T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NGC 2818 VE NGC 3603 AÇIK KÜMELERİNİN FOTOMETRİK ANALİZİ

Hakan ÜRGÜP

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Mayıs, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 30.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Selçuk BİLİR(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Tansel AK
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. A. Talat SAYGAÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 56695 numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, 115F384 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince tecrübelerini paylaşan ve yol gösteren değerli hocalarım, tez danışmanım Prof. Dr. Selçuk BİLİR ve Prof. Dr. Tansel AK'a,

Açık kümeler hakkında tecrübelerini ve teknik bilgilerini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER ve Araş. Gör. Talar YONTAN'a,

Tez çalışmamda kullandığım verileri paylaşan Doç. Dr. Ernst PAUNZEN'e,

Her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma,

En içten duygularımla teşekkür ederim.

Bu çalışmayı 1002 kodlu programı çerçevesinde 115F384 proje numarası ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Mayıs 2018 Hakan ÜRGÜP

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiv**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1. AÇIK KÜME GÖZLEMLERİ 4
2.2. AÇIK KÜMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE DİNAMİK EVRİMLERİ 6
2.3. AÇIK KÜME ANALİZLERİNDE KULLANILAN TEMEL DİYAGRAMLAR 8
2.4. AÇIK KÜMELERİN ASTROFİZİK PARAMETRELERİ 11
2.5. AÇIK KÜMELERİN KÜTLE FONKSİYONU 14
3. MALZEME VE YÖNTEM **16**
3.1. GÖZLEMLER 16
3.1.1. Standart Yıldız Alanı Gözlemleri 16
3.1.2. Açık Kümelerin Literatür Özeti ve Gözlemleri 18
3.2. CCD KALİBRASYONLARI 21
3.3. KÜME ALANLARININ ASTROMETRİSİ VE FOTOMETRİSİ 22
3.4. PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ 24
3.5. AÇIK KÜME ANALİZİNDE KULLANILAN FOTOMETRİK YÖNTEMLER 26
3.5.1. Küme Üyesi Yıldızların Belirlenmesi 26
3.5.2. Kızarma Tayini 28
3.5.3. Fotometrik Metal Bolluğu Tayini 29
3.5.4. Kümelerin Uzaklık Tayini 31
3.5.5. PARSEC Eş-Yaş Eğrileri ve Kümelerin Yaş Tayini 32
4. BULGULAR **34**
4.1. NGC 2818 34

4.1.1. Fotometrik Hatalar....35
4.1.2. Fotometrik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması....36
4.1.3. NGC 2818 Açık Kümesinin Yapısal Parametreleri....41
4.1.4. Küme Üyesi Yıldızların Seçimi....42
4.1.5. İki-Renk Diyagramı....46
4.1.6. Metal Bolluğu Tayini....46
4.1.7. Yaş Tayini....48
4.1.8. Kırmızı Yığın Yıldızlarından Uzaklık Tayini....51
4.1.9. Kütle Fonksiyonu....53
4.2. NGC 3603....55
4.2.1. Fotometrik Hatalar....55
4.2.2. Fotometrik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması....57
4.2.3. NGC 3603 Açık Kümesinin Yapısal Parametreleri....58
4.2.4. Küme Üyesi Yıldızların Seçimi....60
4.2.5. Kızarma Tayini....63
4.2.6. Yaş Tayini....64
4.2.7. Kütle Fonksiyonu....69
5. TARTIŞMA VE SONUÇ....70
5.1. NGC 2818 AÇIK KÜMESİ VE LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI....70
5.2. NGC 3603 AÇIK KÜMESİ VE LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI....73
KAYNAKLAR....76
ÖZGEÇMİŞ....83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Küme merkezinde küme ismiyle de bilinen bir gezegenimsi bulutsu barındıran NGC 2818 açık kümesinin renkli bir görüntüsü. 3

Şekil 1.2: Yıldız oluşum bölgesinin içinde yer alan NGC 3603 açık kümesinin *Hubble Uzay Teleskobu*'yla alınmış renkli bir görüntüsü. 3

Şekil 2.1: NGC 6791 açık kümesinin $V \times V\text{-}I_c$ renk-parlaklık diyagramı (Bruntt ve diğ., 2003). 8

Şekil 2.2: Farklı ışıma gücü sınıfında bulunan yıldızların anakolunun kızarma ve kara cisim doğrularının gösterildiği $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramı (Arp, 1961).....9

Şekil 3.1: ESO'nun La Silla yerleşkesinde bulunan Danimarka teleskobu. 17

Şekil 3.2: NGC 2818 (sol panel) ve NGC 3603 (sağ panel) açık kümelerinin *V* filtresinde alınmış görüntüleri. 22

Şekil 4.1: NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlenen kaynakların *V* bandı parlaklık histogramı. 35

Şekil 4.2: NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların parlaklık ve renk hatalarının *V* görünen parlaklığına göre dağılımları. 36

Şekil 4.3: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Pedreros (1989) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir. 38

Şekil 4.4: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Surendiranath ve diğ. (1990) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir. 38

Şekil 4.5: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Stetson'ın (2000) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir. 40

Şekil 4.6: NGC 2818 açık kümesinin $V = 20$ görünen limit parlaklığı için oluşturulmuş yıldız yoğunluk profilli. Kırmızı sürekli çizgi King modeli fitini göstermektedir. 42

Şekil 4.7: NGC 2818 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) $V \times V\text{-}I$ 43

Şekil 4.8: NGG 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlemleri yapılan yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Sürekli çizgilerden altaki eğri kümeye fit edilen Sung ve diğ.'ne (2013) ait ZAMS eğrisini, üstteki eğri ise çift yıldız etkisi dikkate alınarak 0.75 kadir parlaklaştırılan ZAMS eğrisini göstermektedir. İçi dolu kırmızı daireler kümenin en olası üyelerini ($P \geq \%50$), içi boş daireler de küme doğrultusundaki diğer yıldızları göstermektedir. 45

Şekil 4.9: $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramının dönüm noktasının altında, iki ZAMS çizgisi arasında kalan ve dönüm noktası üzerindeki tüm yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının frekans dağılımı. 45

Şekil 4.10: NGC 2812 açık kümesinin $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramı. Kümenin anakolunda yer alan ve kümeye üyelikleri $P \geq \%50$ olan yıldızlar gri daire ile Sung ve diğ. (2013) ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yeşil çizgiler renk artıklarının $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir. 47

Şekil 4.11: NGC 2818 açık kümesindeki 27 anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki-renk diyagramı (üst panel) ve renk indeksi $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ kadire kalibre edilmiş UV artık değerlerinin frekans dağılımı (alt panel). 48

Şekil 4.12: NGC 2818 açık kümesinin (a) $V \times U\text{-}B$ (b) $V \times B\text{-}V$ (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları ve PARSEC eş-yaş eğrileri. Kırmızı daire kümeye üyelik olasılığı $P \geq \%50$ olan yıldızları, gri daire küme doğrultusundaki kaynakları, mavi düz çizgi en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler ise yaş tayinindeki belirsizlikler sonucu hesaplanan eş-yaş eğrisi aralıklarını göstermektedir. 50

Şekil 4.13: NGG 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlemleri yapılan yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Kırmızı daire kümeye üyelik olasılığı $P \geq \%50$ olan yıldızları göstermektedir. Diyagram üzerinde görülen kesikli çizgiler kümenin en olası KY yıldızlarını göstermektedir. 52

Şekil 4.14: NGC 2818 açık kümesinin anakol bandında yer alan ve kümeye üyeliği $P \geq \%40$ olan yıldızlardan oluşturulan kütle fonksiyonu. Kırmızı çizgi kütle fonksiyonuna yapılan doğrusal fiti, kesikli çizgi Salpeter'in (1955) $x = 1.35$ eğimini göstermektedir. 54

Şekil 4.15: NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda gözlenen kaynakların V bandı görünen parlaklık histogramı. 55

Şekil 4.16: NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların parlaklık ve renk hatalarının V görünen parlaklığına göre dağılımları. 56

Şekil 4.17: Tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerin Sagar ve diğ. (2001) çalışmasındaki örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri panellerin sol üst köşesinde verilmiştir. 59

Şekil 4.18: NGC 3603 açık kümesinin V=20 görünen limit parlaklığı için oluşturulmuş yıldız yoğunluk profili. Kırmızı düz çizgi King modeli fitini göstermektedir. 60

Şekil 4.19: NGC 3603 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) $V \times V\text{-}I$ 61

Şekil 4.20: NGC 3603 açık kümesinin farklı sınırlamalar ile oluşturulmuş $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları: (a)'da Küme doğrultusundaki tüm kaynaklar (gri daire), (b)'de küme merkezinden r = 1 yay dakikası uzaklık içindeki kaynaklar (mavi daire) ve (c)'de bir önceki panel üzerine tayfsal çalışmaları Melena ve diğ.'den (2008) alınan erken tayf türündeki 23 yıldız (kırmızı daire), Dias ve diğ.'den (2014) kümeye üyelik olasılığı $P \geq$%50 olan yıldızlar (mavi çarpı sembolü) ile Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi (yeşil düz çizgi) ve anakol bandı (yeşil kesikli çizgi) gösterilmiştir. 62

Şekil 4.21: Q yöntemiyle renk artıkları hesaplanan 28 yıldızın $E(B\text{-}V)$ frekans dağılımı. Kırmızı çizgi dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir. 64

Şekil 4.22: NGC 3603 açık kümesinin ağır element bolluğunun belirlenmesinde kullanılan $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları. Küme merkezinden r = 1 yay dakikası uzaklık içindeki kaynaklar gri daire, tayfsal çalışması bulunan yıldızlar kırmızı daire sembolüyle, kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızlar ise mavi çarpıyla gösterilmiştir. Panellerde üç farklı ağır element bolluğu ve üç farklı eş-yaş eğrisi kullanılmıştır.....66

Şekil 4.23: NGC 3603 açık kümesinin (a) $V \times U\text{-}B$ (b) $V \times B\text{-}V$ (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları ve PARSEC eş-yaş eğrileri. Semboller her panelde açıklanmıştır.....68

Şekil 4.24: NGC 3603 açık kümesinin anakol bandında bulunan yıldızlardan oluşturulan kütle fonksiyonu. Kırmızı çizgi kütle fonksiyonuna yapılan doğrusal fiti, kesikli çizgi Salpeter'in (1955) x = 1.35 eğimini göstermektedir.....69

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Farklı ışıma gücü sınıfından yıldızların kızarmadan arındırılmış *B-V*, *U-B* ve *V-I* renkleri ve *V* parlaklıkları (Sung ve diğ., 2013). 13

Tablo 3.1: Landolt'un (2009) çalışmasından seçilen 17 standart yıldız alanının isimleri ve 2000 epoğundaki merkezi ekvatoral koordinatları. 18

Tablo 3.2: NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin gözlem kayıtları. 21

Tablo 3.3: Çalışmamızda hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ile gecelik sabitler. 25

Tablo 4.1: NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki yıldızların *V* parlaklığına göre ortalama fotometrik hataları. Burada *N,* görünen parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır..... 35

Tablo 4.2: NGC 2818 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreler. 49

Tablo 4.3: NGC 2818 açık kümesinin aday KY yıldızlarının ekvatoral koordinatları (J2000), *V*, *B-V* ve *V-I* parlaklık ve renk indeksleri, *P* kümeye üyelik olasılığı ile iki farklı uzaklık kalibrasyonu sonucunda hesaplanan M_V ve *d* mutlak parlaklık ve uzaklık değerleri. 53

Tablo 4.4: NGC 3603 açık kümesi doğrultusundaki yıldızların görünen *V* parlaklığına göre ortalama fotometrik hataları. Burada *N,* görünen parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır. 56

Tablo 4.5: NGC 3603 açık kümesinde tayfsal (Melena ve diğ., 2008) ve fotometrik (bu çalışma) verisi bulunan yıldızlardan hesaplanan *E*(*B-V*) renk artığı değerleri. 65

Tablo 4.6: NGC 3603 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreleri..... 67

Tablo 5.1: NGC 2818 açık kümesinin bu tez çalışmasında hesaplanan ve literatürde verilen astrofizik parametreleri..... 71

Tablo 5.2: NGC 2818 açık kümesinin merkezinde bulunan gezegenimsi bulutsunun literatürde verilen uzaklık değerleri..... 72

Tablo 5.3: NGC 3603 açık kümesinin bu tez çalışmasında hesaplanan ve literatürde verilen astrofizik parametreleri..... 74

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

A_V : *V* bandındaki sönümleme miktarı (kadir)
b : Galaktik enlem (derece)
d : Uzaklık (*pc*)
$B\text{-}V$: *B*-*V* renk indeksi (kadir)
C : Gecelik sabit
$E(B\text{-}V)$: *B*-*V*'ye ait renk artığı (kadir)
$E(U\text{-}B)$: *U*-*B*'ye ait renk artığı (kadir)
$E(V\text{-}I)$: *V*-*I*'ye ait renk artığı (kadir)
$E(V\text{-}R)$: *V*-*R*'ye ait renk artığı (kadir)
f : Morötesi artığının *B*-*V*=0.6 rengine kalibrasyonunda kullanılan sabit
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 : Galaktik boylam (derece)
$\log(r_t/r_c)$: Kümenin merkezi yoğunlaşma oranı
$M_\odot$: Güneş kütlesi
[M/H] : Ağır element bolluğu
M_V : Mutlak parlaklık (kadir)
n_c : Normalize edilmiş alan yıldız sayısı
n_f : Normalize edilmiş küme yıldız sayısı
r : *r* bandı âletsel kadiri
r_c : Kümenin etkin yarıçapı
t : Küme yaşı (yıl)
T_{eff} : Etkin sıcaklık
u : *u* bandı âletsel kadiri
$U\text{-}B$: *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 kütlesi değeri
X, Y	: CCD görüntüsü üzerindeki kaynakların piksel koordinatları
Z	: Ağır element bolluğu
Å	: Angström
α	: Standart sisteme dönüşüm katsayısı
α_{2000}	: Sağ açıklık
δ_{2000}	: Dik açıklık
δ	: Morötesi fazlalık (kadir)
$\delta_{0.6}$	: 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
ε_{xi}	: Bir yıldızın x doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
ε_{yi}	: Bir yıldızın y doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
γ	: Korelasyon katsayısı
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
e^-	: Elektron
DFOSC	: Danish Faint Object Spectrograph and Camera
Gyıl	: 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
Myıl	: Milyon yıl
pc	: Parsek
PSF	: Point Spread Function
SExtractor	: Software for source extraction
sn	: Saniye
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WEBDA	: Base Donnees Amas'dan (BDA) elde edilen web tabanlı veri merkezidir.
ZAMS	: Zero Age Main Sequence (Sıfır Yaş Anakolu)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NGC 2818 VE NGC 3603 AÇIK KÜMELERİNİN FOTOMETRİK ANALİZİ

Hakan ÜRGÜP

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selçuk BİLİR

NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin 9 ve 25 Mart 2014 tarihlerinde, ESO'nun La Silla yerleşkesindeki 1.54 m ayna çaplı Danimarka teleskobuyla yapılmış olan CCD *UBVRI* gözlemleri kullanılmıştır. Bu tezde, Bu fotometrik veriler kullanılarak kümelerin yapısal ve astrofiziksel parametreleri belirlenmiş ve literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Literatürde ilk kez NGC 2818 açık kümesinin yapısal parametreleri bu çalışmayla elde edilirken, NGC 3603 için hesaplanan parametre değerleri literatür ile uyumlu bulunmuştur. Kümelerin astrofiziksel parametreleri bağımsız yöntemler ile tayin edilmiş ve yaş değerleri daha duyarlı bir şekilde belirlenmiştir. NGC 2818 açık kümesinin hesaplanan astrofiziksel parametreleri $E(B\text{-}V) = 0.18 \pm 0.03$ kadir, $\mu = 13.06 \pm 0.07$ kadir, [Fe/H] = -0.18 ± 0.02 dex ve $t = 1 \pm 0.2$ Gyıl ve NGC 3603 kümesinin parametreleri ise $E(B\text{-}V) = 1.42 \pm 0.04$ kadir, $\mu = 18.89 \pm 0.15$ kadir, [Fe/H] = 0.00 dex ve $t = 7^{-6}_{+3}$ Myıl'dır. Ayrıca, NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin başlangıç kütle fonksiyonları da, sırasıyla, $x = 1.21 \pm 0.21$ ve $x = 1.26 \pm 0.47$ olarak elde edilmiş olup Güneş civarı için verilen $x = 1.35$ değeriyle uyumludur.

Mayıs 2018, 99 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yöntemler: gözlemsel, iki-renk ve renk-parlaklık diyagramları, açık kümeler ve oymaklar: NGC 2818 ve NGC 3603

SUMMARY

M.Sc. THESIS

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF OPEN CLUSTERS

NGC 2818 AND NGC 3603

Hakan ÜRGÜP

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Selçuk BİLİR

CCD *UBVRI* photometric observations of open stellar clusters NGC 2818 and NGC 3603 were obtained on 9th and 25th of March 2014 in ESO's La Silla settlement with Danish telescope whose primary mirror has a diameter of 1.54 m. Structural and astrophysical parameters of clusters were estimated using these photometric data and those parameters were compared with other studies in the literature. While the structural parameters of NGC 2818 were obtained for the first time in the literature within the frame of the thesis, the calculated parameter values for NGC 3603 were in agreement with these in the literature. Astrophysical parameters of clusters were estimated by independent methods and ages of clusters were measured. Astrophysical parameters of NGC 2818 cluster were calculated, as $E(B\text{-}V) = 0.18 \pm 0.03$ mag, $\mu = 13.06 \pm 0.07$ mag, [Fe/H] = -0.18 ± 0.02 dex and $t = 1 \pm 0.2$ Gyr, whereas for NGC 3603 the parameters are $E(B\text{-}V) = 1.42 \pm 0.04$ mag, $\mu = 18.89 \pm 0.15$ mag, [Fe/H] = 0.00 dex and $t = 7^{-6}_{+3}$ Myr. The initial mass functions estimated for NGC 2818 and NGC 3603 are $x = 1.21 \pm 0.21$ and $x = 1.26 \pm 0.47$, respectively. These values agree with $x = 1.35$, which is given for the Solar neighbourhood.

May 2018, 99 pages.

Keywords: Methods: observational, two-colour and colour-magnitude diagrams, open clusters and associations: NGC 2818 ve NGC 3603

1. GİRİŞ

Açık kümelerin incelenmesinde, yaygın olarak geniş bant fotometrisi kullanılır. Açık kümelerin çok renk fotometrik gözlemlerinde *UBVRI* bantları kullanılarak küme doğrultusundaki yıldızların renk artıkları büyük bir doğrulukla belirlenebilir. Özellikle orta tayf türünden F ve G anakol yıldızlarının metal bollukları morötesi artıklarının bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Metal bolluklarının tayininde Güneş'e en yakın, en duyarlı fotometrik ve tayfsal verilere sahip genç Hyades kümesi referans olarak kullanılır (Sandage 1969, Karaali ve diğ. 2003). Güneş civarındaki metalce fakir yıldızlar *UBV* fotometrik sisteminde çizilen iki-renk diyagramlarında zengin yıldızlara göre daha büyük morötesi artığı gösterir. Bu morötesi artığı dikkate alınarak yıldızların metal bollukları belirlenir. Özellikle sönük yıldızlar için çok etkili olan bu yöntem fotometrik metal bolluğu tayini olarak bilinir. Çalışmamızda kümeye üyelikleri astrometrik yöntem ile belirlenecek olan F ve G yıldızları için hesaplanacak morötesi artık değerleri, tayfsal metal bolluklarına göre kalibre edilmiş bağıntılar yardımıyla metal bolluklarına çevrilecektir. Çok sayıda yıldızdan yapılacak bu işlem bir frekans analiziyle kümenin ortalama metal bolluğunun belirlenmesini de sağlayacaktır. Bu durum, bir kümenin metal bolluğunun birkaç yıldızın tayfsal çalışmasından tahmin edilmesine göre daha duyarlı sonuç verir. Çünkü fotometrik yöntemde çok sayıda yıldız kullanılır. Ayrıca, çalışmamızdaki yıldızların fotometrik ölçüm hassasiyetlerinin de 0.01 kadirden az olması beklenmektedir.

Açık kümelerin uzaklıkları da anakol çakıştırma yöntemiyle duyarlı bir şekilde belirlenebilir. Çok renk fotometrisiyle yapılan çalışmalarda farklı renk-parlaklık diyagramları oluşturulduğundan, her bir diyagramdan elde edilecek uzaklık modülleri kümenin ortalama uzaklığının daha duyarlı şekilde belirlenmesine olanak sağlar. Uzaklık hataları fotometrinin iç hatalarından kaynaklanacağı için daha duyarlı fotometrik ölçümler daha duyarlı uzaklık ölçümleri yapılması imkânı verir. Çalışmamızda da gözlemsel hedefimiz, inceleyeceğimiz açık kümenin özellikle sönük anakol yıldızları için şimdiye kadar yapılmış en duyarlı fotometrik ölçümlerini elde etmektir.

Farklı evrim aşamalarında olsalar bile açık küme yıldızlarının yaşları birbirine yakın olduğundan, yıldız evrimi kuramları konusunda çalışan astrofizikçilerin geliştirmiş oldukları eş-yaş eğrilerinin kümenin renk-parlaklık diyagramıyla çakıştırılması sonucunda kümenin ortalama yaşı belirlenebilir. Son 20-30 yılda bu tür çalışmalarda önemli gelişmeler olmuştur. Öncelikle geçmişte tek metal bolluğu için üretilen eş-yaş eğrilerinin yerini çeşitli metal bollukları için üretilenler almıştır. Ayrıca geçmişte parlak yıldızlarla sınırlı kalan renk-parlaklık diyagramları, yüksek kuantum verimli alıcıların kullanılmasıyla kümelerin daha sönük yıldızlarını da içermeye başlamıştır. Bu durum, açık kümelerin astrofiziksel parametrelerinin daha duyarlı şekilde ölçülebilmesi için yeni gözlemlerin yapılarak verilerin analiz edilmesi gereğini doğurmuştur. Böylece, modellerin öngörülerinin duyarlı ölçümlerle irdelenmesi mümkün olmuştur. Fakat araştırmacılar bu karşılaştırmaları genellikle elle yaptıkları için, sonuçların yanlı olma riski bulunmaktadır. Bu tür kuşkuların bertaraf edilmesi için, son 10 yıl içinde astrofiziğin değişik konuları içinde yer alan Bayesian istatistik kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, incelenen her kaynağın konumunun yanı sıra ölçüm hatalarını da dikkate alır. Böylece, binlerce eş-yaş eğrisiyle karşılaştırma sonucunda bir olasılık dağılımından belirlenen yaş, bu olasılık dağılımının modu ve en muhtemel yaş değeridir.

Aynı molekül bulutundan oluşan bir açık kümedeki yıldızlar, Galaksi'deki açısal momentumlarından dolayı, oluşum aşamasındaki görünür konumları bakımından neredeyse aynı uzay hızına ve belirli bir yönelim noktasına sahiptirler. Zamanla pertürbasyonlar sonucu hız ve yönelimlerde bir miktar değişim meydana gelse de, bu özellik alanda bulunan ve kümeye üye olmayan yıldızlarla küme yıldızlarının ayırt edilmesinde kullanılabilir. Fakat bu işlemin yapılabilmesi için en az on yıllarca süren dönemleri kapsayan gözlemlere ihtiyaç vardır. Çünkü bu yöntemle kümeye üyelik olasılıkları belirlenecek yıldızların öz hareketlerinin biliniyor olması şarttır. Görünen parlaklıklara göre tesbit edilecek bu yönelim farklılıkları, incelenen küme doğrultusundaki kaynakların kümeye üyelikleri hakkında daha kesin bilgiler verecektir. Uzay hızlarının tayininde tayfsal çalışmalardan elde edilecek radyal hız verisine ihtiyaç olduğundan ve yeterli tayfsal veri bulunmadığından, bu çalışmada tüm kaynaklar için öz hareket bileşenleri dikkate alınarak en olası küme üyeleri belirlenecektir. Bu yıldızların üyelik ihtimallerine göre ağırlık verilerek açık kümelerin, kızarma, uzaklık modülü, fotometrik metal bolluğu ve yaşı tayin edilecektir.

Bu tez çalışmasında, Avrupa Güney Gözlemevi'nin (ESO) La Silla yerleşkesinde yer alan 1.54 m'lik Danimarka teleskobuyla elde edilmiş gözlemsel veriler incelenerek, NGC 2818 (Şekil 1.1) ve NGC 3603 (Şekil 1.2) açık kümelerinin CCD *UBVRI* fotometrik analizleri yapılmış ve kümelerin yapısal ve astrofiziksel parametreleri gelişmiş yöntemler kullanılarak duyarlı bir şekilde incelenmiştir.



Şekil 1.1: Küme merkezinde küme ismiyle de bilinen bir gezegenimsi bulutsu barındıran NGC 2818 açık kümesinin renkli bir görüntüsü[1].



Şekil 1.2: Yıldız oluşum bölgesinin içinde yer alan NGC 3603 açık kümesinin *Hubble Uzay Teleskobu*'yla alınmış renkli bir görüntüsü[2].

[1] http://www.southastrodel.com/PageNSP25.htm
[2] http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2007/34/image/a/format/large_web

2. GENEL KISIMLAR

Galaksimizin spiral kollarının iç kısımlarında bulunan açık kümeler genellikle genç, parlak ve sıcak yıldızlardan oluşurlar. Çoğu açık kümenin iç ve dış kısımlarında görülen gaz ve toz, yıldız oluşumundan arta kalan maddeyi gösterir. Galaktik düzlem civârında yıldız oluşumu devam ettiğinden açık kümelerin evrimleri halen sürmektedir. Kümedeki yıldızlar birbirleri etrafında dolanır ve karşılıklı çekimsel kuvvetlerden etkilenir. Ayrıca molekül bulutlarının 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 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 GÖZLEMLERİ

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. 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.

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, bunların belirlenmesi 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 sağlar. Kümelerin yaş, kızarma, uzaklık gibi astrofiziksel parametreleri birçok yıldızdan belirlendiği için bu tür nicelikler duyarlı şekilde elde edilirken, alan yıldızları için aynı duyarlılıkla hesaplanamaz. Kümelerin iki-renk diyagramları ve renk-parlaklık diyagramlarının eş-yaş eğrileriyle birlikte analizi sonucunda temel astrofiziksel parametreleri hesaplanabilir.

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[3]. İlk kez 1980'li yılların başlarında, literatürde bağımsız yayımlanan açık kümelerin temel parametreleri derlenerek bir araya getirilmiş bir katalog olarak literatürde yer almıştır. Geçen yıllar içinde katalog farklı zamanlarda güncellenerek 1987 yılında beşinci sürümüyle birlikte 1,151 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 geliştirmiştir. Bu çalışmada çok sayıda gözlemsel verisi olan kümelere farklı ağırlıklar verilmiş ve Galaktik metal bolluğu gradyenti, küme yaşı ve küme boyutu konuları üzerinde ayrıntılı analizler yapılmıştır.

Mermilliod ve diğ. (2008), Galaktik açık kümeler için Base Donnees Amas'dan (BDA) elde edilen web tabanlı bir veri merkezi oluşturmuşlardır (WEBDA[4]). Bu veri tabanı kümelerden elde edilen yaş, uzaklık, kızarma, metal bolluğu ve küme doğrultusundaki alan yıldızlarının

[3] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=VII/92A
[4] http://www.univie.ac.at/webda/

fotometrik ve tayfsal ölçümlerini içerir. WEBDA, birçok fotometrik sistemde gözlemi yapılan küme yıldızlarının fotometrik verilerini, tayf türünü, radyal ve rotasyon hızlarını, üyelik olasılıklarını, konumlarını, yayımlanmış verilerin kaynakçalarını ve diğer çalışmalar ile karşılaştırmalarını içeren bir veri tabanıdır. Küme özelliklerinin birçok kapsamlı 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 tabanını derleyerek güncel bir katalog yayımlamıştır. *Optik Olarak Görünen Açık Kümeler ve Adayları* isimli Dias ve diğ. (2002) tarafından yayımlanan katalog günümüze kadar üç farklı veri sürümüyle içeriğini zenginleştirmiştir. Bu kataloğun en güncel hâli 28 Ocak 2016 tarihinde yayımlanan V3.5 sürümü olup toplam 2,167 açık küme içermektedir[5]. Katalogdaki 1,970 açık kümenin (%90.9) uzaklık, renk artığı ve yaşı bilinmektedir. Güncel katalogda açık kümelerin %99.7'sinin görünen çapları, %74.5'inin uzaklıkları, $E(B\text{-}V)$ renk artıkları ve yaşları listelenmiştir. Kinematik hesaplamalar için gerekli olan öz hareket, uzaklık ve radyal hız verileri dikkate alındığında katalogdaki açık kümelerin %54.7'sinin öz hareketi, %25'inin radyal hızı ve %24.2'sinin her iki parametresi de belirlenmiştir.

2.2. AÇIK KÜMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE DİNAMİK EVRİMLERİ

Açık kümeler az sayıda yıldız barındıran düzensiz biçimlerde görünebilecekleri gibi birkaç on bin yıldız barındıran kalabalık, yoğun ve nispeten küresel biçimlerde de görünebilir. 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 gösterdi. 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.

[5] http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR-3?-source=B/ocl/clusters

Açık kümelerdeki yıldızların hız dispersiyonları birkaç km/sn 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/sn hesaplamıştır. 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 hıza göre daha büyük olacağından, açık kümenin hız dispersiyonu yapay 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/sn'dir. Fakat bu hız dispersiyonunun çözümlenmemiş çift yıldız popülasyonunu da içerebileceğini dikkate alan araştırmacılar, kümenin hız dispersiyonunun 0.23 km/sn kadar artmış olabileceğini ifade etmişlerdir. Kümedeki çözümlenmemiş çift yıldız etkileri de dikkate alındığında radyal hız dispersiyonu hemen hemen eş ısısal radyal bir dağılım gösterir.

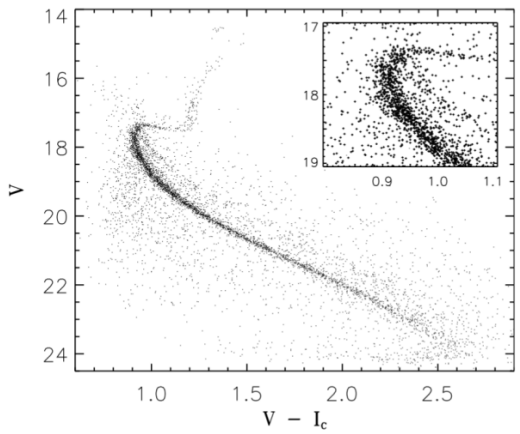
Kümelerin üye yıldızlarının belirlenmesi zor olduğundan ve gözlemsel ışıma gücü fonksiyonlarının hesaplanmasına sınırlamalar getirildiğinden açık kümelerin kütlelerini tayin etmek güçtür. Kütle tâyininde öncelikle kümelerin açısal büyüklükleri belirlenir. Tipik bir açık kümenin çapı yaklaşık 5 pc'tir. 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 belirlenebilir. 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 ayrımı yapılamadığı ve düşük kütleli yıldızların azaldığı merkezi bölgelere ağırlık verildiğinden açık kümelerin kütlelerinin belirlenmesi karmaşık bir hal alır.

2.3. AÇIK KÜME ANALİZLERİNDE KULLANILAN TEMEL DİYAGRAMLAR

Açık kümeler üzerine yapılan fotometrik çalışmalarda renk–parlaklık ve iki–renk diyagramları kullanılarak kümelere üye yıldızlar ve kümelerin temel astrofizik parametreleri belirlenebilir. Bu diyagramlar kümenin evrim durumunun belirlenmesinin yanı sıra çift yıldızların sayısı, aykırı yıldızların varlığı, ışıma gücünün doğası, kütle fonksiyonu, kızarma, uzaklık ve metal bolluğu gibi temel astrofiziksel parametrelerin tayininde de kullanılır.

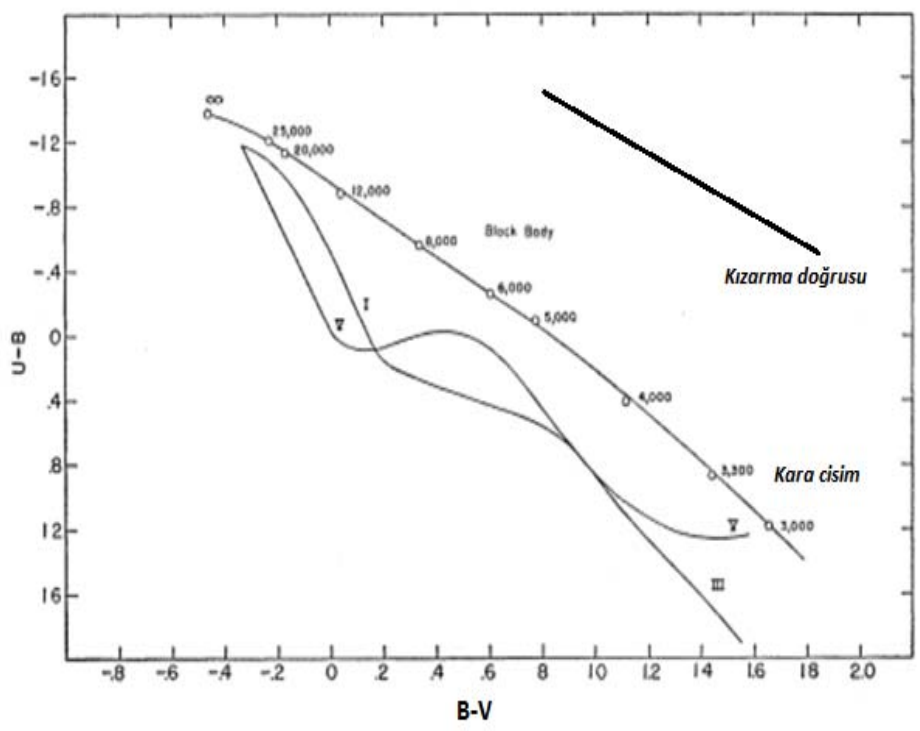
Metal bolluğu açısından bilinen en zengin ([Fe/H] = +0.30±0.15 dex) ve yaklaşık τ = 8.0±0.5 Gyıl yaşındaki NGC 6791 açık kümesinin $V \times V\text{-}I_c$ renk-parlaklık diyagramı Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Bruntt ve diğ., 2003). Kümenin anakolu, alt dev ve dev kolu ile anakolun dönüm noktası ve küme doğrultusunda gözlenen alan yıldızları Şekil 2.1'den kolaylıkla görülmektedir. Çekirdeklerinde helyum yakan kırmızı yığın yıldızları da diyagramın yaklaşık (V, $V\text{-}I_c$) = (14.5, 1.35) kadir bölgesinde bulunmaktadır. Kümenin çift yıldızları anakolun üstünde yaklaşık 0.75 kadirlik bir bölge içinde bulunmaktayken, anakolun altında büyük bir saçılma gösteren yıldızlar ise alan yıldızlarıdır. Ayrıca kümenin dönüm noktasının hemen üstünde mavi aykırı yıldızlar da görülmektedir.



Şekil 2.1: NGC 6791 açık kümesinin $V \times V\text{-}I_c$ renk-parlaklık diyagramı (Bruntt ve diğ., 2003).

Açık kümelerin renk-parlaklık diyagramlarının çoğunda anakol NGC 6791 kümesindeki gibi belirgin görünmez. Galaktik düzleme yakın ve nispetten yaşlı olan kümeler alan yıldızlarının etkisi altında neredeyse fark edilemez. Böyle bir açık kümenin anakolu kalabalık alan yıldızlarıyla karışmıştır. Kalabalık alanlara getirilecek istatistiksel sınırlamalar küme anakolunun alan yıldızlarından ayrılmasına olanak verir. Gökyüzünde geniş alan kaplayan açık kümelerde üye yıldızlar küme merkezinden itibaren büyük uzaklıklara kadar tespit edilebilir. Bunun için küme merkezinden farklı uzaklıklarda bulunan yıldızların renk-parlaklık diyagramları oluşturulur ve küme doğrultusu için sentetik renk-parlaklık diyagramları çizilerek gözlemsel olanlarla karşılaştırılır.

Küme çalışmalarında kullanan bir başka renk düzlemi ise iki-renk diyagramlarıdır. Optik bölge tanımlı *UBV* bantları kullanılarak küme yıldızlarının kızarma, mutlak parlaklık ve metal bolluğu gibi temel parametreleri belirlenebilir. *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramları üzerine gözlemsel sıfır yaş anakolu, farklı ışıma gücünde bulunan yıldızların kolları, kızarma ve kara cisim doğruları işaretlenerek kümelerin temel parametreleri gözlemsel verilerden itibaren hesaplanabilir. Bu nicelikler Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Arp, 1961).



Şekil 2.2: Farklı ışıma gücü sınıfında bulunan yıldızların anakolunun kızarma ve kara cisim doğrularının gösterildiği *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı (Arp, 1961).

Galaksi diskinde yoğunlaşan yıldızlararası ortam, fotometrik gözlemlerde kaynakların parlaklıklarında sönümlemeye, renklerinde ise kızarmaya yol açar. Kızarma tayininde birçok iki-renk diyagramı kullanılmasına rağmen $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramı en iyi sonuç veren ve en çok kullanılan diyagramdır. Yoğun kızarmaya maruz kalan yıldızlar Şekil 2.2'de gösterilen kızarma doğrusu boyunca bir kayma gösterir ve bu kayma miktarı kızarma miktarıyla doğru orantılıdır. Kızarmış yıldızlar kızarmamış anakolu temsil eden eğriyle kızarma doğrusu boyunca uyum sağlanana kadar kaydırılarak yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılır, böylece $E(B\text{-}V)$ renk artığı tayin edilir.

$U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramına ait 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 etmiştir. 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 kullanmıştır.

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 hataların 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 uzaklıkları iyi bilinen iki standart küme bulunmaktadır. Bunlardan biri Güneş'e en yakın açık küme olan Hyades, diğeri de A tayf türüne kadar anakol yıldızlarını içeren Pleiades (M45) açık kümesidir. Genç açık kümeler küme boyunca genelde farklı kızarma gösterirler; kızarmaları fazladır ve kızarma kanunları 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 Bessell (1999) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Optik renkler için oluşturulan en güncel ZAMS bağıntıları Sung ve diğ. (2013) tarafından üretilmiştir. Farklı ışıma gücündeki yıldızlar için ZAMS bağıntıları Tablo 2.1'de listelenmiştir.

2.4. AÇIK KÜMELERİN ASTROFİZİK PARAMETRELERİ

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 yıldızlararası ortama karışır. 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. (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. (2002) kataloğunda yaşı 15 Myıl'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 söylemektedir. 10 Myıl'dan daha genç olan oymakların bir açık küme meydana getirebilmesi ortamın dinamiğine ve Galaktik çevrelerine bağlıdır.

Janes ve diğ. (1988) yaşları yaklaşık 50 Myıl ve 1 Gyıl arasındaki kümeler için küme boyutuyla yaşları arasında bir uyumun olmadığını göstererek, kümelerin varlığını devam ettirebilmeleri için bir kütle ölçeği bulunmadığı sonucuna vardı. 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 Myıl ile 1.5 Gyıl aralığında bulunan kümelerin boyutları 15 ile 150 Myıl 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 Gyıldan 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. Küme doğrultusundaki 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.

Tablo 2.1: 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

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 tayininde 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 analizlerin 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.

2.5. AÇIK KÜMELERİN 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 Bulutsusu'nda 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. IMF'nin kabaca 0.6 $M_{\odot}$'ten 0.1 $M_{\odot}$'e kadar uzanan geniş tepesi, Orion Bulutsusu'nda 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.

Yaşlı kümelerdeki kütle fonksiyonunun evrenselliğinin araştırılmasında dinamik evrimin etkilerini anlamak ve var olan eksiklikleri tamamlamak önemlidir. 100 ile 700 Myıl 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 açık 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.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GÖZLEMLER

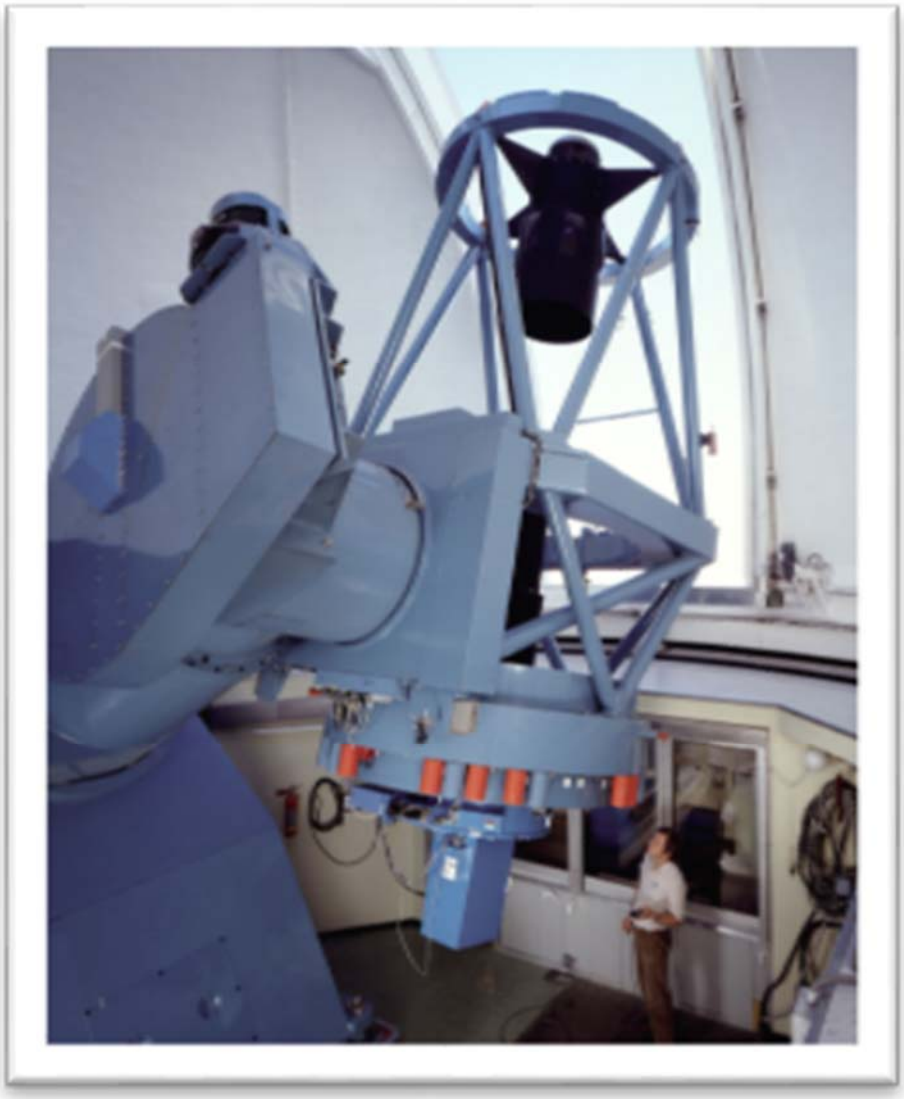
Tez çalışmasında incelenen NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin fotometrik gözlemleri Avrupa Güney Gözlemevi'nin (European Southern Observatory, ESO[6]), deniz seviyesinden 2,375 m yükseklikteki La Silla, Şili Yerleşkesi'nde bulunan Danimarka Teleskobu'yla, Bessell *UBVRI* filtreleri kullanılarak yapılmıştır. 1979 yılında Grubb-Parsons firması tarafından üretilen Danimarka teleskobu birinci aynası 1.54m çapında, *f*/8.6 odak oranında Ritchey-Chrétien optik bir düzeneğe sahiptir (Şekil 3.1). Teleskobun odak düzleminde DFOSC (*Danish Faint Object Spectrograph and Camera*) kamerası bulunmaktadır. Kamerada kullanılan E2V44-82 model yonga 2048×2048 piksel formatlı olup yongadaki piksellerin fiziksel boyutları 15 × 15 mikrondur. Teleskobun temel parametreleri ile birlikte bu yonga özellikleri, kamera için 0.396″/piksel'lik bir piksel ölçeği ve 13.7×13.7 yay dakikalık görüş alanı sağlamaktadır. DFOSC CCD kamerası -120^{o} C'a kadar soğutulabilmektedir. Kameranın dinamik aralığı 19.4 bit, Bias seviyesi 10,040 ADU civarındadır. Kara akım seviyesi çok düşük olduğu için dikkate alınmamaktadır. CCD kameranın büyük dinamik aralığı sayesinde teleskop, geniş bir parlaklık aralığındaki yıldızları tek bir görüntüyle alabilmektedir. Küme ve alan yıldızlarının gözlemlerindeki önemli ölçütlerinden biri olan görüş kalitesi bakımından La Silla yerleşkesi, Dünya'da en iyi yerlerden biridir. Uzun yıllar boyunca yerleşkeden yapılan fotometrik gözlemler sonucunda La Silla'nın ortalama görüş kalitesinin 0.4 ile 2.5 yay saniyesi arasında değiştiği görülmüştür[7]. Yerleşkenin 1990 ila 1992 yılları arasında farklı mevsimlerde yapılan fotometrik gözlemlerden hesaplanan ortalama görüş kalitesi 0.66 yay saniyesidir[8].

3.1.1. Standart Yıldız Alanı Gözlemleri

Fotometrik gözlemlerden hesaplanacak aletsel parlaklıkların standart fotometrik sisteme çevrilebilmesi için gözlem gecesine ait sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayılarının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle standart yıldız alanlarındaki kaynakların, farklı

[6] http://www.eso.org/public/
[7] https://www.eso.org/sci/facilities/lasilla/astclim/seeing.html
[8] http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.51.7359&rep=rep1&type=pdf

hava kütlelerinde, gözlem programlarındaki nesneler ile birlikte gözlemleri yapılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda tez çalışmasında açık kümelerin gözlendiği gecelerde Landolt'un (2009) standart yıldız alanları da gözlenmiştir. Yıldız alanlarının seçiminde standart yıldızların geniş bir renk aralığında olmasına özen gösterilmiştir. Bu kriterler altında gözlemleri yapılan 17 standart yıldız alanının listesi Tablo 3.1'de verilmiştir. Yıldız alanlarının 20, 27 Şubat, 2, 4, 5 Mart ve 2 Nisan 2013 ile 8, 11 Mart 2014 tarihlerinde çok renk fotometrisiyle gözlemleri yapılmıştır. Alanlarda parlaklık değişimi göstermeyen 99 standart yıldızın 542 farklı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Küme ve standart alan gözlemleri Bölümümüzün araştırmacılarıyla ortak çalışmalar yapan Dr. Ernst Paunzen ve ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: ESO'nun La Silla yerleşkesinde bulunan Danimarka teleskobu.

Tablo 3.1: Landolt'un (2009) çalışmasından seçilen 17 standart yıldız alanının isimleri ve 2000 epoğundaki merkezi ekvatoral koordinatları.

Standart Yıldız Alanı	α (hh:mm:ss)	δ (dd:mm:ss)
SA95	03:54:27	+00:13:48
SA95 SF3	03:53:35	-00:01:07
SA98	06:52:04	-00:19:27
SA98 SF1	06:51:59	-00:22:50
SA98 SF2	06:52:21	-00:18:38
SA101	09:56:35	-00:29:46
SA101 SF2	09:56:09	-00:27:36
SA104	12:43:10	-00:33:59
SA107	15:38:49	-00:13:29
SA107 SF1	15:38:47	-00:20:48
SA107 SF2	15:39:05	-00:15:19
SA110 SF2	18:42:50	+00:05:47
SA113	21:42:08	+00:22:31
SA113 SF1	21:40:53	+00:24:49
PG0918+029	09:21:32	+02:47:01
PG1047+003	10:50:08	-00:01:18
PG1323+086	13:25:52	-08:49:47

3.1.2. Açık Kümelerin Literatür Özeti ve Gözlemleri

Tez çalışmasında NGC 2818 ve NGC 3603 açık yıldız kümeleri fotometrik yöntemler ile incelenmiştir: NGC 2818[9] (α_{2000} = 09^h 16^m 02^s, δ_{2000} = -36^o 37′ 39″; l = 261°.983, b = +8°.584), Güneş'ten 1,855 pc uzaklıkta, orta yaşlı (t = 4.2×10^8 yıl) bir açık yıldız kümesidir (Şekil 3.2; sol panel). Kümenin en dikkat çeken yönü kümeyle aynı ismi paylaşan bir gezegenimsi bulutsu içermesidir. Kümenin ilk kapsamlı fotometrik ve tayfsal çalışması Tifft ve diğ. (1972) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmayla kümenin kızarması, uzaklığı ve yaşı belirlenmekle birlikte, kümeye üye iki yıldız ile gezegenimsi bulutsunun radyal hızları da hesaplanmıştır. Dufour (1984) bulutsunun detaylı bir tayfsal çalışmasını yaparak kümeye üyeliği üzerine tartışmalarda bulunmuştur. Pedreros (1989) NGC 2818 açık kümesinin ilk CCD *UBV* fotometrisini yaparak kümenin astrofizik parametrelerini yeniden elde etmiştir. Bu çalışmayla kümenin renk artığının $E(B\text{-}V)$ = 0.18 ± 0.03 kadir ve uzaklık modülünün $(V\text{-}M_V)_0$ = 11.8 ± 0.2 kadir olduğu gösterilmiştir. Benzer bir çalışma kümenin CCD *VRI* fotometrisini yapan Surendiranath ve diğ.'den (1990) gelmektedir. Surendiranath ve diğ. (1990) 2.3 m Vainu Bappu Teleskobu'nu kullanarak görünen parlaklığı $V \sim 21$ kadire kadar olan yıldızları incelemiş ve kümenin uzaklık modülünü $(m\text{-}M)_0$ = 11.9 ± 0.1 kadir ve yaşını da 5±1×10^8 yıl hesaplamıştır. Kümenin metal bolluğu değeri bilinmediği için, yaş tayini

[9] http://webda.physics.muni.cz/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=ngc+2818

sırasında kümenin Güneş bolluğunda olduğu kabul edilmiştir. NGC 2818 kümesi için hesaplanan bu yaş değeri kümede yer alan gezegenimsi bulutsunun ata yıldızı için bir alt sınır getirmiştir. Buna göre gezegenimsi bulutsuyu oluşturan ata yıldızın kütlesi $2.5M_{\odot}$'ten daha büyük olmalıdır. Mermilliod ve diğ. (2002) NGC 2818'in de içinde bulunduğu dört açık kümedeki kırmızı dev yıldızları araştırarak yıldızların çift oluşlarını ve kümeye üyeliklerini tartışmıştır. Literatür taramasından da görüleceği gibi kümenin güncel yöntemler kullanılarak yapısal ve astrofizik parametrelerinin belirlenemediği, buna karşın kümedeki gezegenimsi bulutsuya ait tayfsal çalışmalar bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, diğer astrofizik parametrelerin, kümenin yaş tayininde önemli bir parametre olan metal bolluğunun Güneş bolluğu değerlerinde olduğu kabul edilerek hesaplanmış olması, bu parametrelerin duyarlılığını azaltmaktadır. Bu hassasiyet sorununun azaltılması için çalışmamızda optik çok renk fotometrik gözlemleri yapılmıştır. Bu veriler duyarlı yöntemler ve güncel eş-yaş eğrileri kullanılarak analiz edileceğinden, kümenin astrofizik parametreleri arasındaki muhtemel dejenerasyonun kırılması beklenmektedir.

Çalışmamızda incelenecek ikinci küme olan NGC 3603[10] (α_{2000} = 11^{h} 15^{m} 07^{s}, δ_{2000} = -61° 15′ 36″; l = 291°.617, b = -0°.522), Güneş'ten 3,634 pc uzaklıkta ve çok genç ($t \cong 7\times10^{6}$ yıl) bir açık yıldız kümesidir (Şekil 3.2, sağ panel). NGC 3603 Galaksimizin Carina spiral kolunda yer alan, çevresindeki iyonize olmuş yıldız oluşum bölgesiyle tanınmaktadır. Bu nedenle yıldız oluşumuyla ilgilenen araştırmacıların oldukça ilgisini çekmektedir. Kümeyle ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Sher (1964, 1965) fotoelektrik verilere göre kalibre edilen fotoğraf plağı sonuçlarını analiz ederek, kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$= 1.42 ± 0.03 kadir ve Güneş'e uzaklığını yaklaşık 3.5 kpc hesaplamıştır. Moffat (1974) NGC 3603'ün 8.1 ± 0.8 kpc uzaklıkta yer aldığını göstermiştir. van den Bergh (1978) küme doğrultusundaki 22 yıldızın *UBV* fotoelektrik fotometrisini yaparak renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 1.37 ± 0.02 kadir, uzaklık modülünü de $(m\text{-}M)_0$ = 14.29 kadir olarak hesaplamıştır. Moffat (1983) küme doğrultusundaki görünen parlaklığı V = 13.2 kadirden parlak, kümeye üye yıldızların 1.4 Å çözünürlüklü tayfsal verilerini analiz ederek, incelediği yıldızların *BV* parlaklık ve renklerini dikkate almak yoluyla küme doğrultusundaki renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 1.44 ± 0.09 kadir ve kümenin uzaklığını d = 7 ± 0.5 kpc olarak hesaplamıştır. Melnick ve diğ. (1989) iyonize olmuş NGC 3603 açık kümesinin ilk CCD *UBV* fotometrisini

[10] http://webda.physics.muni.cz/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=ngc+3603

yaparak, $E(U\text{-}B)/E(B\text{-}V)$ renk artık oranının literatürde bilinen 0.72 değerinden biraz farklı şekilde 0.68 olduğunu bulmuş, kümenin uzaklık modülünü de $(m\text{-}M)_o = 14.3$ kadir olarak tayin etmiştir. Çalışmalarındaki uzaklık değerleriyle Moffat'ın (1983) sonuçları arasında iyi bir uyum bulunduğunu vurgulamış, kümenin yaşını da $2.5 \pm 2\times10^6$ yıl olarak hesaplamıştır. Moffat ve diğ. (1994) *Hubble Uzay Teleskobu*'nu kullanarak program yıldızlarından itibaren kümenin yapısal parametrelerinin araştırmasını yapmıştır. Drissen ve diğ. (1995) kümede üç Wolf-Rayet (WR) ve 50'ye yakın O tayf türü yıldız belirlemiştir. Harayama ve diğ. (2008) kümenin kütlesini yaklaşık 10^4 $M_\odot$ olarak tahmin etmiştir. Gelişen kızılötesi gözlemler sayesinde yapılan fotometrik analizler kümenin $1\text{-}3\times10^6$ yıl yaşında olduğunu göstermektedir (Eisenhauer ve diğ., 1998; Sung ve Bessell, 2004; Haramaya ve diğ., 2008). Kümenin dış kısımlarına doğru gidildikçe yıldız yaşlarının yaklaşık 5×10^6 yıla doğru arttığı görülmüştür (Sung ve Bessell, 2004). NGC 3603'ün derin *Hubble Uzay Teleskobu* gözlemlerini analiz eden Pang ve diğ. (2013), kümenin 1×10^6 yıl yaşında, başlangıç kütle fonksiyonu eğiminin ise literatürde verilen 1.35 değerinden oldukça küçük (0.88 ± 0.15) olduğunu göstermiştir.

Küme gözlemleri sırasında küme doğrultusundaki parlak ve sönük yıldızların kadirlerini yüksek sinyal/gürültü oranıyla elde etmek ve CCD piksellerinin doymasını önlemek için, her filtrede farklı sayıda ve farklı sürede pozlama yapılmaktadır. Fakat Danimarka Teleskobu'nda kullanılan CCD kameranın dinamik aralığı geniş olduğundan tek poz süresiyle parlak ve sönük yıldızların gözlemleri yeterli duyarlılıkla yapılabilmektedir. Tez kapsamında incelenen NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümeleri 9 ve 25 Mart 2014 tarihlerinde *UBVRI* filtreleriyle gözlenmiştir. Gözlemlere ait poz süreleri ve görüntü sayıları Tablo 3.2'de listelenmiştir.

Yıldız oluşum bölgesi içinde yer alan NGC 3603 açık kümesinin ön indirgemeleri yapıldığında *B*, *V*, *R* ve *I* filtrelerinde alınan görüntülerin doyma noktasına yakın bir sürede alındığı fark edilmiştir. Gözlemlerin yeniden yapılabilmesi için ESO Danimarka Teleskobu komisyonuna yeniden başvurulması gerekmektedir. Fakat yüksek lisans tez çalışması süresince böyle bir imkân bulunmadığından, tez çalışmasında NGC 3603 açık kümesinin CCD *UBVRI* filtrelerinde gözlemlerini yapan araştırmacıların literatürdeki yayınlarının taranmasına karar vermiştir. Literatür taraması sonucunda NGC 3603 açık kümesinin en güncel fotometrik verilerinin Sagar ve diğ.'nin (2001) çalışmasına ait olduğu ve bu araştırmacıların elde ettikleri fotometrik verilerin astronomların kullanımına açık olduğu görülmüştür. Sagar ve diğ. (2001) Güney Afrika Gözlemevi yerleşkesinde bulunan 1 m ayna

çaplı Elizabeth Teleskobu'nu[11] kullanarak *UBVRI* filtrelerinde yedi açık kümenin CCD fotometrik gözlemlerini yapmıştır. Araştırmacıların NGC 3603 açık kümesi için kullandıkları *UBVRI* filtrelerinde yaptıkları poz süresi ve görüntü sayıları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tez çalışmasında iki açık küme için ESO Danimarka ve Güney Afrika Gözlemevi Elizabeth Teleskoplarından farklı filtrelerde alınmış toplam 34 görüntü bulunmaktadır. Sagar ve diğ.'nin (2001) *UBVRI* parlaklıkları sayısal olarak literatürde paylaşıldığı için görüntülerin indirgemeleri yeniden yapılmamıştır. Bu çalışmadan NGC 3603 açık kümesinin 2.1 × 3.3 yay dakika karelik bir alanı çalışmamıza doğrudan ilave edilirken ESO Danimarka Teleskobu'ndan alınan 13.7 × 13.7 yay dakika karelik bölgenin, 2.1 × 3.3 yay dakika karelik merkezi kısmı çalışma dışı bırakılmıştır. Şekil 3.2'de kümelerin *V* filtresinde alınmış görüntülerin toplamı gösterilmiştir.

Tablo 3.2: NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin gözlem kayıtları.

			Filtre (poz süresi (s) × poz sayısı)				
Küme	**Teleskop**	**Tarih**	***U***	***B***	***V***	***R***	***I***
NGC 2818	Danimarka	09.03.2014	600 × 2	120 × 2	60 × 2	60 × 2	60 × 2
NGC 3603	Danimarka	25.03.2014	90 × 2	40 × 2	30 × 2	30 × 2	30 × 2
	Elizabeth	28.02.1992	90 × 1 300 × 1	40 × 1 120 × 1 900 × 1	20 × 3 600 × 1	20 × 2	20 × 1 60 × 1 600 × 1

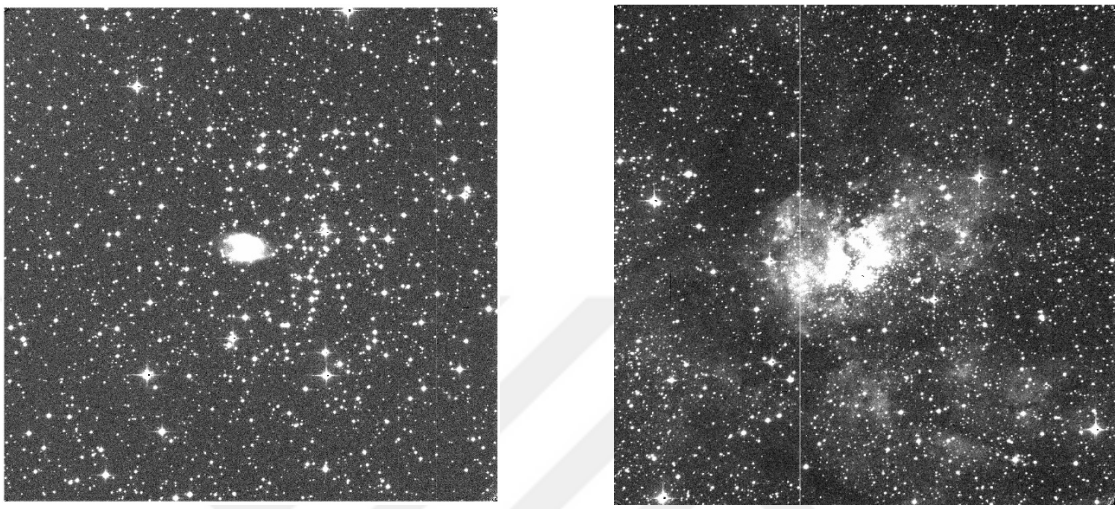
NGC 3603 açık kümesinin en güncel tayfsal çalışması Melena ve diğ. (2008) tarafından yapılmıştır. Melena ve diğ. (2008) literatürden fotometrik ve tayfsal verisi olan 50 yıldızı çalışma programlarına alarak 6.5 m Magellen Teleskobu'na bağlı Inamori Magellan Areal Kamera ve Tayfçeker isimli odak düzlemi cihazını kullanmışlardır. 26 yıldızın gözlemleri tayfsal olarak yapılmış ve yıldızların tayf türleri, tayfsal paralaksları ve atmosfer model parametreleri literatüre kazandırılmıştır. Analizleri sonucunda kümenin Güneş'e uzaklığı d = 7.6 kpc ve renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 1.39 kadir olarak belirlenmiştir.

3.2. CCD KALİBRASYONLARI

Teleskop ve ona bağlı ekipmanlar yapılan gözlemlerin sonuçlarını etkiler, bu nedenle CCD kameralarıyla alınan görüntüler sistematik hatalar içerir. Duyarlı parlaklıkların elde edilebilmesi için bu sistematik hataların standart yöntemler takip edilerek giderilmesi

[11] https://www.saao.ac.za/science/facilities/telescopes/1-0m/

gerekmektedir. CCD verilerinin bias ve flat düzeltmeleri gözlem gecelerinde alınmış kalibrasyon görüntüleri ve standart IRAF[12] yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan CCD kameranın kara akımı (dark current) çok düşük olduğundan kara akım düzeltmesi yapılmamıştır.



Şekil 3.2: NGC 2818 (sol panel) ve NGC 3603 (sağ panel) açık kümelerinin *V* filtresinde alınmış görüntüleri.

3.3. KÜME ALANLARININ ASTROMETRİSİ VE FOTOMETRİSİ

NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin *UBVRI* filtrelerinde alınmış görüntüleri üzerinde ön indirgeme işlemleri yapıldıktan sonra görüntülerdeki nesnelerin koordinatlarını belirleyebilmek için astrometrik kalibrasyonlar yapılmıştır. CCD görüntülerinde belirlenen kaynaklar USNO A2.0 Kataloğu'ndaki yıldızlar ile eşleştirilmiş ve IRAF *ccmap* programıyla görüntülerin astrometrik kalibrasyonları yapılmıştır. Böylece görüntülerde tespit edilen her bir kaynağın piksel koordinatları, ekvatoral koordinatlara dönüştürülmüştür. *PYTHON* programlama dilinde hazırlanan özel bir yazılım ile astrometrik kalibrasyonu yapılan her görüntüdeki her yıldızın, diğer görüntülerde de aynı piksel koordinatlarında olmaları sağlanmıştır.

NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin CCD görüntüleri üzerinde yapılan tüm indirgeme ve ölçümler, *PYTHON*[13] ve *IDL*[14] programlama dilleri kullanılarak geliştirilmiş olan

[12] IRAF: image reduction and analysis facility (Görüntü indirgeme ve analiz programı). Program Ulusal Optik Astronomi Gözlemevleri tarafından hazırlanmıştır.
[13] *https://www.python.org/*
[14] http://www.harrisgeospatial.com/ProductsandSolutions/GeospatialProducts/IDL.aspx

yazılımlar ve *IRAF*, *PSFex*[15] programlarıyla analiz edilmiştir. Farklı filtrelerde alınmış görüntülerin analizinde şu adımlar izlenmiştir:

1. Her bir görüntüde belirlenen kaynaklar önce USNO A2.0 Kataloğu'nun aynı alanındaki yıldızlarıyla eşleştirilmiş ve *IRAF CCMAP* programıyla görüntülerin astrometrik düzeltmeleri yapılmıştır.

2. Astrometrik düzeltmesi yapılmış her bir görüntü birbirine göre piksel piksel hizalanmış ve böylece her bir görüntüdeki yıldızların diğer görüntülerde de aynı piksel koordinatlarında olmaları sağlanmıştır.

3. Kullanılan *PSFex* algoritması, nokta yayılma fonksiyonunun (Point Spread Function, PSF) modellenmesi yoluyla her bir filtredeki görüntüde belirlenen tüm yıldızların akılarını ölçmüştür. PSF fotometri alandaki tüm yıldızların aynı şiddet profiline sahip olduğunu ve sadece bu profilin normalizasyonunun değiştiğini varsayarak yıldız akılarını ölçmektedir. Yazılımın bir sonraki adımında her bir kaynak için ölçülen akılar aletsel parlaklıklara çevrilmiş ve küme doğrultusundaki kaynaklardan *UBVRI* yıldız katalogları oluşturulmuştur.

4. Daha sonra aynı ya da yakın gecelerde alınan standart yıldız gözlemlerinden elde edilmiş fotometrik sönümleme katsayıları ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları kullanılarak aletsel parlaklıklar standart sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmüş ve kaynakların standart sistemdeki son fotometrik katalogları oluşturulmuştur.

5. Katalogdaki tüm yıldızlar VIZIER[16] veri tabanındaki çeşitli astrometrik kataloglar ile eşleştirilerek öz hareket verileri son fotometrik kataloğa işlenmiştir.

Herhangi bir küme doğrultusundaki yaygın kaynaklar (galaksiler) *PSFex* programı tarafından üretilen yıldızımsılık indeksine göre kataloglardan çıkartılmış ve böylece katalogda sadece yıldızların bulunması sağlanmıştır.

[15] http://www.astromatic.net/software/psfex
[16] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR

3.4. PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümeleri doğrultusundaki kaynakların mutlak fotometrilerinin yapılmasında, 20, 27 Şubat, 2, 4, 5 Mart ve 2 Nisan 2013 ile 8, 11 Mart 2014 tarihlerinde gözlemleri yapılan 17 standart yıldız alanından faydalanılmış ve standart yıldız alanları gece boyunca farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir. Hava kütlesi değeri gözlemi yapılan görüntü dosyalarına otomatik olarak eklenmesine rağmen, dosyaların başlık bilgilerindeki bu hava kütlesi değeri kaba bir sonuç veren X = sec ζ formülünden hesaplanmıştır. Bu sebeple gözlemlerin indirgenmesinde daha duyarlı değer veren

$$X = \sec\zeta - 0.018167\,(\sec\zeta - 1) - 0.002875\,(\sec\zeta - 1)^2 - 0.0008083\,(\sec\zeta - 1)^3 \quad (3.1)$$

bağıntısı (Henden ve Kaitchuck, 1990) kullanılmıştır. Burada ζ gözlenen alanın merkezinin zenit uzaklığıdır. İncelenen standart yıldız alanlarının görüntülerinin kalibrasyonları yapıldıktan sonra, alanlarda ilgilenilen standart yıldızların aletsel parlaklıkları açıklık fotometrisi yöntemiyle ölçülmüştür. Standart yıldızların parlaklık ve renkleri Landolt'un (2009) güncel kataloğundan alınmış ve fotometrik dönüşüm formüllerindeki katsayıların elde edilmesinde kullanılmıştır. Aletsel 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;

$$v = V + \alpha_{bv}(B - V) + k_v X + C_{bv} \quad (3.2)$$

$$b = V + \alpha_b(B - V) + k_b X + k'_b X(B - V) + C_b \quad (3.3)$$

$$u = V + (B - V) + \alpha_{ub}(U - B) + k_u X + k'_u X(U - B) + C_{ub} \quad (3.4)$$

V, *V-R* parlaklık ve rengi için;

$$v = V + \alpha_{vr}(V - R) + k_v X + C_{vr} \quad (3.5)$$

$$r = V + \alpha_r(V - R) + k_r X + C_r \quad (3.6)$$

V, *V-I* parlaklık ve rengi için ise

$$v = V + \alpha_{vi}(V - I) + k_v X + C_{vi} \quad (3.7)$$

$$i = V + \alpha_i(V - I) + k_i X + C_i \quad (3.8)$$

bağıntıları kullanılmıştır. Burada *u*, *b*, *v*, *r*, *i* aletsel parlaklıkları, *V*, *U-B*, *B-V*, *V-R* ve *V-I* parlaklık ve renkleri standart yıldızların standart sistemdeki parlaklık ve renklerini, *X* hava kütlesini, k ve k' birinci ve ikinci mertebe sönümleme katsayılarını, α standart sisteme dönüşüm katsayılarını, *C* ise gecelik sabitleri temsil eder. Katsayıların indisleri ilgilenilen filtre veya rengi gösterir. Aletsel parlaklıkların standart sisteme çevrilmesinde kullanılan (3.2)-(3.8) bağıntılarında çok sayıda standart yıldız kullanılmış ve denklemlerdeki katsayılar çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Katsayılar her bir gözlem gecesi için hesaplanmış ve geceler arasında hesaplanan katsayılarda büyük farkların olmadığı görülerek katsayıların ortalama değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Hesaplanan katsayılar Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablodaki katsayılar (3.2) - (3.8) bağıntılarında yerine yazılarak NGC 2818 ve NGC 3603 kümeleri doğrultusunda belirlenen kaynakların aletsel parlaklık ve renkleri, standart fotometrik sistemdeki renk ve parlaklık değerlerine dönüştürülmüştür.

Tablo 3.3: Çalışmamızda hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ile gecelik sabitler.

Filtre	k	k'	α	C
U	0.501 ± 0.009	-0.010 ± 0.018	---	---
B	0.238 ± 0.011	-0.006 ± 0.013	0.741 ± 0.021	-0.501 ± 0.019
V	0.122 ± 0.003 (*B-V*)'den 0.121 ± 0.005 (*V-R*)'den 0.121 ± 0.002 (*V-I*)'dan	---	---	---
R	0.078 ± 0.010	---	0.958 ± 0.006	-0.731 ± 0.011
I	0.045 ± 0.010	---	-1.039 ± 0.011	0.216 ± 0.020
U-B	---	---	0.962 ± 0.032	2.146 ± 0.018
B-V	---	---	-0.021 ± 0.003	-0.901 ± 0.005
V-R	---	---	-0.039 ± 0.003	-0.897 ± 0.005
V-I	---	---	-0.018 ± 0.003	-0.899 ± 0.005

3.5. AÇIK KÜME ANALİZİNDE KULLANILAN FOTOMETRİK YÖNTEMLER

3.5.1. Küme Üyesi Yıldızların Belirlenmesi

Açık kümelerin konumları Galaktik düzleme yakın bulunduğundan küme doğrultusundaki alan yıldızlarının 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 verileri kullanılır. Fakat radyal hız tayini için küme doğrultusundaki alan yıldızlarının tayf gözlemine ihtiyaç duyulduğundan bu yöntem kullanışlı değildir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için astronomlar yıldızların öz hareket verilerini dikkate alır. Yıldızların öz hareket bileşenlerinin yeterince duyarlı hesaplanabilmesi için en az 25 ile 50 yıllık gözlemler gerektiğinden günümüzde geçmiş zamanlarda fotoğraf plaklarına çekilmiş gökyüzü görüntülerinin sayısallaştırılmış verileri önem kazanmıştır. Plak görüntülerinin düşük kuantum verimliliği ve günümüz şartlarına göre çok parlak kalan sınırı nedeniyle ancak V=16 kadire kadar olan kaynakların astrometrik çalışmaları yapılabilmektedir. Günümüzün en duyarlı öz hareket kataloğu Zacharias ve diğ. (2013) tarafından oluşturulan *The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog* (UCAC4)'dur. Bu katalog sınırlı limit parlaklığından dolayı ancak Güneş'ten 1 kpc uzaklığa kadar bulunan açık kümelerin üyelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Astrometrik çalışmalarda kullanılan diğer bir katalog ise Roeser ve diğ. (2010) tarafından oluşturulan *Positions and Proper Motions on the ICRS* (PPMXL)'dir. Bu katalogdaki astrometrik verilerin ölçüm hataları UCAC4 kataloğuna göre biraz daha büyük olup V = 19 kadirine kadar bilinen tüm sönük yıldızların öz hareket verilerinin kullanılmasına fırsat vermektedir. Çalışmamızdaki açık kümeler rölatif olarak Güneş civarının ötesinde bulunduğu için tez çalışmasında Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL astrometrik kataloğu kullanılmıştır.

Yıldız alanında bulunan küme üyelerinin belirlenmesinde öz hareket bileşenleri ve bunların ölçüm hataları dikkate alınır. Küme üyelerinin belirlenmesinde normal dağılım fonksiyonu kullanılarak her bir yıldızın küme üyeliğinin olasılığı aşağıda verilen (3.9) bağıntısıyla hesaplanır (Sanders, 1971; Balaguer-Nunez ve diğ., 1998):

$$\Phi_c^v = \frac{1}{2\pi(\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_c^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\mu_{xi}+\mu_{xy})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yc})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \quad (3.9)$$

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 hatalarını temsil eder.

Yıldız alanı için ise bu bağıntı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\Phi_f^v = \frac{1}{2\pi(1-\gamma^2)^{1/2}(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_{yf}^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\gamma^2)}\left[\frac{(\mu_{xi}-\mu_{xf})^2}{\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2}-\frac{2\gamma(\mu_{xi}-\mu_{xf})(\mu_{yi}-\mu_{yf})}{\left(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2\right)^{1/2}\left(\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2\right)^{1/2}}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yf})^2}{\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \quad (3.10)$$

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 Gauss benzeri profil ile aşağıdaki gibi seçilebilir:

$$\Phi_c^r = \frac{1}{2\pi r_c^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x_i-x_c}{r_c}\right)^2+\left(\frac{y_i-y_c}{r_c}\right)^2\right]\right\}. \quad (3.11)$$

Burada, x_c, y_c, kümenin merkezini ve r_c kümenin gökyüzündeki açısal uzanımını gösterir. Alan yıldızlarının kabul edilen homojen dağılımı $\Phi_f^r = 1 \,/\, \pi r_{max}^2$ aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Alandaki tüm yıldızların dağılımı aşağıda verilen denklemle belirlenebilir:

$$\Phi = \Phi_c + \Phi_f = \sum_{c=1}^{2} n_c.\, \Phi_c^v\, \Phi_c^r + n_f.\, \Phi_f^v.\, \Phi_f^r = \sum_{c=1}^{2} n_c + n_f = 1. \quad (3.12)$$

$\Phi_f^v, \Phi_f^r, \Phi_c^v, \Phi_c^r$ küme üyelerinin ve alan yıldızlarının (r) ve göreli 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 ise $P_c = \boldsymbol{\Phi}_c(i) / \boldsymbol{\Phi}(i)$ bağıntısıyla hesaplanabilir.

3.5.2. Kızarma Tayini

Galaktik düzlem ve çevresinde yoğunlaşan yıldızlararası ortam fotometrik gözlemleri etkiler. Bu etki yıldızların parlaklıklarını sönümlerken, renklerinin de daha kırmızı görülmesine neden olur. Yıldızlararası ortamın neden olduğu bu etkileri ortadan kaldırmak için elektromanyetik tayfın optik bölgesindeki çalışmalarda $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramları kullanılır. Bölüm 2.3 ve Şekil 2.2'de gösterilen iki-renk diyagramı kümenin anakol yıldızları üzerine işaretlenerek standart anakol uyumu sağlanana kadar kaydırılır. Bu şekilde $E(B\text{-}V)$ ve $E(U\text{-}B)$ renk artıkları belirlenir.

Galaksi diskinde yoğunlaşan yıldızlararası ortam fotometrik gözlemlerde kaynakların parlaklıklarında sönümlemeye, renklerinde ise kızarmaya yol açar. Kızarma tayininde birçok iki-renk diyagramı kullanılmasına rağmen $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramı en iyi sonuç veren ve en çok kullanılan diyagramdır. İki-renk diyagramındaki yoğun kızarmaya maruz kalan yıldızlar, kızarmadan arındırılmış anakolu temsil eden eğriyle uyum sağlanana kadar (3.13) bağıntısı sayesinde kaydırılarak yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılır, böylece $E(B\text{-}V)$ renk artığı tayin edilir:

$$E(U-B)/E(B-V) = 0.72 + 0.05E(B-V) \tag{3.13}$$

$(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramındaki bağıntılar, *UBV* fotometrik sisteminin tanıtılmasından sonra birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Johnson, 1966; Mermilliod, 1981; Schmidt-Kaler, 1982 ve FitzGerald 1970). 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 etmiştir. Gerçek renk bağıntıları incelendiğinde en güncel çalışmanın Sung ve diğ. (2013) tarafından yapıldığı görülür. 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 kullanmıştır. Söz konusu veriler Tablo 2.1'te verilmiştir. Tez çalışmasında Tablo 2.1'de verilen sıfır yaş anakol verileri kullanılacaktır.

Erken tayf türünden yıldızlar içeren genç açık kümeler yıldızlararası ortama daha yoğun bir şekilde bağlı olduklarından küme doğrultusundaki kızarmanın belirlenmesinde Q yöntemi

tercih edilir. Johnson ve Morgan (1953), *UBV* fotometrisinin temellerini ortaya koyarken, tayf türü ve *UBV* fotometrik verileri bilinen erken tayf türünden yıldızların kızarmalarını duyarlı bir yöntem ile tayin edebileceklerini ortaya koymuştur. Buna göre yıldızların Q değerlerinin hesaplanabilmesinde aşağıda verilen bağıntılar önerilmiştir:

$$Q \equiv (U-B) - \frac{E(U-B)}{E(B-V)} \times (B-V) \cong (U-B) - 0.72 \times (B-V). \quad (3.14)$$

Burada *E(U-B)/E(B-V)* oranı kızarma doğrusunun eğimine bağlı olarak 0.72 değerini vermektedir. Bu oran değerinin, (3.14) bağıntısında gösterildiği gibi yazılmasıyla Q değeri elde edilmektedir. Yıldızın kızarmadan arındırılmış $(B\text{-}V)_o$ renginin hesaplanmasında (3.15) bağıntısı kullanılmaktadır:

$$(B-V)_0 = 0.332 \times Q \quad (3.15)$$

Son olarak da, yıldızlararası ortamın neden olduğu *E(B-V)* renk artığının hesaplanması için yıldızın kızarmış renginden kızarmamış renginin çıkartılması gerekmektedir:

$$E(B-V) = (B-V) - (B-V)_o. \quad (3.16)$$

3.5.3. Fotometrik Metal Bolluğu Tayini

Açık kümeler, metal içeriği bilinen büyük kütleli bir molekül bulutun çökmesi sonucunda oluştukları için kümeye üye yıldızlarının metal bolluğu değerlerinin birbirine yakın olması beklenir. Bir yıldızın atmosferindeki metal içeriği ancak tayfsal ve fotometrik yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Bu yöntemler arasında en iyisi tayfsal olandır. Yüksek çözünürlüklü tayf analizlerinden incelenen yıldızın tayf türü, radyal hızı ve atmosfer model parametreleri yüksek hassasiyet ile tayin edilebilir. Fakat bu aşamadaki en büyük sorun incelenen yıldızın parlaklığıdır. Kaliteli bir tayfın alınması için kaynağın parlak ve sinyal/gürültü oranının büyük olması gerekir. Bu durum küme yıldızları söz konusu olduğunda ancak parlak yıldızların yani küme üyesi evrimleşmiş yıldızların gözlemlerinde olabilir. Bu da ancak sınırlı ışıma gücü ve parlaklıktaki yıldızların analizlerinin yapılmasını gündeme getirir. Metal bolluğu analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem de fotometrik indekslerce tanımlanmış fotometrik metal bolluğu tayinidir. Yıldızların fotometrik metal bolluklarının hesaplanmasında genelde geniş band *UBV* filtrelerinde alınmış parlaklıklar kullanılır. Yıldızların $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ 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 ve yıldızların metal bolluklarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bir anakol yıldızının atmosferinde belirlenmiş ağır elementler tek tek çıkartılabilseydi, yıldız tayfının sürekliliğe yaklaştığı ve $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramındaki anakolunu *Blanketing vektörleri* boyunca terk ettiği görülürdü. Kuramsal modellere göre yıldızın etkin sıcaklığı (T_{eff}) 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 $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramının aynı renkteki metalce zengin olan Hyades kümesindeki anakol yıldızına göre bir *UV* fazlalığı gözlenir. Yapılan fotometrik analizlerde yıldızların en büyük morötesi artık değerinin $B\text{-}V = 0.6$ renk indeksinde olduğu deneysel olarak gösterilmiştir (Sandage, 1969). 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 $B\text{-}V = 0.6$'daki morötesi artığına kalibre etmek üzere *f* ile gösterilen bir ifadeyle genişletmiştir. Bu yöntemle elde edilen morötesi artığı $\delta_{0.6}$ ile gösterilmektedir.

Tez çalışmasında açık kümelerden belirlenecek F ve G tayf türü anakol yıldızlarının fotometrik metal bollukları Sandage'in (1969) *UV* artığı yöntemi kullanılarak 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) güncel çalışması

dikkate alınmıştır. Karaali ve diğ. (2011) tayfsal demir metal bolluklarıyla ([Fe/H]) yıldızların morötesi artıkları ($\delta_{0.6}$) arasında bir ilişki kurarak anakol yıldızları için

$$[\mathrm{Fe/H}] = -14.310\delta_{0.6}^2 - 3.557\delta_{0.6} + 0.105 \tag{3.17}$$

bağıntısını elde etmiştir. Burada $\delta_{0.6}$ $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ renk indeksinde ölçülen yıldızın *U-B* renk indeksiyle Hyades koluna karşılık gelen *U-B* renk indeksi arasındaki fark olan morötesi renk artığındır. Karaali ve diğ. (2011) tarafından literatüre kazandırılan bu bağıntı, tez çalışmasındaki kümeye üye F-G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulanarak kümelerin metal bolluklarının tayininde kullanılacaktır.

Karaali ve diğ.'nin (2011) literatüre kazandırdığı bu bağıntı yıldızların demir bolluklarını tayin etmektedir. Bu değerlerin yaş tayini aşamasında ağır element bolluğuna (*Z*) çevrilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında, açık kümelerin ağır element bolluğunun tayini için Bovy'in PARSEC eş-yaş eğrilerini kullanarak analitik olarak elde ettiği ve bizim ile özel paylaştığı aşağıdaki yeni kalibrasyon kullanılmıştır[17]:

$$Z_X = 10^{\left[[\mathrm{Fe/H}]+\log\left(\frac{Z_\odot}{1-0.2485-2.78\times Z_\odot}\right)\right]} \tag{3.18}$$

$$Z = \frac{(Z_X - 0.2485\times Z_X)}{(2.78\times Z_X + 1)} \tag{3.19}$$

Burada Z_X, kümenin (3.18) numaralı bağıntıdan hesaplanan demir bolluğu ([Fe/H]) ve Güneş'in ağır element bolluğuna ($Z_\odot$=0.0152) bağlı bir ara işlem fonksiyonudur. *Z* ise Z_X'in bir fonksiyonu olup kümenin ağır element bolluğunun tayin edilmesinde kullanılan bağıntıdır.

3.5.4. Kümelerin Uzaklık Tayini

Açık kümelerin uzaklıkları genelde kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarına ZAMS bağıntıları uygulanarak hesaplanır. 1990'lı yıllardan 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, *RI* geçiş bantlarının kendi değerleri vardır. Optik

[17] https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py

bantlardaki özellikle *U* ve *B* filtreleri için üretilen ZAMS bağıntıları metal bolluğu farkının yanı sıra (Sung ve Bessell, 1999) kromosferik aktiviteden de etkilenebilir (Sung ve diğ., 2002). Tez çalışmasında Sung ve diğ. (2013) optik bölgede tanımladıkları güncel ZAMS verileri kullanılmıştır. İncelenen açık kümelerin farklı renkler için elde edilen renk artıkları belirlendikten sonra literatürde verilen ZAMS bağıntıları, küme için çizilen farklı 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. Açık kümeler için çizilecek çok sayıda renk-parlaklık diyagramı sayesinde kümenin uzaklık modülleri elde edilir. Bu diyagramlardan hesaplanan uzaklık modüllerinin aritmetik ortalaması alınarak kümenin uzaklığı daha duyarlı tayin edilebilir.

Tez çalışmasındaki açık kümelerin uzaklık tayininde yukarıda bahsedilen anakol çakıştırma yöntemi kullanılacaktır. Bu işlem, kümelerin yaş tayini ile birlikte eş zamanlı yapılacaktır. Uzaklık tayinindeki belirsizliklerin hesabı için kümenin uzaklık modülünde $(m\text{-}M_V)_0$ yapılan hatası dikkate alınacaktır.

$$(m - M_V)_0 = V - M_V - A_V = 5 \times \log(d) - 5 \tag{3.20}$$

Uzaklıkta yapılan hataların belirlenmesinde aşağıdaki bağıntılardan yararlanılacaktır:

$$\Delta\,(d) = \ln(10) \times d \times \Delta[\log(d)],$$

$$\Delta[\log(d)] = \tfrac{1}{5} \times [\Delta V + \Delta(M_V) + \Delta(A_V)], \tag{3.21}$$

$$\Delta(M_V) = 0, \text{ ve } \Delta(A_V) = 3.1 \times \Delta(B - V),$$

Burada ΔV ve $\Delta(B\text{-}V)$ parlaklık ve renk hatalarını göstermekte olup incelenen küme için medyan değerler kullanılacaktır. Sonuç olarak; kümenin uzaklığındaki hata şöyle verilir:

$$\Delta\,(d) = \ln(10) \times d \times \tfrac{1}{5} \times [\Delta V + 3.1 \times \Delta(B - V)]. \tag{3.22}$$

3.5.5. PARSEC Eş-Yaş Eğrileri ve Kümelerin Yaş Tayini

Yıldız yaşlarının tayininde 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 grubunun PARSEC ismiyle bilinen en güncel yaş eğrileri Bressans ve diğ.'ne (2012) aittir. Bu yaş eğrileri son yıllarda daha fakir metal bolluklarını ve daha geniş bir kütle aralığındaki yıldızı içerecek şekilde geliştirilmiştir (Tang ve diğ. 2014; Chen ve diğ. 2014). Bu son çalışmalar dikkate alındığında PARSEC eş-yaş eğrilerinin $0.1 \leq M/M_{\odot} < 350$ kütle aralığı ve $0.0001 \leq Z \leq 0.06$ ($-2.2 \leq$ [M/H] $\leq +0.5$ dex) ağır element bolluğunu içerecek şekilde üretilmiş olduğu görülmektedir. Çalışmamızda PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılacaktır ve Güneş'in ağır element bolluğu $Z_{\odot} = 0.0152$ kabul edilecektir. PARSEC eş-yaş eğrilerinin yıldız evrim modellerinin literatürdeki diğer modellerinden en önemli üstünlüğü model sonuçlarının 50'den fazla 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. PARSEC eş-yaş eğrilerine, Dr. Leo Girardi tarafından hazırlanan bir web sayfası[18] üzerinden kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Tez çalışmasında kullanılan açık kümelerin yaş tayinlerinde farklı renkler için oluşturulan renk-parlaklık diyagramları üzerine çizilecek PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılacaktır. Renk-parlaklık diyagramlarında astrometrik olarak küme üyeliği %50'den büyük olan yıldızlara ağırlık verilerek bu yıldızların üzerinden geçen en uygun PARSEC eş-yaş eğrisi çizilmiştir. Böylece açık kümelerin yaşları tayin edilmiştir. Konuyla ilgili analizden bir sonraki Bölümde detaylı bir şekilde bahsedilecektir.

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

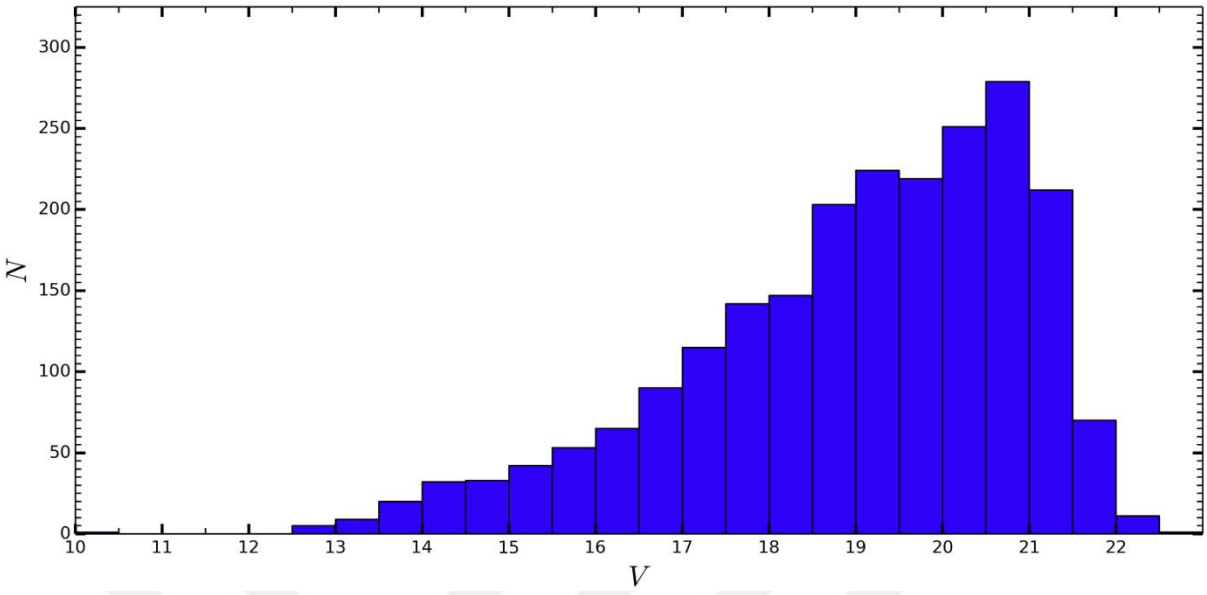
4. BULGULAR

NGC 2818 ve NGC 3603 açık kümelerinin 9 ve 25 Mart 2014 tarihinde Danimarka Teleskobu'na bağlı CCD kamera ve *UBVRI* filtreleriyle yapılan gözlemlerinden, küme doğrultularındaki kaynaklar için fotometrik parlaklıkların nasıl hesaplandığı Bölüm 3'te anlatılmıştır.

Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin yapısal ve astrofiziksel parametreleri elde edilmiştir. Astrofiziksel parametrelerin belirlenmesinde uzaklık modülü, kızarma, metal bolluğu ve yaş değerleri gözlemsel veriler ile kuramsal yaş eğrilerinin eşzamanlı karşılaştırılmalarıyla hesaplanmıştır. Ayrıca açık kümelerin başlangıç kütle fonksiyonları da elde edilmiştir. Analizlerin sonuçları tezde incelenen iki küme için aşağıda ayrı ayrı sunulmuştur.

4.1. NGC 2818

Fotometrik indirgemeleri yapılan NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki yıldız alanında 2,223 kaynağın ekvatoral ve Galaktik koordinatlarını, *UBVRI* parlaklık ve renkleriyle ölçüm hatalarını içeren bir katalog hazırlanmıştır. Katalogdaki kaynakların ekvatoral koordinatları Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL kataloğundaki koordinatlar ile açısal uzaklık için beş yay saniyelik bir üst sınır gözetilerek eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme sonucunda 2,223 kaynaktan 1,707 tanesinin öz hareket verisine ulaşılmış ve kataloğa bu veriler de işlenmiştir. NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda V bandında belirlenen kaynakların parlaklık histogramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi küme doğrultusundaki kaynaklar etkin olarak $12 < V < 21$ kadir aralığında incelenebilir.



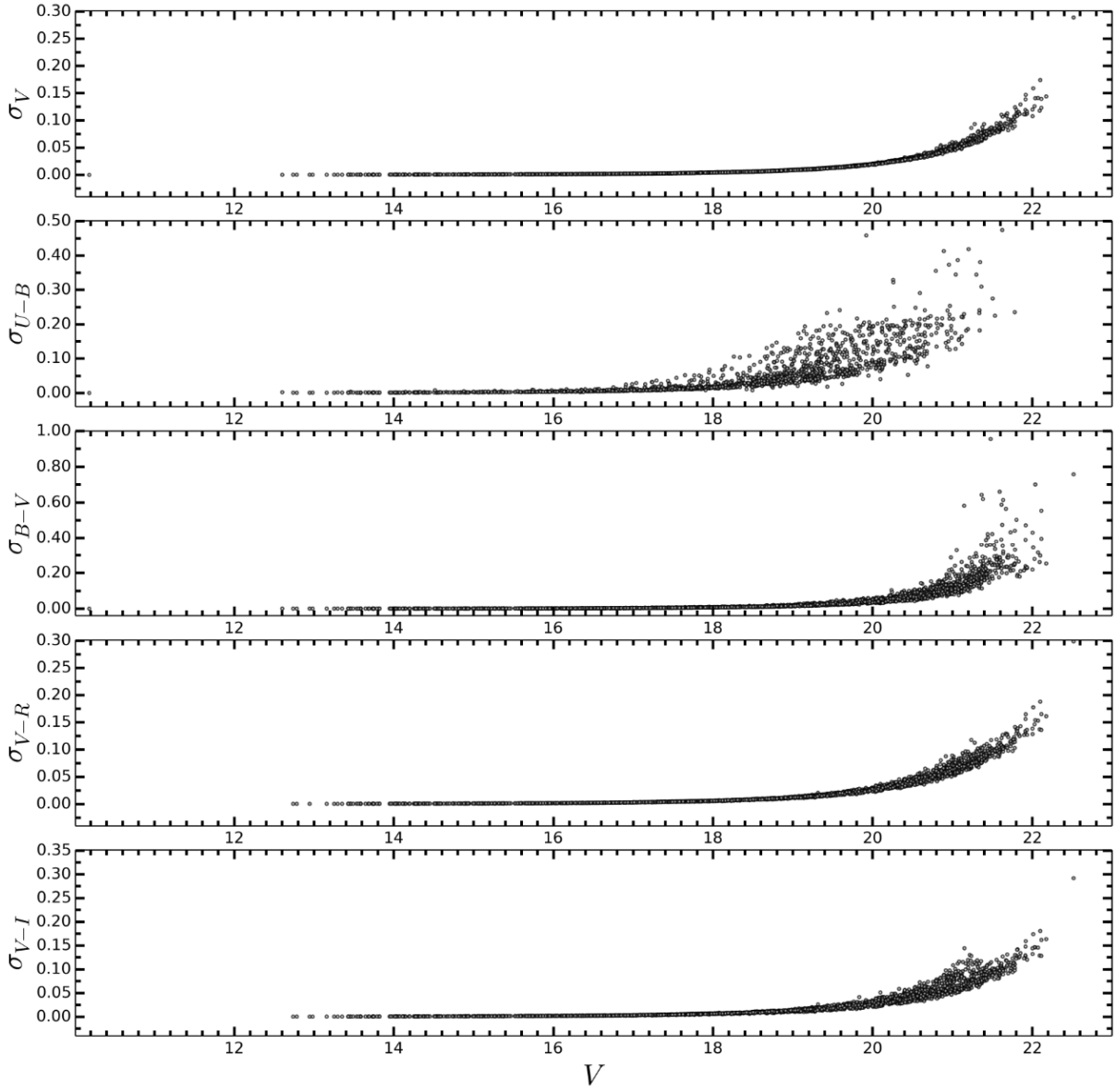
Şekil 4.1: NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlenen kaynakların *V* bandı parlaklık histogramı.

4.1.1. Fotometrik Hatalar

NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 2,223 yıldızın parlaklık ve renk hataları *V* parlaklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.2'de gösterilmiş, parlaklık aralıklarına göre hesaplanan yıldız sayısı ve fotometrik hatalar da Tablo 4.1'de listelenmiştir. Çalışmada tek bir poz süresi kullanıldığı için fotometrik hatalarda bir süreksizlik ile karşılaşılmamıştır. Görünen *V* parlaklığı 12 ile 20 kadir aralığında olan kaynaklar için ortalama fotometrik hatalar 0.01 kadiri aşmamaktadır. Fakat görünen *V* parlaklık aralığı 20 ile 22 kadir aralığında olan yıldızlar dikkate alındığında ortalama fotometrik hatalar yaklaşık 0.05 kadire yaklaşmaktadır. Küme doğrultusundaki yıldızların $V = 22^{m}$ parlaklık sınırına kadar olan renk hataları dikkate alındığında *U-B*, *B-V* renklerinde, sırasıyla, 0.169 ve 0.124 kadirlik hatalar söz konusuyken, *V-R* ve *V-I* renklerindeki ortalama fotometrik hatalar 0.060 kadiri aşmamaktadır.

Tablo 4.1: NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki yıldızların *V* parlaklığına göre ortalama fotometrik hataları. Burada *N,* görünen parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır.

Parlaklık Aralığı	*N*	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}	σ_{V-R}	σ_{V-I}
$12 < V \leq 14$	34	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
$14 < V \leq 16$	160	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001
$16 < V \leq 18$	412	0.003	0.012	0.005	0.004	0.004
$18 < V \leq 20$	793	0.010	0.066	0.021	0.014	0.015
$20 < V \leq 22$	812	0.046	0.169	0.124	0.059	0.060
$22 < V \leq 24$	12	0.148	---	0.401	0.165	0.162



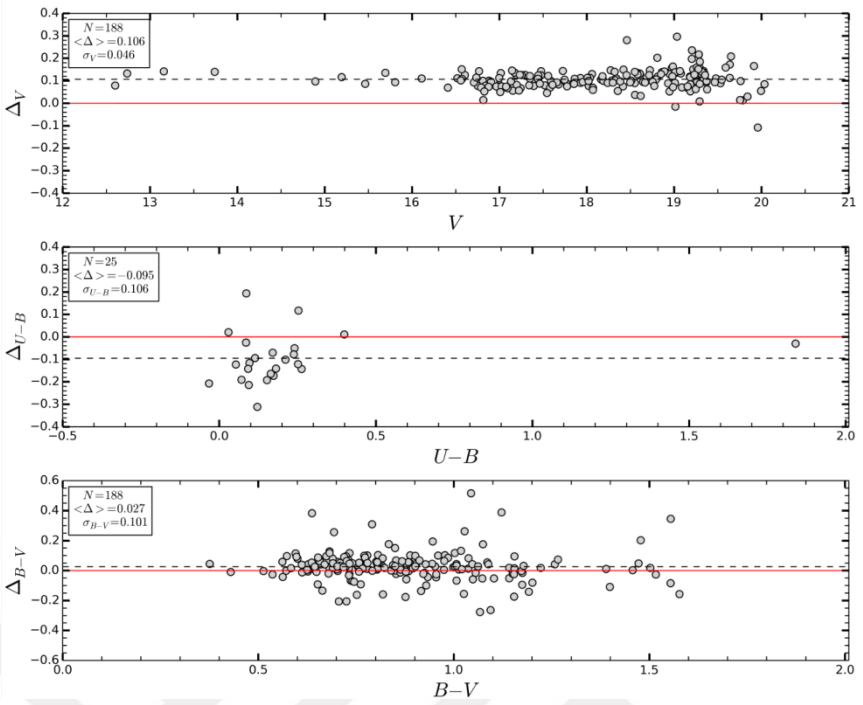
Şekil 4.2: NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların parlaklık ve renk hatalarının *V* görünen parlaklığına göre dağılımları.

4.1.2. Fotometrik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması

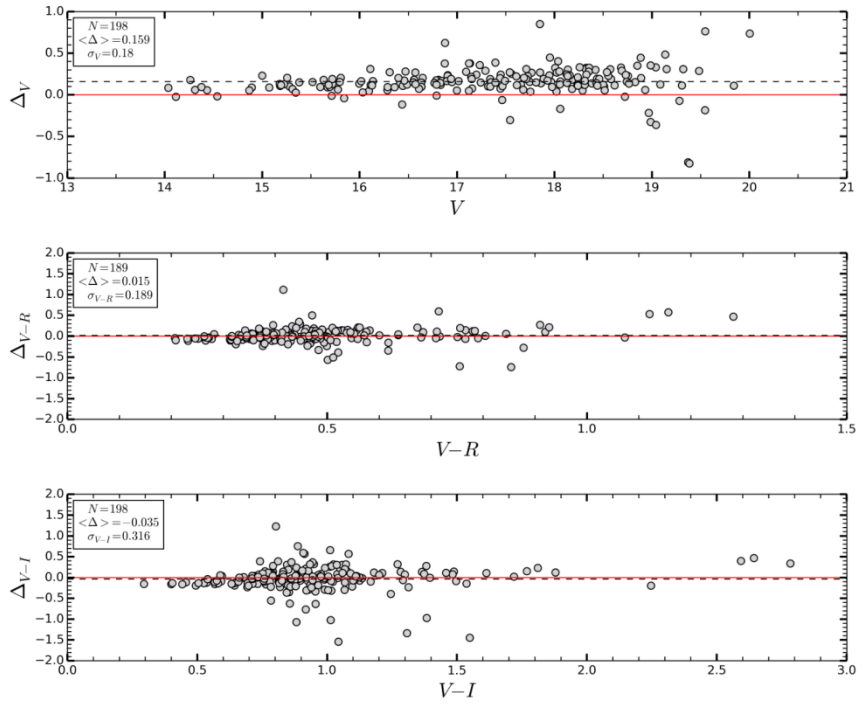
NGC 2818 açık kümesinin hesaplanan fotometrik verileri, literatürde ilk kez kümenin merkezi doğrultusunda 4.6 × 7.4 yay dakikalık bir bölgenin CCD *UBV* filtreleriyle gözlemlerini yapan Pedreros (1989) çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Pedreros (1989) küme doğrultusunda $12 < V < 20$ parlaklık aralığında 329 yıldızın fotometrik verilerini elde etmiştir. Çalışmamızdaki yıldızların ekvatoral koordinatları Pedreros'un (1989) kataloğuyla karşılaştırıldığında *V* parlaklığı ve *B-V* renginde 188 ve *U-B* rengi dikkate alındığı ise 25 yıldızın her iki çalışmada eşleştiği görülmüştür. İki çalışmada ölçülen parlaklık ve renklerin

karşılaştırılması Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekilde, apsis ekseninde tezde hesaplanan parlaklık ve renkler, ordinat ekseninde ise tezde hesaplanan parlaklık ve renkler ile Pedreros'un (1989) hesapladığı fotometrik veriler arasındaki farklar gösterilmiştir. Karşılaştırmalara ait istatistiksel sonuçlar (yıldız sayısı, ortalama değer ve standart sapma) her panelin sol üst köşesinde verilmiştir. İki çalışmanın *V* parlaklıkları arasındaki farklar incelendiğinde sıfır noktasında yaklaşık 0.11 kadirlik sapmanın bulunduğu buna karşın parlaklık farklarına (ΔV) ait saçılmaların ise daha küçük olduğu görülmektedir. Beklenildiği gibi sönük görünen parlaklıklara doğru saçılma değerleri büyümektedir. 25 ortak yıldızın *U-B* renklerinin karşılaştırılması Şekil 4.3'ün orta panelinde gösterilmiştir. Bir yıldız dışında kalan tüm yıldızların *U-B* rengi -0.1 ile 0.4 kadir aralığındadır. Renk farklarının (Δ_{U-B}) ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.095 ve 0.106 kadirdir. İki çalışma arasında yaklaşık 0.1 kadirlik bir renk farkı bulunmaktadır. Saçılmalar *U* bandı söz konusu olduğu için kabul edilebilir seviyededir. 188 ortak yıldızın *B-V* renklerine ait karşılaştırmalar Şekil 4.3'ün alt panelinde gösterilmiştir. Renk farklarının (Δ_{B-V}) ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.027 ve 0.101 kadirdir. *B-V* renk karşılaştırılması geniş bir aralıkta incelenmiş ($0.3 < B\text{-}V < 1.6$ kadir) olup sistematik farklar içermediği görülmüştür. Pedreros'un (1989) çalışmasıyla bu çalışmada hesaplanan parlaklık ve renklerin fotometrik çalışmalardan beklenilen seviyede uyumlu olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasında NGC 2818 açık kümesinin hesaplanan fotometrik verileri, literatürde kümenin merkezi doğrultusunda 9×5 yay dakika karelik bir bölgenin CCD *VRI* filtreleriyle gözlemlerini yapan Surendiranath ve diğ. (1990) çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Surendiranath ve diğ. (1990) küme doğrultusunda $14 < V < 21$ parlaklık aralığında yaklaşık 400 yıldızın *VRI* parlaklıklarını elde etmişlerdir. Çalışmamızdaki yıldızların ekvatoral koordinatları Surendiranath ve diğ. (1990) kataloğuyla karşılaştırılarak *V* parlaklığı ve *V-I* renginde 198 ve *V-R* rengi dikkate alındığı ise 189 yıldızın her iki çalışmada eşleştiği görülmüştür. İki çalışmada ölçülen parlaklık ve renklerin karşılaştırılması Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



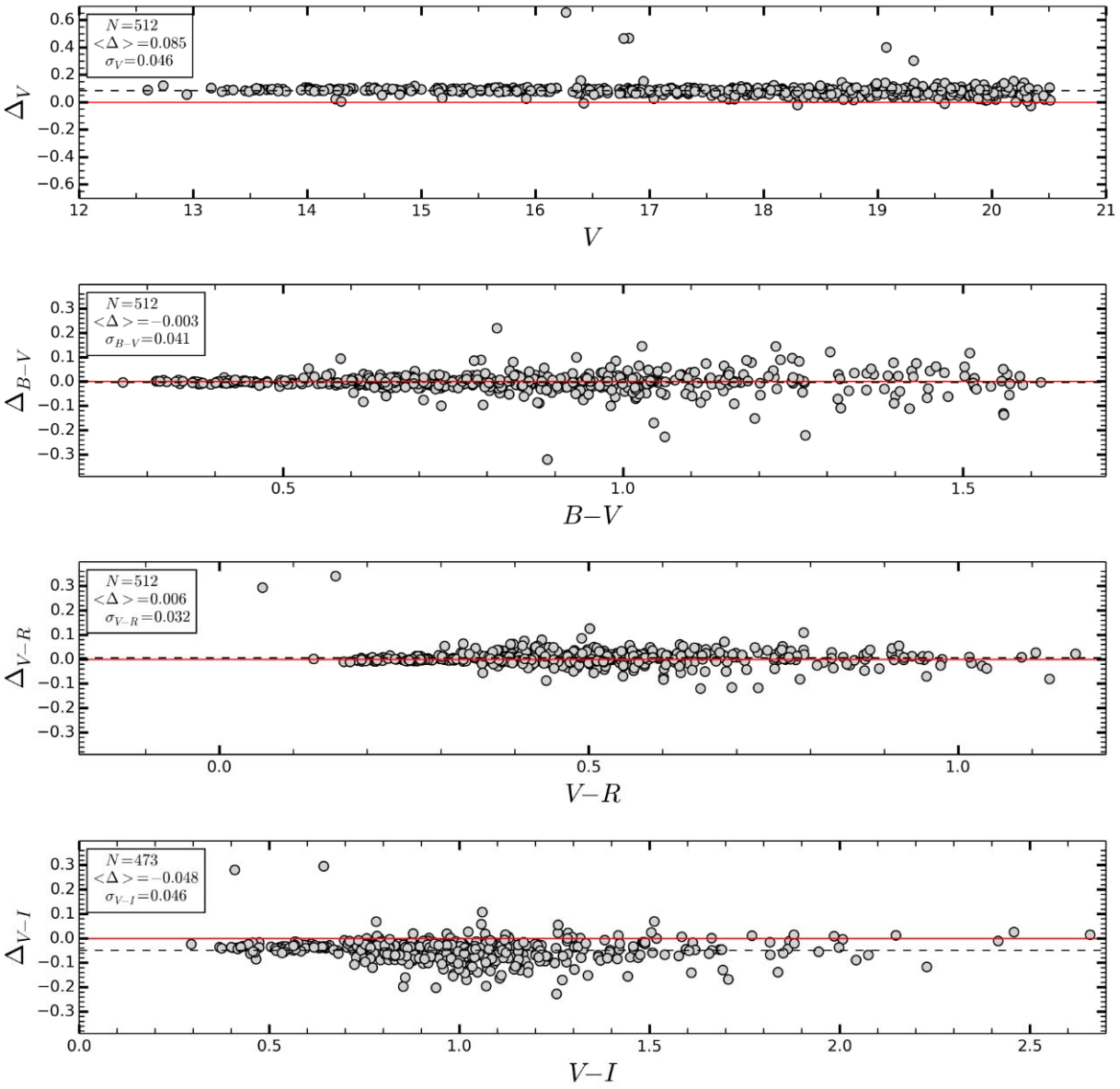
Şekil 4.3: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Pedreros (1989) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir.



Şekil 4.4: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Surendiranath ve diğ. (1990) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir.

İki çalışmanın *V* parlaklıkları arasındaki farklar incelendiğinde sıfır noktasından yaklaşık 0.16 kadirlik sapmanın bulunduğu buna karşın parlaklık farklarına (ΔV) ait saçılmaların ise 0.18 kadir olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.4'ün üst panelinden de görüleceği gibi parlaklık saçılmaları, beklenildiği gibi, V=19 kadirden daha sönük parlaklıklara doğru artmaktadır. Ayrıca, parlak görünen kadirlerden sönüklere doğru gidildikçe hafif bir şekilde farkların arttığı tespit edilmiştir. 189 yıldızın her iki çalışmada belirlenen *V-R* renk farklarının karşılaştırılması Şekil 4.4'ün orta panelinde gösterilmiştir. Her iki çalışmada örtüşen yıldızların *V-R* renk aralığı 0.2 ile 1.3 kadir aralığında olup geniş bir tayf türünü içermektedir. Renk farklarının (Δ_{V-R}) ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.015 ve 0.189 kadirdir. İki çalışma arasında örtüşen yıldızların *V-R* renk farkları dikkate alındığında istatistiksel anlamda çok küçük olduğu görülmüştür. Küme doğrultusunda her iki çalışmaya ait 198 yıldızın *V-I* renklerine ait karşılaştırmalar Şekil 4.4'ün alt panelinde gösterilmiştir. Geniş bir renk aralığına dağılan ($0.3 < V\text{-}I < 2.8$ kadir) ortak yıldızların Δ_{V-I} renk farklarının ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.048 ve 0.046 kadir olarak hesaplanmıştır. İlgili şekilden de görüleceği gibi Δ_{V-I} renk farkları sistematik yanlılık içermemektedir. Sonuç olarak, Surendiranath ve diğ. (1990) ile bu tez çalışmasında hesaplanan parlaklık ve renkler arasındaki farkların uyumlu olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasında NGC 2818 açık kümesinin hesaplanan *BVRI* fotometrik parlaklıkları, son olarak, kümeler ve standart yıldız alanlarında yapılan fotometrik gözlem verilerini derleyen Stetson'ın (2000) çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Stetson (2000), 224 fotometrik gözlem gecesinde gök ekvatoru çevresinde yer alan yıldız alanlarını ve kümelerde bulunan yaklaşık 15,000 yıldızın CCD *BVRI* gözlemlerini yapmıştır. Stetson (2000) NGC 2818 açık kümesi doğrultusunda 14.8 × 14.6 yay dakika karelik bir bölgenin CCD *BVRI* gözlemini yaparak yaklaşık 700 yıldızın fotometrik parlaklıklarını hesaplamıştır.



Şekil 4.5: NGC 2818 açık kümesinin tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerinin Stetson'ın (2000) çalışmasında örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri ve yıldız sayıları panellerin sol üst köşesinde verilmiştir.

Koordinat verilerine göre her iki çalışmada örtüşen 507 kaynağın *V* görünen parlaklık farkları *V* parlaklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.5'in üst panelinde gösterilmiştir. İki çalışma arasındaki *V* parlaklık farkları ve bu farkların standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.081 ve 0.026 kadirdir. Şekil dikkatlice incelendiğinde parlaklık dağılımında bir seviye farkının bulunduğu görülmektedir. Farkların sapmaları sönük parlaklıklara doğru artmaktadır. 507 yıldızın her iki çalışmada belirlenen *B*-*V* renk farklarının karşılaştırılması Şekil 4.5'in üsten

ikinci panelinde gösterilmiştir. Örtüşen yıldızların *B-V* rengi 0.25 ile 1.65 kadir aralığında olup geniş bir tayf aralığındaki yıldızları içermektedir. Renk farklarının (Δ_{B-V}) ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.001 ve 0.037 kadirdir. İki çalışma arasında örtüşen yıldızların $\Delta(B-V)$ renk farklarının neredeyse sıfır çizgisine yakın bulunduğu ve renk farklarının sapmasının da çok küçük olduğu tespit edilmiştir. Küme doğrultusunda 507 yıldızın örtüştüğü *V-R* renkleri dikkate alındığında (Şekil 4.5, üstten üçüncü panel), Δ_{V-R} ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.005 ve 0.026 kadirdir. Şekilden görüleceği gibi iki çalışma arasındaki renk farkları arasında sistematik bir yanlılık görünmemektedir. Şekil 4.5'nin alt panelinde ise iki çalışmada örtüşen 468 kaynağın *V-I* renk farkları gösterilmiştir. Örtüşen kaynaklar $0.2 < V-I < 2.7$ kadir aralığında olup ortalama renk farkları ve farkların standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.050 ve 0.040 kadirdir. İki çalışma arasında 0.050 kadirlik bir seviye farkının bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Stetson (2000) ile bu tez çalışmasında hesaplanan parlaklık ve renkler arasındaki farkların uyumlu olduğu söylenebilir.

4.1.3. NGC 2818 Açık Kümesinin Yapısal Parametreleri

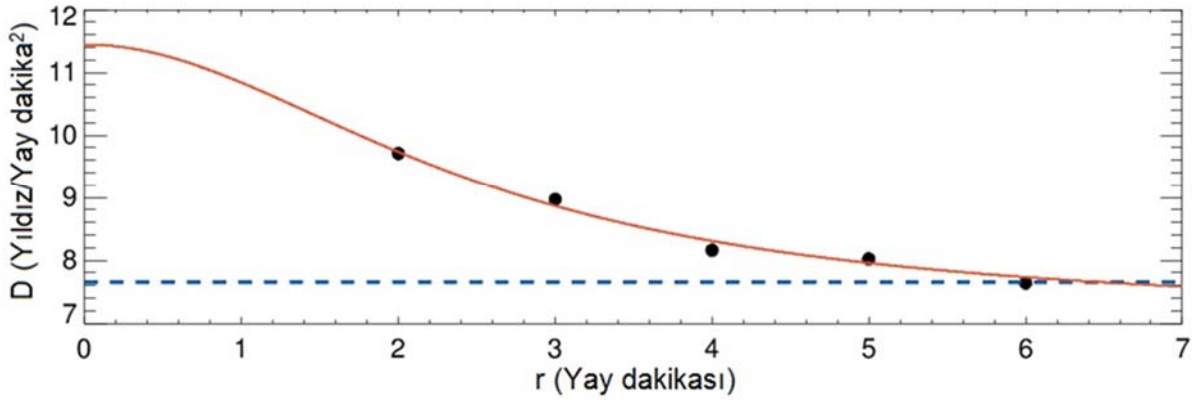
NGC 2818 açık kümesinin yoğunluk profilinin belirlenmesinden önce kümenin merkezi koordinatlarının bilinmesi gerekir. Kümenin literatürde verilen merkezi ekvatoral ve Galaktik koordinatları sırasıyla (α_{2000}, δ_{2000}) = (09^h 16^m $01^s.7$, -36^o 37' 38″.7) ve (l, b) = (261°.983, +8°.584) olup, bu koordinatlar çalışmamızda da küme merkezi 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 küme merkezinden itibaren seçilecek uzaklık aralıklarının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için küme merkezinden itibaren uzaklık aralıkları hemen hemen eşit sayıda yıldız içerecek şekilde seçilmiştir. Daha sonra, bir önceki alanda bulunan yıldız sayısı bir sonrakinde bulunan yıldız sayısından çıkartılarak incelenen bölgenin yıldız sayısı hesaplanmıştır. Her bir alandaki yıldız sayıları bulundukları daire parçasının alanına bölünmek suretiyle yoğunluklar tayin edilmiştir. Her alandaki yoğunluk belirsizliği Poisson gürültü istatistiğine göre hesaplanmıştır.

Küme merkezinden itibaren r = 6 yay dakikası uzaklık içindeki her bir alan için hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Küme merkezinde görülen en büyük

ρ = 11.44 yıldız/(yay dakika)^2 yoğunluğu, merkezden r = 6 yay dakikası uzaklığında ρ = 7.65 yıldız/(yay dakika)^2 değerine azalmaktadır. Yaklaşık r = 7 yay dakikası uzaklığında ise yoğunluk değeri çok azalarak yatay eksene göre asimptotik olmakta ve bu uzaklığın ötesinde çok az sayıda küme yıldızı bulunmaktadır. Çalışmada kümenin yapısal parametrelerini belirlemek için aşağıda verilen King modeli kullanılmıştır (King, 1966):

$$\rho(r) = f_{bg} + \frac{f_o}{1+(r/r_c)^2}, \tag{4.1}$$

Burada f_{bg}, f_0 ve r_c, sırasıyla, zemin ile merkezi yıldız yoğunluklarını ve kümenin kor yarıçapını göstermektedir. Zemin yıldızı yoğunluğu f_{bg} = 7.65±0.60 yıldız/(yay dakika)^2 elde edilmiştir. Gözlemsel verilerin King modeline uyumunda minimum χ^2 analizinden faydalanılmış ve merkezi yıldız yoğunluğu ile kümenin kor yarıçapı sırasıyla f_0 = 4.35 ± 1.21 yıldız/(yay dakika)^2 ve r_c = 2.48 ± 1.25 yay dakikası olarak hesaplanmıştır.

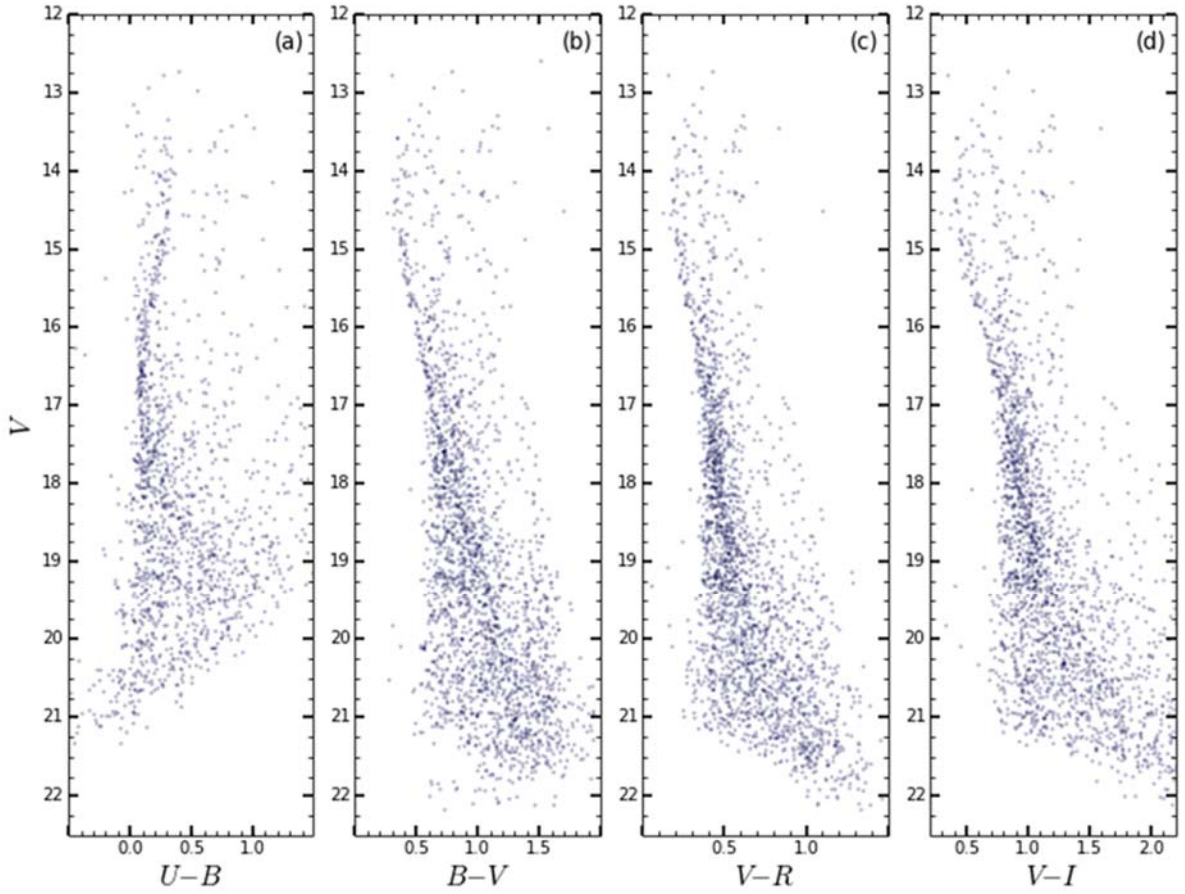


Şekil 4.6: NGC 2818 açık kümesinin V = 20 görünen limit parlaklığı için oluşturulmuş yıldız yoğunluk profilli. Kırmızı sürekli çizgi King modeli fitini göstermektedir.

4.1.4. Küme Üyesi Yıldızların Seçimi

NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki kaynakların $V \times U$-B, $V \times B$-V, $V \times V$-R, $V \times V$-I renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.7 verilen panellerde gösterilmiştir. Farklı renklerde oluşturulan renk-parlaklık diyagramlarında küme üyeleri kabaca görünmesine karşın küme doğrultusundaki alan yıldızlarının etkisinden dolayı özellikle sönük parlaklıklara doğru üye yıldızlarının seçimi zorlaşmaktadır. Şekil 4.7b'den görüleceği gibi V görünen parlaklıkları 14 < V < 14.5 kadir ve renk indeksi 0.2 < B-V < 0.3 kadir aralığında bulunan yıldızlar,

kümenin dönüm noktasına, aynı görünen parlaklık aralığında ve renk indeksi $0.95 < B\text{-}V < 1.05$ kadir aralığındaki yıldızlar ise kümenin kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu bölgeye karşılık gelmektedir. Kümenin dönüm noktasının altında bulunan anakol yıldızları $V = 20$ kadir görünen parlaklığına kadar belirgindir. Daha sönük görünen V parlaklıklarına doğru küme üyesi yıldızların alan yıldızlarından ayırt edilmesinin zorlaştığı görülmektedir (Şekil 4.7b).



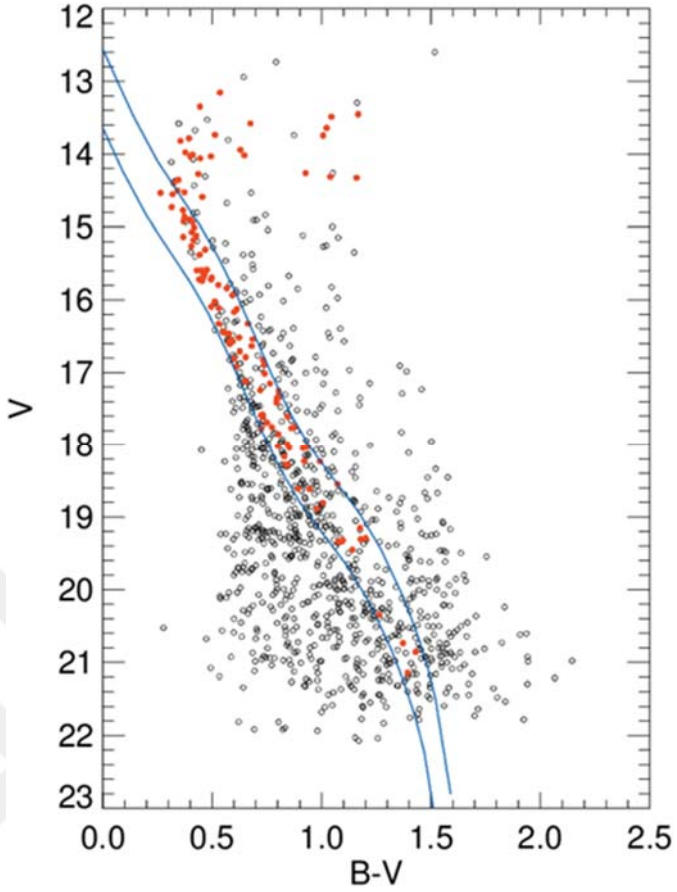
Şekil 4.7: NGC 2818 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramları: (a) $V \times U\text{-}B$, (b) $V \times B\text{-}V$, (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times V\text{-}I$

NGC 2818 açık kümesine ait üye yıldızların belirlenmesinde Balaguer-Nunez ve diğ.'nin (1998) geliştirdiği astrometrik verilere dayalı yöntem kullanılmıştır. Bunun için NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki yıldızların koordinat verileri Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL kataloğundaki koordinatlarıyla eşleştirilerek yıldızların öz hareket verilerine ulaşılmıştır. Bölüm 3.5.1'de verildiği gibi Balaguer-Nunez ve diğ.'nin (1998) yöntemine ait algoritma

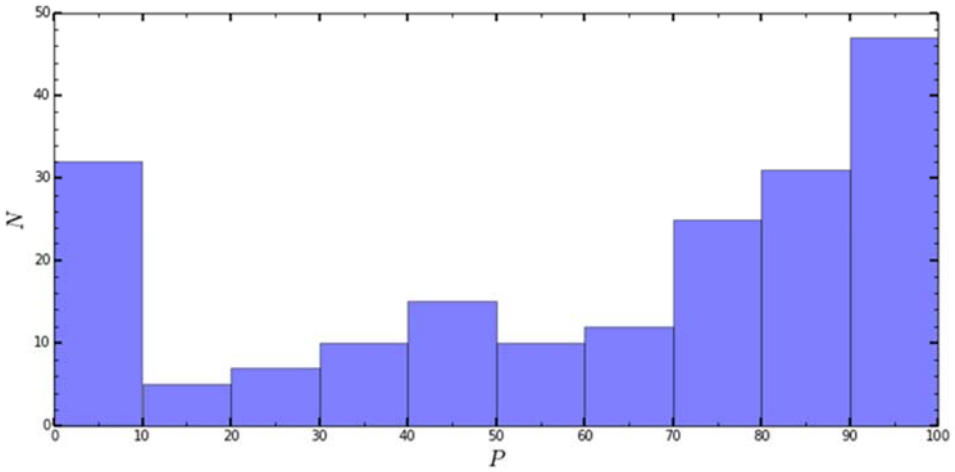
izlenerek küme doğrultusunda belirlenen her bir yıldızın kümeye üyelik olasılıkları (*P*) hesaplanmıştır.

Açık ve küresel kümelerin yapısal ve astrofizik parametrelerinin tayininde $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramının kullanılması, literatürde bir gelenek haline gelmiştir. Bu nedenle tez çalışmasında analizlerin çoğunun bu diyagram üzerinden yapılması tercih edilmiştir. Kümelerin oluşumu, kimyasal yapıları ve üye yıldızlarının birbirine uyguladıkları fiziksel etkileşimler dikkate alındığında renk-parlaklık diyagramları üzerindeki konumlarının belirgin olması beklenir. Çünkü küme yıldızları Güneş'ten hemen hemen aynı uzaklıkta, benzer metal içeriğinde ve aynı yaşta bulunurlar. Bu özellikleri renk-parlaklık diyagramı üzerinde ince ve belirgin bir hat üzerinde görülmelerini sağlar. Fakat fotometrik gözlemlerden kaynaklanan bazı etkiler anakolun bir bant şekilde görülmesine neden olur. Bunların başında, gözlemsel hataların sönük parlaklıklara doğru artması ve ayrık bir şekilde görülemeyen yıldız sisteminin hem daha parlak hem de daha kırmızı görülmesi olarak ifade edilen çift yıldız etkisi gelir.

Tez çalışmasında yukarıda sözü edilen etkiler de dikkate alınarak NGC 2818 açık kümesinin $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı üzerine Sung ve diğ.'nin (2013) gözlemsel sıfır yaş anakolu (ZAMS) işaretlenmiştir. Ayrıca, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramında çift yıldız etkisinin neden olacağı muhtemel anakol genişleme mekanizması için Sung ve diğ. (2013) ZAMS eğrisi yaklaşık 0.75 kadir daha parlak olacak şekilde paralel kaydırılmıştır (Şekil 4.8). Küme yıldızlarını daha iyi belirleyebilmek için öncelikle kümenin dönüm noktasının altında iki ZAMS çizgisi arasında kalan yıldızlar ile kümenin dönüm noktası üstündeki tüm yıldızlar dikkate alınmıştır. Bu şartları sağlayan 194 yıldızın NGC 2818 açık kümesine üye olma olasılıklarına (*P*) ait frekans dağılımı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Kümeye üye olma olasılığı $P \geq \%50$ olan yıldızların sayılarının 125 olduğu ve tüm örneğin yaklaşık %65'ini oluşturduğu görülmüştür. Analizlerde kümeye üyelik olasılığı yüksek yıldızlara ağırlık verileceğinden, çalışmamızda $P \geq \%50$ olan yıldızlar tercih edilmiştir. Şekil 4.8'de verilen $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde kümeye üye olma olasılıkları $P \geq \%50$ olan yıldızlar ise kırmızı içi dolu daire sembolüyle gösterilmiştir. Kümenin dönüm noktasının altında, iki ZAMS çizgisi arasında ve dönüm noktasının üstünde bulunan kümeye üye olma olasılıkları $P \geq \%50$ olan yıldızların sayısı, sırasıyla, 99 ve 26'dır.



Şekil 4.8: NGG 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlemleri yapılan yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Sürekli çizgilerden altaki eğri kümeye fit edilen Sung ve diğ.'ne (2013) ait ZAMS eğrisini, üstteki eğri ise çift yıldız etkisi dikkate alınarak 0.75 kadir parlaklaştırılan ZAMS eğrisini göstermektedir. İçi dolu kırmızı daireler kümenin en olası üyelerini ($P \geq \%50$), içi boş daireler de küme doğrultusundaki diğer yıldızları göstermektedir.



Şekil 4.9: $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramının dönüm noktasının altında, iki ZAMS çizgisi arasında kalan ve dönüm noktası üzerindeki tüm yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının frekans dağılımı.

4.1.5. İki-Renk Diyagramı

Tez çalışmasında NGC 2818 açık kümesi doğrultusundaki *V* bandındaki sönümleme ve *E(B-V)* ve *E(U-B)* renk artıklarını hesaplayabilmek için *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramından faydalanılmıştır. Yıldızlararası ortamın neden olduğu renk artıklarının hesabı için Bölüm 3.5.2'de ayrıntılı bahsedilen yöntem kullanılmıştır. Küme doğrultusundaki kızarmaya neden olan renk artıklarının hesabı için *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı üzerine küme üyeliği yüksek (*P* ≥ %50) 125 anakol yıldızı işaretlenmiş ve Sung ve diğ.'nin (2013) Güneş bolluğundaki gözlemsel ZAMS verileriyle küme anakol yıldızları arasındaki uyum araştırılmıştır. ZAMS eğrisi kızarmamış renklerde verildiğinden anakol yıldızlarıyla uyumun sağlanabilmesi için *E*(*B-V*) renk artığı 0 ile 0.50 aralığında 0.01 kadirlik adımlarla incelenirken, *E*(*U-B*) renk artığı bağıntı (3.13)'de verilen ilişkiyle hesaplanmıştır.

NGC 2818 açık kümesinin kümeye üyelik olasılığı yüksek (*P* ≥ %50) 125 yıldızı için çizilmiş *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Renk artıklarının belirlenmesinde en küçük χ^2 değeri dikkate alınmıştır. Bu analiz sonucunda gözlemsel verileri en iyi temsil eden ZAMS verileri için renk artıkları *E*(*U-B*) = 0.13 ± 0.02 ve *E*(*B-V*) = 0.18 ± 0.03 kadir hesaplanmıştır. Renk artıklarına ait hataların belirlenmesinde ±1σ değerleri dikkate alınmıştır. Küme doğrultusundaki *E*(*V-R*) ve *E*(*V-I*) renk artıkları da Cardelli ve diğ. (1989) tarafından verilen ve (4.2) ve (4.3) bağıntıları kullanılarak, sırasıyla, *E*(*V-R*) = 0.12 ± 0.03 ve *E*(*V-I*) = 0.22 ± 0.03 kadir olarak hesaplanmıştır:

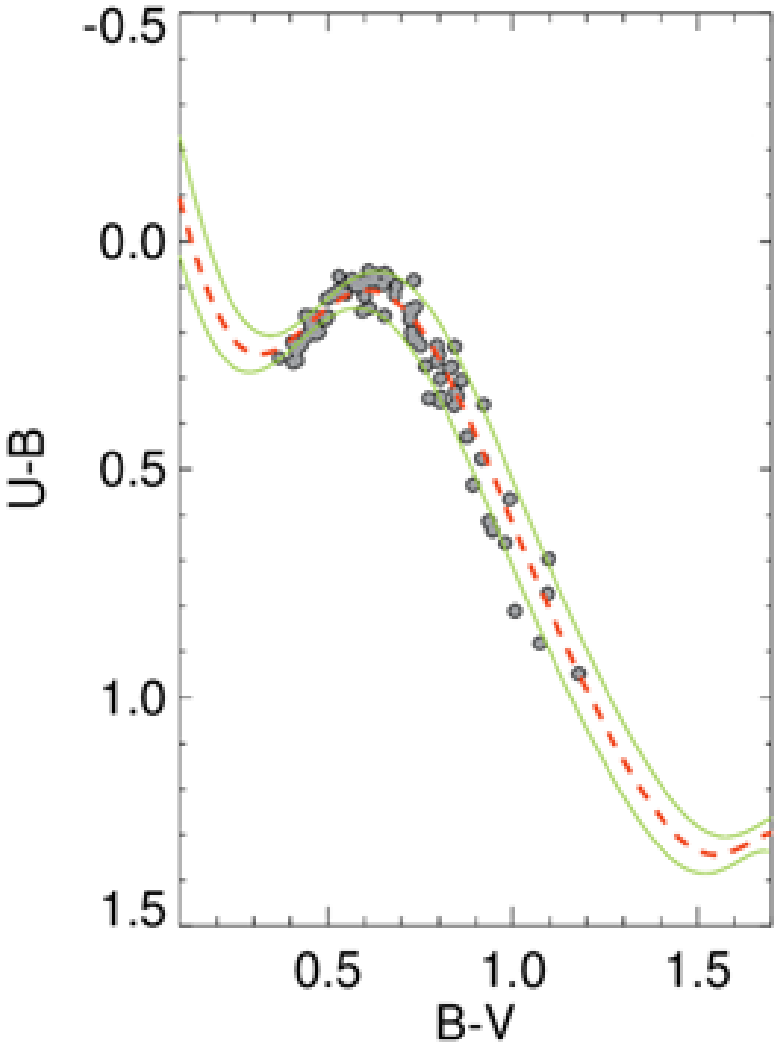
$$E(V-R) = 0.65 \times E(B-V), \tag{4.2}$$

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

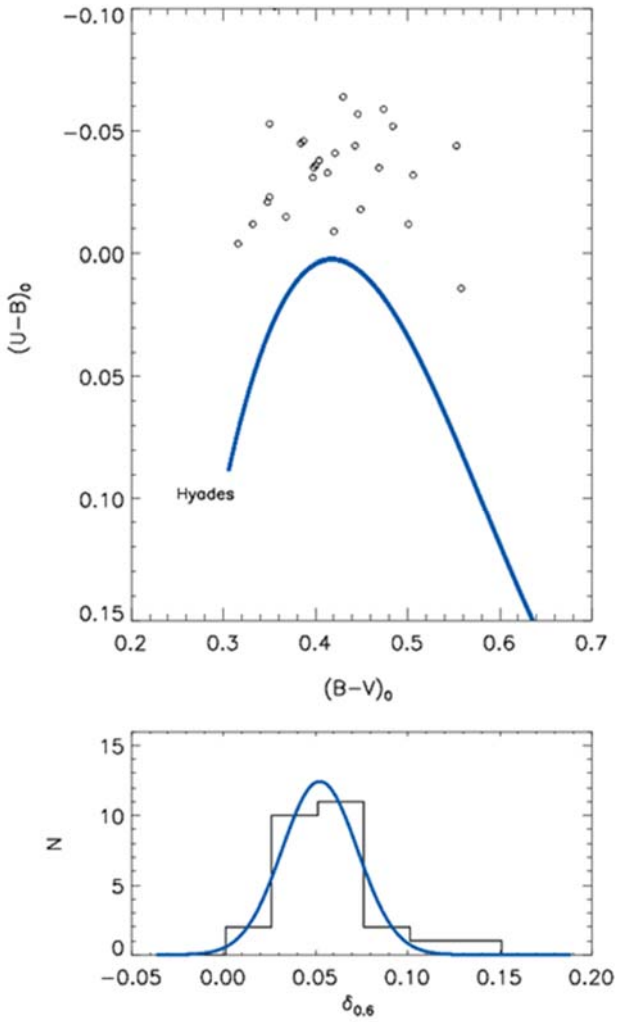
4.1.6. Metal Bolluğu Tayini

NGC 2818 açık kümesinin metal bolluğu tayininde Karaali ve diğ. (2011) tarafından geliştirilen fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu kullanılmıştır. Bunun için NGC 2818 açık kümesinde anakol olarak sınıflandırılmış ve $0.30 \leq (B-V)_0 \leq 0.60$ kadir renk indeksi aralığında bulunan F-G tayf türündeki 27 yıldız dikkate alınmıştır. Bu yıldızların morötesi artıkları Bölüm 3.5.3'te verilen yöntemler kullanılarak hesaplanmış ve ardından bu değerler $(B-V)_0$=0.60 kadir renk indeksindeki değerlere dönüştürülmüştür (Şekil 4.11; üst panel).

Kümenin metal bolluğu tayininde seçilen 27 yıldızın ortalama *UV* artığı Şekil 4.11'in alt panelinde gösterilen frekans dağılımından $\langle\delta_{0.6}\rangle$ = 0.064 kadir olarak belirlenmiştir. Bu değerin Karaali ve diğ.'nin (2011) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuna yerleştirilmesiyle de (bağıntı 3.17) NGC 2818 açık kümesinin demir bolluğu [Fe/H] = -0.18 ± 0.02 dex elde edilmiştir. Kümenin demir bolluğunun ağır element bolluğuna çevrilmesinde Bölüm 3.5.3'te verilen (3.18) ve (3.19) bağıntıları kullanılarak ağır element bolluğu yaklaşık Z = 0.011 ± 0.002 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ağır element bolluğu kümenin yaş tayinde sabit bir parametre olarak kullanılacaktır.



Şekil 4.10: NGC 2812 açık kümesinin *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı. Kümenin anakolunda yer alan ve kümeye üyelikleri $P \geq$ %50 olan yıldızlar gri daire ile Sung ve diğ. (2013) ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yeşil çizgiler renk artıklarının ±1σ değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.11: NGC 2818 açık kümesindeki 27 anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki-renk diyagramı (üst panel) ve renk indeksi $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ kadire kalibre edilmiş *UV* artık değerlerinin frekans dağılımı (alt panel).

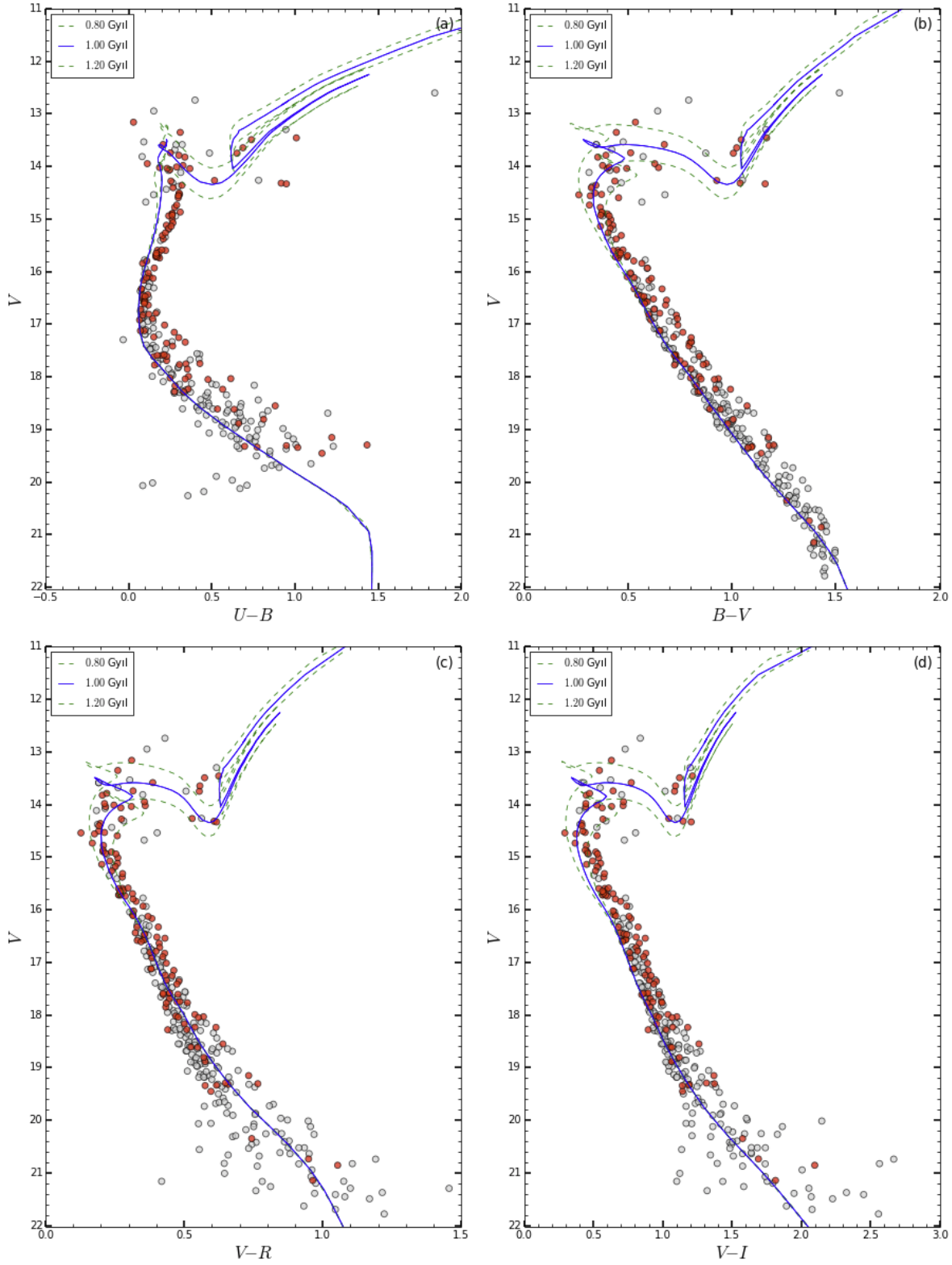
4.1.7. Yaş Tayini

Bu çalışmada NGC 2818 kümesinin yaşının tayininde Bölüm 3.5.5'te verilen PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. Öncelikle, küme doğrultusunda seçilen tüm kaynaklar (gri daire) ile kümeye üyeliği yüksek olan yıldızlar (kırmızı daire) $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$ ve $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4.12). Sonra, kümenin dört farklı renk-parlaklık diyagramında kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızlara ağırlık verilerek PARSEC eş-yaş eğrileri geçirilmiştir. Küme için bağımsız yöntemler kullanılarak belirlenen renk artıkları, sönümleme ve ağır element bollukları ile yaş tayininde eş zamanlı hesaplanan uzaklık modülüne göre PARSEC eş-yaş eğrileri kümenin en olası yıldızlarını temsil edecek şekilde renk-parlaklık diyagramları üzerinde hareket ettirilerek en uygun yaş hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar sonucunda kümenin kızarmış uzaklık modülü dört renk-parlaklık diyagramı için $m\text{-}M_V$ = 13.06 kadir olup, kümenin uzaklığı yaklaşık d = 3,160 pc olarak belirlenmiştir. Kümenin uzaklığındaki hatanın belirlenmesinde (3.22) bağıntısında verilen eşitlik kullanılmıştır. Buna göre kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan 125 yıldız için V görünen parlaklığında ve $B\text{-}V$ rengindeki en büyük hatalar, sırasıyla, 0.010 ve 0.021 kadirdir. Bu değerlerin (3.22) bağıntısına yerleştirilmesiyle kümenin uzaklığındaki belirsizlik Δd = 109 pc olarak hesaplanmıştır. Bu belirsizlik değerlerinin uzaklık modülü için belirlenen değeri $\Delta(m\text{-}M_V)$ = 0.14 kadirdir. Kümenin uzaklık modülünün de belirlenmesiyle kümenin en olası üyelerini temsil eden PARSEC eş-yaş eğrisinin 1 Gyıl olduğu görülmüştür. Bu eğri tüm renk-parlaklık diyagramlarında kümenin yüksek olasılıklı üyelerini en iyi temsil eden yaş değeri olmuştur (Şekil 4.12). Küme yaşına ait belirsizliğin belirlenmesinde özellikle kümenin dönüm noktası ve kırmızı dev kolundaki yüksek olasılıklı üye yıldızlarını içerecek şekilde PARSEC eş-yaş eğrilerinin kaydırılması dikkate alınmıştır. Böylece NGC 2818 açık kümesinin yaşı ve belirsizliği t = 1 ± 0.2 Gyıl olarak hesaplanmıştır. NGC 2818 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: NGC 2818 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreler.

Renk-Parlaklık Diyagramı	**Renk Artığı (kadir)**	**μ (kadir)**	**d (pc)**	**[Fe/H] (dex)**	**t (Gyıl)**
$V \times (U\text{-}B)$	$E(U\text{-}B) = 0.13 \pm 0.02$	13.06 ± 0.07	3,160 ± 109	-0.18 ± 0.02	1.0 ± 0.2
$V \times (B\text{-}V)$	$E(B\text{-}V) = 0.18 \pm 0.03$	13.06 ± 0.07	3,160 ± 109	-0.18 ± 0.02	1.0 ± 0.2
$V \times (V\text{-}R)$	$E(V\text{-}R) = 0.12 \pm 0.03$	13.06 ± 0.07	3,160 ± 109	-0.18 ± 0.02	1.0 ± 0.2
$V \times (V\text{-}I)$	$E(V\text{-}I) = 0.22 \pm 0.03$	13.06 ± 0.07	3,160 ± 109	-0.18 ± 0.02	1.0 ± 0.2
Ortalama değerler		13.06 ± 0.07	3,160 ± 109	-0.18 ± 0.02	1.0 ± 0.2



Şekil 4.12: NGC 2818 açık kümesinin (a) $V \times U\text{-}B$ (b) $V \times B\text{-}V$ (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları ve PARSEC eş-yaş eğrileri. Kırmızı daire kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızları, gri daire küme doğrultusundaki kaynakları, mavi düz çizgi en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler ise yaş tayinindeki belirsizlikler sonucu hesaplanan eş-yaş eğrisi aralıklarını göstermektedir.

4.1.8. Kırmızı Yığın Yıldızlarından Uzaklık Tayini

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 olduğu belirlenmiştir (Alves 2000, Grocholski ve Sarajedini 2002, Bilir ve diğ., 2013a; b). Dolayısıyla uzaklıkları duyarlı şekilde hesaplanabildiği için KY yıldızları uzaklık belirteci olarak kullanılmıştır. G8III-K2III tayf türü aralığı için optik bölgedeki mutlak parlaklıkları $0.7 \leq M_V \leq 1.0$ kadir aralığındadır (Keenan ve Barnbaum, 1999).

Optik bölgede KY yıldızlarının mutlak parlaklıkları üzerine yapılan bir çalışmada Bilir ve diğ. (2013a) yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundaki KY yıldızlarını belirleyerek mutlak parlaklıklarının hesaplanması için $(B\text{-}V)_0$ ve $(V\text{-}I)_0$ renk indekslerine duyarlı bir ışıma gücü-renk ilişkisi elde etmiştir. Kalibrasyon $0.7 < (B\text{-}V)_0 < 1.3$ ile $0.6 < (V\text{-}I)_0 < 1.3$ kadir renk indeksleri ve $0.4 < M_V < 1.4$ kadir mutlak parlaklık aralığında tanımlanmıştır.

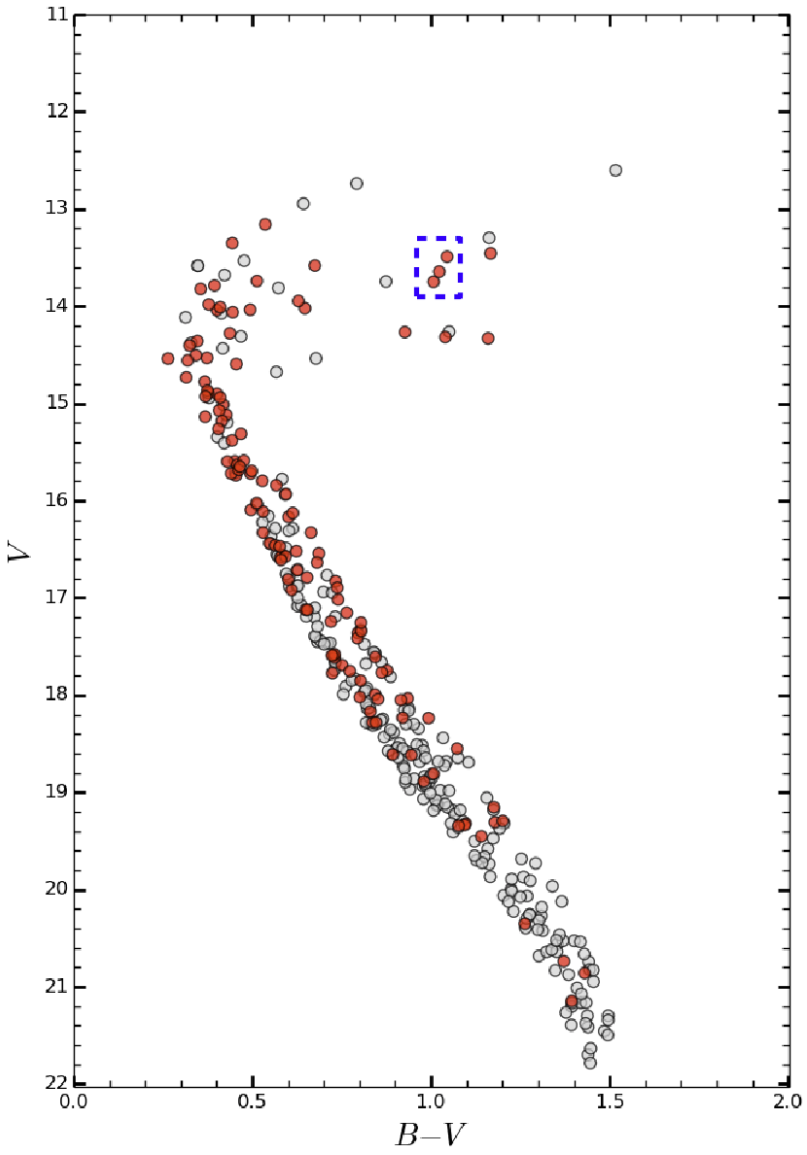
$$M_V = 1.398(B-V)_0 - 0.011(V-I)_0 - 0.577. \tag{4.4}$$

Hubble Uzay Teleskobu'yla incelenen küresel kümelerde ve literatürde çok iyi çalışılmış açık kümelerde bulunan KY yıldızlarını inceleyen Bilir ve diğ. (2013b) optik bölgede yeni bir uzaklık kalibrasyonunu literatüre kazandırmışlardır. Uzaklıklık kalibrasyonu KY yıldızlarının kızarmadan arındırılmış $(B\text{-}V)_0$ renk indeksiyle kümelerin demir bolluklarına [Fe/H] bağlı olup $0.42 < (B\text{-}V)_0 < 1.2$ kadir ve $-1.55 <$ [Fe/H] $< +0.40$ dex ve $0.43 < M_V < 1.03$ kadir aralığında tanımlıdır.

$$M_V = 0.627(B-V)_0 + 0.046[\mathrm{Fe/H}] + 0.262. \tag{4.5}$$

Kümenin öz hareket verilerine dayanan analizlerinden, kümeye üyelik olasılığı $P \geq \%50$ olan üç yıldızın kümenin KY bölgesinde olabileceğini Şekil 4.13'te verilen $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramında kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Kümede belirlenen KY yıldızların ekvatoral koordinatları, $B\text{-}V$ ile $V\text{-}I$ renk indeksleri ve P kümeye üyelik olasılıkları Tablo 4.3'te verilmiştir. Ayrıca aynı tablo üzerinde Bilir ve diğ.'nin (2013a;b) iki uzaklık kalibrasyonuna ait mutlak parlaklık ve uzaklık değerleri de listelenmiştir. Kümenin kızarmadan

arındırılmasında kullanılan renk artıkları ve metal bolluğu değeri için bu çalışmada elde edilen ve Tablo 4.2'de verilen değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.13: NGG 2818 açık kümesi doğrultusunda gözlemleri yapılan yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Kırmızı daire kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızları göstermektedir. Diyagram üzerinde görülen kesikli çizgiler kümenin en olası KY yıldızlarını göstermektedir.

Tez çalışmasında belirlenen üç KY yıldızının renk indeksleri ve metal bolluğu değerleri kullanılarak hesaplanan mutlak parlaklıkları Tablo 4.3'de her bir yazar grubu için verilmiş ve Pogson bağıntısı yardımıyla da yıldızların uzaklıkları hesaplanmıştır. Ayrıca üç yıldızın ortalama uzaklıkları ve hataları da hesaplanarak Tablo 4.3'ün son satırında verilmiştir. Buna

göre Bilir ve diğ. (2013a) ve Bilir ve diğ.'nin (2013b) uzaklık kalibrasyonları sonucunda kümenin KY yıldızlarının ortalama uzaklıkları, sırasıyla, $3{,}131^{-315}_{+350}$ ve $2{,}869^{-67}_{+65}$ pc olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada NGC 2818 açık kümesi için renk-parlaklık diyagramlarına geçirilen eş-yaş eğrilerinden hesaplanan 3,160 ± 109 pc uzaklık değeri, Bilir ve diğ.'nin (2013a, b) iki uzaklık kalibrasyonundan hesaplanan ortalama değerlerine yakındır. Bilir ve diğ.'nin (2013a, b) çalışmalarından belirlenen uzaklıkların hataları da dikkate alındığında, tez çalışmasında dört renk-parlaklık diyagramından hesaplanan kümenin ortalama uzaklığı (d = 3,160±109 pc), Bilir ve diğ.'nin (2013a) ışıma gücü - renk kalibrasyonuyla belirlenen ortalama uzaklık ($d = 3{,}131^{-315}_{+350}$ pc) ile çok uyumludur.

Tablo 4.3: NGC 2818 açık kümesinin aday KY yıldızlarının ekvatoral koordinatları (J2000), V, B-V ve V-I parlaklık ve renk indeksleri, P kümeye üyelik olasılığı ile iki farklı uzaklık kalibrasyonu sonucunda hesaplanan M_V ve d mutlak parlaklık ve uzaklık değerleri.

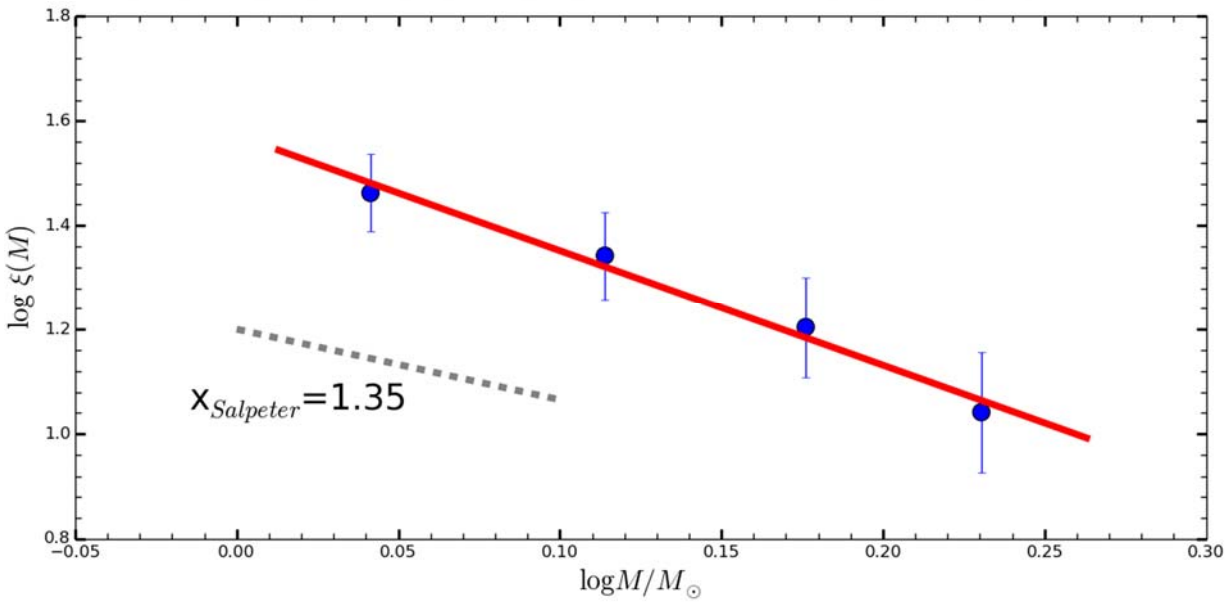
							Bilir ve diğ. (2013a)		**Bilir ve diğ. (2013b)**	
Sıra	α	δ	V	B-V	V-I	P	M_V	d	M_V	d
	(hh:mm:ss)	**(dd:mm:ss)**	(kadir)	(kadir)	(kadir)	(%)	(kadir)	(pc)	(kadir)	(pc)
1	09:15:56.49	-36:40:51.60	13.490	1.045	1.122	71	0.622	2,897	0.796	2,674
2	09:16:02.95	-36:34:34.50	13.644	1.023	1.093	95	0.592	3,154	0.782	2,889
3	09:16:04.57	-36:35:49.30	13.748	1.007	1.086	69	0.570	3,342	0.772	3,045
				Ortalama uzaklık (pc)			$3{,}131^{-315}_{+350}$		$2{,}869^{-67}_{+65}$	

4.1.9. Kütle Fonksiyonu

Başlangıç kütle fonksiyonu (IMF), deneysel bir yaklaşım olup bir grup yıldızın başlangıç kütle değerlerinin dağılımları hakkında bilgi verir. Galaksimizdeki kümeler oluşum aşamasındaki kütle durumları hakkında en duyarlı sonuçları veren nesnelerdir. Özellikle genç kümelerin analizleri, açık kümelerde oluşan büyük kütleli yıldızların frekans dağılımının belirlenmesinde önemlidir. Bunun için de incelenen yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının yeterince duyarlı yöntemler ile hesaplanması gerekir.

NGC 2818 açık kümesinin IMF değerini hesaplamak için kümenin dönüm noktasının hemen altındaki bir bölgeden (V = 14.80 kadir), görünen parlaklığı V = 18 kadire kadar olan anakol bandı içinde bulunan yıldızların kümeye üyelik olasılıkları dikkate alınmıştır. Bu bölgede bulunan anakol yıldızlarının kümeye üyelik olasıklarının medyan değeri yaklaşık P = %40 olarak hesaplanmıştır. Kümenin temel astrofizik parametreleri tez çalışmasında iyi tayin

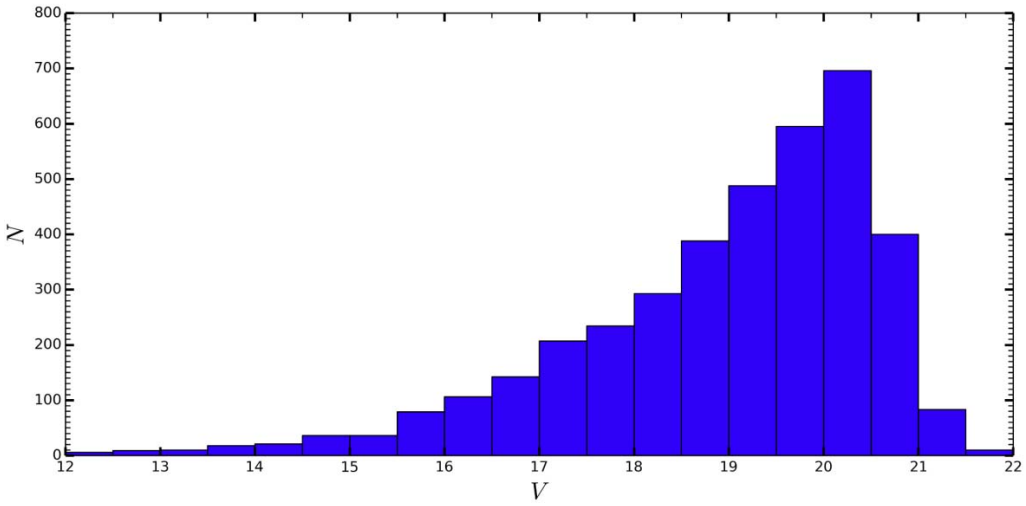
edildiği için anakol yıldızlarının kütleleri, kümeye en uygun PARSEC eş-yaş eğrisine ait kütle ve mutlak parlaklık verileri arasında oluşturulan bağıntıyla tayin edilmiştir. Anakol bandındaki yıldızların görünen V parlaklıkları ve uzaklık modülü değerinden mutlak parlaklıklara geçilmiş ve PARSEC eş-yaş eğrisinden hesaplanan mutlak parlaklık – kütle ilişkisinden de her bir anakol yıldızının kütlesi hesaplanmıştır. NGC 2818 açık kümesinde görünen parlaklığı 14.80 ile 18 kadir aralığında, kümeye üye olma olasılığı $P \geq$ %40 olan anakol yıldızlarının sayısı 79 olarak tespit edilmiştir. Seçilen anakol yıldızlarının kütle aralıklarına göre oluşturan sayı dağılımları Şekil 4.14'te logaritmik ölçeklerde gösterilmiştir. Kütle değerlerine ait hatalar Possion istatistiğine göre hesaplanmıştır. Kümenin anakol yıldızları $1.1 < M/M_{\odot} < 1.7$ kütle aralığındadır. NGC 2818 açık kümesinin IMF değerinin hesaplanmasında logaritmik kütle değerlerine karşı çizilen logaritmik sayı değerlerine, log $dN/dM = -(1+x) \log M + C$ şeklinde tanımlanmış doğrusal bir fit yapılmıştır. Burada dN, dM kütle aralığındaki yıldız sayısını; M, dM aralığındaki ortalama kütleyi; x kütle fonksiyonunun eğimini ve C katsayısı da fitin sabit sayısını göstermektedir. Kütle fonksiyonunun eğim değeri $x = 1.21 \pm 0.21$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer Salpeter'in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği $x = 1.35$ değerine çok yakındır.



Şekil 4.14: NGC 2818 açık kümesinin anakol bandında yer alan ve kümeye üyeliği $P \geq$ %40 olan yıldızlardan oluşturulan kütle fonksiyonu. Kırmızı çizgi kütle fonksiyonuna yapılan doğrusal fiti, kesikli çizgi Salpeter'in (1955) $x = 1.35$ eğimini göstermektedir.

4.2. NGC 3603

Fotometrik indirgemeleri yapılan NGC 3603 açık kümesi doğrultusundaki yıldız alanında görünen *V* parlaklığı 12 ile 22 kadir aralığında olan 3,858 kaynağın ekvatoral ve Galaktik koordinatlarını, *UBVRI* parlaklık ve renkleriyle ölçüm hatalarını içeren bir katalog hazırlanmıştır. Katalogdaki kaynakların ekvatoral koordinatları Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL kataloğundaki koordinatlar ile açısal uzaklık için beş yay saniyelik bir üst sınır gözetilerek eşleştirilmiştir. Eşleştirme sonucunda 3,858 kaynaktan 1,723 tanesinin öz hareket verisine ulaşılmış ve öz hareket verileri de kataloğa işlenmiştir. NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda *V* bandında belirlenen kaynakların histogramı Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi *V* bandında verilen poz süresi dikkate alındığında küme doğrultusundaki kaynakların etkin olarak $12 < V < 20.5$ kadir aralığında incelenebileceği görülmektedir.



Şekil 4.15: NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda gözlenen kaynakların *V* bandı görünen parlaklık histogramı.

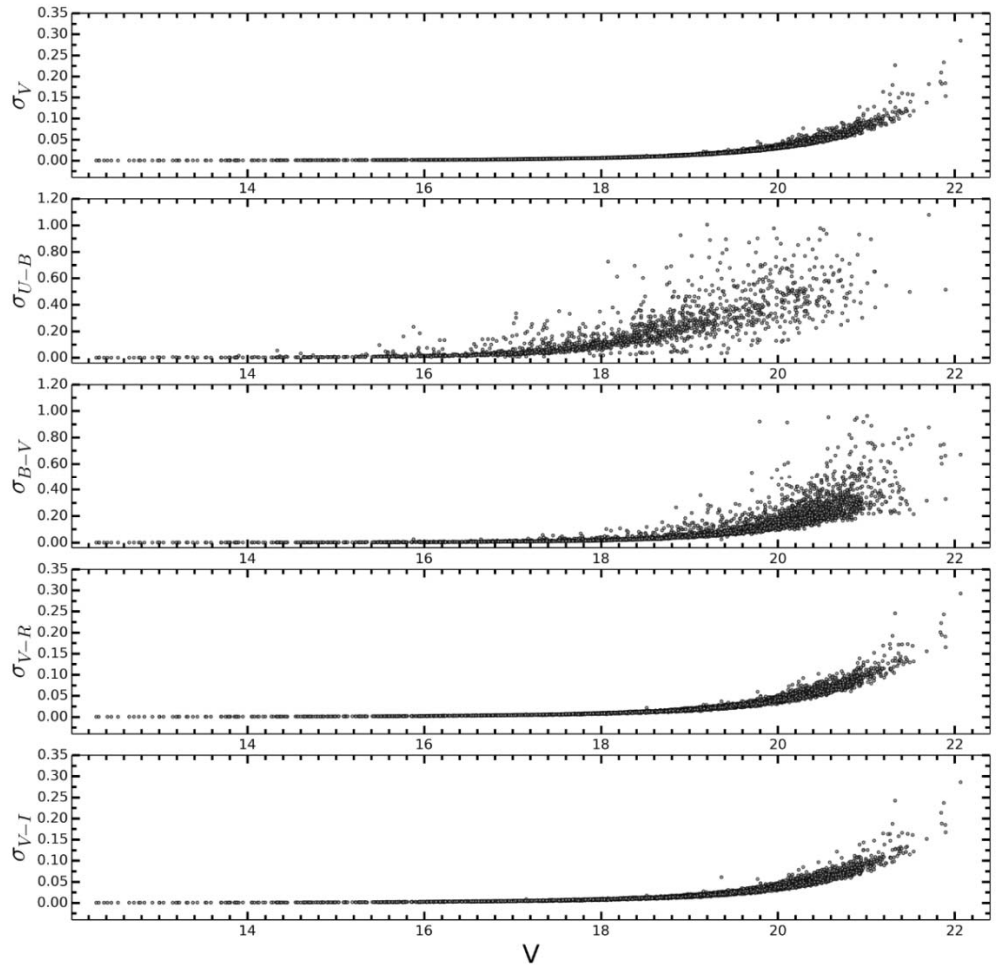
4.2.1. Fotometrik Hatalar

NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,858 kaynağın parlaklık ve renk hataları görünen *V* parlaklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.16'da gösterilmiş ve görünen *V* parlaklık aralıklarına göre gruplanan yıldız sayısı ile fotometrik hatalar ise Tablo 4.4'te listelenmiştir. Çalışmada tek bir poz süresi kullanıldığı için fotometrik hatalarda bir süreksizlik ile karşılaşılmamıştır. Görünen *V* parlaklığı 12 ile 20 kadir aralığındaki kaynaklar için ortalama fotometrik hatalar 0.02 kadiri aşmamaktadır. Fakat görünen *V* parlaklık aralığı

20 ile 22 kadir aralığındaki kaynaklar dikkate alındığında ortalama fotometrik hatalar yaklaşık 0.06 kadire yaklaşmaktadır. Küme doğrultusundaki yıldızların $V = 20$ parlaklık limitine kadar olan renk hataları dikkate alındığında *U-B*, *B-V* renklerinde, sırasıyla, 0.264 ve 0.076 kadirlik hatalar söz konusuyken, *V-R* ve *V-I* renklerindeki ortalama fotometrik hatalar 0.022 kadiri aşmamaktadır (Şekil 4.16).

Tablo 4.4: NGC 3603 açık kümesi doğrultusundaki yıldızların görünen *V* parlaklığına göre ortalama fotometrik hataları. Burada *N,* görünen parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır.

Parlaklık (m) Aralığı	*N*	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}	σ_{V-R}	σ_{V-I}
$12 < V \leq 14$	43	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001
$14 < V \leq 16$	172	0.001	0.015	0.003	0.002	0.002
$16 < V \leq 18$	689	0.004	0.063	0.012	0.005	0.005
$18 < V \leq 20$	1765	0.017	0.264	0.076	0.022	0.021
$20 < V \leq 22$	1188	0.055	0.503	0.670	0.066	0.061
$22 < V \leq 24$	1	---	---	---	---	---



Şekil 4.16: NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların parlaklık ve renk hatalarının *V* görünen parlaklığına göre dağılımları.

NGC 3603, Bölüm 3.1.2'de ayrıntılı olarak bahsedildiği gibi yıldızlararası ortam ile iç içe bulunan genç ve görünen çapı küçük bir açık kümedir. Tez çalışmasında Danimarka Teleskobu'ndan tek bir poz süresiyle alınan *UBVRI* görüntüleri incelendiğinde kümenin merkez bölgesindeki yıldız parlaklıklarının doyma seviyesine ulaştığı görülmüştür. Yaklaşık bir yay dakika yarıçaplı bölgedeki yıldızların istastistik dışı bırakılması halinde önemli sayıda küme yıldızının çalışmamızda kullanılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu etkinin ortadan kaldırılması için literatürdeki diğer çalışmaların dikkate alınmasına karar verilmiştir. Kümenin en güncel çalışmalarından biri Sagar ve diğ.'ne (2001) aittir. Sagar ve diğ. (2001) NGC 3603 açık kümesinin temel astrofizik parametrelerini elde edebilmek için CCD *UBVRI* filtrelerinde kısa poz süreleri içeren görüntüler almıştır. Bu gözlemler sayesinde küme merkez doğrultusunda 2.1×3.3 yay dakika karelik bir alanda, görünen *V* parlaklığı 11 ile 18 kadirlik yıldızları incelenmiş olup *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* filtrelerinde gözlenmiş yıldızların sayısı, sırasıyla 69, 305, 431, 176 ve 431'dir. Tez çalışmasında ise aynı yıldız alanı içinde *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* filtrelerinde gözlenmiş yıldız sayıları ise, sırasıyla 30, 57, 57, 64 ve 64'tür. Aynı yıldız alanında iki çalışmadan elde edilen yıldız sayıları birbiriyle karşılaştırıldığında poz sürelerinin kısa verildiği Sagar ve diğ. (2001) çalışmasında daha fazla yıldız olduğu görülmüştür. Bu nedenle, kümenin merkez bölgesi doğrultusundaki 2.1×3.3 yay dakika^2'lik bir alandaki yıldızların fotometrik ve astrometrik ölçümleri Sagar ve diğ.'den (2001) alınmıştır. Sagar ve diğ.'nin (2001) yıldız alanının dışında kalan tüm kaynakların fotometrik ölçümleri ise bu tez çalışmasından gelmektedir. Yukarıda belirtilen koşullar altında her iki çalışmadan gelen toplam kaynak sayısı 3,953'tür.

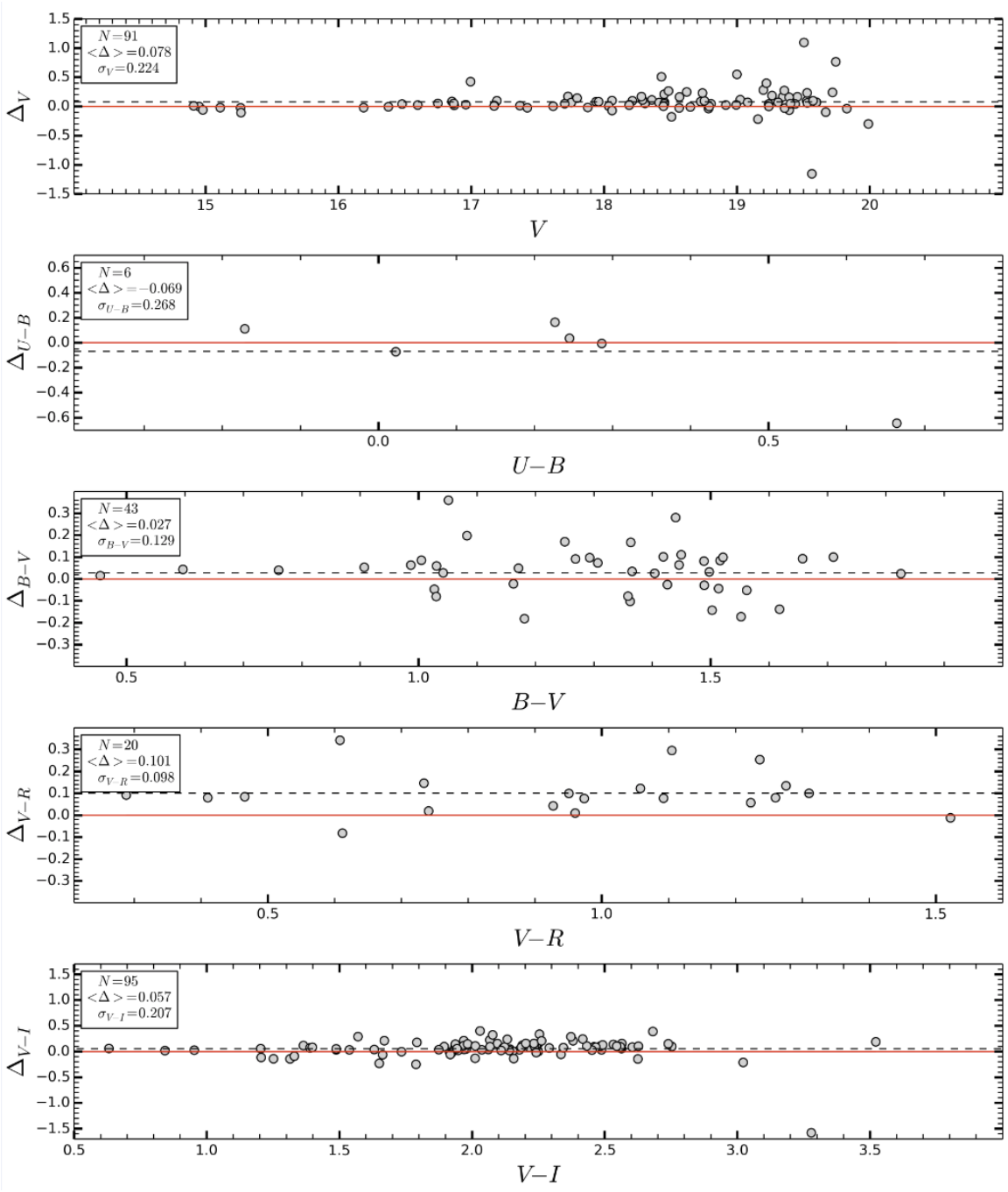
4.2.2. Fotometrik Verilerin Literatür ile Karşılaştırılması

Tez çalışmasında NGC 3603 açık kümesinin hesaplanan fotometrik verileri, literatürdeki en güncel çalışma olan Sagar ve diğ.'nin (2001) CCD *UBVRI* verileriyle karşılaştırılmıştır. Ekvatoral koordinat verilerine göre her iki çalışmada örtüşen 82 kaynağın *V* görünen parlaklık farkları (ΔV) görünen parlaklığın (*V*) bir fonksiyonu olarak Şekil 4.17a panelinde gösterilmiştir. İki çalışma arasındaki ortalama *V* parlaklık farkı ve bu farkların standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.059 ve 0.095 kadirdir. İki fotometrik çalışma arasındaki belirgin bir parlaklık farkı bulunmamakta fakat parlaklık farklarının sapma değerleri, beklenildiği gibi, $V = 18$ kadirden daha sönük parlaklıklara doğru artmaktadır. İki çalışma arasındaki renk farkları Şekil 4.17b-e panellerinde gösterilmiştir. Şekil 4.17b'de, iki fotometrik çalışmadaki

U-B renk farklarının karşılaştırılması yapılmıştır. Analizlerden elde edilen renk farklarının ortalaması ve bu farkların standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.046 ve 0.084 kadirdir. Şekilden de görüleceği gibi karşılaştırılan yıldız sayısı beş olup istatistiksel olarak hesaplanan sonuçların yorumlanmasında dikkatli olunmalıdır. 39 yıldızın her iki çalışmada belirlenen *B-V* renk farklarının karşılaştırılması Şekil 4.17c panelinde gösterilmiştir. Örtüşen yıldızların *B-V* renk aralığı 0.4 ile 1.9 kadir aralığında olup geniş bir tayf aralığındaki yıldızları içermektedir. Renk farklarının (Δ_{B-V}) ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.047 ve 0.103 kadirdir. İki çalışma arasında örtüşen yıldızların $\Delta(B-V)$ renk farklarının hemen hemen sıfır çizgisine yakın ve renk farklarının da sapmasının çok küçük olduğu tespit edilmiştir. Küme doğrultusunda 18 yıldızın örtüştüğü *V-R* renkleri dikkate alındığında (Şekil 4.17d paneli), Δ_{V-R} ortalama ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.105 ve 0.099 kadirdir. Şekilden görüleceği gibi iki çalışma arasındaki renk farkları arasında sistematik bir yanlılık bulunmadığı fakat bir seviye farkının olduğu görülmektedir. Şekil 4.16e panelinde iki fotometrik çalışmada örtüşen 82 kaynağın *V-I* renk farkları gösterilmiştir. Örtüşen kaynaklar $0.5 < V-I < 3.6$ kadir aralığında olup ortalama renk farkları ($\Delta(V-I)$) ve farkların standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.071 ve 0.109 kadirdir. İki çalışma arasında yaklaşık 0.07 kadirlik bir seviye farkının bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Sagar ve diğ. (2001) ile bu tez çalışmasında hesaplanan parlaklık ve renkler arasındaki fotometrik uyumun istatistiksel olarak sağlandığı söylenebilir.

4.2.3. NGC 3603 Açık Kümesinin Yapısal Parametreleri

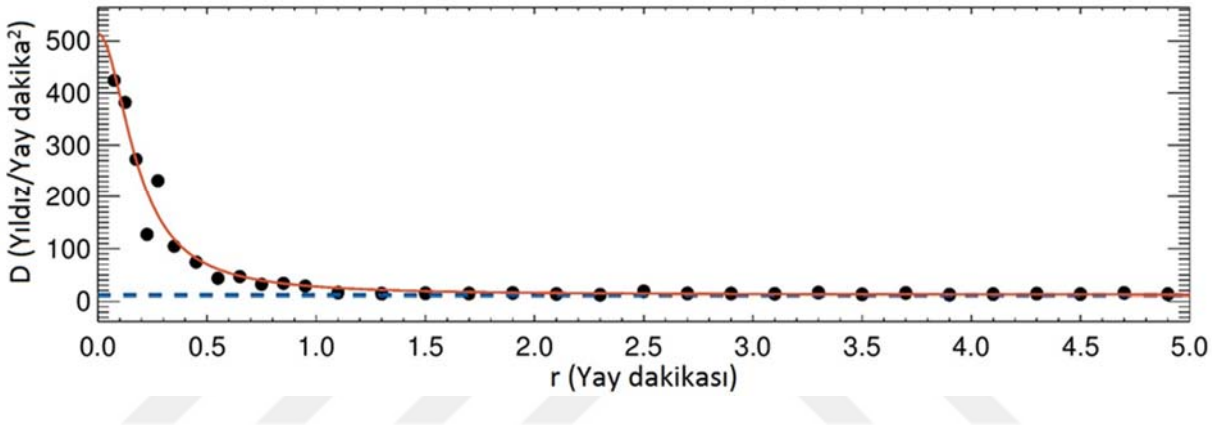
NGC 3603 açık kümesinin yoğunluk profilinin belirlenmesinde kümenin ekvatoral koordinatları ve Galaktik koordinatları, sırasıyla (α_{2000}, δ_{2000}) = ($11^h\ 15^m\ 07^s.4$, $-61^o\ 15'\ 38.6$) ve (l, b) = (291°.62, -0°.52) Sagar ve diğ. (2001) çalışmasından alınmıştır. Kümenin radyal yoğunluk profilini oluşturmak için küme merkezinden farklı uzaklık aralıkları içinde bulunan yıldızlar sayılmıştır. Buna göre küme merkezinden 0.3 yay dakikasına kadar olan uzaklıklarda 0.05 yay dakikası, 0.3 ile 1 yay dakikası uzaklıklarda 0.1 yay dakikası ve 1 ile 5 yay dakikası uzaklıklarda ise 0.2 yay dakikası uzaklık aralıkları seçilmiştir. Daha sonra, bir önceki alanda bulunan yıldız sayısı bir sonrakinde bulunan yıldız sayısından çıkartılarak incelenen bölgenin yıldız sayısı hesaplanmıştır. Her bir alandaki yıldız sayıları bulundukları daire parçasının alanına bölünmek suretiyle yoğunluklar tayin edilmiştir.



Şekil 4.17: Tez çalışmasında hesaplanan fotometrik verilerin Sagar ve diğ. (2001) çalışmasındaki örtüşen yıldızların fotometrik verileriyle karşılaştırılması. Ortalama farklar ve bu farkların standart sapma değerleri panellerin sol üst köşesinde verilmiştir.

Küme merkezinden itibaren r = 5 yay dakikası uzaklık içindeki her bir alan için hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Küme merkezinde görülen yaklaşık en büyük ρ = 514 yıldız/(yay dakika)^2 yoğunluk, merkezden r = 1 yay dakika uzaklığında

yaklaşık ρ = 30 yıldız/(yay dakika)^2 değerine azalmaktadır. Yaklaşık r = 2 yay dakikası uzaklığındaki yoğunluk değeri ise ρ = 11 yıldız/(yay dakika)^2 değerine azalarak yatay eksene göre asimptotik olmaktadır. Çalışmada kümenin yapısal parametrelerini belirlemek için Bölüm 4.1.3'te, (4.1) bağıntısındaki King modeli (King, 1966) kullanılmıştır. Zemin yıldızı yoğunluğu f_{bg} = 11.54 ± 0.08 yıldız/(yay dakika)^2 olarak elde edilmiştir. Gözlemsel verilerin King modeline uyumunda minimum χ^2 analizinden faydalanılmış ve merkezi yıldız yoğunluğuyla kümenin kor yarıçapı, sırasıyla, f_0 = 502.60 ± 0.56 yıldız/(yay dakika)^2 ve r_c = 0.18 ± 0.01 yay dakikası olarak hesaplamıştır.

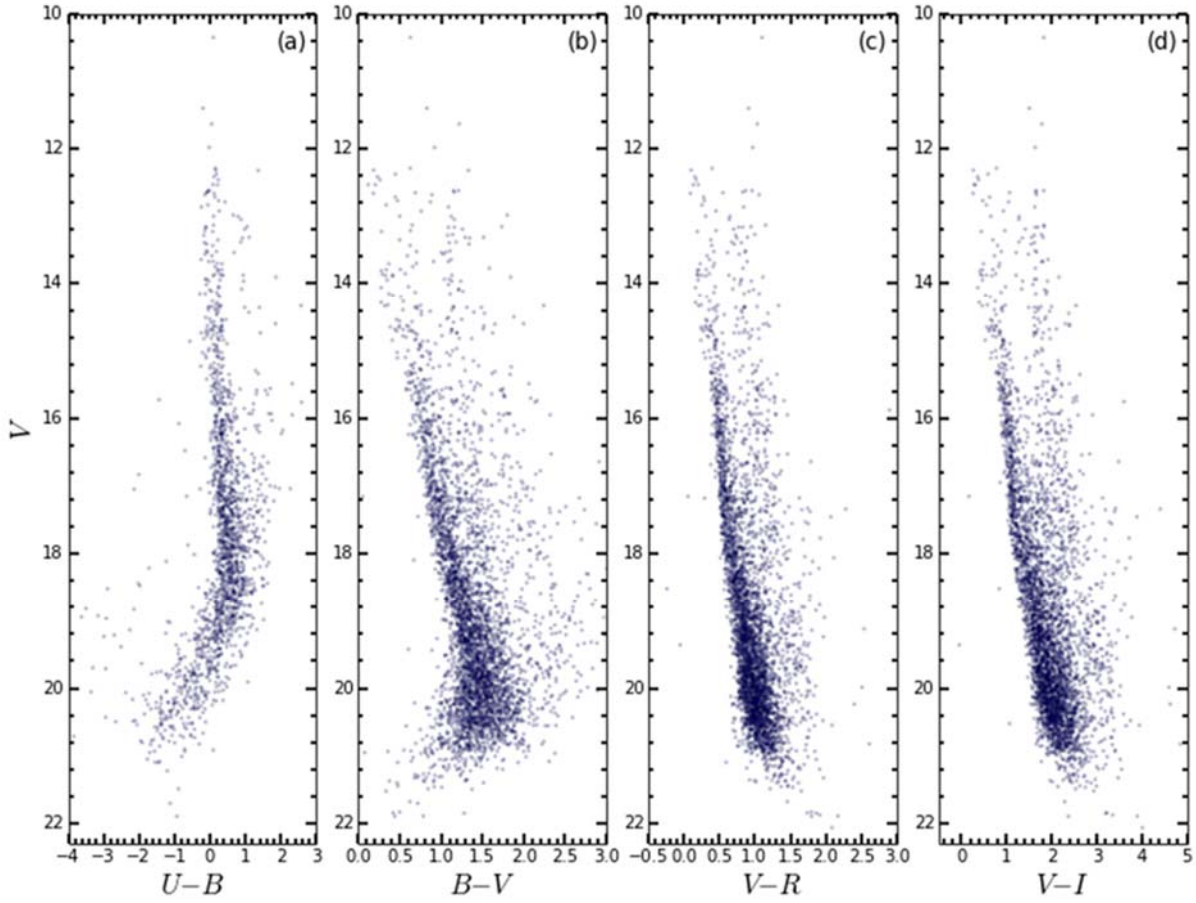


Şekil 4.18: NGC 3603 açık kümesinin V=20 görünen limit parlaklığı için oluşturulmuş yıldız yoğunluk profili. Kırmızı düz çizgi King modeli fitini göstermektedir.

4.2.4. Küme Üyesi Yıldızların Seçimi

NGC 3603 açık kümesi doğrultusundaki kaynakların $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$, $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.19'da verilen panellerde gösterilmiştir. Oluşturulan renk-parlaklık diyagramlarında küme üyeleri kolay bir şekilde görülememektedir. Küme üyesi yıldızları $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde daha kolay belirleyebilmek için küme merkezinden itibaren r = 1 yay dakikası uzaklık aralığı içinde bulunan yıldızların renk-parlaklık diyagramının oluşturulmasına karar verilmiştir. Şekil 4.20'nin (a) panelinde bu tez çalışmasında NGC 3603 açık kümesi için elde edilmiş $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı, (b) panelinde ise küme merkezinden r = 1 yay dakikası uzaklık aralığı içinde bulunan 138 yıldızın kırmızı daire sembolü ile işaretlendiği aynı $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı gösterilmiştir. Şekil 4.20'nin (b) panelinden de görülebileceği gibi kümenin en parlak anakol yıldızlarının görünen V parlaklıkları 11 ile 15 kadir ve $B\text{-}V$ renk indeksleri ise 1 ile 1.5 kadir aralığında yer almaktadır. Bu tespit, kümenin anakol yıldızlarının alan yıldızlarına göre aşırı

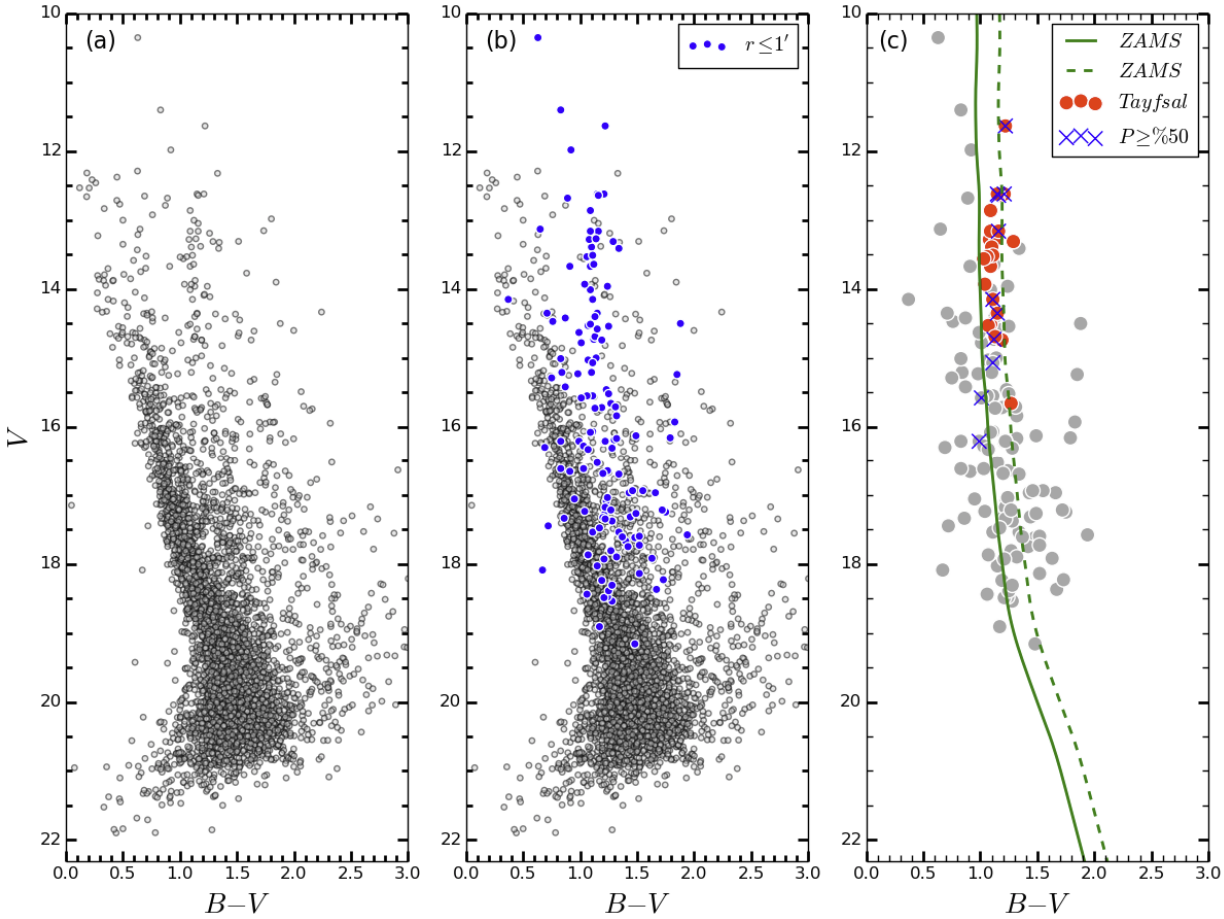
derecede kızarmış değerlerde olduğunu göstermektedir. Kümenin merkez bölgesinde bulunan yıldızlar içinde sadece iki tanesinin Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL kataloğundaki öz hareket verilerine ulaşıldığından astrometrik olarak kümeye üyelik hakkında bilgi verebilmek neredeyse imkânsızdır.



Şekil 4.19: NGC 3603 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) $V \times V\text{-}I$

Bu problemin üstesinden gelebilmek için tez çalışmasında, Dias ve diğ.'nin (2014) NGC 3603 açık kümesi için astrometrik verilerden hesaplamış oldukları kümeye üyelik olasılıklarının kullanılması tercih edilmiştir. Dias ve diğ. (2014), NGC 3603 açık kümesi doğrultusunda, r = 1 yay dakika uzaklık içinde 65 yıldızın kümeye üyelik olasılıklarını vermektedir. Bu çalışmada belirlenen 138 yıldızın ekvatoral koordinatları dikkate alınarak Dias ve diğ.'nin (2014) çalışmasıyla eşleştirildiğinde 36 yıldızın öz hareket ve kümeye üyelik olasılığı değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca 36 yıldız içerisinde kümeye üye olma olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldız sayısının 11 olduğu görülmüştür. Kümeye üyelik olasılığı yüksek olan bu yıldızlar

Şekil 4.20c'de ″×″ sembolüyle gösterilmiştir. Astrometrik çalışmaların yanı sıra küme üyesi yıldızların daha hassas belirlenebilmesi için NGC 3603 açık kümesinin son zamanlarda yapılmış tayfsal çalışmaları da dikkate alınmıştır. NGC 3603 açık kümesinde erken tayf türünden 36 yıldızın tayf türü Melena ve diğ. (2008) tarafından belirlenmiştir. Tayf türü belirlenen yıldızların ekvatoral koordinatları, r < 1 yay dakikası içinde *UBVRI* fotometrik verisi bulunan yıldızlar ile eşleştirildiğinde 23'ünün ortak olduğu görülmüş ve söz konusu yıldızlar Şekil 4.20c'de kırmızı daire sembolüyle gösterilmiştir.



Şekil 4.20: NGC 3603 açık kümesinin farklı sınırlamalar ile oluşturulmuş $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları: (a)'da Küme doğrultusundaki tüm kaynaklar (gri daire), (b)'de küme merkezinden r = 1 yay dakikası uzaklık içindeki kaynaklar (mavi daire) ve (c)'de bir önceki panel üzerine tayfsal çalışmaları Melena ve diğ.'den (2008) alınan erken tayf türündeki 23 yıldız (kırmızı daire), Dias ve diğ.'den (2014) kümeye üyelik olasılığı P≥%50 olan yıldızlar (mavi çarpı sembolü) ile Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi (yeşil düz çizgi) ve anakol bandı (yeşil kesikli çizgi) gösterilmiştir.

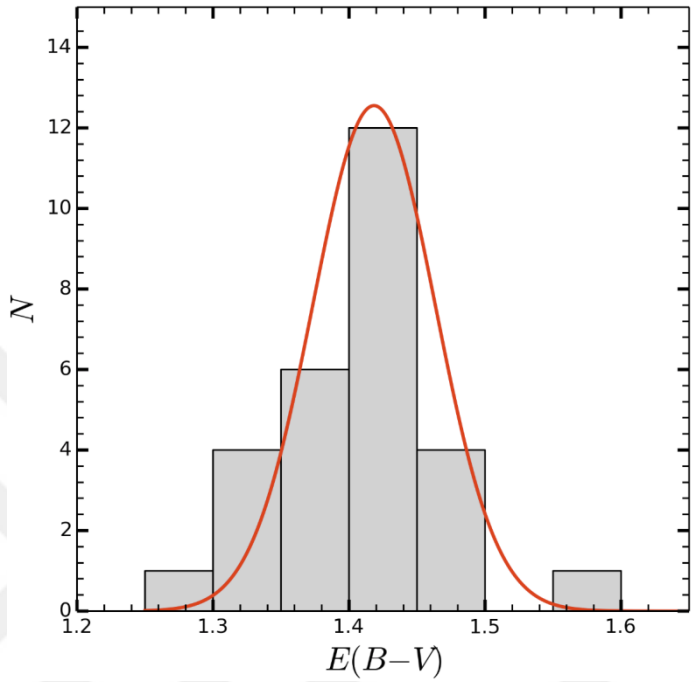
Tayfsal çalışması yapılan 23 yıldızın O3 ile B1 tayf türü aralığında yer aldığı görülmüş ve küme üyesi yıldızların belirlenmesi için Şekil 4.20c'de verilen $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramına Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi hem tayfsal verileri hem de astrometrik verileri en iyi temsil edecek şekilde kaydırılmıştır. Aynı şekil üzerinde küme üyeliği yüksek olan yıldızların ZAMS eğrisi civarında yer aldıkları ve görünen V parlaklıklarının 11 ile 16.25 kadir aralığında olduğu görülmüştür.

4.2.5. Kızarma Tayini

NGC 3603 açık kümesi genç ve oluştuğu molekül bulutuna gömük bir halde bulunduğu için küme merkezinden itibaren $r = 1$ yay dakikası içinde bulunan 138 yıldızın ancak 46 tanesinin U filtresiyle gözlemi yapılabilmiştir. Bu da $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramı üzerinde ZAMS anakolu kaydırılarak küme doğrultusunda renk artıklarının hesaplanmasında yeterli değildir. Küme doğrultusunda kızarma tayininin yapılabilmesi için özellikle erken tayf türündeki yıldızların renk artıklarının belirlenmesinde kullanılan ve Bölüm 3.5.2'de bahsedilen Q yöntemi tercih edilmiştir. Bu yönteme göre erken tayf türünden anakol yıldızlarının seçilmesi gerekmektedir. Bunun için ZAMS eğrisi, tayfsal verileri analiz edilmiş anakol yıldızlarına göre sağ tarafa doğru kaydırılmış (bakınız Şekil 4.20c) ve kümenin anakol yıldız örneği oluşturulmuştur. Seçilen bölgede 64 yıldızın 28'inin U filtresiyle gözlenmiş parlaklıkları bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızların Q değerleri (3.14), $(B\text{-}V)_o$ gerçek renk indeksleri (3.15) ve $E(B\text{-}V)$ renk artıkları ise (3.16) bağıntılarıyla hesaplanmıştır. Küme merkezine doğru yoğunlaşan bu yıldızların $E(B\text{-}V)$ renk artıklarının frekans dağılımları Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Renk artığı dağılımı bir Gauss eğrisiyle fit edilerek NGC 3603 açık kümesi için ortalama renk artığı $\langle E(B\text{-}V)\rangle = 1.42 \pm 0.04$ kadir hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında Q yöntemiyle tayin edilen kızarma değeri kontrol edilmesi için Melena ve diğ.'nin (2008) tayfsal çalışmasında kullandıkları ve bu çalışma ile ortak olan 23 yıldıza uygulanmıştır. Melena ve diğ. (2008) yıldızların tayf türünü belirledikten sonra yıldızların gözlenmiş renklerini gerçek renklerinden çıkartarak $E(B\text{-}V)$ renk artığını belirlemiştir (Tablo 4.5). Tablodan da görüleceği gibi Melena ve diğ. (2008) iki yıldızın (Sh56 ve Sh 58) renk artığını tayin edememiştir. Aynı tabloda ortak olan 23 yıldızdan anakol yıldızı olarak belirlenmiş yıldızların bu çalışmada elde edilen V, $U\text{-}B$ ve $B\text{-}V$ parlaklık ve renkleri ile Q yöntemiyle hesaplanan renk artıkları da listelenmiştir. Buna göre 23 yıldızdan ancak 12 tanesinin $E(B\text{-}V)$ renk artık değerleri hesaplanmıştır. İki çalışmadan belirlenen renk

artıklarının farklarına ait ortalama değer ve bu farklara ait standart sapma değeri, sırasıyla, 0.03 ve 0.06 kadir olarak hesaplanmıştır. Farklar ve farkların sapma değerleri dikkate alındığında iki çalışmanın oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21: *Q* yöntemiyle renk artıkları hesaplanan 28 yıldızın *E*(*B*-*V*) frekans dağılımı. Kırmızı çizgi dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir.

4.2.6. Yaş Tayini

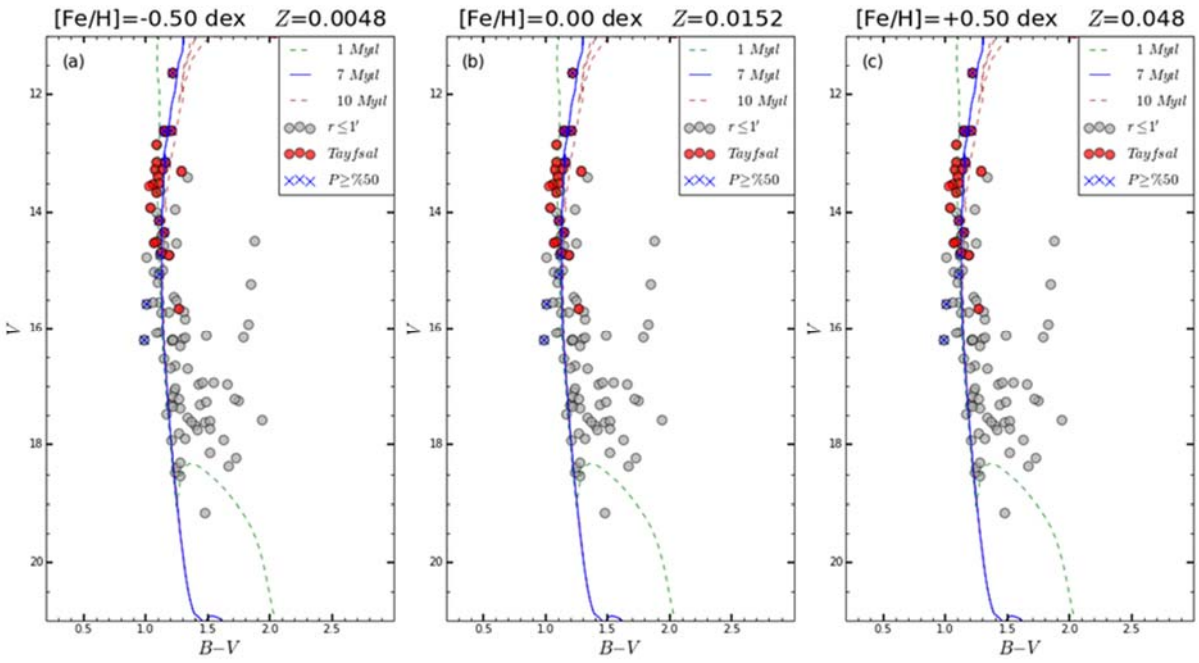
NGC 3603 açık kümesinin yaş tayininde Bölüm 3.5.5'te verilen PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. Kümenin dört farklı renk-parlaklık diyagramında kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ % 50 olan ile tayfsal verileri bulunan yıldızlara ağırlık verilerek PARSEC eş-yaş eğrileri geçirilmek suretiyle kümenin yaşı belirlenmiştir. NGC 3603 genç bir açık küme olduğundan F-G tayf türünden yıldızlar içermemektedir. Tez çalışmasında metal bolluğu tayini F-G tayf türünden yıldızların morötesi artığına duyarlı kalibrasyonlar ile tayin edildiğinden NGC 3603 açık kümesinin metal bolluğu hesaplanamamıştır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için Galaksi diskindeki açık kümelerin metal bolluğu aralığı dikkate alınarak üç farklı ağır element bolluğunda (*Z*) seçilen üç yaş eğrisi Şekil 4.20c'de gösterilen renk-parlaklık diyagramı üzerine işaretlenmiştir.

Tablo 4.5: NGC 3603 açık kümesinde tayfsal (Melena ve diğ., 2008) ve fotometrik (bu çalışma) verisi bulunan yıldızlardan hesaplanan $E(B\text{-}V)$ renk artığı değerleri.

				Melena ve diğ. (2008)		Bu çalışma					
Sıra	**Yıldız**	α **(hh:mm:ss)**	δ **(dd:mm:ss)**	**Tayf Türü**	***E(B-V)*** **(kadir)**	***V*** **(kadir)**	***U-B*** **(kadir)**	***B-V*** **(kadir)**	***V-R*** **(kadir)**	***V-I*** **(kadir)**	***E(B-V)*** **(kadir)**
1	Sh54	11:15:03.98	-61:15:35.72	O6 V	1.40	14.51	-0.12	1.09	0.83	1.61	1.39
2	103	11:15:06.24	-61:15:36.58	O3 V((f))	1.31	12.86	-0.24	1.09	0.84	1.63	1.43
3	Sh63	11:15:06.85	-61:15:44.69	O3.5 III(f)	1.37	13.28	-0.17	1.08	0.73	1.62	---
4	38	11:15:06.92	-61:15:36.60	O4 III(f)	1.30	13.27	---	1.14	1.00	1.78	---
5	101	11:15:07.07	-61:15:45.32	O6.5 V((f))	1.40	13.93	-0.09	1.04	0.71	1.67	1.32
6	Sh53	11:15:07.15	-61:15:54.86	O8.5 V	1.43	14.35	-0.01	1.15	0.86	1.77	1.43
7	104	11:15:07.28	-61:15:34.94	O3 III(f)	1.39	13.31	---	1.29	---	1.56	---
8	Sh56	11:15:07.50	-61:15:46.35	O3 III(f)+O?	--	13.39	-0.16	1.10	0.81	1.62	---
9	117	11:15:07.62	-61:15:30.24	O6 V	1.42	13.67	0.09	1.09	0.89	1.79	1.32
10	Sh25	11:15:07.65	-61:15:17.59	B1 Iab	1.60	11.63	0.50	1.22	1.03	1.79	---
11	Sh64	11:15:07.82	-61:15:27.93	O3 V((f))	1.47	13.51	-0.10	1.11	0.87	1.64	1.41
12	102	11:15:08.07	-61:15:34.24	O8.5 V	1.41	15.66	---	1.27	0.62	1.70	---
13	Sh57	11:15:08.20	-61:15:47.33	O3 III(f)	1.39	13.16	-0.13	1.09	0.77	1.64	---
14	108	11:15:08.51	-61:15:38.30	O5.5 V	1.42	13.53	-0.07	1.06	0.86	1.67	1.34
15	Sh18	11:15:08.71	-61:15:59.95	O3.5 If	1.53	12.62	-0.03	1.21	0.96	1.83	---
16	Sh58	11:15:08.70	-61:15:44.49	O8 V e	---	14.74	-0.25	1.19	0.78	1.64	1.56
17	Sh24	11:15:08.90	-61:15:27.32	O6 V	1.43	14.15	-0.13	1.11	0.85	1.65	1.42
18	Sh49	11:15:09.13	-61:15:33.18	O7.5 V	1.42	14.53	-0.01	1.07	0.76	1.70	1.33
19	Sh47	11:15:09.35	-61:16:02.07	O4 V	1.47	12.64	-0.08	1.16	0.83	1.65	1.46
20	Sh23	11:15:09.85	-61:15:30.48	OC9.7 Ia	1.39	12.62	-0.03	1.15	0.87	1.66	---
21	Sh22	11:15:10.07	-61:15:38.01	O3 III(f)	1.39	13.16	-0.10	1.16	0.83	1.70	---
22	Sh21	11:15:11.07	-61:15:36.85	O6 V((f))	1.44	14.69	-0.09	1.13	0.86	1.69	1.43
23	Sh19	11:15:11.32	-61:15:55.63	O3 V((f))	1.35	13.56	-0.14	1.03	0.78	1.49	1.32

Galaksi diski içinde bulunan açık kümelerin demir bollukları kabaca -0.5 < [Fe/H] < +0.50 dex aralığındadır ve bu demir bolluğu değerlerine karşılık gelen ağır element bollukları $0.0048 \leq Z \leq 0.048$ olur.Hesaplamalarda Güneş'in ağır element bolluğu $Z_{\odot} = 0.0152$ alınmıştır (Bressan ve diğ., 2012). NGC 3603 açık kümesinin merkezine $r = 1$ yay dakikası uzaklık içinde bulunan yıldızlar ile üç farklı ağır element bolluğu (0.0048, 0.0152 ve 0.048) ve üç farklı yaş (1, 10 ve 20 Myıl) değerleri PARSEC eş-yaş eğrilerinden seçilerek Şekil 4.22'deki $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramına işaretlenmiştir. Seçilen eş-yaş eğrileri Şekil 4.22'deki panellere işaretlenirken renk artığı ve uzaklık modül değerleri her üç panel için sabit tutularak ağır element bolluğu etkisinin ortaya çıkartılmasında kullanılmıştır. Şekilden de görüleceği gibi metal bolluğu fakir (Şekil 4.22a) ve Güneş bolluğunda (Şekil 4.22b) bulunan eş-yaş eğrileri $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramındaki yıldızları çok iyi temsil ederken, metalce zengin (Şekil 4.22c) olan eş-yaş eğrileri NGC 3603 açık kümesinin

yıldızlarını iyi temsil etmemektedir. Bu da kümenin Güneş bolluğunda veya Güneş bolluğundan daha fakir olduğunu gösteren önemli bir kanıttır. Küme yaşlarının tayinindeki en büyük belirsizlik, kümelerin renk artığı, uzaklık modülü ve ağır element bolluğunun bağımsız yöntemler ile tayin edilememesinden kaynaklanır. Çalışmamızda NGC 3603 açık kümesinin ortalama renk artığı $\langle E(B\text{-}V)\rangle$ = 1.42 ± 0.04 kadir olarak bir önceki bölümde bahsedilen Q yöntemiyle belirlenmiştir. Bu bölümde ise kümenin element bolluğunun farkı veya Güneş bolluğunda olduğu kabaca gösterilmiş olup her iki metal bolluğu değerinde yaş eğrilerinin hemen hemen hiç değişmediği görülmüştür. Bu nedenle kümenin ağır element bolluğunun Güneş bolluğunda ($Z_{\odot}$ = 0.0152) seçilmesi uygun görülmüştür. Kümenin uzaklık modülünün belirlenmesi söz konusu olduğunda ise küme uzaklığının ve yaşın eş zamanlı yapılmasının çalışmamız için uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 4.22: NGC 3603 açık kümesinin ağır element bolluğunun belirlenmesinde kullanılan $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları. Küme merkezinden r = 1 yay dakikası uzaklık içindeki kaynaklar gri daire, tayfsal çalışması bulunan yıldızlar kırmızı daire sembolüyle, kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızlar ise mavi çarpıyla gösterilmiştir. Panellerde üç farklı ağır element bolluğu ve üç farklı eş-yaş eğrisi kullanılmıştır.

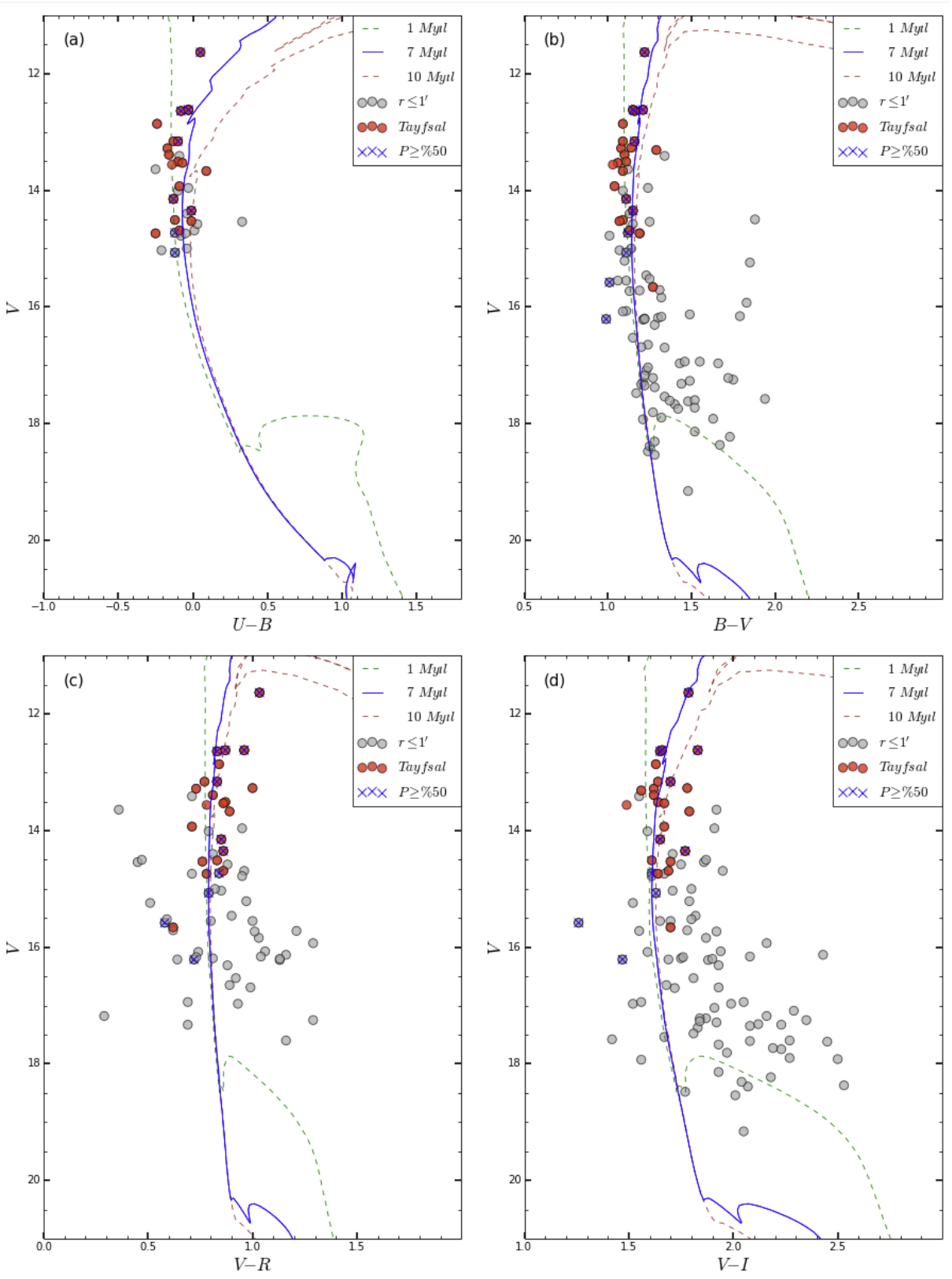
NGC 3603 açık kümesinin yukarıda anlatılan yöntemler ile renk artığı, metal bolluğu belirlendikten sonra $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$ ve $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları çizilerek kümenin yaşı ve uzaklık modülü eş zamanlı tayin edilmiştir. PARSEC eş-yaş eğrileri

kümenin en olası yıldızlarını temsil edecek şekilde renk-parlaklık diyagramları üzerinde hareket ettirilmiş ve en uygun uzaklık modülü ve yaş değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.23).

Analizler sonucunda kümenin kızarmış uzaklık modülü dört renk-parlaklık diyagramı için $m\text{-}M_V$ = 18.89 kadir olup kümenin uzaklığı d = 7,945 pc olarak belirlenmiştir. Kümenin uzaklığındaki hatanın belirlenmesinde (3.22) bağıntısıyla verilen eşitlik kullanılmıştır. Kümenin anakol yıldızı olarak seçilen 64 yıldız için V görünen parlaklığında ve $B\text{-}V$ rengindeki ortalama hatalar, sırasıyla, 0.011 ve 0.044 kadirdir. Bu değerlerin (3.22) bağıntısına yerleştirilmesiyle kümenin uzaklığındaki belirsizlik yaklaşık Δd = 540 pc olarak hesaplanmıştır. Bu belirsizlik değerinin uzaklık modülü için belirlenen değeri $\Delta(m\text{-}M_V)$ = 0.15 kadirdir. Kümenin uzaklık modülünün de belirlenmesiyle kümenin en olası üyelerini temsil eden PARSEC eş-yaş eğrisinin 7 Myıl olduğu görülmüştür. Bu eğri tüm renk-parlaklık diyagramlarında kümenin yüksek olasılıklı üyelerini en iyi temsil eden yaş değeri olmuştur (Şekil 4.23). Küme yaşına ait belirsizliğin belirlenmesinde özellikle kümenin ZAMS'ında bulunan ve ZAMS'dan ayrılan parlak yıldızların HR diyagramındaki konumları dikkate alınmıştır. PARSEC eş-yaş eğrileri bu yıldızları içerecek şekilde kaydırılarak yaş değerindeki en büyük ve en küçük değerler $t = 7^{-6}_{+3}$ Myıl olarak hesaplanmıştır. NGC 3603 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: NGC 3603 açık kümesinin dört renk-parlaklık diyagramından elde edilen astrofizik parametreleri.

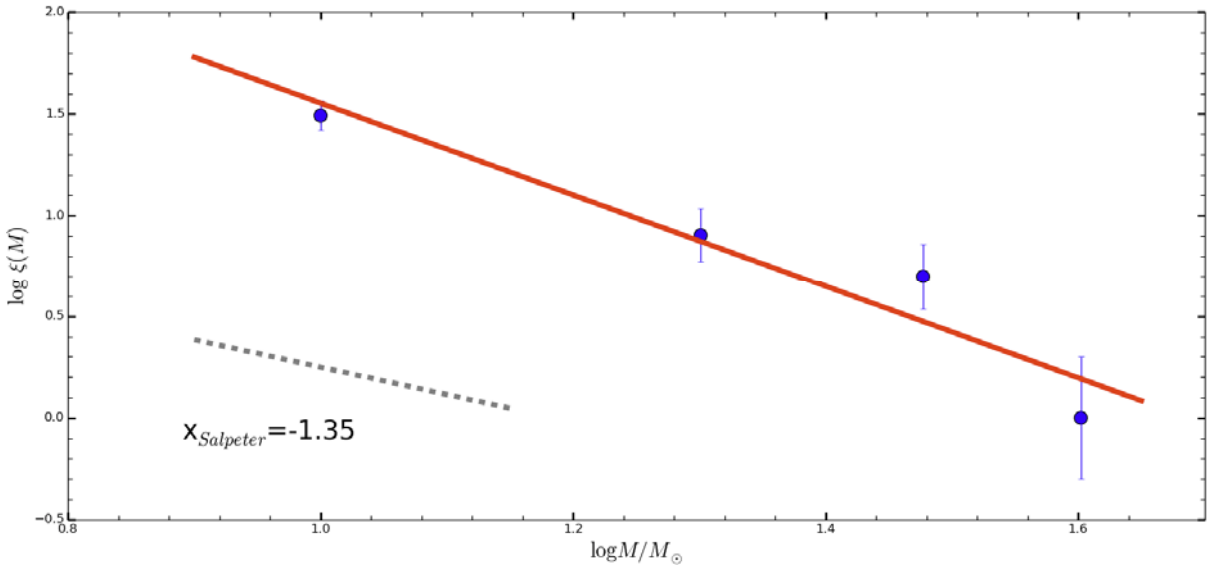
Renk-Parlaklık Diyagramı	**Renk Artığı (kadir)**	**μ (kadir)**	**d (pc)**	**[Fe/H] (dex)**	**t (Myıl)**
$V \times (U\text{-}B)$	$E(U\text{-}B) = 1.12 \pm 0.03$	18.89 ± 0.15	$7{,}945 \pm 540$	0.00 ± 0.01	7^{-6}_{+3}
$V \times (B\text{-}V)$	$E(B\text{-}V) = 1.42 \pm 0.04$	18.89 ± 0.15	$7{,}945 \pm 540$	0.00 ± 0.01	7^{-6}_{+3}
$V \times (V\text{-}R)$	$E(V\text{-}R) = 0.92 \pm 0.03$	18.89 ± 0.15	$7{,}945 \pm 540$	0.00 ± 0.01	7^{-6}_{+3}
$V \times (V\text{-}I)$	$E(V\text{-}I) = 1.78 \pm 0.04$	18.89 ± 0.15	$7{,}945 \pm 540$	0.00 ± 0.01	7^{-6}_{+3}
Ortalama değerler		18.89 ± 0.15	$7{,}945 \pm 540$	0.00 ± 0.01	7^{-6}_{+3}



Şekil 4.23: NGC 3603 açık kümesinin (a) $V \times U\text{-}B$ (b) $V \times B\text{-}V$ (c) $V \times V\text{-}R$ ve (d) $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları ve PARSEC eş-yaş eğrileri. Semboller her panelde açıklanmıştır.

4.2.7. Kütle Fonksiyonu

NGC 3603 açık kümesinin IMF değerini hesaplamak için kümenin Şekil 4.21c'de verilen $V \times B\text{-}V$ renk parlaklık diyagramı üzerinde V görünen parlaklığı $12 < V < 19$ kadir aralığındaki anakol bandı içinde bulunan 63 yıldız dikkate alınmıştır. Anakol yıldızlarının mutlak parlaklıkları NGC 3603 açık kümesi için belirlenen renk artığı ve uzaklık modülü kullanılarak hesaplanmıştır (bakınız Tablo 4.6). Söz konusu yıldızların kütleleri ise NGC 3603 açık kümesi için hesaplanan t = 7 Myıl PARSEC eş-yaş eğrisine ait mutlak parlaklık – kütle değerleri arasında kurulan yüksek dereceden bir polinom yardımıyla belirlenmiştir. Seçilen anakol yıldızlarının kütle aralıklarına göre oluşturulan sayı dağılımları Şekil 4.24'te logaritmik ölçeklerde gösterilmiştir. Kütle değerlerine ait hatalar Possion istatistiğine göre hesaplanmıştır. Kümenin anakol yıldızları $2 < M/M_{\odot} < 40$ kütle aralığındadır. NGC 3603 açık kümesinin IMF değerinin hesaplanmasında logaritmik kütle değerlerine karşı çizilen logaritmik sayı değerlerine, $\log dN/dM = -(1+x) \log M + C$ şeklinde tanımlanmış doğrusal bir fit yapılmıştır. Burada dN, dM kütle aralığındaki yıldız sayısını; M, dM aralığındaki ortalama kütleyi; x kütle fonksiyonunu eğimini ve C katsayısı da fitin sabit sayısını göstermektedir. Kütle fonksiyonun eğim değeri $x = 1.26 \pm 0.47$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer Salpeter'in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği $x = 1.35$ değerine çok yakındır.



Şekil 4.24: NGC 3603 açık kümesinin anakol bandında bulunan yıldızlardan oluşturulan kütle fonksiyonu. Kırmızı çizgi kütle fonksiyonuna yapılan doğrusal fiti, kesikli çizgi Salpeter'in (1955) $x = 1.35$ eğimini göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, güney gökyüzündeki biri orta yaşlı (NGC 2818) biri de çok genç (NGC 3603) olan iki açık kümenin fotometrik analizleri yapılmıştır. ESO'nun La Silla, Şili Yerleşkesi'nde bulunan Danimarka teleskobuyla yapılan CCD *UBVRI* fotometrik analizleriyle açık kümelerin yapısal ve astrofizik parametreleriyle başlangıç kütle fonksiyonlarına ait sonuçlar elde edilmiştir. Kümelerin astrofizik parametrelerinin hesaplanmasında parametre dejenerasyonunu engellemek için literatürde sık kullanılan eş zamanlı parametre belirleme yöntemi tercih edilmemiştir. Bunun için kümelerin renk artıkları kümeye üye anakol yıldızlarının iki-renk diyagramındaki konumlarından, metal bollukları ise Bölümümüzdeki araştırmacılar tarafından geliştirilen F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik metal bolluğu değerinin ölçümüne dayalı kalibrasyonunun kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Böylece incelenen kümelerin yaş tayini daha duyarlı tayin edilebilmiştir.

Kümeler literatürde daha önce çalışılmış olmasına karşın Bölümümüzde üretilen metal bolluğu (Karaali ve diğ., 2011) ve uzaklık kalibrasyonları (Bilir ve diğ., 2013a; b) ile güncel PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ., 2012) kullanılarak daha duyarlı astrofizik parametrelerinin hesaplanması sağlanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen bulguların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması aşağıda detaylıca tartışılmıştır.

5.1. NGC 2818 AÇIK KÜMESİ VE LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

NGC 2818 açık kümesi için elde edilen yapısal parametreler ilk kez bu tez çalışmasıyla literatüre kazandırılmıştır. Küme merkezinden itibaren oluşturulan yıldız-yoğunluk profiline King modeli fit edilerek kümenin merkezi yoğunluğu $f_0 = 4.35 \pm 1.21$ yıldız/(yay dakika)^2 ve kümenin kor yarıçapı $r_c = 2.48 \pm 1.25$ yay dakikası olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk profilinin zemin değerinden de kümenin açısal yarıçapı yaklaşık 6 yay dakikası olarak belirlenmiştir.

Tez çalışmasında NGC 2818 açık kümesinin yaş tayininde parametre dejenerasyonluğunu engellemek için kümenin renk artığı ve metal bolluğu bağımsız yöntemler ile belirlenmiştir. Ayrıca Bölümümüzde KY yıldızları için geliştirilen iki farklı uzaklık kalibrasyonu (Bilir ve diğ., 2013a; b) tez çalışmasında belirlenen üç KY yıldızına uygulanarak uzaklık tayinini bağımsız yöntemler ile tayin edilmiştir. NGC 2818 açık kümesi için hesaplanmış

model parametreleri Tablo 5.1'in son üç satırında verilmiştir. Aynı tabloda kümenin literatürde verilen değerleri çalışma yıllarına göre listelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar kümenin $E(B\text{-}V)$ renk artığının 0.18 ile 0.22 kadir aralığında bulunduğu göstermektedir. Tez çalışmasında ise kümenin anakol yıldızları kullanılarak hesaplanmış renk artığının Pedreros (1989) ve Mermilliod ve diğ.'nin (2001) bulduklarıyla birebir aynı olduğu görülmektedir. Fakat Mermilliod ve diğ. (2001) KY yıldızları üzerine yaptığı çalışmada renk artığı değerini Pedreros'tan (1989) aldığını belirtmektedir. NGC 2818 açık kümesinin uzaklığı söz konusu olduğunda literatürde verilen uzaklık değerlerinin 2.3 ile 3.8 kpc aralığında olduğu görülmektedir. Tezde dört farklı renk-parlaklık diyagramından elde edilen uzaklıkların özellikle Tiff ve diğ. (1972) ve Mermilliod ve diğ.'nin (2001) çalışmasıyla uyumludur. Kümenin metal bolluğu bugüne kadar fotometrik yöntemler kullanılarak tayin edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar metal bolluğu dağılımını geniş bir aralıkta vermektedir. Tezde metal bolluğu değeri, F-G tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren *UV* artıklarının bir fonksiyonu olarak tayin edilmiş olup literatürdeki değerlerin ortalamasına yakındır. Kümenin yaş değeri sadece üç çalışmada tayin edilmiştir. Kümenin yaşı 0.5 ile 1.12 Gyıl aralığında verilmiş olup tez çalışmasında hesaplanan yaş değeri (t=1±0.2 Gyıl), Mermilliod ve diğ. (2001) bire bir aynı, yaş değerindeki hata mertebeleri dikkate alındığında ise Pedreros'un (1989) değeriyle uyumludur.

Tablo 5.1: NGC 2818 açık kümesinin bu tez çalışmasında hesaplanan ve literatürde verilen astrofizik parametreleri.

Yazarlar	**Veri**	***E(B-V)*** **(kadir)**	***V-M*$_V$** **(kadir)**	***d*** **(kpc)**	**[Fe/H]** **(dex)**	***t*** **(Gyıl)**
Tifft ve diğ. (1972)	*UBV*	0.22	13.21	3.2	---	---
Pedreros (1989)	*UBV*	0.18±0.03	12.36	2.30±0.20	-0.34	1.12
Surendiranath ve diğ. (1990)	*VI*$_c$	0.22	13.58	3.80±0.14	0.00	0.5±0.1
Geisles ve diğ. (1992)	*CMT*$_1$*T*$_2$	---	---	---	-0.31±0.13	---
Mermilliod ve diğ. (2001)	*BV* / radyal hız	0.18	12.97	3.04	-0.38	1
Bu çalışma	*UBVRI / PARSEC*	0.18±0.03	13.06	3.16±0.11	-0.18±0.01	1.0 ± 0.2
Bu çalışma	*UBVRI / KY yıldızı*	---	---	3.13±0.35	---	---
Bu çalışma	*UBVRI / KY yıldızı*	---	---	2.87±0.07	---	---

NGC 2818 kümesi PK 261+08 1 ismiyle bilinen bir gezegenimsi bulutsu içerdiği için diğer açık kümelerden farklıdır. NGC 2818 açık kümesi literatürde sıklıkla kümenin merkezinde bulunan gezegenimsi bulutsu ile bilinmektedir. Bu gezegenimsi bulutsunun kinematik açıdan

kümenin fiziksel bir üyesi olduğu çok uzun bir süreden beri bilinmekte (Dufour, 1984) olup literatürde çok sayıda çalışması bulunmaktadır. Tez çalışmasında PK 261+081 kaynağının Güneş'e olan uzaklığıyla ilgili çalışmalar Tablo 5.2'de listelenmiştir. Gezegenimsi bulutsunun yaklaşık 40 yıllık literatürdeki çalışmaları dikkate alındığında yaklaşık 2 ile 3.5 kpc uzaklık aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada küme için hesaplanan uzaklıklar, Tablo 5.2'de verilen çalışmalar ile karşılaştırıldığında Ortiz (2013) ve Zhang'ın (1995) sonuçlarıyla uyumlu oldukları görülmüştür.

Tablo 5.2: NGC 2818 açık kümesinin merkezinde bulunan gezegenimsi bulutsunun literatürde verilen uzaklık değerleri.

Yazarlar	*d* (kpc)	Yazarlar	*d* (kpc)
Ortiz (2013)	2.84	Kaler ve Jacoby (1989)	2.00
Stanghellini ve diğ. (2008)	2.00	Meatheringham ve diğ. (1988)	2.20
Phillips (2004)	1.79	Dufour (1984)	3.50
Zhang (1995)	3.05	Amnuel ve diğ. (1984)	1.60
van de Steene ve Zijlstra (1994)	2.56	Phillips ve Pottasch (1984)	2.22
Cahn ve diğ. (1992)	1.98	Maciel ve Pottasch (1980)	2.26

NGC 2818 açık kümesi için tez çalışmasında elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalara göre üstün yanları bulunmaktadır. Bunlar aşağıda listelenmiştir:

- Kümenin üye yıldızları astrometrik teknikler kullanılarak belirlenmiştir.
- Kümenin üye yıldızlarına ağırlık verilerek kümenin renk artığı, metal bolluğu ve uzaklık gibi temel parametreleri bağımsız yöntemler ile tayin edilmiştir.
- Kümenin yaşı dört farklı renk-parlaklık diyagramında bağımsız belirlenen parametrelerine göre üretilen eş-yaş eğrilerinin üye yıldızları temsil edecek şekilde kaydırılmasıyla hesaplanmıştır.
- Kümenin fiziksel üyesi olarak tespit edilen üç KY yıldızının renkleri ve kümenin metal bolluğu değeri dikkate alınarak iki farklı kalibrasyondan hesaplanan uzaklıkları anakol çakıştırma yöntemiyle elde edilen değerler ile oldukça uyumludur.
- Tez çalışmasında literatürde ilk kez NGC 2818 açık kümesinin IMF değeri $x = 1.21 \pm 0.21$ olarak hesaplanmıştır.

5.2. NGC 3603 AÇIK KÜMESİ VE LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

NGC 3603 açık kümesi, NGC 2818 açık kümesine göre çok daha genç bir küme olup küme içinde yıldız oluşumu halen devam etmektedir. Bu nedenle NGC 2818 açık kümesinde uygulanan yöntemlerin çoğu NGC 3603 açık kümesi için uygulanamamış, farklı çözümler üzerinde durulmuştur. NGC 3603 açık kümesi için elde edilen yapısal parametreler küme merkezinden itibaren oluşturulan yıldız-yoğunluk profiline King modeli fit edilerek kümenin merkezi yoğunluğu $f_0 = 502.60 \pm 0.56$ yıldız/(yay dakika)^2 ve kümenin kor yarıçapı $r_c = 0.18 \pm 0.01$ yay dakikası olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk profilinin zemin değerinden de kümenin açısal yarıçapı yaklaşık 1.5 - 2 yay dakikası olarak belirlenmiştir. Kümenin yapısal parametrelerini veren en güncel çalışma Roman-Lopes ve diğ. (2016) tarafından yapılmış olup kor yarıçapı ve küme yarıçapı, sırasıyla, $r_c = 0.05$ ve $r = 2$ yay dakikası verilmiştir. Bununla birlikte, NGC 3603 açık kümesini inceleyen Harayama ve diğ. (2008) ve Sung ve Bessell (2004) kümenin kor yarıçapını, sırasıyla, $r_c = 0.08$ ve $r_c = 0.05$ yay dakikası olarak hesaplamışlardır. Üç çalışmaya ait kor yarıçapları dikkate alındığında, tezde belirlenen kor yarıçapının diğer çalışmalara göre yaklaşık 2.2 ile 3.6 kat daha büyük hesaplandığı görülmüştür. Kor yarıçapında görülen farklı değerler farklı poz süreleri, ayırma gücü ve kullanılan fotometrik sistemden kaynaklanmaktadır.

Tez çalışmasında NGC 3603 açık kümesinin yaş tayininde parametre dejenerasyonunu engellemek için kümenin renk artığı ve metal bolluğu bağımsız yöntemler ile tayin edilmeye çalışılmıştır. Kümenin $E(B\text{-}V)$ renk artığı klasik kızarma tayini yönteminin getirmiş olduğu kısıtlamalar nedeniyle (sınır tayf türünden yıldız), erken tayf türünden yıldızlar için tercih edilen Q yönteminin kullanılmasını gerektirmiştir. Yine kümenin genç olması ve bu nedenle F-G tayf türündeki anakol yıldızlarını içermemesinden dolayı NGC 3603 açık kümesini metal bolluğu tayininde tayfsal gözlemleri yapılmış ve küme üyesi olduğu belirlenmiş yıldızlar dikkate alınarak PARSEC eş-yaş eğrileriyle incelenmiştir. Renk-parlaklık diyagramları üzerinde farklı ağır element bollukları için hesaplanan üç farklı eş-yaş eğrisi küme üyesi yıldızları içerecek şekilde fit edilmiş ve Güneş bolluğundaki eş-yaş eğrilerinin NGC 3603 açık kümesini daha iyi temsil ettikleri görülmüştür. Bu nedenle kümenin ağır element içeriğinin Güneş bolluğunda olduğu kabul edilmiştir. Kümenin uzaklık ve yaş tayininde ise PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmış olup NGC 3603 kümesi için hesaplanan astrofizik parametreler Tablo 5.3'te, literatür verilerini de içerecek şekilde listelenmiştir.

Tablo 5.3: NGC 3603 açık kümesinin bu tez çalışmasında hesaplanan ve literatürde verilen astrofizik parametreleri.

Yazarlar	Veri	$E(B\text{-}V)$ (kadir)	$V\text{-}M_V$ (kadir)	d (kpc)	[Fe/H] (dex)	t (Myıl)
Sher (1965)	*UBV*	1.37	17.0	3.5	---	1
Moffat (1974)	*UBV*	1.32±0.04	18.7	8.1±0.8	---	---
Melnick ve Grosbol (1982)	*UBV*	1.38±0.15	17.8	$5.3^{-1.2}_{+1.6}$	---	---
Moffat (1983)	*Tayfsal*	1.44±0.09	18.7	7.0±0.5	---	---
Melnick ve diğ. (1989)	*UBV*	1.44±0.13	18.8	7.2	-0.34	2.5±2
Crowther ve Dessart (1998)	*Tayfsal*	1.23	18.8	10.1	-0.28	~2
Pandey ve diğ. (2000)	*UBVRI, H_α*	1.48±0.21	18.6	6.3±0.6	0	<1
Sagar ve diğ. (2001)	*UBVRI*	1.44	18.8	7.2±1.2	0	3±2
Sung ve Bessell (2004)	*UBVRI, H_α*	[1.25,1.80]	---	6.9±0.6	0	1±1
Harayama ve diğ. (2008)	*JHK_s*	1.45±0.16	18.4	6.0±0.8	0	2.5
Melena ve diğ. (2008)	*Tayfsal*	1.39±0.01	19.1	7.6	0	0-6
Kuncarayakti ve diğ. (2016)	*Tayfsal, H_α*	1.44	18.8	7.2	-0.28	4
Bu çalışma	*UBVRI*	1.42±0.04	18.89	7.94±0.54	0	7^{-6}_{+3}

Tablo 5.3'de NGC 3603 açık kümesine ait literatürde yer alan fotometrik ve tayfsal çalışmalar sonucunda elde edilmiş astrofizik parametreler kümenin çalışma yıllarına göre listelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar kümenin $E(B\text{-}V)$ renk artığının 1.25 ile 1.80 kadir aralığında bulunduğu göstermektedir. Kümenin merkezinden dışına doğru ilerledikçe renk artığı değerinin büyüdüğü Sung ve Bessell (2004) tarafından belirtilmiştir. Literatürdeki çoğu çalışmada, küme merkezi civarındaki (r <1 yay dakikası) ortalama $E(B\text{-}V)$ renk artığının 1.38 ile 1.48 kadir aralığında verilmiş olup çalışmamızda hesaplanan $E(B\text{-}V) = 1.42 \pm 0.04$ kadir ile uyumlu olduğu görülmüştür. Tablo 5.3'de verilen çoğu çalışmada kümenin uzaklık tayininde anakol çakıştırma yöntemi kullanılmıştır. Kızarma değerlerindeki farklılıklar ve farklı yazarlardan alınan ZAMS eğrilerinin kullanılmasından dolayı literatürde kümenin uzaklığı 3.5 ile 10.1 kpc aralığında hesaplanmıştır. Fakat güncel çalışmalar kümenin uzaklığını 7 kpc'den büyük vermektedir ki bu değer tezde hesaplanan 7.94 ± 0.54 kpc'lik değer ile uyumludur. Kümenin ağır element bolluğu söz konusu olduğunda birkaç çalışma dışında (Melnick ve diğ., 1989; Crowther ve Dessart, 1998 ve Kuncarayakti ve diğ., 2016), NGC 3603 açık kümesinin metal bolluğu Güneş değerinde kabul edilmiştir. Tez çalışmamızda ise metal bolluğu tayini doğrudan tek tek yıldızlar için elde edilememiş fakat farklı metal bolluklarında ve farklı yaşlarda seçilen eş-yaş eğrileri kümeye üye yıldızları temsil edecek şekilde karşılaştırılmıştır. Güneş bolluğundaki eş-yaş eğrilerinin kümeyi daha iyi temsil ettikleri görülmüş ve kümenin metal bolluğu [Fe/H] = 0 dex kabul edilmiştir. Kümenin en önemli parametrelerinden biri olan yaş değeri dikkate alındığında, literatürdeki çalışmalar küme yaşı 1 ile 6 Myıl aralığında vermektedir (Tablo 5.3). Kümenin halen oluşmakta olduğu ve çoğu yıldızının O tayf türünde bulunduğu dikkate alındığında, verilen yaş değerlerinin kabul edilebilir oldukları söylenebilir.

Tez çalışmamızda en güncel yaş eğrilerinden biri kabul edilen PARSEC eş-yaş eğrilerinin kullanılmasıyla NGC 3603 açık kümesi için 7^{-6}_{+3} Myıl'lık bir yaş değeri hesaplanmıştır. Tezde hesaplanan yaş ve yaştaki hata değerleri dikkate alındığında literatürde verilen tüm çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

NGC 3603 açık kümesinin kütle fonksiyonu birçok çalışmada elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde alınan veriler ile detaylı olarak incelenmiştir (Eisenhauner ve diğ., 1998; Sung ve Bessell, 2004; Stolte ve diğ. 2006; Harayama ve diğ. 2008). Kümenin en parlak 77 yıldızını ($30 < M/M_{\odot} < 60$) optik veriler ile analiz eden Moffat ve diğ. (1994) kümenin IMF değerini $x = 1.4$; küme merkezindeki 28 yıldızı ($15 < M/M_{\odot} < 50$) inceleyen Hofmann ve diğ. (1995) kümenin IMF değerini $x = 1.6$, kümeyi yakın kızılötesi fotometrik veriler ile inceleyen Eisenhauner ve diğ. (1998), $1 < M/M_{\odot} < 85$ yıldızlar için IMF değerini $x = 0.73$ vermektedir. Kümenin optik verilerini kullanan Sung ve Bessell (2004) IMF değerini kümenin merkezinden itibaren üç farklı açısal uzanım için $r \leq 1$, $0.1 < r \leq 0.2$ ve $r > 0.2$ yay dakika, sırasıyla, $x = 0.5$, $x = 0.8$ ve $x = 1.2$ hesaplamışlardır. VLT teleskobuyla *JHK* fotometrik verilerini analiz eden Stolte ve diğ. (2006), verilere kızarma, çift yıldız etkisi, alan yıldız içeren ve içermeyen durumlar için farklı sınırlamalar getirerek IMF değerlerinin $x = 0.91$ civarında toplandığını göstermişlerdir. Son olarak, VLT teleskobunda yakın kızılötesi verileri alarak analiz eden Harayama ve diğ. (2008) anakola gelmekte olan yıldızları da dikkate alarak 0.4 ile 20 $M_{\odot}$ kütlesindeki yıldızlardan kümenin IMF değerini $x = 0.74^{+0.62}_{-0.47}$ olarak vermektedir. Tez çalışması söz konusu olduğunda NGC 3603 açık kümesinde 10 ile 40 $M_{\odot}$ kütleli yıldızlardan hesaplanan IMF değeri $x = 1.26 \pm 0.47$'dir. Bu değer, literatürde küme için verilen IMF değerlerinden büyüktür. Fakat farklı kütle aralıkları için hesaplanan IMF değerlerinin hataları da dikkate alındığında, tez çalışmasındaki sonucu içerecek şekilde IMF değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Küme için daha duyarlı IMF değerinin elde edilebilmesi için yüksek ayırma güçlü kızılötesi verilerin kullanılması gerekmektedir. 2019 yılında uzaya gönderilecek olan *James Webb* teleskobundan sağlanacak veriler, kümenin IMF değerinin belirlenmesinde önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

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

Amnuel, P. R., Guseinov, O. K., Novruzova, K. I., Rustamov, I. S., 1984, Statistical Survey of Planetary Nebulae - Distances, Masses, and Distribution in the Galaxy, *Astrophysics and Space Science*, 107, 19.

Arp, H., 1961, U-B and B-V Colors of Black Bodies, *Astrophysical Journal*, 133, 874.

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.

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.

Bilir, S., Ak, T., Ak, S., Yontan, T., Bostancı, Z. F., 2013a, A New Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars, *New Astronomy*, 23, 88.

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

Blaauw, A., 1963, The Calibration of Luminosity Criteria, *Basic Astronomical Data: Stars and Stellar Systems*, edited by K. A. Strand. Published by the University of Chicago Press, Chicago, IL USA, pages 383.

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.

Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., ve diğ., 2012, PARSEC: Stellar Tracks and Isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127.

Bruntt, H., Grundahl, F., Tingley, B., Frandsen, S., Stetson, P. B., Thomsen, B., 2003, A Search for Planets in the Old Open Cluster NGC 6791, *Astronomy and Astrophysics*, 410,323.

Cahn, J. H., Kaler, J. B., Stanghellini, L., 1992, A Catalogue of Absolute Fluxes and Distances of Planetary Nebulae, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series,* 94, 399.

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

Chen, Y., Girardi, L., Bressan, A., Marigo, P., Barbieri, M., Kong, X., 2014, Improving PARSEC Models for Very Low Mass Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444, 2525.

Crowther, P. A., Dessart, L., 1998, Quantitative Spectroscopy of Wolf-Rayet Stars in HD97950 and R136a - The Cores of Giant HII Regions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296, 622.

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

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.

Dias, W. S., Monteiro, H., Caetano, T. C., Lépine, J. R. D., Assafin, M., Oliveira, A. F., 2014, Proper Motions of the Optically Visible Open Clusters Based on the UCAC4 Catalog, *Astronomy and Astrophysics*, 564, 8.

Drissen, L., Moffat, A. F. J., Walborn, N. R., Shara, M. M., 1995, The Dense Galactic Starburst NGC 3603. I. HST/FOS Spectroscopy of Individual Stars in the Core and the Source of Ionization and Kinetic Energy, *Astronomical Journal,* 110, 2235.

Dufour, R. J., 1984, The Unique Planetary Nebula NGC 2818, *Astrophysical Journal*, 287, 341.

Eisenhauer, F., Quirrenbach, A., Zinnecker, H., Genzel, R., 1998, Stellar Content of the Galactic Starburst Template NGC 3603 from Adaptive Optics Observations, *The Astrophysical Journal*, 498, 278.

Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P., Meynet, G., 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, 18.

Fagotto, F., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 1994a, Evolutionary Sequences of Stellar Models with New Radiative Opacities. IV. Z=0.004 and Z=0.008, *Astronomy and Astrophysics Supplement,* 105, 29.

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

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

Geisler, D., Claria, J. J., Minniti, D., 1992, Washington Photometry of Open Cluster Giants - Nine Old Disk Clusters in the Third Galactic Quadrant, *Astronomical Journal*, 104, 1892.

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.

Girardi, L., Williams, B. F., Gilbert, K. M., Rosenfield, P., 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.

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.

Harayama, Y., Eisenhauer, F., Martins, F., 2008, The Initial Mass Function of the Massive Star-forming Region NGC 3603 from Near-Infrared Adaptive Optics Observations, *The Astrophysical Journal*, 675, 1319.

Henden, A., Kaitchuck, R., 1990, Book Review: Astronomical Photometry, *Astronomy*, 18, 11, 97.

Hofmann, K.-H., Seggewiss, W., Weigelt, G., 1995, Speckle Masking Observations of HD 97950 with 75 MAS Resolution: Evolution of the Stellar Core of the Starburst Cluster NGC 3603, *Astronomy and Astrophysics*, 300, 403.

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

Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2013, NGC 6811: An Intermediate-age Cluster in the Kepler Field, *The Astronomical Journal*, 145, 15.

Johnson, H. L., Morgan, W. W., 1953, Fundamental Stellar Photometry for Standards of Spectral Type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas, *Astrophysical Journal*, 117, 313.

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

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

Kaler, J. B., Jacoby, G. H., 1989, Central Star Temperatures of Optically Thick Planetary Nebulae and a Distance-independent Test of Dredge-up Theory, *Astrophysical Journal*, 345, 871.

Karaali, S., Karataş, Y., Bilir, S., Ak, S. G., Hamzaoğlu, E., 2003a, A New Procedure for the Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 270.

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

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.

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.

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

King, I., 1962, The Structure of Star Clusters. I. An Empirical Density Law, *Astronomical Journal*, 67, 471.

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

Kroupa, P., Boily, C. M., 2002, On the Mass Function of Star Clusters, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 336, 1188.

Kuncarayakti, H., Galbany, L., Anderson, J. P., Krühler, T., Hamuy, M., 2016, Unresolved versus Resolved: Testing the Validity of Young Simple Stellar Population Models with VLT/MUSE Observations of NGC 3603, *Astronomy and Astrophysics*, 593, 8.

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

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

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

Lynga, G, 1982, Open clusters in our Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 109, 213.

Maciel, W. J., Pottasch, S. R, 1980, Distances of Planetary Nebulae, *Astronomy and Astrophysics*, 88, 1.

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

Mathieu, R. D., Latham, D. W, 1984, The Internal Motions of M67 and M11, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 16, 494.

Mathieu, R. D., 1985, Radial Velocity Studies of the Internal Kinematics of Open Clusters., *Stellar Radial Velocities*, Proceedings of IAU Colloquium No. 88, Schenectady: L. Davis Press, 1985, 249.

Meatheringham, S. J., Wood, P. R., Faulkner, D. J., 1988, A Study of Some Southern Planetary Nebulae, *Astrophysical Journal*, 334, 862.

Melena, N. W., Massey, P., Morrell, N. I., Zangari, A. M., 2008, The Massive Star Content of NGC 3603, *The Astronomical Journal*, 135, 878.

Melnick, J., Grosbol, P., 1982, On the Distance to the Giant Galactic H II Region NGC 3603, *Astronomy and Astrophysics*, 107, 23.

Melnick, J., Tapia, M., Terlevich, R., 1989, The Galactic Giant H II Region NGC 3603. *Astronomy and Astrophysics*, 213, 89.

Mermilliod, J. C., 1981, Comparative Studies of Young Open Clusters - Part Two - an Atlas of Composite Colour-Magnitude Diagrams, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 44, 467.

Mermilliod, J.-C., Clariá, J. J., Andersen, J., Piatti, A. E., Mayor, M., 2001, Red Giants in Open Clusters. IX. NGC 2324, 2818, 3960 and 6259, *Astronomy and Astrophysics*, 375, 30.

Mermilliod, J. C., Clariá, J. J., Andersen, J., Piatti, A. E., Mayor, M, 2002, Membership, Binarity and Stellar Evolution of Red Giants in the Open Clusters NGC 2324, NGC 2818, NGC 3960 and NGC 6259. Reunion Regional Latinoamericana de Astronomia, held at Union Astronomica Internacional, Cordoba, Argentina, Septiembre 17-21, 2001. Edited by J. J. Claria, D. G. Lambas, and H. Levato. Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Serie de Conferencias, 14. Mexico.

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, 2008, 303.

Moffat, A. F. J., 1974, The Massive Galactic H II Region NGC 3603, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 6, 351.

Moffat, A. F. J., 1983, The Bright Stellar Content of the Giant Galactic H II Region NGC 3603. *Astronomy and Astrophysics*, 124, 273.

Moffat, A. F. J., Drissen, L., Shara, M. M., 1994, NGC 3603 and its Wolf-Rayet Stars: Galactic Clone of R136 at the Core of 30 Doradus, but without the Massive Surrounding Cluster Halo, *Astrophysical Journal*, 436, 183.

Moraux, E., Bouvier, J., Stauffer, J. R., Barrado y Navascués, 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.

Ortiz, R., 2013, A Revised Distance Scale of Planetary Nebulae, *Astronomy and Astrophysics*, 560, 10.

Pandey, A. K., Ogura, K., Sekiguchi, K., 2000, Stellar Contents of the Galactic Giant H II Region NGC 3603, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 52, 847.

Pang, X., Grebel, E. K., Allison, R. J., Goodwin, S. P., ve diğ., 2013, On the Origin of Mass Segregation in NGC 3603, *The Astrophysical Journal*, 764, 9.

Pedreros, M., 1989, The Open Cluster NGC 2818 and its Associated Planetary Nebula, *Astronomical Journal*, 98, 2146.

Phillips, J. P., Pottasch, S. R., 1984, Distances, Radii, and Masses of the Planetary Nebulae, *Astronomy and Astrophysics,* 130, 91.

Phillips, J. P., 2004, Planetary Nebula Distances Re-Examined: An Improved Statistical Scale, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 353, 589.

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.

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.

Roman-Lopes, A., Franco, G. A. P., Sanmartim, D., 2016, SOAR Optical and Near-infrared Spectroscopic Survey of Newly Discovered Massive Stars in the Periphery of Galactic Massive Star Clusters I-NGC 3603, *The Astrophysical Journal*, 823, 17.

Sagar, R., Munari, U., de Boer, K. S., 2001, A Multicolour CCD Photometric and Mass Function Study of the Distant Southern Open Star Clusters NGC 3105, NGC 3603, Melotte 105, Hogg 15, NGC 4815, Pismis 20 and NGC 6253, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 327, 23.

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

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, *Astrophysical Journal*, 125, 435.

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

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

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

Sher, D., 1964, Some notes on NGC 3603, *The Observatory*, 84, 32.

Sher, D., 1965, The Curious History of NGC 3603, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 59, 67.

Stanghellini, L., Shaw, R. A., Villaver, E., 2008, The Magellanic Cloud Calibration of the Galactic Planetary Nebula Distance Scale, *The Astrophysical Journal*, 689, article id. 194.

Stetson, P. B., 2000, Homogeneous Photometry for Star Clusters and Resolved Galaxies. II. Photometric Standard Stars, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 112, 925.

Stolte, A., Brandner, W., Brandl, B., Zinnecker, H., 2006, The Secrets of the Nearest Starburst Cluster. II. The Present-Day Mass Function in NGC 3603, *The Astronomical Journal*, 132, 253.

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

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

Sung, H., Bessell, M. S., 2004, The Initial Mass Function and Stellar Content of NGC 3603, *The Astronomical Journal*, 127, 1014.

Sung, H., Lim, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., ve diğ., 2013, Sejong Open Cluster Survey (SOS). 0. Target Selection and Data Analysis, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 46, 103.

Surendiranath, R., Kameswara Rao, N., Sagar, R., Nathan, J. S., Ghosh, K. K., 1990, CCD Photometry in VRI Bands of the Galactic Cluster NGC 2818, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 11, 151.

Tang, J., Bressan, A., Rosenfield, P., Slemer, A., ve diğ., 2014, New PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars at Low Metallicity: Testing Canonical Stellar Evolution in Nearby Star-Forming Dwarf Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 4287.

Tifft, W. G., Conolly, L. P., Webb, D. F., 1972, NGC 2818: an Open Cluster Containing a Planetary Nebula, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 158, 47.

van den Bergh, S., 1978, UBV Photometry of the Luminous Young Cluster NGC 3603, *Astronomy and Astrophysics*, 63, 275.

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

van de Steene, G. C., Zijlstra, A. A., 1994, On an Alternative Statistical Distance Scale for Planetary Nebulae. Catalog with Statistical Distances to Planetary Nebulae, *Astronomy and Astrophysics Supplement,* 108, 485.

Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., ve diğ., 2013, The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4), *The Astronomical Journal*, 145, 14.

Zhang, C. Y., 1995, A Statistical Distance Scale for Galactic Planetary Nebulae, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 98, 659.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Hakan ÜRGÜP
Doğum Yeri	Fatih / İSTANBUL
Doğum Tarihi	12.04.1990
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05364862336
E-Posta Adresi	hakanurgup@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	18.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri

Makale ve Bildiriler

Bostancı, Z. F., Yontan, T., Bilir, S., Ak, T., Güver, T., Ak, S., Paunzen, E., Başaran, Ç. S., Vurgun, E., Akti, B. A., Çelebi, M., Ürgüp, H., 2018, CCD UBV photometric study of five open clusters – Dolidze 36, NGC 6728, NGC 6800, NGC 7209, and Platais 1, *Astrophysics and Space* Science, 363, article id. 143, 15.

Ak, T., Bostancı, Z. F., Yontan, T., Bilir, S., Güver, T., Ak, S., Ürgüp, H., Paunzen, E., 2016, CCD UBV photometry of the open cluster NGC 6819, *Astrophysics and Space Science*, 361, article id.126, 14

Güver, T., Ak, T., Ürgüp, H., Bilir, S., Koçak, M., Kalemci, E., Göğüş, E., Dinçer, T., Kırbıyık, H., 2015, Optical observations of MAXI J1957+032, The Astronomer's Telegram, No 8149