda yıldızların öz hareket verileri farklılık gösterebildiğinden kümenin HR diyagramının özel bölgelerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında Zacharias ve diğ.'nin (2013) öz hareket verileri dikkate alınmış olmakla birlikte, literatürde sık kullanılan Roeser ve diğ.'nin (2010) katalog verileri de göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle örnekte belirlenen 624 yıldız için öz hareket verileri ve hatâları Roeser ve diğ.'nden (2010) alınarak, Bölüm 3.8.2'de verilen denklemler yardımıyla kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. Şekil 4.10a'da gösterilen HR diyagramının KY bölgesinde yer alan beş yıldızın katalog sıra numaraları, ekvatoral koordinatları ve iki farklı astrometrik katalogdaki öz hareket verilerinden hesaplanan kümeye üyelik olasılıkları Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'de 31 ve 57 numaralı yıldızların kümeye üyelik olasılıkları Zacharias ve diğ.'nin (2013) astrometrik verilerine göre $P > 0.7$ iken, 2 ve 120 numaralı yıldızların üyelik olasılıkları $P < 0.5$'dir. Roeser ve diğ.'nin (2010) kataloğundaki astrometrik veriler dikkate alındığında ise 2 ve 31 numaralı yıldızların kümeye üyelik olasılıkları $P > 0.7$ iken, 57 ve 120 numaralı yıldızların üyelik olasılıkları $P < 0.5$ bulunur. İki astrometrik katalogdaki öz hareket verileri dikkate alındığında 74 numaralı yıldızın kümeye üye olmadığı görülmektedir. Her iki katalogdaki astrometrik veriler 2, 31 ve 57 numaralı üç yıldızın kümeye üyelik olasılıklarının $P > 0.7$ olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.2: NGC 6811 açık kümesinin aday KY yıldızlarının ekvatoral koordinatları (Epok: 2000.0), kümeye üyelik olasılıkları ($P_{Zac.}$ ve $P_{Roe.}$), V ve J görünen ve kızarmadan arındırılmış (V_0 ve J_0) parlaklıkları ile ışıma gücü sınıfları. $P_{Zac.}$ ve P_{Roe}, sırasıyla, Zacharias ve diğ. (2013) ve Roeser ve diğ.'nin (2010) astrometrik kataloglarınan hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir.

No	α(hh:mm:ss)	δ(dd:mm:ss)	$P_{Zac.}$	$P_{Roe.}$	V	J	V_0	J_0	Sınıf
2	19:37:22.09	46:32:51.36	0.17	0.99	11.121	9.489	10.978	9.448	cüce
31	19:36:55.83	46:27:38.25	0.82	0.78	11.354	9.671	11.211	9.630	dev
57	19:37:02.70	46:23:13.76	0.74	0.45	11.319	9.599	11.176	9.558	dev
74	19:38:04.90	46:24:42.61	0.00	0.00	11.403	9.714	11.260	9.673	dev
120	19:36:57.15	46:22:43.22	0.33	0.41	11.247	9.541	11.104	9.500	dev

Astrometrik çalışmalar kullanılan kataloglardaki öz hareket verilerinden itibaren yıldızların kümeye üyelik olasılıkları hakkında bilgi sağlıyor olsa da yıldızların ışıma gücü sınıflarını belirleyememektedir. Yıldızların ışıma gücü sınıfları tayf analizlerinden kolaylıkla belirlenebilmesine rağmen, incelenecek yıldıza ait tayfsal bir çalışmanın olmaması durumunda yıldızın ışıma gücü sınıfı fotometrik veriler kulanılarak belirlenebilir. Fotometrik verilerden ışıma gücü sınıfının belirlenmesinde etkin olarak kullanılan çalışmalardan biri de Bilir ve diğ. (2006) tarafından yapılmıştır. Bilir ve diğ. (2006) yıldızların optik ve yakın kızılötesi fotometrik parlaklıklarını karşılaştırarak cüce ve dev yıldızlar arasında ayrım yapılmasını sağlayacak bir yöntem geliştirmişlerdir. Tez çalışmasında, yukarıda bahsedilen beş yıldızın (2, 31, 57, 74 ve 120 numaralı yıldızlar) ışıma gücü sınıfının belirlenmesinde Bilir ve diğ.'nin (2006) yöntemi kullanılmıştır. Beş yıldızın optik verileri bu çalışmada elde edilmiş, yakın kızılötesi fotometrik verileri ise yıldızların ekvatoral koordinatları 2MASS (Two Micron All Sky Survey; Skrutskie ve diğ., 2006) nokta yıldız kataloğundaki (Cutri ve diğ., 2003) yıldızların koordinatlarıyla eşleştirilerek belirlenmiştir. Bilir ve diğ.'nin (2006) cüce ve dev yıldızların ayırımını sağlayan yönteminde optik ve yakın kızılötesi fotometrik verilerin yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarmadan arındırılması gerekir. V bandındaki sönümleme için $V_0=V-3.1\times E(B-V)$ (Cardelli ve diğ., 1989), J bandındaki sönümleme için ise $J_0= J-0.887\times E(B-V)$ (Fiorucci ve Munari, 2003) eşitlikleri kullanılmıştır. Renk artığı için Bölüm 4.5'te iki renk diyagramlarından hesaplanan $E(B-V) = 0.046 \pm 0.012$ kadirlik değer alınmıştır. İncelenen beş yıldızın V ve J görünen parlaklıkları ile kızarmadan arındırılmış parlaklıkları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Bilir ve diğ. (2006) cüce ve dev yıldızların ayırımında optik ve yakın kızılötesi parlaklıklar için üç denklem takımı önermişlerdir. Tez çalışmasında beş yıldızın ışıma gücü sınıfının belirlenmesinde V ile J görünen parlaklıkları arasında verilen bağıntı tercih edilmiştir:

$$J_0 = 0.957 \times V_0 - 1.079. \quad (4.5)$$

İncelenen beş yıldızın $J_0 \times V_0$ parlaklık-parlaklık diyagramındaki konumları Şekil 4.10b'de gösterilmiştir. Şekildeki mavi düz çizgi Bilir ve diğ.'nin (2006) (4.5) eşitliğinde verilen cüce ve dev ayırım çizgisini temsil etmektedir. Bu çizginin üstünde kalan alan cüce yıldızların, altında kalan alan ise dev yıldızların konumunu göstermektedir. Buna göre Tablo 4.2'de verilen 31, 57, 74 ve 120 numaralı yıldızlar dev, 2 numaralı yıldız ise cüce olarak sınıflanmıştır. Bu durumda beş yıldızın kümeye üyelik olasılıklarıyla ışıma gücü sınıfları dikkate alındığında 31, 57 ve 120 numaralı yıldızların kümenin KY yıldızları olabileceği, 2 ve 74 numaralı yıldızların ise sırasıyla alan cüce ve alan dev yıldızları olduğu bu tez çalışmasında önerilmektedir. Bu yıldızların kümeye fiziksel üyeleri uzaklıkları bakımından da sınanabilir. Bilir ve diğ. (2013) tarafından bulunarak (4.4)'te verilen bağıntı yardımıyla kümenin KY bölgesinde bulunan üç yıldızının mutlak parlaklıkları hesaplanabilir. Bu bağıntı $(B\text{-}V)_0$ ve $(V\text{-}I)_0$ renklerine duyarlı olduğundan üç yıldızın renklerinin kızarmadan arındırılması gerekmektedir. Tablo 4.3'te üç yıldızın görünen ve kızarmadan arındırılmış parlaklık ve renkleri ile (4.4) bağıntısından hesaplanmış M_V mutlak parlaklıkları verilmiştir. Söz konusu renklerin kızarmadan arındırılmasında bu çalışmada hesaplanan $E(B\text{-}V) = 0.046 \pm 0.012$ ve $E(V\text{-}I) = 0.102 \pm 0.018$ renk artıkları kullanılmıştır. Yıldızların Pogson bağıntısı yardımıyla hesaplanan uzaklıkları Tablo 4.3'ün son sütununda verilmiştir. Üç yıldızın d uzaklıkları 1235, 1260 ve 1294 pc olup Güneş'e ortalama uzaklıkları 1263 pc'tir.

Tablo 4.3: NGC 6811 açık kümesinin aday olarak önerilen üç KY yıldızının gözlemsel ve gerçek parlaklık ve renkleri, denklem (4.4)'ten hesaplanan mutlak parlaklıklar ve Güneş'ten uzaklıkları.

No	V	$B\text{-}V$	$V\text{-}I$	V_0	$(B\text{-}V)_0$	$(V\text{-}I)_0$	M_V	d (pc)
31	11.354	0.932	0.982	11.211	0.886	0.880	0.652±0.003	1294
57	11.319	0.949	1.008	11.176	0.903	0.906	0.675±0.004	1260
120	11.247	0.928	0.985	11.104	0.882	0.883	0.646±0.004	1235

4.7. KÜMENİN YAŞ TÂYİNİ

Bir astrofizik lobaratuvar olarak kullanılan açık kümeler yıldızlararası kızarma, uzaklık ve metal bolluğu belirlenmesinin yanısıra, astrofiziğin temel sorunların biri olan duyarlı yaş tâyininde de kullanılmaktadır. Kümelerin yaş tâyinininde farklı renkler için oluşturulan renk-parlaklık diyagramları tercih edilir. Kümeye üye yıldızların kütleleri birbirinden farklı olduğu için bu yıldızlar renk-parlaklık diyagramının farklı bölgelerinde yer alırlar. Kümenin dönüm noktası ve anakolu yaş tâyini için iyi birer gösterge olmalarına rağmen, kümede az sayıda bulunan dev yıldızların renk-parlaklık diyagramlarındaki konumları yaşın belirlenmesinde önemlidir. Yaş tâyininde gözlemsel verilerden itibaren oluşturulan renk-parlaklık diyagramları teorik eş yaş eğrileriyle karşılaştırılır ve en iyi uyumu veren eğri kümenin yaşını temsil eder.

Bu tez çalışmasında NGC 6811 kümesinin yaşı Bayesian istatistik kullanılarak tâyin 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 artığı değişim adımları ise sırasıyla 0.01 ve 0.001 kadir olacak şekilde seçilmiştir. Farklı metal bollukları için hesaplanmış eş yaş eğrileri ise 1 Myr ile 3 Gyr aralığında 50 Myr'lık adımlar ile Padova web sitesinden[14] alınmıştır.

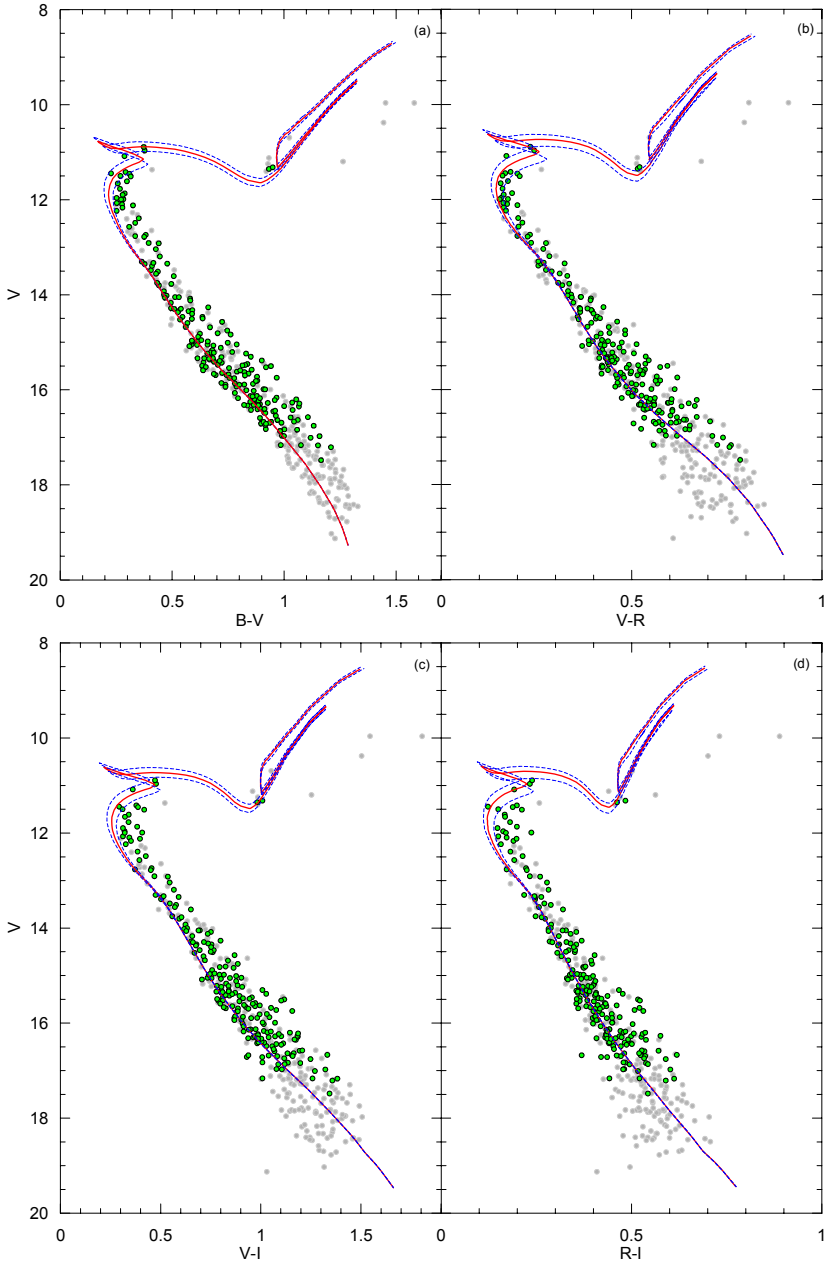
Kümeye üye yıldızların gözlemsel verileri ile farklı yaş ve metal bollukları için hesaplanmış Padova eş yaş eğrileri (3.14) denkleminde verilen χ^2 analizine tâbi tutulmuştur. Yıldızların fotometrik hatâları da dikkate alınarak (3.13) denklemi ile olabilirliği en yüksek olan değerler (L) elde edilmiştir. Son aşamada (3.17) eşitliğinden hesaplanan her bir yaşa ait G fonksiyonları; yukarıda bahsedilen L fonksiyonuyla Kroupa ve diğ. (1993) tarafından verilen başlangıç kütle fonksiyonunun ($\xi(m)$) çarpımından elde edilmiştir. Küme yıldızlarının en olası G değerinin belirlenmesinde

[14] http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd

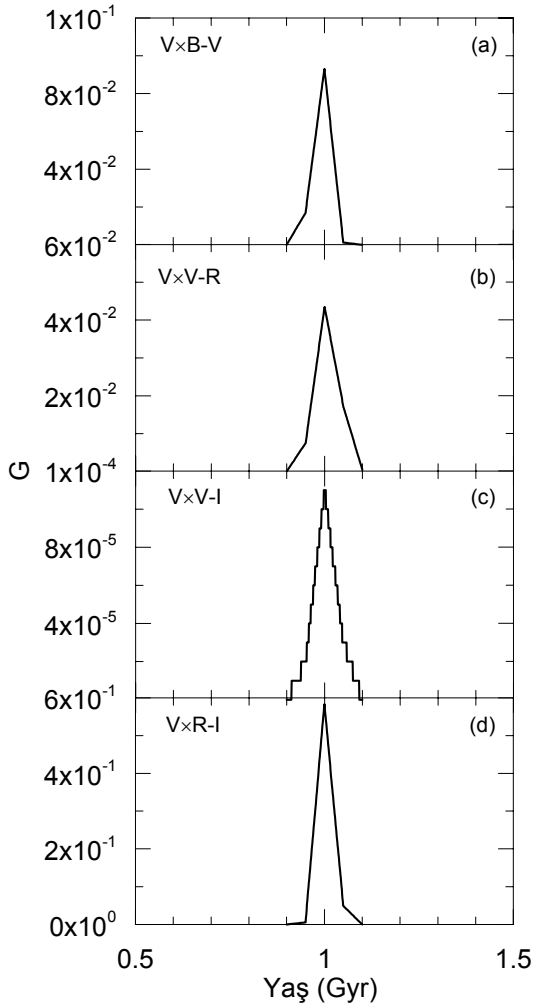
yaşa karşılık normalize *G* dağılımlarının maksimum değerleri alınmıştır. Maksimum *G* değerine karşılık gelen yaş kümenin yaşı olarak kabul edilirken, *G* değerinin %60'lık kısımlarına denk gelen yaşlarla kümenin yaşı arasındaki farklar da yaştaki belirsizlik olarak alınmıştır. Bayesian yöntem ile kümenin yaş tâyininde kullanılan uzaklık modülü, renk ve metal bolluğu değerlerinin yanı sıra bu parametrelerdeki belirsizlikler de önemlidir. Tez çalışmasında kullanılan parametrelerin belirsizlikleri sırasıyla mutlak parlaklıkta 0.05 kadir, renklerde 0.01 kadir ve metal bolluğunda 0.05 dex'tir.

Şekil 4.6c'de kümeye üye olduğu belirlenmiş 446 yıldızın fotometrik verilerinden oluşturulan renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Bu yıldızların içinde kümeye üyelik olasılıkları astrometrik yöntemle $P > 0.5$ belirlenmiş olanlar yeşil 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 Tablo 4.4'te verilmiştir. Ayrıca aynı tablo üzerinde kümenin renk artığı, kızarmadan arındırılmış uzaklık modülü ve metal bolluğu değeri de $V\times(B\text{-}V)$, $V\times(V\text{-}R)$, $V\times(V\text{-}I)$ ve $V\times(R\text{-}I)$ diyagramları için hesaplanmıştır. Renk-parlaklık diyagramları üzerinde kırmızı düz çizgi küme için hesaplanan yaşı, mavi kesikli çizgiler ise 3σ'ya karşılık gelen yaş hatâlarını göstermektedir.

Dört renk-parlaklık diyagramı için elde edilen en büyük *G* değerleri NGC 6811 açık kümesinin yaşının 1 Gyr olduğunu göstermektedir (Şekil 4.12 ve Tablo 4.4). Yaştaki hatâlar ise, 1σ içinde, 0.025 Gyr'ı geçmemektedir. Bir diğer önemli bulgu her bir renk-parlaklık diyagramında metal bolluğu değerlerinin -0.10 ± 0.01 dex elde edilmiş olmasıdır. Astrofiziksel parametrelerin değişim aralıklarının geniş tutulmasıyla farklı renk-parlaklık diyagramları için yapılmış gözlem-model karşılaştırmalarının aynı sonuçları vermesi, kümenin yaşının istatistiksel açıdan doğru hesaplandığını gösterebilir. Modellerin gözlemsel verilerle karşılaştırılması sırasında kullanılan farklı astrofiziksel parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiler ve minimum χ^2 analizi sonuçları Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Parametreler arasında en iyi uyumun sağlandığı değerler kesişimi "+" sembolu ile işaretlenmiştir.



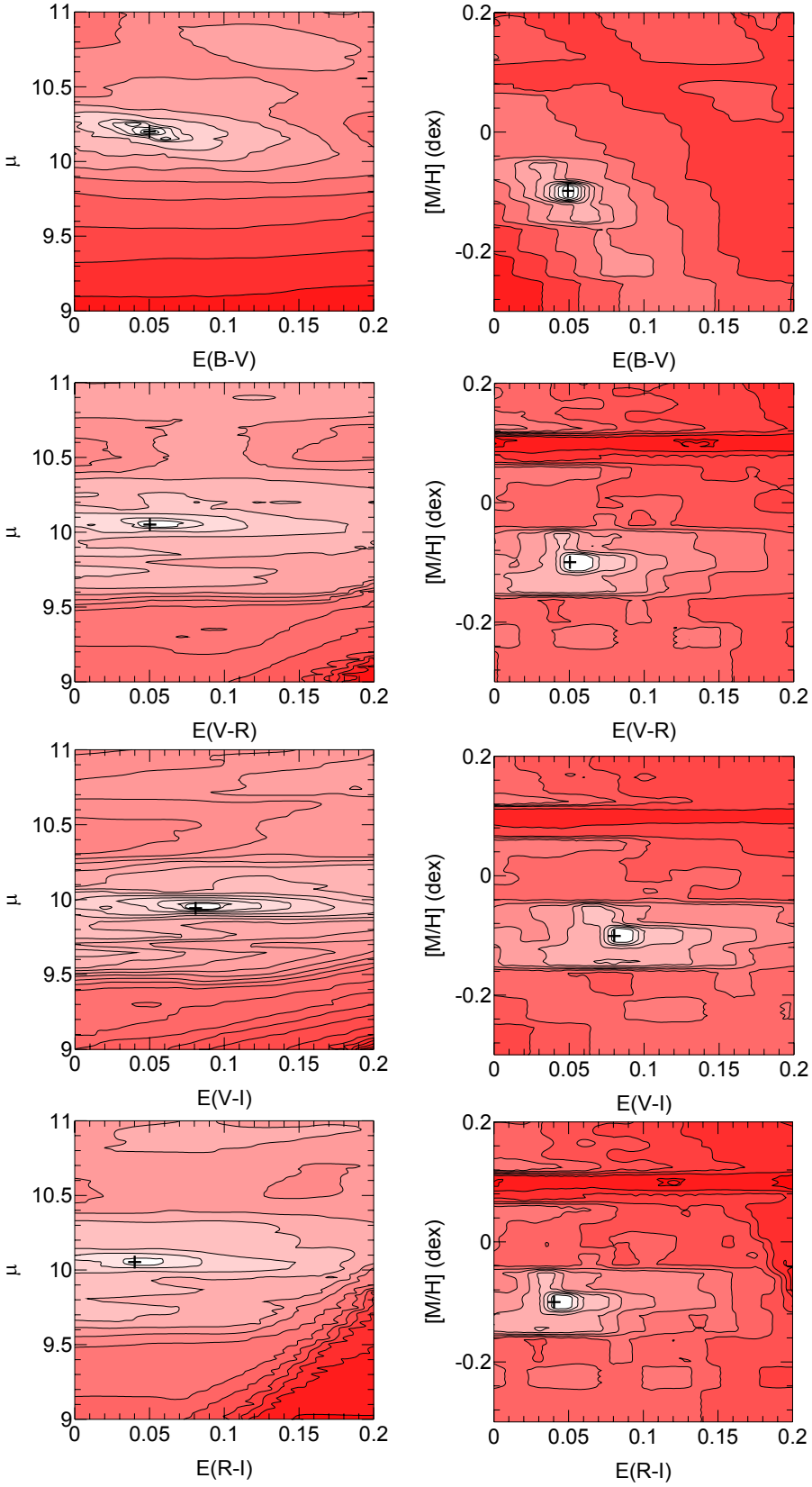
Şekil 4.11: NGC 6811 açık kümesinin (a) $V \times B\text{-}V$ (b) $V \times V\text{-}R$ (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk parlaklık diyagramları ve bunlara en uygun Padova eş yaş eğrileri. Yeşil daireler kümeye üyelik olasılığı $P > 0.5$ olan yıldızları, kırmızı düz çizgi en uygun eş yaş eğrisini, mavi kesikli çizgiler ise yaştaki hata mertebesine göre eş yaş eğrisi aralığını göstermektedir.



Şekil 4.12: Kümeye üye yıldızların (a) $V \times B\text{-}V$, (b) $V \times V\text{-}R$, (c) $V \times V\text{-}I$ ve (d) $V \times R\text{-}I$ renk parlaklık diyagramları ile Padova eş yaş eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen normalize edilmiş G değerlerinin yaş ile değişimi.

Tablo 4.4: Padova eş yaş eğrileriyle küme yıldızlarının Bayesian istatistiğe göre karşılaştırılması sonucunda küme için elde edilen astrofiziksel parametreler.

Renk-Parlaklık Diyagramı	**Renk Artığı (Kadir)**	**μ (kadir)**	**[M/H] (dex)**	**Yaş (Gyr)**
$V\times(B\text{-}V)$	$E(B\text{-}V)$=0.05 ± 0.01	10.20 ± 0.18	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.020
$V\times(V\text{-}R)$	$E(V\text{-}R)$=0.05 ± 0.01	10.05 ± 0.15	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.025
$V\times(V\text{-}I)$	$E(V\text{-}I)$=0.08 ± 0.01	9.95 ± 0.17	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.020
$V\times(R\text{-}I)$	$E(R\text{-}I)$=0.04 ± 0.01	10.05 ± 0.16	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.025
	Ortalama değerler	10.06 ± 0.16	-0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.025

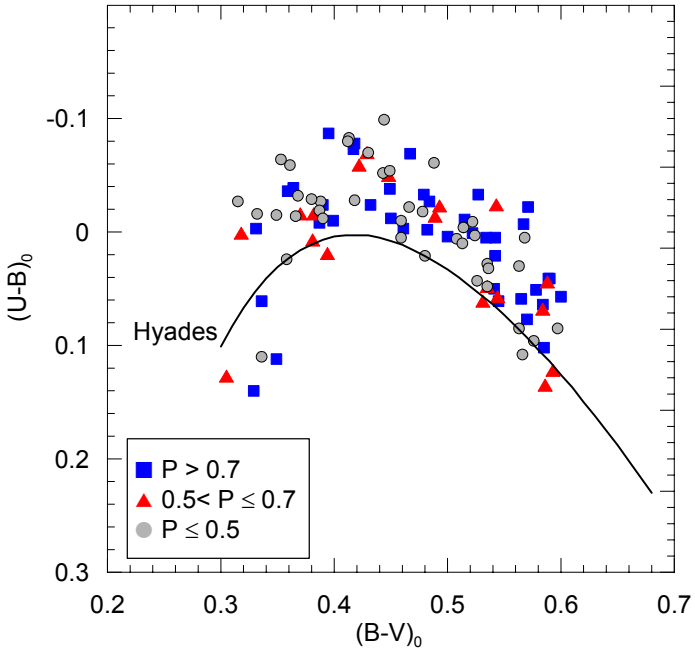


Şekil 4.13: Padova modellerinin gözlemsel verilerle karşılaştırılması sırasında kullanılan farklı astrofiziksel parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkileri ve minimum χ^2 analizi sonuçları. "+" sembolü modellerle gözlemsel veriler arasında en iyi uyumun olduğu noktayı gösterir.

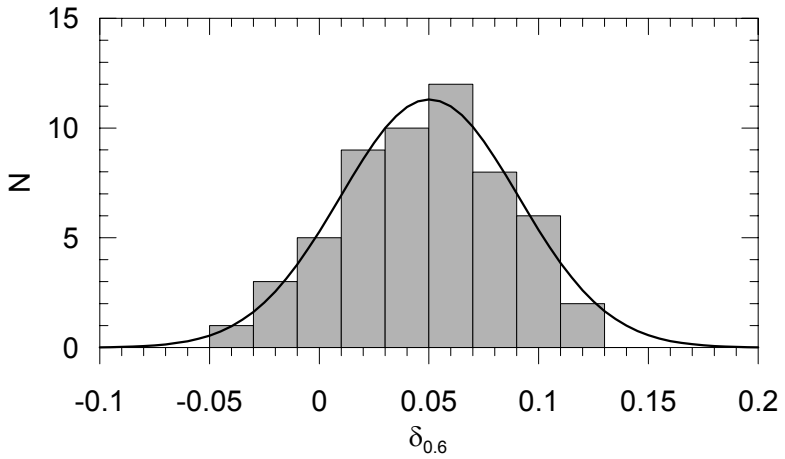
4.8. KÜMENİN METAL BOLLUĞUNUN BELİRLENMESİNDE FARKLI BİR YÖNTEM

NGC 6811 açık yıldız kümesinin metal bolluğunun tâyini için, kümenin F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının morötesi artıkları ölçülmüş ve ortalama değeri hesaplanmıştır. Bu ortalama morötesi artık değeri Karaali ve diğ.'nin (2011) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuna yerleştirilerek kümenin metal bolluğu belirlenmiştir. F-G tayf türünden anakol yıldızlarının seçiminde Cox'un (2000) farklı tayf türlerindeki anakol yıldızları için vermiş olduğu kızarmadan arındırılmış renkler kullanılmıştır. Buna göre NGC 6811 açık kümesinde yer alan F ve erken G tayf türünden yıldızlar için $0.3 < (B\text{-}V)_0 \leq 0.6$ kadir aralığında olanlar dikkate alınmıştır. Yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarmadan arındırma işleminde Bölüm 4.5'te $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki renk diyagramından hesaplanan $E(U\text{-}B) = 0.033 \pm 0.011$ ve $E(B\text{-}V) = 0.046 \pm 0.012$ kadir değerleri kullanılmıştır. Tez çalışmasında, Cox'un (2000) F0 ile G1 tayf türleri için vermiş olduğu $0.3 < (B\text{-}V)_0 \leq 0.6$ renk aralığında 99 yıldıza ulaşılmıştır. Bu yıldızların $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki renk diyagramındaki konumları, kümeye üyelik olasılıkları da ($P > 0.7$, $0.5 < P \leq 0.7$ ve $P \leq 0.5$) dikkate alınarak Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Kümenin F0-G1 tayf türü aralığındaki 99 yıldızının morötesi artıkları Bölüm 3.8.5'te anlatılan yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Morötesi artığının tâyini, incelenen yıldızın $(U\text{-}B)_0$ değeri ile bu yıldızın $(B\text{-}V)_0$ değerine denk gelen Hyades anakoluna ait $(U\text{-}B)_0$ farklarının alınmasına dayanır. Şekil 4.14'de kümenin metal bolluğu tâyini için seçilen 99 yıldızın $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki renk diyagramı üzerindeki konumları ile Hyades anakolu gösterilmiştir. Üyelik olasılıklarına göre farklı sembollerle gösterilmiş yıldızlar için elde edilen morötesi artıkları, Tablo 3.7'de verilen $\delta_{0.6}/\delta(U\text{-}B)$ değerleri ile çarpılarak $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ renk indeksinde ölçülen morötesi artıklarına göre kalibre edilmiş ve artıkların frekans dağılımı Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Frekans dağılımına en uygun Gauss eğrisi belirlenerek 99 anakol yıldızı için ortalama morötesi artığı $\delta_{0.6} = 0.050 \pm 0.002$ kadir bulunmuştur. Elde edilen ortalama morötesi artığı, Bölüm 3.8.4'te verilen (3.12) eşitliğinde (Karaali ve diğ., 2011) yerine yerleştirilerek kümenin ortalama metal bolluğu değeri $[M/H] = -0.109 \pm 0.010$ dex olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.14: NGC 6811 açık kümesinin F0-G1 tayf türü aralığındaki 99 anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki renk diyagramındaki konumları. Şekil üzerinde yıldızların kümeye üyelik olasılıkları mavi kare ($P > 0.7$), kırmızı üçgen ($0.5 < P \leq 0.7$) ve gri daireler ($P \leq 0.5$) ile işaretlenmiştir. Şekildeki siyah eğri Hyades ana kolunu göstermektedir.



Şekil 4.15: NGC 6811 açık kümesindeki 99 anakol yıldızının $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ rengine kalibre edilmiş morötesi artık değerlerinin frekans dağılımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Açık kümeler yıldız oluşumu ve evriminin anlaşılmasının yanı sıra, Samanyolu Galaksisinin yapısı, oluşumu ve evriminin araştırılmasında da kullanılan mükemmel laboratuarlardır. Açık kümedeki yıldızlar bir molekül bulutunun çökmesi sonucunda meydana geldiklerinden, küme yıldızlarının kimyasal yapıları, yaşları ve Güneş'e uzaklıkları aynıdır. Fakat, kümenin başlangıç kütle fonksiyonunun geniş bir aralıkta yer alması kümedeki yıldızların farklı kütlelerde oluşmalarına ve geniş bir tayf türü aralığında yer almalarına neden olur. Küme yıldızlarının belirlenmesinde ve evrimlerinin anlaşılmasında renk-parlaklık diyagramları kullanılır. Kümelerin renk-parlaklık diyagramları üzerindeki konumları incelendiğinde, genellikle parlak kadirlerde küme üyesi yıldızlar çoğunluktayken, sönük parlaklıklara doğru alan yıldızlarının hâkimiyeti artar. Böylece kümeye üye yıldızların belirlenmesi, dolayısı ile kümenin yapısal ve astrofiziksel parametrelerinin hesaplanması zorlaşır. Kümelerin duyarlı parametrelerinin elde edilmesinde çok renk fotometrisi kullanılarak renk-parlaklık diyagramları elde edilir ve gelişmiş astrometrik ve fotometrik yöntemler kullanılarak küme yıldızlarının alan yıldızlarından ayırt edilmesi sağlanır. Bu amaçla kullanılacak veriler ise ancak duyarlı CCD gözlemlerinin yapılmasıyla elde edilebilir.

Tez çalışmasında, Galaksinin Orion-Cygnus kolunda bulunan NGC 6811 açık yıldız kümesinin CCD *UBVRI* çok renk fotometrik gözlemleri yapılarak elde edilen veriler indirgenmiş, kümenin yapısal ve astrofiziksel parametreleri güncel yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen deneyim ve geliştirilen yazılımlar açık kümelerin daha sonra yapılacak fotometrik çalışmalarına zemin hazırlamıştır.

18 Temmuz 2012 tarihinde TUG'daki T100 teleskobu kullanılarak NGC 6811 açık kümesinin ve seçilmiş Landolt (2009) standart yıldız alanlarının CCD *UBVRI* görüntüleri alınmıştır. IRAF yazılımı görüntülerin ön indirgemelerinde ve standart yıldız alanlarının fotometrik parlaklık tâyininde kullanılırken, küme alanının fotometrik indirgemelerinde ise SExtractor yazılımı kullanılmıştır. Gözlem gecesi boyunca farklı hava katmanlarında çok sayıda standart yıldız gözlemi yapılmış, bu gözlemlerden

sönümleme katsayıları, standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ve gecelik sabitler elde edilmiş, bu katsayılar bölümümüzdeki Galaktik Yapı Araştırma grubunun IDL yazılımı üzerinde geliştirdiği programlar kullanılarak küme doğrultusundaki V görünen parlaklığı $10 < V < 20$ kadir olan 1605 kaynağın mutlak fotometrisinin yapılmasında kullanılmıştır. Böylece NGC 6811 doğrultusundaki 1605 kaynağın fotometrik verilerini içeren bir katalog oluşturulmuştur.

Küme doğrultusunda görünen galaksi dışı cisimlerin ayırımında SExtractor programının üretmiş olduğu yıldızımsılık indeksinin 0.8'den büyük değerleri dikkate alınmış ve sonuçta Galaksimizde bulunan 1591 yıldızın verileri ayıklanmıştır. Bu tez çalışmasında küme doğrultusundaki yıldızların öz hareket verilerinden hesaplanan kümeye üyelik olasılıkları dikkate alınarak kümenin renk-parlaklık diyagramı üzerindeki farklı bölgelerine ulaşılmak istenmiştir. V görünen parlaklığı $V > 16$ olan yıldızların öz hareket verilerindeki düşük duyarlılıklardan dolayı kümeye üyeliklerinin belirlenmesinin zor olduğu görülmüş ve küme doğrultusu için Galaxia modeli kullanılarak kuramsal renk-parlaklık diyagramı elde edilerek bunlar gözlemsel diyagramlarla karşılaştırılmıştır. Astrometrik yöntemlerle yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının belirlenmesi sönük parlaklıklarda yetersiz kaldığından bu çalışmada yıldızların renk uzaylarındaki konumları da dikkate alınmıştır. Bunun için gözlemsel renk-parlaklık diyagramı üzerinde metalce fakir sıfır yaş Padova eş yaş eğrileri işaretlenmiş ve çift yıldız etkisini içerecek şekilde küme yıldızlarının diyagram üzerindeki alt ve üst sınırları belirlenmiştir. Kümeye üyelik olasılıkları astrometrik yöntemle ve yıldızların renk uzaylarındaki konumlarından belirlenerek 446 küme yıldızına ulaşılmıştır.

Kümenin yapısal parametrelerini elde edebilmek için 446 küme yıldızının gözlemsel yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Gözlemsel yoğunluk değerlerinin kuramsal King modeliyle (1966) karşılaştırılması sonucunda kümenin merkezi yoğunluğuna (f_0 = 1.35 ± 0.03 yıldız/(yay dakika)^2), etkin kor yarıçapına (r_c = 3.12 ± 0.09 yay dakikası) ve alan yıldızlarının yoğunluk değerlerine (f_{bg} = 0.94 ± 0.01 yıldız/(yay dakika)^2) ulaşılmıştır. Zemin yıldızları için hesaplanan bu değer, Galaxia modelinden alan yıldızları için elde edilen değerle (1.09 yay dakikası) uyumludur. Bu analizlerden NGC 6811'in gökyüzünde yaklaşık 18 yay dakikalık çapa sahip düşük yoğunluklu bir

küme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. NGC 6811 kümesinin detaylı fotometrik çalışmasını yapan Janes ve diğ. (2013) de kümenin yapısal parametrelerini King modeliyle (1966) elde etmişlerdir. Bu çalışmada kümenin merkezi yoğunluğu (f_0 = 1.640 ± 0.482 yıldız/(yay dakika)^2), kor etkin yarıçapı (r_c = 4.404 ± 1.368 yay dakikası) ve alan yıldızlarının yoğunluğu f_{bg} = 1.041±0.048 yıldız/(yay dakika)^2) olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen kümenin yapısal parametreleri Janes ve diğ.'nin (2013) çalışmasında hesaplananlara göre daha küçüktür. Galaxia modelinden elde edilen zemin yoğunluğu ise hem bu çalışmada hem de Janes ve diğ.'nin (2013) çalışmasında elde edilenlerden daha büyüktür. Hataları dikkate alındığında, kümenin yapısal parametreleri için her iki çalışmada hesaplanan değerler birbirleriyle uyumludur.

NGC 6811 açık kümesinin renk artığı, uzaklık modülü, metal bolluğu, yaşı gibi astrofiziksel parametrelerin hesaplanmasında gözlemsel renk-parlaklık diyagramları üzerine Padova eş yaş eğrileriyle eşleştirilmiştir. Kümenin yaş tâyini için en uygun Padova eş yaş eğrisinin seçiminde Bayesian istatistik kullanılmıştır. Bu yöntemde geniş bir parametre seti kullanılmış olup, renk artığı, uzaklık modülü ve metal bolluğu kümenin yaşıyla eş zamanlı olarak çözülmüştür. Hesaplanan bu parametreler Tablo 5.1'in ilk satırında "Yöntem-1" başlığı altında verilmiştir. Dört parametrenin eş zamanlı çözüldüğünden, parametreler arasında bir dejenerasyonluğa neden olması muhtemeldir. Bu dejenerasyonluğun kırılabilmesi için tez çalışmasında 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 tâyini için gerekli olan son parametre kümenin metal bolluğudur ve bu parametrenin tâyini kümedeki F-G tayf türünden anakol yıldızlarının morötesi artıklarının ölçülmesine dayanmaktadır. Tez çalışmasında F0-G1 tayf türü aralığındaki 99 anakol yıldızının ortalama morötesi artığı hesaplanarak, kümenin metal bolluğu Karaali ve diğ.'nin (2011) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu yardımıyla [*M/H*] = -0.11 ± 0.01 dex bulunmuştur. Bağımsız yöntemlerle elde edilen bu parametreler Tablo 5.1'in ikinci satırında "Yöntem-2" başlığıyla verilmiştir. Böylelikle NGC 6811 açık kümesinin iki farklı yöntemden elde edilen aynı türden parametrelerinin

birbirine yakın oluşu, birden fazla parametrenin eş zamanlı elde edilmesinde bir dejenerasyon olmadığını göstermektedir.

Tablo 5.1: NGC 6811 açık kümesinin bu tez çalışmasında ve literatürde verilen astrofiziksel parametreleri.

Sıra	Yazarlar	E(B-V) (kadir)	d (pc)	[M/H] (dex)	Yaş (Myr)
1	Bu çalışma (Yöntem-1)	0.050±0.010	960±70	-0.10±0.01	1000±25
2	Bu çalışma (Yöntem-2)	0.046±0.012	1090±100	-0.11±0.01	---
3	Lindoff (1972)	0.16	1100	0.00	500
4	Barkhatova ve diğ. (1978)	0.14	1150±110	0.00	800
5	Glushkova ve diğ. (1999)	0.12±0.02	1040±45	0.00	700±100
6	Janes ve diğ. (2013)	0.074±0.024	1000±50	-0.19±0.03	1000±170

NGC 6811 açık kümesi ilk kez Lindoff (1972) tarafından fotometrik olarak detaylıca incelenmiştir (Tablo 5.1, satır 3). Tez çalışmasında elde edilen parametreler Lindoff'un (1972) değerleriyle karşılaştırıldığında, bu çalışmadaki renk artığının üç kat daha az, küme yaşının ise iki kat büyük hesaplandığı görülmektedir. İki çalışmada hesaplanan uzaklıkların hatâlar dahilinde uyumlu oldukları söylenebilir. Kümenin ikinci detaylı analizi Barkhatova ve diğ. (1978) tarafından yapılmıştır. Barkhatova ve diğ.'nin (1978) 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 yaklaşılırken 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.'nin (1978) sonuçlarıyla uyum içindedir. Literatürde NGC 6811 açık kümesinin en detaylı CCD fotometrik çalışması Janes ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır (Tablo 5.1, satır 6). Bu araştırmacılar farklı teleskoplarla aldıkları CCD *UBVRI* fotometrik verilerini kullanarak, küme için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.074 \pm 0.024$ kadir, metal bolluğunu $[M/H] = -0.19 \pm 0.03$ dex, yaşı $t = 1 \pm 0.17$ Gyr ve kümenin uzaklığını $d = 1000 \pm 50$ pc hesapladılar. Hesaplamalarında ilgili astrofiziksel parametreleri Bayesian istatistik kullanarak eş zamanlı tâyin etmişler, fakat hesapladıkları parametreler arasındaki dejenerasyonlukları tartışmamışlardır. Tez çalışmasında 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 tez çalışmasında elde edilen değere göre yaklaşık 0.1 dex daha az vermektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında bir açık kümenin çok renk fotometrik indirgemeleri ve analizleri yapılmış, kümenin yapısal ve astrofiziksel parametreleri elde edilmiştir. Tez çalışmasında detaylı analizler ile elde edilen sonuçların literatürde Janes ve diğ. (2013) tarafından yayınlanan sonuçlarla uyumlu olmasının, daha sonra ülkemizde gözlenecek ve analizleri yapılacak diğer açık küme çalışmalarına ışık tutması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Alves, D. R., 2000, K-Band Calibration of the Red Clump Luminosity, *The Astrophysical Journal*, 539, 732-741.

Andreuzzi G., Richer H.B., Limongi M., Bolte M., 2002, The White Dwarf Cooling Sequence in the Old Open Cluster NGC 188, *Astronomy and Astrophysics*, 390, 961-965.

Barkhatova, K. A., Zakharova, P. E., Shashkina, L. P.,1978a, The Open Star Cluster NGC 6811, *Translation Astronomicheskii Zhurnal*, 55, 56-61.

Balaguer-Núnez, L., Tian, K. P., Zhao, J. L., 1998, Determination of Proper Motions and Membership of the Open Clusters NGC 1817 and NGC 1807, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 133, 387-394.

Benjamin, R. A., ve diğ., 2003, GLIMPSE. I. An SIRTF Legacy Project to Map the Inner Galaxy, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115, 953-964.

Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., Nasi, E., 1994, Theoretical Isochrones from Models with New Radiative Opacities, *Astronomy and Astrophysics Supplement,* 106, 275-302.

Bertin, E., Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for Source Extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 393-404.

Bica, E., Dutra, C. M., Barbuy, B., 2003, A Catalogue of Infrared Star Clusters and Stellar Groups, *Astronomy and Astrophysics*, 397, 177-180.

Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S. G., 2006, Galactic Model Parameters for Field Giants Separated from Field Dwarfs by Their 2MASS and V Apparent Magnitudes, *Astronomische Nachrichten*, 327, 72-81.

Bilir, S., Önal, Ö., Karaali, S., Cabrera-Lavers, A., Çakmak, H., 2013, Luminosity-colour Relations for Red Clump Stars, *Astrophysics and Space Science*, 344, 417-427.

Blaauw, A. 1963, *in Basic Astronomical Data, Stars and Stellar Systems*, Cilt 2, Editör K. A. Strand (Chicago, Univ. of Chicago Press), 383.

Bonatto, C., Kerber, L. O., Bica, E., Santiago, B. X., 2006, Probing Disk Properties with Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 446, 121-135.

Bonatto, C., Bica, E., 2007, Open Clusters in Dense Fields: the Importance of Field-star Decontamination for NGC 5715, Lynga 4, Lynga 9, Trumpler 23, Trumpler 26 and Czernik 37, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 377, 1301-1323.

Bonatto, C., Bica, E., 2008, Exploring FSR Open Cluster Candidates within $|\Delta\ell|=20°$ of the Galactic Anticentre, *Astronomy and Astrophysics*, 485, 81-93.

Borucki, W. J., ve diğ., 2010, Kepler Planet Detection Mission: Highlights of the First Results, American Astronomical Society, DPS meeting #42, #47.03; *Bulletin of the American Astronomical Society*, 42, 1052.

Bragaglia, A., Tosi, M., Andreuzzi, G., Marconi, G., 2006, BVI Photometry of the Very Old Open Cluster Berkeley 17, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368, 1971-1981.

Bressan, A., Fagotto, F., Bertelli, G., Chiosi, C., 1993, Evolutionary Sequences of Stellar Models with New Radiative Opacities. II - Z = 0.02, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 100, 647-664.

Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S., 1989, The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction, *The Astrophysical Journal*, 345, 245.

Carraro, G., Janes, K. A., Eastman, J. D., 2005, Photometry of Neglected Open Clusters in the First and Fourth Galactic Quadrants, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, 179-186.

Cox, A. N., 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, AIP Press, Springer, New York, ISBN: 0387987460.

Currie, T., Hernandez, J., Irwin, J., Kenyon, S. J., Tokarz, S., Balog, Z., Bragg, A., Berlind, P., Calkins, M., 2010, The Stellar Population of h and χ Persei: Cluster Properties, Membership, and the Intrinsic Colors and Temperatures of Stars, *The Astrophysical Journal Supplement*, 186, 191-221.

Cutri, R.M., ve diğ., 2003, 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources, *VizieR On-line Data Catalog: II/246*. Originally Published in: University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center.

Demarque, P., Woo, J., Kim, Y., Yi, S.K., 2004, Y^2 Isochrones with an Improved Core Overshoot Treatment, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 155, 667-674.

Dias, W. S., Alessi, B. S., Moitinho, A., Lépine, J. R. D., 2002, New Catalogue of Optically Visible Open Clusters and Candidates, *Astronomy and Astrophysics*, 389, 871-873.

Ekstrom, S., ve diğ., 2012, Grids of Stellar Models with Rotation. I. Models from 0.8 to 120 $M_{\odot}$ at Solar Metallicity (Z = 0.014), *Astronomy and Astrophysics*, 537, id.A146.

Fagotto, F., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 1994a, Evolutionary Sequences of Stellar Models with New Radiative Opacities. III. Z=0.0004 and Z=0.05, *Astronomy and Astrophysics Supplement,* 104, 365-376.

Fagotto, F., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 1994b, Evolutionary sequences of stellar models with new radiative opacities. IV. Z=0.004 and Z=0.008, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 105, 29-38.

Fiorucci, M., Munari, U., 2003, The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). II. Band and reddening parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 401, 781-796.

Fitzgerald, M. P., 1970, The Intrinsic Colours of Stars and Two-Colour Reddening Lines, *Astronomy and Astrophysics*, 4, 234-243.

Fitzpatrick, E. L., Massa, D., 2009, An Analysis of the Shapes of Interstellar Extinction Curves. VI. The Near-IR Extinction Law, *The Astrophysical Journal*, 699, 1209-1222.

Froebrich, D., Scholz, A., Raftery, C. L., 2007, A Systematic Survey for Infrared Star Clusters with |b| <20° using 2MASS, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 374, 399-408.

Froebrich, D., Meusinger, H., Scholz, A., 2008, NTT Follow-up Observations of Star Cluster Candidates from the FSR Catalogue, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 390, 1598-1618.

Geller, A. M., Mathieu, R. D., Harris, H. C., Mcclure, R. D., 2008, WIYN Open Cluster Study. XXXII. Stellar Radial Velocities in the Old Open Cluster NGC 188, *The Astronomical Journal*, 135, 2264-2278.

Girardi, L., Bressan, A., Chiosi, C., Bertelli, G., Nasi, E., 1996, Evolutionary Sequences of Stellar Models with New Radiative Opacities. VI. Z=0.0001., *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 113-125.

Girardi, L., ve diğ., 2010, The ACS Nearby Galaxy Survey Treasury. IX. Constraining Asymptotic Giant Branch Evolution with Old Metal-poor Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 724, 1030-1043.

Glushkova, E. V., Batyrshinova, V. M., Ibragimov, M. A. A., 1999, Study of the Open Cluster NGC 6811, *Astronomy Letters*, 25, 86-92.

Golay, M., 1974, *Introduction to Astronomical Photometry*, Dordrecht, D. Reidel Publishing Co. Astrophysics and Space Science Library, 41, 375.

Gozzoli, E., Tosi, M., Marconi, G., Bragaglia, A., 1996, CCD Photometry of the Old Open Cluster Collinder 261, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 283, 66-76.

Grocholski, A. J., Sarajedini, A., 2002, WIYN Open Cluster Study. X. The K-Band Magnitude of the Red Clump as a Distance Indicator, *The Astronomical Journal*, 123, 1603-1612.

Grocholski, A. J., Sarajedini, A., 2003, WIYN Open Cluster Study - XVI. Optical/Infrared Photometry and Comparisons with Theoretical Isochrones, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 345, 1015-1029.

Groenewegen, M. A. T., 2008, Baade-Wesselink Distances and the Effect of Metallicity in Classical Cepheids, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 25-35.

Henden, A., Kaitchuck, R., 1990, Book Review: *Astronomical photometry* / Willmann-Bell, Astronomy, 18, 97.

Hubeny, I., Lanz, T., 1995, Non-LTE Line-Blanketed Model Atmospheres of Hot Stars. 1: Hybrid Complete Linearization/Accelerated Lambda Iteration Method, *The Astrophysical Journal*, 439, 875-904.

Hur, H., Sung, H., Bessell, M. S., 2012, Distance and the Initial Mass Function of Open Clusters in the eta Carina Nebula: Tr 14 and Tr 16, *The Astronomical Journal*, 143, article id. 41.

Hurley, J. R., Pols, O. R., Aarseth, S. J., TOUT, C. A., 2005, A Complete N-body Model of the Old Open Cluster M67, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 363, 293-314.

Janes, K. A., Tilley, C., Lynga, G., 1988, Properties of the Open Cluster System, *Astronomical Journal*, 95, 771-784.

Janes, K. A., Phelps, R. L., 1994, The Galactic System of Old Star Clusters: The Development of the Galactic Disk, *The Astronomical Journal,* 108, 1773-1785.

Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2013, NGC 6811: An Intermediate-age Cluster in the Kepler Field, *The Astronomical Journal*, 145, article id.7

Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2014, Open Clusters in the Kepler Field, II. NGC 6866, *The Astronomical Journal* (kabul edildi), 2014arXiv1403.7208J

Johnson, H. L., Hiltner, W. A., 1956, Observational Confirmation of a Theory of Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, 123, 267-277.

Johnson, H. L. 1966, Astronomical Measurements in the Infrared, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 4, 193-206.

Jørgensen, B.R., Lindegren, L., 2005, Determination of Stellar Ages from Isochrones: Bayesian Estimation versus Isochrone Fitting, *Astronomy and Astrophysics*, 436, 127-143.

Kaluzny, J., Udalski, A., 1992, Photometric Study of the Old Open Cluster NGC 6791, *Acta Astronomica* 42, 29-47.

Karaali, S., Bilir, S., Karataş, Y., Ak, S. G., 2003, New Metallicity Calibration down to [Fe/H] = -2.75 dex, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 165-172.

Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E., 2004, A Different Approach for the Estimation of Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355, 307-320.

Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, New Colour Transformations for the Sloan Photometry, and Revised Metallicity Calibration and Equations for Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 22, 24-28.

Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoğlu, B., 2011, An Improved Metallicity Calibration with UBV Photometry, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 28, 95-106.

Keenan, P. C., Barnbaum, C., 1999, Revision and Calibration of MK Luminosity Classes for Cool Giants by HIPPARCOS Parallaxes, *The Astrophysical Journal*, 518, 859-865.

King, I. R., 1962, The Structure of Star Clusters. I. an Empirical Density Law, *The Astronomical Journal*, 67, 471-485.

King, I. R., 1966, The Structure of Star Clusters. III. Some Simple Dynamical Models, *The Astronomical Journal*, 71, 64-75.

King, I. R., Bedin, L. R.. Piotto, G., Cassisi, S., Anderson, J., 2005, Color-Magnitude Diagrams and Luminosity Functions down to the Hydrogen-Burning Limit. III. A Preliminary Hubble Space Telescope Study of NGC 6791, *The Astronomical Journal*, 130, 626-634.

Kroupa, P., Tout, C.A., Gilmore, G., 1993, The Distribution of Low-Mass Stars in the Galactic Disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 262, 545-587.

Kroupa, P., 2002, The Initial Mass Function of Stars: Evidence for Uniformity in Variable Systems, *Science*, 295, 82-91.

Lada, C. J., Lada, E. A., 2003, Embedded Clusters in Molecular Clouds, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 41, 57-115.

Laird, J. B., Carney, B. W., Latham, D. W., 1988, A Survey of Proper-motion Stars. III - Reddenings, Distances, and Metallicities, *The Astronomical Journal*, 95, 1843-1875.

Landolt, A.U., 2009, UBVRI Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions, *The Astronomical Journal*, 137, 4186-4269.

Lanz, T., Hubeny, I., 2003, A Grid of Non-LTE Lineblanketed Model Atmospheres of O-Type Stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 146, 417-441.

Lanz, T., Hubeny, I., 2007, A Grid of Non-LTE Line-blanketed Model Atmospheres of Early B-Type Stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 169, 83-104.

Lindoff, U., 1972, The Open Cluster NGC 6811, *Astronomy and Astrophysics*, 16, 315-321.

Lynga, G., 1982, Open Clusters in our Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 109, 213-222.

Marigo, P., Girardi, L., Bressan, A., Groenewegen, M.A.T., Silva, L., Granato, G.L., 2008, Evolution of Asymptotic Giant Branch Stars. II. Optical to Far-Infrared Isochrones with Improved TP-AGB Models, *Astronomy and Astrophysics*, 482, 883-905.

Mathieu, R. D., 1984, The Structure and Dynamics of the Open Cluster M11, *Astrophysical Journal*, 284, 643-662.

Mathieu, R. D., 1985, Radial Velocity Studies of the Internal Kinematics of Open Clusters, Stellar Radial Velocities, *Proceedings of IAU Colloquium 88*, held in Schenectady, N.Y., Edited by A. G. D. Philip and David W. Latham. Schenectady: L. Davis Press, 249-256.

Mathieu, R. D., Geller, A. M., 2009, A Binary Star Fraction of 76 per cent and Unusual Orbit Parameters for the Blue Stragglers of NGC 188, *Nature*, 462, 1032-1035.

Mercer, E. P., ve diğ., 2005, New Star Clusters Discovered in the GLIMPSE Survey, *The Astrophysical Journal*, 635, 560-569.

Mermilliod, J.-C., 1981, Comparative Studies of Young Open Clusters III. Empirical Isochronous Curves and the Zero Age Main Sequence, *Astronomy and Astrophysics*, 97, 235-244.

Mermilliod, J.-C., MAYOR, M., 1990, Red Giants in Open Clusters. III - Binarity and Stellar Evolution in Five Intermediate-age Clusters: NGC 2360, 2423, 5822, 6811, and IC 4756, *Astronomy and Astrophysics*, 237, 61-72.

Mermilliod, J. C., Mayor, M., Udry, S., 2008, Red Giants in Open Clusters. XIV. Mean Radial Velocities for 1309 Stars and 166 Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 485, 303-314.

Montgomery, K. A., Marschall, L. A., Janes, K. A., 1993, CCD Photometry of the Old Open Cluster M67, *The Astronomical Journal*, 106, 181-219.

Moraux, E., Bouvier, J., Stauffer, J. R., Barrado, Y. N., D., Cuillandre, J.-C., 2007, The Lower Mass Function of the Young Open Cluster Blanco 1: from 30 M_{Jup} to 3 $M_{\odot}$, *Astronomy and Astrophysics*, 471, 499-513.

Nordström, B., Andersen, J., Andersen, M. I., 1997, Critical Tests of Stellar Evolution in Open Clusters. II. Membership, Duplicity, and Stellar and Dynamical Evolution in NGC 3680, *Astronomy and Astrophysics*, 322, 460-476.

Oort, J. H., 1958, *in Stellar Populations*, Richerche Astronomiche, Specola Vaticana, ed. D. J. K. O'Connell, (Amsterdam: North Holland), 63.

Phelps, R. L., 1997, Berkeley 17: The Oldest Open Cluster?, *The Astrophysical Journal*, 483, 826-836.

Phleps, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., Wolf, C., 2000, CADIS Deep Star Counts: Galactic Structure and the Stellar Luminosity Function, *Astronomy and Astrophysics*, 356, 108-117.

Pols, O. R., Schröder, K.P., Hurley, J. R., Tout, C.A., Eggleton, P. P., 1998, Stellar Evolution Models for Z = 0.0001 to 0.03, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 298, 525-536.

Pont, F., Eyer, L., 2004, Isochrone Ages for Field Dwarfs: Method and Application to the Age-Metallicity Relation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 351, 487-504.

Roeser, S., Demleitner, M., Schilbach, E., 2010, The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 139, 2440-2447.

Salpeter, E. E., 1955, The Luminosity Function and Stellar Evolution, *The Astrophysical Journal*, 121, 161-167.

Sandage, A., 1957, Observational Approach to Evolution. II. A Computed Luminosity Function for K0 – K2 Stars from M_V = +5 to M_V = -4.5, *The Astrophysical Journal*, 125, 435-444.

Sandage, A., 1969, New subdwarfs. II. Radial Velocities, Photometry, and Preliminary Space Motions for 112 Stars with Large Proper Motion, *Astrophysical Journal*, 158, 1115-1136.

Sanders, W. L., 1971a, Membership of the Open Cluster NGC 6811, *Astronomy and Astrophysics*, 15, 368-373.

Sanders, W.L., 1971b, An Improved Method for Computing Membership Probabilities in Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 14, 226-232.

Schmidt-Kaler, K. 1982, in Landolt-Bornstein, Vol 2b, 453

Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., Johnston, K. V., Binney, J., 2011, Galaxia: A Code to Generate a Synthetic Survey of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 730 , article id. 3.

Skrutskie, M. F., ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 131, 1163-1183.

Slesnick, Catherine L., Hillenbrand, L. A., Massey, P., 2002, The Star Formation History and Mass Function of the Double Cluster h and χ Persei, *The Astrophysical Journal*, 576, 880-893.

Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Cayrel De Strobel, G., Caillo, A., 2010, The PASTEL Catalogue of Stellar Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 515, article id. 111.

Spitzer, L., Jr., 1958, Distribution of Galactic Clusters, *Astrophysical Journal*, 127, 17.

Sung, H., Bessell, M. S., 1999, UBVI CCD Photometry of M35 (NGC 2168), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 306, 361-370.

Sung, H., Bessell, M. S., Lee, H.-W., Kang, Y. H., Lee, S.-W. 1999, UBVI CCD Photometry of M11 II. New Photometry and Surface Density Profiles, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 310, 982.

Sung, H., Bessell, M. S., Lee, B., Lee, S., 2002, The Open Cluster NGC 2516. I. Optical Photometry, *The Astronomical Journal*, 123, 290-303.

Sung, H., Lom, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M., Park, B., 2013, Sejong Open Cluster Survey (SOS). 0. Target Selection and Data Analysis, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 46, 103-123.

Trumpler, R. J., 1925, Spectral Types in Open Clusters, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 37, 220, 307-318.

Van den Bergh, S., 1958, Old Galactic Clusters, *Zeitcshript für Astrophysik*, 46, 176-178.

Van den Bergh, S., Mcclure, R. D., 1980, Galactic Distribution of the Oldest Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 88, 360-362.

Van den Bergh, S., 2006, Diameters of Open Star Clusters, *The Astronomical Journal*, 131, 1559-1564.

Van Leeuwen, F., 2007, Validation of the New Hipparcos Reduction, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653-664.

Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G., Zacharias, M. I., 2013, The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4), *The Astronomical Journal*, 145, article id. 14.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Talar YONTAN
Uyruğu	TC
Doğum tarihi, Yeri	05.07.1988, Mardin
Telefon	537 473 49 56
E-mail	talar.yontan@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum / Anabilim Dalı / Programı	Yılı
Lisans	İstanbul Üniversitesi / Fen Fakültesi / Astronomi ve Uzay Bilimleri	2011
Lise	Özel Sahakyan Nunyan Ermeni Lisesi	2005

Bilimsel Toplantılar

1) Toplantı Adı : Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu
   Toplantı Yeri : 11.06.2010, İstanbul
   Katılım : Dinleyici

2) Toplantı Adı : XVII. Ulusal Astronomi Kongresi ve VI. Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi
   Toplantı Yeri : 30.08.2010 – 04.09.2010, Adana
   Katılım : Dinleyici

3) Toplantı Adı	: Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu
Toplantı Yeri	: 14.05.2012 – 15.05.2012, İstanbul
Katılım	: Düzenleme Kurulu
4) Toplantı Adı	: Küçük Teleskoplarla Bilim: Fırsat Gözlemciliği Çalıştayı
Toplantı Yeri	: 09.05.2013 – 10.05.2013, İstanbul
Katılım	: Dinleyici

Makaleler / Bildiriler

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Dağtekin, N. D., Yontan, T., Gilmore, G., Seabroke, G. M., Local stellar kinematics from RAVE data - III. Radial and vertical metallicity gradients based on red clump stars, 2012, *MNRAS*, 421, 3362-3374.

Bilir, S., Göğüş, E., Önal, Ö., Öztürkmen, N. D., Yontan, T., Research performance of Turkish astronomers in the period of 1980-2010, 2013, *Scientometrics*, 97, 477-489.

Bilir, S., Ak, T., Ak, S., Yontan, T., Bostancı, Z. F., A new absolute magnitude calibration for red clump stars, 2013, *NewA*, 23, 88-97.

Tüysüz, M., Soydugan, F., Bilir, S., Soydugan, E., Şenyüz, T., Yontan, T., The early-type near-contact binary system V337 Aql revisited, 2014, *NewA*, 28, 44-48.

Ak, S., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Tunçel Güçtekin, S., Önal Taş, Ö., Öztürkmen, N. D., Duran, Ş., Coşkunoğlu, B., Yontan, T., Yaz, E., Eker, Z., Colour transformations between BVR_c and g'r'i' photometric systems for giant stars, 2014, *PASA*, 31, e014.

Bilir, S., Önal, Ö, Yontan, T., Samanyolu'nun Kalbi, Kasım 2011, *Popüler Bilim Dergisi*, 26.

Bilir, S., Göğüş, E., Önal, Taş Ö., Dağtekin, N., Yontan, T., 1980 – 2010 yılları arası Türkiye'de yapılan astronomi çalışmaları, Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, İstanbul, 14 - 15 Mayıs 2012, 1-15

Bostancı Güver, F., Ak, T., Güver, T., Bilir, S., Ak, S., Yontan, T., Eker, Z., NGC 225 kümesinin CCD UBVRI fotometrik gözlemleri, Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, İstanbul, 14-15 Mayıs 2012, 1-6

Projeler

1) "Çift Yıldızlarda Açısal Momentum ve Yörünge Evrimi", TÜBİTAK-1001 Projesi, 111T224, Bursiyer, 2012-2014
2) "Galaktik Diskin Evriminin Açık Kümelerle İncelenmesi", TÜBİTAK-1001 Projesi, 113F270, Bursiyer, 2014-devam