



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AVRUPA GÜNEY GÖZLEMİNDE GÖZLENMİŞ BAZI AÇIK
KÜMELERİN FOTOMETRİK ANALİZİ**

Büşra Ayşe AKTİ

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Haziran, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 28.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ege 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 aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince bütün bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER'e,

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım ve tez çalışmalarım süresince değerli bilgilerini paylaşan, her yardımına ihtiyacım olduğunda değerli vaktini bana ayıran, düzenli ve sistematik çalışmalarıyla kendisini örnek aldığım Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Yüksek lisans eğitimim süresince bana katmış olduğu bilgiler ile tez çalışmama katkıda bulunan Prof. Dr. Tansel AK'a,

Tecrübelerini benimle paylaşarak tezimin oluşumunda büyük katkı sağlamış olan, tez çalışmalarım da karşılaştığım problemlerde sabırla ve özenle yardımcı olan Araş. Gör. Talar YONTAN ve Hakan ÜRGÜP'e,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince her zaman yanımda olan ve tez çalışmamın ilk aşamalarında birlikte tecrübe kazandığım değerli arkadaşım Mürvet ÇELEBİ DEMİR'e,

Hayatımın her evresinde her zaman desteğini hissettiğim ve ihtiyacım olan her an yardımları ile yanımda olan değerli yol arkadaşım Uğur YEŞİLTAS'a,

Her zaman yanımda ve bana destek olduğunu bildiğim ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Büşra Ayşe AKTİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. AÇIK KÜMELER VE ÖZELLİKLERİ	4
2.1.1. Açık Kümelerin Oluşumu ve Evrimi	4
2.1.2. Açık Kümelerin Sınıflandırılması	6
2.1.3. Kümelerin Yapısal Özellikleri	9
2.1.4. Açık Kümelerin Uzaysal Dağılımları.....	11
2.1.5. Astrofiziksel ve Yapısal Parametreler.....	12
2.2. HERTZSPRUNG-RUSSELL DİYAGRAMLARI.....	13
2.3. AÇIK KÜME YILDIZLARI	18
2.4. KATALOGLAR	19
2.4.1. ESA Görevleri.....	22
3. MALZEME VE YÖNTEM	26
3.1. GÖZLEMLER	26
3.1.1. Standart Yıldız Alanı Gözlemleri.....	29
3.1.2. Seçilmiş Açık Kümelerin Literatür Özeti ve Gözlemleri.....	31
3.1.2.1. NGC 3293.....	31
3.1.2.2. NGC 3766.....	32
3.1.2.3. NGC 4755.....	34
3.1.2.4. NGC 6231.....	35
3.2. CCD KALİBRASYONLARI	38
3.3. ASTROMETRİ.....	39
3.4. FOTOMETRİ.....	39

3.5. ÜYE YILDIZLARIN BELİRLENMESİ.....	42
3.6. KIZARMA TAYİNİ.....	43
3.7. METAL BOLLUĞU TAYİNİ.....	45
3.8. UZAKLIK TAYİNİ.....	46
3.9. YAŞ TAYİNİ.....	46
4. BULGULAR	48
4.1. KÜMELERİN ANALİZLERİ	49
4.2. FOTOMETRİK HATALAR.....	50
4.3. KÜME YAPISAL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	51
4.4. KÜME ÜYE YILDIZLARININ BELİRLENMESİ.....	54
4.5. KÜME RENK ARTIKLARININ BELİRLENMESİ	55
4.6. KÜME UZAKLIKLARININ BELİRLENMESİ.....	60
4.7. KÜME METAL BOLLUKLARININ BELİRLENMESİ	62
4.8. KÜME YAŞLARININ BELİRLENMESİ	63
4.9. AÇIK KÜMELERİN İŞİMA GÜCÜ VE KÜTLE FONKSİYONLARI.....	66
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	70
5.1. YAPISAL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	71
5.2. TEMEL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	75
5.2.1. Renk Artıkları.....	75
5.2.2. Uzaklık	77
5.2.3. Yaş.....	79
5.2.4. Kütle Fonksiyonu.....	81
5.3. ASTROMETRİK VERİLERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	82
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 2.1:** Yoğun gaz ve toz bulutu içerisindeki Ülker (Pleiades) açık yıldız kümesi (APOD / NASA) .
..... 5
- Şekil 2.2:** (a) Açık kümelerin Galaktik düzlem üzerinde dağılımı, Galaktik düzleme dik doğrultuda bakılarak gösterilmiştir. Kırmızılar yaşlı (> 300 Myıl), maviler ise genç (< 300 Myıl) açık kümelerdir. Grafikte yaşlı açık kümelerin çoğunlukla Galaktik merkezden (GC) uzak bölgelere dağıldığı, genç açık kümelerin ise Galaktik merkeze yakın bir bölgede yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. (b) Açık kümelerin Galaktik düzlem üzerinde dağılımı, Galaktik düzleme aynı doğrultuda bakılarak gösterilmiştir. Burada R_{GC} Galaktik merkeze olan uzaklığı, z ise Galaktik düzlemden olan yüksekliği göstermektedir. Düzlem üzerinden büyük yüksekliklere ulaşan bazı genç açık kümeler bulunmasına rağmen, açık kümeler çoğunlukla düzlem civarında yoğunlaşmışlardır. Yaşlı açık kümeler ise daha dağınık bir dağılıma sahiplerdir. Burada kullanılan veriler DAML02 v3.3 kataloğundan alınmıştır (Dias ve diğ. 2002). 12
- Şekil 2.3:** Güneş'ten itibaren 80 pc'lik bir hacim içerisinde kalan yıldızlar için oluşturulan H-R diyagramı. Eksenlerinde yıldızların renk ve mutlak parlaklık değerlerinin verildiği diyagramda, farklı renkler tayf türlerini, düz çizgi anakolu, kesikli çizgiler teorik eş-yaş eğrilerini göstermektedir. 14
- Şekil 2.4:** Pleiades ve Hyades açık kümelerinin renk-parlaklık diyagramı. 16
- Şekil 2.5:** Orta yaştaki M67 açık kümesine uygulanan PARSEC (Padova And TRieste Stellar Evolution Code) eş-yaş eğrileri, kümenin renk-parlaklık diyagramında gösterilmiştir. Kümenin uzaklık modülü $V - M_V = 9,75$ ve renk artığı $E(B-V) = 0,03$ kadir olarak belirlenmiştir. Siyah çarpı sembolü, Montgomery ve diğ. (1993) tarafından belirlenen BV fotometrisini ifade etmektedir. Kırmızılar ise Sandquist (2004) tarafından tanımlanan "yüksek olasılıklı tek yıldızları" temsil etmektedir. Farklı yaşlar için farklı renklerde PARSEC eş-yaş eğrileri gösterilmektedir (Bressan ve diğ. 2012). 17
- Şekil 2.6:** NGC 1193 açık kümesinin $V \times B-V$ ve $V \times V-I$ renk-parlaklık diyagramları (Kyeong ve diğ. 2008). 18
- Şekil 2.7:** Orijinal Messier Kataloğu'nun (1781) giriş sayfası. 21
- Şekil 3.1:** (a) NGC 3293, (b) NGC 3766, (c) NGC 4755 ve (d) NGC 6231 açık kümelerinin V bandında Danimarka 1,54 m teleskobu ile alınmış görüntüleri. 27
- Şekil 3.2:** 1,54 m Danimarka Teleskobu. 29
- Şekil 3.3:** DFOSC (The Danish Faint Object Spectrograph and Camera) CCD Kamera. 29

Şekil 3.4: Landolt kataloğunda bulunan SA94 standart yıldız alanının 70 yay dakikalık görüş alanındaki görüntüsü (Landolt, 2009).	30
Şekil 4.1: İncelenen açık küme doğrultularında bulunan kaynakların V bandındaki parlaklık histogramları.	50
Şekil 4.2: Küme doğrultularında gözlenmiş yıldızların parlaklık ve renk indeksi hatalarının V görünen parlaklığına göre dağılımları.	51
Şekil 4.3: NGC 3293, 3766, 4755 ve 6231 açık kümelerinin yıldız sayı yoğunluk profilleri. Grafiklerde, sarı sürekli çizgi King modeli fitini, pembe kesikli çizgi de zemin yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir. King profil parametreleri sağ üst köşede verilmiştir.	54
Şekil 4.4: Kümelerin öz hareket bileşenlerinin dağılımları. Mavi kareler, seçtiğimiz öz hareket sınırlarını belirtiyor.	56
Şekil 4.5: Kümelerin (a) $V \times U-B$ ve (b) $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Kırmızı noktalar, kümeye en olası üye yıldızları göstermektedir.	58
Şekil 4.6: Açık kümelerin $U-B \times B-V$ iki renk diyagramları. Kümeye üye anakol yıldızları gri daire ile ve ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yeşil çizgiler renk artıklarının $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir. Kümelerin renk artıkları ve hataları ilgili grafiklerin sağ üst köşesinde verilmiştir.	59
Şekil 4.7: Açık kümelerin etkin yarıçap sınırlarında bulunan yıldızlarına ait Q yöntemiyle hesaplanmış renk artığı frekans dağılımı. Gri sürekli çizgi, dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ilgili grafiklerin sağ üst köşesinde verilmiştir.	60
Şekil 4.8: Açık kümelerin öz hareket bileşenleri ve etkin yarıçapına bağlı üye yıldızlarının uzaklık histogramı. Sürekli çizgi, dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir. Gri bölümde üye yıldızların, turuncu bölümde ise $\sigma\pi/\pi$ sınırlandırması yapılmış üye yıldızların histogramları gösterilmiştir.	61
Şekil 4.9: Farklı ağır element bolluğu aralıklarında ($0,0048 < Z < 0,0480$) PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ. 2012), farklı yaşlar (5, 10, 15 ve 20 Myıl) için $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramlarında gösterilmiştir. Panellere farklı M_V mutlak parlaklıklarına karşılık gelen tayf türleri işaretlenmiştir.	63
Şekil 4.10: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin $M_V \times (U-B)_0$ ve $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları. Kalın siyah çizgi Sung ve diğ.'den (2013a) alınan ZAMS eğrisini, kırmızı çizgi kümeyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrisini ve kesikli mavi çizgiler de küme yaşlarındaki belirsizlikleri gösterir. Panellerin üst kısımlarında Sung ve diğ.'den (2013a) alınan anakol yıldızlarının tayf türleri işaretlenmiştir.	65
Şekil 4.11: Dört açık kümedeki anakol yıldızlarının mutlak parlaklık dağılımları. Panellerdeki mavi ok kütle tayininde kullanılan üst sınırı göstermektedir.	68

Şekil 4.12: Dört açık küme için hesaplanan kütle fonksiyonları ve başlangıç kütle fonksiyonlarının doğrusal eğrileri. Kesikli çizgiler Salpeter'in (1955) $x = 1,35$ eğimi göstermektedir.....	69
Şekil 5.1: NGC 3293, 3766 ve 6231 açık kümelerinin tez çalışmasında belirlenen yeni görünen V parlaklık sınırına kadar geçerli olan yıldız sayı yoğunluk profilleri. Sürekli çizgi King modeli fitini, kesikli çizgi ise küme zemin yoğunluğunu göstermektedir. Yapısal parametreler her bir panelin sağ üst köşesinde verilmiştir.....	74
Şekil 5.2: Tez çalışmasında incelenen küme doğrultularındaki nesnelerin $V \times U-B$, $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renk-parlaklık diyagramları üzerinde siyah daireler Cantat-Gaudin ve diğ.'ne (2018) ait $P \geq \%50$ olan yıldızları, mavi daireler de bu çalışmada belirlenen küme üyelerini göstermektedir.....	85
Şekil 5.3: Küme üyesi yıldızların doğrusal ve geometrik yöntemler ile hesaplanmış uzaklıklarının dağılımları. Siyah histogramlar tez çalışmasındaki verileri (doğrusal yöntem), kırmızı histogramlar da Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) dağılımını (geometrik yöntem) göstermektedir. Kesikli çizgiler dağılımlara uygulanan Gauss fitlerini göstermektedir.....	86

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Kümelerin gözleendiği Bessell UBV fotometrik filtreleri ve her filtrede verilen poz süreleri ve sayıları.	26
Tablo 3.2: Seçilmiş açık kümelerin 2000 epogunda ekvatoral (α, δ) ve Galaktik (l, b) koordinatları.	28
Tablo 3.3: Standart yıldız alanlarının gözlem tarihleri ve gözlem gecesi gözlenen yıldızların ölçüm sayıları (N).	30
Tablo 3.4: NGC 3293 açık kümesinin literatürde bulunan astrofiziksel parametreleri.	32
Tablo 3.5: NGC 3766 açık kümesinin literatürdeki astrofiziksel parametreleri.	33
Tablo 3.6: NGC 4755 açık kümesinin literatürdeki astrofiziksel parametreleri.	35
Tablo 3.7: NGC 6231 açık kümesinin literatürde bulunan astrofiziksel parametreleri.	37
Tablo 3.8: Standart yıldız gözlemlerinden hesaplanan birinci dereceden sönümlleme katsayıları.	41
Tablo 4.1: Kümelerin katalog içeriklerinin istatistiki özeti. Tabloda her bir kümenin V görünür parlaklık aralığı ve V görünür parlaklığı için Şekil 4.1'deki histogramlardan elde edilen tamlık sınırları verilmiştir. $N(\text{literatür})$, $N(\text{toplam})$ ve $N(\text{öz hareket})$, sırasıyla, literatürden alınan, toplam ve <i>Gaia</i> öz hareketi bulunan yıldız sayısını göstermektedir.	49
Tablo 4.2: Açık küme doğrultularındaki yıldızların V parlaklık aralıklarındaki yıldız sayıları ve bunların parlaklık ve renk indekslerindeki ortalama hataları.	52
Tablo 4.2 (devam): Açık küme doğrultularındaki yıldızların V parlaklık aralıklarındaki yıldız sayıları ve bunların parlaklık ve renk indekslerindeki ortalama hataları.	53
Tablo 4.3: İncelenen kümelerin zemin yoğunluğu, merkezi yoğunluğu ve kor yarıçapları.	53
Tablo 4.4: Dört açık küme için iki farklı yöntem sonucu elde edilen kızarma değerleri.	55
Tablo 4.5: Kümelerin ortalama öz hareket ve <i>Gaia</i> uzaklık sonuçları.	61
Tablo 4.6: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin temel astrofizik parametreleri.	64
Tablo 4.7: İncelenen dört açık kümenin başlangıç kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan anakol yıldızlarının sayısı, kütle aralıkları ve kütle fonksiyonlarının eğim değerleri.	67
Tablo 5.1: Bu tez çalışmasında ve literatürde benzer yöntemler ile incelenen üç açık kümenin yapısal parametreleri. Burada f_{bg} , f_0 ve r_c ifadeleri, sırasıyla, zemin yıldız sayı yoğunluğu, merkezi yıldız sayı yoğunluğu ve kor yarıçapını göstermektedir.	72
Tablo 5.2: Saurin ve diğ.'nin (2015) çalışmasında kullandıkları limit görünen parlaklıklarının tez çalışmasına uygulanması sonucunda üç açık küme için hesaplanan yeni yapısal parametreler. Tablonun son üç sütununda Saurin ve diğ.'nin (2015) üç küme için verdikleri yapısal parametreler bulunmaktadır. Semboller Tablo 5.1'deki gibidir.	73

Tablo 5.3: Tez çalışmasında iki farklı yöntem kullanılarak hesaplanmış $E(B-V)$ renk artıkları ile kümelerin literatürde verilen renk artıkları.	76
Tablo 5.4: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin üye yıldızlarının uzaklık dağılımlarından hesaplanan uzaklıkları ve literatürde verilen diğer uzaklık değerleri.	77
Tablo 5.5: Tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak hesaplanan küme yaşlarının literatürde verilen yaşlar ile karşılaştırılması. Tez çalışmasındaki sonuçların literatür ile daha kolay karşılaştırılabilmesi için elde edilen sonuçlar logaritmik olarak da verilmiştir.	80
Tablo 5.6: Tez çalışmasında incelenen dört açık küme için hesaplanan IMF değerleri ve literatür sonuçları. N yıldız sayısını, X ise IMF değerlerini göstermektedir. Ayrıca tabloda anakol yıldızlarının kütle aralıkları verilmiştir.	82
Tablo 5.7: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nde (2018) incelenen dört açık kümenin hesaplanan ortalama öz hareket değerleri ve Güneş'e uzaklıkları.	83
Tablo 5.8: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nde (2018) incelenen dört açık kümeye üye yıldızların V görünen parlaklığına göre sayıları verilmiştir.	84

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A_V	: V bandındaki sönmeme miktarı (kadir)
l	: Galaktik boylam (derece)
b	: Galaktik enlem (derece)
d	: Uzaklık (pc)
$U-B$: $U-B$ renk indeksi (kadir)
$B-V$: $B-V$ renk indeksi (kadir)
C	: Gecelik sabit
$E(U-B)$: $U-B$ 'ye ait renk artığı (kadir)
$E(B-V)$: $B-V$ 'ye ait renk artığı (kadir)
f	: Morötesi artığının $B-V = 0.6$ rengine kalibrasyonunda kullanılan sabit
f_0	: Küme merkezinin yıldız sayısı yoğunluğu (yıldız/yay dakikası ²)
f_{bg}	: Küme zemin yoğunluğu (yıldız/yay dakikası ²)
i	: i bandı aletsel kadiri
k	: Parlaklık ve renklerdeki birinci mertbe sönmeme katsayıları
k'	: Parlaklık ve renklerdeki ikinci mertbe sönmeme katsayıları
$\log (r_i/r_c)$: Kümenin merkezi yoğunlaşma oranı
M_\odot	: Güneş kütlesi
[M/H]	: Ağır element bolluğu
[Fe/H]	: Demir bolluğu
M_V	: V bandı mutlak parlaklık (kadir)
n_c	: Normalize edilmiş küme yıldız sayısı
n_f	: Normalize edilmiş alan yıldız sayısı
r_c	: Küme kor yarıçapı (yay dakikası)
t	: Küme yaşı (yıl)
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
L	: Işıma gücü
$\log g$: Yüzey çekim ivmesi
U	: Morötesi parlaklık (kadir)
B	: Mavi parlaklık (kadir)
V	: Görünen parlaklık (kadir)

u	: u bandı aletsel kadiri
b	: b bandı aletsel kadiri
v	: v bandı aletsel kadiri
UV	: Morötesi artık
V	: Anakol yıldızı
X	: Hava kütlesi değeri
X, Y	: CCD görüntüsü üzerindeki kaynakların piksel koordinatları
Z	: Ağır element bolluğu
Å	: Angström
α	: Standart sisteme dönüşüm katsayısı
δ	: Morötesi fazlalık (kadir)
α_{2000}	: Sağ açıklık
δ_{2000}	: Dik açıklık
$\delta_{0.6}$: $B-V = 0.6$ 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
γ	: Korelasyon katsayısı
ξ	: Gözlenen yıldız alan merkezinin zenit uzaklığı
χ	: Ki-kare değeri
ρ	: Yıldız yoğunluğu
μ	: Uzaklık modülü
λ	: Dalga boyu
Ia	: Süper parlak dev yıldız
Ib	: Daha az parlak dev yıldız
III	: Dev yıldız
x_c	: Açık kümenin x eksenindeki merkezi koordinatı
x_i	: CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın x koordinat değeri
y_c	: Açık kümenin y eksenindeki merkezi koordinatı.
y_i	: CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın y koordinat değeri

Kısaltmalar	Açıklama
CCD	: Charge Coupled Device
CMD	: Colour-Magnitude Diagram (Renk-Parlaklık Diyagramı)
DFOSC	: Danish Faint Object Spectrograph and Camera
Gyıl	: Milyar yıl
Myıl	: Milyon yıl
H-R	: Hertzsprung-Russell
IDL	: Interactive Data Language
IMF	: Initial Mass Function (Başlangıç Kütle Fonksiyonu)
LF	: Luminosity Function (Işıma Gücü Fonksiyonu)
IRAF	: Image Reduction and Analysis Facility (Görüntü İndirgeme ve Analiz Programı)
kpc	: Kiloparsek
pc	: Parsek
PSF	: Point Spread Function
SExtractor	: Software for Source Extraction
Python	: Python Programlama Dili
WEBDA	: Base Données Amas'dan (BDA) elde edilen web tabanlı veri merkezi
ZAMS	: Zero Age Main Sequence (Sıfır Yaş Anakolu)
OCRs	: Open Cluster Remnants (Açık Küme Kalıntıları)
S/N	: Signal/Noise (Sinyal/Gürültü)
2MASS	: Two Micron All-Sky Survey (İki Mikron Gökyüzü Taraması)
ESO	: European Southern Observatory (Avrupa Güney Gözlemevi)
PARSEC	: Padova And TRIeste Stellar Evolution Code
km	: Kilometre
sn	: Saniye
sa	: Saat

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AVRUPA GÜNEY GÖZLEMEVİNDE GÖZLENMİŞ BAZI AÇIK KÜMELERİN FOTOMETRİK ANALİZİ

Büşra Ayşe AKTİ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin fotometrik verileri, 1,54 m çaplı Danimarka Teleskobu ile 3 Mart 2013 ve 8 ile 25 Mart 2014 tarihleri arasında *UBV* filtreleriyle yapılmış gözlemlerinden elde edilmiştir. Bu fotometrik verilerden itibaren incelenen dört açık kümenin görüş alanında bulunan yıldızlarının öz hareketlerinden üye yıldızları belirlenmiş ve kümelerin yapısal ve astrofiziksel parametreleri elde edilmiştir. NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümeleri için sırasıyla $E(B-V)$ renk artıkları iki-renk diyagramlarından $0,29 \pm 0,05$, $0,20 \pm 0,03$, $0,34 \pm 0,03$ ve $0,45 \pm 0,05$ olarak ve kümelerin uzaklıkları ise *Gaia* paralakslarından 2586 ± 240 , 2159 ± 215 , 2136 ± 175 ve 1679 ± 143 pc olarak elde edilmiştir. Kümeler fotometrik metal bolluğu tahmini için oldukça genç olduklarından metal bollukları Güneş bolluğunda ($Z_{\odot} = 0,0152$) kabul edilmiştir. Bu parametrelerden itibaren açık kümelerin yaşları, teorik PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak gerçek renk-parlaklık diyagramlarından, sırasıyla, 10 ± 6 Myıl, 14 ± 6 Myıl, 22 ± 6 Myıl ve $4+6-3$ Myıl olarak belirlenmiştir. Ayrıca açık kümelerin elde edilen başlangıç kütle fonksiyonu eğim değerlerinin 1,14 ile 1,25 aralığında değiştiği bulunmuş ve bu değerlerin Güneş civarı için verilen $X = 1,35$ değeriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Haziran 2019, 118 sayfa.

Anahtar kelimeler: Açık kümeler, NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755, NGC 6231

SUMMARY

M.Sc. THESIS

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF SOME OPEN CLUSTERS OBSERVED AT THE EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

Büşra Ayşe AKTİ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

In this thesis, CCD photometry of open clusters, NGC3293, NGC3766, NGC4755 and NGC6231 were detailly presented. Observations of the open clusters were taken with Danish 1.54 metre telescope on 3th of March 2013 and between 8th and 25th March 2014. After member stars of each cluster were identified from the proper motions of the stars in the field of view of open clusters, structural and astrophysical parameters were obtained from the photometric data in *UBV* filters. For the open clusters, the colour excesses determined using two-colour diagrams were found as 0.29 ± 0.05 , 0.20 ± 0.03 , 0.34 ± 0.03 and 0.45 ± 0.05 mag, respectively, and the distances to the clusters were calculated as 2586 ± 240 , 2159 ± 215 , 2136 ± 175 and 1679 ± 143 pc from *Gaia* parallaxes. It was assumed that metallicities of the clusters are as Solar metallicity ($Z_{\odot}=0.0152$) since they are too young to estimate photometric metallicity. Furthermore, using these parameters, ages of the open clusters were also calculated from CMD using PARSEC theoretical models are 10 ± 6 Myr, 14 ± 6 Myr, 22 ± 6 Myr and $4+6-3$ Myr, respectively. Additionally, slopes of initial mass function for the open clusters range between 1.14 and 1.25 which are comparable to the value 1.35 for the Solar neighbourhood.

June 2019, 118 pages.

Keywords: Open Clusters, NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755, NGC 6231

1. GİRİŞ

İnsanlar, varoluşlarından bu zamana gece gökyüzünde karanlığın içerisindeki parlak kaynakları merak etmişlerdir. Zaman ile bilim ilerledikçe, bu parlaklığın çeşitli kaynaklardan gözümüze ulaşan ışınım olduğu anlaşılmış ve bu ışınımın sebepleri araştırılmaya başlanmıştır. İnsanlar, henüz yıldız kavramının günümüzdeki tanımından bihaber oldukları dönemde, bir arada görünen yıldızları yaşantılarından çeşitli şekillere benzeterek takımyıldızlara temel bir tanım getirmişlerdir. Yine bilimin zaman ile ilerlemesiyle yapılan araştırmalar sonucunda bu bir arada görünen yıldızların, çoğunlukla gerçekte birbirinden farklı konumda olan yıldızlar oldukları anlaşılmıştır. Gerçek bir yıldız kümesi ise görünenden biraz farklıdır.

Yıldızların ışınımını anlamak için foton kavramını anlamak gerekir. Yüklü bir parçacığın ivmelenmesiyle foton oluşmaktadır. Foton, elektromanyetik ışınımı temsil eden temel bir parçacıktır. Fotonlar, elektromanyetik dalgalar ile taşınmaktadır. Fotometri fotonların ölçümüyle uğraşan bilim dalıdır. Yıldızların ışığını incelemek, bize yıldızlar hakkında bilgi verir. Dolayısıyla yıldızlar hakkında bilgi sahibi olabilmek için fotometri yapıyoruz.

Fotometriyle yıldızları inceleyerek daha büyük ölçekte evrimi anlamaya çalışıyoruz. Galaksilerin evriminin anlaşılması, astrofiziğin gelişimi açısından önemli bir yere sahiptir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda henüz bu konuda kesin bir sonuca ulaşamamıştır. Galaksilerin üye yıldızlarının yaşı, dağılımı ve kimyasal yapısı galaksinin evrimine ışık tutmaktadır. Dolayısıyla bu evrimi anlayabilmenin bir yolu da yıldız kümelerinden geçmektedir.

Bir yıldız kümesi, birbirine fiziksel olarak bağlı yıldızlardan oluşur. Küme üyeleri, sınırları yaklaşık belli olan bir hacim içerisinde bulunurlar. Küme üyesi yıldızlar Güneş'ten yaklaşık aynı uzaklıktadır ve büyük ölçekte bakıldığında aynı yaşa ve metal bolluğuna sahiptir fakat kütleleri birbirlerinden farklıdır. Yıldız kümeleri, açık ve küresel kümeler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bu iki oluşumu anlayabilmek için öncelikle bir galaksinin popülasyon dağılımını anlamak gerekir.

Genel olarak yaş, kimyasal yapı ve kinematik bakımdan benzer özellikler gösteren yıldız topluluğuna popülasyon denir. İlk defa Walter Baade (Baade 1944) tarafından Pop I ve Pop II

ayrımı yapılmıştır. Daha sonra Pop III tanımı gelmiştir. Tanıma göre birinci nesil yıldızlar, ki bunlar Pop III yıldızları oluyor, ilk oluşan ve Güneş'ten yüzlerce kat kütleli yıldızlardır. İkinci nesil yıldızlar, birinci nesil yıldızların ölümlerinden sonra onların kalıntılarında meydana gelen yıldızlardır. Güneş, metalce fakir Pop II yıldızlarının kalıntılarında oluşmuş üçüncü nesil yıldızlardandır yani Pop I grubundandır. Yaşam için gerekli atomlar ancak birinci nesil yıldızların ölümünden sonra oluşmaya ve ikinci nesil yıldızlardan sonra zenginleşmeye başlamıştır. Dolayısıyla Pop III yıldızları metal içermeyen, Pop II yıldızları az metal içeren ve Pop I yıldızları da metalce zengin yıldızlar olarak ifade edilebilir.

Küresel kümeler; yaklaşık olarak küresel şekilli, milyonlarca yıldız içeren yoğun yıldız kümeleridir. Küresel küme üyesi yıldızlar, kümenin merkezinde oldukça yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Merkezden uzaklaştıkça yıldızların yoğunluğu azalmaktadır. Merkezindeki bu yoğunluktan dolayı küresel bir şekilde görünmektedirler. Küresel kümeler, Güneş'e kıyasla metalce fakir yıldızlardan oluşurlar ve Pop II yıldızlarını temsil ederler. Galaksimizin halo ve şişkin bölgesinde bulunurlar ve yaşlıdırlar.

Açık kümeler ise küresel kümelere göre daha dağınık, daha seyrek ve daha az yoğunluklu yıldız kümeleridir. Bu neden ile "açık" olarak isimlendirilmişlerdir. Açık kümeler çoğunlukla Galaktik düzleme yakın bulunurlar. Bu sebeple "Galaktik kümeler" olarak da isimlendirilirler. Galaksimizin spiral kolları aynı zamanda yıldız oluşum bölgesi olduğu için, açık kümeler Galaksimizde spiral kollara yayılmış bulunmaktadır. Bu dağılımı ilk fark eden Becker (1964), NGC 1232 galaksisinin sarmal yapısıyla açık kümelerin dağılımı arasında bir benzerlik olduğunu söylemiştir. Açık kümeler spiral ve düzensiz galaksilerde bulunurlar ve oluşmaya devam ederler. Eliptik galaksilerde yıldız oluşumu milyonlarca yıl önce durmuştur. Bu neden ile açık kümeler eliptik galaksilerde oluşmazlar ve var olan açık kümeler de zaman ile dağılmışlardır. Pop I yıldızlarını temsil ederler. Dolayısıyla metalce zengin yıldızlara sahiplerdir.

Açık kümelerin genç ve yeni oluşmakta olan yıldızlardan oluşuyor olması, onların incelenmesi yönündeki merakı daha da artırmaktadır. Genç ve yaşlı açık kümelerin bir arada incelenmesi, yıldız evrimi ve dolaylı olarak Galaksi evrimi hakkında bilgi sahibi olmak açısından çok önemlidir. Açık kümelerin, yıldız evriminin anlaşılmasına bir diğer katkısı da oluşumlarından gelmektedir. Bir açık kümedeki üye yıldızlar Güneş'ten yaklaşık aynı uzaklıktadır ve büyük ölçekte bakıldığında aynı yaşa ve metal bolluğuna sahiptir. Bu yüzden, farklı kütlelerde ama

aynı yaş ve metal bolluğuna sahip kümeler incelendiğinde, kütleinin yıldız evrimine nasıl bir katkı sağladığı da anlaşılmış olacaktır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Avrupa Güney Gözlemevi'nin (European Southern Observatory; ESO) şili La Silla yerleşkesinde bulunan 1,54 m çaplı Danimarka teleskobuyla optik fotometrik gözlemleri yapılan NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin CCD *UBV* gözlemlerinin fotometrik analizleri yapılmıştır. Seçilen dört kümenin yapısal parametreleriyle birlikte renk artıkları, uzaklıkları, yaşları gibi astrofiziksel parametreleri bağımsız olarak çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. AÇIK KÜMELER VE ÖZELLİKLERİ

2.1.1. Açık Kümelerin Oluşumu ve Evrimi

Işığın, yıldızlardan gözümüze olan yolculuğunu anlamak için öncelikle yıldız oluşumuna dönmek gerekir. Yıldızların atası esasen, molekül bulutlarıdır. Bu dev molekül bulutları homojen değildir. Dolayısıyla daha yoğun olan bölgeler zaman ile çekim kuvveti uygulayabilecek hale gelir. Molekül bulutu; süpernova patlamaları sonucu oluşan şok dalgaları, HII bölgeleri, gezegenimsi bulutsular, molekül bulutlarının çarpışmaları ve Galaksi merkezinden spiral kollar boyunca yayılan yoğunluk dalgası gibi sebeplerle tetiklenir. Bu yoğun bölgelerde HII molekülü birikir. Molekülün, molekül bulutunun sıcaklığını daha fazla düşürmesi sonucu bulut yoğunlaşıp çökmeye başlar. Bu çökme sırasında bulut parçalara ayrılabilir ve her parçanın ayrı ayrı çökmesiyle ilkel yıldızlar oluşur. Bu ilkel yıldızlar, bir yıldız kümesinin temelini oluşturur. İlk aşamada oluşan bir ilkel yıldızın merkezindeki HII molekülleri çökme sonucu oluşan sıcaklık artışından dolayı ayrışır. Ardından ayrışan hidrojenlerin iyonlaşmaya başladığı sıcaklıklara ulaşılır ve ilkel yıldız bu durumda çökmeye başlar. İç sıcaklık giderek artar ve helyum da iyonlaşmaya başlar. Sıcaklığın daha da artmasıyla merkezde nükleer reaksiyonlar başlar ve bu aşamada ilkel yıldız artık yıldız diyebiliriz. HII moleküllerinin ayrışması, farklı yıldızların da eş zamanlı oluşmasını sağlayabilir. Bu durumda tek bir yıldız yerine, birçok yıldızın hatta bir yıldız kümesini oluşturan yıldızların oluşması mümkün olabilir. Yıldız kümelerindeki üye yıldızlar aynı molekül bulutundan oluştukları için kimyasal yapıları da aynıdır.

Açık kümelerin oluşumu sırasında, oluşan küme üyesi yıldızların etrafında atası olan molekül bulutlarının da kalıntıları bulunabilir. Sıcaklığı yüksek olan yıldızların etrafında oluşan HII bölgeleri, zaman ile bu kalıntıların parçalanıp yıldızlararası ortama karışmasına neden olur. Ülker (Pleiades) açık kümesi bu evreye güzel bir örnek teşkil etmektedir (Şekil 2.1). Görüntüde dikkati çeken mavi ışık, kümeyi çevreleyen molekül bulutunun içerisindeki karbon taneciklerin yıldızlardan gelen mavi ışığı kırmızı ışığa nazaran daha çok saçmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.1: Yoğun gaz ve toz bulutu içerisindeki Ülker (Pleiades) açık yıldız kümesi (APOD / NASA) ¹.

Galaktik açık kümeler, Galaksi evrimini anlayabilmek adına mükemmel çalışma alanları sunarlar;

- Dağılımlarından dolayı Galaksi diskinin yükseklik ölçeğinin belirlenmesi ve Galaksi merkezine olan uzaklıkların elde edilmesinde kullanılabilirler.
- Spiral galaksilerin kollarında yer aldıklarından, bu galaksilerin sarmal yapısının haritalanmasında önemli yere sahiptirler.
- Kinematik ve dinamik çalışmalarının yapılmasıyla birlikte Galaktik dönme eğrisi, sarmal yapının dönmesi, yörüngelerin belirlenmesi ve kümeler ile olan ilişkileri hakkında bilgi edinilebilir.
- Kümelerin kızarma, metal bolluğu, yaş ve uzaklık gibi parametrelerinin belirlenmesiyle birlikte Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasında rol alırlar.
- Yıldızlararası maddenin yapısının ve dağılımının belirlenmesinde kullanılırlar.

Genç ve parlak yıldızlardan oluşan açık kümeler, uzayın oldukça tozlu bölgelerinde bulunmaktadır. Bu yıldızlararası tozun, açık kümelerde yıldız oluşumunun devam etmesi gibi olumlu etkisinin yanı sıra, sönmüştür ve yoğun yıldızlararası toz içeren molekül

¹ <https://apod.nasa.gov/apod/ap171114.html>

bulutlarının kümelere uyguladıkları çekimsel tedirginlikler gibi olumsuz etkileri de vardır. Küme üyesi yıldızlar birbirleri etrafında dolanmaları sırasında yakınlaştıklarında, karşılıklı olarak çekimsel kuvvetlerden etkilenirler. Zaman ile bu çekimsel etkileşimin ve molekül bulutlarından kaynaklanan çekimsel tedirginliklerin neden olduğu hareket düzensizliği, açık kümelerin parçalanmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, küme yıldızları tek veya yakın çift yıldız olarak alan yıldızlarına karışırlar. Ayrıca, açık kümeler dinamik ve yıldız evrimleri süresince oluşan kütle kayıpları gibi iç kuvvetlerin veya başka bir galaksinin çekim kuvveti, Galaksi diskindeki spiral kollardan yayılan şok dalgaları ya da molekül bulutuyla çarpışma gibi dış kuvvetlerin etkisiyle de dağılabilmektedirler (Wielen 1971). Açık kümelerin evrimlerinin nihai hali “Açık Küme Kalıntıları” (OCRs) olarak isimlendirilmektedir. Bu bağlamda, OCR’ler açık kümelerin ve alan yıldızlarının evriminin anlaşılmasında önemli yere sahiptir.

Açık yıldız kümelerinin dağılma zamanları, kümelerin başlangıç-kütle fonksiyonuna bağlıdır. Kümelerin dağılma zamanlarıyla ilgili bilgi; sayısal modellerden (Terlevich 1987, de la Fuente Marcos 1997, Portegies Zwart ve diğ. 2002) ve gözlemsel yaş dağılımlarından (Wielen 1971, Dutra ve Bica 2000) elde edilebilmektedir. Wielen (1971), çalışmasında açık kümelerin dinamik evrim zamanları hakkında bilginin kümenin yaş dağılımlarından elde edilebileceğini ve Galaksi merkezine 1000 pc uzaklıktaki kümelerin %50’sinin dağılma sürelerinin 200 Myıl mertebesinde olduğunu belirtmiştir. Açık kümelerin dağılma sürelerini, Ahumada ve diğ. (2000) 100 Myıl olarak, Portegies ve diğ. (2002) ise yaklaşık 55 Myıl olarak elde etmişlerdir. Günümüze dek yapılan çalışmalarda açık kümelerin dağılma sürelerinin birkaç yüz milyon ile bir milyar yıl arasında değiştiği rapor edilmiştir.

2.1.2. Açık Kümelerin Sınıflandırılması

Açık kümelerin ilk keşfi ve sınıflaması yüzyıllar önce teleskobun icadından sonra gerçekleşmiştir. 1654 yılında Astronom Giovanni Batista Hodierna, bazıları kendi keşfi olan birçok bulutsu ve küme gözlemlerini içeren bir kitapçık yayınlamıştır. Derin gökyüzü cisimlerini sınıflandırmayı deneyen ilk kişi olarak bilinen Hodierna, bu nesnelere üç sınıfa ayırmıştır:

Luminosae – çıplak göz ile ayırt edilebilen yıldızları içeren bulutsular

Nebulosae – bir teleskop ile ayırt edilebilen yıldızları içeren bulutsular

Occultae – bir teleskop ile gözleendiğinde bile ayırt edilemeyen bulutsular

Hodierna'nın bu sınıflamasından sonra kendi de dahil olmak üzere birçok astronom tarafından açık kümeler keşfedilmeye başlanmıştır. Keşiflerin artması, açık kümelerin kataloglanması ihtiyacını doğurmuştur. 1781 yılında Charles Messier tarafından Messier Kataloğu ortaya konmuştur. Dr. William Watson, bu kataloğu William Herschel'e göndermiştir. Daha sonra Herschel, yedi yıllık sürede yaptığı çalışmalarda 2300 yeni nesne keşfetmiş ve onları Messier Kataloğu'ndaki nesnelere birlikte sınıflandırmıştır. William Herschel'in sınıflandırması şu şekildedir:

- I. *Parlak bulutsular*
- II. *Sönük bulutsular*
- III. *Çok sönük bulutsular*
- IV. *Gezegenimsi bulutsular*
- V. *Çok büyük bulutsular*
- VI. *Çok yoğun ve zengin yıldız kümeleri*
- VII. *Küçük ve büyük yıldızlardan oluşan yoğun yıldız kümeleri*
- VIII. *Kabaca seyrek yıldız kümeleri*

William Herschel'in ölümünden sonra oğlu John Herschel babasının 5.079 nesneyi içeren çalışmalarını güncellemek ve düzeltmek için 1864 yılında Bulutsular ve Yıldız Kümelerinin Genel Kataloğu'nu yayımlamıştır. John Herschel'in çalışmalarına ek olarak 1888'de J. L. E. Dreyer tarafından Bulutsular ve Yıldız Kümelerinin Yeni Genel Kataloğu (New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, NGC) yayımlanmıştır. Çok kısa bir sürede gelişen gözlemsel tekniklerle birlikte yıldız kümeleri üzerine önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Dolayısıyla yeni ve daha doğru sınıflandırma sistemleri üzerinde çalışılmıştır. Bu sınıflandırmalardan biri, P. J. Melotte tarafından şu şekilde verilmiştir:

Sınıf I: Küresel kümeler

Sınıf II: Düzenli ve belirgin hatta sahip seyrek kümeler

Sınıf III: Belirgin bir hattı olmayan, genellikle birkaç yıldızdan oluşan küçük ve seyrek kümeler

Sınıf IV: Pleiades ve Hyades gibi belirgin kümeler

Daha sonra Harvard Üniversitesi'nden Harlow Shapley, 1930 yılında kümelerin “tıklık” (görünen yıldız sayısı ve yoğunluğu) özelliklerini dikkate alarak bir sınıflandırma sistemi geliştirmiştir:

a: Alan düzensizlikleri

b: Yıldız oymakları

c: Çok gevşek ve düzensiz kümeler

d: Gevşek kümeler

e, f, g: Tıkız kümeler

Ayrıca Shapley, açık kümeleri bileşen yıldızlarının tayflarına veya renklerine bağlı olarak iki gruba ayırmıştır:

(1) *Pleiades tipi* – A ve B erken tayfsal tiplerine sahip anakol yıldızlarının çoğunlukta olduğu kümeler ve

(2) *Hyades tipi* – daha geç tayfsal tiplerin yoğunlukta olduğu kümeler.

Son olarak açık kümelerin en gelişmiş sınıflandırması Trumpler (1925) tarafından kümelerin görünümüne göre yapılmıştır. Trumpler, sınıflandırma sistemini kümenin uzaklığından bağımsız olarak yapmıştır. Böylece Shapley gibi önceki sınıflandırma sistemlerinde karşılaşılan karmaşıklığa bir çözüm getirmiştir. Trumpler sistemine göre seyrek bir küme, yakınlığı nedeniyle seyrek görünebilir. Eğer bu küme diğer kümeler ile eşit bir uzaklığa yerleştirilirse aslında daha tıkız olabilir. Trumpler sınıflaması şu şekildedir:

- ***Merkezi Yoğunlaşma:***

I – Alan yıldızlarına göre güçlü merkezi yoğunlaşmaya sahip kümeler

II – Alan yıldızlarına göre zayıf merkezi yoğunlaşmaya sahip kümeler

III – Alan yıldızlarına göre merkezi olmayan yoğunlaşmaya sahip kümeler

IV – Alan yıldızlarıyla birleşmiş, belirgin olmayan yoğunlaşmaya sahip kümeler

- **Parlaklık:**

1– Yıldızlarının çoğu neredeyse aynı görünen parlaklığa sahip kümeler

2– Yıldızlarının çoğu orta parlaklıkta olan kümeler

3– Parlak ve sönük yıldızlardan oluşan kümeler

- **Zenginlik:**

p: 50'den az yıldızı olan fakir kümeler

m: 50-100 yıldız içeren orta derecede zengin kümeler

r: 100'den fazla yıldız içeren zengin kümeler

Trumpler sınıflandırmasındaki son terim ise *N* ile gösterilir ve küme çevresindeki bulutumsu yapıyı işaret eder.

2.1.3. Kümelerin Yapısal Özellikleri

Açık kümeler, Galaktik düzlemde gaz ve tozun fazla bulunduğu bölgelerde yer alırlar. Bu neden ile gerçekleşen sönükleştirme etkisinden dolayı küme üyelerinin alan yıldızları arasından fark edilmeleri zorlaşır. Farklı özelliklere sahip açık kümelerin bulunmasıyla birlikte bu sönükleştirme etkisi, onların yapısal parametrelerinin elde edilmesinde zorluklar ortaya çıkarır. Gel-git kuvvetleriyle etkileşen eş ısısal kürelerin yüzey parlaklık profillerinin açık yıldız kümeleri için de elde edilebileceğini King (1962, 1966) ve Mathieu (1984) göstermişlerdir. Bu çalışmalarda, yüzey yoğunluk profillerine uygulanan modellerin çakıştırılmasıyla açık kümelerin genel olarak çekirdek çaplarının 1-2 pc ve gel-git yarıçaplarının ise 10-25 pc olduğu hesaplanmıştır. Açık kümelerin merkezi yoğunlaşma oranı yani $\log(r_t/r_c)$ değeri 1'den küçük olmaktadır. Bu değer küresel kümeler için 1 ile 2 arasında değişmektedir.

Açık küme yıldızlarının hız dağılımları birkaç km/sn mertebesindedir. Bu değerler, dinamik evrim yöntemlerinden tahmin edilen ve uzay dağılımlarından elde edilen değerler ile uyumludur. Örneğin Mathieu (1985) çalışmasında, M11 ve M67 açık kümelerinin hız dağılımları, sırasıyla, $1,2 \pm 0,35$ ve $0,25 \pm 0,18$ km/sn olarak bulunmuştur. Açık kümelerin hız dağılımları küçük olduğu için kümenin uzun yörünge dönemli tayfsal çiftlerini belirlemek

zordur. Çünkü uzun yörünge dönemli tayfsal çiftlerin belirlenebilmesi için farklı evrelerde alınan tayflara gereksinim duyulur. Ancak, tayflardan hesaplanan ortak kütle merkezinin hızı, kümenin tek yıldızlarından bulunan hızlara nazaran daha büyük olacağı için açık kümenin hız dağılım aralığının yapay olarak artmasına neden olur. Geller ve diğ. (2008) birçok yıldızın radyal hız ölçümlerini hesaplayarak NGC 188 açık kümesi için hız dağılımını $0,64 \pm 0,04$ km/sn olarak bulmuşlardır. Ancak araştırmacılar, bu hız dağılımının çözümlenmemiş çift yıldız popülasyonunu da içerebilme ihtimali sebebiyle 0,23 km/sn kadar artmış olabileceğini belirtmişlerdir.

Kümelerin gözlemlendiği bölgede eğer alan yıldızları çok fazlaysa küme üyesi yıldızların belirlenmesi zordur. Dolayısıyla, açık kümelerin kütlelerinin tayin edilmesi de güçleşir. Kütle tayini için ilk olarak kümelerin açılma büyüklüklerinin belirlenmesi gerekir. Açık kümeler genellikle yaklaşık 5 pc'lik çap içerisinde 50 ile 1000 yıldız içerirler. Dolayısıyla, tipik sayı yoğunlukları 0,1 ile 10 yıldız/pc³ arasında olur. Yoğunluk ile açık kümeler düşük yoğunluğa sahip oldukları için birçok çalışmada kümelerin asıl boyutları hesaplanamamıştır. Dinamik evrim modelleri, kümelerin zaman ile evrimleşmesiyle birlikte yıldız sayılarındaki artış ile daha büyük gel-git yarıçaplarına sahip olacaklarını ve sonuçta küme çaplarının daha belirgin ve büyük olacağını öngörür. Dolayısıyla, küme üyesi yıldızlar belirlenirken bu durum da göz önünde bulundurulmalıdır, aksi takdirde kümenin kütlesi yanlış hesaplanabilir. Böyle bir durumda kümenin toplam kütlelerinin bu belirsizlikler için düzeltilmesi gerekir. Açık kümelerde, küme üyelerinin neredeyse %50'si çift yıldızlardır. Bu çift yıldızlar, H-R diyagramlarındaki konumlarından ve uzun dönemli radyal hız gözlemlerinden belirlenebilirler. Mathieu (1984) çalışmasında, 200 Myıl yaşında olan M11 açık kümesinin yapısal parametreleri ve dinamikleri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada, kümenin gel-git yarıçapı 15 pc ve kor yarıçapı 0,2 pc olarak bulunmuştur. Bu da kümenin dikkate değer derecede kütlesi olduğunu göstermektedir. Mathieu'nun (1984) çalışmasında M11 kümesinin toplam kütlesi $5.200 M_{\odot}$ bulunmuştur. Teorik olarak yapılan hesaplar, kümenin 0,1-0,7 M_{\odot} kütlelerindeki yıldızlarının toplam kütleyle olan katkısının, kümenin toplam kütlelerinin %40'ını içerebileceğini göstermiştir.

Cantat-Gaudin ve diğ. (2018) *Gaia* DR2 veri sürümünü kullanarak Dias ve diğ. (2002) ve Kharchenko ve diğ. (2013) kataloglarında bulunan 3.000'den fazla açık küme ve adaylarının *Gaia* konumları, öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaksalarını kullanarak kümelerin uzaklık ve öz hareket vektörlerini belirlemişlerdir. 1.200'den fazla açık kümenin güvenilir bir

üyelik listesini çıkarmışlardır. Elde ettikleri veriler Samanyolu diskinin 4 kpc mesafesine ulaşmaktadır. Çalışmada, genç açık kümelerin diskin spiral yapısına uyum sağladığı, 8,5 Myıl'dan yaşlı açık kümelerin ise Galaktik düzlemden uzaklaştığı ve iç diskte bulunmadığı rapor edilmiştir. Bu çalışma, *Gaia* astrometrisinin doğruluğunu ve literatürde listelenen kümelerin önemli bir bölümünün asterizmler olduğunu göstermektedir.

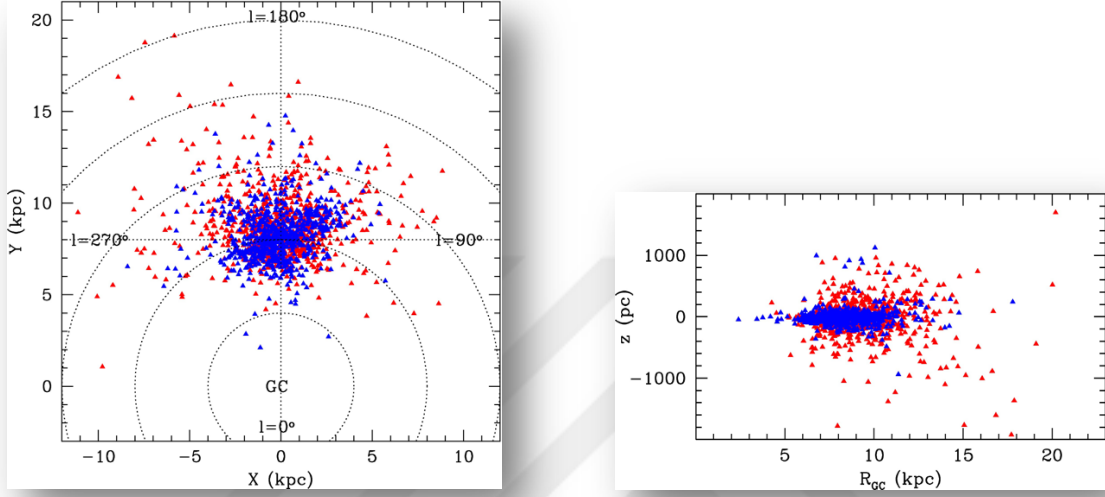
Açık kümeler genellikle 50-1.000 civarında üye yıldızla sahip olsa da kümelerin toplam kütleleri geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Galaksimizde toplam kütlesi oldukça büyük olan açık kümeler bulunmaktadır. Kümelerin kütlelerini belirlemek kolay bir işlem değildir ve farklı yöntemler farklı sonuçlar verebilir. Kütle tahminleri, kümelerin üye yıldızlarının belirlenmesine bağlıdır.

2.1.4. Açık Kümelerin Uzaysal Dağılımları

Açık kümeler çoğunlukla Samanyolu'nun diskinde bulunurlar ve birkaç Myıl ile birkaç Gyıl arasında geniş bir yaş aralığına sahiplerdir. Bilinen en yaşlı açık kümelerin (Be 39 ve NGC 6791) yaşları 10 Gyıl'a ulaşmaktadır (Bragaglia ve diğ. 2012; Geisler ve diğ. 2012). İlk kez van den Bergh (1958) genç ve yaşlı açık kümelerin Galaksideki konumlarının farklı olduğuna dikkati çekmiştir. Özellikle yaşlı açık kümeler Galaktik düzlem üzerinde daha geniş bir dağılım gösterirken, daha genç açık kümeler daha dar bir dağılıma sahiptir (Bonatto ve diğ. 2006; Buckner ve Froebrich 2014). Genç kümelerin yükseklik ölçükleri, yaşlı açık kümelere nazaran daha küçüktür. Galaksinin iç diskinde genç açık kümeler, yaşlı açık kümelere nazaran daha fazla bulunur. Diskin iç bölgelerinde görülen yaşlı küme sayısının az oluşu gözlemsel yanlılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Çünkü kalabalık bir zemine karşı bir genç kümenin parlak mavi yıldızları, yaşlı bir kümenin kırmızı ve sönük yıldızlarına göre daha kolay belirlenebilir. Yıldızlararası sönümleme de bu soruna katkıda bulunur. Şekil 2.2'de DAML02 kataloğu kullanılarak yaşlı ve genç açık kümelerin dağılımları verilmiştir. Şekilde, yaşlı açık kümelerin Galaksi merkezinden uzaklıklarının en geniş aralığı kapsadığı ve genç küme popülasyonunun daha yoğun olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Genç açık kümeler, Galaktik düzlemden itibaren yükseklik ölçeği 50 ile 100 pc aralığında bulunan diskteki gaz dağılımını yakından takip ederler. Yaşlı açık kümelerin yükseklik ölçeği ise genç açık kümelerinkinden daha büyüktür. Kümelerin Galaktik düzleme dik doğrultudaki dağılımlarında görülen bu kalınlaşma, genç ve yaşlı kümeler arasındaki tek dağılım farkı değildir. Galaksimizdeki yıldız oluşumu spiral kollarda meydana geldiğinden, doğum

yerlerinden uzaklaşmamış olan genç yıldızlar spiral yapıyı takip ederler. Dias ve Lepine (2005), 10 Myıl'dan genç açık kümelerin spiral kolları takip ettiklerini, yaşlı olanların ise doğum yerlerinden uzaklaştıklarını göstermişlerdir. Dolayısıyla açık yıldız kümelerinin Galaktik düzlemdeki konumları, onların yaşlarına da bağlıdır.



Şekil 2.2: (a) Açık kümelerin Galaktik düzlem üzerinde dağılımı, Galaktik düzleme dik doğrultuda bakılarak gösterilmiştir. Kırmızılar yaşlı (> 300 Myıl), maviler ise genç (< 300 Myıl) açık kümelerdir. Grafikte yaşlı açık kümelerin çoğunlukla Galaktik merkezden (GC) uzak bölgelere dağıldığı, genç açık kümelerin ise Galaktik merkeze yakın bir bölgede yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. (b) Açık kümelerin Galaktik düzlem üzerinde dağılımı, Galaktik düzlemle aynı doğrultuda bakılarak gösterilmiştir. Burada R_{GC} Galaktik merkeze olan uzaklığı, z ise Galaktik düzlemden olan yüksekliği göstermektedir. Düzlem üzerinden büyük yüksekliklere ulaşan bazı genç açık kümeler bulunmasına rağmen, açık kümeler çoğunlukla düzlem civarında yoğunlaşmışlardır. Yaşlı açık kümeler ise daha dağınık bir dağılıma sahiptirler. Burada kullanılan veriler DAML02 v3.3 kataloğundan alınmıştır (Dias ve diğ. 2002).

2.1.5 Astrofiziksel ve Yapısal Parametreler

Kümelerin oluşumunun ve evriminin anlaşılmasında kümelerin yapısal ve fiziksel parametrelerinin bilinmesi önemli bir rol oynamaktadır. Kümenin kütlesi ve boyutu biliniyorsa dinamik evrimi belirlenebilir; aynı kütleye sahip ama boyutları farklı iki kümeden, küçük boyutlu olan iç etkileşimlerden dolayı dağılırken büyük boyutlu olan Galaktik alan veya molekül bulutlarıyla gel-git etkileşimlerinden dolayı dağılır. Dolayısıyla, kümenin boyutunun dinamik evrim sürecine etkisi büyüktür.

Açık kümelerin genç ve parlak yıldızlarının sayısı alan yıldızlarına göre fazla olduğundan istisna kümeler dışında tespitleri kolaydır. Bu sebeple yapılan Galaktik araştırmalarda bu cisimler sıklıkla kullanılmaktadır. Açık kümelerin kızarma, uzaklık, yaş gibi astrofiziksel parametreleri birçok yıldızdan belirlendiği için alan yıldızlarına kıyasla duyarlı bir şekilde hesaplanırlar. Kümelerin temel astrofiziksel parametreleri, Hertzsprung-Russell diyagramlarının eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılması ile hesaplanabilir.

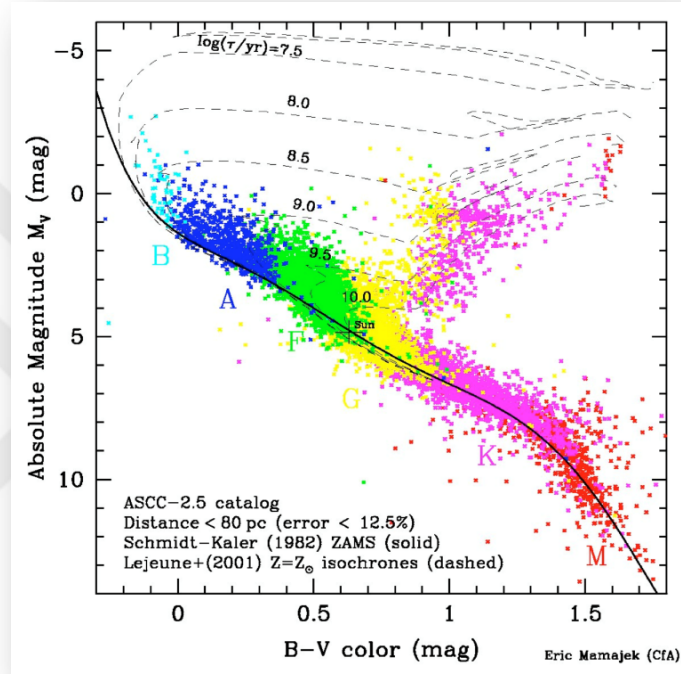
Açık kümelerin astrofiziksel parametreleri belirlenmeden önce, ilk olarak küme üyesi yıldızlarının belirlenmesi gerekmektedir. Küme üyesi yıldızların tayininde, temel olarak hem fotometrik hem de tayfsal analizlerden elde edilen parametreler dikkate alınmaktadır. İlk olarak kümenin öz hareket dağılımına bir sınırlama getirilebilir. Küme üyesi yıldızların yaklaşık olarak ortak bir hıza sahip olması beklendiğinden, üye yıldızlar alan yıldızlarından ayırt edilebilir. İkinci bakılacak özellik uzaklıktır. Kümenin Güneş'e olan uzaklığı biliniyorsa bu uzaklığın sınırları içerisinde kalan yıldızlar, üye yıldızlardır denilebilir. Küme üyesi yıldızların belirlenmesi, astrofiziksel parametrelerin doğru bir şekilde tayin edilebilmesi açısından önemlidir.

Açık küme çalışmaları; kütle, ışımaya gücü, ağır element bolluğu ve yüzey çekim ivmesi gibi temel astrofiziksel parametrelerin belirlenmesinde kolaylık sağlar. Küme üyeliği kesin olan yıldızların tayfsal ve fotometrik analizleri yapılarak kimyasal yapı, hız ve yıldız aktiviteleri gibi özellikleri belirlenebilmektedir. Dolayısıyla bu özellikler Galaktik disk oluşumunun ve evriminin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Galaktik yıldız kümelerinin radyal yoğunluk profilleri, küme yıldızlarının uzaysal dağılımlarını tanımlar. Bu dağılımların uzak bölgelerindeki seyrekliğe kıyasla küme merkezi civarındaki yığılmayı belirlemek amacıyla yoğunluk profilleri kullanılır. Yoğunluk profilleri, kümelerin merkezi koordinatlarından itibaren farklı uzaklık aralıkları içinde bulunan yıldızların sayılmasından elde edilmektedir.

2.2. HERTZSPRUNG-RUSSELL DİYAGRAMLARI

Dev molekül bulutundan oluşan bir açık yıldız kümesinin üye yıldızlarının popülasyonları incelendiğinde, büyük kütleli yıldızların az sayıda, küçük kütleli yıldızların ise çok sayıda olduğu görülmektedir. Böyle bir genel dağılım, küme içerisinde oluşan yıldız sayısı ile kümenin kütlesi arasındaki ilişki olduğuna işaret eder. Bu ilişki başlangıç-kütle fonksiyonu

(IMF) olarak isimlendirilmiştir. Açık kümelerdeki yıldızlar Güneş'ten yaklaşık aynı mesafede ve aynı kimyasal yapıya sahip olduğu için bu yıldızların parlaklık farkları kütlelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kümenin diğer fiziksel parametreleri de sabit sayıldığından başlangıç-kütle fonksiyonu, yıldızların evrimi hakkında faydalı bilgiler edinilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.3: Güneş'ten itibaren 80 pc'lik bir hacim içerisinde kalan yıldızlar için oluşturulan H-R diyagramı. Eksenlerinde yıldızların renk ve mutlak parlaklık değerlerinin verildiği diyagramda, farklı renkler tayf türlerini, düz çizgi anakolu, kesikli çizgiler teorik eş-yaş eğrilerini göstermektedir¹.

Yıldızların evrimini araştırmak için Ejnar Hertzsprung ve Henry Norris Russell tarafından 1910 yılında oluşturulan H-R diyagramı kullanılır (Şekil 2.3). Bu diyagram yıldızlara ait birçok parametreye sahip olması, yıldızların evrimsel yollarının takip edilip ve yorumlanması bakımından önemlidir. H-R diyagramı üç boyutludur; diyagramın apsis ekseninde tayf türü (OBAFGKM), yüzey sıcaklığı (T_{eff}) veya renk indeksi ($B-V$), ordinat ekseninde yüzey çekim ivmesi ($\log g$), ışıma gücü (L) veya mutlak kadir (M_V) ve üçüncü ekseninde de metal bolluğu

¹ <https://www.astro.princeton.edu/~burrows/classes/204/stellar.atmospheres.HR.pdf>

([M/H]) kullanılabilir. Gözlem türü ve analiz tercihi değıştikçe H-R diyagramında seçilen parametreler de değışir.

Açık kümeler için çizilen H-R diyagramlarının genellikle apsis ekseninde renk indeksi ve ordinat ekseninde mutlak ya da görsel parlaklık bulunduğu için renk-parlaklık diyagramları (Color Magnitude Diagram, CMD) olarak tanımlanır. Yıldızların fotometrik verilerinden itibaren oluşturulan renk-mutlak parlaklık diyagramlarının anakolu, sönük ve kırmızı tarafta dar olurken, parlak ve mavi tarafta genişlemektedir. Bunun sebebi, parlak ve mavi bölgedeki büyük kütleli yıldızların düşük kütleliye göre daha hızlı evrimleşip anakolu erken terk etmesidir. Büyük kütleli yıldızlar anakolu terk ederken, bazı düşük kütleli yıldızlar hala anakola gelmekte olabilir. Buna karşın sönük ve kırmızı bölgede ise metal bolluğu etkisiyle anakol dar olmaktadır.

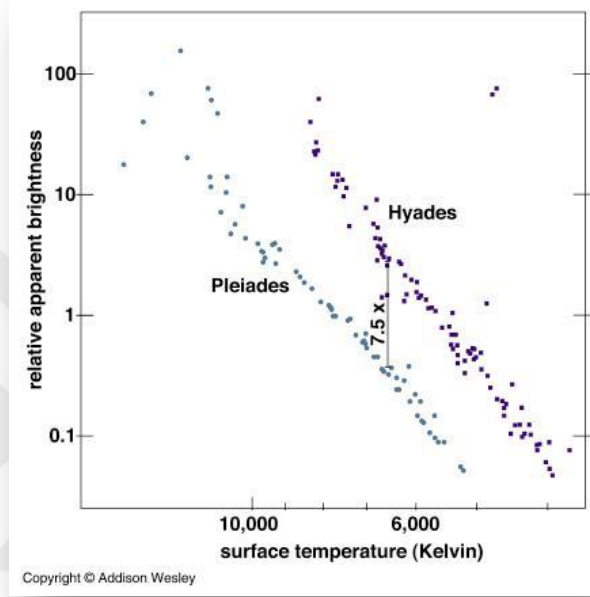
Kümelerin H-R diyagramları incelenerek, küme üyesi yıldızların gerçek uzaklıkları bilinmese dahi göreceli özellikleri incelenebilir ve bu özelliklerinden gerçek uzaklıkları hesaplanabilir. Açık kümelerin H-R diyagramları incelenirken kümenin uzaklığı biliniyorsa küme üyesi yıldızların mutlak parlaklıkları doğrudan hesaplanabilir ve çizilebilir. Eğer uzaklık bilinmiyorsa, diyagram görünen parlaklıklar için çizilebilir. Bu durumda her bir tayf türüne karşılık gelen doğru mutlak parlaklıkları hesaplamak için diyagram sıfır yaş anakoluyla (ZAMS) çakışacak şekilde kaydırılır. Bu kayma miktarı küme için uzaklık modülünü verir. Pogson uzaklık modülü formülü kullanılarak da kümenin uzaklığı belirlenir. Bu yöntem, anakol çakıştırma yöntemi olarak bilinmektedir¹.

Sıfır yaş anakolu için gerekli bağıntıların çıkarılmasında uzaklıkları iyi bilinen iki standart açık küme kullanılmaktadır (Sandage, 1957). Bunlardan biri Güneş'e en yakın olan Hyades ve A tayf türüne kadar anakol yıldızlarını içeren Pleiades açık kümeleridir. Şekil 2.4'te Pleiades açık kümesinin Hyades açık kümesinden 7,5 kat daha sönük olduğu gösterilmiştir². Anakolda bulunan aynı noktadaki yıldızların aynı parlaklığa sahip olduğu varsayılırsa, 7,5 kat sönük olması Pleiades'in Hyades'ten daha uzakta olması anlamına gelir. Hyades kümesi, iyi bilinen ve anakolu belirgin bir küme olduğu için genellikle diğer açık kümelere kaynak olarak kullanılır. Yakın bir referans küme, uzaklıkları paralaks veya hareketli küme yöntemi

¹ <https://www.kau.edu.sa/Files/0053250/Subjects/Star%20clusters-3.pdf>

² <http://cse.ssl.berkeley.edu/bmendez/ay10/2002/notes/lec17.html>

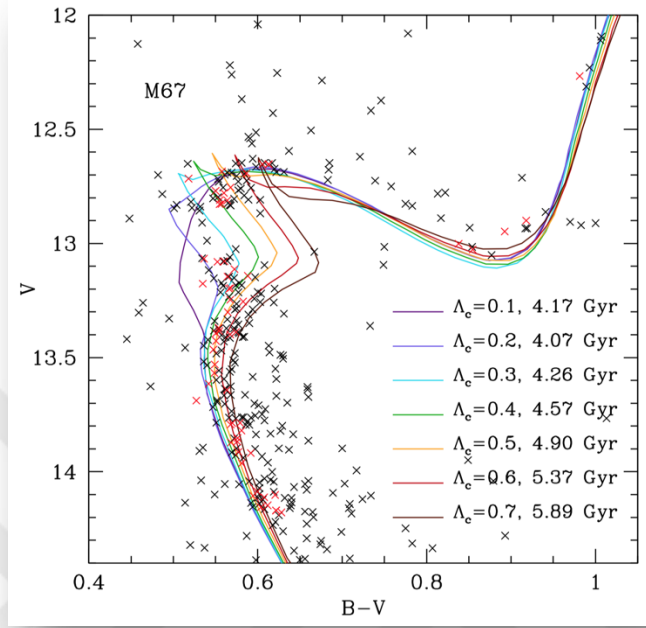
kullanılarak doğru bir şekilde tahmin edilebilen Güneş komşuluğundaki anakol yıldızları kullanılarak kalibre edilebilir (Binney ve Merrifield, 1998). Pleiades kümesinin uzaklığı da Hyades kümesinin uzaklığı bilindiği için kolaylıkla belirlenebilir. Literatürde birçok çalışmada ZAMS bağıntıları çıkartılmıştır (örn. Blaauw 1963, Mermilliod 1981, Sung ve diğ. 1998). Bu konudaki en güncel ZAMS bağıntıları Sung ve diğ. (2013a) tarafından elde edilmiştir.



Şekil 2.4: Pleiades ve Hyades açık kümelerinin renk-parlaklık diyagramı.

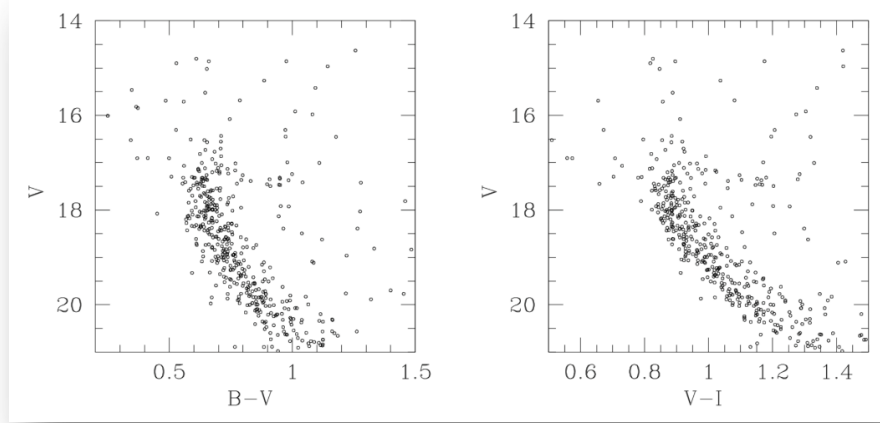
Bir yıldızın H-R diyagramında nasıl bir yol izleyeceği yani evriminin nasıl olacağı kütesine bağlıdır. Bir açık yıldız kümesi için CMD çizildiğinde, yıldızların çoğu anakolda bulunur. Büyük kütleli yıldızların anakoldan uzaklaşıp kırmızı dev koluna geçtiği anakoldan dönüm noktası, kümelerin yaşını tahmin etmek için kullanılabilir. Dönüm noktası, yıldızların çekirdeklerinde hidrojeni tükettikleri aşamadır. Bu noktada temel yakıt olan hidrojen, çekirdeğin etrafındaki kabukta yanmaktadır. Teorik yıldız evrimi modelleri de kümelerin yaşlarını tahmin etmek için kullanılırlar. Bu modeller; yıldızların kütle, metal bolluğu, opasite ve dönme hızı gibi özelliklerine bağlıdır. Bu modellere göre büyük kütleli yıldızlar küçük kütleli yıldızlardan daha hızlı gelişirler ve bunun sonucunda anakolu erken terk ederler. Teorik yıldız evrimi modelleri, Bressan ve diğ. (2012) ve Ekström ve diğ. (2012) tarafından eş-yaş adı verilen ve yaşları aynı olan farklı kütleli yıldızları temsil eden eğrileri bulmak için

kullanılmışlardır. Eş-yaş eğrilerinin renk-parlaklık diyagramları ile karşılaştırılmasından (Şekil 2.5), kümelerin yaşları tahmin edilir.



Şekil 2.5: Orta yaşta M67 açık kümesine uygulanan PARSEC (Padova And TRIeste Stellar Evolution Code) eş-yaş eğrileri, kümenin renk-parlaklık diyagramında gösterilmiştir. Kümenin uzaklık modülü $V - M_V = 9,75$ ve renk artığı $E(B-V) = 0,03$ kadir olarak belirlenmiştir. Siyah çarpı sembolü, Montgomery ve diğ. (1993) tarafından belirlenen BV fotometrisini ifade etmektedir. Kırmızılar ise Sandquist (2004) tarafından tanımlanan “yüksek olasılıklı tek yıldızları” temsil etmektedir. Farklı yaşlar için farklı renklerde PARSEC eş-yaş eğrileri gösterilmektedir (Bressan ve diğ. 2012).

Şekil 2.6’da ise NGC 1193 açık yıldız kümesinin renk-parlaklık diyagramları verilmiştir. Kyeong ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada NGC 1193 kümesinin metal bolluğu $[Fe/H] = -0,45 \pm 0,12$ dex ve yaşı $\log t = 9,7 \pm 0,1$ bulunmuştur. Yaklaşık 5 Gyıl ile ortalamanın üzerinde bir yaşa sahip olan bu kümenin anakolu ve dönüm noktası belirgindir. Ancak genç açık kümelerde anakol ve dönüm noktası bu kümedeki gibi belirgin bir şekilde görülmeyebilir. Bunun sebebi genç kümelerin alan yıldızlarının yoğun olduğu bölgelerde bulunmasıdır. Genç kümelerin anakollarında alan yıldızlarının çokça bulunma olasılığı yüksektir. Bu durumda küme üyesi yıldızların seçilip, bu yıldızların renk-parlaklık diyagramlarının oluşturulması gereklidir.



Şekil 2.6: NGC 1193 açık kümesinin $V \times B-V$ ve $V \times V-I$ renk-parlaklık diyagramları (Kyeong ve diğ. 2008).

Açık küme çalışmalarında kullanılan bir diğer diyagram da iki-renk diyagramıdır. İki-renk diyagramı, renk artışı tayininde en iyi sonucu veren diyagramdır. Bu sebeple renk artışı tayininde en çok bu diyagram tercih edilir. Açık kümeler, Galaksi diskinde yoğun yıldızlararası ortamın bulunduğu bölgede yer alırlar. Dolayısıyla kümelerin fotometrik gözlemlerinde bu ortam; küme üyesi yıldızların parlaklıklarında sönmeye, bu sönmeyenin etkisiyle renklerinde de kızarmaya yol açar. Kızarmaya uğrayan yıldızlar iki-renk diyagramında anakoldan sistematik bir kayma gösterirler. Bu kayma, kızarma miktarıyla doğru orantılıdır. Bu etkinin giderilmesi için kayma gösteren yıldızlar anakola doğru kaydırılarak kümenin $E(B-V)$ renk artışı belirlenir. Bir yıldızın parlaklığı o yıldızın akısıyla doğru orantılıdır. Bu neden ile bir renk veya $U-B$ gibi iki parlaklığın farkı, akılarının oranıyla doğru orantılıdır. Aynı yıldızın akı oranı ise uzaklıktan bağımsızdır. Dolayısıyla renkler uzaklıktan bağımsız olduğu için iki-renk diyagramları da uzaklıktan bağımsız olur. İki-renk diyagramları incelenerek anakol yıldızları ve farklı renkte yıldızlar belirlenebilir. Bu diyagramlar aynı zamanda galaksileri yıldızlardan ayırmak gibi farklı türdeki nesnelere ayırmak için kullanılabilir.

2.3. AÇIK KÜME YILDIZLARI

Açık kümelerin renk-parlaklık diyagramlarında anakol benzeri çift yıldız kolları da belirgin olarak görülmektedir. Kütle oranları birbirine yakın olan çift yıldızlar anakoldaki tek yıldızlara göre 0,75 kadar daha parlak görünürler. Farklı kütle oranlarındaki çift yıldızlar ise bunlara göre biraz daha sönük görünürler. Bu durum, anakolun olduğundan daha kalın görünmesinin

sebeplerinden biridir. Mermilliod ve diğ. (2008) açık kümelerde; yıldızların küme üyeliklerini, kümelerdeki çift yıldız oranlarını ve yıldızların dönme hızlarını içeren kapsamlı bir yıldız taraması ve çalışması yapmıştır. Bu taramanın sonucunda, araştırmacılar küme yıldızlarının yaklaşık %30'unun tayfsal çift yıldızlar olduğunu rapor etmişlerdir.

Genellikle orta ve yaşlı açık kümelerde gözlenebilen yıldız türlerinden biri de kırmızı yığın yıldızlarıdır. Bunlar, çekirdeklerinde helyum yakan ve küresel kümelerdeki yatay kolu oluşturan yıldızlar ile benzer evrimsel süreçte bulunan yıldızlardır. Renk-parlaklık diyagramının kırmızı bölgesinde bir yığın şeklinde, kırmızı dev kolunda gözlenirler. Metalce zengin yıldızlardır. Renk-parlaklık diyagramlarında bir yığın oluşturdukları için bu isimlendirme yapılmıştır. Bu yıldızlar, uzaklık belirlemede ve renk-parlaklık diyagramlarında yapılan eş-yaş eğrisi geçirme yöntemlerinde de kullanılabilirler. Ancak oluştukları bölgenin kimyasal bolluğunu yansıtmazlar.

Açık kümelerde dikkati çeken bir diğer yıldız türü ise mavi mücadelecilerdir. Bunlar, ilk olarak küresel kümelerin renk-parlaklık diyagramında Sandage (1969) tarafından belirlenmiştir. Bu yıldızlar, yaşlı açık kümelerin çoğunda bulunurlar. Bir açık kümenin renk-parlaklık diyagramında, dönüm noktasının yaklaşık olarak üst solunda, parlak ve mavi bölgede bulunurlar. Bu yıldızlar normal evrim yollarını takip etmedikleri için “straggled” kelimesiyle, Türkçe anlamında mücadeleciler olarak, isimlendirilmişlerdir. Bu yıldızların kütleleri anakol yıldızlarının kütlelerinden fazladır. Küme merkezinde yoğun olarak bulunurlar. Yıldızların etkileşim hareketleriyle dolayısıyla da birleşmeleriyle ya da kütle transferi yapan çift yıldızlardan oluştukları düşünülmektedir. Açık kümelerin yıldız yoğunluğu küresel kümelere kıyasla düşük olduğu için, yıldız etkileşimleri mavi mücadeleciler yıldızların sayısına tek başına bir cevap olamaz. Bu yıldızların oluşumları henüz tam anlamıyla anlaşılmalıdır.

2.4. KATALOGLAR

Galaksimizin geniş ölçekte evriminin anlaşılması için; renk artığı, yaş, uzaklık, metal bolluğu, dönme hızı ve boyutları gibi astrofiziksel parametreleri tayin edilebilen açık kümelerin farklı özelliklerdeki örneklerinin bir arada incelenmesi önemlidir. Teleskobun icadından bu yana açık küme keşiflerinin giderek artması açık kümelerin kataloglarının oluşturulması ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Galaksimizdeki açık kümelerin bugünkü haliyle kataloglanması uzun bir süreci gerektirmiştir.

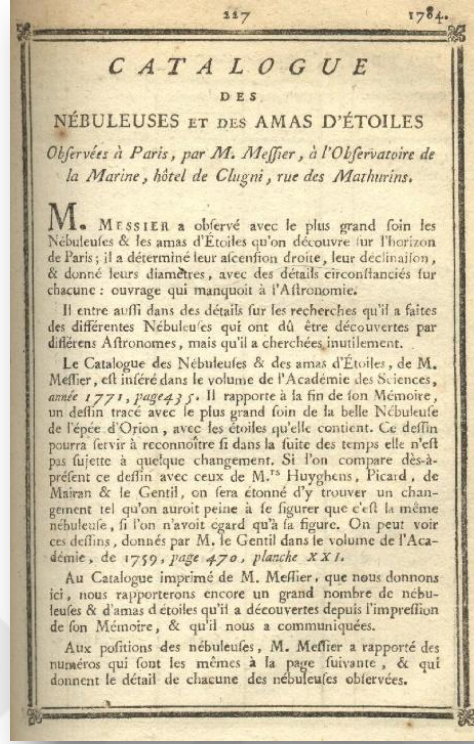
Yıldız kümeleri ilk olarak Charles Messier tarafından kataloglanmıştır (Messier, 1781¹) (Şekil 2.7). Bu katalogda küresel kümeler, açık kümeler, molekül bulutları ve galaksiler olmak üzere 103 cisim bulunmaktadır. Messier bu cisimlere standart olması açısından M harfi ile başlayan ve yanında sayılar bulunan M1, M2 gibi isimler vermiştir. Bu katalogdan sonra John Herschel'in 1864'te bulutumsu nesnelere de içeren "Bulutlar ve Yıldız Kümelerinin Genel Kataloğu (General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars)"nu yayımlamıştır. 1888'de J. L. E. Dreyer, bu kataloğun daha gelişmiş bir versiyonu, o zamana kadar yapılmış tüm gözlemleri ve bilinen tüm bulutumsu cisimleri içeren bir kataloğu "Bulutlar ve Yıldız Kümelerinin Yeni Genel Kataloğu (A New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars)" ismiyle yayımlamıştır. Bu katalogda yer alan cisimlerin isimleri de kataloğun isminin kısaltması olan NGC ile başlamakta ve NGC1, NGC2 gibi yanına sayılar eklenerek devam etmektedir. Bu katalogda da Messier kataloğundakine benzer şekilde; küresel kümeler, açık kümeler, molekül bulutları ve galaksiler olmak üzere 7840 cisim bulunmaktadır (Lindsay, 1965).

Lynga (1987) tarafından ilk kez, yalnızca açık kümeleri içeren Lynga Açık Küme Kataloğu yayımlanmıştır. Bu katalog, ilk yayımlandığında yalnızca birkaç yüz açık küme verisi içermektedir. Katalog zaman geçtikçe güncellenerek, 1995 yılında yayımlanan beşinci sürümle birlikte 1151 açık küme verisini içermektedir. Bu katalogda fotoğraf plaklarıyla görüntülenmiş kümelerin analizleriyle birlikte sınıflaması da yapılmıştır. Janes ve diğ. (1988) bu kataloğu kullanarak açık kümelerin astrofiziksel parametreleri arasındaki ilişkileri irdeleyerek, kümelerin boyutu ve yaşının yanı sıra, Galaktik metal bolluğu gradyenti gibi konular üzerinde detaylı analizler yapılmıştır.

Mermilliod 1987'de sadece açık kümeleri içeren Base Donnees Amas (BDA) adında bir veri tabanının oluşturulmasına ön ayak olmuştur, daha sonra bunun web tabanlı versiyonu (WEBDA) 1997'de halka açılmıştır². Bu veri merkezi, kümelerin elde edilen metal bolluğu, yaş, uzaklık modülü, renk artığı, uzaklık ve konum verileriyle birlikte hem küme üyesi yıldızların hem de küme doğrultusunda bulunan alan yıldızlarının tayfsal ve fotometrik verilerini, radyal ve rotasyon hızlarını, yayımlanmış verilerin kaynakçalarını ve diğer çalışmalar ile kıyaslamalarını da içermektedir. Kısaca WEBDA, Galaksimiz ve Magellan Bulutlarındaki açık kümelerin kapsamlı olarak birçok çalışmadaki verilerini içermektedir.

¹ <http://www.messier.seds.org/xtra/Mcat/mcat1781.html>

² <https://www.univie.ac.at/webda/>



Şekil 2.7: Orijinal Messier Kataloğu'nun (1781) giriş sayfası.

WEBDA ayrıca parametreleri elde edilmiş kümelerin dışında henüz astrofiziksel parametreleri elde edilmemiş olan aday kümeleri de içermektedir. Dias ve diğ. (2002) tarafından WEBDA veri merkezinden parametreleri elde edilmiş bütün açık kümeleri ve küme adaylarını kapsayan güncel bir katalog yayımlanmıştır. Bu katalogda 1.629 Galaktik açık kümenin astrofiziksel parametreleri tek bir veri tablosunda sunulmuştur. Bu katalogda açık kümelerin neredeyse tamamının çapları, %38'inin ise Güneş'ten uzaklığı, renk artışı ve yaşı yer almaktadır. Bu katalog "Optically Visible Open Clusters and Candidates" ismiyle günümüze dek üç farklı veri içeriğiyle sunulmuştur. 2013'te yayınlanan en güncel sürümünde toplam 2.174 açık küme vardır. Son katalogda 1.620 açık kümenin uzaklık, renk artışı ve yaşı hassas olarak verilmiştir.

Galaksimizin iç kısımlarında, Galaktik düzlemde ya da yıldız oluşum bölgelerinde henüz keşfedilmemiş açık kümelerin bulunduğu düşünülmesi, görsel optik bölgenin dışında da gözlemler yapılmasına yol açmıştır. Bu amaçla başlatılan yakın kırmızıötesi bölgede *JHKs* filtre takımıyla tanımlanan "Two Micron All Sky Survey" yani 2MASS programı, Galaksimizde bulunan henüz keşfedilmemiş açık kümeler bakımından önemli bir adım

olmuştur. Cutri ve diğ. (2003) tarafından bu program kullanılarak 2MASS nokta kaynak kataloğu isimli bir katalog yayımlanmıştır.

Froebrich ve diğ. (2007), 2MASS verilerini kullanarak Galaktik düzlemi $|b| \leq 20^\circ$ içerisinde olan yıldız kümelerini sistematik bir şekilde belirlemişlerdir. Toplamda teşhis ettikleri 1.788 aday küme arasında 681 açık küme ve 87 küresel kümenin önceden bilindiğini, 1.024 kümenin ise yeni olduğunu rapor etmiş ve bunların yoğunluk profillerini King modeli (King, 1966) ile tanımlayarak açık ve küresel küme ayrımını yapmışlardır.

Kharchenko ve diğ. (2013) tarafından Samanyolu Yıldız Kümesi (The Milky Way Star Cluster – MWSC) kataloğu hazırlanmıştır. Katalog, oluşturulduğu zamana dek bilinen tüm küme adaylarını içerir. 3.784 küme adayı bu katalogda listelenmiş, bunlardan 3.006'sının gerçek nesne olduğu belirtilmiştir. Gerçek nesnelere 2.267'si açık küme, geriye kalanlar ise küresel küme, oymak, asterizm, bulutsu, kalıntı ve hareketli gruplar olarak sınıflandırılmıştır. Araştırmacılar, veri işleme yöntemlerini kullanarak katalogdaki her bir gerçek nesnenin uzaklığını, renk artığını, yaşını, metal bolluğunu ve yarıçapını homojen olarak yeniden belirlemişlerdir. Dolayısıyla MWSC kataloğu, homojen olarak elde edilmiş temel parametrelere sahip literatürdeki en büyük katalogdur. Bu katalogda Güneş'ten 1 kpc uzaklık içerisinde $\log(\text{yaş/yıl}) > 9,2$ 'den büyük açık kümelerin eksikliği tespit edilmiştir. Schmeja ve diğ. (2014) tarafından bu "kayıp" kümeler araştırılmış ancak bir sonuca ulaşılamamıştır. Bu eksikliğin nedenine henüz bir çözüm getirilememiştir. Ancak Galaktik düzlem üzerinden 1 kpc'den daha büyük dik uzaklıklarda 1 Gyl'dan daha yaşlı önemli sayıda açık kümeler bulunur. Yaşlı açık kümeler, genç açık kümelere göre daha büyük yükseklik ölçeğine sahiplerdir (Moitinho 2010, Buckner ve Froebrich 2014). Bu eksikliğe fiziksel bir etkinin sebep olduğu düşünülmektedir.

2.4.1. ESA Görevleri

Hipparcos (HIP) ve *Tycho* (Tycho-1) katalogları, Avrupa Uzay Ajansı'nın (European Space Agency, ESA) astrometrik görevi olan *Hipparcos* uydusunun sonuçlarını içerir. Dört yıl boyunca çalışan uydu, 1989 yılının Kasım ayından 1993 yılının Mart ayına kadar yüksek kalitede bilimsel veriler kaydetmiştir. Katalogların her birinde yüksek kalitede astrometrik ve fotometrik veri vardır (ESA 1997). *Tycho-2* kataloğu gökyüzündeki en parlak 2,5 milyon yıldız için iki-renk fotometrik verisi içermesinin yanı sıra konumları ve öz hareketleri içeren astrometrik bir referans katalogudur (Hog ve diğ. 2000). *Tycho-2*, konumları ve parlaklıkları

ESA'nın *Hipparcos* uydusunun yıldız haritası tarafından toplanan orijinal *Tycho* Kataloğu *Tycho-1* (Hog 2000) ile aynı gözlemlere dayanmaktadır. Ancak *Tycho-2* kataloğu daha gelişmiş tekniği sayesinde daha büyük ve daha hassastır. 2007 yılında van Leeuwen (2007) tarafından o zamana dek yayınlanan *Hipparcos* görevi tarafından üretilen astrometrik verilerin HIP2 isimli yeni bir kataloğu oluşturulmuştur. Bu yeni kataloğun daha önce yayınlanan katalog ile karşılaştırılması yapılmış ve yeni verilerin daha önceki verilere kıyasla iyileşmeler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Gaia uydusu, 2013 yılında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Fransız Guyanası'nda bulunan Ensemble de Lancement Soyuz (ELS) fırlatma üssünden fırlatılmıştır. *Gaia*, Güneş doğrultusunun tersi yönünde Dünya'dan yaklaşık 1,5 milyon kilometre uzaklıkta yer alan, L2 olarak isimlendirilen, Güneş-Dünya Sisteminde yerçekimi açısından kararlı bir nokta olan Lagrange noktasında bulunur. Uzay aracı bu noktada mevcut konumunu korumak için minimum yakıt kullanır. Ayrıca Dünya'dan gelen ışığın gözlemleri etkilemeyeceği uzaklıktadır. ESA'ya göre *Gaia* görevinin temel hedefleri şunlardır:

- *Gaia*'nın ilk hedefi, modern astronominin en zor ancak en temel problemlerinden biri olan Samanyolu ve ötesinde bulunan bir milyar yıldız yer aldığı bir alanın üç boyutlu haritasını oluşturmaktır. Bu hedef doğrultusunda *Gaia*, Galaksimizin oluşumu, yapısı ve evrimi hakkında çeşitli sorunların üstesinden gelmek için temel gözlemsel verileri sağlamaktadır.
- 150 ışık yılı içerisindeki kalan ve yörüngeli bir gezegenin çekiminden etkilenebilecek yıldızların hareketlerini gözlemleyerek varsa Jüpiter büyüklüğündeki gezegenlerini belirlemek.
- Çekirdeklerinde nükleer füzyonu başlatabilecek kadar büyük olmayan “başarısız yıldızları” yani kahverengi cüceleri belirlemek.
- Mars ve Jüpiter arasındaki asteroit kuşağından, Kuiper Kuşağı olarak isimlendirilen Neptün ötesindeki buzlu nesnelere kadar Güneş Sistemi'nin her yerindeki asteroitleri araştırmak.
- Patlayan yıldızları (süpernovalar) maksimum parlaklığa ulaşmadan önce araştırmak.
- Büyük kütleli nesnelere çekimlerinin ışığı nasıl kırdığına bakarak Einstein'ın genel görelilik teorisini test etmek.

Gaia görevi, benzeri görülmemiş kapsamda, doğrulukta ve eksiksiz veri arşivi ile astronomik bir katalog sunmaktır. *Gaia* görevinin kümelerin ve küme üyelerinin tespiti açısından önemli katkısı olmuştur. *Gaia*, mevcut açık kümelerin ve onların beyaz cücelerden düşük kütleli yıldızlara kadar tüm üye yıldızlarının mümkün olduğunca eksiksiz tespit edilebilmesini hedeflemiştir. *Gaia* tüm gökyüzünü kaplama, çok düşük parlaklık limiti, homojenlik, doğruluk, hassasiyet konularında da benzersizdir. Ayrıca astrometri, fotometri, tayfsal, yıldızların fiziksel parametreleri gibi birçok alanda çalışma imkanı sağlayan veri çeşitliliğine sahiptir.

Eylül 2016'da çıkarılan *Gaia* Veri Salımı 1 (DR1; *Gaia* çalışanları, 2016), *Gaia* uydusunun 14 aylık gözlemlerine dayanarak 20,7 kadirde daha parlak 1 milyardan fazla yıldız için astrometrik sonuçları içerir. *Hipparcos* ve *Tycho-2* kataloglarıyla ortak olan yıldızlar için, önceki kataloglardan konumsal bilgiler eklenerek astrometrik tek yıldız çözümleri tamamlanmıştır. Diğer yıldızlar için konumlar ise öz hareket ve trigonometrik paralaks ihmal edilerek elde edilmiştir. 2017 yılında *Gaia*'nın bu sürümünden elde edilen veriler, bilim insanlarının "*Gaia 1*" adını verdikleri daha önce görülmeyen türde bir yıldız kümesini ortaya çıkarmıştır. Bu küme oldukça büyük (30 ışık yılı genişliğinde) ve aydınlıktı ancak Sirius adı verilen parlak yıldızın arkasına gizlenmişti. Aynı yıl *Gaia*; karanlık madde denilen evrenin kütesinin çoğunluğunu oluşturan maddeden etkilenmiş olabileceği düşünülen hareketlere sahip, yarım düzine yüksek hızlı yıldızı takip etmiştir.

Mayıs 2018'de ise ESA'nın *Gaia* astrometri görevinden alınan ikinci ara sürüm olan *Gaia* Veri Salımı 2 (*Gaia* Data Release 2 – *Gaia* DR2; *Gaia* çalışanları, 2018) çıkarılmıştır. *Gaia* DR2, parlaklığı 21. kadire kadar olan 1,7 milyar kaynağın verisini içermektedir. Yaklaşık 1,3 milyar yıldızın konum, öz hareket ve trigonometrik paralaks verileri bulunmaktadır. Geri kalan yıldızların ise yalnızca konumları mevcuttur. *Gaia* kataloğundaki konumlar, 20. kadirde yıldızlar için yaklaşık 2 mili yay saniyesi (mas) konum belirsizliği ile oldukça hassastır. Öz hareketteki belirsizliklerin, yaklaşık 15. kadirde daha parlak yıldızlar için 0,1 mas/yıl'dan ve 20. kadir gibi çok sönük yıldızlar için ise 1,2 mas/yıl'dan düşük olması beklenmektedir. *Gaia* DR2 fotometrisi, üç renk bandında fotometri içerir: *G* bandı adı verilen geniş bir "beyaz ışık" renk bandı, kırmızı ışık renk bandı (*GRP*) ve mavi ışık renk bandı (*GBP*). Parlaklıklardaki belirsizliklerin, *G* bandındaki parlak yıldızlar için 0,001 kadir, kırmızı ve mavi bantlardaki 20. kadirde yıldızlar için yaklaşık 0,02 kadir arasında olduğu tahmin edilmektedir. *Gaia*'nın veri işleme süreci *Gaia* DR3'e doğru tam hızda ilerlemektedir. Program stabilize edilmiş olsa da

bugüne kadar yayınlanan sürümlerin eksiklikleri bulunmaktadır. Bunların giderilmesi adına 2020 yılının üçüncü çeyreğinde *Gaia* EDR3 isimli, astrometride gelişmeler içeren yeni bir kataloğun ve 2021 yılının ikinci yarısında *Gaia* DR3 ismiyle yeni bir sürümün yayınlanacağı duyurulmuştur.



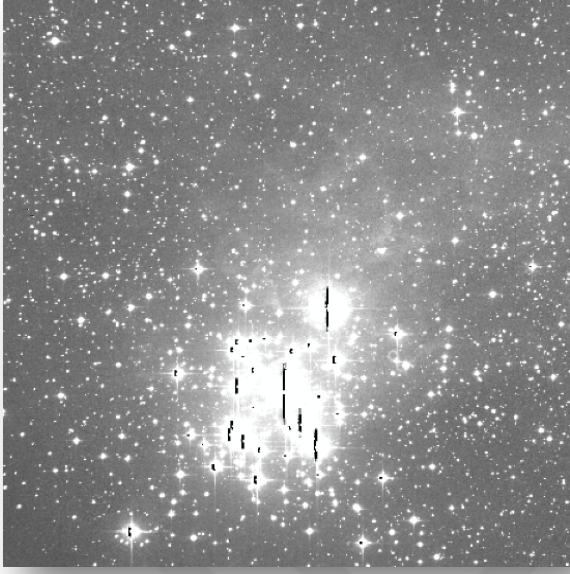
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GÖZLEMLER

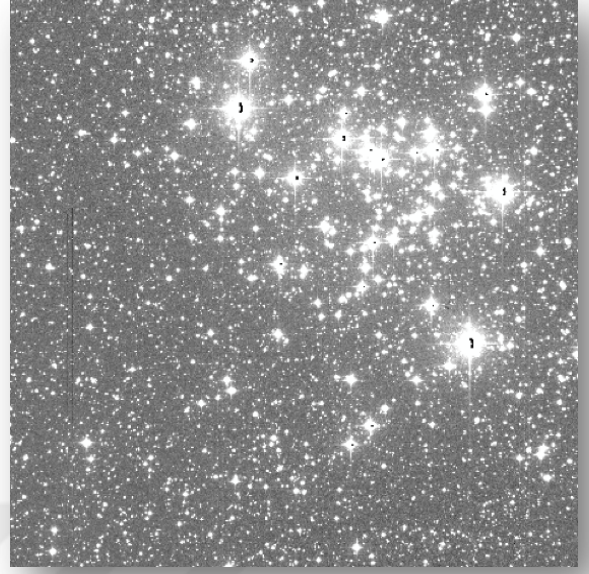
Açık kümeler hakkında araştırma yapmak ve bir sonuca ulaşmak için öncelikle yapılması gereken, açık küme gözlemidir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında detaylı bir şekilde incelenecek olan NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin fotometrik verileri, Avrupa Güney Gözlemevi'nin (European Southern Observatory, ESO), Şili'deki La Silla Yerleşkesi'nde bulunan 1,54 m çaplı Danimarka Teleskobu kullanılarak elde edilmiştir. Gözlemler sırasında Bessell UBV filtreleri kullanılarak farklı pozlarda görüntüler alınmıştır. Açık kümelerin gözlemlendiği tarih, fotometrik filtreler ve her filtrede verilen poz süreleri Tablo 3.1'de ve ekvatorial ve Galaktik koordinatları Tablo 3.2'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi farklı filtrelerde toplamda 80 görüntü alınmıştır. Şekil 3.1'de ise kümelerin V bandında alınan farklı poz sürelerindeki görüntülerinin toplamı sunulmuştur.

Tablo 3.1: Kümelerin gözlemlendiği Bessell UBV fotometrik filtreleri ve her filtrede verilen poz süreleri ve sayıları.

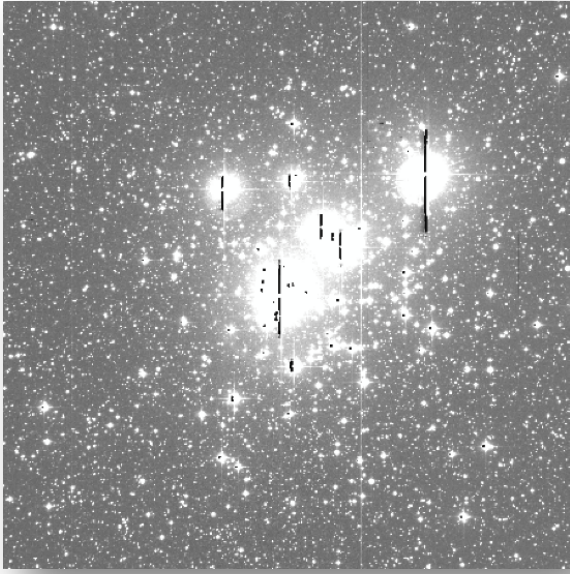
Küme	Gözlem Tarihi	Filtre / (Poz süresi x N)				
		U	B	V	R	I
NGC 3293	09.03.2014	400×2	60×2	30×2	30×2	30×2
	25.03.2014	600×2	120×2	60×2	60×2	60×2
NGC 3766	03.03.2013	600×2	120×2	60×2	60×2	60×2
	25.03.2014	200×2	25×2	10×2	10×2	10×2
NGC 4755	08.03.2014	600×2	120×2	60×2	60×2	60×2
	11.03.2014	250×2	60×2	30×2	30×2	30×2
NGC 6231	25.03.2014	200×4	25×4	10×4	10×4	10×4



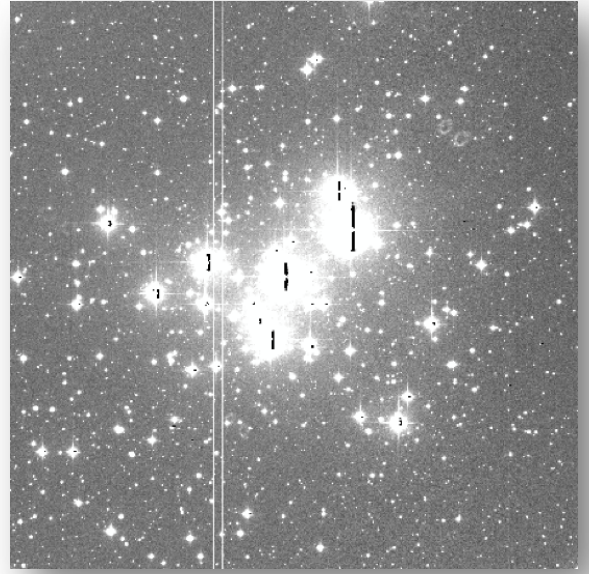
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.1: (a) NGC 3293, (b) NGC 3766, (c) NGC 4755 ve (d) NGC 6231 açık kümelerinin V bandında Danimarka 1,54 m teleskobu ile alınmış görüntüleri.

Tablo 3.2: Seçilmiş açık kümelerin 2000 epoğunda ekvatorial (α , δ) ve Galaktik (l , b) koordinatları.

Küme	α_{2000} (hh:mm:ss)	δ_{2000} (dd:mm:ss)	l (°)	b (°)
NGC 3293	10:35:49,20	-58:13:48,00	285,8527	+00,0717
NGC 3766	11:36:18,00	-61:36:54,00	294,1264	-00,0345
NGC 4755	12:53:39,00	-60:21:42,00	303,2057	+02,5089
NGC 6231	16:54:08,51	-41:49:36,00	343,4601	+01,1866

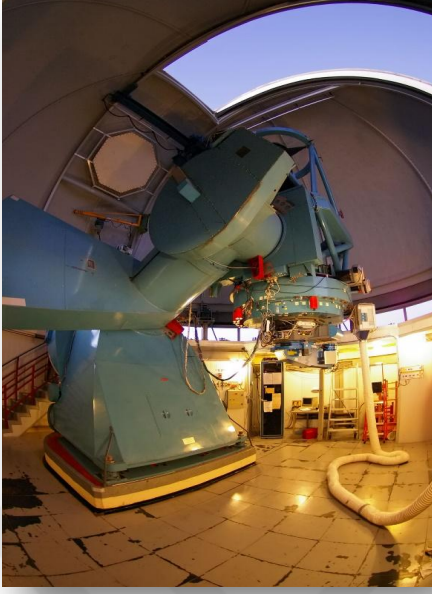
Danimarka Teleskobu, 1979'dan bu yana görüş kalitesi (ortalama 0,66 yay saniyesi) bakımından Dünya'nın en iyi yerleşkelerinden biri olan La Silla'da faaliyetlerini sürdürmektedir. Teleskop, Grubb-Parsons tarafından inşaa edilmiş olup Ritchey-Chrétien optik tasarıma sahiptir (Şekil 3.2). Şu anda ESO'nun desteğiyle birlikte Çek Cumhuriyeti'nde bulunan Ondřejov Gözlemevi ve Danimarka'da bulunan Niels Bohr Enstitüsü tarafından ortaklaşa işletilmektedir¹.

Küme görüntüleri, teleskobun odak düzlemine monte edilmiş DFOSC (The Danish Faint Object Spectrograph and Camera) aletiyle alınmıştır (Şekil 3.3). -120 °C'a kadar soğutulabilen kamerada 2048×2048 piksel formatlı E2V44-82 model yonga kullanılmaktadır. CCD kamera 0,396 yay saniyesi/piksel ile yaklaşık 13,7×13,7 yay dakikası boyutlarında bir görüş alanı sağlamaktadır.

Kameranın dinamik aralığı 19,4 bit ve kara akım (bias) seviyesi 10.040 ADU civarındadır. Kara akım seviyesi oldukça düşük olduğundan görüntülerin kalibrasyonunda dikkate alınmamaktadır. CCD kameranın büyük dinamik aralığı sayesinde, teleskobun geniş bir parlaklık aralığındaki yıldızları tek bir görüntüyle alabilmesi gözlemler açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır².

¹ <https://www.eso.org/public/teles-instr/lasilla/danish154/>

² <https://www.eso.org/public/teles-instr/lasilla/danish154/dfosc/>



Şekil 3.2: 1,54 m Danimarka Teleskobu.



Şekil 3.3: DFOSC (The Danish Faint Object Spectrograph and Camera) CCD Kamera.

3.1.1. Standart Yıldız Alanı Gözlemleri

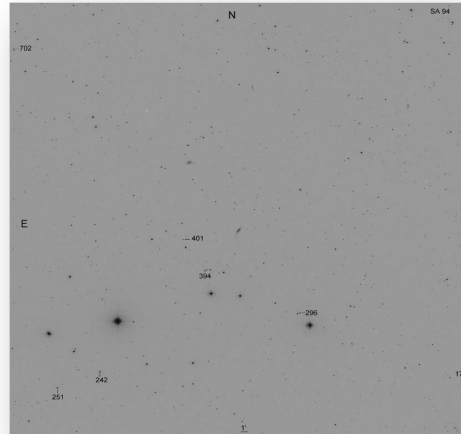
Açık küme doğrultusunda gözlenen cisimlerin aletsel parlaklıklarının standart sistemdeki parlaklıklara dönüşümünde kullanılan atmosferik sönümlenme katsayılarının ve Johnson-Cousins fotometrik sistemine dönüşüm katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Landolt alanları olarak da bilinen standart yıldız alanlarının gözlem verilerine ihtiyaç duyulur. Landolt (2009) tarafından verilen katalogdan standart yıldız alanları seçildikten sonra gözlem gecesi süresince farklı hava kütlelerinde gözlenir. Gözlenen standart yıldızların kullanılan filtrelerdeki aletsel parlaklıkları Landolt (2009) kataloğundan alınan standart fotometrik sistemdeki parlaklıklarıyla karşılaştırılmaları sonucunda atmosferik sönümlenme katsayıları ve standart sisteme dönüşüm katsayıları elde edilir. Daha sonra bu değerler küme yıldız alan doğrultularındaki cisimlerin aletsel parlaklıklarının standart sisteme dönüştürülmesinde kullanılır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin gözlemlendiği gecelerde, Landolt'un (2009) çalışmasında verilen standart yıldız alanları da gözlenmiştir. Hem açık kümelerin hem

de standart yıldız alanlarının gözlemleri, bölümümüz araştırmacılarıyla ortak çalışmalar yapmakta olan Dr. Ernst Paunzen ve ekibi tarafından yapılmıştır. Yıldız alanları seçiminde alanlardaki standart yıldızların geniş renk aralığını kapsaması göz önüne alınmıştır. Landolt (2009) çalışmasından seçilen 99 standart yıldızın 542 farklı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen katsayılar aletsel parlaklıklarının standart sisteme dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Tablo 3.3'te yıldız alanlarının çok renk fotometrisiyle yapılan gözlem tarihleri verilmiştir. Şekil 3.4'te ise seçilen standart yıldız alanlarından biri sunulmuştur.

Tablo 3.3: Standart yıldız alanlarının gözlem tarihleri ve gözlem gecesi gözlenen yıldızların ölçüm sayıları (N).

Tarih	N
20 Şubat 2013	92
27 Şubat 2013	58
2 Mart 2013	44
3 Mart 2013	6
4 Mart 2013	15
5 Mart 2013	20
2 Nisan 2013	143
8 Mart 2014	6
11 Mart 2014	54
24 Mart 2014	25



Şekil 3.4: Landolt kataloğunda bulunan SA94 standart yıldız alanının 70 yay dakikalık görüş alanındaki görüntüsü (Landolt, 2009).

3.1.2. Seçilmiş Açık Kümelerin Literatür Özeti ve Gözlemleri

Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin literatür incelemeleri yapılmış ve bu kümelerin temel özellikleri derlenmiştir.

3.1.2.1. NGC 3293

NGC 3293 açık kümesi, Güneş'ten 2327 pc uzaklıkta genç ($t = 10$ Myıl) bir kümedir. Kümenin literatürde bulunan ilk çalışmasında (Feast 1958), küme yıldızlarının tayf türleri ve radyal hızları belirlenmiştir. Bu çalışmada NGC 3293 açık kümesinin, Carina bulutsusuna oldukça yakın olduğu ve bu bulutsuyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir. 1980 yılında yapılan ve aynı zamanda kümenin literatürde bulunan ilk fotometrik çalışması olan bir diğer çalışmada (Turner ve diğ. 1980), NGC 3293 genç açık kümesinin 70'ten fazla üye yıldızının B9'dan erken tayf türünden olduğu belirtilmiştir. *UBVRI* fotoelektrik fotometrisi yapılan kümenin birçok üye yıldızının ise MK tayfsal sınıflaması yapılmıştır. Çalışmada küme üyesi yıldızların renk artığı $0,20 < E(B-V) < 0,46$ aralığında ve kümenin uzaklığı $2,5 \pm 0,2$ kpc olarak hesaplanmıştır. Çalışmaya göre küme, Carina bulutsusunun merkezinden yayılan toz kompleksinin bir parçası olduğu düşünülen yoğun bir toz hattının hemen önünde yer almaktadır. Feinstein ve Marraco (1980) NGC 3293 açık kümesine ait 46 yıldızın *UBVRI* fotoelektrik ölçümlerini yapmışlardır. Küme uzaklığını 2,6 kpc ve uzaklık modülünü ise $V_0 - M_v = 0,15$ olarak bulmuşlardır. Çalışmalarında ayrıca, küme üyesi yıldızlar içerisinde bir M tayf sınıfından bir süper devin ve bir Be yıldızının olduğuna da dikkat çekmişlerdir. Araştırmacılar, küme yaşını yaklaşık 7×10^6 yıl olarak elde etmişlerdir. Dambis (1999), $\log t < 8,2$ olan 203 açık kümenin fotoelektrik ve CCD verilerini incelemiştir. Baume ve diğ. (2003), kümenin *UBV(RI)_cH_α* bandlarında CCD fotometrik gözlemlerini yapmışlardır. Galaksimizin sarmal kollarından biri olarak düşünülen Carina kolundan Galaksimizin yapısını araştırmayı hedefleyen fotometrik bir çalışma yapmış olan Kaltcheva ve Golev (2012), 260 ve daha fazla yıldızı inceleyerek NGC 3293 açık kümesi de dahil olmak üzere dört açık kümenin fotometrik verilerini elde etmişlerdir. Gozha ve diğ. (2012) ise Galaksimizde bulunan 593 açık kümenin temel astrofiziksel parametrelerini içeren bir katalog yayınlamışlardır. Bu katalog ile Galaksimizdeki açık kümelerin popülasyon dağılımını çıkarmayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla birçok açık kümenin metal bolluğunu belirlemişlerdir. Kümenin en güncel çalışmasını ise, UCAC4 verisini kullanarak 1876 açık kümenin yıldızlarının küme üyeliğini belirlemeyi hedefleyen Sampedro ve diğ. (2017) yayınlamışlardır. Farklı katalog verilerini kullanarak bu kümelerin öz hareket dağılımlarını

kıyaslama yöntemiyle küme üyelerini belirlemişlerdir. Kümenin astrofiziksel parametrelerinin literatür değerleri Tablo 3.4'te listelenmiştir.

Tablo 3.4: NGC 3293 açık kümesinin literatürde bulunan astrofiziksel parametreleri.

$E(B-V)$ (kadir)	μ (kadir)	d (pc)	[Fe/H] (dex)	Z	$\log t$	Kaynaklar
0,27	–	2458	–	–	7,03	Loktin ve diğ. (1994)
0,25	11,67	–	–	–	7,00	Dambis (1999)
0,26	–	2327	–	–	7,01	Dias ve diğ. (2002)
–	12,20	2750	–	–	6,90	Baume ve diğ. (2003)
–	12,20	2750	–	–	6,90	McSwain ve Gies (2005)
0,26	12,65	–	–	–	7,01	De Marchi ve diğ. (2006)
0,26	–	–	–	–	7,01	Ahumada ve Lapasset (2007)
0,29	13,10	2760	–	–	7,00	Netopil ve diğ. (2007)
0,25	12,74	2471	–	–	6,94	Piskunov ve diğ. (2008)
0,26	12,65	–	–	–	7,00	Pandey ve diğ. (2010)
0,32	12,00	–	–	–	6,80	Delgado ve diğ. (2011)
–	11,83	2327	–	–	6,85	Kaltcheva ve Golev (2012)
–	–	2327	–	0,040	7,00	Gozha ve diğ. (2012)
0,33	12,04	2441	–	–	6,75	Kharchenko ve diğ. (2013)
–	–	2800	–	0,004	6,90	Hayes ve Friel (2014)
–	–	2471	–	0,003	6,94	Conrad ve diğ. (2017)
0,25	11,96	2471	–	–	6,97	Loktin ve diğ. (2017)
0,26	–	2327	–	–	7,01	Sampedro ve diğ. (2017)

3.1.2.2. NGC 3766

NGC 3766 açık kümesi, Güneş'ten 1745 pc uzaklıkta genç ($t = 14$ Myıl) bir kümedir. Kümenin literatürdeki ilk fotometrik çalışması Sher (1962) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada NGC 3766'nın, Kapteyn'in 193. Seçilmiş Bölgesi (SA 193)'nin güneyinde 1 derecelik alanda olduğu ve oldukça yoğun bir yıldız grubu olduğu belirtilmiştir. Çalışma, fotoğrafik plakların analizine dayalı bir çalışmadır. NGC 3766 güney Galaktik kümesinin bir diğer çalışmasında, Boyden Gözlemevi'nin Armagh-Dunsink-Harvard (ADH) teleskobuyla fotoğraf plağı kullanılarak UBV fotometrisi yapılmıştır (Winnenburg 1973). Bu çalışmada kümenin doğrusal çapı 5,3 pc olarak

tahmin edilmiştir. 1976 yılında yayınlanan bir diğer çalışmada NGC 3766 açık kümesinin Galaksimizin Carina spiral koluna ait olduğu belirtilmiştir (Yılmaz 1976). Çalışmada kümenin *RGU* sisteminde üç renk fotometrisi yapılmıştır. Battinelli ve diğ. (1994) *U*, *B* ve *V* parlaklık ve renkleriyle 138 açık kümenin fotometrik özelliklerini inceleyip bunları önceki çalışmalarla kıyaslayan bir listeyi literatüre kazandırmışlardır. Moitinho ve diğ. (1997) Carina kolundaki NGC 3766'nın CCD *UBV* fotometrik çalışmasını yapmışlardır. Kümenin en güncel çalışması Granada ve diğ. (2018) tarafından yapılmıştır. Kümenin astrofiziksel parametrelerinin literatürdeki değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: NGC 3766 açık kümesinin literatürdeki astrofiziksel parametreleri.

<i>E(B-V)</i> (kadir)	μ (kadir)	<i>d</i> (pc)	[Fe/H] (dex)	<i>Z</i>	$\log t$	Kaynaklar
0,19	11,40	1900	–	–	7,00	Sher (1962)
–	10,90	1530	–	–	7,48	Winnenburg (1973)
0,20	11,40	1900	–	–	–	Shobbrook (1985)
0,19	–	1685	–	–	7,35	Battinelli ve diğ. (1994)
0,20	–	1857	–	–	7,42	Loktin ve diğ. (1994)
0,19	–	–	–	–	7,35	Ahumada ve Lapasset (1995)
0,20	11,73	–	–	–	7,38	Moitinho ve diğ. (1997)
0,20	11,15	–	–	–	7,40	Dambis (1999)
0,20	–	2218	–	–	7,32	Dias ve diğ. (2002)
–	11,40	1910	–	–	7,16	McSwain ve Gies (2005)
0,17	11,75	–	–	–	7,16	De Marchi ve diğ. (2006)
0,18	–	1745	–	–	7,16	van den Bergh (2006)
0,18	–	–	–	–	7,16	Ahumada ve Lapasset (2007)
0,18	11,77	1745	–	0,010	7,52	Piskunov ve diğ. (2007)
–	–	2218	-0,47	–	7,32	Gozha ve diğ. (2012)
0,21	–	1685	–	–	7,95	Kharchenko ve diğ. (2013)
–	–	2200	–	0,001	7,40	Hayes ve Friel (2014)
–	–	2218	-0,47	0,015	7,32	Marsakov ve diğ. (2016)
–	–	1745	–	–	7,52	Conrad ve diğ. (2017)
0,18	11,21	1745	–	0,001	7,16	Loktin ve diğ. (2017)
0,21	11,78	–	–	–	7,40	Granada ve diğ. (2018)

3.1.2.3. NGC 4755

NGC 4755 açık kümesi, Güneş'ten 1976 pc uzaklıkta genç ($t = 16$ Myıl) bir kümedir. Herschel'in "Mücevher Kutusu" (Jewel Box) olarak isimlendirdiği NGC 4755, genç bir güney açık yıldız kümesidir. Kümenin ilk fotometrik çalışması Arp ve van Sant (1958) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Cape Town'da bulunan Royal Gözlemevi'nin 24-inç açıklığa sahip teleskobuyla 17 yıldızın gözlemi yapılmıştır. κ Crucis olarak da bilinen NGC 4755'i inceleyen Feast (1963), kümede dört B tipi süperdev bulunduğunu belirtmiştir. Perry ve diğ. (1976) kümenin 60 yıldızı için çok renk fotometrisini yapmışlardır. NGC 4755 için *VBLUW* fotometrisi yapan de Waard ve diğ. (1984), yıldızların yüzey çekimi ve sıcaklık değerlerini teorik renklerden itibaren belirlemişlerdir. Kümenin *UBV* fotometrisini yapan bir başka çalışma Dachs ve Kaiser'e (1984) aittir. Çalışmada 553 yıldız için fotoğrafik parlaklıklar ve renklerle birlikte 86 yıldız için *UBV* fotoelektrik parlaklıklar ve renkler verilmiştir. Frandsen ve diğ. (1989) La Silla, Şili'de bulunan, bir 1,5 m teleskop ile gözledikleri üç açık kümenin CCD fotometrik verilerini analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda NGC 4755 kümesinin üye yıldız sayısı 312 olarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında ise NGC 4755 açık kümesi için 373 üye yıldız seçilmiştir. Sagar ve Cannon (1995) kümenin CCD *UBVRI* fotometrik incelemesini yapmışlardır. Görünen sönük parlaklık limiti $V \sim 20$ kadire kadar 813 yıldızı incelemişlerdir. Sanner ve diğ. (2001) üç açık kümenin CCD fotometrisini ve kinematik çalışmasını yapmışlardır. Açık kümelerin fotometrik çalışmasından Be yıldızlarının evrimini inceleyen McSwain ve Gies (2005), açık kümelerin astrofiziksel parametrelerini içeren bir katalog yayınlamışlardır. Ahumada ve Lapasset (2007) açık kümelerde mavi mücadeleci yıldızları inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Hayes ve Friel (2014) literatürde ve çalışmalarında bulunan verileri kullanarak geniş yaş aralığından 134 açık kümenin analizlerini yapmışlardır. Kümenin en güncel astrofiziksel parametreleri ise Granada ve diğ. (2018) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Kümenin literatürde verilen astrofiziksel parametrelerinin bir listesi Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6: NGC 4755 açık kümesinin literatürdeki astrofiziksel parametreleri.

$E(B-V)$ (kadir)	μ (kadir)	d (pc)	[Fe/H] (dex)	Z	$\log t$	Kaynaklar
0,31	10,56	830	–	–	–	Arp ve van Sant (1958)
0,40	11,80	–	–	–	6,84	Perry ve diğ. (1976)
0,36	11,25	–	–	–	–	de Waard ve diğ. (1984)
0,44	11,82	2300	–	–	7,06	Dachs ve Kaiser (1984)
0,38	11,30	1800	–	–	7,34	Frandsen ve diğ. (1989)
0,40	–	2105	–	–	7,26	Loktin ve diğ. (1994)
0,41	11,60	–	–	–	7,00	Sagar ve Cannon (1995)
0,39	12,59	–	–	–	7,10	Dambis (1999)
0,36	11,60	2100	–	0,02	7,00	Sanner ve diğ. (2001)
–	–	2105	–	–	7,30	Nilakshi ve diğ. (2002)
0,39	–	1976	–	–	7,22	Dias ve diğ. (2002)
0,39	12,68	–	–	–	7,22	De Marchi ve diğ. (2006)
–	11,80	2290	–	–	6,85	McSwain ve Gies (2005)
0,39	–	–	–	–	7,22	Ahumada ve Lapasset (2007)
0,38	12,66	1976	–	–	6,98	Piskunov ve diğ. (2008)
0,32	–	2290	–	0,10	–	Jenkins (2009)
0,39	12,68	–	–	–	7,20	Pandey ve diğ. (2010)
0,51	–	2525	–	–	–	Voshchinnikov ve diğ. (2012)
–	–	1976	-0,21	0,11	7,20	Gozha ve diğ. (2012)
0,39	12,83	1971	–	–	7,30	Kharchenko ve diğ. (2013)
–	–	2100	–	–	7,00	Hayes ve Friel (2014)
–	–	1976	-0,21	0,14	7,20	Marsakov ve diğ. (2016)
–	–	1976	–	–	7,22	Zhai ve diğ. (2017)
0,40	11,47	–	–	–	7,30	Granada ve diğ. (2018)

3.1.2.4. NGC 6231

NGC 6231 açık kümesi, Güneş'ten 1243 pc uzaklıkta genç ($t = 7$ Myıl) bir kümedir. Kümenin literatürde bulunan ilk çalışması Struve (1944) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada kümenin erken tipten 16 yıldızının, iki Wolf-Rayet yıldızının ve iki P Cygni türü yıldızın olmak üzere toplam 20 yıldızın radyal hızları elde edilmiştir. Brownlee ve Cox (1953) fotoelektrik fotometriyle küme yıldızlarının parlaklık ve renklerini belirlemişlerdir. Bu doğrultuda

kümedeki 20 yıldızın çok sayıda iki renk gözlemi yapılmıştır. Gözlemler ise Royal Gözlemevi'ndeki Victoria teleskobunun 24-inç 1P21 fotoelektrik fotometresiyle yapılmıştır. Sagittarius spiral kolunun yakınında bulunan NGC 6231 açık kümesi civarındaki mavi devleri araştırmak amacıyla Morgan ve diğ. (1953), Tonantzintla Schmidt kamera plağıyla 88 OB yıldızını incelemişlerdir. Kümenin genel bir incelemesi ve ilk fotometrik çalışması da Feinstein ve Ferrer (1968) tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında kümenin 34 yıldızının fotometrik verilerini incelemişlerdir. Wolf-Rayet yıldızlarının parlaklık ve renklerini incelemişlerdir. Crawford ve diğ. (1971) açık kümeler için dört renk ve H_{β} fotometrisi yaptıkları çalışmalarında NGC 6231 kümesinin 154 yıldızını Cerro Tololo Inter-American Gözlemevi'nde fotoelektrik fotometriyle gözlemişlerdir. Bu yıldızlardan 110'unun kümenin olası üyesi olduğunu düşünmüşlerdir. 1981 yılında Ashworth (1981), NGC 6231 açık kümesinin keşfediliş tarihine açıklık getiren bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre kümenin keşfi kümeyi bir güney bulutsusu olarak gözlemleyen Abbé Lacaille tarafından 1752 yılında yapılmıştır. Esasında kümeyi ilk olarak 1677 yılında Edmond Halley bir bulutsu olarak tanımlamıştır. Ancak kayıtlarda Abbé Lacaille olarak geçmektedir. NGC 6231 Galaktik açık kümesinin Shobbrook (1983), kümenin Strömngren fotometrisini yapmış ve anakolunu detaylı incelemiştir. Balona ve Laney (1995) de kümenin CCD Strömngren fotometrisini yapmışlardır. Kümeye ait 127 yıldızın fotoelektrik ve 168 yıldızın CCD Geneva fotometrisini yapan Raboud ve diğ. (1997), NGC 6231'i en zengin ve en genç kümelerden biri olarak tanımlamışlardır. Sung ve diğ. (1998), NGC 6231 genç açık kümesinin $UBVRI$ ve H_{β} fotometrisini yapmışlardır. Baume ve diğ. (1999) kümenin $UBVI$ fotometrisini $V \sim 19$ kadire kadar 1.060 yıldız için yapmışlardır. Kümeye ait bu gözlemler; Şili, Las Campanas'ta bulunan Toronto Üniversitesi Güney Gözlemevi'nde bulunan 60 cm'lik teleskop kullanılarak yapılmıştır. Lata ve diğ. (2002) galaksimizdeki 140 açık kümenin $UBVRI$ fotometrik parametrelerini belirlemişlerdir. 2006 yılında van den Bergh (2006), 600 açık yıldız kümesini ele alarak bu kümelerin çaplarını incelemiştir. Van den Bergh'in (2006) incelediği en genç açık küme 15 Myıl'dan küçükken, çalışmadaki diğer kümelerin yaşları 15 Myıl ile 1,5 Gyl arasında değişmektedir. Çalışmaya göre, kümelerin çaplarının ortalaması yaşlarıyla doğru orantılı artmaktadır. Meingast ve diğ. (2013) NGC 6231 açık kümesinin Johnson UBV fotometrik CCD gözlemlerini yaparak, alanda bulunan 473 yıldızın CCD verisini elde etmişlerdir. Kümenin en güncel çalışmaları da Kuhn ve diğ. (2017a ve 2017b) tarafından literatürde iki ayrı çalışma olarak verilmiştir. Çalışmaların ilkinde NGC 6231 açık kümesinin yıldız popülasyonu incelenmiştir (Kuhn ve diğ. 2017a). Çalışmaya göre

küme yoğun olarak anakol öncesi yıldız popülasyonuna ve O ve B yıldızlarına sahip ve aynı zamanda Sco OB1 oynağına hakimdir. Arşivlenmiş *Chandra* X-ışın verilerinin yeniden analizleri, Vía Lactea (VVV) araştırmasındaki VISTA Değişenlerinin çok epoklu yakın kırmızıöte (NIR) fotometrisiyle birleştirilerek 2148 olası küme üyesi yıldızın bir kataloğunu elde etmişlerdir. Daha önceki çalışmalardan belirlenen küme üyesi yıldızların sayısı, bu katalogda %70'den fazla artış göstermiştir. Çalışmada kümenin astrofiziksel parametreleri literatürden alınarak X-ışın, kırmızıöte ve optik fotometriler sonucu küme üyesi yıldızlar belirlenmiştir. Kuhn ve diğ. (2017a ve 2017b) çalışmalarında kümenin yapısı, oluşumu ve evrimini incelemişlerdir. Bu doğrultuda kümenin çekirdek çapı $1,2 \pm 0,1$ pc ve merkezi yoğunluğu 200 yıldız/pc³ olarak belirlenmiştir. Çalışmada, NGC 6231 kümesinin yıldız oluşum aktivitesinin 6,4 Myıl yaşındayken azalacağı düşünülmektedir. Kümenin literatürde verilen astrofiziksel parametreleri Tablo 3.7'de listelenmiştir.

Tablo 3.7: NGC 6231 açık kümesinin literatürde bulunan astrofiziksel parametreleri.

$E(B-V)$ (kadir)	μ (kadir)	d (pc)	[Fe/H] (dex)	Z	$\log t$	Kaynaklar
0,44	11,40	1900	–	–	–	Feinstein ve Ferrer (1968)
–	11,00	1600	–	–	–	Shobbrook (1983)
–	11,08	–	–	–	6,70	Balona ve Laney (1995)
–	11,20	1757	–	–	6,58	Raboud ve diğ. (1997)
0,47	11,00	–	–	–	–	Sung ve diğ. (1998)
0,43	11,50	1990	–	–	–	Baume ve diğ. (1999)
0,41	12,30	–	–	–	6,75	Lata ve diğ. (2002)
0,44	–	1243	–	–	6,84	Dias ve diğ. (2002)
0,46	–	1570	–	–	–	Savage ve diğ. (2001)
–	10,47	1240	–	–	6,82	McSwain ve Gies (2005)
0,44	11,83	–	–	–	6,84	De Marchi ve diğ. (2006)
0,44	–	–	–	–	6,84	Ahumada ve Lapasset (2007)
0,44	11,85	1250	–	–	6,81	Piskunov ve diğ. (2008)
–	–	1243	–	0,100	7,00	Wu ve diğ. (2009)
–	–	1243	0,26	0,100	7,00	Gozha ve diğ. (2012)
0,47	11,00	1590	–	–	–	Meingast ve diğ. (2013)
0,56	10,90	1393	–	–	7,05	Kharchenko ve diğ. (2013)
–	–	1243	0,26	0,059	7,00	Marsakov ve diğ. (2016)

3.2. CCD KALİBRASYONLARI

Gözlemler sırasında alınan görüntüler üzerinde teleskop ve CCD kamerasından kaynaklanan bazı olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Dolayısıyla bu etkilerin görüntülerden arındırılması gerekir. Bunlardan ilki, okuma gürültüsüdür. CCD kamera belirli bir poz süresi için ışığa maruz kaldığından, piksellerin üzerine düşen foton sayısını ölçmek için okuma yapılması gerekmektedir. Okuma işlemi de kendisine ait elektron ürettiği için, bu elektronların akımı kümelerden gelen foton akımını etkileyebilmektedir. Ortaya çıkan bu okuma gürültüsü her bir CCD için sabit değere sahiptir. Diğer bir deyişle CCD kamera, ışıktan bağımsız olarak elektron üretmektedir. Bu elektronlar verilen poz sürelerinde üretilebildiği gibi, sabit olarak piksellerde de bulunabilirler. Her pikselde sabit olarak bulunan elektronlar taban gürültüsünü oluşturmaktadır. Bu elektronlardan kaynaklanan sayıların, toplam sayımdan çıkarılması gerekmektedir. Bu etkilerin giderilmesi için ise gözlemler sırasında sıfır saniye poz süresiyle ışıktan bağımsız olacak şekilde görüntüler alınır. Bu görüntülere “bias görüntüleri” denir. Gözlem boyunca farklı zamanlarda alınan bias görüntülerinin birleştirilmesiyle “master görüntü” elde edilir. Bu master görüntüler gözlem görüntülerinden çıkarılır. Böylece taban gürültüsünden arındırılmış saf görüntülere ulaşılır.

CCD kamerayla görüntü alınırken kullanılan poz sürelerinde kameranın kendi ürettiği elektronlar ise kara akım (dark) dediğimiz bir başka olumsuz etkiyi oluşturur. Bu kara akım, sistemin sıcaklığı sebebiyle elektronların termal olarak uyarılması sonucu oluşur. Kara akımın sistemin sıcaklığına duyarlı olması sebebiyle CCD'nin iyice soğutulması gerekir. CCD, yeterli derecede soğutulsa dahi kara akım üretmeye devam eder. Kara akımın etkisini elimine etmek için, görüntü poz süreleriyle eşit sürede ama CCD üzerine ışık düşürülmeden görüntüler alınır. “Kara akım (dark) görüntüsü” ismi verilen bu görüntüler gözlem verilerinden çıkarılarak bu etkiler giderilir.

Bir diğer etki de CCD kameranın önündeki filtre ve koruyucu cam yüzeyi üzerinde bulunan tozlardan ve kameranın yüzeyinde üretildiği zamandan kalan izlerden kaynaklanmaktadır. Bunların dışında, CCD kamera tepkisinin yüzey boyunca değişimi yani kuantum verimliliği farklarının yarattığı olumsuz etkilerinde düzeltilmesi gerekir. Bunun için, gözlem yapılan her filtrede CCD kamera üzerindeki her noktaya eşit miktarda ışık düşürülerek uygun poz sürelerinde görüntüler alınır. Düz alan (flat field) adı verilen bu görüntüler yardımıyla bu tür etkiler gözlem verilerinden arındırılır.

Bazen, CCD kamerada uzun pozlarda (özellikle I bandında) ışığın yansımından kaynaklı saçaklar oluşur. Piksellerin üzerine düşen aynı miktardaki fotonların farklı yayılımlar göstermesi küme gözlemi görüntülerini etkilemektedir. Görüntülerin bu tür etkilerden arındırılması için bu saçaklar modellenip gözlemlerden çıkartılır. Tüm bu arındırma işlemleri sonucunda görüntüler fotometriye hazır hale getirilmiş olur.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin CCD fotometrik verilerinin bias ve düz alan düzeltmeleri, gözlem yapılan gecelerde alınan kalibrasyon görüntüleri ve *IRAF* (Image Reduction and Analysis Facility) yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Danimarka Teleskobunun CCD kamerasının kara akımı düşük olduğu için kara akım (dark) görüntüsü alınmamıştır.

3.3. ASTROMETRİ

NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin Bessell *UBV* filtrelerinde alınmış görüntülerin CCD kalibrasyonu yapıldıktan sonra, görüntülerdeki yıldızların koordinatlarının belirlenmesi amacıyla astrometrik kalibrasyonu yapılmıştır. *IRAF ccmapp* programıyla gözlem verilerindeki nesnelere USNO A2.0 Kataloğu'nda bulunan yıldızlar ile eşleştirip görüntülerdeki kaynakların (X, Y) piksel koordinatları, (α, δ) ekvatorial koordinatlara dönüştürülmüştür. Sonrasında, *PYTHON* programlama dili kullanılarak hazırlanan bir yazılım ile astrometrik kalibrasyonu yapılmış görüntülerin birbirlerine göre hizalanması yapıp görüntülerdeki yıldızların diğer görüntülerle eşleştirilmesi sağlanmıştır. Sinyal/gürültü oranının (S/N) yükseltilmesi için seçilen poz sürelerinde birden fazla alınan görüntüler, *IRAF imarith* programıyla birleştirilmiştir. Böylece her bir filtre için uzun ve kısa pozların birleştirilmiş görüntüleri fotometrik indirgemelere hazır hale getirilmiş olur.

3.4. FOTOMETRİ

Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin görüş alanlarındaki nesnelere *PSF* fotometrisi *SExtractor* (Software For Source Extraction) programı kullanılarak yapılmıştır (Bertin ve Arnouts, 1996). *PSFEx* (*PSF Extractor*), *SExtractor* ile işlenen görüntülerin nokta dağılım fonksiyonunun (Point Spread Function - *PSF*) duyarlı modellerini çıkaran ve görüntülerde bulunan yıldızların akılarını ölçen bir bilgisayar programıdır. Gözlemler sırasında teleskobun çözünürlüğünün, yıldızın çözünürlüğünden küçük kalması sebebiyle yıldızlar nokta kaynak olarak görülür ve kabul edilirler. Bu sebeple yıldızlar için *PSF* fotometrisi yapılmaktadır. *PSF* fotometrisi yıldız akılarını, küme alanlarındaki yıldızların tümünün aynı

şiddet profilinin bulunduğunu ancak yıldızdan yıldıza bu profilin normalizasyonunun değiştiğini varsayarak ölçmektedir. Profilin yarı şiddetteki tam genişliği, akı miktarını vermektedir. Yıldızların akısı hesaplandıktan sonra da aletsel parlaklıkları elde edilir.

PSF fotometrisi yoluyla elde edilen aletsel parlaklıkların hesabında bazı istatistiki yaklaşımlar (kaynak tespitinde kullanılan standart sapma ve zemin değerleri) yeterli hassasiyette hesaplanamamış olabilir. Bu sebeple yıldız alanından seçilen bazı yıldızların açıklık (aperture) fotometrisi yapılmıştır. Hem açıklık hem de *PSF* fotometrisi sonuçlarının karşılaştırılmasından elde edilen düzeltme faktörleri küme alanındaki tüm kaynaklara uygulanmıştır. Bu düzeltme sonucunda elde edilen aletsel parlaklıklardan *UBV* yıldız katalogları oluşturulmuştur. Bu kataloglardan küme görüş alanında bulunan yıldız dışındaki kaynaklar yıldızlımsılık indeksine göre belirlenip çıkarılmıştır. Son olarak kataloglarda bulunan tüm yıldızlar *VIZIER*¹ veri tabanında bulunan astrometrik kataloglar ile eşleştirilerek, yıldızların öz hareket verileri oluşturulan kataloğa eklenmiştir. Fotometrik indirgemeler ve dönüşümler Açıklık ve *PSF* tekniği ile *IRAF* (Image Reduction and Analysis Facility) programındaki genel indirgeme paketleri ve yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İncelenen açık kümelerin alanlarında bulunan kaynakların mutlak fotometrilerinin yapılmasında 20, 27 Şubat, 2, 3, 4, 5 Mart ve 2 Nisan 2013 ile 8, 11, 24 Mart 2014 tarihlerinde gözlemleri yapılmış olan 17 standart yıldız alanından faydalanılmış ve bu standart yıldız alanları gözlemlerinin yapıldığı gecelerde farklı hava kütlelerinde gözlenmişlerdir. Gözlemler sırasında $X = \sec \zeta$ formülünden hesaplanarak kaydedilen hava kütlesi değerlerini daha duyarlı elde etmek amacıyla;

$$X = \sec \zeta - 0,018167 (\sec \zeta - 1) - 0,002875 (\sec \zeta - 1)^2 - 0,0008083 (\sec \zeta - 1)^3 \quad (3.1)$$

denklemini (Henden ve Kaitchuck, 1990) kullanılmıştır. Denklemden kullanılan ζ , gözlenen alanların merkezlerinin zenit uzaklıklarıdır. Standart yıldız alanı görüntülerinin kalibrasyonları yapıldıktan sonra ilgilenilen standart yıldızların aletsel parlaklıkları açıklık fotometrisi yöntemiyle ölçülmüştür. Landolt'un (2009) kataloğundan alınan standart yıldızların mutlak parlaklık ve renkleri, fotometrik dönüşüm formüllerindeki katsayıların elde edilmesinde kullanılmıştır. Janes ve diğ.'nin (2013) çalışmasından alınan bağıntılar, aletsel parlaklıkların

¹ <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

standart fotometrik sisteme dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Buna göre V , $(B - V)$ ve $(U - B)$ parlaklık ve renklerinin belirlenmesinde;

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

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

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

denklemleri kullanılmıştır. Denklemlerde kullanılan u , b , v aletsel parlaklıklar, U , B , V standart parlaklıklar ve $U-B$ ve $B-V$ ise standart parlaklıklardan elde edilen renklerdir. X hava kütlesi, k birinci merteye ve k' ikinci merteye parlaklık ve renklerdeki sönmüleme katsayısı, α standart sisteme dönüşüm katsayısı ve C ise gecelik sabittir. Katsayıların indisleri, ilgili filtre veya rengi göstermektedir. Gözlenen tüm standart yıldızların birleştirilmesiyle hesaplanan katsayılar Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8: Standart yıldız gözlemlerinden hesaplanan birinci dereceden sönmüleme katsayıları.

Parlaklık / Renk	k	k'	α	C
U	$0,5011 \pm 0,0093$	$-0,0104 \pm 0,0184$	----	----
B	$0,2379 \pm 0,0113$	$-0,0063 \pm 0,0128$	$1,0648 \pm 0,0214$	$-0,5013 \pm 0,0190$
	$0,1216 \pm 0,0027 (B-V)$ 'den			
V	$0,1212 \pm 0,0046 (V-R)$ 'den	----	----	----
	$0,1210 \pm 0,0024 (V-I)$ 'den			
$U-B$	----	----	$0,9622 \pm 0,0316$	$2,1461 \pm 0,0157$
$B-V$	----	----	$-0,0208 \pm 0,0027$	$-0,9010 \pm 0,0049$

Standart parlaklıklar elde edildikten sonra, kısa poz süreli görüntüler ile uzun poz süreli görüntüler arasında kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda kısa ve uzun parlaklıklar kıyaslanmış ve bulunan fark kadar kısa parlaklıklar uzun parlaklıklara kalibre edilmiştir. Son olarak düzeltme işlemi yapılmış ve her bir kümeye ait genel bir katalog oluşturulmuştur. Gözlemlerde kullanılan poz sürelerinin yeterince kısa olmaması sebebiyle küme doğrultusundaki parlak yıldızlar doymuştur. Bu yüzden parlak yıldızların UBV filtrelerindeki parlaklık ve renklerine ait bilgiler literatürden alınarak oluşturulan kataloglara dahil edilmiştir. Parlak yıldızlar; NGC 3293 açık kümesi için Baume ve diğ.'nin (2003) çalışmasından, NGC 3766 için Mowlavi ve diğ.'nin (2013) çalışmasından, NGC 4755 için Lyra

ve diğ.'nin (2006) çalışmasından ve NGC 6231 için de Sung ve diğ.'nin (2013b) çalışmasından alınmıştır.

3.5. ÜYE YILDIZLARIN BELİRLENMESİ

Galaksimizdeki açık kümelerin dağılımlarının yıldız popülasyonunun fazla olduğu Galaktik düzlem civarında olması, küme üyesi yıldızların alan yıldızlarından ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla öncelikle küme üyesi yıldızlar belirlenir, daha sonra kümenin astrofiziksel parametreleri bu üye yıldızlardan itibaren elde edilir. Kümelerin üye yıldızlarının belirlenmesinde öz hareketler, radyal hızlar, fotometrik veriler ve bunların birleşimleri gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Genel olarak küme üyeliğinin belirlenebilmesi için iki temel bağımsız yöntem vardır: fotometrik yöntem ve kinematik yöntem. Öz hareketler veya radyal hızları içeren kinematik yöntemeye dayanan üyeliklerin genellikle daha güvenilir olduğu düşünülmektedir, çünkü kinematik yöntem mutlak matematiksel modellere bağlı olarak oluşturulmuştur ve bu modellerden üyelik olasılıkları kolaylıkla elde edilebilir. Kinematik yöntemde benzer uzaysal hareketlere ve öz hareketlere sahip kümenin üye yıldızlarının, küme ve alan yıldızlarının radyal hız dağılımlarını içeren Gauss benzeri bir dağılımı takip ettiği varsayılmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen dört açık küme doğrultusundaki yıldızların öz hareket bileşenleri günümüzde astrometrik çalışmalarda kullanılan en güncel katalog olan ve ESA'nın *Gaia* astrometri görevinden alınan ikinci ara sürüm *Gaia* DR2'den alınmıştır. *Gaia* DR2 kataloğundaki astrometrik verilerin ölçüm hataları daha önce yayınlanan astrometrik kataloglardan oldukça küçük olmakla birlikte, küme üyesi yıldızların belirlenmesinde parlaklığı $V = 21$ kadire kadar bilinen tüm sönük yıldızların öz hareket verileri kullanılabilir.

Küme doğrultularındaki yıldızların *Gaia* DR2 kataloğundan alınan öz hareket bileşenlerinden itibaren her bir V görünür parlaklık aralığı için öz hareket uzay dağılımları oluşturularak düzlem üzerinde yıldız yoğunlukları incelenmiştir. Öz hareket uzayında, her bir V görünür parlaklık aralığı içerisinde incelenen yıldızların belirli bir aralıkta yoğunlaşmasından itibaren belirlenen öz hareket aralığına sahip ve kümelerin etkin yarıçapı içerisine dahil olan yıldızlar küme üyesi yıldızlar olarak belirlenmiştir.

3.6. KIZARMA TAYİNİ

Açık kümeler, Galaksimizde yıldız oluşumunun hala devam ettiği ve yıldızlararası gaz ve tozun yüzde doksandan fazlasının yer aldığı Galaktik düzlem civarında bulunur. Yıldızlararası ortamdaki gaz ve toz sebebiyle gerçekleşen parlaklıklardaki sönükleşme etkisi, yıldızların renklerinde kızarmaya yol açar. Yıldızlararası ortamın kızarma etkisini yıldızların parlaklık ve renklerinden arındırmak amacıyla, kümenin üye yıldızlarının $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramları oluşturulur. Kızarma değerinin elde edilebilmesi için gözlemsel veya teorik Sıfır Yaş Anakol (ZAMS) eğrisi kümelerin iki-renk diyagramlarına yerleştirilir ve Johnson ve Hiltner (1956) tarafından verilen (3.5) bağıntısı kullanılarak kümenin anakoluyla uyumlu olana dek kaydırılır. En iyi χ^2 değerini veren $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıkları kümenin kızarma değerleri olarak tayin edilir.

$$E(U-B) = E(B-V) \times [0,72 \times 0,05 \times E(B-V)] \quad (3.5)$$

Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin kızarma değerlerinin hesaplanmasında Sung ve diğ. (2013a)'nin gözlemsel küme verilerinden itibaren elde ettiği Güneş bolluğundaki Sıfır Yaş Anakolu (ZAMS) eğrisi kullanılmıştır. Bu çalışmanın ZAMS verileri Tablo 3.9'da sunulmuştur.

Kızarma tayininde kullanılabilen bir diğer yöntem, Q yöntemidir. Bu yöntem, açık kümelerdeki erken tayf türünden anakol yıldızlarının kendilerine özgü gerçek renklerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Johnson ve Morgan'ın (1953) UBV sistemindeki fotometrik ölçümlere dayanarak tanımladığı Q parametresi;

$$Q = (U-B) - \left[\frac{E_{U-B}}{E_{B-V}} \times (B-V) \right] = (U-B) - 0,72 \times (B-V) \quad (3.6)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Çalışmada Q parametresi kullanılarak elde edilen gerçek renk değeri de;

$$(B-V)_0 = 0,337 \times Q - 0,009 \quad (3.7)$$

bağıntısıyla tanımlanmıştır.

Tablo 3.9: Optik renkler için yıldızların gerçek renk ve parlaklıkları (Sung ve diğ. 2013a).

<i>B-V</i>	<i>U-B</i>				<i>V-I</i>	
	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

Daha sonra yöntem; $E(U-B) / E(B-V)$ renk artığı oranına, kızarma çizgisi eğrisi ve eğimin tayf türüne olan değişimi eklenerek geliştirilmiştir. Bu doğrultuda;

$$\frac{E_{U-B}}{E_{B-V}} = X + 0,05 \times E_{B-V} \quad (3.8)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntıda X bir tayf türünün fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu X değeri O tipi yıldızlar için 0,72 olmaktadır. Bu değişim denkleme uygulandığında gerçek renk değeri için;

$$(B - V)_0 = 0,332 \times Q \quad (3.9)$$

bağıntısına ulaşılmıştır. Q yönteminde yıldızlararası ortamın neden olduğu $E(B-V)$ renk artığı da yıldızın kızarmış renginden gerçek renginin çıkarılması yoluyla;

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 \quad (3.10)$$

bağıntısından elde edilir.

3.7. METAL BOLLUĞU TAYİNİ

Açık yıldız kümelerindeki yıldızlar, aynı molekül bulutundan oluştukları için metal bollukları birbirine yakın değerlerdedir. Dolayısıyla küme üyesi yıldızların metal bolluğunun belirlenmesi açık kümelerin metal bolluğu değerini verir. Yıldızların atmosferlerinde bulunan metal içeriği, tayfsal ve fotometrik olmak üzere iki yöntem ile belirlenebilmektedir. Küme üyesi yıldızların tayf türü, radyal hızı ve atmosfer model parametreleri tayf analizlerinden tayin edilebilmektedir. Ancak yüksek çözünürlüklü bir tayf alınabilmesi için yıldızın parlak ve sinyal/gürültü oranının büyük olması gerekmektedir. Bu durumda ancak evrimleşmiş yıldızlara sahip olan yaşlı açık kümelerin tayfsal metal bolluğu tayini yapılabilir.

Metal bolluğu tayininde kullanılan bir diğer yöntem de fotometrik yöntemdir. Küme üyesi yıldızların metal bollukları hesaplanırken genelde geniş band UBV filtrelerinde alınmış parlaklıklar kullanılmaktadır. İki-renk diyagramı üzerinde F ve G tipi anakol yıldızların konumlarının, Güneş metal bolluğuna sahip Hyades açık kümesinin üye yıldızlarının konumları ile kıyaslanması sonucu oluşan $U-B$ farkı metal bolluğuna duyarlıdır. Morötesi artığı olarak bilinen bu fark, Sandage (1969) tarafından tayfsal metal bolluklarına göre kalibre edilmiştir. Yıldızların fotometrik metal bolluklarının hesaplanmasında bu yöntem kullanılmaktadır.

Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümeler yaşça genç oldukları için küme anakollarında F ve G tipi küme üyesi yıldızlar bulunmamaktadır. Bu yüzden, kümelerin fotometrik metal bolluğu tayini yapılamamıştır. En az 100 Myıl yaşındaki açık kümelere fotometrik metal bolluğu yöntemi etkin olarak kullanılabilir. Diğer taraftan yeterince yaşlı olmadıkları için kümeye üye evrimleşmiş yıldızları bulunmamaktadır. Bu yüzden tayfsal metal bollukları da tayin edilememiştir. Sonuç olarak yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin metal bollukları Güneş bolluğunda kabul edilmiştir.

3.8. UZAKLIK TAYİNİ

Açık kümelere bulunan yıldızlar farklı uzaklıklarda olsalar bile Güneş'e uzaklık açısından bakıldığında neredeyse aynı uzaklıkta bulunurlar. Dolayısıyla açık kümelerin üye yıldızlarının uzaklıkları analiz edilip ortalaması alınarak kümelerin uzaklıkları tayin edilebilir.

Yüksek lisans tez çalışmasında kümenin etkin yarıçapı içinde kalan olası küme üyesi yıldızların *Gaia* DR2 kataloğundan alınan trigonometrik paralaksı kullanılarak uzaklıkları;

$$d = \frac{1000}{\pi(\text{mas})} \quad (3.11)$$

bağıntısıyla belirlenmiştir. Bağlıntıdaki π sembolü trigonometrik paralaksı ifade etmektedir. Astrometrik yöntem ile küme üyesi seçilen yıldızların trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklarının dağılımından kümelerin uzaklıkları tayin edilebilir.

3.9. YAŞ TAYİNİ

Açık kümelerin Samanyolu'ndaki dağılımları yaşlarına göre farklılık gösterir. Bu bağlamda farklı yaşlardaki açık kümelerin incelenmesi, farklı evrimsel süreçlerin anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak açık kümelere üye yıldızlar dikkate alınarak kümelerin yaşları belirlenmektedir.

Açık küme yaşlarının tayininde yıldız evrim modelleri kullanılmaktadır. Yıldız evrim modelleri başlangıç kütle değerleri, kütle kayıpları ve metal bollukları gibi değişkenler dikkate alınarak hazırlanır (Bressan ve diğ. 1993, Pols ve diğ. 1998, Bertelli ve diğ. 1994, Girardi ve diğ. 2010). Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen kümelerin Güneş'in ağır element bolluğunda ($Z_{\odot} = 0,0152$) olduğu kabul edilmiş ve en güncel eş-yaş eğrilerini içeren PARSEC (the **P**Adova &

TRiesteStellar Evolution Code) evrim modelleri kullanılmıştır (Bressan ve diğ. 2012, Tang ve diğ. 2014, Chen ve diğ. 2015). PARSEC eş-yaş eğrilerinin literatürdeki diğer evrim modellerinden olan üstünlüğü; geniş bir kütle aralığına ($0,1 \leq M/M_{\odot} < 350$) ve metal bolluğu aralığına ($-2,2 \leq [M/H] \leq +0,5$ dex) sahip olmasının yanı sıra 50'den fazla fotometrik sistem için üretilmiş olması ve kırmızı dev yıldızlarının iç yapılarındaki konvektif hareketleri ve çevrelerindeki tozları da dikkate alan modeller üretmesidir.

$$M_V = V - 5 \log d \text{ (pc)} + 5 - A_V \quad (3.12)$$

$$A_V = 3,1 \times E(B - V) \quad (3.13)$$

$$(U - B)_0 = (U - B) - E(U - B) \quad (3.14)$$

$$(B - V)_0 = (B - V) - E(B - V) \quad (3.15)$$

Tez çalışmasında, kümelere üye yıldızlardan oluşturulan, yukarıda denklemleri verilen, kızarmadan arındırılmış renk ve mutlak parlaklıkları içeren renk-parlaklık diyagramlarına en uygun PARSEC eş-yaş eğrileri geçirilerek kümelerin yaş tayinleri yapılmıştır.

4. BULGULAR

Açık kümeler aynı gaz ve toz bulutundan eş zamanlı olarak oluştuğundan küme üyesi yıldızların yaşları, kimyasal kompozisyonları ve Güneş'e olan uzaklıkları hemen hemen aynı olmaktadır. Dolayısıyla tüm küme üyesi yıldızların bir arada incelenmesini sağlayan fotometrik yöntemlerin kullanılmasıyla metal bolluğu, yaş ve uzaklık gibi astrofiziksel parametreler duyarlı olarak tayin edilebilmektedir. Açık küme üye yıldızlarının bu temel astrofiziksel parametre değerlerinin birbirine yakın olması, kümedeki farklı kütleli yıldızlar için benzer eş-yaş eğrilerinin uyuşması anlamına gelir. Yüksek lisans tez çalışmasında, Avrupa Güney Gözlemevi'nden seçilen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin duyarlı fotometrik analizi yapılarak her bir kümenin yapısal ve astrofiziksel parametrelerinin tayin edilmesi, kümelerin ışımaya gücü ve kütle fonksiyonlarının belirlenmesi ve incelenen açık kümelerin dinamik evrimleri hakkındaki bilgilerinin literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmasında fotometrik analiz aşamasında ilk olarak, seçilen kümelerin CCD *UBV* verilerinin kalibrasyonu yapılmış ve küme görüş alanındaki her bir kaynağın astrometrik düzeltmesi yapılarak ekvatorial koordinatları belirlenmiştir. Kaynakların aletsel parlaklıklarının tayininde *PSF* fotometrisi tercih edilmiştir. Standart yıldız gözlemlerinden elde edilen fotometrik sönmüleme ve dönüşüm katsayıları kullanılarak her bir kaynağın aletsel parlaklıkları standart sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmüştür. Her bir açık küme için, farklı poz sürelerindeki ölçümlerden piksellerin doymadığı ve en düşük ölçüm hatasına sahip olan parlaklıklar seçilerek küme doğrultusundaki kaynakların fotometrik kataloğu oluşturulmuştur. Kataloglardaki tüm yıldızlar, Vizier veri tabanındaki güncel öz hareket kataloğuyla (*Gaia* Data Release 2 – *Gaia* DR2) ekvatorial koordinatlarına göre eşleştirilmiştir.

Kümelerin merkezi yoğunlukları ve kor yarıçapı gibi yapısal parametreleri, her bir küme için oluşturulan yoğunluk profillerinin King modeliyle (King, 1962) karşılaştırılmasından elde edilmiştir. Küme doğrultusundaki kümeye üye en olası yıldızlar, yıldızların öz hareket bileşenleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Olası küme üyesi yıldızlar dikkate alınarak her bir küme için renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları oluşturulmuştur. İki-renk diyagramlarından sıfır yaş eğrileri geçirilerek kümelerin renk artıkları tayin edilmiştir. Güncel teorik eş-yaş eğrilerinin kümelerin renk-parlaklık diyagramlarıyla karşılaştırılmalarından kümelerin yaşları tayin edilmiştir. Son olarak, olası küme üyeleri dikkate alınarak, kümelerin bugünkü ışımaya gücü

ve kütle fonksiyonları belirlenmiştir. Işıma gücü fonksiyonu, birim mutlak parlaklık aralığına denk gelen yıldız sayılarının hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Küme üyesi yıldızların kütleleri de eş-yaş eğrilerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir.

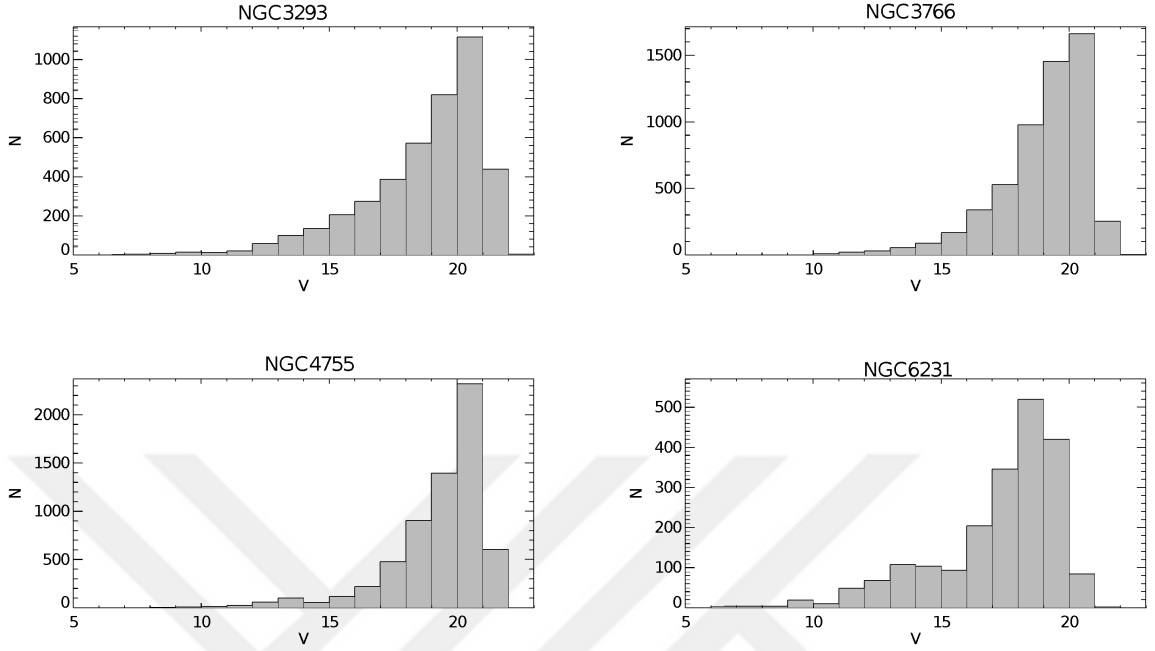
4.1. KÜMELERİN ANALİZLERİ

Yapılan fotometrik indirgemelerle birlikte kümelerin doğrultularında bulunan kaynakların UBV parlaklık ve renkleriyle, ölçüm hatalarını ve yıldızlılık indekslerini içeren bir katalog hazırlanmıştır. Katalogda bulunan kaynakların ekvatorial koordinatları *Gaia* DR2 kataloğunda bulunan koordinatlar ile açısal uzaklık için beş yay saniyelik üst limit içerisinde kalanlar dikkate alınarak eşleştirilmiştir. Eşleştirme sonucu katalogdaki küme alanında bulunan kaynakların öz hareket verileri teşhis edilerek kataloga eklenmiştir. Her bir küme için V bandındaki dağılımlar dikkate alınarak bir tamlık sınırı belirlenmiştir.

Şekil 4.1’de dört küme doğrultusundaki yıldızların histogramları verilmiştir. Küme kataloglarına ait istatistiki bilgiler; her bir kümenin V parlaklık aralıkları, V bandındaki tamlık sınırı, literatürden alınan parlak yıldızların sayısı, küme doğrultusundaki toplam kaynak sayısı ve küme kataloglarının *Gaia* DR2 kataloğuyla eşleştirilmesi sonucu öz hareket verileri belirlenen kaynakların sayısı Tablo 4.1’de listelenmiştir.

Tablo 4.1: Kümelerin katalog içeriklerinin istatistiki özeti. Tabloda her bir kümenin V görünür parlaklık aralığı ve V görünür parlaklığı için Şekil 4.1’deki histogramlardan elde edilen tamlık sınırları verilmiştir. $N(\text{literatür})$, $N(\text{toplam})$ ve $N(\text{öz hareket})$, sırasıyla, literatürden alınan, toplam ve *Gaia* öz hareketi bulunan yıldız sayısını göstermektedir.

Küme	V aralığı (kadir)	$V(\text{tamlık})$ (kadir)	$N(\text{literatür})$	$N(\text{toplam})$	$N(\text{öz hareket})$
NGC 3293	6-22	21	463	4164	4093
NGC 3766	10-21	21	9	5580	5545
NGC 4755	8-22	21	169	6294	6245
NGC 6231	5-21	20	191	2038	2003

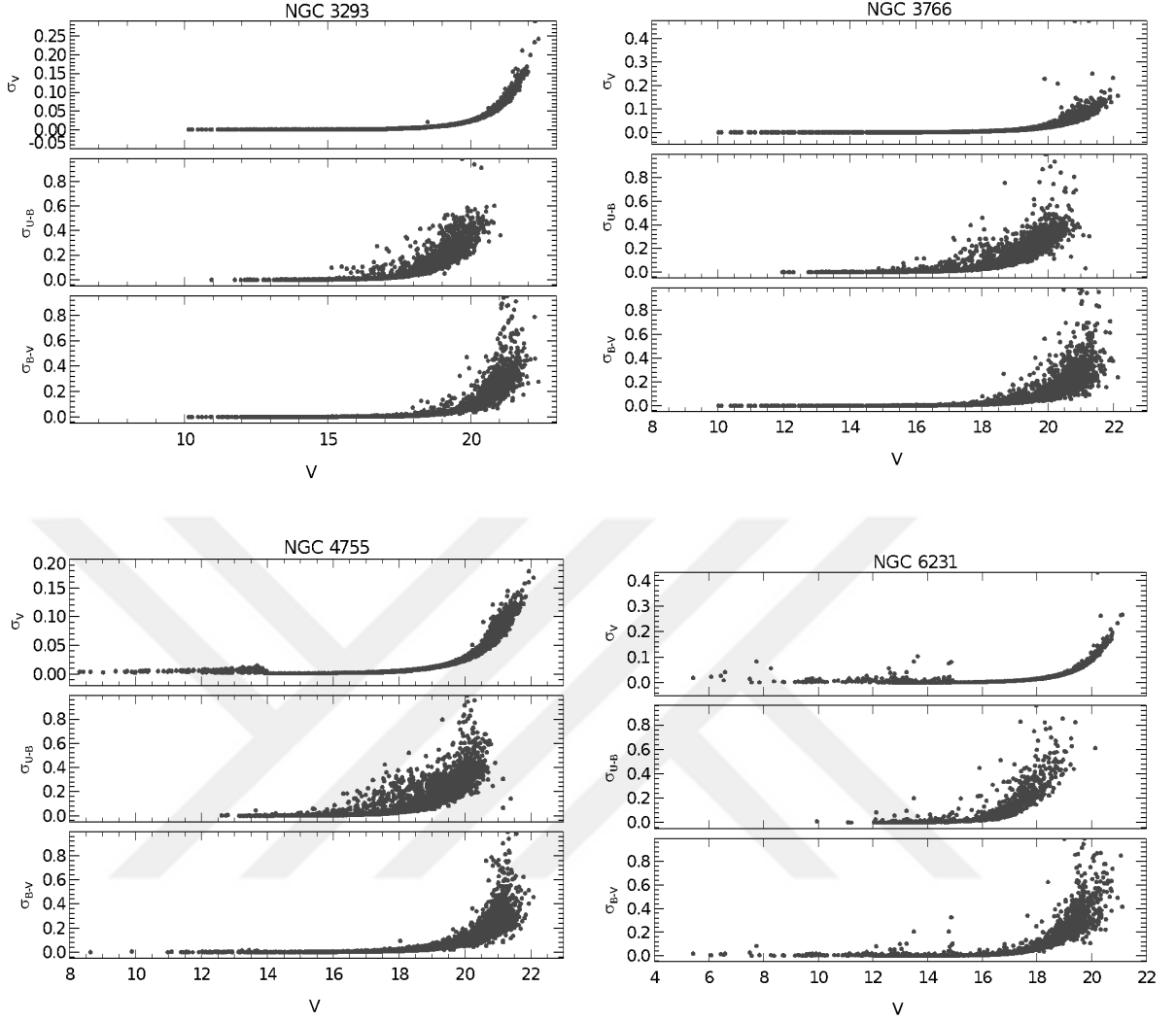


Şekil 4.1: İncelenen açık küme doğrultularında bulunan kaynakların V bandındaki parlaklık histogramları.

4.2. FOTOMETRİK HATALAR

Seçilen açık kümelerin doğrultularında belirlenen yıldızların $U-B$, $B-V$ renk indeksi ve V görünen parlaklığı hataları, V görünen parlaklıklarının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir (Şekil 4.2).

Kümelerin V görünen parlaklık aralıklarına göre hesaplanan yıldız sayıları ve bunların renk indeksi ve parlaklıklarının fotometrik hataları Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablo 4.2’de, V görünen parlaklığındaki ve $B-V$ renk indeksindeki hataların $V=18$ ’e kadar genellikle 0,01’den küçük olduğu görülürken, $U-B$ ’de hataların daha büyük olduğu ($<0,05$) ve özellikle NGC 6231’de hatanın 0,15’lere kadar ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.2: Küme doğrultularında gözlenmiş yıldızların parlaklık ve renk indeksi hatalarının V görünen parlaklığına göre dağılımları.

4.3. KÜME YAPISAL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin literatürde verilen ekvatorial ve Galaktik merkezi koordinatları Tablo 3.2’de verilmiştir. Kümelerin bu merkezi ekvatorial koordinatlardan itibaren farklı çapsal uzaklık aralıkları içerisinde bulunan yıldızları sayılmış ve her bir alanda bulunan yıldız sayısı kendinden sonraki alanda bulunan yıldız sayısından çıkarılarak incelenen bölgeye ait yıldız sayısı hesaplanmıştır. Her bir alanın yıldız sayısı, bulunduğu alana bölünerek yoğunluklar elde edilmiştir. Bu yoğunluklardan itibaren kümelerin yoğunluk profilleri oluşturulmuştur.

Açık kümelere ait, küme merkezinden itibaren, küme merkezinin görüş alanındaki konumuna bağlı olarak, 5 ile 7 yay dakikası çapsal uzaklık içerisinde 1 yay dakikalık aralıklarda yıldız sayı yoğunlukları hesaplanmıştır. Kümelerin yoğunluk profilleri oluşturulurken;

$$\rho(r) = f_{bg} + \frac{f_0}{1 + (r/r_c)^2} \quad (4.1)$$

bağıntısıyla verilen King modeli kullanılmıştır (King, 1962). Formülde verilen f_{bg} , f_0 ve r_c sırasıyla zemin yoğunluğu, merkezi yoğunluk ve kümenin kor yarıçapını göstermektedir. Gözlemsel verilerin King modeline uygunluğu en küçük χ^2 analiziyle sınanmıştır. İncelenen dört açık kümenin yoğunluk profilleri Şekil 4.3'te sunulmuştur. Her bir kümenin King profilini tanımlayan parametreler Tablo 4.3'te ve ilgili şekillerin sağ üst köşesinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre NGC 3293 açık kümesinin etkin yarıçapı 5 yay dakikası, NGC 3766'nın 4 yay dakikası, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin ise 6 yay dakikası olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2: Açık küme doğrultularındaki yıldızların V parlaklık aralıklarındaki yıldız sayıları ve bunların parlaklık ve renk indekslerindeki ortalama hataları.

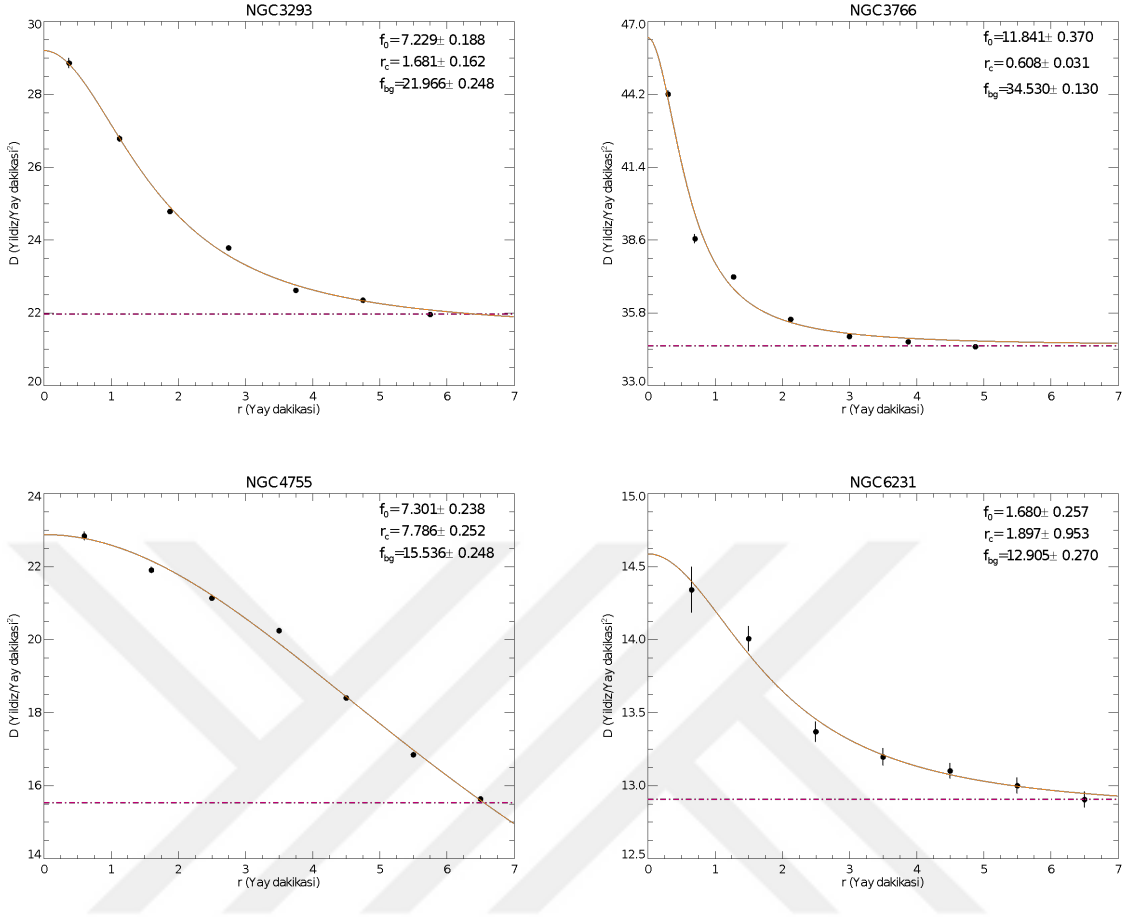
Açık Küme	V (kadir)	N	σ_V (kadir)	σ_{U-B} (kadir)	σ_{B-V} (kadir)
NGC 3293	$6 < V < 12$	6	0,001	0,001	0,001
	$12 < V < 14$	72	0,001	0,001	0,001
	$14 < V < 16$	216	0,001	0,006	0,002
	$16 < V < 18$	518	0,003	0,036	0,007
	$18 < V < 20$	1334	0,013	0,198	0,043
	$20 < V < 22$	1551	0,054	0,427	0,210
NGC 3766	$10 < V < 12$	19	0,001	0,001	0,001
	$12 < V < 14$	84	0,001	0,001	0,001
	$14 < V < 16$	256	0,001	0,005	0,002
	$16 < V < 18$	865	0,003	0,026	0,007
	$18 < V < 20$	2435	0,014	0,152	0,048
	$20 < V < 22$	1911	0,051	0,368	0,193

Tablo 4.3 (devam): Açık küme doğrultularındaki yıldızların V parlaklık aralıklarındaki yıldız sayıları ve bunların parlaklık ve renk indekslerindeki ortalama hataları.

NGC 4755	$8 < V < 10$	10	0,004	0,002	0,002
	$10 < V < 12$	38	0,005	0,003	0,001
	$12 < V < 14$	157	0,004	0,003	0,002
	$14 < V < 16$	170	0,001	0,007	0,002
	$16 < V < 18$	698	0,003	0,044	0,008
	$18 < V < 20$	2299	0,015	0,172	0,042
	$20 < V < 22$	2920	0,055	0,425	0,190
NGC 6231	$4 < V < 10$	32	0,013	0,010	0,012
	$10 < V < 12$	58	0,006	0,009	0,008
	$12 < V < 14$	176	0,005	0,009	0,008
	$14 < V < 16$	197	0,003	0,025	0,010
	$16 < V < 18$	550	0,008	0,152	0,038
	$18 < V < 20$	938	0,038	0,397	0,218
	$20 < V < 22$	86	0,137	0,765	0,491

Tablo 4.4: İncelenen kümelerin zemin yoğunluğu, merkezi yoğunluğu ve kor yarıçapları.

Küme	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)
NGC 3293	$21,966 \pm 0,248$	$7,229 \pm 0,188$	$1,681 \pm 0,162$
NGC 3766	$34,530 \pm 0,130$	$11,841 \pm 0,370$	$0,608 \pm 0,031$
NGC 4755	$15,536 \pm 0,248$	$7,301 \pm 0,238$	$7,786 \pm 0,252$
NGC 6231	$12,905 \pm 0,270$	$1,680 \pm 0,257$	$1,897 \pm 0,953$



Şekil 4.3: NGC 3293, 3766, 4755 ve 6231 açık kümelerinin yıldız sayı yoğunluk profilleri. Grafiklerde, sarı sürekli çizgi King modeli fitini, pembe kesikli çizgi de zemin yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir. King profil parametreleri sağ üst köşede verilmiştir.

4.4. KÜME ÜYE YILDIZLARININ BELİRLENMESİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin üye yıldızlarının belirlenebilmesi adına ilk olarak *Gaia* DR2 kataloğundan öz hareket verileri alınmıştır. Bu verilerden itibaren ardışık V görünür parlaklık aralıkları için $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları ve öz hareket bileşenlerinin dağılım diyagramları oluşturulmuştur. Her bir V görünür parlaklık aralığı için öz hareket dağılımlarında yıldız yoğunluğunun arttığı bölgeler seçilerek bu bölgedeki yıldızlar küme üyesi yıldızlar olarak belirlenmiştir. Şekil 4.4'te sırasıyla NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin öz hareket bileşenlerinin dağılım diyagramları verilmiştir. Kümelerin V görünür parlaklıkları, tamlık sınırlarına kadar bir kadirlik aralıklarla incelenmiş ve aralıklardaki yıldız yoğunluklarına bakılmıştır. Seçilen öz hareket aralıklarındaki yıldızlar, kümelere ait yıldız sayı yoğunluk

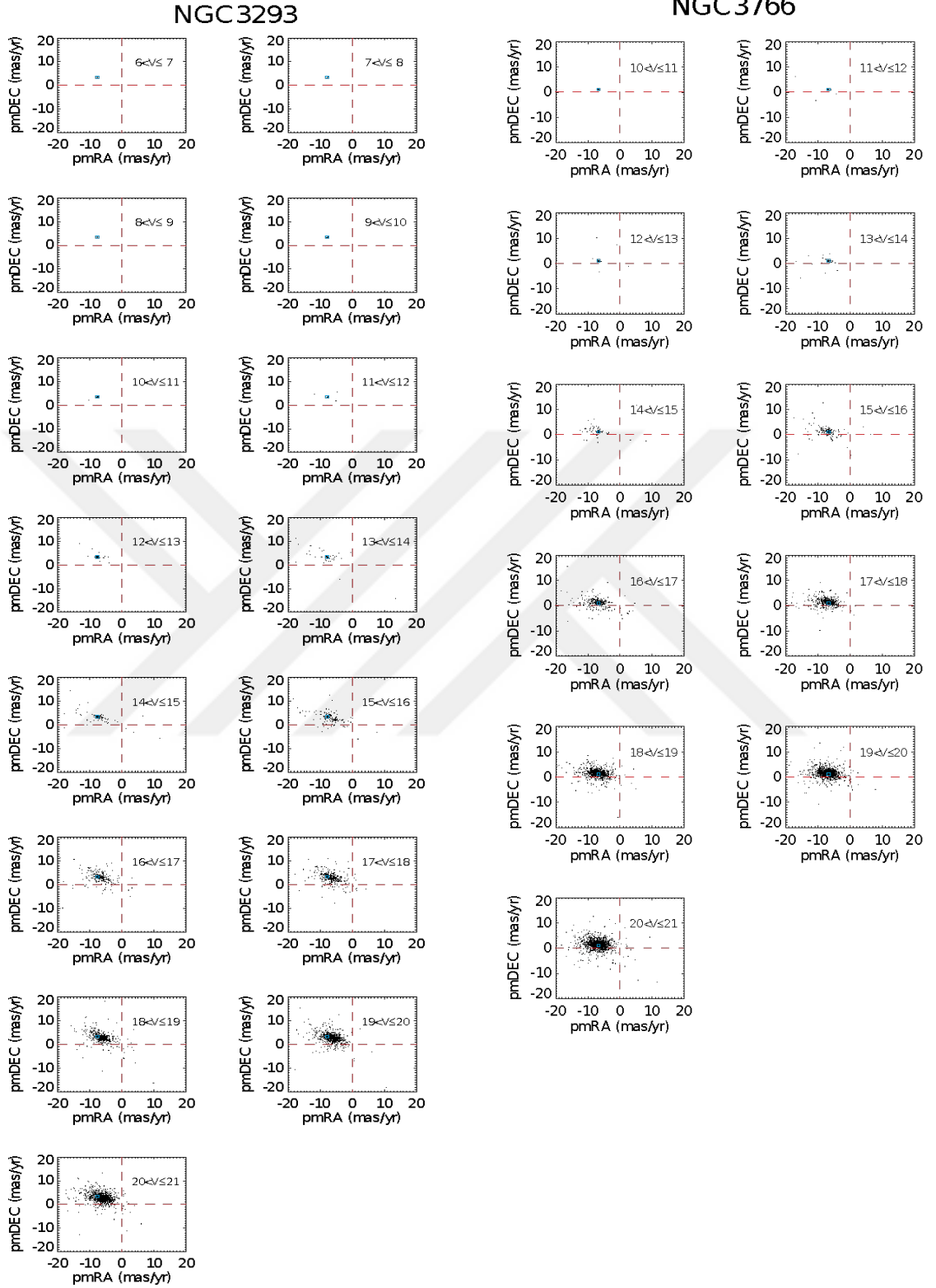
profillerinden elde edilen etkin yarıçaplar da göz önünde bulundurularak her bir küme için Şekil 4.5'te $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramında kırmızı renkte gösterilmiştir. Renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde sönük yıldızlardaki kirlenmenin oldukça azaldığı ve dolayısıyla kümelerin alan yıldızlarından ayrıldığı görülmektedir.

4.5. KÜME RENK ARTIKLARININ BELİRLENMESİ

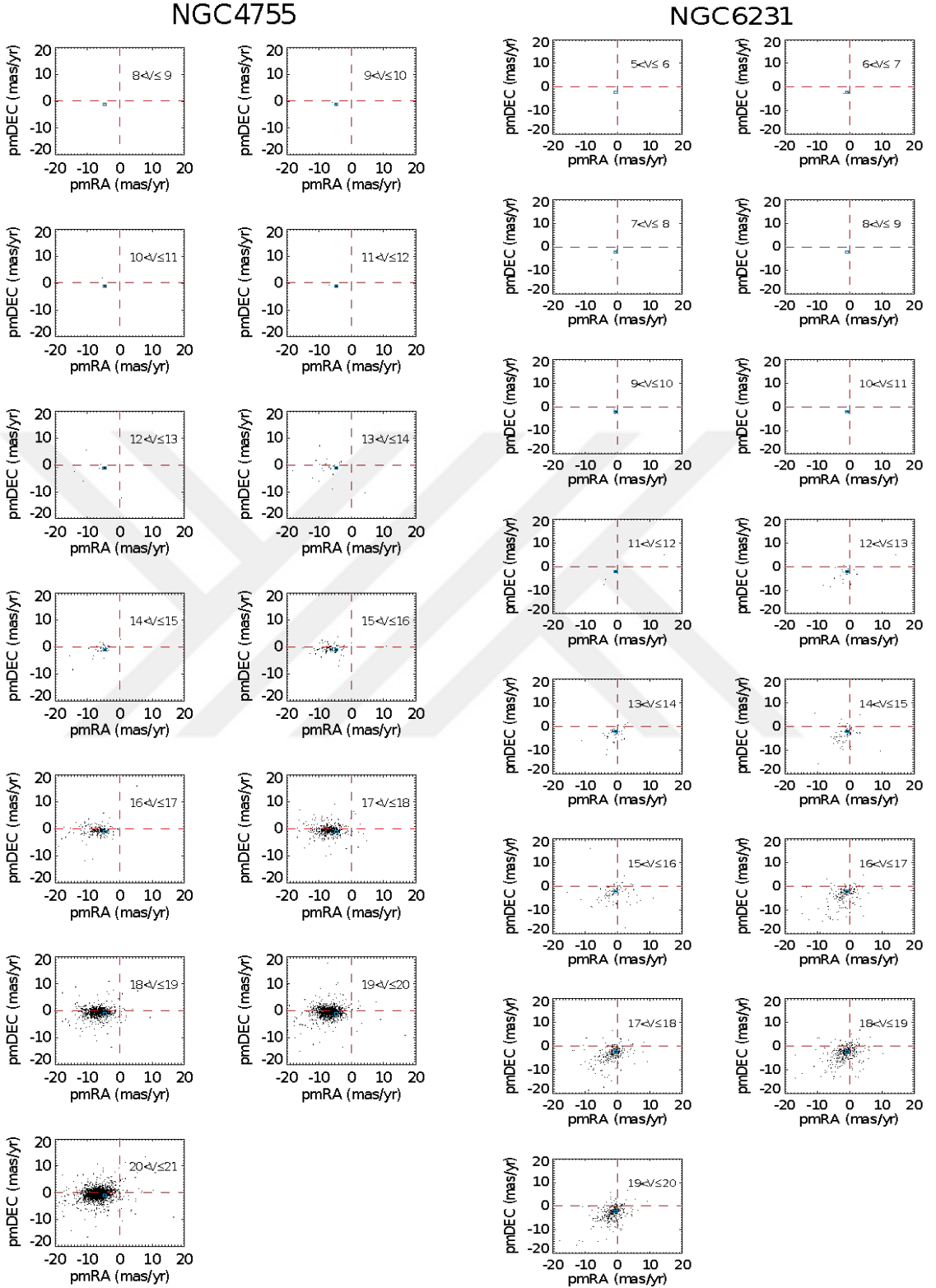
Yüksek lisans tez çalışmasında incelenen açık kümelerin doğrultularında gözlenen yıldızların parlaklığında sönmeye sebep olan $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıklarını hesaplayabilmek adına $U-B \times B-V$ iki renk diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 4.6'da seçilmiş öz hareket aralığında ve etkin yarıçap içerisinde bulunan küme üyesi yıldızlar iki-renk diyagramında gösterilmiştir. Küme üyesi yıldızların oluşturduğu anakol, Sung ve diğ.'nin (2013a) Güneş bolluğundaki gözlemsel sıfır yaş anakoluyla (ZAMS) karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde, kızarmamış renkler için verilen ZAMS eğrisi (3.5) bağıntısında verilen ilişki dikkate alınarak küme anakolu yıldızlarıyla en iyi uyumu yani en küçük χ^2 değeri verene kadar kızartılmıştır. Bu yöntemin uygulanması sonucunda NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıkları hesaplanmış ve Tablo 4.4'te listelenmiştir. Kümelerin renk artıklarına ait hatalarının belirlenmesinde $\pm 1\sigma$ değeri dikkate alınmıştır. Ayrıca, kümelerin $E(B-V)$ renk artıkları Bölüm 3.6'da bahsedilen Q yöntemiyle de belirlenmiş ve sonuçların benzer olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Q yönteminden elde edilen sonuçlar da Tablo 4.4'te sunulmuştur.

Tablo 4.5: Dört açık küme için iki farklı yöntem sonucu elde edilen kızarma değerleri.

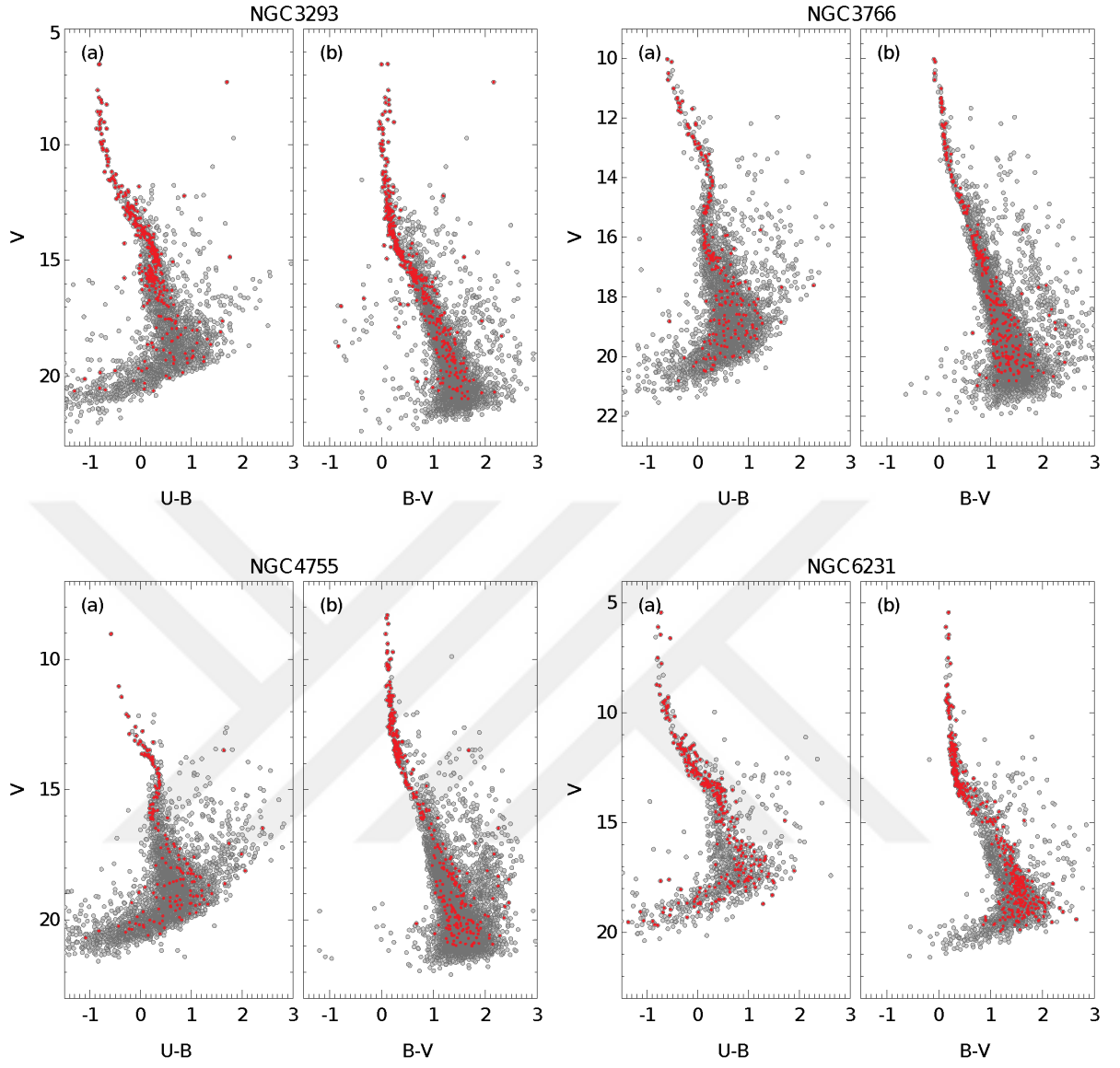
Küme Adı	İki-Renk Diyagramı Yöntemi	Q Yöntemi
NGC 3293	$E(B-V) = 0,29 \pm 0,05$ $E(U-B) = 0,21 \pm 0,04$	$E(B-V) = 0,27 \pm 0,07$
NGC 3766	$E(B-V) = 0,20 \pm 0,03$ $E(U-B) = 0,14 \pm 0,02$	$E(B-V) = 0,17 \pm 0,03$
NGC 4755	$E(B-V) = 0,34 \pm 0,03$ $E(U-B) = 0,24 \pm 0,02$	$E(B-V) = 0,32 \pm 0,03$
NGC 6231	$E(B-V) = 0,45 \pm 0,05$ $E(U-B) = 0,32 \pm 0,03$	$E(B-V) = 0,42 \pm 0,06$



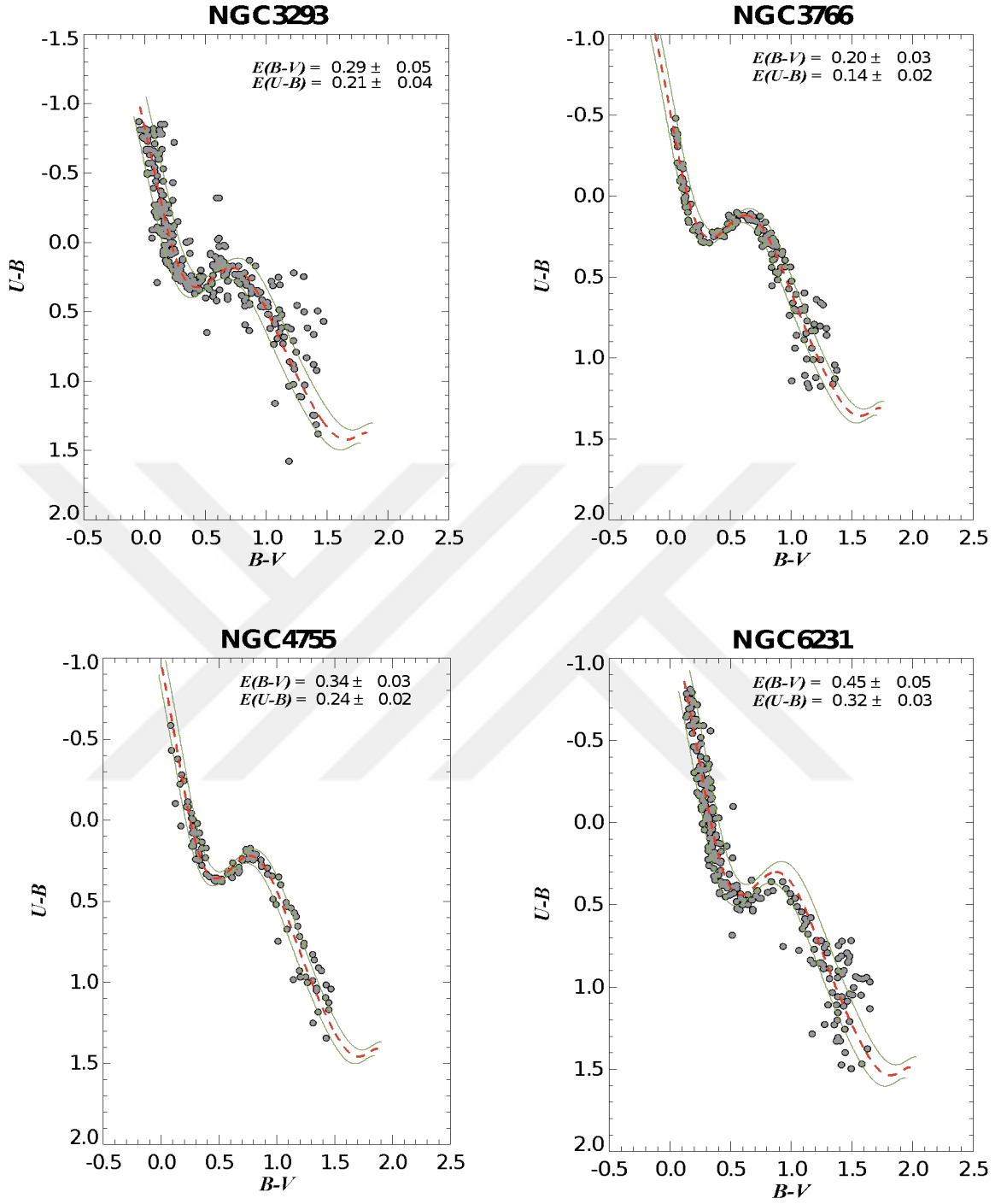
Şekil 4.4: Kümelerin öz hareket bileşenlerinin dağılımları. Mavi kareler, seçtiğimiz öz hareket sınırlarını belirtiyor.



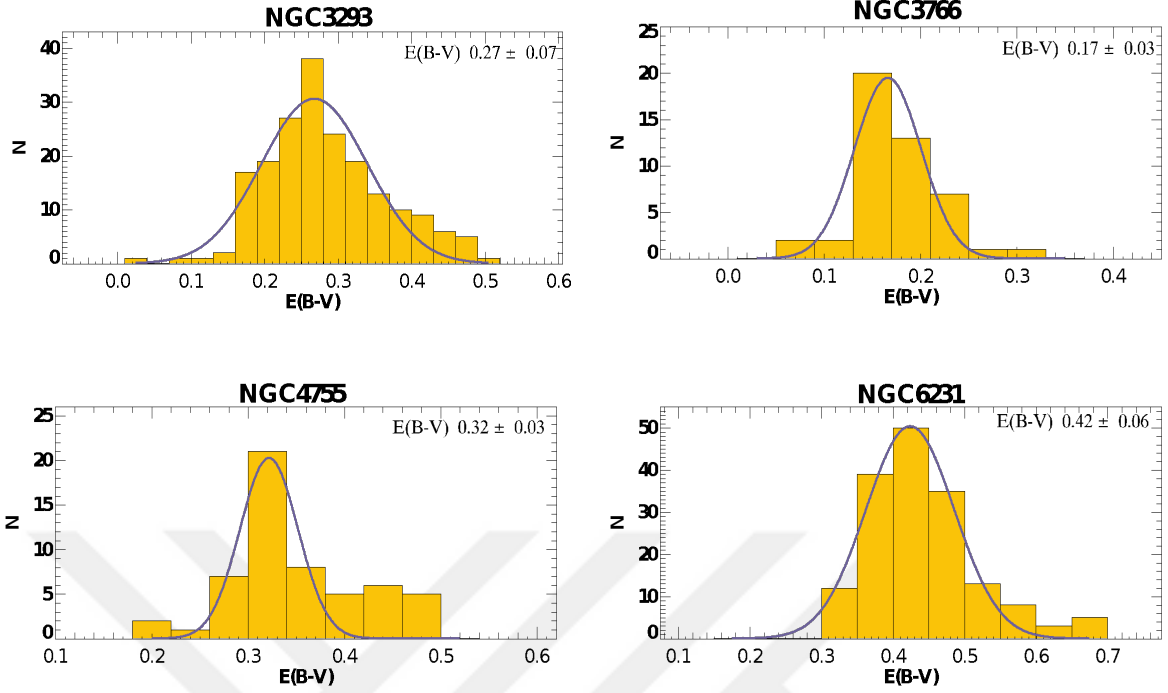
Şekil 4.4 (devam): Kümelerin öz hareket uzay dağılımları. Mavi kareler, seçtiğimiz öz hareket sınırlarını belirtiyor.



Şekil 4.5: Kümelerin (a) $V \times U-B$ ve (b) $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Kırmızı noktalar, kümeye en olası üye yıldızları göstermektedir.



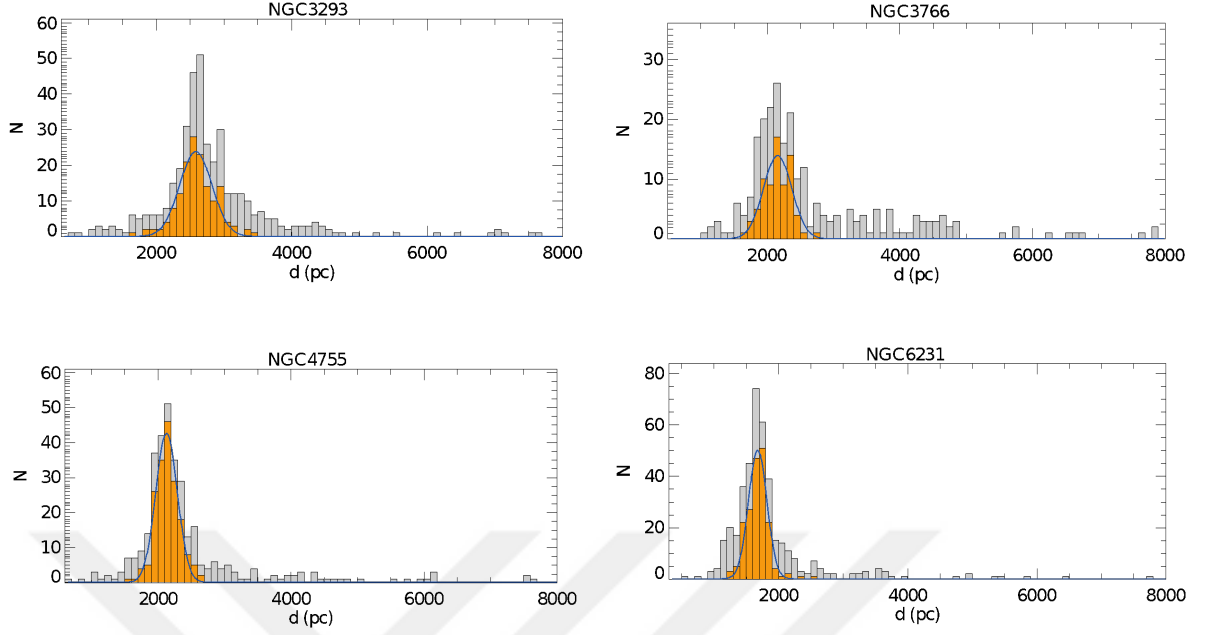
Şekil 4.6: Açık kümelerin $U-B \times B-V$ iki renk diyagramları. Kümeye üye anakol yıldızları gri daire ile ve ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Yeşil çizgiler renk artıklarının $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir. Kümelerin renk artıkları ve hataları ilgili grafiklerin sağ üst köşesinde verilmiştir.



Şekil 4.7: Açık kümelerin etkin yarıçap sınırlarında bulunan yıldızlarına ait Q yöntemiyle hesaplanmış renk artışı frekans dağılımı. Gri sürekli çizgi, dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ilgili grafiklerin sağ üst köşesinde verilmiştir.

4.6. KÜME UZAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, küme üyesi yıldızların *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslardan itibaren uzaklıkları hesaplanmıştır. Daha sonra bu üye yıldızların uzaklık dağılımları oluşturularak bir Gauss eğrisiyle fit edilmiştir. Dağılımın mod değeri kümenin *Gaia* uzaklığı olarak belirlenmiştir. En uyumu veren Gauss eğrisinin 1σ genişliği de uzaklık hatası olarak alınmıştır. Şekil 4.8’de NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık yıldız kümeleri için oluşturulan uzaklık histogramları ve bunları en iyi temsil eden Gauss eğrileri gösterilmiştir. Kümelerin ortalama öz hareket ve *Gaia* uzaklıkları Tablo 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.8: Açık kümelerin öz hareket bileşenleri ve etkin yarıçapına bağlı üye yıldızlarının uzaklık histogramı. Sürekli çizgi, dağılıma fit edilen Gauss eğrisini göstermektedir. Gri bölümde üye yıldızların, turuncu bölümde ise σ_{π}/π sınırlandırması yapılmış üye yıldızların histogramları gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Kümelerin ortalama öz hareket ve *Gaia* uzaklık sonuçları.

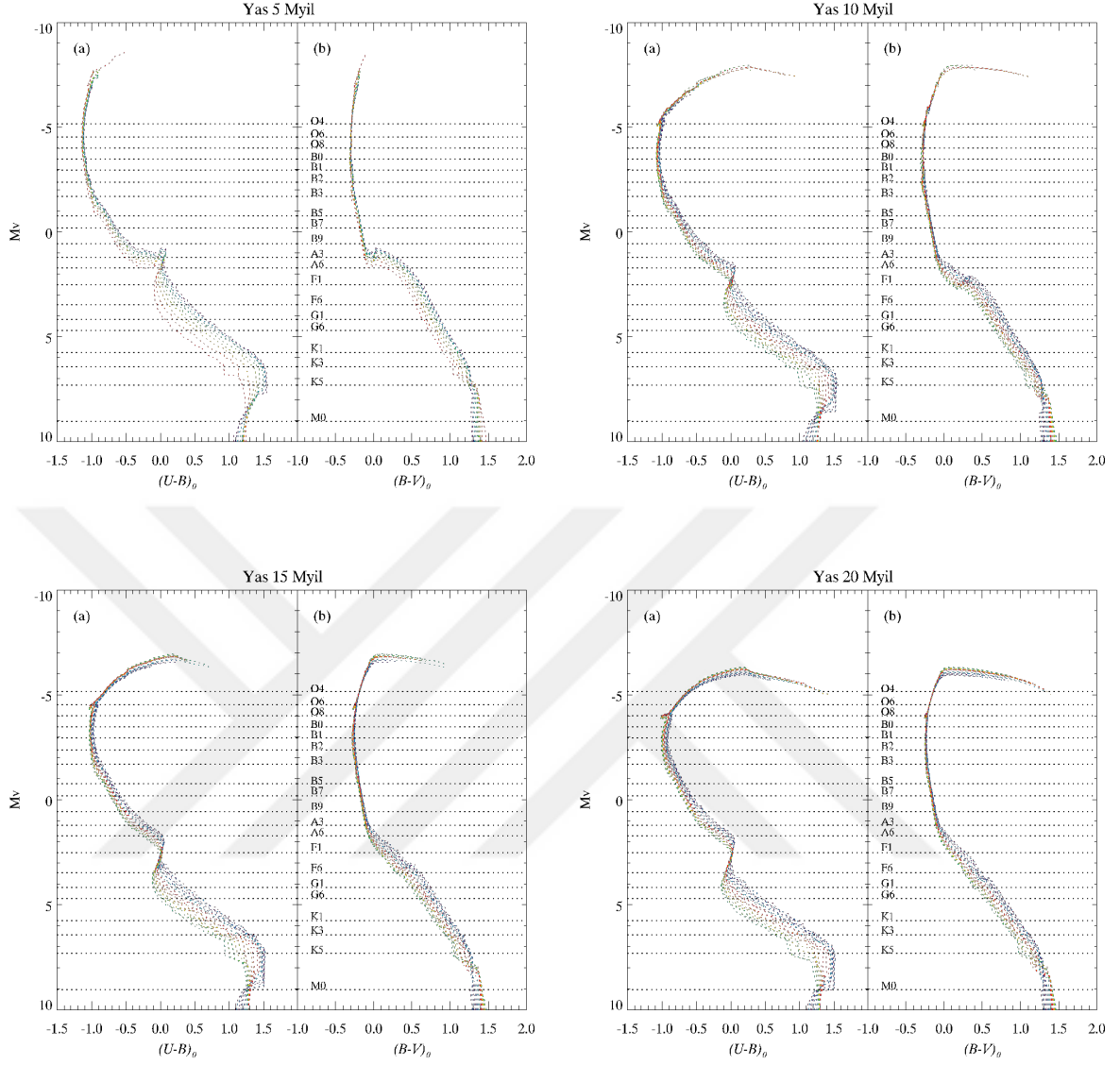
Küme Adı	Ortalama Öz Hareket		Uzaklık
	$\mu_{\alpha \cos \delta}$ (mas/yıl)	μ_{δ} (mas/yıl)	d (pc)
NGC 3293	$-7,690 \pm 0,246$	$3,590 \pm 0,212$	2586 ± 240
NGC 3766	$-6,940 \pm 0,076$	$1,083 \pm 0,070$	2159 ± 215
NGC 4755	$-4,603 \pm 0,027$	$-1,189 \pm 0,026$	2136 ± 175
NGC 6231	$-0,218 \pm 0,091$	$-2,324 \pm 0,069$	1679 ± 143

4.7. KÜME METAL BOLLUKLARININ BELİRLENMESİ

Fotometrik metal bolluğu tayini, tayfsal çalışmalar dışında genellikle F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının mor-ötesi artığına duyarlı kalibrasyonlarıyla yapılmaktadır (Karaali ve diğ. 2011). Tez çalışmasında incelenen açık kümeler oldukça genç olduklarından, kümeler F-G tayf türünden anakol yıldızlarını içermemektedir. Bu neden ile incelenen kümelerin metal bolluğu fotometrik yöntemler kullanılarak elde edilememiştir.

Kümelerin yaş tayininde renk artığı, uzaklık modülü ve metal bolluğu parametrelerinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Tez çalışmasında incelen açık kümelerin genç olması nedeniyle orta tayf türündeki anakol yıldızları henüz kümenin anakoluna ulaşmadıklarından metal bolluklarının fotometrik yöntemler ile belirlenmesi imkânsızdır. Bu problemin çözümü; aday yıldızların tayfsal yöntemler ile metal bolluklarının tayini veya teorik bir bakış açısı altında üretilen yıldız evrim modellerinin farklı yaşlar ve farklı metal bolluk aralıklarında incelenmesini gerektirir. Aday küme yıldızlarının tayfsal çalışmaları henüz literatürde yer almadığı için bu türden bir tayin söz konusu değildir. Bu neden ile kümeler, son bir alternatif bir yaklaşım ile PARSEC eş-yaş eğrilerini (Bressan ve diğ. 2012) dikkate alarak seçilen farklı yaş (5, 10, 15 ve 20 Myıl) ve ağır element bolluğu aralıklarında ($0,0048 < Z < 0,0480$) incelenmiştir. Çalışmada UBV fotometrik verileri kullanıldığı için PARSEC eş-yaş eğrileri hem $V \times U-B$ hem de $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde incelenmiştir (Şekil 4.9). Renk-parlaklık diyagramlarında yıldızların tayf türleri de gösterilmiştir.

$V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları dikkatlice incelendiğinde, özellikle A tayf türündeki anakol yıldızlarına kadar metal bolluğu etkisinin fotometrik yöntemler tayin edilecek kadar baskın olmadığı, $V \times U-B$ renk-parlaklık diyagramlarında ise metal bolluğu etkisinin ancak B tayf türündeki anakol yıldızlarının ötesinde az da olsa fark edilebileceği görülmektedir. Ayrıca farklı yaşlar için çizilen PARSEC eş-yaş eğrilerinin küme anakollarını henüz tam olarak oluşturamadığını, yani anakol öncesi yıldızların anakola gelmekte olduğu görülmektedir. Bu da metal bolluğu etkisinin yıldız evrimi nedeniyle tayin edilemeyeceğini gösteren en önemli kanıttır. Dolayısıyla PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak elde edilen bu bilgilerin tez çalışmasındaki genç kümelerin metal bolluklarının tayininde kullanılamayacağını göstermektedir. Bu neden ile çalışmamızdaki kümelerin metal bolluklarının Güneş bolluğunda ($Z_{\odot} = 0,0152$) kabul edilerek yaşlarının tayin edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 4.9: Farklı ağır element bolluğu aralıklarında ($0,0048 < Z < 0,0480$) PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ. 2012), farklı yaşlar (5, 10, 15 ve 20 Myıl) için $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramlarında gösterilmiştir. Panellere farklı M_V mutlak parlaklıklarına karşılık gelen tayf türleri işaretlenmiştir.

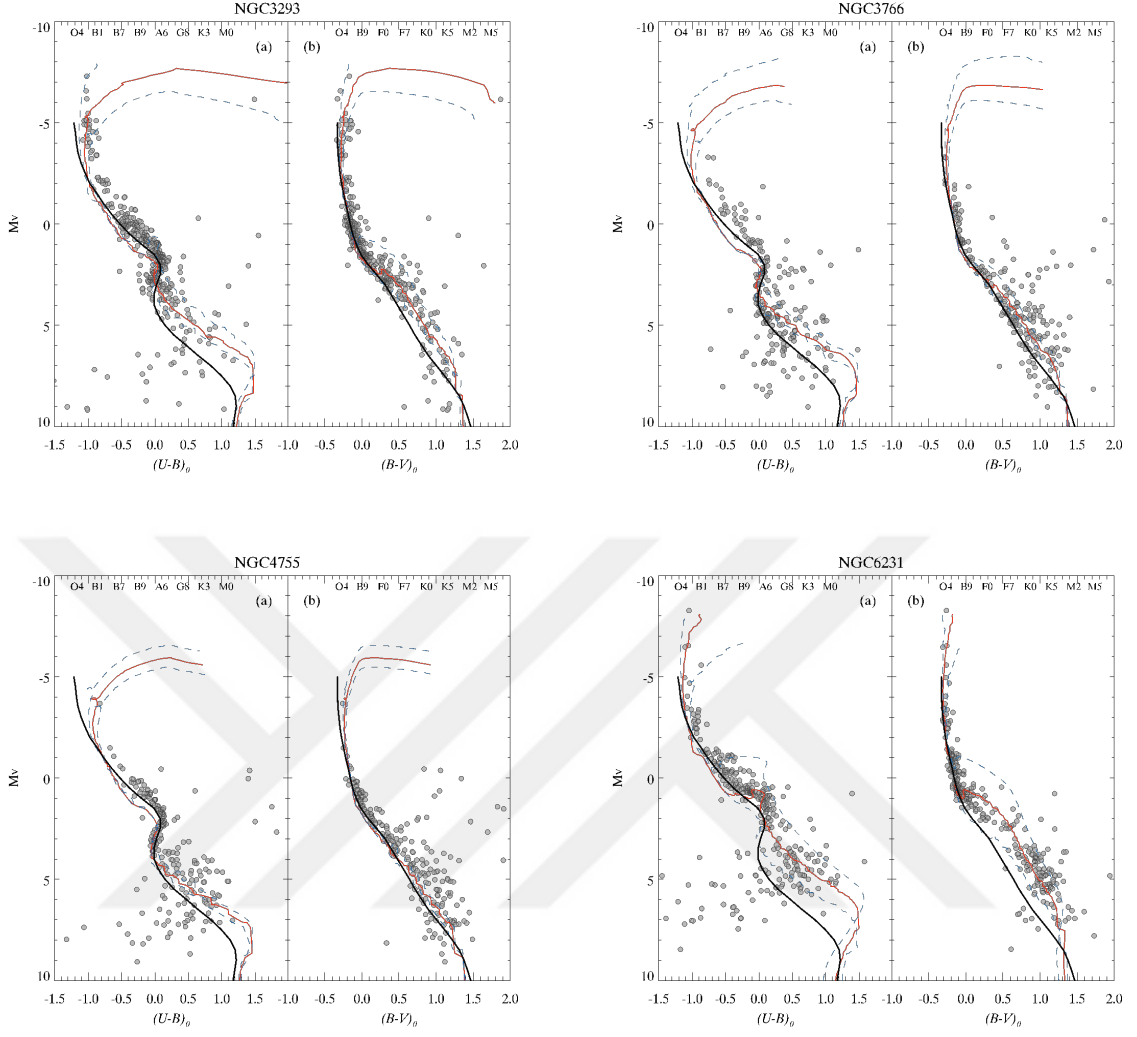
4.8. KÜME YAŞLARININ BELİRLENMESİ

Kümelerin renk artıklarıyla uzaklıkları belirlendikten ve metal bollukları da Güneş bolluğunda kabul edildikten sonra incelenen açık kümelerin yaşları, PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ. 2012) kullanılarak tayin edilmiştir.

Tablo 4.7: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin temel astrofizik parametreleri.

Küme	Renk		d	[Fe/H]	t
	Parlaklık Diyagramı	Renk Artığı (kadir)			
NGC 3293	$V \times (U-B)$	$E(U-B) = 0,21 \pm 0,04$	2586 ± 240	0,00	10 ± 6
	$V \times (B-V)$	$E(B-V) = 0,29 \pm 0,05$	2586 ± 240	0,00	10 ± 6
NGC 3766	$V \times (U-B)$	$E(U-B) = 0,14 \pm 0,02$	2159 ± 215	0,00	14 ± 6
	$V \times (B-V)$	$E(B-V) = 0,20 \pm 0,03$	2159 ± 215	0,00	14 ± 6
NGC 4755	$V \times (U-B)$	$E(U-B) = 0,24 \pm 0,02$	2136 ± 175	0,00	22 ± 6
	$V \times (B-V)$	$E(B-V) = 0,34 \pm 0,03$	2136 ± 175	0,00	22 ± 6
NGC 6231	$V \times (U-B)$	$E(U-B) = 0,32 \pm 0,03$	1679 ± 143	0,00	4_{-3}^{+3}
	$V \times (B-V)$	$E(B-V) = 0,45 \pm 0,05$	1679 ± 143	0,00	4_{-3}^{+3}

Kümelerin yaşlarının belirlenmesinde kümeye üye yıldızların fotometrik verileri yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma etkilerinden arındırılmış ve incelenen kümedeki üye yıldızlarının mutlak parlaklıkları (M_V) Bölüm 3.9’da verilen yöntem dâhilinde *Gaia* trigonometrik paralaksarı dikkate alınarak Pogson bağıntısıyla hesaplanmıştır. Dört küme için, küme üye yıldızlarının $M_V \times (U-B)_0$ ve $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Renk parlaklık diyagramlarında Sung ve diğ.’nin (2013a) ZAMS verileri de kalın siyah çizgiyle gösterilirken, farklı tayf türündeki anakol yıldızlarının renk indekslerine bağlı konumları panellerin üst kısımlarında verilmiştir. Küme yıldızlarını en iyi ifade eden yaş eğrileri PARSEC veri tabanından alınarak renk-parlaklık diyagramlarına yerleştirilmiştir. Renk-parlaklık diyagramlarının farklı bölgelerindeki küme yıldızlarının konumları da dikkate alınarak incelenen açık kümenin yaş belirsizliği belirlenmiştir. Bu şekilde yaşları belirlenen açık kümelerin bulguları Tablo 4.6’da listelenmiştir.



Şekil 4.10: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin $M_V \times (U-B)_0$ ve $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları. Kalın siyah çizgi Sung ve diğ.'den (2013a) alınan ZAMS eğrisini, kırmızı çizgi kümeyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrisini ve kesikli mavi çizgiler de küme yaşlarındaki belirsizlikleri gösterir. Panellerin üst kısımlarında Sung ve diğ.'den (2013a) alınan anakol yıldızlarının tayf türleri işaretlenmiştir.

4.9. AÇIK KÜMELERİN IŞIMA GÜCÜ VE KÜTLE FONKSİYONLARI

Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin kütle dağılımlarının belirlenmesinde küme üyesi anakol yıldızlarının kütleleri dikkate alınmıştır. Bilindiği gibi tek anakol yıldızlarının kütlelerini belirlemek oldukça zordur. Fakat tez çalışmasında incelenen yıldızlar, açık kümelere üye olduklarından farklı yöntemler altında incelenerek kümelerin temel astrofizik parametreleri belirlenebilmektedir. Bu parametreler dikkate alınarak öncelikle kümelerin ışıma gücü fonksiyonları ve buradan da anakol yıldızlarının kütle fonksiyonları tayin edilebilir. Tez çalışmasında kümelerin kütle fonksiyonlarını belirlerken anakol yıldızları için tayin edilen mutlak parlaklık değerleri, ardışık birim kadir aralıklarında (ΔM_V) aralıklarına göre ayrılarak ışıma gücü histogramları oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Kümelerin ışıma gücü fonksiyonları incelendiğinde -8 ile +9 kadir aralığındaki anakol yıldızlarını içerdiği görülmektedir. Fakat bu kümelerin Bölüm 4.8’de belirtilen yaşları dikkate alındığında 4 ile 22 Myıl aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yaş aralığındaki anakol yıldızlarının, yıldız evrim modellerine göre, en fazla A tayf türündeki yıldızlarını içermesi gerekmektedir. Hatta bu durum Şekil 4.10’da kümelerin en uygun yaşları temsil eden PARSEC eş-yaş eğrilerinin, Sung ve diğ.’ne (2013a) ait ZAMS’dan geri tayf türüne yakın olan ayrılma noktasının mutlak parlaklık değerinden görülebilir. NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin anakol temsil eden geri tayf türündeki M_V mutlak parlaklık sınır değerleri, sırasıyla, 2,5; 3; 3,5 ve 1 kadir civarındadır. Fakat belirlenen teorik sınır değerlerinin mutlak parlaklıklar için bir üst sınır vermektedir. Çalışmada incelenen açık kümeler çok genç oldukları, küme yıldızlarının mutlak parlaklık hataları ve modellerindeki belirsizliklerin de dikkate alınması sonucunda sınır mutlak parlaklıkların, deneysel olarak daha parlak seçilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tez çalışmasında teorik sonuçlardan elde edilmiş sınır değerleri kullanılmış olsaydı küçük kütleli anakol yıldızlarının sayılarında anormal bir artışa neden olacak ve bu da başlangıç kütle fonksiyonunun yanlış belirlenmesine yol açacaktı. Bu etkiden kurtulmak için geri tayf türündeki sınır mutlak parlaklık değerleri yapılan deneysel çalışmayla NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümeleri için, sırasıyla, 1,76; 1,70; 1,75 ve 1,00 kadir seçilmiştir. Deneysel tayin edilen bu sınır değerleri Şekil 4.11’de mavi oklar ile gösterilmiştir. Mutlak parlaklıkları sınır değerlerden daha parlak olan anakol yıldızlarının kütleleri tayin edilirken, buldukları kümelerin eş-yaş eğrilerine ait mutlak parlaklık – kütle verilerine altıncı dereceden polinomlar fit edilmiş ve yıldızların mutlak parlaklıklarından kütlelerine geçişler sağlanmıştır.

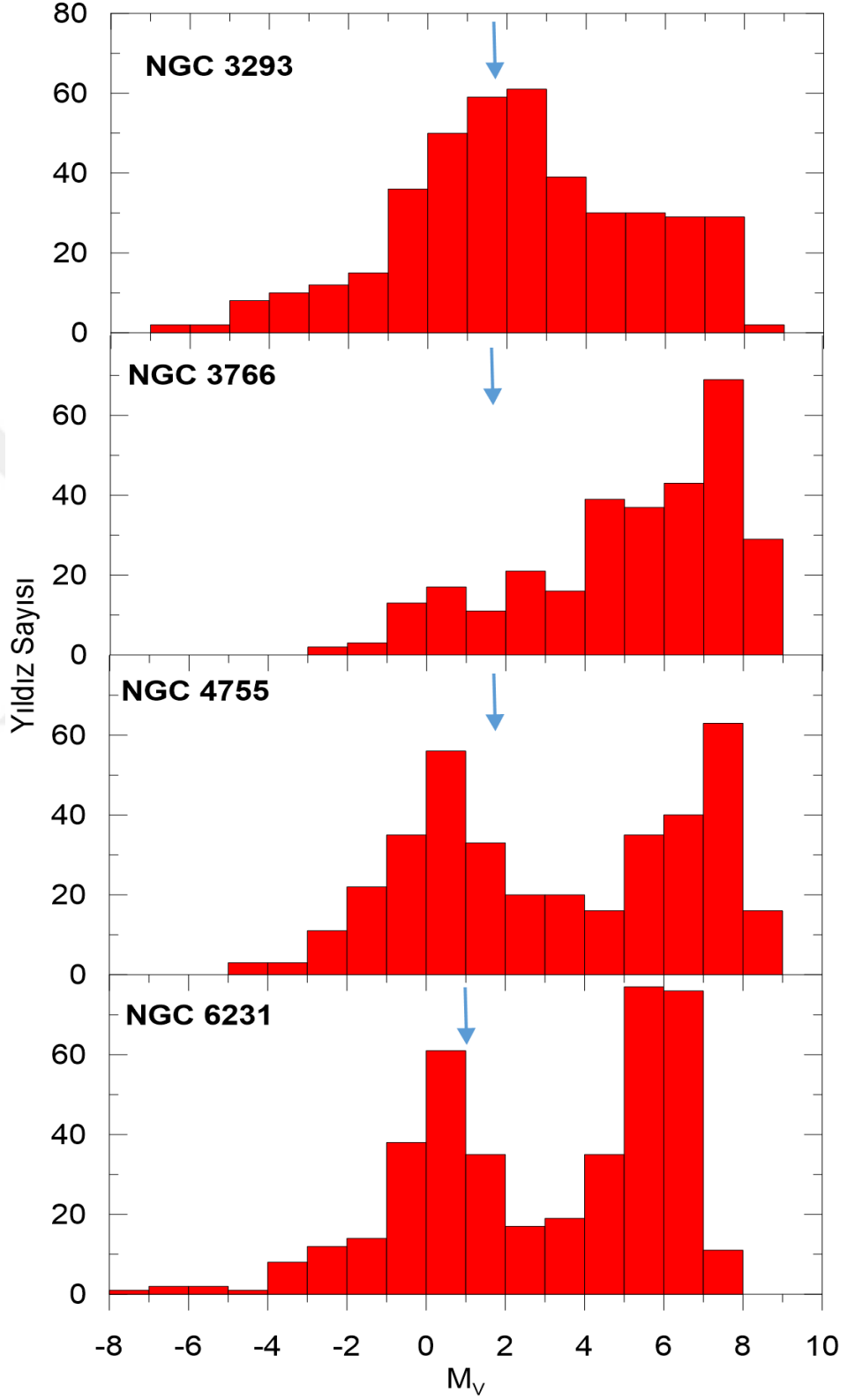
Kümelerin IMF değerleri hesaplanırken, ilk olarak anakol yıldızlarının kütlelerinin belirli aralıklara göre sayı yoğunluklarının logaritmik eksenlerde dağılımları oluşturulmuş (Şekil 4.12) ve sonra aşağıdaki bağıntı kullanılarak doğrusal bir fit geçirilmiştir:

$$\log dN/dM = -(1+x) \log M + C \quad (4.2)$$

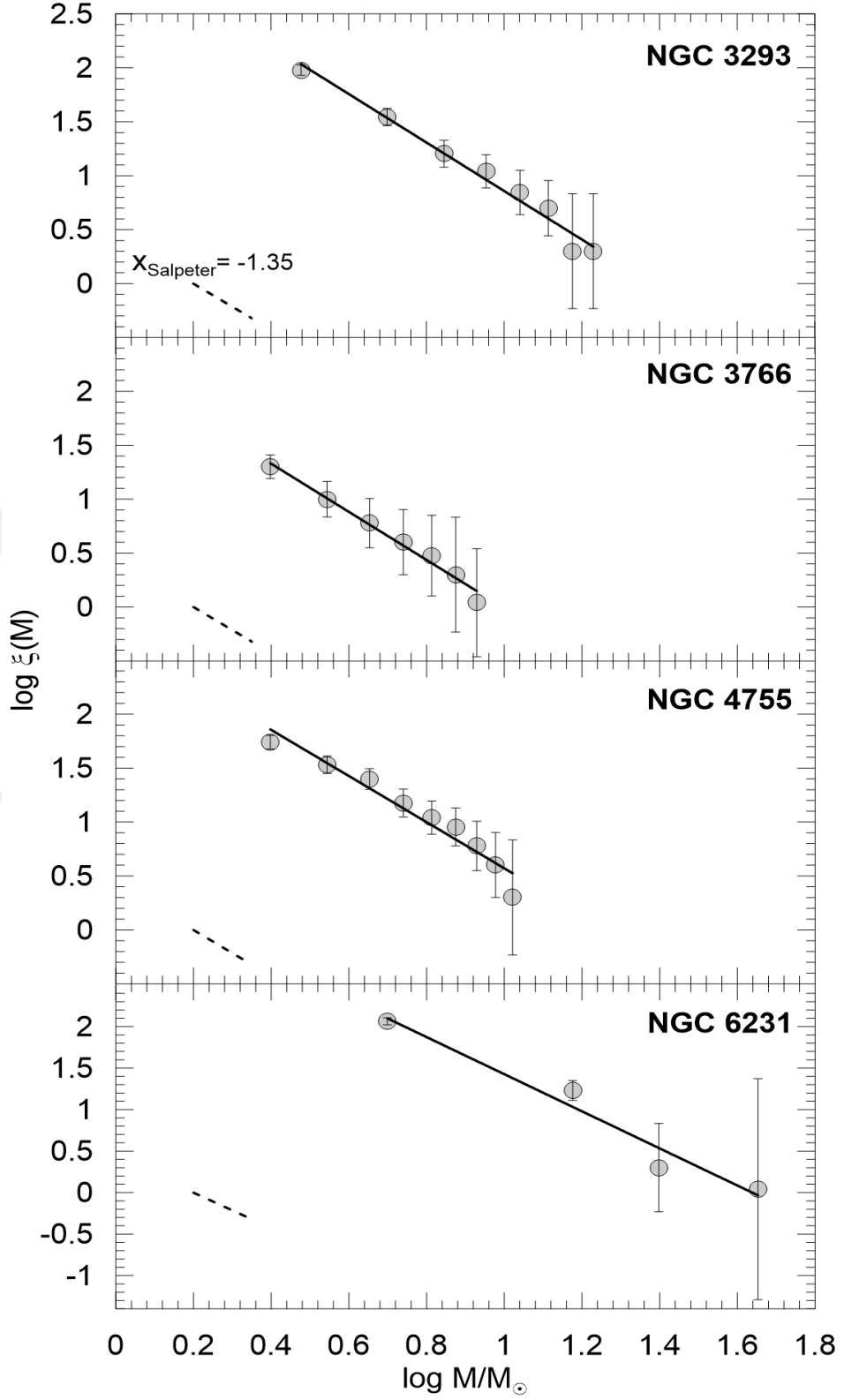
Bağıntıda dM kütle aralığını, dN kütle aralığındaki yıldız sayısını, M kütle aralığındaki ortalama kütleyi, x kütle fonksiyonunun eğimini ve C ise fitin sabit katsayısını ifade etmektedir. Şekilde, kümelerin anakol yıldızlarının kütle aralıklarına göre oluşturulan sayı dağılımları logaritmik olarak verilmiştir. Kütle değerlerine ait hatalar Poisson istatistiğine göre elde edilmiştir. Şekil 4.12’de ayrıca bu dağılımı tanımlayan doğrusal fit ile Salpeter’in (1955) $x = 1,35$ eğimi de gösterilmiştir. Tablo 4.7’de, küme anakol yıldızlarının kütle aralıkları, kütle fonksiyonunun eğim değerleri ve anakol yıldızlarının sayıları verilmiştir. Tablodan bu değerlerin, Salpeter’in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği değere yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8: İncelenen dört açık kümenin başlangıç kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan anakol yıldızlarının sayısı, kütle aralıkları ve kütle fonksiyonlarının eğim değerleri.

Küme	N	X	Kütle Aralığı
NGC 3293	173	$-1,25 \pm 0,14$	$2 < M/M_{\odot} < 17$
NGC 3766	42	$-1,23 \pm 0,14$	$2 < M/M_{\odot} < 9$
NGC 4755	161	$-1,14 \pm 0,20$	$2 < M/M_{\odot} < 11$
NGC 6231	136	$-1,24 \pm 0,32$	$2,6 < M/M_{\odot} < 50$



Şekil 4.11: Dört açık kümedeki anakol yıldızlarının mutlak parlaklık dağılımları. Panellerdeki mavi ok kütle tayininde kullanılan üst sınırı göstermektedir.



Şekil 4.12: Dört açık küme için hesaplanan kütle fonksiyonları ve başlangıç kütle fonksiyonlarının doğrusal eğrileri. Kesikli çizgiler Salpeter'in (1955) $x = 1,35$ eğimi göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, ESO'nun Şili'de bulunan 1,54 m ayna çaplı Danimarka Teleskobu'yla NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri yapılarak kümelerin yapısal ve astrofizik parametreleri hesaplanmıştır. Açık kümelerin fotometrik verileri literatürde kabul edilen yöntemlere göre indirgenmiş ve astrometrik kalibrasyonları yapılmıştır. Küme gözlemleri ile birlikte yapılan standart yıldız gözlemleri de tez çalışmasında dikkate alınarak küme doğrultularındaki aletsel parlaklıkları belirlenen nesnelere mutlak fotometrik analizleri yapılmış ve fotometrik veriler bu yolla standartlaştırılmıştır. Küme yıldızları, ekvatorial koordinat verileri dikkate alınarak *Gaia* DR2 kataloğundaki (*Gaia* işbirliği, 2018) nesnelere eşleştirilmiş ve nesnelere öz hareket bileşenleri ile trigonometrik paralaks verileri küme kataloğuna eklenmiştir.

Kümelerin yapısal parametrelerinin belirlenmesinde gözlemsel yoğunluk profillerine fit edilen King modeli (1962) kullanılmış ve kümelerin merkezi yıldız sayı yoğunlukları, zemin yoğunlukları ve kor yarıçap parametreleri tayin edilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan kümelerin gözlemsel sayı yoğunluk profillerinin zemin yoğunluk değerlerine kadar olan kısımları dikkate alınarak zemindeki yıldız karışımından uzak durulmuştur.

Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin temel astrofizik parametrelerinin belirlenmesinde literatürden farklı bir yöntem takip edilmiştir. Öncelikle *Gaia* DR2 kataloğundan sağlanan astrometrik veriler ile bu tez çalışmasında her bir küme için elde edilen fotometrik veriler bir arada değerlendirilerek küme üyesi yıldızların duyarlı seçimleri yapılmıştır. Kümeye üye yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları çizilerek küme morfolojisi hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu analizler sonucunda incelenen dört açık kümenin anakolları ve anakola gelmekte olan üyelerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Kümeler doğrultusundaki $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıklarının belirlenmesinde, küme üyesi anakol yıldızları $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramına işaretlenmiş ve Sung ve diğ.'ne (2013a) ait ZAMS eğrisi yıldızlar ile en iyi konuma gelecek şekilde Johnson ve Hiltner (1956) bağıntısı dikkate alınarak kaydırılmıştır. Kümelerin uzaklıklarının belirlenmesinde küme üyesi yıldızların *Gaia* DR2 kataloğunda verilen trigonometrik paralaks verileri kullanılmıştır. Yıldızların trigonometrik paralaks verilerinden $d = 1000/\pi(\text{mas})$ bağıntısı kullanılarak Güneş'e uzaklıkları belirlenmiştir. Küme üyesi yıldızların uzaklıklarının bir histogramı oluşturulmuş ve

bu histograma dağılımı temsil eden bir Gauss eğrisi fit edilerek her bir kümenin Güneş'e olan uzaklığı hesaplanmıştır. Küme üyesi yıldızların tayf türleri dikkate alındığında kümelerde A türünden daha geri olan yıldızların bulunmadığı yani bu kümelerin oldukça genç oldukları görülmüştür. Kümelerin genç olması, geri tayf türündeki yıldızların henüz anakola doğru hareket ettiklerini göstermekle birlikte bu yıldızların kümede bulunmaması fotometrik yöntem kullanılarak metal bolluklarının tayin edilemeyeceğini göstermiştir. Bu neden ile kümelerin metal bollukları, Güneş bolluğunda kabul edilmiştir ($Z_{\odot} = 0,0152$ veya $[Fe/H] = 0$ dex). İncelenen açık kümelerin yaş tayinlerinde güncel bir yıldız evrim kütüphanesine sahip olan PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır (Bressan ve diğ., 2012). Küme yaşlarının belirlenmesinde küme üyesi yıldızların $(U-B)_0$, $(B-V)_0$ kızarma etkisinden arındırılmış renk indeksleri ve M_V mutlak parlaklıkları kullanılmıştır. Küme üyesi yıldızların $M_V \times (U-B)_0$ ve $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları çizilmiş ve bu yıldızları en iyi temsil eden Güneş bolluğundaki PARSEC eş-yaş eğrileri diyagramlara fit edilmiştir.

Tez çalışmasında kümelere ait son bir analiz de kümelerin ışımaya gücü ve kütle fonksiyonlarının elde edilmesinde kullanılmıştır. Öncelikle dört açık küme için ışımaya gücü fonksiyonları elde edilmiş, incelenen açık kümenin hesaplanan eş-yaş eğrisindeki kuramsal mutlak parlaklık – kütle değerlerine ait bağıntılar belirlenerek yıldızların mutlak parlaklıklarından kütlelerine geçiş sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra küme anakol yıldızlarının birim kütle aralıklarındaki sayıları elde edilmiş ve verilere doğrusal fit geçirilmek suretiyle incelenen her bir açık küme için başlangıç kütle fonksiyon değeri hesaplanmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda dört açık küme için elde edilen IMF değerleri Salpeter'in (1955) 1,35 değerine çok yakın bulunmuştur.

5.1. YAPISAL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin yapısal parametreleri, küme doğrultusunda gözlenen nesnelere yıldız sayısı yoğunluk profillerine fit edilen King modeli (1962) yardımıyla tayin edilmiştir. Analizlere ait detaylı bilgiler bu tez çalışmasının Bulgular kısmındaki 4.3 bölümünde verilmiştir. İncelenen dört açık küme içinde sadece NGC 4755'in yapısal parametreleri literatürde ilk kez bu tez çalışmasında elde edilmiştir. Diğer üç kümenin yapısal parametreleri daha önceden Saurin ve diğ. (2015) tarafından tayin edilmiştir. Saurin ve diğ. (2015) bu tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766 ve NGC 6231 kümelerine ilaveten Collinder 34 açık kümesi için 2MASS verilerini kullanarak bu kümelerin yapısal parametrelerini elde etmişlerdir. Çalışmalarında öncelikle tez

çalışmasıyla ortak olan üç açık kümenin (NGC 3293, NGC 3766 ve NGC 6231) $J \times J-H$ renk-parlaklık diyagramlarını oluşturmuşlar ve bu kümelerin çok genç yıldızlara sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Bu kümelerin üye yıldızlarından itibaren yıldız sayı yoğunluk profillerini oluşturarak King modeliyle (1962) fit etmişler ve üç açık kümenin yapısal parametrelerini belirlemişlerdir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Bu tez çalışmasında ve literatürde benzer yöntemler ile incelenen üç açık kümenin yapısal parametreleri. Burada f_{bg} , f_0 ve r_c ifadeleri, sırasıyla, zemin yıldız sayı yoğunluğu, merkezi yıldız sayı yoğunluğu ve kor yarıçapını göstermektedir.

Küme	Tez Çalışması			Saurin ve diğ. (2015)		
	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)
NGC 3293	21,97 ± 0,25	7,23 ± 0,19	1,68 ± 0,16	0,27 ± 0,01	11,18 ± 6,06	1,09 ± 0,36
NGC 3766	34,53 ± 0,13	11,84 ± 0,37	0,61 ± 0,03	1,76 ± 0,01	5,26 ± 1,21	4,24 ± 0,72
NGC 6231	12,91 ± 0,27	1,68 ± 0,26	1,90 ± 0,95	0,08 ± 0,01	3,29 ± 1,39	2,63 ± 0,68

Tez çalışmasında verilen ve Saurin ve diğ.'nin (2015) üç açık küme için verdikleri yapısal parametrelerin karşılaştırılması Tablo 5.1'den görülebilir. Genel itibariyle iki çalışmadan elde edilen yapısal parametreler birbirleriyle hiç uyumlu değildir. Bu beklenmedik bir durum değildir. Çünkü Saurin ve diğ. (2015) 2MASS verilerini analiz ederken kümelerin anakollarını J görünen parlaklıklarına göre sınırlamışlardır. NGC 3293, NGC 3766 ve NGC 6231 açık kümelerinde J görünen parlaklıklarına getirilen sınırlamalar, sırasıyla, 14, 15 ve 13 kadirdir. Her iki çalışmada elde edilen sonuçların daha anlamlı bir şekilde birbirleriyle karşılaştırılması için tez çalışmasındaki kümelerin V görünen parlaklıklarına bir sınırlama getirilmiştir. Yıldızların V görünen parlaklıklarının J parlaklıklarındaki karşılıklarının belirlenmesinde Bilir ve diğ.'nin (2006) bağıntısı kullanılmıştır.

$$J = 0.957 V - 1,079 \quad (5.1)$$

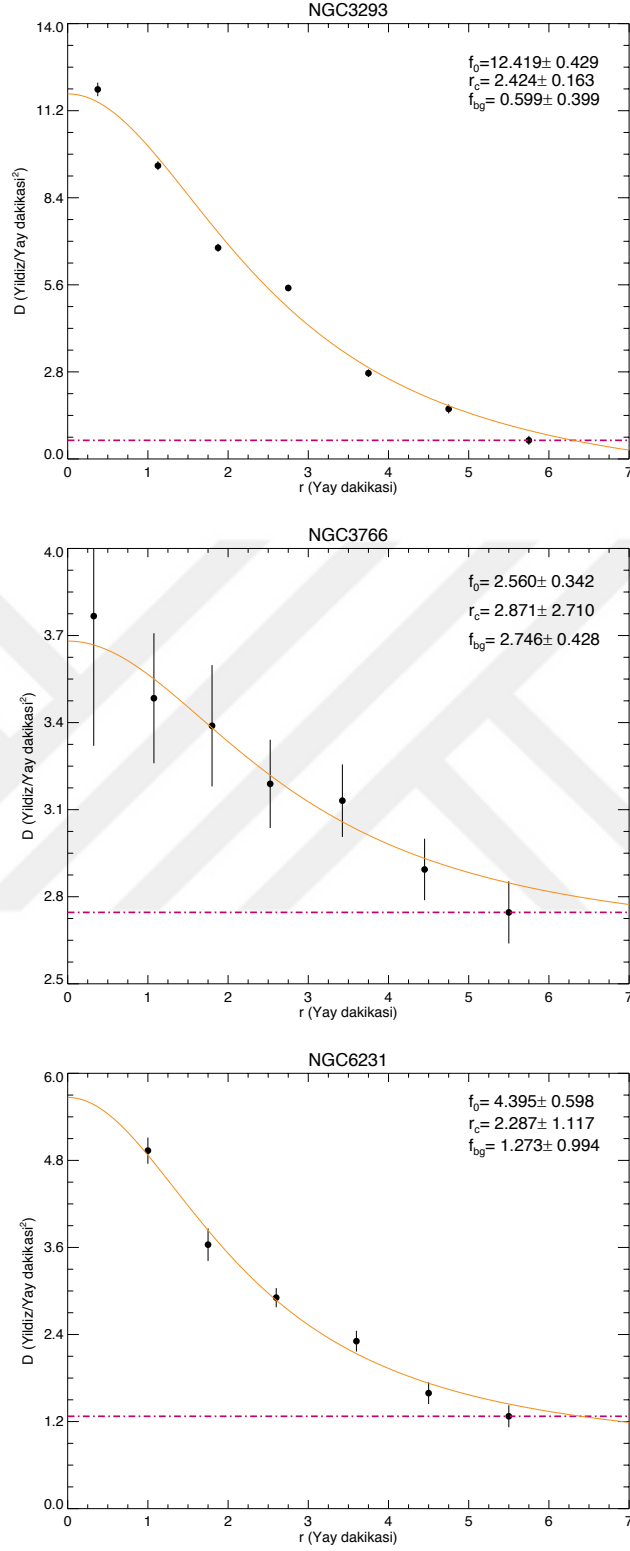
Bağıntı 5.1'den görüleceği gibi çalışmamızda bu bağıntının tersine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli ara işlem yapıldığında $V = (J - 1,079)/0,957$ bağıntısı elde edilmektedir. Bu bağıntının

NGC 3293, NGC 3766 ve NGC 6231 açık kümelerinin $J = 14$, $J = 15$ ve $J = 13$ limit kadirlerine uygulanmasıyla V görünen parlaklıkları, sırasıyla, yaklaşık $V = 15,76$, $V = 16,80$ ve $V = 14,71$ kadir hesaplanmıştır. Bu üç küme için V limit görünen parlaklıkları dikkate alındığından, yıldız yoğunluk profilleri yeniden elde edilmiştir. Bu yoğunluk profillerinde King modeli kullanılarak küme yapısal parametreleri tayin edilmiş (Şekil 5.1) ve sonuçlar Tablo 5.2’de listelenmiştir.

Tez çalışmasındaki kümelere getirilen V parlaklık sınırlaması sonucunda elde edilen parametreler Saurin ve diğ.’nin (2015) sonuçlarıyla Tablo 5.2’de karşılaştırılmıştır. Genel itibariyle tez çalışmasında hesaplanan zemin yıldız sayı yoğunlukları Saurin ve diğ.’ne (2015) göre daha büyüktür. Kümelerin merkezi sayı yoğunlukları dikkate alındığında NGC 3293 ve NGC 6231 kümeleri için tez çalışmasında hesaplanan değerlerin Saurin ve diğ.’ne (2015) göre daha büyük olduğu, NGC 3766’nın ise bu duruma ters davrandığı görülmüştür. Merkezi yıldız sayı yoğunluklarının parametre hataları dikkate alındığında iki çalışmadan elde edilen sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan küme kor yarıçapları Saurin ve diğ.’ninki (2015) ile karşılaştırıldığında NGC 3293 için daha büyükken, NGC 3766 ve NGC 6231 için daha küçüktür. Fakat bu parametredeki hatalar dikkate alındığında ise sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Parametreler arasındaki bu küçük farklılık, dönüşüm formüllerinde kullanılan bağıntıdan kaynaklanabilir.

Tablo 5.2: Saurin ve diğ.’nin (2015) çalışmasında kullandıkları limit görünen parlaklıklarının tez çalışmasına uygulanması sonucunda üç açık küme için hesaplanan yeni yapısal parametreler. Tablonun son üç sütununda Saurin ve diğ.’nin (2015) üç küme için verdikleri yapısal parametreler bulunmaktadır. Semboller Tablo 5.1’deki gibidir.

Küme	Tez Çalışması			Saurin ve diğ. (2015)		
	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)
NGC 3293	0,60±0,40	12,42±0,43	2,42±0,16	0,27±0,01	11,18±6,06	1,09±0,36
NGC 3766	2,75±0,43	2,56±0,34	2,87±2,71	1,76±0,01	5,26±1,21	4,24±0,72
NGC 6231	1,27±0,99	4,40±0,60	2,29±1,12	0,08±0,01	3,29±1,39	2,63±0,68



Şekil 5.1: NGC 3293, 3766 ve 6231 açık kümelerinin tez çalışmasında belirlenen yeni görünen V parlaklık sınırına kadar geçerli olan yıldız sayı yoğunluk profilleri. Sürekli çizgi King modeli fitini, kesikli çizgi ise küme zemin yoğunluğunu göstermektedir. Yapısal parametreler her bir panelin sağ üst köşesinde verilmiştir.

5.2. TEMEL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

5.2.1. Renk Artıkları

Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin renk artıkları $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramları üzerinde iki-renk diyagramı ve Q yöntemleri kullanılarak elde edilmiş ve sonuçları Bölüm 4.5'te verilmiştir. İki farklı yöntemden elde edilen $E(B-V)$ renk artıkları, hata değerleri için de oldukça uyumludur. Genel olarak anakol kaydırma yönteminden belirlenen $E(B-V)$ renk artıkları Q yöntemine göre 0,02 ile 0,03 kadar daha büyük hesaplanmıştır. Fakat renk artıkları için hesaplanmış bu değerler hataların dikkate alınması durumunda etkisini azaltmaktadır.

Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin literatüre kazandırılmış çalışmaları derlendiğinde fotometrik olarak hesaplanmış $E(B-V)$ renk artık değerleri tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile birlikte Tablo 5.3'te verilmiştir. Literatürde NGC 3293 açık kümesi için verilen renk artığı değerleri $0,25 \leq E(B-V) \leq 0,33$ kadir aralığındadır. Tez çalışmasında bu küme için hesaplanan $E(B-V)$ renk artığı değerleri 0,27 ve 0,29 kadir olup, bu değerler literatürdeki sonuçları desteklemektedir. Literatürde NGC 3766 açık kümesi için verilen beş çalışmada $E(B-V)$ renk artıklarına ulaşılmıştır. Bu çalışmalara göre renk artıkları $0,17 \leq E(B-V) \leq 0,21$ kadir aralığındadır. Tez çalışmasında bu küme için iki farklı yöntemden belirlenen renk artığı değerleri de 0,17 ve 0,20 kadir olup, bu değerler literatürdeki sonuçları desteklemektedir. NGC 4755 açık kümesinin tez çalışmasında iki farklı yöntemden elde edilen $E(B-V)$ renk artıkları 0,32 ve 0,34 kadirdir. Bu kümenin literatürde verilen renk artıkları incelendiğinde diğer üç kümeye göre en fazla çalışılan açık küme olduğu tespit edilmiştir. Renk artığı içeren sekiz çalışmada NGC 4755 için verilen renk artığı değerleri $0,32 \leq E(B-V) \leq 0,51$ kadir aralığında verilmiştir. Diğer kümelere göre en büyük değişim aralığına sahip bir kümedir. Tez çalışmasında küme için hesaplanan renk artığı değerlerinin literatürde verilen aralık içinde yer aldığı görülmektedir. Fakat literatürde verilen $E(B-V)$ renk artıklarının medyan değeri hesaplandığında $E(B-V) = 0,39$ kadir sonucuyla karşılaşılmakta olup çalışmamızda elde edilen renk artıklarına göre daha büyük bir değer olduğu görülmüştür. Son olarak tez çalışmasında incelenen NGC 6231 açık kümesinin $E(B-V)$ renk artığı değerleri 0,42 ve 0,45 kadir olarak hesaplanmıştır. Bu küme için literatürde verilen renk artık değerleri $0,41 \leq E(B-V) \leq 0,56$ kadir aralığındadır. Tez çalışmasındaki renk artığı değerleri literatürde verilen renk artığı değerleri içinde yer almaktadır.

Tablo 5.3: Tez çalışmasında iki farklı yöntem kullanılarak hesaplanmış $E(B-V)$ renk artıkları ile kümelerin literatürde verilen renk artıkları.

Küme	Tez Çalışması		Literatür	
	<i>İki-Renk Diyagramı Yöntemi</i>	<i>Q Yöntemi</i>	$E(B-V)$	Kaynaklar
	$E(B-V)$ (kadir)	$E(B-V)$ (kadir)	$E(B-V)$ (kadir)	
NGC 3293	$0,29 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,07$	0,27	Loktin ve diğ. (1994)
			0,25	Dambis (1999)
			0,26	Dias ve diğ. (2002)
			0,29	Netopil ve diğ. (2007)
			0,32	Delgado ve diğ. (2011)
			0,33	Kharchenko ve diğ. (2013)
NGC 3766	$0,20 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,03$	0,19	Sher (1962)
			0,20	Shobbrook (1985)
			0,17	De Marchi ve diğ. (2006)
			0,18	van den Bergh ve diğ. (2006)
			0,21	Kharchenko ve diğ. (2013)
NGC 4755	$0,34 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,03$	0,40	Perry ve diğ. (1976)
			0,36	de Waard ve diğ. (1984)
			0,44	Dachs ve Kaiser (1984)
			0,38	Frandsen ve diğ. (1989)
			0,41	Sagar ve Cannon (1995)
			0,39	Dambis (1999)
			0,32	Jenkins (2009)
			0,51	Voshchinnikov ve diğ. (2012)
NGC 6231	$0,45 \pm 0,05$	$0,42 \pm 0,06$	0,44	Feinstein ve Ferrer (1968)
			0,47	Sung ve diğ. (1998)
			0,43	Baume ve diğ. (1999)
			0,41	Lata ve diğ. (2002)
			0,46	Savage ve diğ. (2001)
			0,56	Kharchenko ve diğ. (2013)

5.2.2. Uzaklık

Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin uzaklıkları, literatürde şimdiye kadar verilmemiş hassasiyette ölçümleri yapılan küme üyesi yıldızlarının trigonometrik paralakslarından itibaren hesaplanmıştır. *Gaia* DR2 kataloğunun astronomların kullanımına açılmasıyla birlikte ciddi sayıdaki nesnenin doğrudan uzaklıkları ölçülebilir bir duruma gelmiştir. Küme üyesi olarak belirlenen yıldızların trigonometrik paralaksının $d = 1000/\pi$ (mas) bağıntısıyla hesaplanmış uzaklıklarının dağılımları, küme üyesi yıldızların uzaklık dağılım aralığını vermekle birlikte dağılıma fit edilen Gauss eğrisiyle de kümelerin ortalama uzaklıkları tayin edilmiştir. Dört açık küme için bu yöntem ile elde edilmiş uzaklıklar Bölüm 4.6'da verilmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan uzaklık verilerinin, literatürde anakol çakıştırma yöntemiyle tayin edilmiş uzaklıkları Tablo 5.4'te verilmiştir. Tablo 5.4'ten de görüleceği gibi tez çalışmasında hesaplanan uzaklıklar, literatürde farklı araştırmacılar tarafından verilen uzaklıklar ile oldukça uyumludur. Tez çalışmasında küme üyesi anakol yıldızlarının trigonometrik paralaks verilerinin uzaklığa çevrilerek belirlenmiş olması, kümeler için verilen hata değerlerini oldukça küçültmektedir. Genel itibariyle Güneş'ten $1,65 < d < 2,60$ kpc uzaklık aralığında yer alan açık kümelerin hataları, uzaklıklarının neredeyse $1/10$ 'u kadardır. Bu da *Gaia* uydu verilerinin hassas ölçümlerinden ve bu çalışmada yapılan istatistiki çalışmadan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.4: Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin üye yıldızlarının uzaklık dağılımlarından hesaplanan uzaklıkları ve literatürde verilen diğer uzaklık değerleri.

Küme	Tez Çalışması		Literatür
	d (pc)	d (pc)	Kaynaklar
NGC 3293	2586 ± 240	2458	Loktin ve diğ. (1994)
		2327	Dias ve diğ. (2002)
		2750	Baume ve diğ. (2003)
		2760	Netopil ve diğ. (2007)
		2471	Piskunov ve diğ. (2008)
		2441	Kharchenko ve diğ. (2013)
		2800	Hayes ve Friel (2014)

Tablo 5.4 (devam): Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin üye yıldızlarının uzaklık dağılımlarından hesaplanan uzaklıkları ve literatürde verilen diğer uzaklık değerleri.

Küme	Tez Çalışması		Literatür
	d (pc)	d (pc)	Kaynaklar
NGC 3766	2159 ± 215	1900	Sher (1962)
		1530	Winnenburg (1973)
		1685	Battinelli ve diğ. (1994)
		1857	Loktin ve diğ. (1994)
		2218	Dias ve diğ. (2002)
		1910	McSwain ve Gies (2005)
		1745	Piskunov ve diğ. (2007)
		2200	Hayes ve Friel (2014)
NGC 4755	2136 ± 175	2300	Dachs ve Kaiser (1984)
		1800	Frandsen ve diğ. (1989)
		2105	Loktin ve diğ. (1994)
		2100	Sanner ve diğ. (2001)
		1976	Dias ve diğ. (2002)
		2290	McSwain ve Gies (2005)
		2525	Voshchinnikov ve diğ. (2012)
		1971	Kharchenko ve diğ. (2013)
NGC 6231	1679 ± 143	1900	Feinstein ve Ferrer (1968)
		1600	Shobbrook (1983)
		1757	Raboud ve diğ. (1997)
		1990	Baume ve diğ. (1999)
		1243	Dias ve diğ. (2002)
		1570	Savage ve diğ. (2001)
		1240	McSwain ve Gies (2005)
		1250	Piskunov ve diğ. (2008)
		1590	Meingast ve diğ. (2013)
1393	Kharchenko ve diğ. (2013)		

5.2.3. Yaş

Tez çalışmasında incelenen dört açık kümede kümeye üye olarak belirlenen anakol yıldızlarının CCD UBV fotometrik parlaklıkları ve *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) trigonometrik paralaks verileri kullanılarak oluşturulan $M_V \times (U-B)_0$ ve $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları üzerine geçirilen PARSEC eş-yaş eğrileriyle (Bressan ve diğ., 2012) kümelerin yaşları tayin edilmiştir. Elde edilen bulguları Bölüm 4.8’de verilmiştir. Dört açık kümenin literatürde verilen yaş değerleri incelendiğinde çok sayıda çalışmanın bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalar 50 yıldan daha uzun bir dönemde yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan küme yaşları ve literatürdeki çalışmalardan derlenen yaşların bir listesi Tablo 5.5’te verilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda küme yaşları logaritmik olarak verildiğinden karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi için tez çalışmasında hesaplanan yaşlar hatalarıyla birlikte logaritmik ölçekte de verilmiştir.

Tez çalışmasında incelenen NGC 3293, NGC 3766, NGC 4755 ve NGC 6231 açık kümelerinin yaşları analiz edildiğinde 4 ile 22 Myıl aralığında yer aldıkları görülmüştür. Bu da kümelerin oldukça genç olduklarını göstermektedir. Bu kümelerin literatürde verilen yaş değerlerine bakıldığında dar bir yaş aralıklarında buldukları ve tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile uyumlu oldukları görülmektedir (bkz. Tablo 5.5). Açık küme çalışmalarında çoğunlukla fotometrik verilerin analizleri söz konusu olduğundan, yaş tayininde yıldız evrim modellerinden hesaplanan eş-yaş eğrileri kullanılır. Yıldız evrim modellerinin karmaşık formüller içermesi ve analitik çözümlerinin zor olması geçmişteki çalışmalarda bazı basit yaklaşımların kullanılması gerektirmiştir. Bununla birlikte çözümlerde yalnız sınırlı bir metal bolluğu aralığı için ($-1 < [Fe/H] \leq 0$ dex) eş-yaş eğrileri üretilmekteydi (VandenBerg ve Bell, 1985). Fakat günümüzde teknolojiye hızlı gelişmeler sayesinde bilgisayarlardaki donanımların ve yazılım süreçlerinin gelişmesi, yıldız evrim modellerinin karmaşık formüllerini kolaylıkla analiz edilebilir hale getirmiştir. Örneğin tez çalışmasında kullanılan PARSEC eş-yaş eğrileri de literatürdeki en güncel yıldız evrim modellerinden biri olup zaman içinde geliştirilmeleri sürdürülmektedir (Bressan ve diğ. 2012, Tang ve diğ. 2014, Chen ve diğ. 2015). Bu neden ile kümelerin yaş tayinlerinde güncel eş-yaş eğrilerinin kullanılması özellikle Galaktik ölçekte Galaksi diskinin oluşumu ve evriminin incelenmesinde homojenize edilmiş yaş verilerinin dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Tablo 5.5: Tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak hesaplanan küme yaşlarının literatürde verilen yaşlar ile karşılaştırılması. Tez çalışmasındaki sonuçların literatür ile daha kolay karşılaştırılabilmesi için elde edilen sonuçlar logaritmik olarak da verilmiştir.

Küme	Tez Çalışması		Literatür
		$\log t$	Kaynaklar
NGC 3293	$7,00 \pm 0,20$ (10 ± 6 Myıl)		7,03 Loktin ve diğ. (1994)
			7,00 Dambis (1999)
			7,01 Dias ve diğ. (2002)
			6,90 Baume ve diğ. (2003)
			6,94 Piskunov ve diğ. (2008)
			6,80 Delgado ve diğ. (2011)
			6,85 Kaltcheva ve Golev (2012)
			6,75 Kharchenko ve diğ. (2013)
			6,97 Loktin ve diğ. (2017)
NGC 3766	$7,15 \pm 0,15$ (14 ± 6 Myıl)		7,00 Sher (1962)
			7,48 Winnenburg (1973)
			7,35 Battinelli ve diğ. (1994)
			7,42 Loktin ve diğ. (1994)
			7,38 Moitinho ve diğ. (1997)
			7,40 Dambis (1999)
			7,32 Dias ve diğ. (2002)
			7,16 McSwain ve Gies (2005)
			7,52 Piskunov ve diğ. (2007)
			7,95 Kharchenko ve diğ. (2013)
NGC 4755	$7,34 \pm 0,11$ (22 ± 6 Myıl)		6,84 Perry ve diğ. (1976)
			7,06 Dachs ve Kaiser (1984)
			7,34 Frandsen ve diğ. (1989)
			7,26 Loktin ve diğ. (1994)
			7,00 Sagar ve Cannon (1995)
			7,10 Dambis (1999)
			7,30 Nilakshi ve diğ. (2002)
			7,22 Dias ve diğ. (2002)
			6,85 McSwain ve Gies (2005)
			6,98 Piskunov ve diğ. (2008)
	7,20 Pandey ve diğ. (2010)		

Tablo 5.5 (devam): Tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak hesaplanan küme yaşlarının literatürde verilen yaşlar ile karşılaştırılması. Tez çalışmasındaki sonuçların literatür ile daha kolay karşılaştırılabilmesi için elde edilen sonuçlar logaritmik olarak da verilmiştir.

Küme	Tez Çalışması		Literatür
	$\log t$	$\log t$	Kaynaklar
NGC 6231	$6,60 \pm 0,51 (4_{-3}^{+3} \text{ Myıl})$	6,70	Balona ve Laney (1995)
		6,58	Raboud ve diğ. (1997)
		6,75	Lata ve diğ. (2002)
		6,84	Dias ve diğ. (2002)
		6,82	McSwain ve Gies (2005)
		6,81	Piskunov ve diğ. (2008)
		7,00	Wu ve diğ. (2009)
		7,05	Kharchenko ve diğ. (2013)

5.2.4. Kütle Fonksiyonu

İncelenen dört genç açık kümenin IMF değerleri, yüksek lisans tez çalışmasının 4.9 bölümünde detaylı bir şekilde verilmiştir. Kümelerin literatürde ve bu tez çalışmasında hesaplanan IMF değerlerinin bir derlemesi Tablo 5.6’da verilmiştir. Ayrıca bu tabloda, hesaplamalarda kullanılan yıldız sayısı ve anakol yıldızlarının kütle aralıkları da listelenmiştir. Literatürde NGC 3293 ve NGC 6231 açık kümeleri için verilen IMF değerleri tez çalışmasında hesaplanan değerler ile, hatalar içinde, uyumludur. NGC 3766 için literatürde verilen IMF değerinin, tez çalışmasında hesaplanan IMF değerine nispeten yakın olduğu, ancak bu değerlerin hata değerleri içinde yer almadığı görülmektedir. Literatürde NGC 4755 açık kümesi için verilen IMF değerleri, -2,10 ile -1,40 aralığında olmakla birlikte tez çalışmasında hesaplanan bu değerler çok daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum, küme doğrultusundaki üye yıldızların belirlenmesinden kaynaklanabilir. Tez çalışmasında hem fotometrik hem de astrometrik yöntemler kullanıldığı için küme üyesi yıldızların seçiminin daha duyarlı olduğu iddia edilebilir. Ayrıca tez çalışmasında dört açık küme için hesaplanan IMF değerleri, Salpeter’in (1955) -1,35 değeriyle oldukça uyumludur.

Tablo 5.6: Tez çalışmasında incelenen dört açık küme için hesaplanan IMF değerleri ve literatür sonuçları. N yıldız sayısını, X ise IMF değerlerini göstermektedir. Ayrıca tabloda anakol yıldızlarının kütle aralıkları verilmiştir.

Küme	Tez Çalışması			Literatür	
	N	X	Kütle Aralığı	X	Kaynaklar
NGC 3293	173	$-1,25 \pm 0,14$	$2 < M/M_{\odot} < 17$	$-1,20 \pm 0,20$	Baume ve diğ. (2003)
NGC 3766	42	$-1,23 \pm 0,14$	$2 < M/M_{\odot} < 9$	$-1,53 \pm 0,12$	Tarrab (1982)
NGC 4755	161	$-1,14 \pm 0,20$	$2 < M/M_{\odot} < 11$	$-1,40 \pm 0,30$	Piskunov ve diğ. (2004)
				$-1,68 \pm 0,14$	Sanner ve diğ. (2001)
				$-2,10 \pm 0,23$	Tarrab (1982)
NGC 6231	136	$-1,24 \pm 0,32$	$2,6 < M/M_{\odot} < 50$	$-1,10 \pm 0,10$	Sung ve diğ. (2013b)

5.3. ASTROMETRİK VERİLERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında kümelerin fotometrik verilerinin indirgenmesinin ardından *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) verilerinin astronomların kullanımına açılması, çalışmada izlenecek yöntemlerin yeniden gözden geçirilmesine neden olmuştur. *Gaia* DR2 verilerinin şimdiye kadar görülmemiş hassasiyetlerde $G = 18$ görünen parlaklığına kadar duyarlı yapılabileceği literatürdeki çalışmalar ile ortaya konmuştur (Lindegren ve diğ. 2018, Luri ve diğ. 2018, Arenou ve diğ. 2018). Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin fotometrik ve *Gaia* DR2 öz hareket verilerinin bir arada incelenerek küme üyesi yıldızlarının belirlenmesi, kümeye ait yapısal ve astrofizik parametrelerinin duyarlı bir şekilde elde edilmesine fırsat vermiştir. Tez çalışması esnasında Cantat-Gaudin ve diğ. (2018) 1229 açık kümenin *Gaia* DR2 kataloğundaki astrometrik ve fotometrik verilerini dikkate alarak, Krone-Martins ve Moitinho (2014) tarafından geliştirilen UPMASK isimli yazılım ile küme doğrultusundaki yıldızların kümeye üyeliklerini hesaplamış, kümelerin ortalama öz hareket bileşenlerini ve uzaklıklarını tayin etmiştir. Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) incelediği kümeler gözden geçirildiğinde, tez çalışmasındaki dört kümenin de bu kümeler içerisinde yer aldığı görülmüştür. Cantat-Gaudin

ve diğ. (2018), literatüre küme parametrelerini kazandırmasının yanı sıra kümelere üye yıldızların da bulunduğu bir tablo oluşturmuştur. Şekil 5.2’de Cantat-Gaudin ve diğ.’nin (2018) kümeye üyelikleri $P=50\%$ ’den büyük olan yıldızlar ile tez çalışmasında kümeye üyelikleri fotometrik ve astrometrik yöntemlerle belirlenmiş yıldızların konumları $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramlarında alan yıldızlarıyla birlikte işaretlenmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde her iki çalışmada farklı yöntemler kullanılarak belirlenen kümelere üye yıldızların hemen hemen aynı seçildiği göze çarpmaktadır. Ayrıca iki çalışmada küme üyesi olarak seçilen yıldızların görünen V parlaklıklarına göre ayrımı Tablo 5.8’de listelenmiştir. Tablo 5.8’den görüldüğü gibi, incelenen yıldızlar $6 < V < 18$ kadir parlaklık aralığında yer almaktadır. Dikkat çeken bir başka unsur da tez çalışmasında küme üyesi olarak seçilen yıldızların Cantat-Gaudin ve diğ.’ne (2018) göre daha fazla seçildiğidir. Fakat bu durum iki çalışmada kullanılan farklı V limit parlaklıklarıyla ilişkilidir. Genel olarak benzer sayılarda küme üyesi belirlenen iki çalışmadan elde edilen ortalama öz hareket bileşenleriyle küme uzaklıklarının bir karşılaştırılması Tablo 5.7’de verilmiştir. Dört açık küme için verilen öz hareket bileşenleri ve uzaklıklar birbirine yakın değerlerdedir. Hatalar dikkate alındığında da bu uyum sürmektedir. Bu sonuç farklı bir yöntem ile tayin ettiğimiz küme üyesi yıldızların yüksek olasılıklı kümeye üye yıldızlar olduklarını göstermektedir. Ayrıca, yüksek olasılıklı yıldızlar çalışmada dikkate alındığından renk artığı, uzaklık ve yaş gibi temel astrofizik parametrelerinin de duyarlı tayin edildiği söylenebilir.

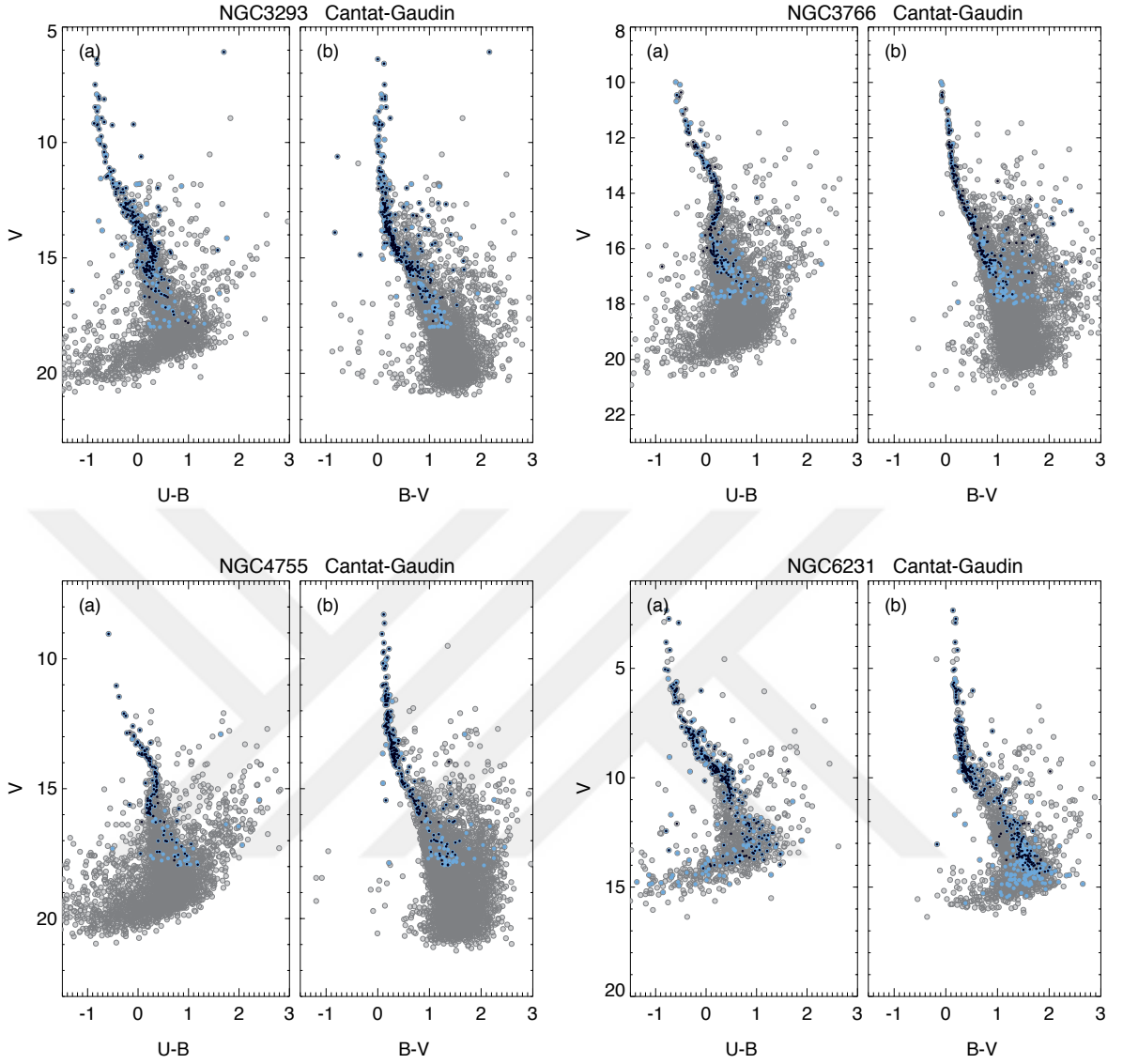
Tablo 5.7: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.’nde (2018) incelenen dört açık kümenin hesaplanan ortalama öz hareket değerleri ve Güneş’e uzaklıkları.

Küme	Tez Çalışması			Cantat-Gaudin ve diğ. (2018)		
	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ (mas/yıl)	μ_{δ} (mas/yıl)	d (pc)	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ (mas/yıl)	μ_{δ} (mas/yıl)	d (pc)
NGC 3293	$-7,690 \pm 0,246$	$+3,590 \pm 0,212$	2586 ± 240	$-7,671 \pm 0,132$	$+3,344 \pm 0,376$	2471^{+17}_{-16}
NGC 3766	$-6,940 \pm 0,076$	$+1,083 \pm 0,070$	2159 ± 215	$-6,731 \pm 0,111$	$+0,961 \pm 0,119$	2048^{+7}_{-8}
NGC 4755	$-4,603 \pm 0,027$	$-1,189 \pm 0,026$	2136 ± 175	$-4,647 \pm 0,132$	$-1,134 \pm 0,134$	2038^{+8}_{-8}
NGC 6231	$-0,218 \pm 0,091$	$-2,324 \pm 0,069$	1679 ± 143	$-0,529 \pm 0,175$	$-2,177 \pm 0,186$	1617^{+8}_{-8}

Tablo 5.8: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nde (2018) incelenen dört açık kümeye üye yıldızların V görünen parlaklığına göre sayıları verilmiştir.

V Aralığı	NGC 3293		NGC 3766		NGC 4755		NGC 6231	
	Cantat- Gaudin ve diğ. (2018)	Tez çalışması	Cantat- Gaudin ve diğ. (2018)	Tez çalışması	Cantat- Gaudin ve diğ. (2018)	Tez çalışması	Cantat- Gaudin ve diğ. (2018)	Tez çalışması
6-7	3	3	0	0	0	0	11	10
7-8	1	2	0	0	0	0	22	24
8-9	6	8	0	0	2	2	31	33
9-10	8	12	0	1	6	6	62	62
10-11	7	10	4	3	7	10	41	39
11-12	14	21	9	10	21	24	13	17
12-13	31	35	16	14	37	40	33	37
13-14	61	66	25	12	63	67	51	86
14-15	72	73	39	27	22	23	10	85
15-16	56	61	38	26	36	33	0	10
16-17	21	29	54	72	11	17	0	0
17-18	6	33	10	55	19	50	0	0
Toplam	286	353	195	220	224	272	274	403

Gaia DR2 verilerinin literatüre kazandırılmasından kısa bir süre sonra Bailer-Jones ve diğ. (2018) çalışmasında sönük parlaklıklara doğru gidildikçe $d=1000/\pi$ (mas) doğrusal bağıntısı kullanılarak uzaklıkların tayin edilemeyeceğini iddia etmektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için de yıldız uzaklıklarının olasılık dağılımlarını geometrik yöntem adı verdikleri bir algoritmayla 1,3 milyar nesneye uyarlayarak, uzaklıkları hatalarıyla birlikte yeniden tanımlamışlardır. Bu çalışmadaki en önemli husus hangi uzaklığa kadar doğrusal bağıntıların geçerli olduğunu ortaya koyabilmektir. Tez çalışmasında doğrusal yöntemle elde edilmiş uzaklıklar kullanıldığından, Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) iddiaları doğrultusunda dört kümeye üye yıldızların geometrik yöntemlere duyarlı uzaklıkları da dikkate alınarak yanlışlıklar araştırılmıştır. Tez çalışmasında küme üyesi yıldızların doğrusal yöntem ile hesaplanan uzaklıklarıyla, Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) geometrik yöntemden elde ettikleri değerler karşılaştırılmış ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



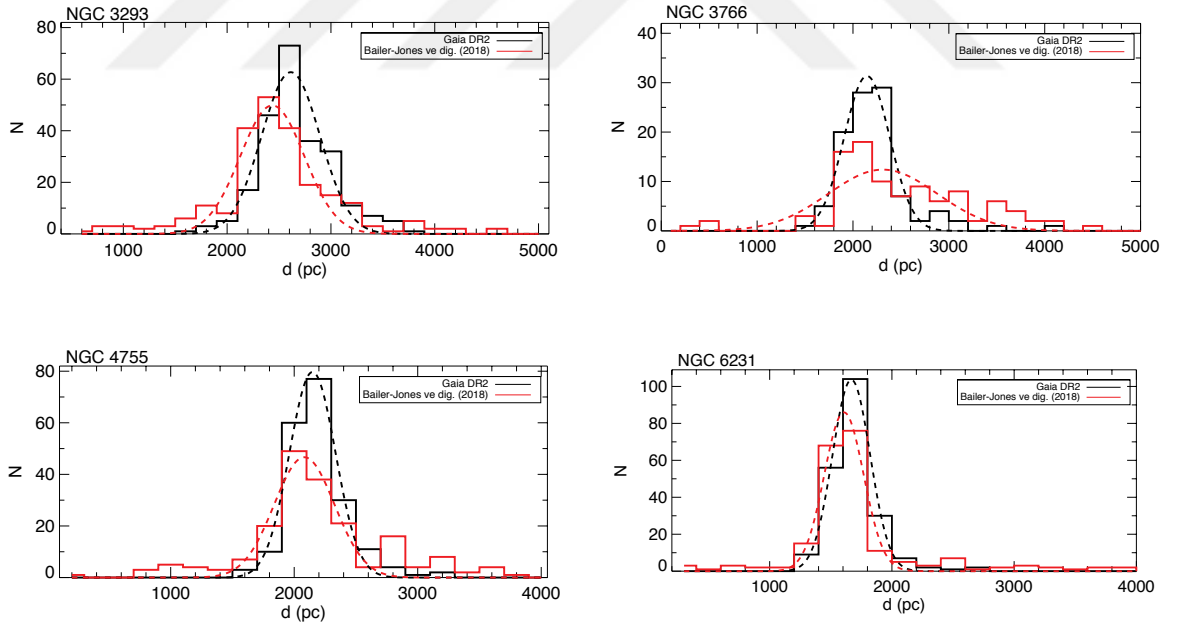
Şekil 5.2: Tez çalışmasında incelenen küme doğrultularındaki nesnelerin $V \times U-B$, $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renk-parlaklık diyagramları üzerinde siyah daireler Cantat-Gaudin ve diğ.'ne (2018) ait $P \geq \%50$ olan yıldızları, mavi daireler de bu çalışmada belirlenen küme üyelerini göstermektedir.

İki çalışmada da küme uzaklıklarının belirlenmesinde küme üyesi yıldızların uzaklıklarına Gauss fitleri geçirilerek ortalama uzaklıkları ve dağılımların yarı yükseklikteki tam genişlikleri dikkate alınarak da uzaklıktaki standart sapmaları hesaplanmıştır. Bu yöntemle hesaplanan uzaklıklar Tablo 5.9'da listelenmiştir.

İki farklı yöntemden hesaplanan uzaklıkların hemen hemen birbirine yakın olduğu ve sistematik bir fark içermediği tespit edilmiştir. Tez çalışmasında incelenen dört açık kümenin uzaklıkları

1,6-2,5 kpc aralığında bulunmaktadır. Her iki yöntemden hesaplanan uzaklıkların 2,5 kpc'ye kadar belirgin bir farklılık içermediği, bu neden ile Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) iddialarının aksine doğrusal yöntemler kullanılarak yıldız uzaklıklarının hesaplanabileceği ortaya konmuştur. Unutulmaması gereken en önemli konu, küme yıldızlarının farklı kütlelerde olsalar bile aynı element bolluğunda, aynı uzaklıkta ve aynı yaşta olmak gibi çok önemli özellikleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında dört açık küme için hassas fotometrik ve astrometrik veriler kullanılarak kümelerin yapısal ve astrofizik parametreleri elde edilmiştir. Temel parametrelerin bağımsız yöntemler ile yapılmış olması parametreler arasındaki dejenerasyonluğ u engellemiştir. Gelecekte tayfsal verilerin de küme analizlerinde sıklıkla kullanılmaya başlanmasıyla birlikte küme üyelerinin belirlenmesi, ileri istatistiksel analizlerin bu yıldızlara uyarlanmasıyla da kümelerin temel parametreleri çok hassas belirlenebilecektir. Bu durum hem homojenize edilen verilerin artmasına hem de Galaksi diskinin oluşum ve evriminin anlaşılmasında önerilen kuramsal çalışmaların sınanmasında önemli olacaktır.



Şekil 5.3: Küme üyesi yıldızların doğrusal ve geometrik yöntemler ile hesaplanmış uzaklıklarının dağılımları. Siyah histogramlar tez çalışmasındaki verileri (doğrusal yöntem), kırmızı histogramlar da Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) dağılımını (geometrik yöntem) göstermektedir. Kesikli çizgiler dağılımlara uygulanan Gauss fitlerini göstermektedir.

Tablo 5.9: Tez çalışmasında (doğrusal) ve Bailer-Jones ve diğ.'de (2018) (geometrik) hesaplanan uzaklıkların Gauss eğrilerinden bulunan ortalama değerleri.

	Tez çalışması	Bailer-Jones ve diğ. (2018)
Küme	d (pc)	d (pc)
NGC 3293	2586 ± 240	2435 ± 309
NGC 3766	2159 ± 215	2312 ± 569
NGC 4755	2136 ± 175	2082 ± 245
NGC 6231	1679 ± 143	1608 ± 162

KAYNAKLAR

- Ahumada, J., Lapasset, E., 1995, Catalogue of Blue Stragglers in Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 109, 375-382.
- Ahumada, A.V., Claria, J.J., Bica, E., Piatti, A. E., 2000, Integrated Spectral Properties of 7 Galactic Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 141, 79-88.
- Ahumada, J. A., Lapasset, E., 2007, New Catalogue of Blue Stragglers in Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 463, 789-797.
- Arenou, F., Luri, X., Babusiaux, C. ve diğ., 2018, *Gaia* Data Release 2. Catalogue Validation, *Astronomy & Astrophysics*, 616, id.A17, 29.
- Arp, H. C., van Sant, C. T., 1958, Southern Hemisphere Photometry IV: The Galactic Cluster NGC 4755, *Astronomical Journal*, 63, 341-346.
- Ashworth, W. J., Jr., 1981, Halley's Discovery of NGC 6231 and the Hazards of Early Star Nomenclature, *Journal for the History of Astronomy*, 12, 1-10.
- Baade, W., 1944, The Resolution of Messier 32, NGC 205, and the Central Region of the Andromeda Nebula, *Astrophysical Journal*, 100, 137.
- Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Mantelet, G., Andrae, R., 2018, Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in *Gaia* Data Release 2, *The Astronomical Journal*, 156, article id. 58, 11.
- Balona, L. A., Laney, C. D., 1995, CCD Strömrgren Photometry of NGC6231, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 276, 627.
- Battinelli, P., Brandimarti, A., Capuzzo-Dolcetta, R., 1994, Integrated Photometric Properties of Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 104, 379-390.
- Baume, G., Vazquez, R. A., Carraro, G., Feinstein, A., 2003, Photometric Study of the Young Open Cluster NGC 3293, *Astronomy and Astrophysics*, 402, 549-564.

- Baume, G., Vazquez, R. A., Feinstein, A., 1999, *UBVI Imaging Photometry of NGC 6231, Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 137, 233-244.
- Becker W., 1964, Vergleich der Spiralstruktur bei frühen galaktischen Sternhaufen H II-Regionen, H I-Regionen und außergalaktischen Sternsystemen. Mit 4 Textabbildungen, *Zeitschrift für Astrophysik*, 58, 202.
- Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., Nasi, E., 1994, Theoretical Isochrones from Models with New Radiative Opacities, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 106, 275.
- Bertin, E., Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for Source Extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 117, 393-404.
- Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S. G., 2006, Galactic Model Parameters for Field Giants Separated from Field Dwarfs by Their 2MASS and V Apparent Magnitudes, *Astronomische Nachrichten*, 327, 72-81.
- Binney, J., Merrifield, M., 1998, *Galactic Astronomy*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Blaauw, A., 1963, *The Calibration of Luminosity Criteria*, University of Chicago Press, IL USA, 383.
- Bonatto, C., Kerber, L. O., Bica, E., Santiago, B. X., 2006, Probing Disk Properties with Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 446, 121-135.
- Bragaglia, A., Gratton, R. G., Carretta, E., D'Orazi, V., Sneden, C., Lucatello, S., 2012, Searching for Multiple Stellar Populations in the Massive, Old Open Cluster Berkeley 39, *Astronomy & Astrophysics*, 548, id. A122, 12.
- 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., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A., 2012, PARSEC: Stellar Tracks and Isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127-145.
- Brownlee, R. R., Cox, A. N., 1953, Photoelectric Magnitudes and Colors in NGC 6231, *Astrophysical Journal*, 118, 165.
- Buckner, A. S. M., Froebrich, D., 2014, Properties of Star Clusters - II. Scaleheight Evolution of Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444, 290-302.
- Cantat-Gaudin, T. ve diğ., 2018, A *Gaia* DR2 View of the Open Cluster Population in the Milky Way, *Astronomy & Astrophysics*, 618, id. A93, 16.
- Chen, Y., Bressan, A., Girardi, L., Marigo, P., Kong, X., Lanza, A., 2015, PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars up to $350 M_{\odot}$ at Metallicities $0.0001 \leq Z \leq 0.04$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452, 1068-1080.
- Conrad, C., ve diğ., 2017, A RAVE Investigation on Galactic Open Clusters . II. Open Cluster Pairs, Groups and Complexes, *Astronomy & Astrophysics*, 600, id. A106, 15.
- Crawford, D. L., Barnes, J. V., Hill, G., Perry, C. L., 1971, Four-color and Hbeta Photometry for Open Clusters. VII. NGC 6231 and the I Sco Association, *Astronomical Journal*, 76, 1048-1057.
- Cutri, R.M., ve diğ., 2003, 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources, VizieR On-line Data Catalog: II/246. Originally Published in: University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center.
- Dachs, J., Kaiser, D., 1984, *UBV* photometry of the southern galactic cluster NGC 4755 = K Crucis, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* (ISSN 0365-0138), 58, 411-429.
- Dambis, A. K., 1999, Space-age distribution of young open clusters and observational selection, *Astronomy Letters*, 25, 7-13.
- de la Fuente Marcos, R., 1997, The Initial Mass Function and the Dynamical Evolution of Open Clusters. IV. Realistic systems, *Astronomy and Astrophysics*, 322, 764-777.

de Marchi, F., de Angeli, F., Piotto, G., Carraro, G., Davies, M. B., 2006, Search and Analysis of Blue Straggler Stars in Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 459, 489-497.

de Waard, G. J., van Genderen, A. M., Bijleveld, W., 1984, *VBLUW* Photometry of the Open Cluster NGC 4755 (K Crucis or Jewel Box), *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* (ISSN 0365-0138), 56, 373-380.

Delgado, A. J., Alfaro, E. J., Yun, J. L., 2011, Physical Parameters of Pre-main Sequence Stars in Open Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 531, 10.

Dias, W. S., Lépine, J. R. D., 2005, Direct Determination of the Spiral Pattern Rotation Speed of the Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 629, 825-831.

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

Dutra, C. M., Bica, E., 2000, Foreground and Background Dust in Star Cluster Directions, *Astronomy & Astrophysics*, 359, 347-362.

Dutra, C. M., Bica, E., 2000, New star clusters projected close to the Galactic Centre, *Astronomy & Astrophysics*, 359, L9-L12.

Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P. 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 & Astrophysics*, 537, id. A146, 18.

ESA., 1997, The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission, Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 1997, Series: ESA SP Series Vol No: 1200, ISBN: 9290923997.

Feast, M. W., 1958, Spectral types and radial velocities in the galactic cluster NGC 3293, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 118, 618.

Feast, M. W., 1963, The Galactic Cluster NGC 4755 (κ Crucis), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 126, 11.

Feinstein, A., Ferrer, O. E., 1968, The Open Cluster NGC 6231, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 80, 410.

Feinstein, A., Marraco, H. G., 1980, The Open Cluster NGC 3293 and the OB Complex in Carina, *Astronomical Society of the Pacific*, 92, 266-274.

Frandsen, S., Dreyer, P., Kjeldsen, H., 1989, Stellar Photometric Stability. I - The Open Clusters Melotte 105, NGC 2660 and NGC 4755, *Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361)*, 215, 287-304.

Froebrich, D. ve diğ., 2007, A Systematic Survey for Infrared Star Clusters with $|b| < 20^\circ$ Using 2MASS, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 374, 399-408.

Gaia Collaboration., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2016, Gaia Data Release 1. Summary of the Astrometric, Photometric, and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 595, id. A2, 23.

Gaia Collaboration., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id. A1, 22.

Geisler, D., Villanova, S., Carraro, G., Pilachowski, C., Cummings, J., Johnson, C. I., Bresolin, F., 2012, The Unique Na:O Abundance Distribution in NGC 6791: The First Open(?) Cluster with Multiple Populations, *The Astrophysical Journal Letters*, 756, id. L40, 6.

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

Girardi, L., 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.

Gozha, M. L., Borkova, T. V., Marsakov, V. A., 2012, Heterogeneity of the Population of Open Star Clusters in the Galaxy, *Astronomy Letters*, 38, 506-518.

Granada, A., Jones, C. E., Sigut, T. A. A., Semaan, T., Georgy, C., Meynet, G., Ekström, S., 2018, Quiescent and Active Phases in Be Stars: A WISE Snapshot of Young Galactic Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 155, id. 50, 22.

Hayes, C. R., Friel, E. D., 2014, Radial Velocities of Three Poorly Studied Clusters and the Kinematics of Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 147, id. 69, 10.

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

Hog, E., 2000, Tycho Star Catalogs: The 2.5 Million Brightest Stars, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Edited by Paul Murdin, article id. 2862. Bristol: Institute of Physics Publishing.

Hog, E., Fabricius, C., Makarov, V. V. ve diğ., 2000, The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 355, 27-30.

Hog, E., 2010, 400 Years of Astrometry: From Tycho Brahe to Hipparcos or From an Experiment in 1925 to Hipparcos and *Gaia* Space Missions, *Methods and Instruments in Astronomy: From Galileo Telescopes to Space Projects*.

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

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

Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2013, NGC 6811: An Intermediate-age Cluster in the Kepler Field, *The Astronomical Journal*, 145, id. 7, 15.

Jenkins, E. B., 2009, A Unified Representation of Gas-Phase Element Depletions in the Interstellar Medium, *The Astrophysical Journal*, 700, 1299-1348.

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

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.

Joshi, Y. C., Dambis, A. K., Pandey, A. K., Joshi, S., 2016, Study of open clusters within 1.8 kpc and understanding the Galactic structure, *Astronomy & Astrophysics*, 593, id. A116, 13.

Kaltcheva, N. T., Golev, V. K., 2012, Galactic Structure Toward the Carina Tangent, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124, 128.

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

Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D., 2005, Astrophysical Parameters of Galactic Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 438, 1163-1173.

Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D., Zinnecker, H., 2009, Integrated BVJHK{s} Parameters and Luminosity Functions of 650 Galactic Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 504, 681-688.

Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., Scholz, R.-D., 2013, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. II. The Catalogue of Basic Parameters, *Astronomy & Astrophysics*, 558, id. A53, 8.

Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., Scholz, R.-D., 2016, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. V. Integrated JHKS Magnitudes and Luminosity Functions, *Astronomy & Astrophysics*, 585, id. A101, 10.

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

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

- Krone-Martins, A., Moitinho, A., 2014, UPMASK: Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 561, id. A57, 12.
- Kuhn, M. A., Getman, K. V., Feigelson, E. D., Sills, A., Gromadzki, M., Medina, N., Borissova, J., Kurtev, R., 2017a, The Structure of the Young Star Cluster NGC 6231. II. Structure, Formation, and Fate, *The Astronomical Journal*, 154, id. 214, 21.
- Kuhn, M. A., Medina, N., Getman, K. V., Feigelson, E. D., Gromadzki, M., Borissova, J., Kurtev, R., 2017b, The Structure of the Young Star Cluster NGC 6231. I. Stellar Population, *The Astronomical Journal*, 154, id. 87, 32.
- Kyeong, J., Kim, S. C., Hiriart, D., Sung, E., 2008, UBVI CCD Photometry of the Old Open Cluster NGC 1193, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 41, no. 6, 147-155.
- Landolt, A. U., 2009, *UBVRI* Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions, *The Astronomical Journal*, 137, 4186.
- Lata, S., Pandey, A. K., Sagar, R., Mohan, V., 2002, Integrated Photometric Characteristics of Galactic Open Star Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 388, 158-167.
- Lindgren, L. ve diğ., 2018, *Gaia* Data Release 2. The astrometric solution, *Astronomy & Astrophysics*, 616, id.A2, 25.
- Lindsay, E. M., 1965, J. L. E. Dreyer and His New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, *Astronomical Society of the Pacific Leaflets*, 9, No. 436, 289.
- Loktin, A. V., Matkin, N. V., Gerasimenko, T. P., 1994, The Characteristics of Open Star Clusters from *UBV* Data, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 4, 153-165.
- Loktin, A. V., Popova, M. E., 2017, Updated Version of the 'Homogeneous Catalog of Open Cluster Parameters', *Astrophysical Bulletin*, 72, 257-265.
- Luri, X., Brown, A. G. A., Sarro, L. M. ve diğ., 2018, *Gaia* Data Release 2. Using *Gaia* Parallaxes, *Astronomy & Astrophysics*, 616, id.A9, 19.

- Lynga, G., 1987, *Distribution of OB Associations and Open Star Clusters*, IN: European Regional Astronomy Meeting of the IAU, 10th, Prague, Czechoslovakia, Aug. 24-29, 1987, Proceedings, 4, 121-127.
- Lyra, W., Moitinho, A., van der Bliek, N. S., Alves, J. F., 2006, VizieR Online Data Catalog: UBV(RI)c photometry of 4 open clusters (Lyra+, 2006), VizieR On-line Data Catalog: J/A+A/453/101.
- Marsakov, V. A., Gozha, M. L., Koval', V. V., Shpigel', L. V., 2016, VizieR Online Data Catalog: Abundances in Galactic open clusters, VizieR On-line Data Catalog: J/AZh/93/49.
- Mathieu, R. D., 1984, The Structure and Dynamics of the Open Cluster M11, *Astrophysical Journal*, 284, 643-662.
- Mathieu, R. D., 1985, *Radial Velocity Studies of the Internal Kinematics of Open Clusters*, Stellar Radial Velocities, Proceedings of IAU Colloquium 88, held in Schenectady, N.Y., Edited by A. G. D. Philip and David W. Latham. Schenectady: L. Davis Press, 249-256.
- Meingast, S., Handler, G., Shobbrook, R. R., 2013, Pulsating Stars in NGC 6231. Frequency Analysis and Photometric Mode Identification Near the Main-sequence, *Astronomy & Astrophysics*, 559, id. A108, 26.
- Mermilliod, J. C., 1981, Comparative Studies of Young Open Clusters. III - Empirical Isochronous Curves and the Zero Age Main Sequence, *Astronomy and Astrophysics*, 97, 235-244.
- Mermilliod, J. C., Mayor, M., Udry, S., 2008, Red Giants in Open Clusters. XIV. Mean Radial Velocities for 1309 Stars and 166 Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 485, 303-314.
- McSwain, M. V., Gies, D. R., 2005, The Evolutionary Status of Be Stars: Results from a Photometric Study of Southern Open Clusters, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 161, 118-146.
- Moitinho, A., Alfaro, E. J., Yun, J. L., Phelps, R. L., 1997, CCD UBV Photometry of the Young Open Cluster NGC 3766, *Astronomical Journal*, 113, 1359-1370.

- Moitinho, A., 2010, Observational Properties of the Open Cluster System of the Milky Way and what They Tell Us About Our Galaxy, *Star Clusters: Basic Galactic Building Blocks Throughout Time and Space*, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Vol. 266, 106-116.
- Montgomery, K. A., Marschall, L. A., Janes, K. A., 1993, CCD Photometry of the Old Open Cluster M67, *Astronomical Journal (ISSN 0004-6256)*, 106, no. 1, 181-219.
- Morgan, W. W., Gonzalez, G., Gonzalez, G., 1953, Blue Giants in the Neighborhood of NGC 6231, *Astrophysical Journal*, 118, 323.
- Mowlavi, N., Barblan, F., Saesen, S., Eyer, L., 2013, VizieR Online Data Catalog: New class of variable stars in NGC 3766 (Mowlavi+, 2013), VizieR On-line Data Catalog: J/A+A/554/A108.
- Nilakshi, Sagar, R., Pandey, A. K., Mohan, V., 2002, A Study of Spatial Structure of Galactic Open Star Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 383, 153-162.
- Netopil, A., Paunzen, E., Maitzen, H. M., Pintado, O. I., Claret, A., Miranda, L. F., Iliev, I. Kh., Casanova, V., 2007, CCD Photometric Search for Peculiar Stars in Open Clusters. VIII. King 21, NGC 3293, NGC 5999, NGC 6802, NGC 6830, Ruprecht 44, Ruprecht 115, and Ruprecht 120, *Astronomy and Astrophysics*, 462, 591-597.
- Pandey, A. K., Sandhu, T. S., Sagar, R., Battinelli, P., 2010, Integrated Parameters of Star Clusters: A Comparison of Theory and Observations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 403, 1491-1506.
- Perry, C. L., Franklin, C. B., Jr., Landolt, A. U., Crawford, D. L., 1976, Multicolor Photometry of the Open Cluster NGC 4755, *Astronomical Journal*, 81, 632-637.
- Piskunov, A. E., Belikov, A. N., Kharchenko, N. V., Sagar, R., Subramaniam, A., 2004, On the Determination of Age and Mass Functions of Stars in Young Open Star Clusters from the Analysis of Their Luminosity Functions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349, 1449-1463.

- Piskunov, A. E., Schilbach, E., Kharchenko, N. V., Röser, S., Scholz, R.-D., 2007, Towards Absolute Scales for the Radii and Masses of Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 468, 151-161.
- Piskunov, A. E., Schilbach, E., Kharchenko, N. V., Röser, S., Scholz, R.-D., 2008, Tidal Radii and Masses of Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 477, 165-172.
- 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.
- Portegies Zwart, S. F., Makino, J., Mcmillan, S.L. W., Hut, P., 2002, The Lives and Deaths of Star Clusters near the Galactic Center, *Astrophysical Journal*, 565, 265-279.
- Raboud, D., Cramer, N., Bernasconi, A., 1997, Geneva Photometry in the Young Open Cluster NGC 6231, *Astronomy and Astrophysics*, 325, 167-177.
- Sagar, R., Cannon, R. D., 1995, A Deep *UBVRI* CCD Photometric Study of the Moderately Young Southern Open Star Cluster NGC 4755 = κ Crucis, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 111, 75.
- Salpeter, E. E., 1955, The Luminosity Function and Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, 121-161.
- Sampedro, L., Dias, W. S., Alfaro, E. J., Monteiro, H., Molino, A., 2017, A Multimembership Catalogue for 1876 Open Clusters Using UCAC4 Data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470, 3937-3945.
- Sandage, A., 1957, Observational Approach to Evolution. I. Luminosity Functions, *Astrophysical Journal*, 125, 422.
- Sandage, A., 1969, New Subdwarfs. II. Radial Velocities, Photometry, and Preliminary Space Motions for 112 Stars with Large Proper Motion, *Astrophysical Journal*, 158, 1115-1136.
- Sandquist, E. L., 2004, A High Relative Precision Colour-Magnitude Diagram of M67, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 347, 101-118.

- Sanner, J., Brunzendorf, J., Will, J.-M., Geffert, M., 2001, Photometric and Kinematic Studies of Open Star Clusters. III. NGC 4103, NGC 5281, and NGC 4755, *Astronomy and Astrophysics*, 369, 511-526.
- Saurin, T. A., Bica, E., Bonatto, C., 2015, Isolating the Pre-main Sequence in Collinder 34, NGC 3293, NGC 3766 and NGC 6231, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448, 1687-1703.
- Savage, B. D., Meade, M. R., Sembach, K. R., 2001, IUE Absorption-Line Observations of the Moderately and Highly Ionized Interstellar Medium toward 164 Early-Type Stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 136, 631-702.
- Schmeja, S., Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Froebrich, D., Scholz, R.-D., 2014, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. III. 139 New Open Clusters at High Galactic Latitudes, *Astronomy & Astrophysics*, 568, id. A51, 9.
- Sher, D., 1962, The Distance of NGC 3766, *The Observatory*, 82, 63-66.
- Shobbrook, R. R., 1983, *uvby β* Photometry of Southern Clusters. III. The Lower Main Sequence of NGC 6231, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 205, 1229-1241.
- Shobbrook, R. R., 1985, *UVBY* beta Photometry of Southern Clusters. VI - NGC 3766, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (ISSN 0035-8711)*, 212, 591-599.
- Struve, O., 1944, Radial Velocities of Twenty Stars of Early Type in and Near the Galactic Cluster NGC 6231, *Astrophysical Journal*, 100, 189.
- Sung, H., Bessell, M. S., Lee, S.-W., 1998, *UBVRI* and H-alpha Photometry of the Young Open Cluster NGC 6231, *Astronomical Journal*, 115, 734.
- Sung, H., Lom, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M., Park, B., 2013a, Sejong Open Cluster Survey (SOS). 0. Target Selection and Data Analysis, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 46, 103-123.
- Sung, H., Sana, H., Bessell, M. S., 2013b, The Initial Mass Function and the Surface Density Profile of NGC 6231, *The Astronomical Journal*, 145, id. 37, 15.

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.

Tarrab, I., 1982, The Initial Mass Function for Young Open Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 109, 285-288.

Terlevich, E., 1987, Evolution of N-body Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 224, 193-225.

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

Turner, D. G., Grieve, D. R., Herbst, W., Harris, W. E., 1980, The Young Open Cluster NGC 3293 and Its Relation to CAR OB1 and the Carina Nebula Complex, *Astronomical Journal*, 85, 1193-1206.

van den Bergh, S., 1958, Old Galactic Clusters. With 1 figure in the text, *Zeitschrift für Astrophysik*, 46, 176.

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

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

Vandenberg, D. A., Bell, R. A., 1985, Theoretical Isochrones for Globular Clusters with Predicted *BVRI* and Stromgren Photometry, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 58, 561-621.

Voshchinnikov, N. V., Henning, Th., Prokopjeva, M. S., Das, H. K., 2012, Interstellar Polarization and Grain Alignment: The Role of Iron and Silicon, *Astronomy & Astrophysics*, 541, id. A52, 10.

Wielen, R., 1971, The Age Distribution and Total Lifetimes of Galactic Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 13, 309-322.

Winnenburg, W., 1973, The Young Galactic Cluster NGC 3766, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 24, 157.

Wu, Z.-Y., Zhou, X., Ma, J., Du, C.-H., 2009, The Orbits of Open Clusters in the Galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 2146-2164.

Yilmaz, F., 1976, Three-colour Photometry of the Galactic Cluster NGC 3766, *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 26, 1.

Zhai, M., Abt, H., Zhao, G., Li, C., 2017, The Shape Evolution of Galactic Open Clusters from Observations Under Galactic External Forces, *The Astronomical Journal*, 153, id. 57, 7.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Büşra Ayşe Akti
Doğum Yeri	Beyoğlu / İstanbul
Doğum Tarihi	19.02.1994
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05376525093
E-Posta Adresi	busrayseakti@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	17.06.2015

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.	