



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**SEÇİLMİŞ AÇIK KÜMELERİN FOTOMETRİK ve ASTROMETRİK
ANALİZİ**

Burcu AKBULUT

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Serap AK**

Ağustos, 2020

İSTANBUL

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzak Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzak Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Serap AK (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

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.

Proje Destekleri

Bu tez, 119F014 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumunun (TÜBİTAK) projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

“İstikbal göklerde” sözünü örnek aldığım, bilime, kültüre ve sanata verdiği değer sayesinde benim gibi kız çocuklarına, bulunduğumuz coğrafyada bilim yapma imkanı tanıdığı için Türkiye Cumhuriyeti’nin kurucusu olan Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK’e saygı ve şükranlarımı sunuyorum. Sen olmasaydın, bu tez de olmazdı.

Sevginin en güçlü halini hissettiğim, verdikleri sevgi ve destek sayesinde daha mutlu bir birey olarak ayaklarımın üzerinde durmamı sağlayan en değerli varlıklarım olan, iyi ve kötü günlerde daima yanımda yer alan sevgili ailem; Annem Neriman AKBULUT’a, Babam Nizam AKBULUT’a, Ablam Hatice PİRAZ’a, Serhat PİRAZ’a ve yeğenlerim Yüstra Hatun ve Gökçe’ye,

Bir insana verebilecek en değerli şey vakittir. Bana lisansüstü eğitimim boyunca vakit ayırıp her türlü problemlerime çözüm bulup yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Serap AK’a,

Bilimsel bilgi ve birikimlerini paylaşmasının yanısıra verdiği motivasyon ve fikirleriyle, lisansüstü öğrenim süresince bana destek olan Prof. Dr. Selçuk BİLİR’e,

Tez çalışmasındaki kümelerin gözlemleri ve ön analizleri sırasında deneyimlerini benimle paylaştığı için Prof. Dr. Tansel AK’a

Tezimin fotometrik analizlerine yardım eden Dr. Talar YONTAN’a,

Lisansüstü eğitimim boyunca hep yanımda olup destek veren değerli arkadaşlarım, Mürvet Çelebi DEMİR, Dr. Sabiha Gültekin TUNÇER, Deniz YAZICI ve Ayşe Büşra Akti YERLİTAŞ’a,

Öyle dostlar vardır ki kardeş olmanız için kan bağına gerek yoktur. Ömrüm boyunca yanımda görmek istediğim, sunduğu bakış açısıyla her türlü problemimi çözüme ulaştıran, değer ve yargılarıyla kendime örnek aldığım canım dostum Kübra ŞAHİN’e,

Berber geçirdiğimiz zaman boyunca her zaman desteğini ve sevgisini hissettiğim, karakteri, bilimsel düşünce yapısı, hayata bakış açısı ve entelektüel bilgi birikimiyle bana rol model olan, bugünlere gelmemi sağlayan yol arkadaşım Öğr. Görevlisi Eyüp Kaan ÜLGEN’e,

İyi bir evlat yetiştirmenin yanısıra, bana verdikleri destek sayesinde bir ailenin sonradan da kazanılacağını hissettiğim, iyi ve kötü günlerimde yanımda olan Hülya Zehra ÜLGEN, Arafat ÜLGEN ve Tuğba ÜLGEN’e,

Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümünün sağladığı bilimsel ortam için Bölüm Başkanlığına,

Bu tez çalışmasını 119F014 proje numarasıyla destekleyen TÜBİTAK’a,

En içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ağustos 2020

Burcu AKBULUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1 AÇIK KÜMELER VE ÖNEMİ	6
2.1.1 Açık Kümelerin Sınıflandırılması	10
2.1.2 Açık Küme Gözlemleri ve Kataloglar	12
2.1.3 Açık Kümelerin Uzay Dağılımları	15
2.1.4 Açık Kümelerin Renk-Parlaklık ve İki-Renk Diyagramları.....	19
2.1.5 Açık Kümelerin Temel Parametreleri	22
2.1.6 Açık Kümelerin Üye Yıldızları	24
2.1.7 Açık Kümelerde Kütle Fonksiyonu.....	25
2.2 <i>GALIA</i> UYDUSU	28
2.3. <i>GALIA</i> ÇAĞINDA AÇIK KÜMELER	29
2.4 İNCELENEN AÇIK KÜMELERİN LİTERATÜR ÖZETİ	33
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	35
3.1. GÖZLEMLER.....	35
3.2. CCD KALİBRASYONLARI.....	39
3.2.1 Sıfır Görüntüsü	39
3.2.2 Kara Akım Görüntüsü	39
3.2.3 Düz Alan Görüntüsü.....	40
3.3. STANDART YILDIZLARIN FOTOMETRİSİ	40
3.4. AÇIK KÜMELERİN ASTROMETRİSİ VE FOTOMETRİSİ.....	42
3.5. ALETSEL PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ	43

3.6. SIFIR YAŞ ANAKOLU BAĞINTILARI	44
3.7. KÜME ÜYESİ YILDIZLARIN BELİRLENMESİ.....	45
3.8. KÜME VERİLERİNİN KIZARMADAN ARINDIRILMASI.....	48
3.9. KÜMELERİN METAL BOLLUĞU TAYİNİ.....	49
3.10. KÜMELERİN UZAKLIK VE YAŞ TAYİNLERİ.....	51
4. BULGULAR.....	53
4.1 KÜME VERİLERİNİN ANALİZİ	54
4.2. KÜMELERİN YAPISAL PARAMETRELERİ	59
4.3. KÜMELERİN ÜYE YILDIZLARI	60
4.4. KÜMELERİN RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI	65
4.5. KÜMELERİN KIZARMA DEĞERLERİ	69
4.6. KÜMELERİN METAL BOLLUKLARI	70
4.7. KÜMELERİN UZAKLIK MODÜLLERİ VE YAŞLARI	72
4.8. KÜMELERİN KÜTLE FONKSİYONLARI.....	74
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	76
5.1 CZERNİK 2 AÇIK KÜMESİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	77
5.2 NGC 7654 AÇIK KÜMESİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	77
5.3. KÜMELERİN ASTROMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	80
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: OmegaCAM verileri kullanılarak elde edilen ve 59.95×46.56 yaydakikası görüş alanına sahip Orion Bulutsusunun gerçek renkli görüntüsü (ESO/G. Beccari, 2017).....	1
Şekil 1.2: (a) NGC 1783 küresel kümesinin ve (b) LH 72 OB oymağının <i>Hubble Uzay Teleskobu</i> 'ndan, (c) M67 açık kümesinin Palomar Gözlemevi'nden alınmış görüntüleri.	2
Şekil 2.1: Pleiades açık yıldız kümesi.....	8
Şekil 2.2: Samanyolu'nda meydana gelen iç ve dış etkiler sonucu kümelerin kütle kaybına uğrayarak dağılıp yok olmasının sebepleri.	10
Şekil 2.3: Trumpler'a göre sınıflandırılmış açık kümeler. Sütunlardaki Roma rakamları (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmanın derecesini, satırlardaki küçük harfler (r, m ve p) kümelerdeki yıldız sayılarını göstermektedir.	11
Şekil 2.4: NGC 7789 açık yıldız kümesi.....	13
Şekil 2.5: Açık kümelerin (a) tüm yaşlar, (b) 0-200 Myıl yaş aralığı, (c) 200-1,000 Myıl yaş aralığı ve (d) 1 Gyl'dan büyük yaşlar için Galaktik merkeze olan uzaklıklarına göre dağılımı (Bonatto ve diğ., 2006).	18
Şekil 2.6: <i>MWSC</i> kataloğundaki kümelerin Galaktik <i>XY</i> düzlemindeki dağılımı. Mavi noktalar açık kümeler ve oymakları; kırmızı üçgenler küresel kümeleri; noktalı çember uzak açık kümelerin bulunduğu Galaksi diskinin sınırını (~20 kpc) göstermektedir. Kalın açık mavi ve ince lila eğriler diskin kenarına uzanan spiral kolların konumunu temsil etmektedir. Güneş'in ((<i>X</i> , <i>Y</i>) = (0, 0) kpc)) çevresindeki 1,8 kpc yarıçaplı sarı çember kataloğun tamlık sınırını, (<i>X</i> , <i>Y</i>) = (8.5, 0) kpc'deki x sembolü Galaktik merkezi işaret etmektedir (Kharchenko ve diğ., 2013).	18
Şekil 2.7: M5 küresel kümesi (sol) ve Hyades açık kümesinin (sağ) renk-parlaklık diyagramları.....	20
Şekil 2.8: M35 açık kümesinin renk- parlaklık diyagramı (Meibom ve diğ., 2011). Mavi renk fotometrik, yeşil renk öz hareketlerinden ve kırmızı renk radyal hızlarından seçilen üye yıldızları göstermektedir.	20
Şekil 2.9: Uzaklık modülünün belirlenmesini gösteren şematik renk-parlaklık diyagramı.....	21
Şekil 2.10: Kızarmanın belirlenmesini gösteren şematik iki-renk diyagramı.....	22

Şekil 2.11: M67 kümesinin $V \times V-I$ renk-parlaklık diyagramı (Montgomery ve diğ., 1993).....	24
Şekil 2.12: Literatürdeki başlangıç kütle fonksiyonlarının karşılaştırılması. (Offner ve diğ., 2014).....	27
Şekil 2.13: Temsili <i>Gaia</i> uydusu.....	29
Şekil 2.14: <i>Gaia</i> DR2 fotometrik sistemi ile tanımlanan düzeltilmiş G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP}	29
Şekil 2.15: <i>Gaia</i> DR2 verileriyle 4,276,690 yıldız için oluşturulmuş H-R diyagramı.	32
Şekil 2.16: <i>Gaia</i> DR2 verileri kullanılarak oluşturulan 32 açık kümenin yaşlarına göre renklendirilmiş H-R diyagramı.....	32
Şekil 2.17: Czernik 2 (sol) ve NGC 7654 (sağ) açık kümelerinin <i>SIMBAD</i> veri tabanından alınmış görüntüleri.	34
Şekil 3.1: Fotometri ve astrometri amaçlı gözlemlerde kullanılan 1.0 m ayna çaplı T100 teleskobu, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi/Bakırtepe.	36
Şekil 3.2: <i>UBV</i> filtrelerinin normalize edilmiş geçirgenlik eğrileri.	37
Şekil 3.3: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin T100 teleskobuyla V bandında alınmış görüntüleri.....	38
Şekil 4.1: Czernik 2 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 5,077 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.	55
Şekil 4.2: NGC 7654 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.	55
Şekil 4.3: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusunda belirlenen yıldızların V görünen parlaklıklarına göre frekans dağılımları. Ok sembolü tamlık sınırını göstermektedir.....	56
Şekil 4.4: NGC 7654 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.	58
Şekil 4.5: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinin yıldız sayı yoğunluğu profilleri. Kırmızı düz çizgi King model fitini, mavi kesikli çizgi zemin yoğunluğunu göstermektedir.	60
Şekil 4.6: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinin <i>UPMASK</i> yazılımıyla hesaplanmış kümeye üyelik olasılıklarının histogramları.	62
Şekil 4.7: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusundaki yıldızların <i>Gaia</i> DR2 kataloğundan alınan astrometrik verilerinin öz hareket uzayındaki konumları. Renk ölçeği <i>UPMASK</i> yazılımıyla hesaplanan kümeye üyelik	

olasılıklarını göstermektedir. Panellerin sağ üst köşelerindeki çizimler öz hareket uzayında incelenen açık kümelerin ayrıntılı konumunu vermektedir.	63
Şekil 4.8: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusundaki yıldızların ekvatorial koordinat sisteminde öz hareket vektörlerine göre oluşturulmuş diyagramları. Oklar kümeye üyelik olasılığına göre renklendirilmiştir. Kesikli çember kümelerin etkin olduğu gökyüzü parçasını, kare sembolü de kümelerin ekvatorial koordinat sistemindeki merkezini göstermektedir.....	64
Şekil 4.9: Czernik 2 (a,b) ve NGC 7654 (c,d) kümeleri doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları.....	66
Şekil 4.10: Czernik 2 (a,b) ve NGC 7654 (c,d) kümeleri doğrultusunda tespit edilen tüm yıldızlar ile küme üyeliği yüksek yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renkli yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir.....	67
Şekil 4.11: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) kümeleri doğrultusunda tespit edilen tüm yıldızlar ile küme üyeliği yüksek yıldızların $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renkli yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir. Uzun noktalı kesikli çizgi Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisini, kısa noktalı kesikli çizgi çift yıldız etkisinden dolayı ZAMS eğrisinin 0.75 kadir yukarı ötelenmiş halini göstermektedir.	68
Şekil 4.12: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık küme yıldızlarının $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramları. Kümelerin anakolunda bulunan ve kümeye üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızlar gri daire sembolüyle, Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle, dağılımın $\pm 1\sigma$ belirsizliği ise yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.	70
Şekil 4.13: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinde belirlenen F ve G tayf türü anakol yıldızlarının $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramlarındaki konumları (üst panel) ve $(B-V)_0 = 0.6$ kadir renk indeksine normalize edilmiş morötesi artık değerlerinin frekans dağılımları (alt panel). Üst ve alt panellerdeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades kümesinin anakolunu ve dağılıma fit edilen Gauss eğrisini temsil etmektedir.	71
Şekil 4.14: Czernik 2 (a ve b) ve NGC 7654 (c ve d) açık kümelerinin $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları ve küme üyesi yıldızları en iyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri. renkli ve gri daireler, sırasıyla, kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan ve küme alanında tespit edilen yıldızları, mavi kesikli çizgi kümenin uzaklık modülünü ve yaşını veren en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler de yaş tayinindeki belirsizlikleri göstermektedir.....	73
Şekil 4.15: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri için hesaplanan kütle dağılımları (kırmızı noktalar) ve bu dağılıma yapılan doğrusal fit (mavi çizgi). Ortalama kütlelere ait hatalar Poisson istatistiğine ($1/N$) göre hesaplanmıştır.	75
Şekil 5.1: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) kümeleri için iki farklı uzaklık yöntemi (Bailer-Jones ve diğ., 2018 ve Gaia işbirliği, 2018) ile hesaplanan küme üyesi yıldızların uzaklık histogramları ve bu histogramlara fit edilen Gauss eğrileri.	81

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: <i>UBV</i> filtrelerine ait etkin dalga boyları ve yarı band genişlikleri (Fiorucci ve Munari, 2003).	36
Tablo 3.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin ekvatorial ve Galaktik koordinatları.	37
Tablo 3.3: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin gözlem tarihleri, gözlemlerde kullanılan filtreler, poz süreleri ve görüntü sayıları.	38
Tablo 3.4: Gözlemlerde kullanılan standart yıldız alanları ve ekvatorial koordinatları.	41
Tablo 3.5: 6 ve 7 Ekim 2018 geceleri için (3.3-3.5) bağıntılarıyla hesaplanan atmosferik sönmülemeyle standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ve gecelik sabitler.	44
Tablo 3.6: Farklı ışıma gücü sınıfına (V, III, Ia ve Ib) ait yıldızların kızarmadan arındırılmış <i>B-V</i> , <i>U-B</i> ve <i>V-I</i> renk indeksleri (Sung ve diğ., 2013).	45
Tablo 4.1: Görünen <i>V</i> parlaklığına göre hesaplanan ortalama fotometrik hatalar. <i>N</i> , parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır.	54
Tablo 4.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin zemin ve merkezi yoğunlukları ile kor yarıçapları.	59
Tablo 5.1: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin tez çalışmasında elde edilen ve literatürde verilen astrofizik parametreleri.	78
Tablo 5.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin üç farklı yöntem ile hesaplanan uzaklıkları.	82

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

A_V	: V bandındaki sönümlleme miktarı
b	: B bandı âletsel kadiri
b	: Galaktik enlem
d	: Güneş'e uzaklık
$B-V$	: $B-V$ renk indeksi
C	: Gecelik sabit
$E(B-V)$	: $B-V$ renk artışı
$E(U-B)$	: $U-B$ renk artışı
f	: Morötesi artışıının $B-V=0.6$ rengine kalibrasyonunda kullanılan sabit
k	: Parlaklık ve renklerdeki birinci mertbe sönümlleme katsayıları
k'	: Parlaklık ve renklerdeki ikinci mertbe sönümlleme katsayıları
l	: Galaktik boylam
$[Fe/H]$	: Demir bolluğu
M_V	: Mutlak parlaklık
r	: Küme merkezinden uzaklık
r_c	: Kümenin kor yarıçapı
R_V	: Sönümlleme katsayısı
t	: Küme yaşı
u	: U bandı âletsel kadiri
$U-B$	: $U-B$ renk indeksi
$(U-B)_H$	: Hyades kümesine ait $U-B$ renk indeksi
V	: Görünen parlaklık
V	: Anakol yıldızı
v	: V bandı âletsel kadiri
X	: Hava kütlesi
Z	: Ağır element bolluğu
α	: Standart sisteme dönüşüm katsayısı
α_{2000}	: Sağ açıklık (2000 epoğuna göre)
δ_{2000}	: Dik açıklık (2000 epoğuna göre)
$\delta(U-B)$	: Morötesi artışı
$\delta(U-B)_{0.6}$	: $B-V=0.6$ için normalize edilen morötesi artışı
σ_V	: V parlaklığındaki hata
σ_{U-B}	: $U-B$ renk indeksindeki hata
σ_{B-V}	: $B-V$ renk indeksindeki hata
γ	: Korelasyon katsayısı
λ	: Dalgaboyu
$\Delta\lambda$	: Band genişliği
μ	: Uzaklık modülü
ξ	: Gözlenen yıldız alanının merkezinin zenit uzaklığı
χ^2	: Ki-kare değeri
ρ	: Yıldız yoğunluğu

<i>Ia</i>	: Parlak süper dev yıldız
<i>Ib</i>	: Daha az parlak süper dev yıldız
<i>III</i>	: Dev yıldız
<i>P</i>	: Bir yıldızın kümeye üyelik olasılığı



Kısaltmalar	Açıklama
Å	: Angström
CCD	: Charge Coupled Device
FWHM	: Full Width at Half Maximum
Gaia	: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
Gyl	: Milyar yıl
H-R	: Hertzsprung-Russell
IC	: Index Catalogue
IDL	: Interactive Data Language
IMF	: Initial Mass Function
IRAF	: Image Reduction and Analysis Facility
km	: Kilometre
kpc	: Kiloparsek
mas	: Mili yay saniyesi
MWSC	: The Milkyway Star Cluster Catalogue
Myıl	: Milyon yıl
NGC	: New General Catalogue
PARSEC	: Padova And Trieste Stellar Evolution Code
pc	: parsek
PPMXL	: Position and Proper Motion Extended-L
PSF	: Point Spread Function
Python	: Python Programlama Dili
RVS	: Radyal-Hız Spektrometresi
SExtractor	: Software for source extraction
SIMBAD	: Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
sn	: Saniye
S/N	: Sinyal/Gürültü
TUG	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
T100	: TUG yerleşkesindeki 100 cm ayna çaplı teleskop
2MASS	: Two Micron All-Sky Survey
UCAC	: USNO CCD Astrograph Catalog
UPMASK	: Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Clusters
WEBDA	: Web version of the database known as BDA
ZAMS	: Zero Age Main Sequence

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEÇİLMİŞ AÇIK KÜMELERİN FOTOMETRİK VE ASTROMETRİK ANALİZİ

Burcu AKBULUT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Serap AK

Tez çalışmasında, Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin CCD *UBV* fotometrik ve *Gaia* DR2 kataloğundaki astrometrik verileri kullanılarak hem yapısal hem de astrofizik parametreleri elde edilmiştir. Bu kümelerin fotometrik gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki T100 teleskobuyla yapılmıştır. Czernik 2 kümesinin yapısal ve astrofizik parametreleri ilk kez bu tez çalışmasında elde edilirken, NGC 7654 kümesinin değerleri de güncellenmiştir. Czernik 2'nin merkezi yoğunluğu, $f_0 = 1.426 \pm 0.663$ yıldız/(yay dakikası)², kor yarıçapı $r_c = 0.988 \pm 0.879$ yay dakikası, renk artığı $E(B-V) = 0.49 \pm 0.02$ kadir, metal bolluğu $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.03$ dex ve yaşı $t = 650 \pm 100$ Myıl olarak hesaplanmıştır. NGC 7654'ün merkezi yoğunluğu, $f_0 = 3.024 \pm 0.274$ yıldız/(yay dakikası)², kor yarıçapı $r_c = 4.663 \pm 0.699$ yay dakikası, renk artığı $E(B-V) = 0.57 \pm 0.05$ kadir, metal bolluğu $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.02$ dex ve yaşı $t = 37 \pm 5$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin, sırasıyla, $X = 1.30 \pm 0.49$ ve $X = 1.49 \pm 0.12$ olarak hesaplanan başlangıç kütle fonksiyonları Güneş civarı için verilen $X = 1.35$ değeriyle uyumludur.

Ağustos 2020, 107 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi: Açık Kümeler, Fotometri: *UBV*, Astrometri: *Gaia*

SUMMARY

M.Sc. THESIS

PHOTOMETRIC AND ASTROMETRIC ANALYSIS OF SELECTED OPEN CLUSTERS

Burcu AKBULUT

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Serap AK

In the thesis study, both structural and astrophysical parameters of open clusters Czernik 2 and NGC 7654 were obtained by using CCD *UBV* photometric and astrometric data in the *Gaia* DR2 catalog. Photometric observations of these clusters were performed with the T100 telescope at the TUBITAK National Observatory. Structural and astrophysical parameters of Czernik 2 cluster were obtained for the first time in this thesis, while the values of NGC 7654 cluster were also updated. The central density and core radius of Czernik 2 were estimated to be $f_0 = 1.426 \pm 0.663$ star/arcmin² and $r_c = 0.988 \pm 0.879$ arcmin, respectively, while colour excess, metallicity and the age were found to be $E(B-V) = 0.49 \pm 0.02$ mag, $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.03$ dex and $t = 650 \pm 100$ Myr, respectively. The central density and core radius of NGC 7654 were found to be $f_0 = 3.024 \pm 0.274$ star/arcmin² and $r_c = 4.663 \pm 0.699$ arcmin, respectively, while colour excess, metallicity and the age were estimated as $E(B-V) = 0.57 \pm 0.05$ mag, $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.02$ dex and $t = 37 \pm 5$ Myr, respectively. The initial mass functions of the open clusters Czernik 2 and NGC 7654 were calculated as $X = 1.30 \pm 0.49$ and $X = 1.49 \pm 0.12$, respectively, are compatible with the $X = 1.35$ value given for the Solar vicinity.

August 2020, 107 pages.

Keywords: Galaxy: Open Clusters, Photometry: *UBV*, Astrometry: *Gaia*

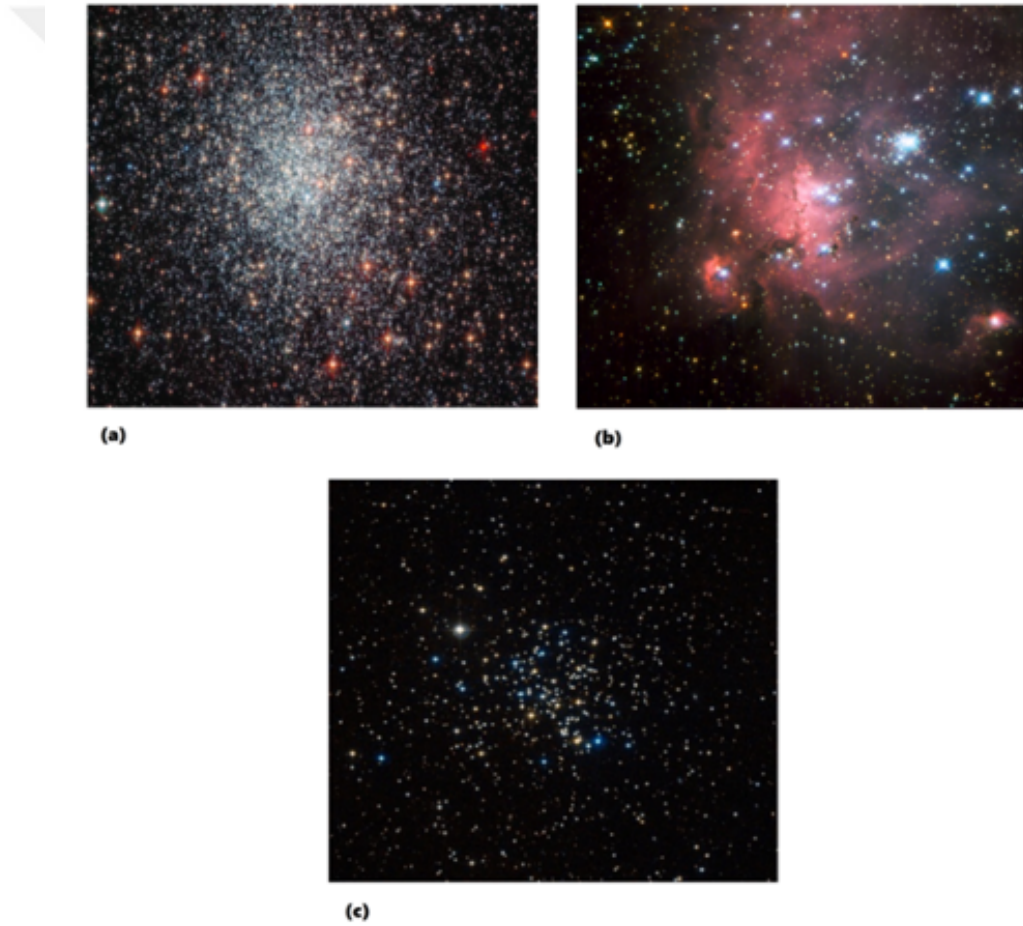
1. GİRİŞ

İnsanlar eski çağlardan beri gökyüzündeki farklı nesneleri merakla gözleyip keşfetmenin yanı sıra, bazı karanlık alanların da yıldızlar arasındaki boşluklar olabileceğini düşünmüşlerdir. Şimdi biliyoruz ki bu karanlık alanlar, arkalarında kalan yıldızları görmemizi engelleyen gaz ve toz barındıran dev yıldızlararası bulutlardır. Galaksimizdeki yıldızlar da bu bulutlardan doğmuştur. Dev molekül bulutlarında bulunan gaz ve toz çeşitli dış etkiler sonucu tetiklenip sıkışarak yıldızları oluşturur. Molekül bulutları yoğunlukları ve büyüklükleri homojen olmayan yığın ve kor gibi alt yapıları içerirler. $0.5-5 M_{\odot}$ kütlelerinde, $0.03-0.2$ pc büyüklüğünde ve ortalama $10^4-10^5 \text{ cm}^{-3}$ yoğunluğunda olan molekül bulutlarının korları yeni yıldız oluşum bölgeleridir. Bu korlar, tek yıldızların veya çoklu sistemlerin (ör; çift yıldızlar) oluştuğu yerlerdir. $50-500 M_{\odot}$ kütlelerinde, $0.3-3$ pc büyüklüğünde ve ortalama $10^3-10^4 \text{ cm}^{-3}$ yoğunluğunda olan yığınlar ise yıldız kümelerini oluşturur (Bergin ve Tafalla, 2007). Bulutun kimyası oluşacak yıldızın veya yıldız kümesinin bundan sonraki evrimini belirler. Dev molekül bulutuna örnek olarak, Avcı (Orion) Kompleksi gösterilebilir (Şekil 1.1). Galileo'nun dediği gibi Galaksimiz Samanyolu kümelerde bir arada duran sayısız yıldız topluluklarından başka bir şey değildir. Ya da Lada ve Lada'nın (2003) ifade ettiği gibi yıldızların çoğu kümelerde oluşur. Spiral bir galaksi olan Samanyolu genç yıldız bakımından zengindir. Dev molekül bulutlarının çoğu Galaksimizin spiral kollarında olduğundan burada yıldız oluşumu fazladır.



Şekil 1.1: OmegaCAM verileri kullanılarak elde edilen ve 59.95×46.56 yaydakikası görüş alanına sahip Orion Bulutsusunun gerçek renkli görüntüsü (ESO/G. Beccari, 2017).

Astronomların keşfettiği üç temel yıldız topluluğu vardır: “Küresel Kümeler”, “Açık Kümeler” ve “Yıldız Oymakları” (Şekil 1.2). Küresel kümeler çok yaşlı yıldızlar içerirken açık kümeler ve oymaklar genç yıldızlar içerir. Bu nesneler birbirlerinden farklı özelliklere sahip yıldız topluluklarıdır. Bu toplulukların birbirlerinden farklı yapılara sahip olmasında Galaksi’nin iç ve dış etkileri olacağı gibi, kendi evrimsel süreçleri de etkilidir. Yıldız oluşumu ve evrimi hakkında bildiklerimizin çoğu küme yıldızlarının incelenmesinden gelir. Bir kümede bulunan yıldızların aynı zamanda oluştuğu gerçeği, farklı kütlelerdeki yıldızların evrimlerinin nasıl ve ne hızla olacağı hakkında önemli bilgiler sunar. Dolayısıyla Galaksi’nin oluşumu ve evriminin anlaşılmasında kümelerin önemli bir yeri vardır.



Şekil 1.2: (a)¹ NGC 1783 küresel kümesinin ve (b)² LH 72 OB oymağının *Hubble Uzay Teleskobu*’ndan, (c)³ M67 açık kümesinin Palomar Gözlemevi’nden alınmış görüntüleri.

¹ <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/hubble-sees-a-youthful-cluster>

² <https://www.spacetelescope.org/images/potw1147a/>

³ <https://freestarcharts.com/messier-67>

Yıldız kümeleri Galaksimizin halo, disk ve şişkin bölgesinde bulunur. Küresel kümeler, Galaksimizin şişkin bölgesinde ve çoğunlukla halo bileşeninde bulunan, birkaç onbin hatta milyonlarca yıldız içeren geniş ve yoğun yıldız topluluklarıdır. Yıldızlar küme merkezinde yoğunlaşarak küresel bir yapı oluşturmakta, merkezden dışarıya doğru gidildikçe yıldız yoğunluğu azalmaktadır (Şekil 1.2a). Küresel kümelerin yıldız yoğunluğu merkezlerinde parsek küp başına 100'den 1,000 yıldıza kadar artarken ortalama yıldız yoğunluğu 0.5'tir. Küresel kümeler geniş bir uzay hacmine yayılmış yıldız toplulukları olmalarına rağmen, üye yıldızlarının aynı uzaklıkta, aynı yaşta ve benzer kimyasal kompozisyona sahip oldukları kabul edilir. Ayrıca bulundukları bölgede yıldızlararası gaz ve toz az bulunduğundan yıldız oluşumu söz konusu değildir. Bu nedenle, küresel kümeler karmaşık olmayan yıldız topluluklarının en iyi örneklerinden biridir ve yıldız popülasyon çalışmaları için önemlidirler. Farklı boyutları, yıldız yoğunlukları ve kütleleri olduğundan yıldız ve Galaksimizin evriminin anlaşılmasında evrenin doğal laboratuvarıdır. Küresel kümeler hem Galaksi içinde hem de dışındaki yıldızlarla olan etkileşimlerini, oluşum süreçlerini ve çevresiyle olan ilişkilerini çalışmak için ideal nesnelerdir. Küresel küme yıldızları yaşlıdır ve Güneş'in metal bolluğuna kıyasla, metalce fakirdirler. Bu kümelerin Galaksimizde oluşan ilk nesneler olduğu düşünülmektedir. Galaksi'nin halo bileşeninde bulunan küresel kümeler, Evrende tanımlanan en yaşlı cisimlerdir. Bu sebeple küresel kümelerin içinde bulunan beyaz cüceler incelenerek evrenin yaşı hakkında bir tahmin yapılabilir. Samanyolu Galaksisi'nde 157 küresel küme bulunmaktadır (Harris, 2010).

Oymaklar, kümelerden yıldız yoğunluğunun çok küçük ve belli bir tayf türünden yıldızların yüzdesinin fazla oluşu ile ayrılır. Oymakları oluşturan yıldızların büyük çoğunluğu benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Oymaklar, kütleçekimleri yıldızları birarada tutmak için yeterli olmadığından dağınık ve yıldızlar bireysel olarak kendi yollarına devam ederler. İki oymak grubu vardır: O ve B tayf türü sıcak, mavi dev yıldızlardan oluşan OB oymakları (Şekil 1.2b) ve parlaklıkta düzensiz değişimler gösteren daha soğuk, küçük kütleli T Tauri yıldızlarını içeren T oymakları. OB oymakları boyut açısından açık kümelerden daha büyüktür ve genellikle çekirdek olarak bir veya daha fazla açık küme içerirler. Bu oymaklarda aynı yıldızlararası buluttan oluşmuş büyük kütleli, yaşları birkaç milyon yıl olan çok genç yıldızlar bulunur. Oluştukları bulutun kimyasal yapısını yansıtırlar. Bu yıldızlar çok sıcak olduklarından etrafında bulunan hidrojen gazını iyonize ederek HII bölgelerini oluştururlar.

OB oymakları ve HII bölgeleri Galaksimizin sarmal kollarının temsilcisidir. Literatürde, 100-500 ışık yılı çapında bir bölgeye dağılmış birkaç 10 ile birkaç 100 arasında yıldız içeren oymaklardan düşük yoğunluklu sistemler olarak bahsedilir. Bulundukları buluttaki gaz ve tozun neden olduğu opaklık sebebiyle elektromanyetik tayfın optik bölgesinde gözlenmeleri zordur. Bulutun içinde gömülü bulunan bu genç yıldızları, gaz ve tozdan daha az etkilenen yakın kızılötesi dalgaboyunda gözlemlemek mümkündür (Adams ve diğ., 1987). Yıldız oymaklarının bulunduğu bölgeler olan spiral kollar, aktif yıldız oluşumu gösterirler. Bu yıldızlar birbirlerine kütleçekimsel olarak zayıf bağlıdır. Kütleçekimsel olarak zayıf bağlı olan yıldız oymakları 10-100 Myıl gibi kısa bir zaman diliminde birbirlerine bağlı kalırlar. Özellikle son 30 yılda Galaksimizde bulunan yıldız oymakları ile ilgili çalışmalar, yer tabanlı yakın kızılötesi teleskoplar, gelişmiş kızılötesi dedektörler ve uzay tabanlı kızılötesi teleskopların teknolojik olarak gelişmesiyle artmıştır.

Galaktik düzlem civarında bulunan açık kümeler büyüklüklerine bağlı olarak onlarca ya da binlerce yıldız içerir (Şekil 1.2c). Üstelik bu yıldızlar geniş bir tayf ve ışıma gücü sınıfı aralığında bulunur. Açık kümeler, aynı zamanda ve aynı molekül bulutundan doğan kütleçekimsel olarak birbirlerine bağlı yıldız gruplarıdır. Bu nedenle bir açık kümedeki yıldızların metal bollukları, uzaklıkları ve yaşları aynıdır. Bununla birlikte kümedeki yıldızların kütlesi geniş bir aralıkta dağılır. Tüm bunlar, açık kümeleri yıldız evrimi modellerinin sınanmasında, başlangıç kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde, Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasında kullanışlı bir laboratuvar haline getirir. Galaksi diskinde genç, orta yaşta ve yaşlı olmak üzere farklı yaşlarda açık kümeler bulunur. Genç kümeler başlangıç kütle fonksiyonunun elde edilmesini sağlarken orta yaştaki ve yaşlı açık kümeler ise Galaktik diskin evrimini belirleyen süreçler hakkında bilgi edinilmesini sağlar. O halde, açık küme gözlemlerinden elde edilen astrofizik parametrelerinin duyarlı ve iyi bilinen yöntemlerle tayin edilmesi, yıldız oluşumu ve evrimi modellerinin tutarlı hale getirilmesinde önemlidir.

Açık kümeler, hem Galaksimizin yapısı hem de yıldız evriminin fiziği çalışmaları için kilit rol oynayan nesneler olduklarından eksiksiz ve homojen bir sayımı yapılmalıdır. *Gaia* DR2'nin (Gaia işbirliği, 2016; 2018) yayımlanmasından bu yana daha önce tespit edilememiş olan açık kümelerin keşfi örneklerimizin tam olmadığını kanıtlamıştır. Bu nedenle Galaktik diskin yapısı ve evriminin anlaşılmasında hem açık küme örneğinin tamamlanması hem de daha önce tespit

edilen açık kümelerin astrofizik parametrelerinin duyarlılığının artması için ayrıntılı gözlemsel çalışmalarının tekrarlanması gerekir.

Yüksek lisans tez çalışmasında, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) Bakırlıtepe/Antalya yerleşkesindeki 1.0 metre ayna çaplı T100 teleskobu kullanılarak gözlenen açık kümelerden NGC 7654 ve Czernik 2 kümelerinin fotometrik analizi yapılarak yapısal parametreleri geliştirilmiş yöntemlerle duyarlı bir şekilde belirlenecektir. Açık küme çalışmalarındaki en büyük zorluk, küme üyesi yıldızların belirlenmesidir. Kümelerin dinamik evrimlerinden dolayı her açık küme farklı merkezi yoğunluklarda ve büyüklüklerde bulunabilir. Bu nedenle küme yıldızlarının alan yıldızlarından ayırt edilmesinde zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bunun için, literatürde bulunan güncel öz hareket verileri de kullanılarak NGC 7654 ve Czernik 2 kümelerinin fotometrik ve astrometrik analizi yapılacaktır. CCD *UBV* fotometrik ve *Gaia* DR2 astrometrik verileri birleştirilerek iki kümenin astrofizik parametreleri farklı yöntemlerle belirlenerek yaş tayinindeki parametre dejenerasyonluğunun önüne geçilmeye çalışılacaktır. Tezdeki 2. kısımda açık kümeler hakkında genel bilgiler, 3. kısımda açık küme gözlemleri, elde edilen veriler, verilerin analizinde kullanılan yöntemler, 4. kısımda yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular, 5. kısımda da sonuçlar ve tartışmalar yer almaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

Galaksimizin genel şeklini resmetmek için, araç olarak kullandığımız astronomik nesnelerin uzaklıklarını hesaplamak ve dağılımlarını incelemek gerekir. Bu amaç için, alan yıldızlarının fotometrik uzaklıklarını hesaplayan Herschel'in (1785) tarihsel çalışmalarından bu yana gezegenimsi bulutsular, RR Lyrae yıldızları, sefeidler, OB yıldızları veya HII bölgeleri, kümeler gibi çeşitli nesneler kullanılmıştır. Literatürde Galaktik diskin kümeler kullanılarak incelendiği pek çok çalışma vardır. Galaksi'nin diskine ait yıldız kümeleri açık kümeler olarak adlandırılır. Yaşları ve uzaklıkları, fotometri yardımıyla bir modele bağlı olarak basit bir şekilde hesaplanabildiğinden Samanyolu'nun yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılan nesnelerdir. Açık kümeler geniş bir yaş aralığını içerdikleri ve Galaksi diskinde her yerde bulundukları için hem diskin kimyası (örneğin, diskin metal bolluğu gradyenti) hem de zamanla evrimi ve dinamiğinin (örneğin, radyal göç) belirlenmesinde de rol oynarlar.

2.1 AÇIK KÜMELER VE ÖNEMİ

Trumpler (1930), tayfsal türleri bilinen açık küme yıldızlarının görünen parlaklıklarını kullanarak hesap edilen uzaklıklarının açısız çaplarından elde edilenlerden sistematik bir şekilde daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Bu sistematik farkın sebebi, yıldızlararası ortamdaki tozdan dolayı yıldızların uzaklıklarının daha büyük hesaplanmasıdır. Yıldızlararası ortam tarafından sönmüşmenin varlığını kanıtlayan Trumpler'in (1930) çalışmasından bu yana açık kümeler Galaksimizin dinamiğini, oluşumunu ve evrimini anlamak ve analiz etmek için kullanılmaya başlanmıştır.

Galaksimizde yıldız oluşumu başlıca spiral kollarda meydana gelir. Doğmuş oldukları yerden çok fazla ayrılmayan genç yıldız kümeleri de yeni yıldız oluşumunun göstergesi olup Galaksi'nin spiral kollarını temsil ederler ve spiral kol yapısını haritalamak için uzun süredir kullanılmaktadırlar (Becker ve Fenkart, 1970; Lada ve Lada, 2003). Yaşı 20 Myıl'dan daha genç kümeler Galaksi'nin spiral yapısıyla uyum gösterirken daha yaşlı olan açık kümeler ise Lynga'nın (1982) çalışmasında gösterildiği gibi spiral yapıyla uyumlu değildir.

Galaktik düzlem civarında yıldız oluşumu halen devam ettiğinden açık kümelerin evrimleri de hala sürmektedir. Samanyolu'nun düzlemi civarında oluşan bu yıldızlar genç, parlak ve sıcak yıldızlardır. Açık kümeler, Galaksi düzleminde bulunduklarından buradaki gaz ve tozdan

etkilenirler. Özellikle optik bölgede (390 ve 700 nm) çalışılacağı zaman gaz ve tozun etkileri de dikkate alınmalıdır. Açık küme yıldızlarının büyük çoğunluğu görünür dalgaboyunda gözlenemese de yakın kızılötesi bölgede yeni doğmuş küme yıldızlarını görebiliriz.

Açık kümeler, Samanyolu'nun spiral kollarını da içeren disk bileşeninde bulunan, aynı kökeni paylaşan, yıldızları birbirlerine kütleçekimsel olarak bağlı olan birkaç yüz ile birkaç bin yıldızdan oluşan genç yıldız topluluklarıdır. Galaktik kümeler olarak da bilinen bu yıldız topluluğu, gaz ve toz bakımından zengindir, bu da yıldız oluşumu sonucunda arta kalan maddenin göstergesidir. Gökyüzü taramalarında çevredeki alandan daha yoğun oldukları için kolayca fark edilirler. Şekilleri küresele yakın ve yarıçapları birkaç parsektir. Mutlak parlaklık aralığı $-8 < M_V < 5$ olup gökyüzünde geniş bir alan kaplarlar. Görüş alanına çok fazla alan yıldızı karışmasından dolayı küme üyelerini net bir şekilde belirleyebilmek, açık küme çalışmalarının en büyük sorunudur.

Açık kümeler ve OB oymakları, küresel kümelerden farklı olarak, Galaksi'deki aktif yıldız oluşum sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Galaksimizde bulunan yıldızların çoğunun, dev molekül bulutlarının içindeki yıldız oluşum bölgelerinden oluştuğu düşünülmektedir (Carpenter, 2000). Molekül bulutunun büyüklüğüne ve çökme koşullarına bağlı olarak, gazın yaklaşık %10-30'luk bir kısmı, yıldız oluşumu sırasında tüketilir (Adams ve Myers, 2001; Lada ve Lada, 2003) Açık küme çalışmaları Galaktik diskin yapısı, kinematiği, dinamiği, oluşumu ve evrimi hakkında bir fikir vermektedir. Özellikle Samanyolu'nda yıldızların oluşumu ve evriminde var olan gizemleri incelemek açısından, bu yıldız gruplarının oluşumu ve evrimini anlamak önemlidir. Ayrıca, üyeleri aynı yaşta olduklarından, genç yıldızların özelliklerini incelemek ve yıldız evrim teorilerini sınırlamak için de ideal laboratuvar ortamıdır. Açık kümeler özellikle, küçük ve orta kütleli yıldızları içerdiklerinden yıldız evrimini çalışmak için uygun nesnelerdir. Kümelerin astrofizikte önemli olmasının bir diğer sebebi ise, Galaksi'nin temel yapı taşlarının olduğuna inanılmasıdır (Kroupa, 2005; Assmann ve diğ., 2011).

Açık yıldız kümelerinin klasik ve en iyi bilinen örneği, kış mevsiminde kuzey yarımküreden gözlenen, çıplak gözle (kişinin gözüne bağlı olarak) 7 ile 10 arasında yıldızının görüldüğü Pleiades'tir (Şekil 2.1). Literatürde pek çok çalışması olan Pleiades kümesine güçlü teleskoplarla bakıldığında yıldız sayısı 1,000'i aşmaktadır.



Şekil 2.1: Pleiades açık yıldız kümesi⁴.

Samanyolu’nu anlamak için yapılan çalışmalarda, açık kümelerin kullanılmasının temel nedeni; kızarma, uzaklık, yaş, hız ve metal bolluğu gibi astrofizik parametrelerinin alan yıldızlarına kıyasla daha duyarlı bir şekilde elde edilmesidir. Açık kümeler, Galaksi’nin oluşumu, yapısı ve evriminin anlaşılmasında kullanılırken bazı problemlerle de karşılaşılır. Bunlardan en önemlisi, Galaktik düzlemde yoğun şekilde bulunan alan yıldızlarının küme yıldızları ile karışmasıdır. Bu durum, özellikle dinamik evrimlerinden dolayı yıldızlarını kaybetmiş seyrek kümelerin parametrelerinin dejeneriliğine neden olur. Bu etki, özellikle metalce fakir yaşlı açık kümeler dikkate alındığında görülür. Açık kümelerin parametreleri belirlenirken bunlara da dikkat edilmelidir.

Galaksimizin diskinde bulunan açık kümelerin kimyasal içerikleri, Güneş’inki ile benzerdir. Küresel küme yıldızlarına kıyasla, açık kümeler metalce daha zengindir. Açık küme çalışmalarından elde edilen sonuçlar, yıldızların ve Galaksi’nin evrimi süresince, kimyasal olarak zenginleşmesini tanımlayan modellerin anlaşılmasını sağlamıştır. Açık küme çalışmalarında 2000’li yıllardan itibaren F ve G tayf türüne sahip yıldızlar, kümenin metal bolluğunu belirlemek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. F ve G tayf türündeki yıldızlar, H-R diyagramında anakolun alt bölümünde bulunurlar. Bu yıldızların en önemli özellikleri, evrimlerinin ilk aşamasından anakoldan ayrılmasına kadar geçen ömürlerinde atmosfer

⁴ <https://apod.nasa.gov/apod/ap130918.html>

yapılarının değişmemesidir. F ve G yıldızları orta kütleli yıldızlar olduklarından anakoldan ayrılma süreleri uzundur. Orta kütleli yıldızların iç yapısındaki radyatif bölgenin geniş ve henüz kromosfer tabakasını atmamış olması, bu yıldızların atmosferlerinin kimyasal içeriklerinin günümüze kadar değişmemesini sağlamıştır. Bu sayede F ve G yıldızlarının atmosferik parametrelerini (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, metal bolluğu) belirleyerek yıldızların iç yapısı hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Sonuç olarak F ve G yıldızları, Galaksimizin oluşum senaryolarını sınamak, metal bolluğu gradyentini belirlemek ve evrenin element bolluğuna ulaşmak için en önemli nesnelerdir.

Açık kümeler genç yıldızlara sahip olduklarından metal bollukları $-0.55 < [Fe/H] < +1$ dex aralığındadır. Metal bollukları belirlenirken Güneş'e en yakın ve literatürde pek çok çalışması olan Hyades kümesi kullanılır (Sandage, 1969). Samanyolu'nda metalce fakir olan açık kümelere pek fazla rastlanmadığından metal bolluğundaki değişim açık kümelerin özelliklerini daha az etkileyen faktördür. Açık kümeler, Galaksimizde uzak noktalara kadar gözlenebildiğinden ve yaşları da duyarlı tayin edilebildiğinden Galaksimizin diskindeki metalce zenginleşmeyi ortaya koyabilecek önemli nesnelerdir.

Küme üyesi yıldızlar hemen hemen paralel doğrultularda ve yaklaşık aynı hızlarda toplu olarak hareket ederler ve karşılıklı olarak birbirlerini kütleçekimsel olarak etkilerler. Küme yıldızları Galaksi merkezi etrafında da dolanırlar. Dolayısıyla açık küme yıldızları Galaksi dışı etkilerden kaynaklanan çekimsel tedirginlikler de yaşarlar. Galaksi'nin hem iç hem de dış dinamikleri sonucunda açık kümeler dağılıp yok olabilirler. Bahsedilen bu iç ve dış etkiler Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



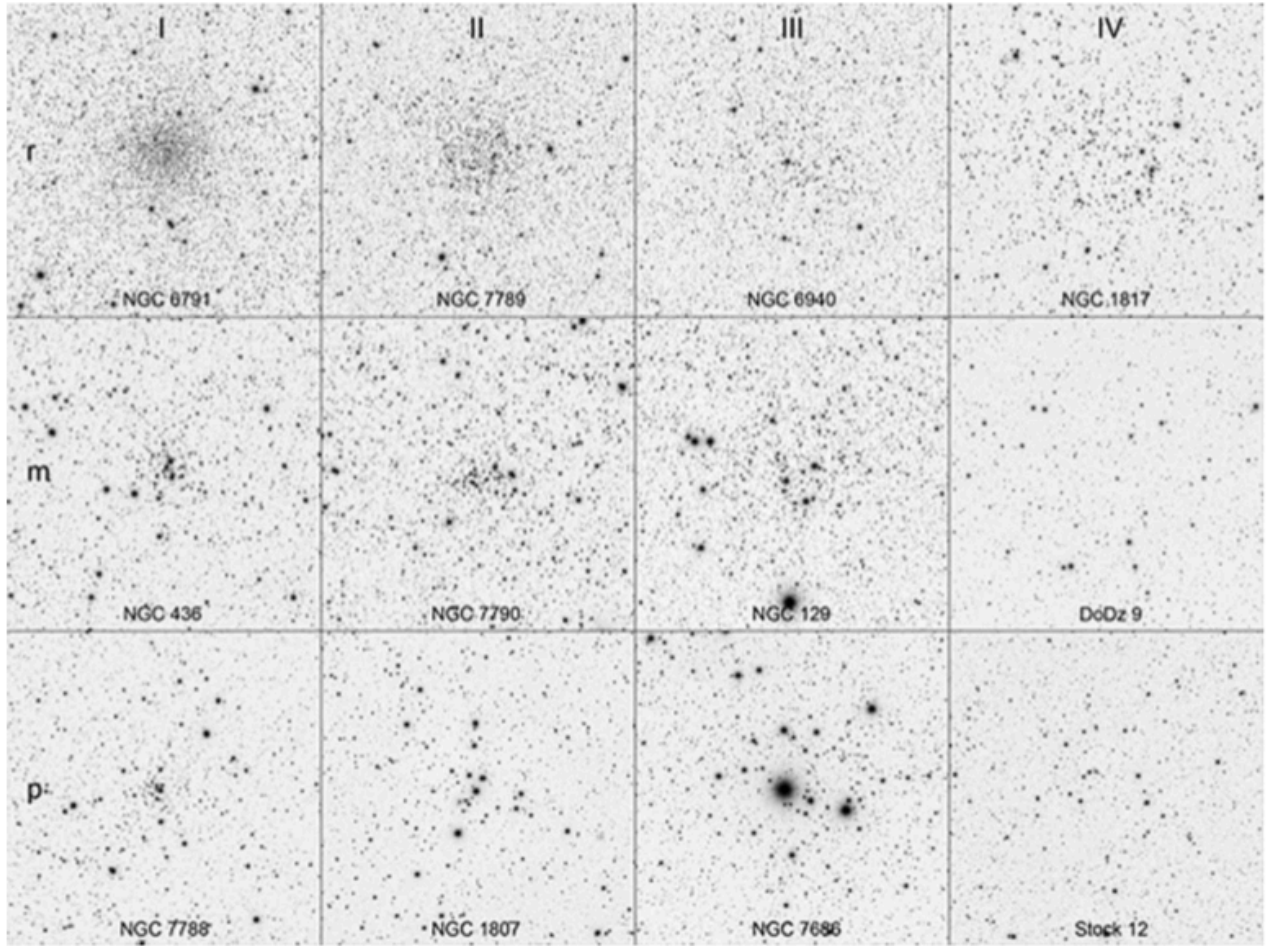
Şekil 2.2: Samanyolu’nda meydana gelen iç ve dış etkiler sonucu kümelerin kütle kaybına uğrayarak dağılıp yok olmasının sebepleri.

Açık kümelerin Galaksi’nin yapısını anlamak için yapılan çalışmalarda kullanılmasının avantajı, üye yıldızlarının her birinin kızarma değerlerini, hızlarını, yaşlarını, uzaklıklarını ve metal bolluklarını alan yıldızlarına kıyasla daha duyarlı belirlenmesidir. Açık kümeler sadece Samanyolu’nun yapısının araştırılmasında yararlanılan araçlar değildir kendi başlarına da ilginç hedeflerdir. Bir gaz ve toz bulutundan oluşan benzer kimyasal bileşime ve yaşa sahip homojen yıldız grupları olduğundan yıldız oluşumu ve evrimi üzerine yapılan çalışmalar için de ideal laboratuvarlardır. Açık küme gözlemlerinden elde edilen astrofizik parametrelerinin duyarlı ve iyi bilinen yöntemlerle belirlenmesi, yıldız oluşumu ve evrimi modellerinin tutarlı ve hassas hale gelmesinde önemlidir.

2.1.1 Açık Kümelerin Sınıflandırılması

Yüzyıllar önce, yapay aydınlatmanın ve teleskobun olmadığı dönemlerde, insanların gökyüzüne aşinalığı bugünden daha fazlaydı ve yıldızlardan elde ettikleri bilgiler kendilerine tarımda, avcılıkta, göçte ve dini olaylarda yardım etti. Karanlık gökyüzünü gözleyerek Galaksimizin parlak yıldızlarının gökyüzünde boydan boya kuşatan puslu bir şerit oluşturduğunu, takımyıldızların mevsimsel olarak değiştiğini, gezegenlerin yıldızlara göre gece boyunca yer değiştirdiklerini fark ettiler. Teleskobun icadıyla da astronomi bilimi bir ivme kazandı ve birçok yeni keşif yapıldı. Gökyüzünü incelemek üzere teleskobu ilk kullanan kişi Galileo’dur. Galileo’nun çalışmalarının önemini ilk değerlendirenlerden biri olan Giovanni Batista Hodierna (1654), bulutsuların ve kümelerin gözlemlerini içeren bir kitapçık yayımlamıştır ve derin uzay nesneleri için sınıflandırma sistemini deneyen ilk kişi olarak bilinir.

Bugün, açık kümeleri tanımlamak için genellikle Trumpler (1930) tarafından geliştirilen sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Trumpler (1930) çalışmasında açık kümelerin uzaklıklarının, boyutlarının ve uzay dağılımlarının belirlenmesinden ve öneminden bahsetmektedir. Trumpler (1930) açık kümeleri morfolojik özelliklerine göre sınıflandırırken üç kriter dikkate almıştır: (1) küme yıldızlarının merkezde yoğunlaşma derecesi ve alan yıldızlarından ne ölçüde ayrılabilirdiği, (2) üye yıldızların parlaklık aralığı ve (3) kümenin içerdiği toplam yıldız sayısı. Her kriter için alt sınıflar oluşturularak sırasıyla, Roma ve Latin rakamları ile küçük harfler kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Trumpler'a göre sınıflandırılmış açık kümeler⁵. Sütunlardaki Roma rakamları (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmanın derecesini, satırlardaki küçük harfler (r, m ve p) kümelerdeki yıldız sayılarını göstermektedir.

⁵ http://www.astrophoton.com/trumpler_class.htm

İlk olarak, açık kümeler yıldızlarının merkezde yoğunlaşmalarına ve alan yıldızlarından ayrılabilmelerine göre dört gruba ayrılmış ve Roma rakamı ile yüksek yoğunlaşmadan düşüğe doğru sırasıyla I, II, III ve IV şeklinde sınıflandırılmıştır. Buna göre;

- I.** Kuvvetli merkezi yoğunlaşmaya sahip ve alan yıldızlarından ayrılan kümeler.
- II.** Merkezi yoğunlaşması az olan ve alan yıldızlarından ayrılan kümeler.
- III.** Dikkat çekici yoğunlaşması olmayan, alan yıldızlarından ayrılan, seyrek fakat düzgün dağılım gösteren kümeler.
- IV.** Alan yıldızlarından iyi ayrılamayan ve yıldız alanı gibi görünen kümeler.

Bundan sonra, kümeler yıldızların parlaklık aralığına göre üç gruba ayrılmış ve Latin rakamı ile 1, 2 ve 3 şeklinde sınıflandırılmıştır. Buna göre;

- 1.** Küme içindeki yıldızların çoğunluğu aynı parlaklıkta.
- 2.** Küme içindeki yıldızların çoğunluğu orta parlaklıkta.
- 3.** Küme içindeki yıldızların parlak ve sönük yıldızlardan oluşması.

Küme sınıflandırma sistemindeki üçüncü kriter, kümede bulunan ve aşağıdaki gibi p (fakir), m (orta derecede) ve r (zengin) küçük harfleriyle gösterilen kümeye üye yıldız sayısıdır:

- p.** yıldız sayısı 50'den az olan kümeler.
- m.** yıldız sayısı 50 ile 100 arasında olan kümeler.
- r.** yıldız sayısı 100'den fazla olan kümeler.

Trumpler sisteminde, herhangi bir bulutsu ile ilişkili kümeler ise sınıflandırılmanın sonuna eklenen “n” harfi ile gösterilir. Örneğin, bir bulutsu ile çevrelenen NGC 3293 açık kümesinin Trumpler sınıflandırması I3rn'dir.

2.1.2 Açık Küme Gözlemleri ve Kataloglar

Açık kümeler, aynı kökeni paylaşan, aynı uzaklık, kimyasal içerik ve yaşta olduğu düşünülen nesnelerdir. Bu nedenle, yıldız oluşum sürecini, yıldız yapısı ve evrimini incelemek, Hyades ve Pleiades kümelerinden başlayıp daha uzaktaki kümelere doğru Galaksimizin, diğer galaksilerin ve tüm evrenin uzaklık ölçeğini kalibre etmek ve en önemlisi Galaksi'nin yapısı, oluşumu ve evrimini araştırmak için astronomik laboratuvar olarak hizmet sunan ideal nesnelerdir. Her

gözlenen küme kimyasal içerik, yaş ve çevresinin etkilerini inceleyebileceğimiz devam eden bir deneydir.

Bununla birlikte, yıldız kümeleri üzerinde çalışmaktan çok daha fazlası, bir kümeye dürbün veya teleskopla bakan herkesin muazzam güzellikte ve simetride nesneler görmesidir. İster çıplak gözle, ister küçük bir teleskopla ya da dürbünle zarif bir güzellikte görülen Pleiades (Şekil 2.1) gibi bir küme, ya da büyük bir teleskopla binlerce yıldızı görülen NGC 7789 gibi bir küme olsun, açık kümeler hayranlık ve şaşkınlık uyandırır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: NGC 7789 açık yıldız kümesi⁶.

Yıldız kümelerinin gözlenmesi ve incelenmesi çok eski zamanlara dayanır. Çıplak gözle görülebilen bazı kümelerin yıldız sayıları (Pleiades ve Hyades açık kümeleri gibi) teleskobun icadıyla binlercesine artmıştır.

Hodierna (1654), teleskobun icadıyla önceden bilinen bulutsu ve yıldız kümelerini gözleyerek ve kendi keşfettiklerini de ekleyerek bir kitapçık yayımlamıştır. Hodierna'nın (1654) ardından Nicholas-Louis de Lacaille (1755) tarafından yayımlanan 9,776 güney yıldızını içeren katalog gelir. Katalogta, bu yıldızlara ek olarak, çoğu yeni keşif olan 42 bulutsu ve yıldız kümesi de vardır. 18. yüzyılın sonlarında yeni derin uzay nesnelerinin keşfinde eksponansiyel bir artış yaşanmıştır. Charles Messier (1784), 103 nesne içeren bir katalog yayımlamıştır. Bu nesnelerin içinde 30 kadarı açık kümeler, geriye kalanları küresel kümeler, bulutsular ve galaksiler gibi

⁶ <https://apod.nasa.gov/apod/ap171115.html>

gökyüzünde yaygın şekilde bulunan kaynaklardır. Messier kataloğunun yayımlanmasının ardından William Watson bunun bir kopyasını, astronomi tarihinin en dikkat çekici isimlerinden biri olan, arkadaşı Sir William Herschel'e göndermiştir. Herschel, yaptığı 30 cm ayna çaplı bir teleskop kullanarak Messier'in kataloğundaki her nesneyi gözlemeye başlamış ve daha sonra 48 cm ayna çaplı daha büyük bir teleskop ile gökyüzünün sistematik bir taramasını yaparak yedi yıllık bir sürede yaklaşık 2,300 yeni nesne keşfetmiştir. Bu gözlemsel veri tabanı Herschel'e bulduğu nesneleri sekiz gruba ayırarak sınıflandırmasını sağlamıştır.

Yıldız kümelerinin ilk kapsamlı çalışması, 19. yüzyılın başında kümelerin farklı görünümlere sahip olabileceğini tartışan bir makale serisi yayımlayan Herschel'e atfedilebilir. Herschel, en zengin ve en yoğun olanlarını tanımlamak için hala kullanılan küresel kümeler terimini literatüre kazandırmıştır (Herschel, 1814). Açık küme terimi ise yüzyıl sonra küresel küme olmayan yıldız kümelerini tanımlamak için ortaya konmuştur (Shapley, 1916). İki sınıfın ayrımı prensip olarak morfolojik görünümlerine dayanarak yapılıyordu. Çok geçmeden iki küme sınıfının farklı doğrultularda yani açık kümelerin Galaksi diskinde ve küresel kümelerin de Galaksi halosunda bulundukları anlaşıldı. Metal bolluğu, yaş ve kütle fonksiyonu ile ilgili olarak da farklı iki sınıf oldukları doğrulandı.

Sir William Herschel'in ardından, derin gökyüzü nesnelerinin keşfine en önemli katkı oğlu John Herschel'den gelmiştir. Babasının çalışmalarını düzelterip güncelleyerek ve kendi gözlemlerini de analiz ederek çok zaman harcayan John Herschel 5,079 nesne içeren "*A General Catalogue of Nebulae (CN)*" isimli bir katalog yayımlamıştır (Herschel, 1864). Daha sonra 1887 yılına kadar keşfedilen tüm derin uzay nesneleri Dreyer (1888) tarafından derlenerek "*A New General Catalogue and Clusters of Stars (NGC)*" isimli katalogda listelenmiştir. Dreyer (1895; 1910), NGC kataloğunu 1907 yılına kadar keşfedilen bulutsu ve kümeleri de kapsayacak şekilde geliştirerek "*Index Catalogue (IC)*" isimli iki katalog yayımlamıştır. Derin uzay nesnelerini içeren NGC ve IC katalogları hala kullanılmaktadır.

20. yüzyıla gelindiğinde literatürdeki açık kümelerin temel parametreleri Lynga ve Palous (1987) tarafından derlenerek "*Catalogue of Open Cluster Data*" isimli bugün de kullanılan bir katalog (Lund Kataloğu) oluşturulmuştur. Bu katalog 1,151 kümenin konum, uzaklık, parlaklık, yarıçap, metal bolluğu, kızarma ve üyelik olasılığı gibi yapısal ve astrofizik parametrelerini içerir. İlerleyen yıllarda CCD kameraların devreye girmesiyle daha sönük nesneler gözlenmeye başlamış ve 20. yüzyılın sonlarına doğru oluşturulan CCD mozaikleriyle de görünen bölgede

Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (SDSS; York ve diğ., 2000) gibi sistematik gökyüzü tarama programları oluşturulmuştur.

Açık kümeler yıldızlararası tozun yoğun olduğu Galaksi düzlemine yakın bulunduklarından görünen bölgede tespitleri zordur. 21. yüzyılın başlarında yıldızlararası tozdan fazla etkilenmeyen yakın kızılötesi bölgede İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması (2MASS; Skrutskie ve diğ., 2006) verilerinden itibaren Galaksi diskinde gömülü yeni açık kümeler ile aday açık kümeler tespit edilmiştir (Borissova ve diğ., 2006). 2013 yılında uzaya gönderilen *Gaia* uydusu ile de Galaksimizdeki bir milyardan fazla nesne incelenerek Galaksi'nin oluşumu, evrimi ve yapısının araştırılmasında yeni ufuklar açılmıştır.

Fotometrik, astrometrik ve tayfsal gibi farklı yöntemlerle incelenen açık kümelerin verileri hem homejen değildir hem de farklı duyarlılıklara sahiptir. Açık kümeler Galaktik diskin önemli bileşenlerinden biri olmalarına rağmen literatürde yer alanlarının yarısı için konum ve büyüklükleri dışında hiçbir şey bilinmemektedir. Son yıllarda artan teknolojik gelişmelerle bilinen kümeler yeniden analiz edilerek verilerinin homojen hale getirilmesine ve yeni keşifler olmasına rağmen yapılanlar hala yeterli değildir. Mümkün olduğunca çok sayıda bilinen açık küme için tam bir uzaysal, yapısal, kinematik ve astrofizik parametreleri belirlemek gerekmektedir. Bu nedenle bazı çalışma grupları tarafından açık küme verileri derlenmiş ve sürekli güncellenen veri tabanları oluşturulmuştur. Bu kataloglara WEBDA, VizieR, DAML, MWSC, UCAC5, USNO-B ve PPMXL (Mermilliod, 1995; Poincot ve diğ., 1998; Dias ve diğ., 2002; Monet ve diğ., 2003; Netopil ve diğ., 2012; Kharchenko ve diğ., 2013; Roeser ve diğ., 2010; Zacharias ve diğ., 2017) gibi veri merkezleri üzerinden elektronik olarak ulaşılabilir.

Bu güncellenen kataloglar yardımıyla hem aday kümelerin küme olarak doğrulanması hem de *Gaia* uydusunun (Perryman ve diğ., 2001; *Gaia* işbirliği, 2016) taramaları sayesinde oluşturulan *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğu ile yeni kümelerin keşfedilmesi sağlanmaktadır.

2.1.3 Açık Kümelerin Uzay Dağılımları

Galaksimizin merkezi bölgesinden 15-20 kpc'e kadar büyük bir uzaklık ve geniş bir yaş aralığını kapsayan açık kümeler Galaktik diskin evrimini incelemek için yararlı nesnelerdir. Açık yıldız kümelerinin ve Galaktik yapının genel özelliklerini anlama konusunda çok ilerleme kaydedilmiş olsa da küme örneğinin sürekli artması ve küme parametrelerinin iyileştirilmesi, Galaktik yapının daha iyi anlaşılmasına yol açmıştır. Küme parametrelerinin dağılımı ve çeşitli

parametreler arasındaki korelasyonlar sadece kümenin değil, aynı zamanda Galaksi'nin oluşumu üzerine önemli deneysel kısıtlamalar getirir. Bununla birlikte, kümelerin anlamlı bir çalışması küme örneğinin tamlık ve homojenliği kadar küme parametrelerinin duyarlı belirlenmesine çok bağlıdır.

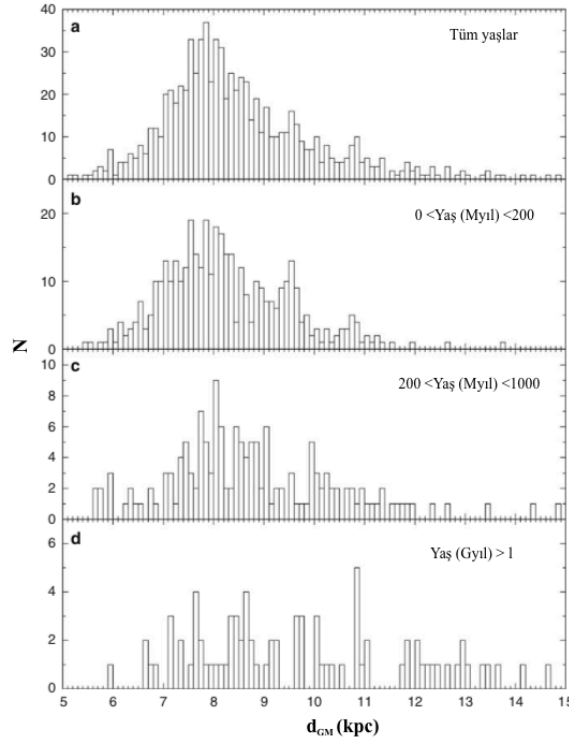
Kümeler hakkında ilk geniş kapsamlı çalışma, Janes ve diğ. (1988) tarafından, Lynga kataloğu (1987) analiz edilerek yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen 421 açık kümenin yaşı ile Galaksi düzleminden uzaklıkları arasında bir ilişki tespit edilmiştir. Yükseklik ölçeği, 3×10^8 yıldan daha genç kümeler için sabitken daha yaşlı kümeler için giderek artmaktadır. Dağılım, Galaktik düzlemin yukarısında ve altında benzerdir. Açık kümelerin büyük çoğunluğu, birkaç yüz milyon yıldan fazla olmayan bir süre içinde küme olarak kalmakta ve sonrasında dağılmaktadır, ancak daha uzun süre dağılmadan kalan az sayıda küme, Galaktik diskin evrimini araştırmak için eşsiz bir örnek oluşturur. Janes ve Phelps (1994), yaşlı açık kümeler için önceden yayımlanmış fotometrik verilerle CCD fotometrik taramasından elde edilenleri birleştirip Hyades'in yaşında (< 700 Myıl) ya da daha büyük olan 72 kümeyi incelemiş ve genç kümelerin Galaksi düzlemine göre Güneş civarında hemen hemen simetrik dağıldıklarını yaşlı olanların ise Galaksi merkezinden 7.5 kpc'ten daha büyük uzaklıklarda, diskin dış kısmında bulunduklarını tespit etmiştir. Ayrıca genç kümelerin yükseklik ölçeklerini (55 pc) yaşlı kümelerinkisinden (37 pc) daha büyük bulmuşlardır.

van den Bergh (2006), 600 Galaktik açık kümeyi inceleyerek yaşları, çapları ve Galaksi merkezinden uzaklıkları arasında bir ilişki olup olmadığını araştırmış ve Galaktik merkez doğrultusundaki açık kümelerin yarıçaplarının zıt doğrultuda görülen kümelerden daha küçük olduğunu bulmuştur. Küme yarıçapının Galaksi merkezinden olan uzaklığa bağlılığının farklı sebepleri olabilir: i) Galaksi merkezinden küçük uzaklıklarda disk veya şişkin bölge şoklarıyla büyük kümeler dağılmış olabilir. ii) Galaksi merkezinden büyük uzaklıklarda dev molekül bulutlarıyla etkileşimler azdır. iii) Galaksi merkezine doğru yıldız yoğunluğunun ve yıldızlararası tozun fazla olmasından kaynaklanan gözlemsel seçim etkisi.

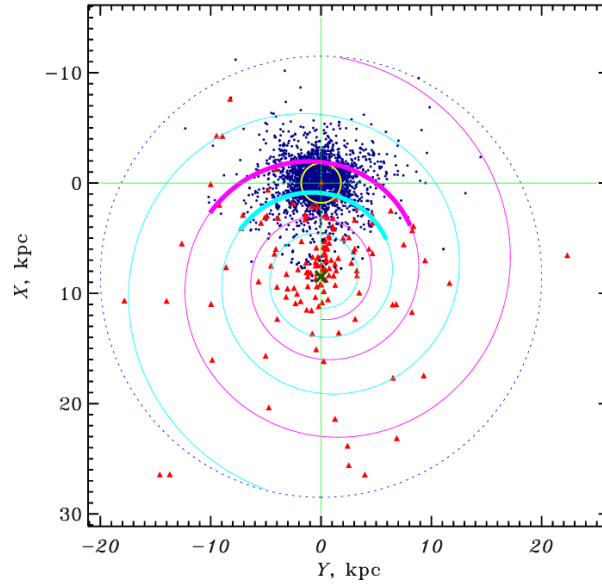
Piskunov ve diğ. (2006), *Tycho-2*, *Hipparcos* ve diğer kataloglardan derlediği Güneş'ten 850 pc uzaklığa kadar yaklaşık 300 açık kümeyi inceleyerek kümelerin dağılımının Güneş'in Galaksi düzleminden uzaklığının 22 ± 4 pc olmasına göre simetrik olduğunu tespit etmiş ve yükseklik ölçeğini 56 ± 3 pc olarak hesaplamıştır.

Bonatto ve diğ.'nin (2006) çalışmasında, WEBDA veri tabanında ve yakın zamanda yayımlanan çalışmalardaki parametreleri bilinen 654 açık küme kullanılmıştır. Bu çalışmada, Galaksi diskinde, yaşları 200 Myıl'dan daha genç açık kümelerin 48 ± 3 pc, 200 Myıl ile 1 Gyl arasında olanların 150 ± 27 pc'lik bir yükseklik ölçeği ile eksponansiyel olarak azalan bir dağılım gösterdikleri tespit edilmiştir. Yaşı 1 Gyl'dan daha büyük olanların yükseklik ölçeği eksponansiyel fitlerden belirlenemediği için düzlemden neredeyse hemen hemen aynı uzaklıkta dağıldıkları görülmüştür. Kümelerde yaş ayrımı yapılmadığında ise ortalama yükseklik ölçeği 57 ± 3 pc hesaplanmıştır. Güneş çemberi dışındaki 1 Gyl'dan daha yaşlı açık kümelerden belirlenen yükseklik ölçeği içindekinden 1.4-2 katı kadar daha büyük olduğu bulunmuştur. Güneş'in Galaksi düzleminin uzaklığı 14.8 ± 2.4 pc hesaplanmıştır. Tamlik etkilerinin bir sonucu olarak, açık kümelerin Galaksi merkezinden uzaklığa göre dağılımı eksponansiyel değildir, bunun yerine hem Güneş çemberinin dışındaki bölgeler için hem de Galaktik merkeze doğru daha keskin bir azalma gözlenir. Açık kümelerin Galaktik merkeze olan uzaklıklarına göre dağılımı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Literatürde aday veya farklı türde yıldız kümeleri olarak kabul edilebilecek yaklaşık 4,000 nesne bilinmektedir. Bununla birlikte, bunların yaklaşık yarısı yalnızca bir ad, yaklaşık ekvatorial koordinatlar ve kaba bir açısal boyutla belirtilir. Kharchenko ve diğ. (2013), literatürdeki bütün kümeleri derleyip kümelerin astrofizik parametrelerini homojen bir şekilde elde ederek kapsamlı bir "*Milky Way Star Clusters (MWSC)*" kataloğunu oluşturmuştur. Katalogda 3,784 nesnenin içinde tanımlananlardan 3,006'sının çoğunluğunu açık kümeler oluşturmakla beraber oymak ve küresel kümeler de bulunmaktadır. Kharchenko ve diğ. (2013) MWSC kataloğunda, tanımlanan her açık kümenin merkezinin konumunu, açısal boyutunu, öz hareketini, uzaklığını, renk artığını ve yaşını vermiştir. 1,500 kümenin de temel astrofizik parametreleri ilk kez hesaplanarak katalogda yer almıştır. Kümelerin çoğu için gelgit yarıçapı ve küme olarak onaylananların %30'undan fazlası için de ortalama radyal hızlar tayin edilmiştir. MWSC kataloğu Samanyolu'nun hem merkezi hem de dış bölgelerindeki nesneleri içerir. Katalog, Güneş'ten 1.8 kpc uzaklığa kadar neredeyse hatta spiral kolları da içerecek şekilde hemen hemen tamdır. Bununla birlikte, Güneş'ten yaklaşık 1 kpc uzaklık içinde en yaşlı ($\log t \geq 9$) açık kümelerin eksikliği de kanıtlanmıştır. MWSC kataloğundaki kümelerin Galaktik XY düzlemindeki dağılımı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Açık kümelerin (a) tüm yaşlar, (b) 0-200 Myıl yaş aralığı, (c) 200-1,000 Myıl yaş aralığı ve (d) 1 Gyıl'dan büyük yaşlar için Galaktik merkeze olan uzaklıklarına göre dağılımı (Bonatto ve diğ., 2006).



Şekil 2.6: *MWSC* kataloğundaki kümelerin Galaktik XY düzlemindeki dağılımı. Mavi noktalar açık kümeler ve oymakları; kırmızı üçgenler küresel kümeleri; noktalı çember uzak açık kümelerin bulunduğu Galaksi diskinin sınırını (~ 20 kpc) göstermektedir. Kalın açık mavi ve ince lila eğriler diskin kenarına uzanan spiral kolların konumunu temsil etmektedir. Güneş'in ($(X, Y) = (0, 0)$ kpc)) çevresindeki 1,8 kpc yarıçaplı sarı çember kataloğun tamlık sınırını, $(X, Y) = (8.5, 0)$ kpc'deki x sembolü Galaktik merkezi işaret etmektedir (Kharchenko ve diğ., 2013).

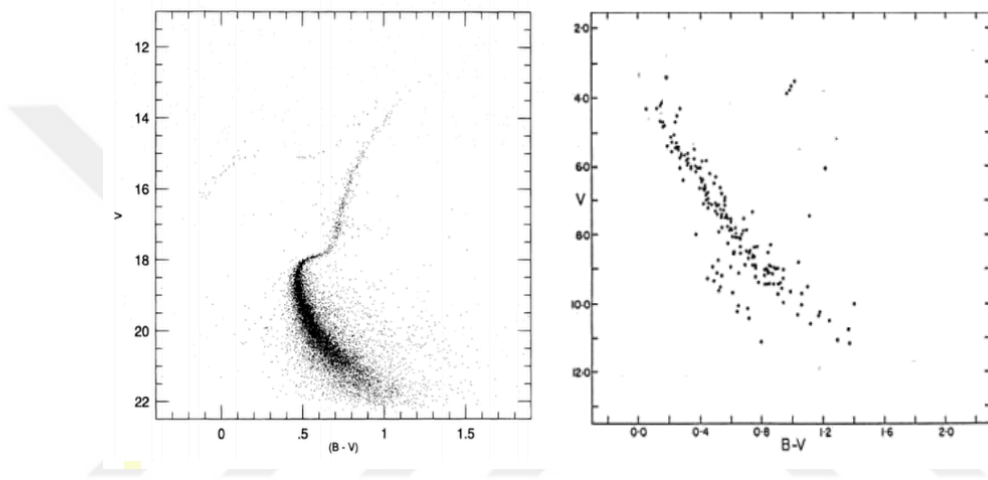
2.1.4 Açık Kümelerin Renk-Parlaklık ve İki-Renk Diyagramları

Açık kümeler fotometrik yöntemler ile incelenirken renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları kullanılarak kümelerin kütle fonksiyonu, kızarma, uzaklık ve metal bollukları gibi temel astrofizik parametreleri belirlenmektedir.

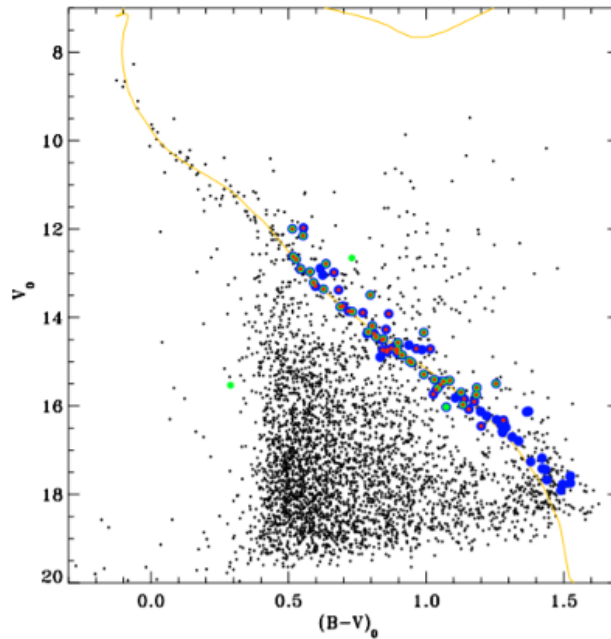
Astronomlar, yıldızların nasıl oluştuğunu anlamak için yıldızların özellikleri arasında bir ilişki ararlar. Bunu yapmanın en kolay yolu, yıldızların uzaklığa bağlı olmayan gerçek özelliklerini (sıcaklık, kütle, çap, kimyasal içerik ve ışıma gücü gibi) bir grafik üzerinde işaretlemektir. 20. yüzyılın başlarında, astronomlar bu özelliklerin nasıl ölçüleceğini anladılar. İki astronom, Hertzsprung ve Russell, birbirlerinden bağımsız olarak yıldızların %90'ı için sıcaklık (renk, tayf türü) ve ışıma gücü (mutlak parlaklık) arasında şaşırtıcı bir ilişki buldular. Yıldızlar, diyagramda anakol denilen dar bir köşegen band boyunca uzanıyorlardı. Bu parlaklık ve sıcaklık grafiğine Hertzsprung-Russell diyagramı veya kısaca H-R diyagramı denir (Hertzsprung, 1911; Russell, 1913). H-R diyagramı yıldızlara ait birçok temel astrofizik parametresini gösterdiğinden yıldızların evrimini incelemek için kullanılan en yararlı araçlardan biridir. Aynı bilgileri sunan renk-parlaklık diyagramı ise H-R diyagramının bir başka şeklidir. H-R diyagramı, yıldızların sıcaklıklarının ve parlaklıklarının bir özeti iken, renk-parlaklık diyagramı yıldız kümelerinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Renk-parlaklık diyagramı nesnelerin renk indeksi ile parlaklığı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bir yıldızın rengi tayfını almadan iki farklı filtre ile ölçülebildiğinden binlerce yakın yıldızın rengini belirlemek tayfının alınmasından daha kolaydır ve renk-parlaklık diyagramları yıldız kümeleri için daha kullanışlıdır. Küresel kümeler çok yoğun ve birkaç pc içinde milyonlarca yıldız barındırırlar. Samanyolu'ndaki en yaşlı nesnelerdir ve az sayıda kütleli anakol ve çok sayıda kırmızı dev kolu yıldızına sahiptirler. Açık kümeler ise küresel kümelere göre daha yayılmış, yüzlerce veya binlerce yıldız içerirler. Daha çok genç anakol yıldızı ve az sayıda yaşlı, kırmızı dev yıldızlarına sahiptirler. Şekil 2.7'de M5 küresel ve Hyades açık kümelerinin renk-parlaklık diyagramları gösterilmiştir.

Yıldız kümelerinin üyeleri aynı bulutun çökmesiyle yaklaşık olarak aynı zamanda oluştuklarından renk-parlaklık diyagramındaki konumları kütlelerine bağlıdır. Küme içindeki yıldızların kütlesi farklı olduğundan genç bir kümenin yıldızlarının hepsi anakolda bulunur ve bu sıfır yaş anakoludur (ZAMS). Yıldız yaşlandıkça çekirdekindeki hidrojeni tükenmeye başlar, daha sonra hidrojen çekirdek etrafındaki kabukta yanmaya başlar ve yıldız genişleyerek

kırmızı dev olur. Bir kümede ilk olarak büyük kütleli yıldızlar evrimleşip kırmızı dev olur, bunu daha az kütleli yıldızlar izler ve bir küme yaşlandıkça anakolu kısalır, kırmızı dev kolu uzar. Bir kümenin yaşını hesaplamak için anakolun uzunluğu kullanılır. Büyük kütleli yıldızların anakoldan ayrılıp kırmızı dev koluna geçtiği bu bölge dönüm noktasıdır. Gözlenmiş renk-parlaklık diyagramı, aynı yaştaki yıldızları temsil eden teorik eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılarak kümelerin yaşı belirlenir. Şekil 2.8’de M35 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı ile 200 Myıl yaşını temsil eden Yale eş-yaş eğrisi gösterilmiştir.

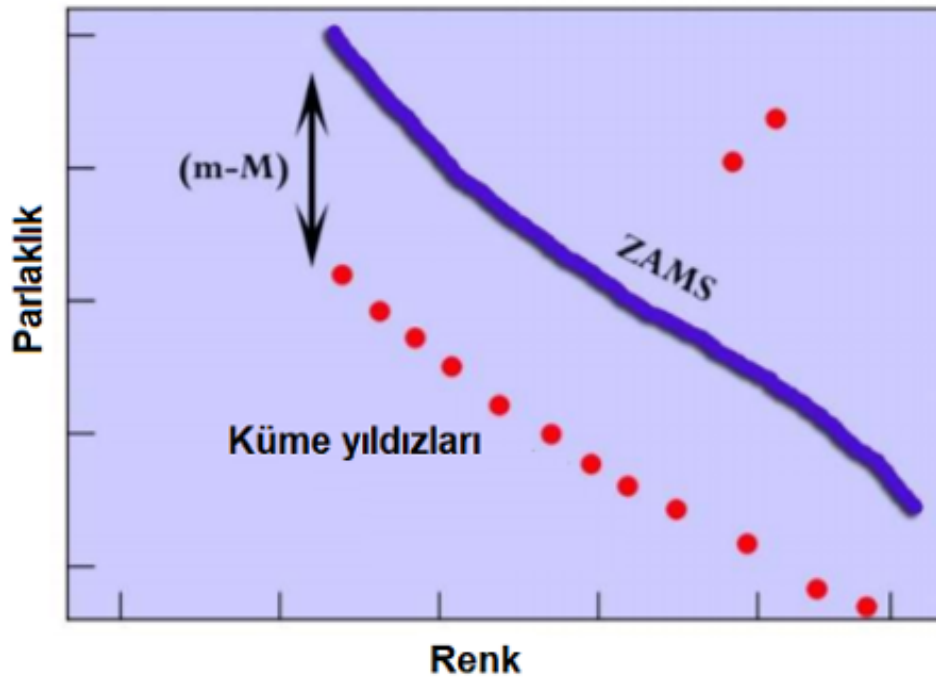


Şekil 2.7: M5 küresel kümesi (sol) ve Hyades açık kümesinin (sağ) renk-parlaklık diyagramları.



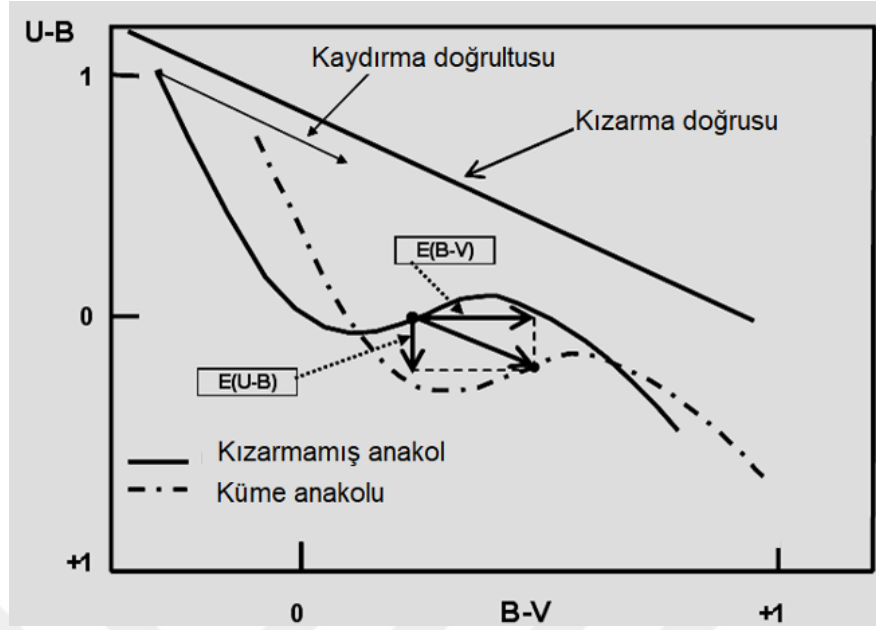
Şekil 2.8: M35 açık kümesinin renk- parlaklık diyagramı (Meibom ve diğ., 2011). Mavi renk fotometrik, yeşil renk öz hareketlerinden ve kırmızı renk radyal hızlarından seçilen üye yıldızları göstermektedir.

Renk-parlaklık diyagramlarıyla bir yıldız kümesinin uzaklığı da belirlenebilir. Bir kümedeki tüm yıldızlar bizden yaklaşık aynı uzaklıktadır. Yıldızların renkleri ile parlaklıkları arasında gözlemsel bir renk-parlaklık diyagramı oluşturulup elde edilen anakol, mutlak parlaklıkların kullanıldığı ZAMS ile karşılaştırılarak görünen ve mutlak parlaklık arasındaki fark hesaplanır (Şekil 2.9). Bu fark uzaklık modülüdür ($m-M$). Yıldızın uzaklığı $\log d = (m-M)/5 + 1$ bağıntısından pc biriminde hesaplanır. Literatürde birçok ZAMS bağıntıları elde edilmiştir (Blaauw, 1963; Mermilliod, 1981; Sung ve diğ., 1998; 2013).



Şekil 2.9: Uzaklık modülünün belirlenmesini gösteren şematik renk-parlaklık diyagramı.

Açık kümelerin temel parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer diyagram iki-renk diyagramıdır. Açık kümeler yıldızlararası tozun yoğun olduğu Galaksi diskinde bulunduklarından üye yıldızlarının parlaklıkları sönükleşir ve renkleri de kızarır. Kızarmanın hesaplanmasında iki-renk diyagramı kullanılır. Kızarma, yıldızların iki-renk diyagramında kızarma doğrusuna paralel ve sağa doğru sistematik olarak hareket etmesine neden olur. Deneysel kızarmamış gerçek rengi temsil eden anakol kızarma doğrusunun eğimine göre küme yıldızlarının dağılımıyla uyuşana kadar kaydırılır. Elde edilen renkteki değişim renk artışı ($E(B-V)$) veya kızarma olarak tanımlanır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Kızarmanın belirlenmesini gösteren şematik iki-renk diyagramı.

Renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları kümelerin evriminin anlaşılmasının yanı sıra, çift yıldızların sayısını, orta yaşta ve yaşlı açık kümelerdeki kırmızı yığın yıldızlarını, farklı nesnelerin birbirinden ayırmasını ve temel astrofizik parametrelerini (kütle fonksiyonu, kızarma, uzaklık, metal bolluğu vb.) duyarlı şekilde belirlemede önemli rol oynarlar.

2.1.5 Açık Kümelerin Temel Parametreleri

Aynı buluttan oluşan kümelerin birbirlerinden morfolojik olarak farklı olması, yapısal özelliklerinin de farklı olmasına neden olur. Yıldızların seyrek veya kalabalık olması, kümenin yapısal parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesinde zorluklar çıkarır. Aynı kütleye sahip boyutları farklı iki kümeden küçük olanı yıldızların evrimi, dışarı atılma ve buharlaşma gibi iç etkileşimlerden dağılırken büyük olanı dev molekül bulutları, Galaktik gel-git alanı ve spiral kollardaki şok dalgaları gibi dış etkileşimlerle dağılır (Patat ve Carraro, 1995; Andersen ve Nordström, 2000; Carraro, 2006). Kümenin boyutu dinamik evrimini etkilediğinden evrim sürecini anlayabilmek ve duyarlı parametre tayini yapabilmek için seyrek bölgeyi, yoğun merkezi bölgeyle incelemek gerekir.

Bir yıldız kümesini tanımlamak için en azından, küme merkezinin konumunu ve görünür (açısal) boyutunu belirtmek gerekir. Her iki parametre gökyüzündeki bir kümeyi tanımlamayı sağlar. Bu parametreler çoğu durumda küme alanının görsel incelenmesinden elde edilir. Bu

nedenle, alıcının görüş alanının büyüklüğünden veya alan yıldızlarının karışımından dolayı yanlılık vardır ve kümenin gerçek boyutunu sınırlar. Literatürden elde edilen bu veriler fotometrik sınırlamalara dayanan küme üyeliği analizlerinden elde edilenlere göre iki kat daha küçüktür (Kharchenko ve diğ., 2005). Bu veriler çeşitli yanlılıklar içerdiğinden açık kümelerin yapısal özellikleri hakkında bilgi vermek için üniform bir sisteme indirgenmeleri gerekir.

Bir kümenin yapısal parametreleri morfolojik tanımının yanı sıra, kütle ve çevresindeki Galaktik gel-git alanı gibi temel fiziksel özellikleri hakkında da bilgiler sağlar. King (1962) kümelerin yapısını nicelleştirmek için bir model oluşturarak küme parametrelerini deneysel elde etmiştir. Kor yarıçapı, gel-git yarıçapı, yoğunluk profilinin normalizasyon faktörü gibi parametreler King parametreleri olarak bilinir. Yoğunluk profillerine modellerin uygulanmasıyla tipik açık kümelerin kor yarıçapları 1-2 pc, gel-git yarıçapları ise 10-25 pc olarak hesaplanmıştır (King, 1962; 1966; Mathieu, 1984).

van den Bergh (2006), 600 açık küme inceleyerek yaşları 15 Myıl'dan genç açık kümelerin % 20'den fazlasının oymaklarla karıştığını tespit etmiştir. Bu yaştaki kümeler, çapları 7 pc'den büyük olan nesnelerin önemli bir alt popülasyonudur. Bu büyük nesnelerin çoğu, Janes ve diğ.'nin (1988) çalışmasında bahsedildiği gibi, yıldız kümelerinden çok genişleyen oymaklardır. 15 Myıl ile 1.5 Gyl yaş aralığındaki kümelerin çapları yaşla artmaktadır. Yaşı 1.5 Gyl'dan büyük en yaşlı kümeler arasında küçük çaplı yoğun kümelerin sayısı çok azdır. Yaşları 1 Gyl'dan büyük olan açık kümeler kalın disk bileşenine ait olabilir.

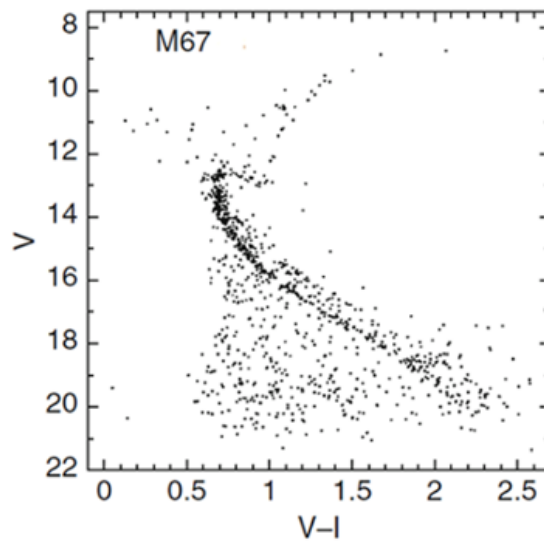
Galaktik disk boyunca her yaşta bulunabilen açık kümeler, diskin kimyasal zenginleşmesini belirlemek açısından mükemmel nesnelerdir. Oluştukları bulutun kimyasını korurken, Galaksi'de farklı yaş ve konumlarda yıldız oluşumunu anlamamızı sağlar. Yüksek duyarlılıklı analizler, kümedeki üye yıldızların element bolluğunun üniform olduğunu göstermiştir (De Silva ve diğ., 2006). Böylelikle, küme yıldızlarının element bolluklarından oluştukları molekül bulutunun kimyasal içeriği hakkında bilgi edinilebilir.

Açık kümelerin kızarma, uzaklık, yaş gibi astrofizik parametreleri renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları yardımıyla hesaplanır. Bu parametreler belirlenmeden önce kümeye üye yıldızlar seçilmelidir. Üye yıldızların belirlenmesinde hem kinematik hem de fotometrik analizlerden elde edilen parametreler gözönüne alınmalıdır.

2.1.6 Açık Kümelerin Üye Yıldızları

Yıldız kümeleri alan yıldızlarına göre daha yoğun bölgeler olmalarına rağmen çoğunlukla ön ve arka plandaki alan yıldızlarından etkilenirler ve bu yıldızlardan ayırt edilmeleri zorlaşır. Kümelerin temel parametrelerinin duyarlı olarak hesaplanabilmesi için kümeye üye yıldızların belirlenmesi gerekir. Küme üyelerini alan yıldızlarından ayırmak için bir çok kriter kullanılmakta ve üyelik testi yapılmaktadır. Yıldızların konumları, öz hareketleri ve parlaklıkları kullanılarak ve çeşitli istatistiksel yaklaşımlar uygulayarak bir kümeye üye olma olasılıkları hesaplanabilir.

Açık kümeleri oluşturan yıldızlar Güneş'e uzaklıkları, öz hareketleri ve uzay hızları benzer olduğundan renk-parlaklık diyagramlarındaki ve öz hareket uzaylarındaki dağılımlarından alan yıldızlarından ayırt edilebilirler. Şekil 2.11'de gösterilen M67 kümesinin $V \times V-I$ renk-parlaklık diyagramına bakıldığında anakol üzerinde kümeye üye yıldızlar kolaylıkla seçilebilmektedir. Kümedeki çift yıldızlar anakolun üzerinde yaklaşık 0.75 kadirlik bir bölge içinde bulunurken, alan yıldızları ise anakolun altında büyük bir saçılma göstermektedirler. Fakat her kümenin renk-parlaklık diyagramında, üye yıldızlar M67 kümesindeki gibi net bir şekilde seçilemez. Seyrek olan kümelerdeki üye yıldızların seçilmesi kolay olmadığından kümenin yapısal ve astrofizik parametrelerini belirlemek oldukça zordur. Böyle kümelerin üyeleri seçilirken radyal hız ve öz hareket verilerinden yararlanılır. Anakolu, yoğun alan yıldızlarıyla karışan kümelerde ise istatistiksel sınırlamalar ile küme anakolu alan yıldızlarından temizlenir.



Şekil 2.11: M67 kümesinin $V \times V-I$ renk-parlaklık diyagramı (Montgomery ve diğ., 1993).

Galaktik düzleme yakın bölgelerde bulunan açık yıldız kümeleri, alan yıldızları tarafından kirlendiği için fotometrik yöntemler aracılığıyla kümeye üye yıldızların belirlenmesi oldukça zorlaşır. Son 20 yıldır küçük kütleli kümelerde veya gömülü olanlarında ayrıntılı araştırmalar yapmak için optik ve yakın kızılötesi dalgaboylarında büyük ölçekli fotometrik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, tek başına fotometrik veriler küme üyelerini alan yıldızlarından ayırt etmek için yeterli olmamaktadır. Çünkü küme yıldızları daha yaşlı ve daha yakın alan yıldızları ile aynı özellikleri paylaşabilir. Bu sebeple, fotometrik veriler tayfsal gözlemler ile de desteklenmelidir. Tayfsal çalışmalardan elde edilen radyal hız verileri ve astrometrik analizler sonucunda yıldız kümelerine üyelikler belirlenebilir. Ancak bir kümenin radyal hız tayini için çok sayıda yıldız tayfinin alınması gerekmektedir. Bu nedenle tayfsal yöntem pek kullanışlı değildir.

Kümelerin üyelik analizlerinde kullanılan en güçlü araç kinematiktir (öz hareket ve radyal hız). Aynı buluttan oluşmuş açık kümeler birkaç km/sn'lik bir dağılım ile hemen hemen aynı uzay hareketini paylaşırlar. Literatürdeki çalışmalarda yıldızların öz hareket verileri kullanılarak küme üyesi yıldızlar bir algoritma ile belirlenmektedir. Öz hareketlerin yeterince hassas şekilde hesaplanabilmesi için 50-100 yıllık gözlemler gerektiğinden geçmiş zamanlara ait fotoğraf plaklarına çekilmiş gökyüzü görüntüleri önem kazanmıştır. Fakat fotoğraf plaklarının düşük kuantum verimliliği sebebiyle ancak $V = 16$ kadire kadar olan kaynakların astrometrisi yapılabilmektedir. Son zamanlarda yapılan en duyarlı öz hareket kataloglarından biri Birleşik Devletler Deniz Kuvvetleri Gözlemevi'nden (USNO) elde edilen CCD tabanlı UCAC5 kataloğudur (Zacharias ve diğ., 2017). Bu katalog limit parlaklığından dolayı Güneş'ten 1 kpc uzaklığa kadar bulunan açık kümelerin üyelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. 2018 yılında yayımlanan en güncel ve en hassas öz hareket verilerini elde edebildiğimiz *Gaia* DR2 kataloğu $V = 19$ kadirde sönük yıldızlara kadar gidebilmekte ve daha uzakta bulunan kümeleri araştırmamızda önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Gaia işbirliği, 2018).

2.1.7 Açık Kümelerde Kütle Fonksiyonu

Yıldızların evriminin esas olarak başlangıçtaki kütesine, kısmen kimyasal bileşime bağlı olduğu iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, kümede oluşan yıldızların kütesini neyin sınırladığı bilinmemektedir. Küme yıldızlarının yaş, uzaklık ve element bolluğu aynı olduğundan alan yıldızlarına kıyasla kümedeki yıldızların astrofizik parametrelerini belirlemek daha kolaydır. Bu nedenle, açık kümeler Galaksi'nin oluşum ve evriminin farklı zaman ve yerlerinde başlangıç

kütle fonksiyonlarının (Initial Mass Function, IMF) belirlenmesi için en uygun nesnelerdir. Bir kümenin oluşum ve dağılma süreci kümeye ait IMF'ye ve yaşadığı çevreye bağlıdır.

Dev molekül bulutlarındaki gaz ve toz çekim kuvvetinin etkisi altında bir araya gelir ve yıldız oluşmaya başlar. Fakat bunun nasıl gerçekleştiği tam olarak bilinmemektedir. Bir yıldızın kütlesi evrimini sınırlayan en önemli faktör olmasının yanı sıra yeni oluşan bir yıldızın kütlesinin tam olarak ne şartlarda sınırlandırıldığı bilinmemektedir. Dolayısıyla bu problemin çözümü için yıldızların bir yıldız kümesindeki dağılımını bilmek gerekir. Başlangıç kütle fonksiyonu bu dağılımın tanımını verir. Yıldızlar ile yapılan çalışmalarla kıyaslandığında açık kümeler aynı kimyasal bolluğa sahip olmaları ve farklı kütlelerdeki yıldızları içerdiklerinden IMF'yi belirlemek için önemlidirler. IMF belirlenirken karşılaşılan en büyük problem, incelenen küme alanına alan yıldızlarının karışmış olmasıdır. Kümeye üyelik olasılığı düşük olan yıldızların varlığı kümenin yapısını değiştiren dinamik problemlerden biridir. Kümenin IMF'sini belirlerken bu probleme dikkat edilmesi gerekir. Lada ve Lada (2003) tarafından yapılan çalışma ile bu problemin yıldız oluşum bölgelerinde bulunan gömülü kümeler kullanılarak giderildiği gösterilmiştir.

Açık kümelerdeki yıldız popülasyonlarının gözlemleri büyük kütleli yıldızların az, küçük kütleli yıldızların daha fazla oluştuğunu göstermiştir. Bu bakımdan, IMF bir yıldız kümesinde oluşan yıldızların sayısı ile kütleleri arasındaki ilişkiyi verir. Yıldız oluşum sürecinde, birim hacim başına yıldız kütlesinin dağılımı, kümenin sonraki evrim aşamasını belirleyen başlangıç kütle fonksiyonu olarak tanımlanır.

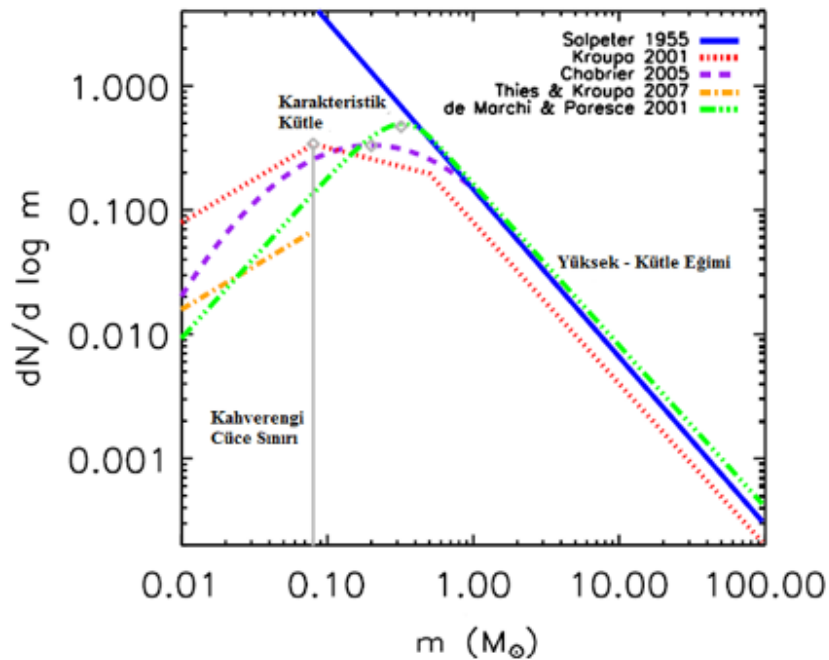
Lada ve Lada'nın (2003) çalışmasında, Orion bulutsusunda yer alan Trapezium kümesi kullanılarak IMF'nin küçük kütleli ($\sim 0.1 M_{\odot}$) kahverengi cücelerden, büyük kütleli ($10 M_{\odot}$) O-B tayf türündeki yıldızlara kadar geniş bir aralıkta değişebileceği gösterilmiştir. Trapezium kümesi çalışılarak elde edilen kütle fonksiyonun eğimi -1.2 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değer Salpeter'in (1955) alan yıldızlarını kullanarak elde ettiği -1.35 değerine oldukça yakındır. IMF'nin doğrudan tahmini, kümenin dinamik evrimi nedeniyle mümkün değildir. Bununla birlikte, H-bandının birim parlaklık aralığı başına yıldız sayısı hesaplanıp parlaklıklar aşağıdaki (2.1) bağıntısıyla kütleyle çevrilerek IMF hesaplanır.

$$\Phi = \frac{N}{\log(m_1) - \log(m_2)} \quad (2.1)$$

Burada, N yıldız sayısını, m_1 ve m_2 kütle aralığını belirleyebilmek için gerekli olan parlaklığın alt ve üst sınırlarıdır. Salpeter'in (1955) çığır açan çalışmasından yaklaşık 50 yıl sonra hem gözlemsel hem de teorik bakımdan büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemeler sayesinde, Galaktik IMF sadece hidrojen yakma sınırında olan yıldızlar için değil, kahverengi cücelere kadar hesaplanabilir. IMF'nin belirlenmesi, astrofiziğin en temel sorunlarından biridir. IMF baryonik içeriği, kimyasal zenginleşmeyi ve galaksinin evrimini belirler. Bu sayede de evrenin baryonik madde evriminin anlaşılmasını sağlar (Chabrier, 2005).

Bir galaksinin hemen hemen gözlenebilir her özelliği ve yıldız popülasyonu IMF'ye bağlıdır. Temel argümanlar, IMF'nin yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde daha fazla kütleyle sahip yıldız üretmesini ve yıldız oluşturan bulutun basınç ve sıcaklığına bağlı olarak değişmesi gerektiğini göstermektedir. (Larson,1998). Bu durum özellikle *Pop III* yıldızlarının oluşumuyla ilgilidir. Çünkü *Pop III* yıldızlarında farklı metallerin olmaması ve ortamda daha yoğun radyasyon alanı yüksek sıcaklıkların olması gerektiğine işaret eder.

IMF ile ilgili, başta Salpeter (1955) olmak üzere Kroupa (2001), de Marchi ve Paresce (2001), Chabrier (2005) ile Thies ve Kroupa'nın (2007) yaptığı çalışmalar literatüre önemli katkılarda bulunmuştur. Literatürde yapılan bu çalışmaların birbirleriyle karşılaştırılması Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Şekilde, büyük kütlelere doğru modellerin daha uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.12: Literatürdeki başlangıç kütle fonksiyonlarının karşılaştırılması. (Offner ve diğ., 2014)

2.2 GAIA UYDUSU

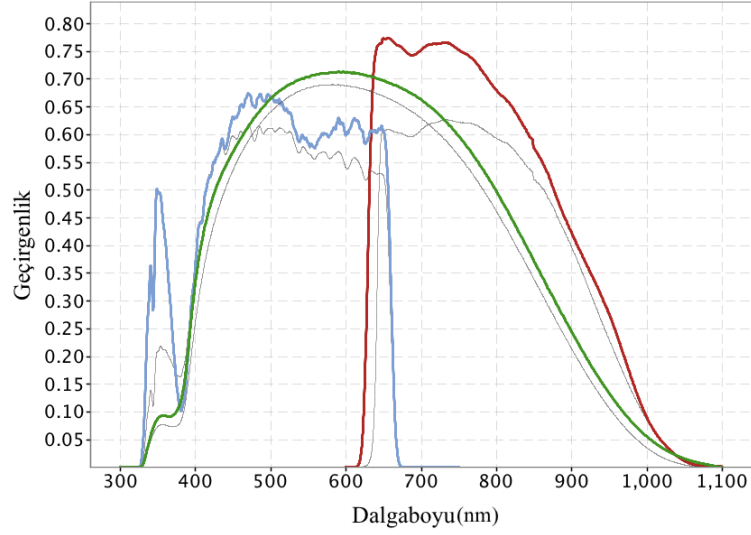
Gaia uydusu, görünen parlaklığı $G = 20$ kadire kadar tüm yıldızların konumlarını (α , δ), parlaklıklarını (G , G_{BP} ve G_{RP}), trigonometrik paralakslarını (π), öz hareketlerini ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ) ve radyal hızlarını (γ) büyük bir duyarlılıkla ölçerek Galaksi'nin 3 boyutlu bir haritasını oluşturmak amacıyla 19 Aralık 2013'te Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından fırlatılmıştır (Şekil 2.13). Yıldızların oluşumu ve evrimi ile Galaksimizin oluşumu, evrimi ve yapısını ayrıntılı incelemek *Gaia*'nın temel hedefleridir. *Gaia*'nın gözlemleri sayesinde çok sayıda ötegezegen, kahverengi cüce yıldız ve değişen yıldızlar, Güneş sistemindeki asteroidler ve kuazarlar gibi farklı nesneler gözlenmiştir. Nesneleri neredeyse eş zamanlı astrometrik, fotometrik ve tayfsal olarak gözlemleyebilen bir uzay teleskobudur. *Gaia* uydusuna ait ilk veri sürümü (DR1, *Gaia* işbirliği, 2016) 14 Eylül 2016'da ikinci veri sürümü (DR2, *Gaia* işbirliği, 2018) ise 25 Nisan 2018 tarihinde yayımlanmıştır. *Gaia* DR1 sürümü ile yaklaşık 1.2 milyar nesne taranmıştır. Yaklaşık iki milyon nesnenin paralaks ve öz hareket verileri ölçülmüştür. *Gaia* DR2 kataloğu ise 1.7 milyar nesnenin ekvatorial koordinat ve G görünen parlaklık, 1.3 milyar nesnenin trigonometrik paralaks ve öz hareket, yaklaşık yedi milyon yıldızın da radyal hız verilerini içermektedir. Üçüncü katalog DR3'ün ise 2021 yılının ikinci yarısında yayımlanması beklenmektedir.

Gaia uydusunun CCD dedektörleri gökyüzünde gördüğü alanda bir derece karesinde yaklaşık 750,000 nesne olacak şekilde tasarlanmış ve her bir piksel 10 μm (59 milli yay saniyesi) boyutundadır. *Gaia* fotometrisi G , G_{BP} ve G_{RP} bandlarında elde edilen düşük çözünürlükteki spektro-fotometriyi kapsamaktadır (Şekil 2.14). Geniş G bandı 330-1,050 nm aralığını kapsayacak şekilde astrometrik ölçümler için maksimum ışığı toplamak üzere tanımlanmıştır. G_{BP} ve G_{RP} ise sırasıyla, 330-680 nm ve 630-1,050 nm aralıklarını kapsayan mavi ve kırmızı fotometreyle düşük çözünürlüklü spektrumların birleştirilmesinden elde edilmiştir.

Gaia'nın tayfsal gözlemleri, geliştirilmiş Radyal-Hız Spektrometresi (RVS) ile 842-872 nm dalgaboyu aralığında $R = 11,500$ çözünürlüğünde, $G_{RVS} \approx 16$ kadirten daha parlak yıldızlar için elde edilmiştir. Yaklaşık 150 milyon nesnenin radyal hızlarının hesaplanması planlanmıştır.



Şekil 2.13: Temsili *Gaia* uydusu⁷.



Şekil 2.14: *Gaia* DR2 fotometrik sistemi ile tanımlanan düzeltilmiş G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP} (kırmızı) fotometrik bandların geçirgenlik eğrileri⁸.

2.3. *GAIA* ÇAĞINDA AÇIK KÜMELER

Galaksi diskine ait yıldız kümeleri açık kümeler olarak adlandırılır. Bu kümelerin yaşları ve uzaklıkları fotometrik yöntem ile hesaplanabildiğinden Galaksimizin yapısının araştırılmasında kullanılan nesnelerdir. *Gaia* uydusunun sağladığı hassas trigonometrik paralaks ve öz hareket verileri sayesinde Galaksi astrofiziği ve açık küme çalışmaları farklı bir çağa girmiştir. *Gaia*

⁷ <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/the-mission>

⁸ Düzenleme: ESA/Gaia/DPAC, P. Montegriffo, F. De Angeli, C. Cacciari.

DR2 verileri, kümeye üye yıldızların belirlenmesinde renk uzayları dışında astrometrik verilerin de dikkate alınmasına olanak sağladığından küme üyesi yıldızların belirlenmesi daha duyarlı şekilde yapılabileceğinden, kümelerin yapısal parametreleri dışında astrofizik parametreleri de hassas şekilde tayin edilecektir.

Gaia uydusu, yıldızların paralakslarını dolayısıyla uzaklıklarını 1 kpc'den daha yakın olanları % 1 hassasiyetle 1 kpc'den uzakta olanları ise % 10 hassasiyetle ölçmüştür. Yakın açık kümeler için (< 100 pc) ve 1 kpc'e kadar uzaklıktaki FGK tayf türünden yıldızlar için öz hareket hatası 1 km/s'den daha azdır. Ayrıca gözlenen cisimlerden %15 daha parlak olanlar için radyal hız ve tayf gözlemlerinin yanı sıra astrometrik olarak da tüm nesneler için iyi kalitede tayfsal veriler sağlamıştır. *Gaia* uydusunun yapmış olduğu gözlemler doğrultusunda açık kümeler ve OB oymakları incelenerek, Samanyolu Galaksisi'nin oluşum ve evrimi daha hassas şekilde belirlenebilecek ve var olan oluşum senaryoları sınanabilecektir.

Samanyolu'ndaki konumumuz, Güneş civarında Galaksimizin yapısını ayrıntılı olarak incelememizi sağlarken Galaksi diskinin daha geniş ölçekte üç boyutlu yapısının anlaşılmasını engeller. Samanyolu'nun genel yapısını daha iyi anlamak için nesnelerin Galaksi diski boyunca uzaklıklarını ve dağılımlarını incelemek gerekir. Düşük Galaktik enlemlerdeki yıldız popülasyonlarının yoğunluk dalgalanmaları ve yıldızlararası ortam açık kümelerin tespitini zorlaştırır. *Gaia* DR2 kataloğundaki (Gaia işbirliği, 2018) çok hassas astrometrik ve fotometrik veriler, diğer gözlem teknikleri, teleskoplar ve uydular aracılığıyla göremediğimiz yüksek yoğunluklu yıldız alanları tarafından gizlenen yapıları ortaya çıkarmamıza ve daha ayrıntılı incelememize olanak tanır.

Açık kümeler Galaksi diskinin yapısının ve oluşumunun araştırılmasında elverişli nesneler olmalarının dışında yıldız evrimi çalışmaları için de önemlidir. *Gaia* DR2, tüm gökyüzünde çok sayıda kümeyi karakterize etmek için kullanılabilen hassas ve homojen fotometrik veri içerir. Sağladığı en değerli bilgilerden biri, bir milyardan fazla yıldızın paralakslarından itibaren, bu yıldızların bulunduğu kümelerin uzaklıklarının belirlenmesidir.

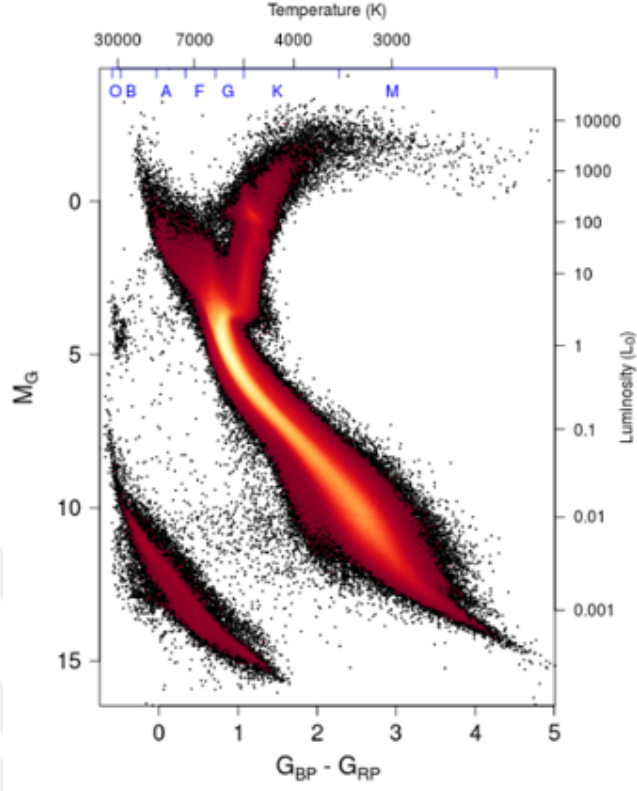
Cantat-Gaudin ve diğ. (2018), literatürden bilinen veya aday binlerce kümenin bir listesini oluşturup *UPMASK* (Krone-Martins ve Moitinho, 2014) kaynak kodunu kullanarak kümeye üye yıldızları belirlemişlerdir. 1,229 kümenin üyelerini seçerek küme parametrelerini elde etmişlerdir. Beklendiği gibi, en genç kümelerin Galaktik düzleme yakın ve spiral kollarda

yoğunlaştığını, daha yaşlı olanların düzlemden uzakta ve Galaksi merkezinden daha büyük mesafelerde düzgün dağıldıklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca inceledikleri alanlarda tesadüfi olarak 60 yeni küme tespit etmişlerdir.

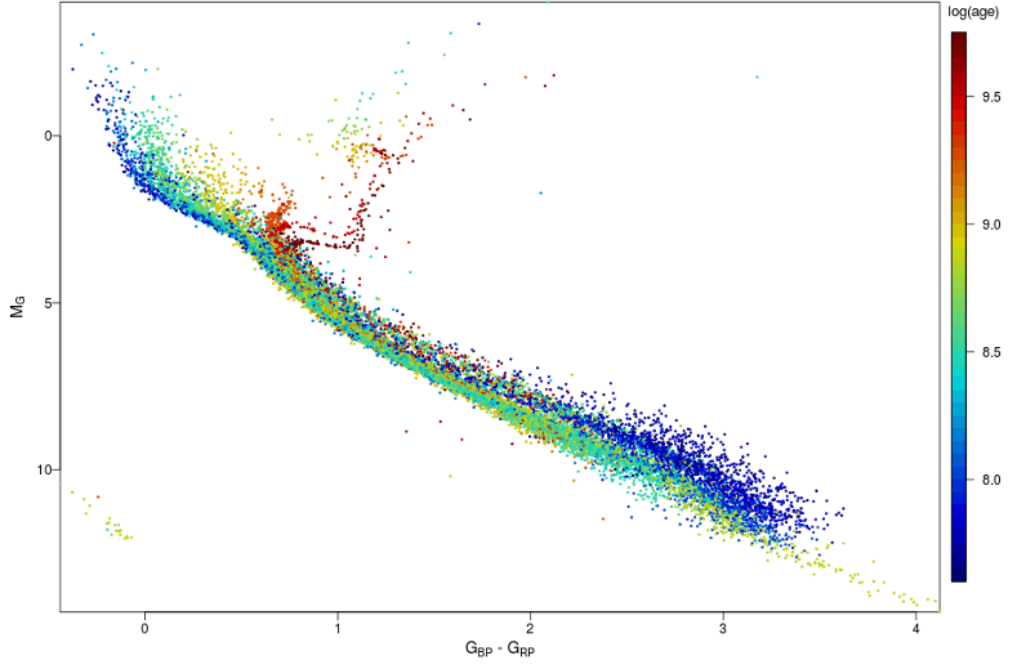
Soubiran ve diğ. (2018), bir önceki çalışmalarından (Cantat-Gaudin ve diğ., 2018) ortalama paralaksıları ve öz hareketleri bilinen en olası küme üyelerini belirleyip *Gaia* DR2 kataloğunda radyal hızlarıyla eşleştirerek 861 açık kümenin ağırlıklı ortalama radyal hızlarını tayin etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, genç açık kümelerin Galaksi düzlemine dik doğrultudaki dağılımları düz ve dikey hız dispersiyonları 5 km/sn mertebesinde. 1 Gyıl'dan yaşlı kümeler ince diskin tipik 14 km/sn'lik hız dispersiyonu ile Galaksi düzleminde 1 kpc'ye kadar uzanırlar.

Açık kümeler, hem Galaksimizin yapısı hem de yıldız evriminin fiziği çalışmaları için anahtar hedeflerdir ve hala tespit edilememiş çok sayıda açık küme olduğu bilinmektedir. *Gaia* DR2'nin yayımlanmasıyla tespit edilememiş kümeler keşfedilerek örneklerimizin tam olmadığı kanıtlanmıştır. Castro-Ginard ve diğ. (2020) *Gaia* DR2'deki verilerden itibaren Galaksi diskinin daha ayrıntılı incelenmesi için açık küme örneğini tamamlamak amacıyla *makine öğrenimi* algoritmasını kullanarak 582 yeni açık küme tespit etmiştir. Bu kümeler Galaksi diskinde Galaktik enlemi $|b| < 20^\circ$ olan bölgede dağılmışlardır.

Derin, homojen ve yüksek duyarlılıklı *Gaia* DR2'nin (Gaia işbirliği, 2018) astrometrik ve fotometrik verileri bugüne kadarki en ayrıntılı H-R diyagramının oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Bu verilerden yıldız popülasyonu seçimlerine bağlı olarak alan yıldızları, açık kümeler ve küresel kümeler gibi birçok farklı nesnenin *Gaia* H-R diyagramı oluşturulmuştur (Gaia işbirliği, 2018). Şekil 2.15'te 4,276,690 alan yıldızı için $E(B-V) < 0.015$ kadir kızarma kriteri konarak oluşturulmuş H-R diyagramı gösterilmiştir. Diyagramda kırmızı renk skalası yıldız yoğunluğunun karekökünü göstermektedir. Şekilde, $G_{BP} - G_{RP}$ renk indeksine ve *Gaia* M_G mutlak parlaklığına karşılık gelen yaklaşık etkin sıcaklık ve ışıma gücü değerleri anakol yıldızları için olan PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ. 2012; Marigo ve diğ., 2017) kullanılarak belirlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi anakol net bir şekilde belli olmaktadır. Anakoldaki 0.75 kadirlik kalınlaşma çift yıldız etkisinden kaynaklanmaktadır. 250 pc içinde oldukça zengin ve iyi tanımlanmış kümeler ile 1.5 kpc uzaklığa kadar olan çoğu zengin 32 açık kümenin renk-parlaklık diyagramı Şekil 2.16'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15: *Gaia* DR2 verileriyle 4,276,690 yıldız için oluşturulmuş H-R diyagramı.



Şekil 2.16: *Gaia* DR2 verileri kullanılarak oluşturulan 32 açık kümenin yaşlarına göre renklendirilmiş H-R diyagramı.

2.4 İNCELENEN AÇIK KÜMELERİN LİTERATÜR ÖZETİ

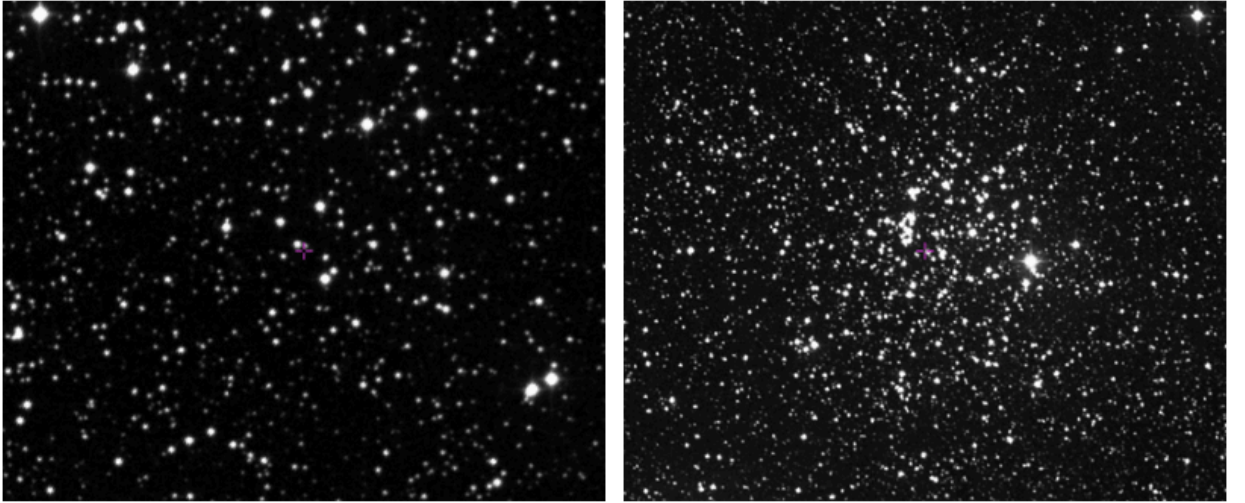
Samanyolu'nda bulunan açık kümeler, Galaksi diskinin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasının yanı sıra yıldızların oluşumu ve evrimlerinin araştırılmasında da kullanılır. Bu yıldız toplulukları aynı molekül bulutunun eşzamanlı çökmesi sonucunda oluştuklarından, kümeyi oluşturan yıldızlar aynı metal bolluğu, yaş ve uzaklık değerlerinde kabul edilirler. Bununla birlikte, kümeye üye yıldızların kütle dağılımları birbirinden farklıdır. Açık kümelerin bu özellikleri hem yıldız evrimi çalışan astrofizikçilere eşsiz bir laboratuvar sunar, hem de Galaksi'nin oluşumu ve evriminin anlaşılmasında önemli yer tutarlar.

Tez çalışmasında, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) T100 teleskobuna takılı CCD ve *UBV* filtreleriyle gözlenen Czernik 2 ile NGC 7654 açık kümeleri incelenerek yapısal ve astrofizik parametreleri elde edilecektir. Bu iki açık kümenin literatürdeki çalışmaları dikkate alındığında Czernik 2'nin açık küme olup olmadığı tartışmalıyken, NGC 7654'ün ise astrofizik parametreleri birbirinden farklı tayin edilmiştir.

Czernik 2 açık kümesi, 10' açısal çapa sahip ve 128 yıldız içeren bir açık küme olarak, ilk kez, Czernik (1966) tarafından literatüre kazandırılmıştır (Şekil 2.17). Czernik 2 kümesi, sönük görünen parlaklığa sahip yıldızlardan oluşmakla birlikte, oluşturdıkları aşırı yoğunluk nedeniyle Trumpler küme sınıflandırmasına göre alan yıldızlarından kolay ayırt edilebilir olarak sınıflanmıştır. Czernik 2'nin *UBV* fotometri sisteminde ilk CCD fotometrik gözlemleri Phelps ve Janes (1994) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar oluşturdıkları renk-parlaklık diyagramının analizlerinden Czernik 2'nin belirgin bir açık küme özelliği göstermediğini belirtmişlerdir. Maciejewski ve Niedzielski (2007) CCD *BV* ve 2MASS *JHK_s* gözlemlerini kullanıp Czernik 2'nin fotometrik ve astrometrik analizlerini yaparak bir açık küme olup olmadığını incelemişlerdir. Küme doğrultusunda farklı uzaklıklar için oluşturulan renk-parlaklık ve öz hareket diyagramlarını bir arada analiz eden Maciejewski ve Niedzielski (2007) küme doğrultusunda merkezi bir yoğunlaşma belirleyememişler hatta renk-parlaklık diyagramı üzerinde kümenin anakolunu alan yıldızlarından ayırt edememişlerdir. Bu nedenle araştırmacılar, Czernik 2'nin bir açık küme olmadığını iddia etmişlerdir.

NGC 7654 (M52), Trumpler I2r olarak sınıflandırılan, merkezi yıldız yoğunluğu dikkat çeken 6' açısal çapa sahip bir açık kümedir (Şekil 2.17). Kraliçe takımyıldızında bulunan bu açık küme

farklı araştırmacılar tarafından UBV ve $uvby\beta$ fotometrileriyle incelenmiştir (Lundby, 1946; Pesch, 1960; Schmidt, 1977; Danford ve Thomas, 1981; Kaltcheva, 1990). 2000’li yıllara kadar yapılan fotometrik çalışmalarda NGC 7654 açık kümesi için elde edilen astrofizik parametreler birbirine yakın bulunmuştur. Küme için hesaplanan $E(B-V)$ renk artışı 0.62 ile 0.70 kadir, uzaklığı ortalama olarak 1,450 pc ve yaşı da yaklaşık 60 ile 100 Myıl aralığında verilmiştir (Lundby, 1946; Pesch, 1960; Schmidt, 1977; Choi ve diğ., 1999). NGC 7654 açık kümesinin ayrıntılı bir analizi Pandey ve diğ. (2001) tarafından yapılmıştır. Küme doğrultusunda CCD $UBVRIC$ fotometrisiyle $V = 20$ limit kadirine kadar 17,860 yıldızı analiz etmişlerdir. Küme doğrultusundaki yıldız alanında $E(B-V)$ renk artışının 0.46 ile 0.80 kadir aralığında değiştiği gösterilmiş olup kümenin ortalama uzaklığı $1,380 \pm 70$ pc olarak verilmiştir. Bertelli ve diğ.’nin (1994) eş-yaş eğrilerini kullanan Pandey ve diğ. (2001) küme yaşını yaklaşık 160 Myıl olarak hesaplamışlardır. Kümenin astrofizik parametreleri dışında kütle fonksiyonunu da analiz ederek $0.8 < M/M_{\odot} < 4.5$ kütle aralığındaki anakol yıldızlarından itibaren kütle fonksiyonunu $\Gamma = -1.40 \pm 0.07$ olarak hesaplamışlardır.



Şekil 2.17: Czernik 2 (sol) ve NGC 7654 (sağ) açık kümelerinin *SIMBAD* veri tabanından alınmış görüntüleri.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışmasında, Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) T100 teleskobuyla elde edilen CCD (Charge-Coupled-Device) *UBV* fotometrik ve *Gaia* DR2 kataloğundaki astrometrik verilerinin birlikte analizi yapılarak hem yapısal hem de astrofizik parametrelerinin duyarlı elde edilmesi hedeflenmiştir.

3.1. GÖZLEMLER

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin fotometrik gözlemleri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin deniz seviyesinden 2547 m yükseklikteki Bakırlıtepe Yerleşkesi'nde bulunan T100⁹ teleskobuyla Bessell *UBV* filtreleri kullanılarak yapılmıştır. Geniş alanda çok renk fotometrisi veya astrometri amaçlı gözlemler için ABD'deki ACE firmasına yaptırılan 1.0 m ayna çaplı T100 teleskobu Bakırlıtepe Yerleşkesi'nde Güney Tepe'de bulunan binasına 2-8 Eylül 2009 tarihleri arasında kurulmuş ve ilk ışık 7 Ekim 2009 gecesi alınmıştır.

T100 birinci aynası 1 metre çapında $f/10$ odak oranına sahip, Ritchey Chretien optik düzenekli bir teleskoptur (Şekil 3.1). T100'ün odak düzleminde Spectral Instruments (SI) tarafından üretilmiş 1100 Cryo-cooler soğutmalı bir CCD kamera¹⁰ bulunmaktadır. Kamerada kullanılan Fairchild marka CCD486 model arkadan aydınlatmalı ve morötesi duyarlılığı arttırılmış CCD yongası $4,096 \times 4,096$ piksel formatlı olup, yongadaki piksellerin fiziksel boyutları 15×15 mikrondur. Bu kameranın piksel ölçeği $0.31''/\text{piksel}$ ve görüş alanı $21'.5 \times 21'.5$ 'dir. "Bias" seviyesi 500 ADU civarında, kuyu derinliği 142,900 elektron kadar, kara akımı $0.0002 \text{ e-}/\text{piksel}/\text{sn}$ olup kara akım düzeltilmesi gerektirmez ve mutlak olarak -100°C 'a kadar soğutulabilmektedir. T100 teleskop kamerasındaki CCD yongasının yapılan gözlemler açısından önemli avantajları vardır. Bunlar; birçok açık yıldız kümesinin tek pozla görüntülenebilmesini sağlayan geniş görüş alanına sahip olması ve hem uzun hem de kısa dalgaboylarında sağlamış olduğu yüksek kuantum verimliliğidir.

⁹ <http://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/t100>

¹⁰ <http://tug.tubitak.gov.tr/tr/icerik/si-1100-uv-ccd-kamera>

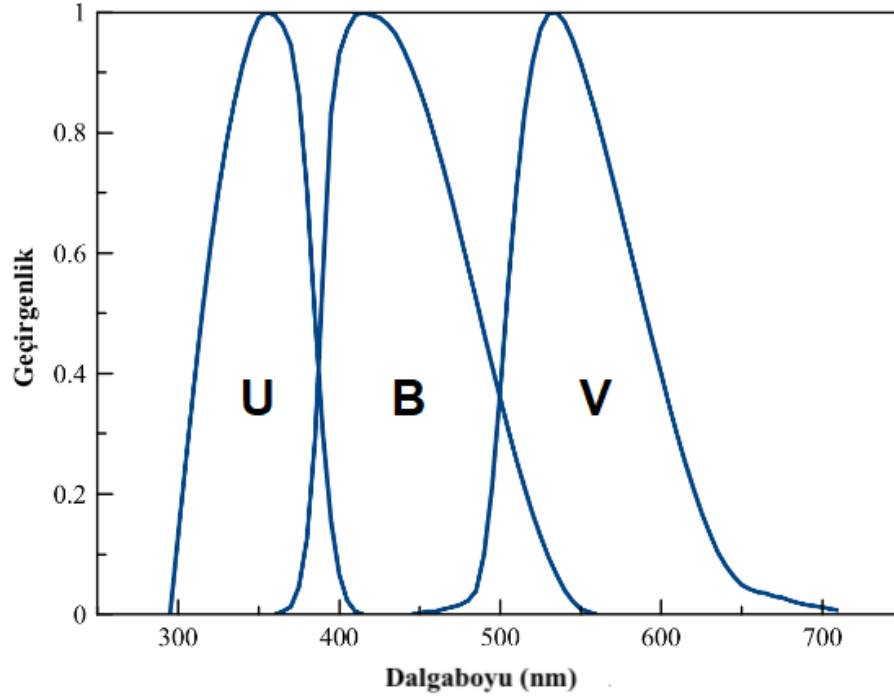


Şekil 3.1: Fotometri ve astrometri amaçlı gözlemlerde kullanılan 1.0 m ayna çaplı T100 teleskobu, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi/Bakırlitepe.

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 açık kümesi 6 Ekim 2018 ve NGC 7654 açık kümesi 7 Ekim 2018 tarihlerinde gözlenmiştir. Bu tarihlerde, gece ortalama görüş değeri V bandı için $1''.5$ olarak ölçülmüştür. Gözlemlerde kullanılan Bessell UBV filtrelerinin etkin dalgaboyları (λ) ve yarı bant genişlikleri ($\Delta\lambda$) Tablo 3.1’de verilmiş ve geçirgenlik eğrileri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: UBV filtrelerine ait etkin dalgaboyları ve yarı bant genişlikleri (Fiorucci ve Munari, 2003).

Filtre	$\lambda(\text{\AA})$	$\Delta\lambda(\text{\AA})$
U	3717	601
B	4204	900
V	5300	842

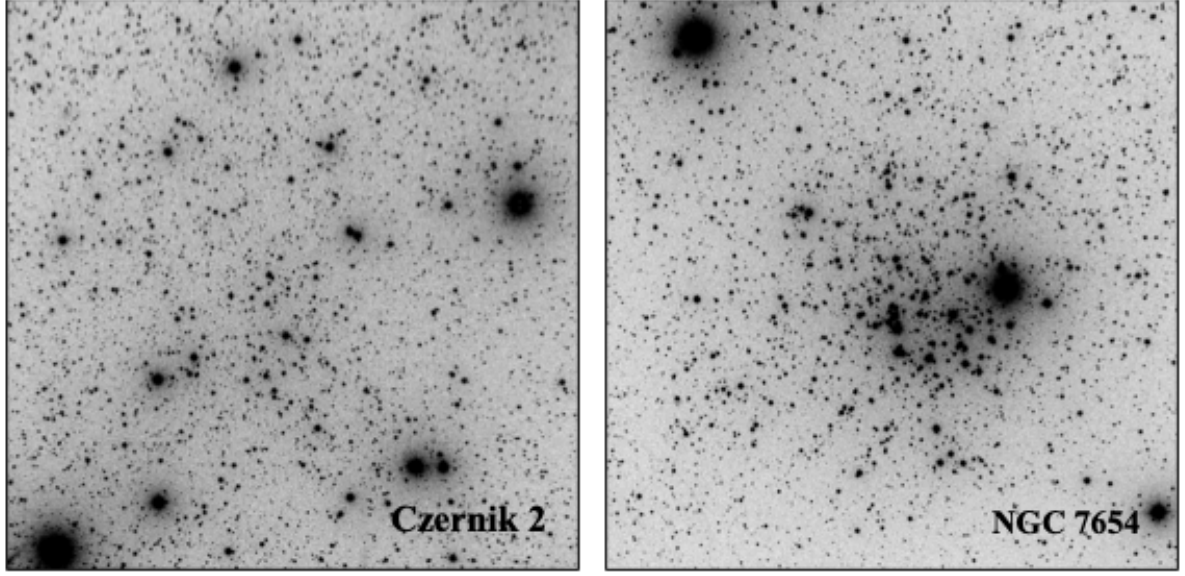


Şekil 3.2: *UBV* filtrelerinin normalize edilmiş geçirgenlik eğrileri.

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin gözlemleri sırasında küme doğrultusundaki parlak ve sönük yıldızların görüntülerini yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranıyla elde etmek ve CCD piksellerinin doymasını önlemek için, gözlemin yapıldığı *UBV* filtrelerinde farklı poz sürelerinde farklı sayıda görüntüler alınmıştır. Küme alanlarındaki sönük yıldızları da gözlemek gerektiği için Ay'sız geceler tercih edilmiştir. Standart sisteme dönüşüm ve sönümleme katsayılarının hesaplanması için çok sayıda standart yıldız alanı da farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin ekvatorial ve Galaktik koordinatları Tablo 3.2'de ve gözlem tarihleri, her filtrede alınmış görüntü sayıları ile poz süreleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Kümelerin V bandı görüntüleri ise Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin ekvatorial ve Galaktik koordinatları.

Küme	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ' ")	l (°)	b (°)
Czernik 2	00 43 42	+60 09 00	121.97	-2.71
NGC 7654	23 24 48	+61 35 36	112.82	+0.43



Şekil 3.3: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin T100 teleskobuyla V bandında alınmış görüntüleri.

Tablo 3.3: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin gözlem tarihleri, gözlemlerde kullanılan filtreler, poz süreleri ve görüntü sayıları.

Küme	Tarih	<i>UBV</i> Filtrelerindeki Poz Süresi (sn) $\times$ Görüntü Sayısı		
		<i>U</i>	<i>B</i>	<i>V</i>
Czernik 2	06.10.2018	90 $\times$ 5	8 $\times$ 5	5 $\times$ 5
		900 $\times$ 3	10 $\times$ 1	6 $\times$ 1
		1800 $\times$ 1	90 $\times$ 5	60 $\times$ 5
			900 $\times$ 2	600 $\times$ 2
NGC 7654	07.10.2018	30 $\times$ 1	3 $\times$ 5	1.5 $\times$ 5
		50 $\times$ 5	4 $\times$ 1	2 $\times$ 1
		120 $\times$ 4	10 $\times$ 1	15 $\times$ 5
		600 $\times$ 3	15 $\times$ 1	200 $\times$ 4
			30 $\times$ 5	
			400 $\times$ 4	

3.2. CCD KALİBRASYONLARI

Teleskop ve odak düzlemi aletleri, yapılan gözlemlerin kalitesine ve sonuçlarına etki eder. CCD'den alınan görüntüler sistematik hatalar içerir. Bu hataların giderilerek duyarlı parlaklıkların elde edilmesi amacıyla kullanılan kalibrasyon görüntü türleri sıfır (bias), kara akım (dark current) ve düz alan (flat field) görüntüsüdür.

3.2.1 Sıfır Görüntüsü

Bir CCD alıcısı, üzerine hiç ışık düşmese de piksellerde sürekli bulunan elektron üretir ve bu elektron sayımları taban gürültüsünü oluşturur. Bu elektronlardan kaynaklanan sayımlar pikselden piksele ve gece boyunca değiştiğinden toplam sayımdan çıkarmak gerekir. Bu etkiyi gidermek için gözlem sırasında sıfır saniye poz süresiyle CCD'ye hiç ışık düşürülmeden alınan bu görüntülere sıfır (bias) görüntüsü denir ve alınan her bir görüntü filtrelerden bağımsızdır. Tez çalışmasında incelenen kümelerin gözlemleri başlamadan önce ve bittikten sonra çok sayıda sıfır görüntüsü alınmıştır. Alınan sıfır görüntüleri IRAF programının *zerocombine* yazılımı kullanılarak birleştirilmiş ve birleşik (master) sıfır görüntüsü elde edilmiştir. Bu birleşik görüntü gece boyunca alınan diğer görüntülerden çıkarılarak sıfır görüntüsü kalibrasyonu yapılmıştır.

3.2.2 Kara Akım Görüntüsü

CCD'nin yapıldığı malzemenin sıcaklığına bağlı olarak poz süresi boyunca üretilen elektronlardan kaynaklanan hata içeren görüntülere kara akım (dark current) görüntüsü denir. Kara akım sistemin sıcaklığına duyarlı olduğundan CCD'lerin iyi soğutulması gerekir. Gözlemlere başlamadan önce CCD'nin belli bir değere kadar soğutulması ve sıcaklığının bu değerde kararlı hale gelmesi sağlansa da bir kara akım oluşabilir. Bu etkiden kurtulmak için gözlem sırasında görüntülerin alındığı poz süresine eşit sürede fakat CCD'nin üzerine ışık düşürülmeden görüntüler alınır ve uygun bir algoritmayla birleşik kara görüntüsü elde edilir. Kara akım görüntüleri, gözlemlerin yapıldığı aynı koşullarda (aynı sıcaklık, aynı elektrik sistemi) olmalıdır. Birleşik kara görüntüsü tüm görüntülerden çıkarılarak kara akım görüntüsü kalibrasyonu yapılır. Tez çalışmasında incelenen kümelerin gözlemleri için SI CCD yongasının kara akım değeri az olduğundan (-100°C 'de $0.0002 \text{ e}^-/\text{piksel}/\text{sn}$) ve poz süreleri dikkate alındığında kara akım düzeltilmesi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

3.2.3 Düz Alan Görüntüsü

CCD yongasının önünde bulunan koruyucu cam ve filtrenin yüzeyinde üretiminden kalan ya da sonradan oluşan izlerin yanı sıra her bir pikselinin kuantum verimliliği farklı olabilir. Bu nedenlerden kaynaklanan hataları düzeltmek için gözlem yapılan her filtrede CCD yüzeyinin her noktasına aynı miktarda ışık düşürülerek alınan görüntülere düz alan (flat field) görüntüleri denir. Üç farklı düz alan görüntüsü vardır: Kubbe, Gökyüzü ve Tan. Tez çalışmasında incelenen kümelerin gözlemleri için tan düz alan görüntüsü kullanılmıştır. Bu amaç için *UBV* filtrelerinde alaca karanlık saatlerinde çoğunlukla zenit civarından kısa poz süreleri ile alınan tan düz alan görüntüleri elde edilip her bir filtre için birleştirilerek birleşik düz alan görüntüsü oluşturulmuştur. Her bir filtre için birleşik düz alan görüntüleri piksel sayımlarının mod değerine göre normalize edildikten sonra aynı filtredeki normalize düz alan görüntüsüne bölünerek ve IRAF kullanılarak kalibrasyonlar yapılmıştır.

3.3. STANDART YILDIZLARIN FOTOMETRİSİ

Yıldızların parlaklığı sadece zamana ve dalga boyuna bağlı olmayıp gözlem yapılan yerdeki atmosferik koşullar ile kullanılan teleskop, filtre ve CCD'lerin farklı olmasına da bağlıdır. Yıldızların parlaklık ölçümleri için geçmişten günümüze farklı alıcılar kullanılmıştır. Günümüzde CCD denilen alıcılar ile gözlem yapılmaktadır. CCD'ler üzerine düşen ışığın şiddeti ile orantılı elektrik sinyali üreten alıcılardır. CCD'lerdeki sayısal dönüştürücüler ile nesnelerden gelen ışığın şiddeti sayısal olarak elde edilip bir bağıntı yardımıyla aletsel parlaklık elde edilir. Fotometrik CCD gözlemlerinden ölçülen aletsel parlaklıkların standart fotometrik sistemdeki parlaklıklara dönüştürülebilmesi için gözlem gecesine ait sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayılarının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle, standart yıldız gözlemleri için Landolt kataloğunun (Landolt, 2009) kullanımı tercih edilir.

Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin gözlemlendiği gecelerde Landolt'un (2009) standart yıldız alanları da gece boyunca farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir. Standart yıldız alanlarının görüntüleri, T100 teleskobuyla küme gözlemlerinin yapıldığı gecelerde, tan zamanlarında alınmış düz alan ve sıfır noktası görüntüleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Yıldız alanlarının seçiminde standart yıldızların geniş bir renk aralığında olmasına özen gösterilmiştir. Gözlemleri yapılan 12 standart yıldız alanının listesi Tablo 3.4'te verilmiştir.

Standart yıldızların aletsel parlaklıklarını belirlemeden önce, bu yıldızların görüntülerine sıfır ve düz alan düzeltmesi yapılmıştır. IRAF yazılımındaki *apphot* paketi kullanılarak standart yıldızların aletsel parlaklıkları açıklık fotometrisiyle ölçülmüştür. Açıklık fotometrisi, CCD görüntüsü üzerindeki bir nokta kaynağın merkezinden itibaren belirlenen bir çemberin içinde kalan toplam akının ölçülmesi yoluyla parlaklığın hesaplanmasına dayanan bir yöntemdir. Seçilen çember şekilli açıklık, kaynaktan gelen tüm akıyı ölçebilecek büyüklükte olmalıdır. Belirlenen açıklıktan ölçülen toplam akı değeri yıldızın akısını içermesinin yanı sıra, gökyüzü zemin akısını da içerir. Dolayısıyla gökyüzü zemin akısının her bir piksel için katkısını ölçmek gerekmektedir. Bu nedenle kaynağın çevresinde, bir halka belirlenir ve buradan piksel başına düşen ortalama sayım değeri (*piksel count*, *birimi ADU*, *Analog-to-Digital Unit*) hesaplanmış olur.

Tablo 3.4: Gözlemlerde kullanılan standart yıldız alanları ve ekvatorial koordinatları.

Standart Yıldız Alanları	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$
SA 92 SF 3	00:56:26	+00:45:30
SA 93	02:57:34	+00:17:27
SA 94	02:57:34	+00:17:27
SA 96	04:53:09	-00:10:18
SA 97 SF 1	05:57:35	+00:18:32
SA 98	06:52:00	-00:19:03
SA 99	07:55:40	-00:22:00
SA 109	17:44:07	-00:24:58
SA 111	19:37:26	+00:18:00
SA 112	20:42:26	+00:14:00
SA 113	22:41:48	+00:20:26
SA 114	22:41:48	+01:04:44

Bu şekilde açıklık içinde bulunan toplam zemin sayım değeri, açıklıktaki toplam sayım değerinden çıkarılıp, poz süresine bölünerek yıldızdan gelen akımın değeri hesaplanmış olur. Aletsel parlaklık hesabı aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

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

Bağıntıdaki F_T açıklık içindeki toplam piksel sayısı, Z_{ort} ortalama zemin sayımı, N açıklık içindeki toplam piksel sayısı, T ise saniye birimindeki poz süresidir. Tez çalışmasında kullanılan her bir standart yıldızın *UBV* filtrelerindeki aletsel parlaklıkları Bağıntı (3.1) kullanılarak elde edilmiştir. Yıldızların aletsel ve standart parlaklıkları bilindiğinden, bu

değerlerden parlaklık ve renk eşitlikleri kullanılarak sönümleme ve indirgeme katsayıları hesaplanmış ve küme yıldızlarının fotometrik parlaklıkları tayin edilmiştir.

3.4. AÇIK KÜMELERİN ASTROMETRİSİ VE FOTOMETRİSİ

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin *UBV* filtrelerinde alınmış görüntüleri, düz alan ve sıfır görüntüsü kullanılarak kalibre edilmiş ve sistematik hatalardan arındırıldıktan sonra nesnelerin ekvatorial koordinatlarını belirleyebilmek amacıyla astrometrik kalibrasyonlar yapılmıştır. Bu amaçla CCD görüntülerinde belirlenen kaynaklar, USNO A2.0 Kataloğu'ndaki (Monet, 1998) yıldızlar ile eşleştirilmiş ve IRAF yazılımındaki *ccmap* programı kullanılmıştır. Böylece görüntülerde astrometrik kalibrasyonu yapılan her bir kaynağın piksel koordinatları, ekvatorial koordinatlarına dönüştürülmüştür. *Python* programlama dilinde hazırlanan yazılım ile astrometrik kalibrasyonu yapılan görüntülerdeki her yıldızın, diğer görüntülerde de aynı piksel koordinatlarında bulunmaları sağlanmıştır.

İncelenen açık kümelerin CCD görüntüleri üzerinde yapılan indirgemeler ve ölçümler *python* ve *IDL* programlama dilleri kullanılarak geliştirilen yazılımlar ile birlikte IRAF ve PSFex paketleri kullanılarak analiz edilmiştir. Kümelerin *UBV* filtrelerindeki kısa ve uzun poz sürelerinde alınan görüntüleri, IRAF'ın *imcombine* yazılımı kullanılarak birleştirilmiştir. Küme alanındaki kaynakların aletsel parlaklıkları SExtractor (Bertin ve Arnouts, 1996) ve PSFex (Bertin, 2011) programlarıyla belirlenmiştir. Kullanılan bu program kalabalık yıldız alanlarında bulunan kaynakları belirleyerek galaksi-yıldız ayrımını yapar, belirlediği yıldızların aynı şiddet profiline sahip olduğu varsayımı altında nokta yayılım fonksiyonuyla (PSF) fit ederek akılarını toplar ve aletsel parlaklıklarını hesaplar. PSF fotometrisinde nokta yayılım fonksiyonu bir Gauss eğrisiyle temsil edilir ve kenarlara doğru gidildikçe kanatlarda ani bir düşüş meydana gelir, bu da yıldızın ölçülen akısında bir miktar kayba sebep olur. Hesaplamalardaki istatistiksel yaklaşımlardan dolayı küme alanında tespit edilen kaynakların aletsel parlaklıkları yeterli hassasiyette ölçülemeyebilir.

Bu durumu düzeltmek amacıyla yıldız alanı içinden 100 ila 150 kaynak seçilerek bu kaynaklar için açıklık fotometrisi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ISOPHOTOL PSF parlaklıklarıyla karşılaştırılmıştır. Böylece bir açıklık düzeltmesi elde edilmiş ve küme doğrultusunda bulunan tüm kaynaklara bu düzeltme uygulanmıştır. Böylece alandaki tüm kaynakların aletsel parlaklıkları duyarlı bir şekilde ölçülmüştür.

3.5 ALETSEL PARLAKLIKLARIN STANDART FOTOMETRİK SİSTEME DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Czernik 2 ve NGC 7654 kümeleri doğrultusundaki kaynakların mutlak fotometrilerinin yapılmasında, 6 ve 7 Ekim 2018 tarihlerinde gözlenen 12 standart yıldız alanından (Tablo 3.4) faydalanılmış ve standart yıldız alanları gece boyunca farklı hava kütlelerinde gözlenmiştir. Hava kütlesi değeri gözlemi yapılan görüntü dosyalarına otomatik olarak eklenmesine rağmen, dosyaların başlık bilgilerindeki bu hava kütlesi değeri kaba bir sonuç veren $X = \sec \zeta$ formülünden hesaplanmıştır. Bu sebeple gözlemlerin indirgenmesinde daha duyarlı değer veren

$$X = \sec \zeta - 0.0018167(\sec \zeta - 1) - 0.002875(\sec \zeta - 1)^2 - 0.0008083(\sec \zeta - 1)^3 \quad (3.2)$$

bağıntısı (Henden ve Kaitchuck, 1990) kullanılmıştır. Burada ζ gözlenen alanın merkezi bölgesinin zenit uzaklığıdır. Standart yıldız alanlarının kalibrasyonları tamamlandıktan sonra, ilgilenilen standart yıldızların aletsel parlaklıkları ölçülmüş ve parlaklık ile renk indeksleri Landolt'un (2009) güncel kataloğundan alınmıştır. Aletsel parlaklıkların standart fotometrik sisteme dönüştürülmesinde Janes ve diğ.'nin (2013) verdiği bağıntılar tercih edilmiştir. Buna göre V , $B-V$ ve $U-B$ parlaklık ve renklerinin belirlenmesinde;

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

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

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

bağıntıları kullanılmıştır. Burada u , b , v aletsel parlaklıkları, V standart sistemdeki parlaklığı, $U-B$ ve $B-V$ renk indekslerini, X hava kütlesini, k ve k' birinci ve ikinci mertebe sönümleme katsayılarını, α standart sisteme dönüşüm katsayılarını, C ise gecelik sabitleri temsil eder. Katsayıların indisleri ilgilenilen filtre veya rengi gösterir. Aletsel parlaklıklar, (3.3)-(3.5) bağıntıları kullanılarak standart sisteme dönüştürülürken çok sayıda standart yıldız kullanılmış ve bağıntılardaki katsayılar çoklu regresyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Tez çalışmasında, her bir gözlem gecesi için hesaplanan katsayıların ortalama değerleri kullanılmıştır. (3.3)-(3.5) bağıntılarından hesaplanan katsayılar dikkate alınarak gözlenen açık kümelerin doğrultusunda belirlenen kaynakların aletsel parlaklık ve renk indeksleri standart fotometrik sistemdeki parlaklık ve renk indeksi değerlerine dönüştürülmüş ve Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: 6 ve 7 Ekim 2018 geceleri için (3.3-3.5) bağıntılarıyla hesaplanan atmosferik sönmülemeye standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları ve gecelik sabitler.

Tarih	Filtre/Renk	Katsayı			
		k	k'	α	C
06.10.2018	U	0.5795 ± 0.0624	-0.0747 ± 0.0793	—	—
	B	0.2620 ± 0.0467	-0.0303 ± 0.0567	0.9775 ± 0.0842	1.3908 ± 0.0714
	V	0.1482 ± 0.0189	—	—	—
	$U-B$	—	—	0.9881 ± 0.1196	3.5383 ± 0.0968
	$B-V$	—	—	0.1009 ± 0.0106	1.4750 ± 0.0312
07.10.2018	U	0.2154 ± 0.0588	$+0.1071 \pm 0.0766$	—	—
	B	0.1651 ± 0.0458	$+0.0616 \pm 0.0520$	0.8214 ± 0.0821	1.5979 ± 0.0713
	V	0.1212 ± 0.0164	—	—	—
	$U-B$	—	—	0.7120 ± 0.1161	4.1107 ± 0.0883
	$B-V$	—	—	0.0773 ± 0.0069	1.5709 ± 0.0253

3.6. SIFIR YAŞ ANAKOLU BAĞINTILARI

Açık kümelerin uzaklıklarının ve yaşlarının hesaplanmasında kullanılan en temel yöntem anakol çakıştırma yöntemidir. Johnson ve Hiltner (1956) yıldızların anakoldaki evrim aşamalarının dikkate alınmaması durumunda, açık kümelerin uzaklıkları belirlenirken hataların artabileceğini ifade ederek “sıfır” yaş için standart bir anakol teriminden bahsetmişlerdir. Ancak, Sandage (1957) sıfır yaş anakolu (ZAMS) terimini literatüre kazandırmıştır. ZAMS bağıntılarını elde etmek için kullanılan iki standart küme literatürde oldukça çok çalışılan, uzaklığı iyi bilinen ve Güneş’e en yakın Hyades ve Pleiades (M45) açık kümeleridir.

Schmidt- Kaler’in (1982) üretmiş olduğu ZAMS bağıntıları Johnson ve Hiltner (1956), Sandage (1957) ve Blaauw (1963) bağıntılarıyla benzerlik gösterir. Mermilliod’in (1981) birçok açık kümenin fotometrik verisinden yararlanarak oluşturduğu ZAMS bağıntısı literatürdekilere göre daha az duyarlıdır. Sung ve Bessell (1999) ise metal bolluğuna daha az duyarlı $V-I$ rengi için ZAMS bağıntılarını üretmiştir. Sung ve diğ. (2013), optik renkler için en güncel bağıntıları oluşturmuştur. Sung ve diğ. (2013), η Carina bulutsusundaki açık kümeleri (Hur ve diğ., 2012) ve NGC 6611’in kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarını kullanarak ZAMS’ın üst kısmını, tek yıldızların sıfır yaş tanımından da ZAMS’ın alt sınırını oluşturmuştur. Orta ve geç tayf türündeki ZAMS için de sırasıyla, Mermilliod’un (1981) ve Schmidt-Kaler’in (1982) ZAMS bağıntılarını kullanmıştır. Kızarmadan arındırılmış renk bağıntılarını kullanarak $V-I$ rengi için de ZAMS bağıntılarını elde etmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6: Farklı ışıma gücü sınıfına (V, III, Ia ve Ib) ait yıldızların kızarmadan arındırılmış $B-V$, $U-B$ ve $V-I$ renk indeksleri (Sung ve diğ., 2013).

$(B-V)_0$		$(U-B)_0$			$(V-I)_0$	
	V	III	Ib	Ia	V	III
-0.325	-1.180	-1.200	-1.180	-1.180	-0.355	-0.340
-0.300	-1.060	-1.100	-1.150	-1.150	-0.330	-0.320
-0.275	-0.990	-1.000	-1.120	-1.120	-0.305	-0.304
-0.250	-0.890	-0.900	-1.080	-1.090	-0.280	-0.270
-0.225	-0.790	-0.790	-1.040	-1.050	-0.250	-0.230
-0.200	-0.700	-0.680	-1.000	-1.010	-0.220	-0.200
-0.175	-0.600	-0.570	-0.950	-0.970	-0.190	-0.170
-0.150	-0.500	-0.470	-0.880	-0.920	-0.160	-0.140
-0.125	-0.400	-0.370	-0.800	-0.860	-0.130	-0.110
-0.100	-0.300	-0.280	-0.740	-0.810	-0.110	-0.080
-0.075	-0.200	-0.200	-0.660	-0.760	-0.080	-0.053
-0.050	-0.110	-0.110	-0.580	-0.710	-0.056	-0.026
-0.025	-0.050	-0.055	-0.480	-0.650	-0.030	+0.000
+0.000	+0.000	+0.000	-0.350	-0.590	-0.003	+0.027
+0.050	+0.055	+0.065	-0.150	-0.330	+0.054	+0.080
+0.100	+0.085	+0.110	+0.010	-0.060	+0.110	+0.130
+0.150	+0.095	+0.120	+0.080	+0.060	+0.170	+0.190
+0.200	+0.085	+0.110	+0.160	+0.150	+0.230	+0.244
+0.250	+0.060	+0.095	+0.230	+0.230	+0.294	+0.300
+0.300	+0.350	+0.075	+0.270	+0.275	+0.353	+0.356
+0.350	+0.005	+0.070	+0.300	+0.300	+0.410	+0.410
+0.400	-0.010	+0.070	+0.325	+0.330	+0.470	+0.467
+0.450	-0.020	+0.075	+0.350	+0.350	+0.525	+0.520
+0.500	+0.000	+0.090	+0.375	+0.375	+0.575	+0.570
+0.600	+0.090	+0.160	+0.420	+0.420	+0.660	+0.670
+0.700	+0.230	+0.280	+0.450	+0.450	+0.740	+0.760
+0.800	+0.410	+0.440	+0.490	+0.490	+0.840	+0.830
+0.900	+0.650	+0.620	+0.630	+0.630	+0.950	+0.890
+1.000	+0.860	+0.840	+0.810	+0.810	+1.080	+0.960
+1.100	+1.040	+1.040	+0.980	+0.980	+1.220	+1.045
+1.200	+1.130	+1.240	+1.150	+1.150	+1.375	+1.140
+1.300	+1.200	+1.440	+1.330	+1.330	+1.555	+1.253
+1.400	+1.220	+1.640	+1.510	+1.510	+1.775	+1.386
+1.500	+1.170	+1.810	+1.680	+1.680	+2.250	+1.570
+1.600	+1.190	+1.890	+1.860	+1.860	+2.600	+1.800

3.7. KÜME ÜYESİ YILDIZLARIN BELİRLENMESİ

Galaksimizdeki açık kümeler Galaktik düzlem civarında dağılmışlardır. Bu bölgede yıldız yoğunluğu fazla olduğundan kümeye üye yıldızların alan yıldızlarından ayırt edilmesi zorlaşır. Kümelerin yapısal ve astrofizik parametrelerinin duyarlı hesaplanabilmesi için öncelikle kümeye üye yıldızların belirlenmesi gerekir. Bunun için astrometrik ve fotometrik verilerden yararlanılır. Açık kümeler için üyelik belirleme yöntemleri temelde ikiye ayrılabilir: kinematik

ve fotometrik yöntem. Kinematik yöntem ile üyelik belirlemek için öz hareket ve radyal hız verilerine ihtiyaç duyulur. Radyal hız tayininde küme doğrultusundaki tüm alan yıldızlarının tayfsal gözlemleri elde edilemediğinden yıldızların öz hareket verileri kullanılır.

Küme üyelerini alan yıldızlarından ayırabilmek için öz hareket bileşenleri ve bu bileşenlerin ölçüm hataları dikkate alınır. Kinematik olarak üyelik belirlerken bazı matematiksel varsayımlar yapılır. Benzer öz hareketlere sahip kümeye üye yıldızların küme ve alan yıldızlarının öz hareket ve radyal hız dağılımlarının Gauss dağılımı gösterdiği varsayılır. Öz hareketlerin doğruluğu düşük olduğunda veya küme yıldızlarının alan yıldızlarından çok daha az olduğu durumlarda kinematik yöntemlerden elde edilen üyeliklerin belirlenmesi yetersiz kalabilir. Yıldızların öz hareket verilerini kullanarak üyelik belirlemek, günümüzde çok kullanılan yöntemlerden biridir. Öz hareket bileşenlerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için, en az 25 ile 50 yıllık gözlemler gerekmektedir. Dolayısıyla geçmiş zamanlarda fotoğraf plaklarıyla alınmış gökyüzü görüntüleri önem kazanmıştır. Fotoğraf plakları kullanılarak alınan görüntülerin düşük kuantum verimliliği sebebiyle ancak $V = 16$ kadire kadar olan kaynakların astrometrik çalışmaları yapılabilmektedir. Güncel literatür çalışmalarından en duyarlı öz hareket kataloğu Zacharias ve diğ. (2017) tarafından oluşturulan UCAC5 kataloğudur. Bu katalog, Güneş'ten sadece 1 kpc uzaklığa kadar bulunan açık kümelerin üyelerini tespit etmek için kullanılır. Güncel olarak kullanılan diğer katalog Roeser ve diğ. (2010) tarafından literatüre kazandırılan PPMXL kataloğudur. Bu katalogda ölçülen astrometrik verilerin hatası, UCAC5 kataloğuna kıyasla daha fazla olmasına rağmen $V = 19$ kadire kadar bilinen sönük yıldızların öz hareket verilerini içermektedir. Günümüzde ise *Gaia* DR2 kataloğunun yayımlanmasıyla öz hareket verileri yüksek duyarlılıkla belirlenmiştir.

Fotometrik yöntemler kullanarak küme üyesi yıldızların belirlenmesi ise açık kümelerin Galaktik düzleme yakın olmasından dolayı küme doğrultusunda bulunan alan yıldızlarınca kirlenmesi sebebiyle zorlaşmaktadır.

Açık kümeler her ne kadar ortak öz hareket değerlerine sahip olup aynı radyal hız uzayını paylaşırlar da küme ile alan yıldızlarının da ortak fotometrik ve kinematik değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu gibi problemler nedeniyle tez çalışmada, kümeye üye olan yıldızları daha hassas belirleyebilmek için istatistik tabanlı *UPMASK* (Krone-Martins ve Moitinho, 2014) yöntemi kullanıldı. *UPMASK* programı R dilinde (Ihaka ve Gentleman, 1996)

yazılmış, özellikle açık kümeleri tespit etmek ve kümeye üye olan yıldızların olasılıklarını tayin etmek için hazırlanan bir kütüphanedir.

İstatistiksel olarak açık kümeler, parametre uzayında bir yığılma oluşturur. Bu temel yaklaşım kümelerin aynı buluttan meydana geldiği ve ortak yapısal özelliklere sahip olması sebebiyle söylenebilmektedir. Geliştirilen *UPMASK* programı, açık yıldız kümelerini ortak bir kökene sahip yıldız toplulukları olarak algılayıp, alan yıldızlarını ise ortak kökeni paylaşmayan uzaysal olarak seyrek olan nesneler olarak tanımlar. *UPMASK* yönteminin temel olarak kullandığı bu varsayım, programın kümeye üye olan yıldızların olasılıklarını belirlemek ve yıldız alanları tarafından kirlenen küme yıldızlarını belirleyebilmek açısından önemlidir.

UPMASK programı küme üyesi yıldızları belirleyebilmek için bir makine öğrenimi kümeleme yöntemi olan “*k-means (KM)*” algoritmasını kullanır. Burada, *KM* küme başına düşen yıldız sayısı olarak tanımlanmaktadır.

KM algoritmasında elde bulunan veriler, verilen k değerine göre kümelere bölünür. Algoritmanın çıkış noktası, birbirlerine benzerlik gösteren verilerin aynı küme içerisine alınması esasına dayanır. Elimizde bulunan verinin k tane parçaya bölünmesinden sonra kümeler arasındaki benzerlik azaltılırken, küme içerisindeki benzerliği arttırmak esasına dayanır (Monz, 2008). *KM* algoritmasının kullanılabilmesi için veri kümesinin ortalaması alınabilir olmalıdır. Küme merkezi olarak belirtilen nokta ise kümeyi meydana getiren verilerin aritmetik ortalamasıdır.

KM algoritmasında (Çoban, 2011) aşağıdaki gibi bir yol izlenir;

1. k parametresi seçilir.
2. Rastgele k adet küme merkezi seçilir.
3. Küme merkezi dışında kalan noktaların küme merkezlerine olan uzaklıkları hesaplanır. Veriler yapılan hesaplamaların ardından en yakın olan kümeye dahil edilir.
4. Verilerin dahil edilmesinin ardından yeni küme merkezleri hesaplanır.
5. Hesaplama sonucunda küme merkezi değişmez ise hesaplamalar sonlandırılır. Aksi durumda 3. ve 4. adımlar tekrar edilerek işleme devam edilir.

Açık yıldız kümelerinde bulunan yıldızların tümünün aynı uzaklıkta olmaları ve aynı doğrultuda hareket etmeleri beklenmektedir. Bu beklentiden dolayı R dilinde yazılan *scriptte* açık kümelerin astrometrik (*pmra*, *pmdec*, *plx*) verileri kullanılarak, Czernik 2 ve NGC 7654 kümelerinin üye yıldızları belirlenmiştir.

3.8. KÜME VERİLERİNİN KIZARMADAN ARINDIRILMASI

Fotometrik gözlemler, özellikle optik dalga boylarında, Galaktik düzlem ve çevresinde yoğun olan yıldızlararası ortamdan çok etkilenir. Açık kümeler de bu bölgelerde dağıldıklarından yıldızlararası ortamın etkisi nedeniyle yıldızlarının parlaklıkları sönükleşmekte ve renkleri ise kızarmaktadır. Astrofizik parametrelerinin duyarlı belirlenebilmesi için küme yıldızlarının parlaklık ve renklerinin yıldızlararası ortamın bu etkilerinden arındırılması gerekir.

Yıldızlararası sönükleşme hesabında toplam sönükleşmenin (A_V) seçici sönükleşmeye ($E(B-V)$) oranı R_V katsayısının iyi bilinmesi yıldızların kızarmadan arındırılmasında ve küme uzaklıklarının fotometrik olarak duyarlı belirlenmesinde önemlidir. R_V katsayısı, sönükleşmeye neden olan toz zerreciklerinin büyüklüğü ile ilişkilidir. Galaksimiz için birçok araştırmacı bu değeri 3.1 olarak kabul edip toplam sönükleşmeyi hesaplar. Stebbins ve Whitford (1943), çok sayıda O ve B tayf türünden yıldızın fotometrik çok renk ölçümlerinden Galaksi'nin tüm doğrultularında R_V 'nin aynı olduğunu öne sürerken, daha yeni çalışmalarda farklı doğrultularda değiştiği tespit edilmiştir (Johnson ve Borgman, 1963; Whittet, 1977; Cardelli ve diğ., 1989; Pandey ve diğ., 2000; Fitzpatrick ve Massa, 2009).

Yıldızların renklerindeki kızarma etkisini ortadan kaldırmak için, optik bölgede yapılan çalışmalarda, en çok $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı kullanılmaktadır. $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı ile ilgili renk bağıntıları UBV fotometrik sisteminin tanımlanmasından sonra birçok araştırmacı tarafından incelenip geliştirilmiştir (Johnson, 1966; FitzGerald, 1970; Mermilliod, 1981; Schmidt-Kaler, 1982). Johnson (1966) ve FitzGerald'ın (1970) çalışmalarında gerçek renk bağıntıları tüm ışıma gücü sınıfları için verilirken, Mermilliod'un (1981) çalışmasında sadece anakol yıldızları için verilmiştir. Gerçek renk bağıntılarının elde edildiği en güncel çalışma Sung ve diğ.'ne (2013) aittir. Sung ve diğ. (2013) erken tayf türünden anakol yıldızları için Mermilliod'un (1981), anakol dışında diğer ışıma gücü sınıfındaki yıldızlar için Johnson'ın (1966) çalışmasında elde edilen renk bağıntılarını kullanmıştır. Geç tayf türünden yıldızlar için

FitzGerald'ın (1970) verilerini kullanıp düzeltme uygulayarak yeni bağıntıları elde etmiştir (Tablo 3.6).

Kızarma miktarının hesaplanması için Şekil 2.10'da gösterilen iki-renk diyagramına kümenin anakol yıldızları işaretlenerek, standart kızarmamış anakol uyumu sağlanana kadar kızarma doğrusu boyunca kaydırılır ve $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıkları belirlenir. Johnson ve Morgan (1953) tarafından verilen kızarma kanunu ile kızarma doğrularının eğimini daha kapsamlı veriler ışığında yeniden inceleyen Hiltner ve Johnson (1956) kızarma doğrusunun bağıntısı olarak aşağıda verilen denklemi elde etmiştir:

$$E(U - B) / E(B - V) = 0.72 + 0.05E(B - V) \quad (3.6)$$

3.9. KÜMELERİN METAL BOLLUĞU TAYİNİ

Açık küme yıldızları aynı molekül bulutundan oluştukları için küme üyesi yıldızların metal bolluğu değerlerinin birbirine çok yakın olması beklenir. Bu nedenle, küme üyesi yıldızların metal bollukları belirlenirse kümenin metal bolluğu elde edilmiş olur. Yıldız atmosferlerinin element bollukları tayfsal veya fotometrik yöntemler ile belirlenebilir. Yüksek çözünürlüklü ve yüksek Sinyal/Gürültü (S/N) değerlerine sahip tayfsal veriler yardımıyla yıldızların metal bollukları daha duyarlı tayin edilebilir. Günümüzde gökyüzünü sistematik olarak tarayan tayfsal programlar yardımıyla yıldızların tayf türleri, radyal hızları, yüzey çekim ivmeleri ve farklı türden element bollukları gibi astrofizik parametreleri duyarlı olarak belirlenmektedir. Güneş civarındaki yakın yıldızların metal bollukları duyarlı ölçülürken uzak yıldızlara gidildikçe S/N değeri azaldığından metal bolluğu duyarlı ölçülemez. Kümelerin tayfsal metal bolluklarının duyarlı tayini için parlak anakol ve evrimleşmiş yıldızlara sahip olması gerekir. Bu nedenle, sadece sınırlı ışımaya gücü ve parlaklıktaki yıldızların tayfsal analizi yapılabilir. Ayrıca, üye sayısı fazla olan açık kümelerde tayfin alınıp analiz edilmesi zordur ve uzun gözlem zamanı gerekir.

Açık kümeler hem sönük hem de parlak yıldızlara sahip olduklarından fotometrik yöntemlerle daha duyarlı metal bollukları elde edilebilir. Yıldızların fotometrik metal bolluklarının belirlenmesinde genelde UBV parlaklıkları ve UBV fotometri sisteminde tanımlanmış morötesi artığı kullanılmaktadır. Metal bolluğuna duyarlı olan morötesi artığı (δ_{U-B}), yıldızların $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramındaki konumlarının Güneş bolluğundaki Hyades açık

kümesinin aynı renkteki anakoluna göre $U-B$ farkı olarak tanımlanır. Metalce fakir yıldızlar tayflarında morötesi bölgede metalce zengin olanlardan daha az absorbsiyon çizgileri gösterdiklerinden elektromanyetik tayfın aynı bölgesinde daha fazla enerji yayınlar ve U bandındaki akıllarında fazlalık gözlenir. Böylece, $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramında aynı renkteki metalce zengin olan Hyades kümesindeki anakol yıldızına göre bir morötesi fazlalığı gözlenir. Sandage (1969), yıldızların en büyük morötesi artışı değerinin $B-V = 0.6$ renk indeksinde olduğunu deneysel olarak göstermiştir. $B-V = 0.6$ renk indeksinin mavi ve kırmızı taraflarında morötesi artışı aynı bir metal bolluğu değeri için azaldığından farklı renk indekslerindeki morötesi artıklarını $B-V = 0.6$ 'daki morötesi artışına normalize etmek üzere f ile gösterilen bir çarpanla genişletmiştir. Bu şekilde elde edilen morötesi artışı $\delta_{0.6}$ ile gösterilmektedir. Yaklaşık geçen 50 yıllık süre içinde çok sayıda araştırmacı tarafından UBV fotometrik sisteminde metal bolluğu kalibrasyonu geliştirilmiştir (Laird ve diğ., 1988; Karaali ve diğ., 2003, 2005, 2011; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2016). Tez çalışmasında metal bolluğu tayininde Karaali ve diğ.'nin (2011) bağıntısı kullanılmıştır. Karaali ve diğ. (2011) UBV sisteminde renk indeksleri $0.32 < (B-V)_0 < 1.16$ kadir ve tayfsal demir bollukları $-1.76 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.40$ dex aralıklarında bulunan 701 F ve G tayf türü anakol yıldızını kullanarak fotometrik metal bolluğunun hesabında aşağıda verilen bağıntıyı hassas bir şekilde elde etmiştir:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -14.310\delta_{0.6}^2 - 3.557\delta_{0.6} + 0.105 \quad (3.7)$$

Burada $\delta_{0.6}$, $(B-V)_0 = 0.6$ kadir renk indeksinde ölçülen morötesi artışıdır. Aynı $B-V$ renk indeksindeki yıldız ile Hyades yıldızının $U-B$ renk indeksleri arasındaki farktır ve Y yıldız, H Hyades kümesi olmak üzere $\delta_{0.6} = (U-B)_Y - (U-B)_H$ şeklinde ifade edilir.

Kümelerin yaşlarının hesaplanmasında gerekli olan ağır element bollukları (Z), Karaali ve diğ.'nin (2011) bağıntısından hesaplanan demir bolluklarının Bovy'nin¹¹ PARSEC eş-yaş eğrilerini kullanarak analitik yolla elde ettiği aşağıdaki bağıntılarda kullanılmasıyla hesaplanmıştır:

$$Z_X = 10^{\left[[\text{Fe}/\text{H}] + \log\left(\frac{Z_\odot}{1 - 0.2485 - 2.78 \times Z_\odot}\right) \right]} \quad (3.8)$$

¹¹ <https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py>

$$Z = \frac{(Z_X - 0.2485 \times Z_X)}{(2.78 \times Z_X + 1)} \quad (3.9)$$

Burada Z_X , (3.7) numaralı bağıntıdan hesaplanan kümenin demir bolluğu ($[\text{Fe}/\text{H}]$) ve Güneş'in ağır element bolluğuna ($Z_\odot=0.0152$) bağlı bir ara işlem fonksiyonudur. Z ise Z_X 'in bir fonksiyonu (Bağıntı 3.9) olup, kümenin ağır element bolluğunun hesaplanmasında kullanılan bağıntıdır.

3.10. KÜMELERİN UZAKLIK VE YAŞ TAYİNLERİ

Açık kümede bulunan yıldızlar Güneş'e uzaklık açısından bakıldığında neredeyse aynı uzaklıkta bulunurlar. Açık kümelerin uzaklıkları kümeye üye yıldızların uzaklık modülündeki dağılımlarından itibaren belirlenebilir. Açık kümelerin uzaklıkları genelde kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarına ZAMS bağıntıları uygulanarak hesaplanır. $V_0 \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde ZAMS bağıntıları küme üyesi yıldızlara fit edilerek uzaklık modülleri belirlenir ve buradan da uzaklık hesaplanır. Tez çalışmasında uzaklık modüllerinin belirlenmesinde PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. PARSEC eş-yaş eğrileri oluşturulan $V \times B-V$ ve $V \times U-B$ renk-parlaklık diyagramlarında incelenen kümelerin belirlenmiş $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıkları da dikkate alınarak dik yönde kümelerin anakol yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayacak şekilde kaydırılarak uzaklık modülü tayin edilir. Bu yöntem literatürde anakol çakıştırma yöntemi olarak bilinir. Uzaklıklar ise belirlenmiş $E(B-V)$ renk artığının da hesaba katıldığı aşağıda verilen uzaklık modülü bağıntısından hesaplanır:

$$(m_V - M_V)_0 = V - M_V - A_V = 5 \times \log(d) - 5 \quad (3.10)$$

Bağıntı (3.10)'a göre $(m_V - M_V)_0$ kızarmadan arındırılmış uzaklık modülü, $V-M_V$ kümenin anakol çakıştırma yöntemiyle elde edilen uzaklık modülü, A_V yıldızlararası sönmüleme değeri ve d kümenin uzaklığıdır.

Uzaklık hatalarının hesabında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

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

$$\Delta[\log(d)] = \frac{1}{5} \times [\Delta V + \Delta(M_V) + \Delta(A_V)] \quad (3.11)$$

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

Burada ΔV ve $\Delta(B-V)$ parlaklık ve renk hatalarını göstermektedir. İncelenen küme için medyan değer kullanılır ve sonuç olarak, kümenin uzaklığındaki hata aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$\Delta(d) = \ln(10) \times d \times \frac{1}{5} \times [\Delta V + 3.1 \times \Delta(B - V)]. \quad (3.12)$$

Galaksi diski boyunca geniş bir yaş aralığında dağılan açık kümelerin üye yıldızları kümenin aynı buluttan aynı zamanda oluştuğu kabul edildiğinden aynı yaşadıkları fakat kütleleri farklıdır. Aynı yaşta ancak farklı kütlelerde bulunan yıldızlar tek bir eş-yaş eğrisiyle ifade edilebilir ve bu da yıldız evrimi açısından son derece önemlidir. Farklı yaşlardaki açık kümelerin incelenmesi hem yıldız evriminin farklı aşamaları hem de Galaksi diskinin oluşumu, evrimi ve yapısıyla ilgili teorilerin sınanmasını sağlar.

Açık kümelerin yaşı hesaplanırken kuramsal yıldız evrim modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller oluşturulurken yıldızların başlangıç kütle değerleri, element bollukları gibi parametreler göz önüne alınır. Literatürde en çok kullanılanlardan biri Padova grubu tarafından üretilmiş yıldız evrim modelleridir. Bu grubun bilinen en güncel eş-yaş eğrileri Bressan ve diğ. (2012) tarafından yayımlanan ve çok sayıda fotometrik sistem için üretilmiş PARSEC¹² eş-yaş eğrileridir. Bu yıldız evrim modelleri sürekli güncellenmektedir. Dr. Leo Girardi tarafından son güncellemesi 31 Mayıs 2019 tarihinde yapılmıştır. PARSEC eş-yaş eğrileri, kırmızı dev yıldızların iç yapılarındaki karmaşık konvektif hareketler ile çevrelerindeki toz yapıları hesaba katacak şekilde üretildiklerinden diğer yıldız evrim modellerinden daha üstündür.

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri için $V \times B-V$ ve $V \times U-B$ renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş ve PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak kümelerin yaşları ve uzaklık modülleri eş zamanlı olarak hesaplanmıştır.

¹² <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

4. BULGULAR

Czernik 2 ve NGC 7654 açık yıldız kümeleri, sırasıyla, 6 ve 7 Ekim 2018 tarihlerinde TUG'daki T100 teleskobuna takılı CCD ve *UBV* filtreleriyle gözlenmiştir. Gözlemlerde her bir filtre için farklı poz süreleri kullanılarak kümenin parlak ve sönük yıldızlarını içeren fotometrik veriler elde edilmiştir (Tablo 3.3). Gözlem gecelerinde küme görüntüleri dışında Landolt'un (2009) standart yıldız alanları da gözlenmiştir. Gözlemlerin kalibrasyonları Bölüm 3.2'de verilen yöntemler ile yapılmış, böylece teleskop ve odak düzlemindeki CCD kameradan kaynaklanan sistematik hatalar küme ve standart yıldız alanlarının görüntülerinden arındırılmıştır.

Czernik 2 ve NGC 7654 küme alanlarındaki nesnelerin aletsel parlaklıklarının ölçülmesinden önce astrometrik düzeltme yapılarak görüntü üzerindeki her bir nesnenin ekvatorial koordinatları (α , δ) hesaplanmıştır. Kümelerin *UBV* filtrelerindeki görüntülerinden IRAF yazılımı kullanılarak her bir filtre için birleştirilmiş görüntüler elde edilmiş ve küme alanındaki nesnelerin aletsel parlaklıkları SExtractor ve PSFex programlarıyla (Bertin ve Arnouts, 1996) ölçülmüştür. Aletsel parlaklıklardan itibaren standart sistemdeki parlaklıkların hesaplanmasında (3.2)-(3.5) bağıntıları ve standart yıldız gözlemlerinden belirlenen katsayılar kullanılmıştır (Tablo 3.5). Böylece gözlenen Czernik 2 ve NGC 7654 kümeleri doğrultusundaki nesnelerin aletsel parlaklıkları standart sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmüştür.

İndirgemeler sonucunda Czernik 2 kümesi alanında belirlenen 5,077 yıldızın ekvatorial koordinatları, *UBV* parlaklık ve renkleriyle ölçüm hatalarını içeren bir katalog hazırlanmıştır. Katalogdaki kaynakların ekvatorial koordinatları *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundaki koordinatlar ile açısal uzaklık için 5 yay saniyelik bir üst sınır dikkate alınarak eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme sonucunda küme alanı doğrultusundaki 5,077 yıldızın öz hareket ve trigonometrik paralaks verisine ulaşılmıştır. Czernik 2 açık kümesi doğrultusundaki nesnelerin konum ve *UBV* fotometrik verileriyle birlikte *Gaia* DR2 kataloğundan belirlenen öz hareket ve trigonometrik verileri derlenerek bir ana katalog oluşturulmuştur. Benzer işlemler NGC 7654 kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldız için de yapılmış ve küme alanındaki yıldızların ana kataloğu, açısal uzaklık $r = 8$ yay saniyesi olacak şekilde bir üst sınır belirlenerek hazırlanmıştır.

4.1 KÜME VERİLERİNİN ANALİZİ

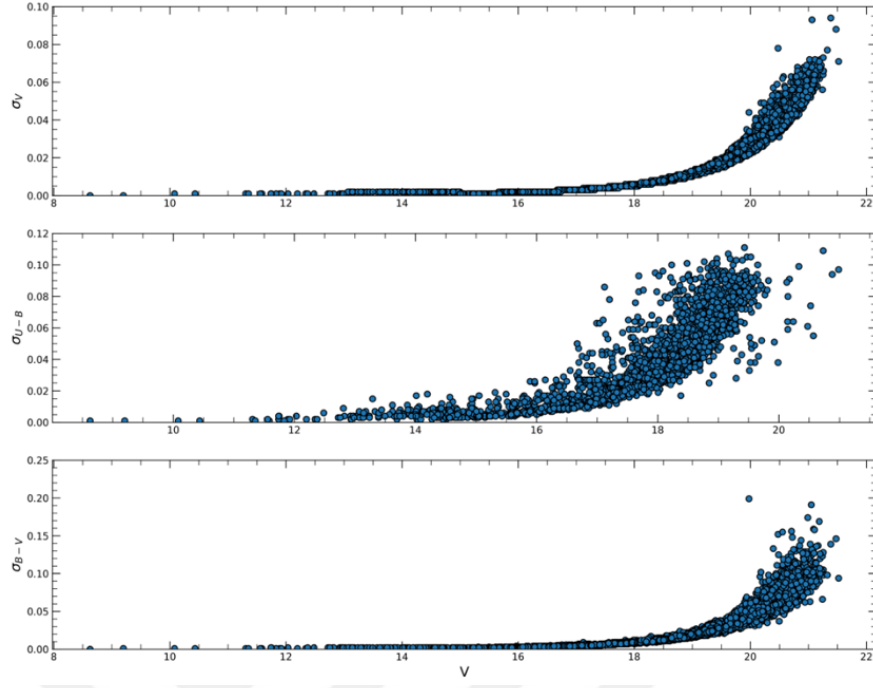
Czernik 2 ve NGC 7654 açık küme alanlarında tespit edilen yıldızların aletsel parlaklıkları standart sistemdeki değerlere dönüştürüldükten sonra, iki kümenin de ekvatorial koordinatlarını, V parlaklıklarını, $U-B$ ve $B-V$ renk indekslerini ve bu ölçümlerin hatalarını içeren fotometrik katalogları oluşturulmuştur. Kümeye üyelik kriterlerinin belirlenmesi için fotometrik kataloglardaki yıldızların koordinatları *Gaia* DR2’de aynı konumdaki kaynakların astrometrik verileriyle eşleştirilmiştir. Böylece, iki kümenin katalogları ekvatorial koordinat ve fotometrik verilerin yanı sıra, kaynakların öz hareket, trigonometrik paralaks ve bu ölçümlerin hatalarını içerecek şekilde genişletilmiştir. Tez kapsamında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri için oluşturulan kataloglarda, sırasıyla, 5,077 ve 3,847 yıldız belirlenmiştir.

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri doğrultusunda tespit edilen yıldızların V parlaklığı ile $U-B$ ve $B-V$ renk indekslerinin hesaplanan hataları V parlaklığının bir fonksiyonu olarak Tablo 4.1’de listelenmiş ve Şekil 4.1 ile Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

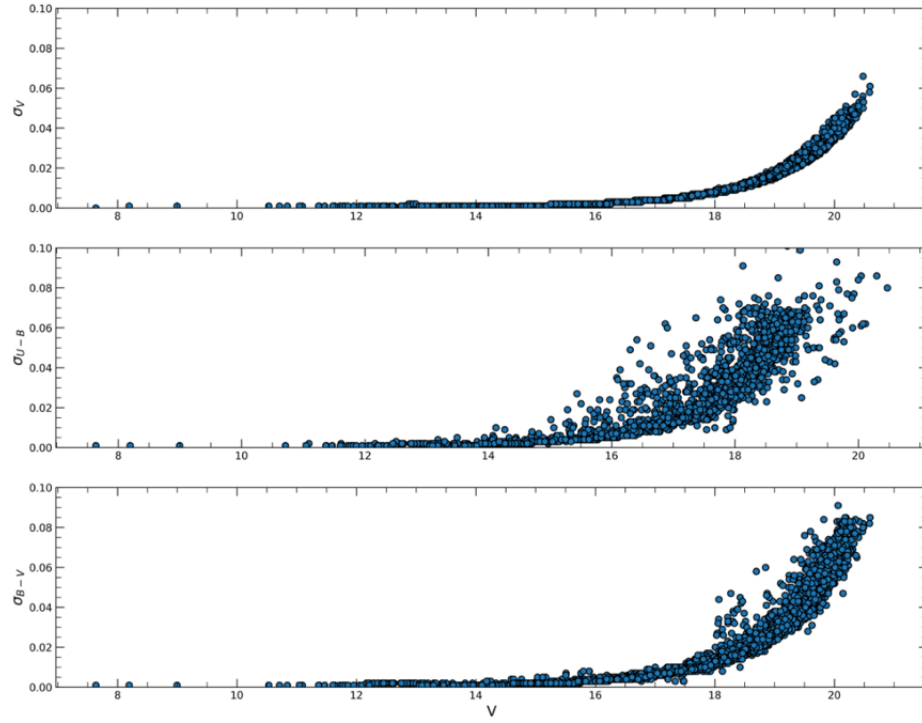
Tablo 4.1: Görünen V parlaklığına göre hesaplanan ortalama fotometrik hatalar. N , parlaklık aralığına düşen yıldız sayısıdır.

Parlaklık Aralığı	Czernik 2				NGC 7654			
	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$7 < V \leq 12$	14	0.001	0.002	0.001	20	0.001	0.001	0.001
$12 < V \leq 14$	58	0.002	0.005	0.002	101	0.001	0.002	0.001
$14 < V \leq 15$	111	0.002	0.006	0.002	131	0.001	0.003	0.002
$15 < V \leq 16$	163	0.001	0.008	0.002	184	0.002	0.007	0.003
$16 < V \leq 17$	313	0.002	0.014	0.004	366	0.003	0.013	0.005
$17 < V \leq 18$	587	0.004	0.028	0.007	584	0.006	0.025	0.009
$18 < V \leq 19$	965	0.008	0.046	0.014	1023	0.012	0.047	0.020
$19 < V \leq 20$	1435	0.018	0.056	0.029	1262	0.026	0.070	0.044
$20 < V \leq 21$	1431	0.041	—	0.070	176	0.043	0.073	0.072

Parlaklık hataları aletsel parlaklıkların istatistiksel belirsizliklerinden, renk indeksi hataları ise söz konusu bandlardaki hataların yayılımından hesaplanmıştır. Czernik 2 açık kümesindeki sönük yıldızlara gidildikçe V bandındaki hatalar yaklaşık 0.02 kadire, NGC 7654 kümesinde ise bu değer yaklaşık 0.03 kadire ulaşmaktadır. Czernik 2 açık kümesindeki sönük yıldızların $U-B$ ve $B-V$ renk indekslerindeki hataları, sırasıyla, yaklaşık 0.06 ve 0.03 kadir iken NGC 7654 açık kümesi için her iki renk indeksindeki hatalar sırasıyla, yaklaşık 0.07 ve 0.04 kadirdir.

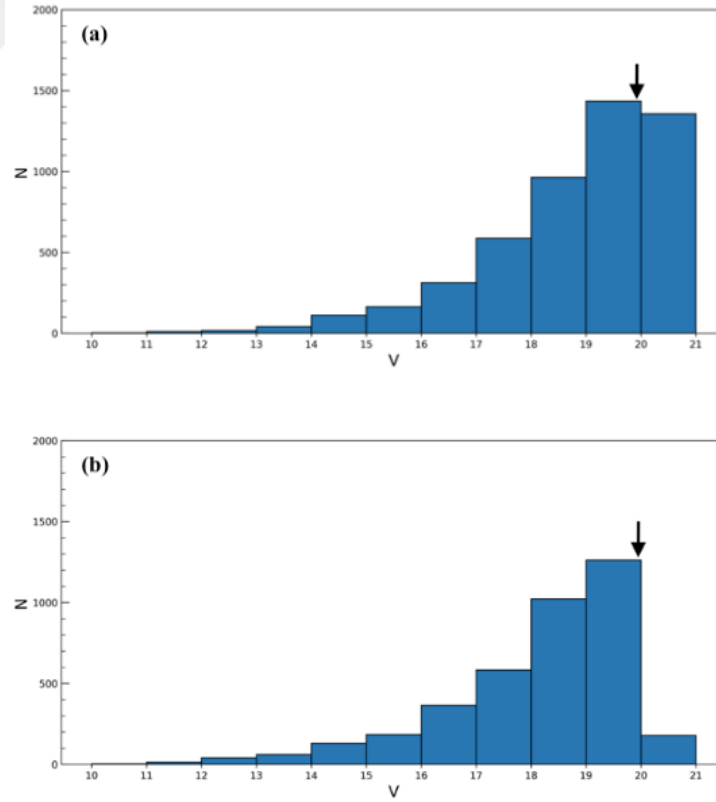


Şekil 4.1: Czernik 2 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 5,077 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.



Şekil 4.2: NGC 7654 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.

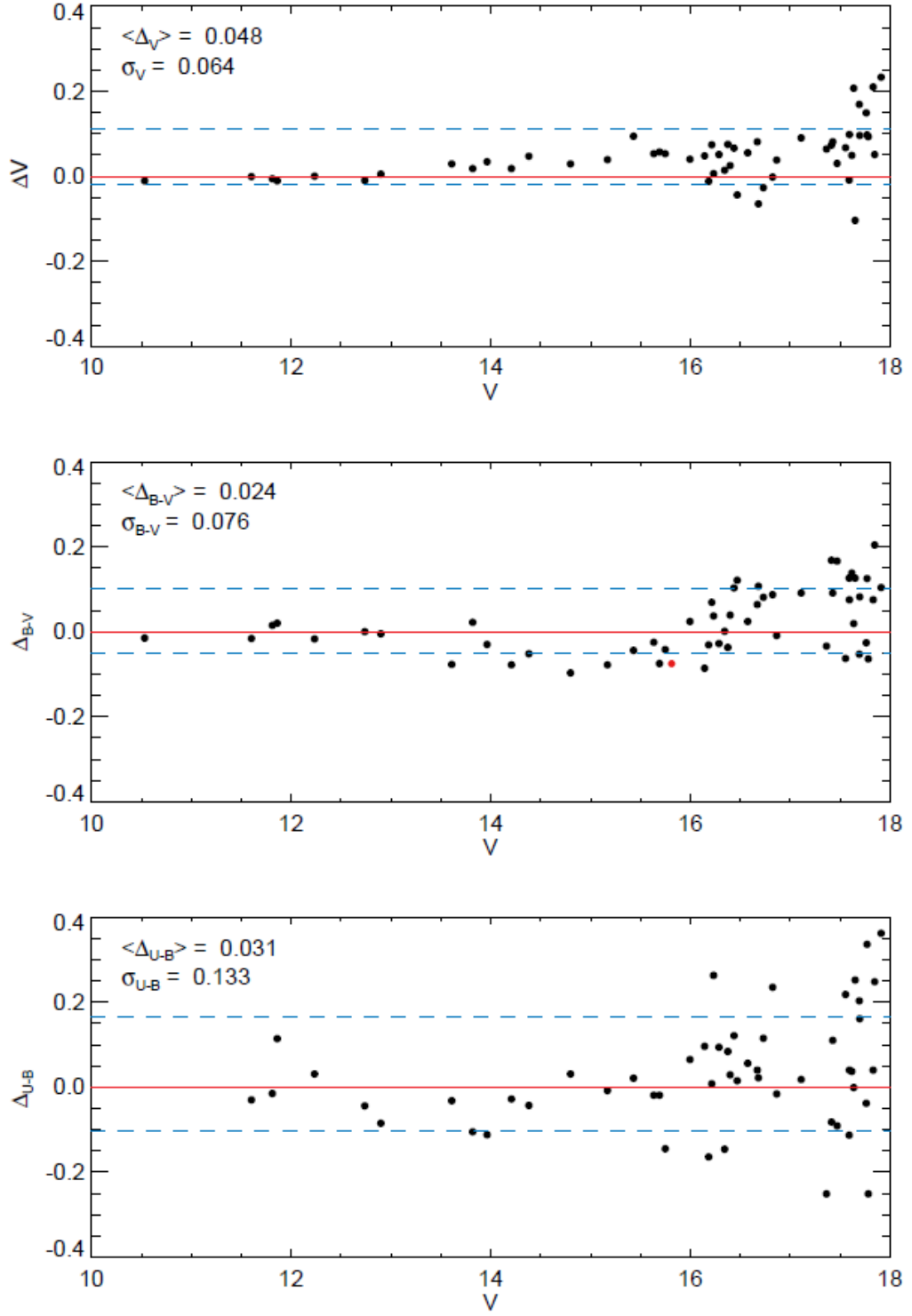
Küme analizlerinin daha hassas yapılabilmesi için, öncelikle kataloglardaki yıldızların fotometrik tamlık sınırları incelenmiştir. Fotometrik tamlık sınırı, gözlemlerde kullanılan poz sürelerine göre küme alanındaki nesnelerin hangi sönük parlaklık sınırına kadar tespit edildiğini gösterir. Bir küme alanında tamlık sınırından daha sönük veya parlak yıldızlar bulunabilir. Tez çalışmasında incelenen iki açık küme için ardışık V görünen parlaklık aralıklarındaki yıldız sayılarının histogramları oluşturulmuş ve yıldız sayılarının azalma gösterdiği parlaklık değerleri kümelerin sönük tamlık sınırı olarak kabul edilmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık küme alanındaki yıldızların V parlaklıklarına göre oluşturulmuş histogramları, Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Her iki açık küme için oluşturulan histogramlarda yıldız sayılarının $V = 20$ kadirine kadar arttığı görülmektedir. Bu parlaklık değerinin ötesinde yıldız sayısı azaldığı için incelenen açık kümelerin tamlık sınırları $V = 20$ kadir olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3'ten görüldüğü üzere küme alanındaki yıldızlar $10 < V < 20$ kadir parlaklık aralıklarında etkindir. Kümeler için belirlenen tamlık sınırları, kümelerin astrofizik parametreleri tayin edilirken dikkate alınmıştır.



Şekil 4.3: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusunda belirlenen yıldızların V görünen parlaklıklarına göre frekans dağılımları. Ok sembolü tamlık sınırını göstermektedir.

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri doğrultusundaki fotometrik verilerin duyarlılıklarını ortaya koyabilmek için literatür taraması yapılmıştır. Bu tarama sonucunda Czernik 2 kümesi için bir katalog bulunamamıştır. Buna karşın NGC 7654 açık kümesinin CCD $UBVI_c$ gözlemlerinin Pandey ve diğ. (2001) tarafından incelendiği ve küme doğrultusunda fotometrik ölçümelerini yaptıkları kaynakların bir kataloğunun Vizier’de bulunduğu tespit edilmiştir.

NGC 7654 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldızın ekvatorial koordinat verilerinden 98 tanesi Pandey ve diğ.’nin (2001) kataloğundaki yıldızlar ile örtüşmüştür. Örtüşen bu yıldızların parlaklık ve renk indekslerinin karşılaştırılması Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Şekil 4.4’teki her panelin yatay ekseninde tez çalışmasındaki görünen V parlaklığı, dik eksenlerde ise tez çalışmasında hesaplanan parlaklık ve renk indeksleriyle Pandey ve diğ.’nin (2001) verdiği değerler arasındaki farklar bulunmaktadır. Ayrıca iki çalışma arasında hesaplanan farkların ortalama değerleri ve standart sapmaları da şekiller üzerinde verilmiştir. Şeklin üst panelinde görünen V parlaklıklarının karşılaştırılmasından ortalama farklar 0.048 kadir ve bu farkların standart sapması da 0.064 kadir hesaplanmıştır. Genel olarak görünen parlaklık farkları $V = 14$ kadire kadar sıfır civarındayken sönük parlaklıklara doğru fark 0.1 kadire artmaktadır. Şeklin orta panelinde iki çalışmaya ait $B-V$ renk indekslerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Eşleşen kaynaklardan hesaplanan ortalama fark ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.024 ve 0.076 kadirdir. Bu panelden de görüleceği gibi $V = 14$ görünen parlaklığına kadar ortalama farklar hemen hemen sıfır civarındayken, sönük parlaklıklara doğru bu farklar 0.2 kadire kadar artmaktadır. Şeklin alt panelinde iki çalışmada eşleşen yıldızların $U-B$ renk indeksi farkları incelenmiştir. Karşılaştırmadan ortalama farklar 0.031 kadir ve bu farkların standart sapması da 0.133 kadir hesaplanmıştır. $U-B$ renk indeksine ait ortalama hataların küçük olmasına karşın standart sapmaları beklenildiği gibi sönük parlaklıklara doğru artmaktadır. Genel olarak, iki çalışmada hesaplanan parlaklıkların oldukça uyumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 4.4: NGC 7654 açık kümesi doğrultusunda belirlenen 3,847 yıldızın parlaklık ve renk indeksi hatalarının V parlaklığına göre dağılımı.

4.2. KÜMELERİN YAPISAL PARAMETRELERİ

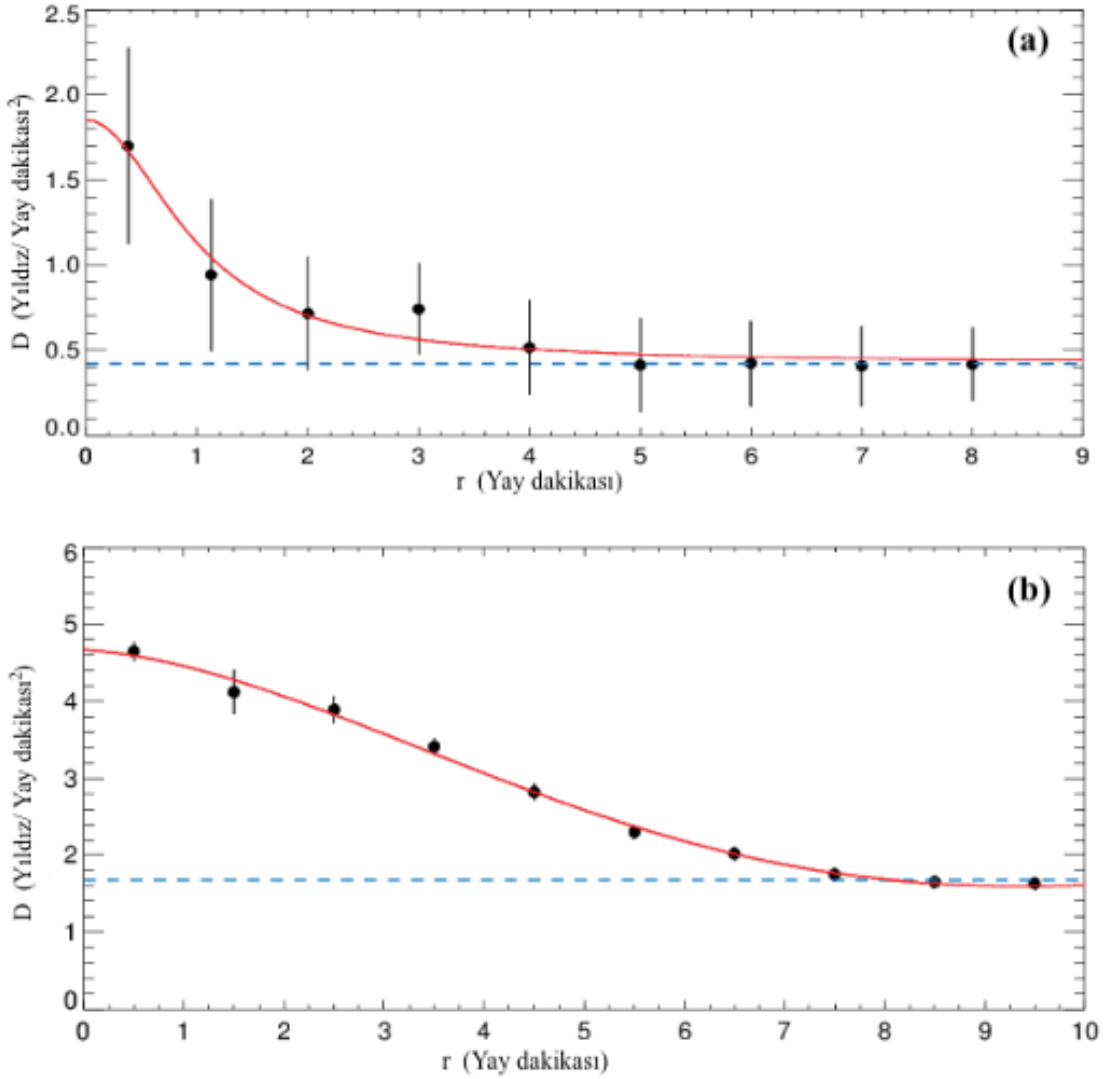
Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin yapısal parametrelerinin hesaplanabilmesi için küme doğrultusundaki yıldız yoğunluk profilleri oluşturulmuştur. Bu profillere King (1962) modeli fit edilerek kümelerin merkezi ve zemin yoğunluklarıyla birlikte kor yarıçapları hesaplanmıştır. King (1962), az/çok sayıda küme üyesi yıldızlardan kümelerin galaksinin gel-git kuvvetlerinden etkilenen, eş ısıllı küreler için beklenen yüzey parlaklığının hesaplanabileceğini göstermiştir. Bu tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri için, küme merkezlerinden itibaren farklı açısal uzaklık aralıklarındaki yıldız sayıları hesaplanmış ve her bir uzaklık aralığındaki yıldız sayı yoğunlukları elde edilmiştir. Kümelerin yoğunluk profilleri oluşturulurken (4.1) bağıntısında verilen King modeli kullanılmıştır.

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

Burada $\rho(r)$ küme merkezinden r yay dakikası uzaklığındaki yıldız yoğunluğunu, f_{bg} zemin yoğunluğunu, f_0 merkezi yoğunluğu, r_c de kümenin kor yarıçapını göstermektedir. Gözlemsel verilerin King modeline uygunluğu χ^2 analiziyle belirlenmiştir. En iyi modelin seçiminde en küçük χ^2 değerli modelin parametreleri kümenin yapısal parametreleri olarak kabul edilmiştir. Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin yoğunluk profilleri ve bu profillere fit edilen King modelleri Şekil 4.5'te gösterilmiş, hesaplanan yapısal parametreler de Tablo 4.2'de listelenmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin modellenen sayı yoğunluk profilleriyle zemin sayı yoğunluklarının, sırasıyla, küme merkezlerinden 5 ve 8 yay dakikası uzaklıkta hemen hemen eşitlendikleri görülmüştür. Bu nedenle kümelerin temel astrofizik parametrelerinin elde edilmesinde kullanılacak analizlerde küme üyesi yıldızların daha duyarlı seçilebilmesi için yukarıda verilen sınır değerler de dikkate alınmıştır.

Tablo 4.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin zemin ve merkezi yoğunlukları ile kor yarıçapları.

Küme	f_{bg} (yıldız/yay dakikası ²)	f_0 (yıldız/yay dakikası ²)	r_c (yay dakikası)
Czernik 2	0.424 ± 0.266	1.426 ± 0.663	0.988 ± 0.879
NGC 7654	1.680 ± 0.257	3.024 ± 0.274	4.663 ± 0.699



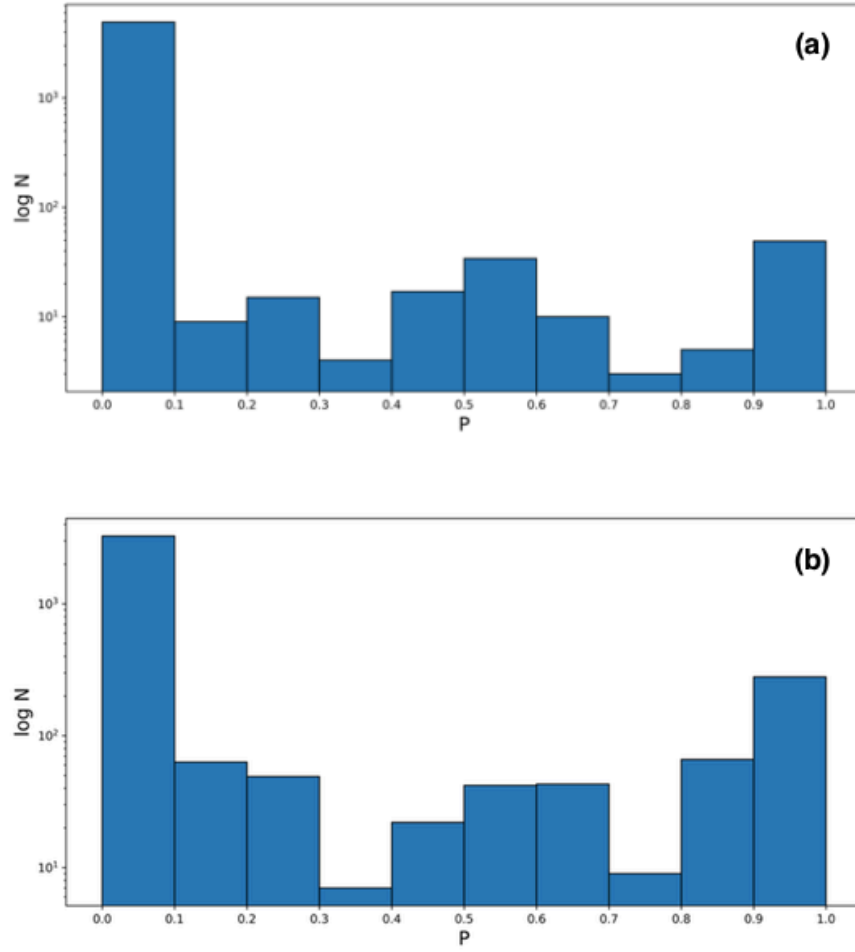
Şekil 4.5: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinin yıldız sayı yoğunluğu profilleri. Kırmızı düz çizgi King modeli fitini, mavi kesikli çizgi zemin yoğunluğunu göstermektedir.

4.3. KÜMELERİN ÜYE YILDIZLARI

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654'ün fiziksel üyelerinin belirlenmesinde küme doğrultusundaki yıldızların astrometrik verileri dikkate alınmıştır. Yıldızların *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundan alınan öz hareket ve trigonometrik paralaks verileri Bölüm 3.7'de bahsedilen yöntem kullanılarak kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalar R dilinde hazırlanan ve güncel bir yazılım olan *UPMASK* (Krone-Martins ve Moitinho, 2014) ile yapılmıştır. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin kataloğundaki yıldızların öz hareket ve trigonometrik paralaks verileri bir dosyaya yazdırılarak *UPMASK* programına aktarılmıştır.

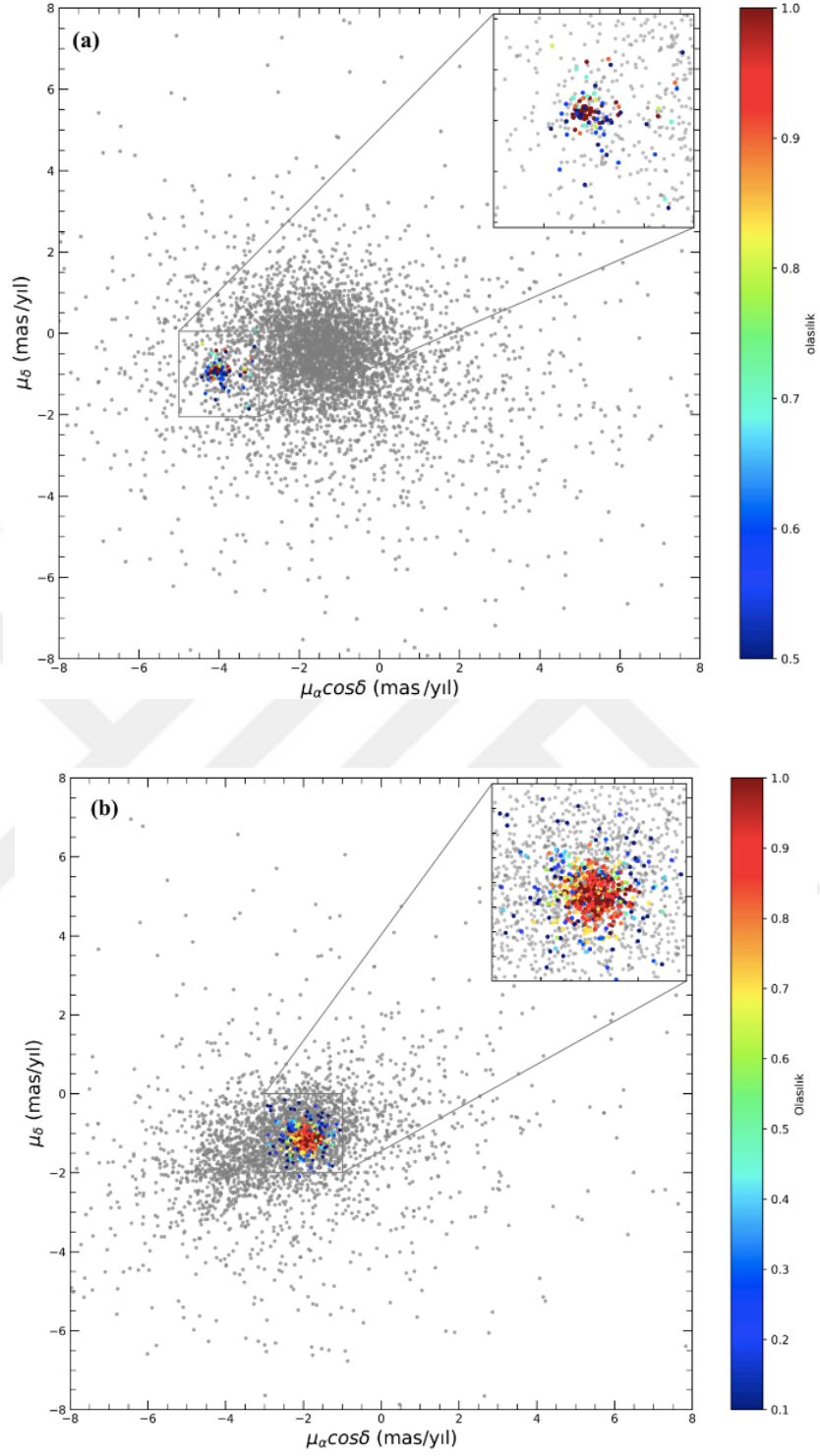
Program farklı *k-means* değerleri için çalıştırılarak küme doğrultusundaki yıldızların üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri için kümeye üye olma olasılığı (P) belirlenmiş ve bu değerlerin histogramı Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Her iki küme için incelenen yıldız sayılarının fazla olması, histogramlarda yıldız sayılarının logaritmik olarak gösterimini zorunlu hale getirmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde iki açık küme için üyelik olasılıkları $P < 0.1$ küçük olan yıldız sayılarının binler seviyesinde olduğu görülmektedir. Kümeye üyelik olasılıkları yüksek yıldızların bu aşamada belirlenmesi renk-parlaklık diyagramları üzerinde kümenin uzaklık modülü ve yaş gibi temel astrofizik parametrelerinin duyarlı tayin edilebilmesi için önemlidir. Bunun için iki açık kümenin olasılık histogramlarının medyan değerleri incelenmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin P histogramlarına ait medyan değerler, sırasıyla, 0.6 ve 0.8 olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında renk-parlaklık diyagramları üzerinde kümelere üye yıldızlarının daha iyi ifade edilebilmesi için P değerlerinin alt sınırının 0.5 olarak alınması tercih edilmiştir. Bu sınırlamaya göre Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinde kümeye üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızların sayıları, sırasıyla, 101 ve 439'dur.

İncelenen iki açık kümenin öz hareket uzaylarındaki konumlarının belirlenmesi için kümeye üyelikleri $P \geq 0.5$ 'ten büyük yıldızlar dikkate alınmıştır. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri doğrultularında bulunan yıldızların *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundan alınan öz hareket verilerinin dağılımı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde *UPMASK* programıyla hesaplanan yıldızların kümeye üyelik olasılıkları da farklı renkler ile belirtilmiştir. Şekil 4.7'nin (a) panelinde Czernik 2 açık kümesinin üye yıldızlarının alan yıldızlarına göre farklı bir bölgede yoğunlaştığı görülürken, Şekil 4.7'nin (b) panelinde NGC 7654 açık kümesinin üye yıldızları alan yıldızlarıyla birlikte ortak bir bölgede bulunmaktadır. İki açık küme için kümeye üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızların öz hareket bileşenlerinin ve hatalarının ortalama değerleri alınarak kümeler için öz hareket verileri belirlenmiştir. Yapılan bu analizlere göre Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin medyan öz hareket verileri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ), sırasıyla, $(-4.049 \pm 0.070, -0.921 \pm 0.063)$ ve $(-1.956 \pm 0.062, -1.127 \pm 0.052)$ mas/yıl hesaplanmıştır.

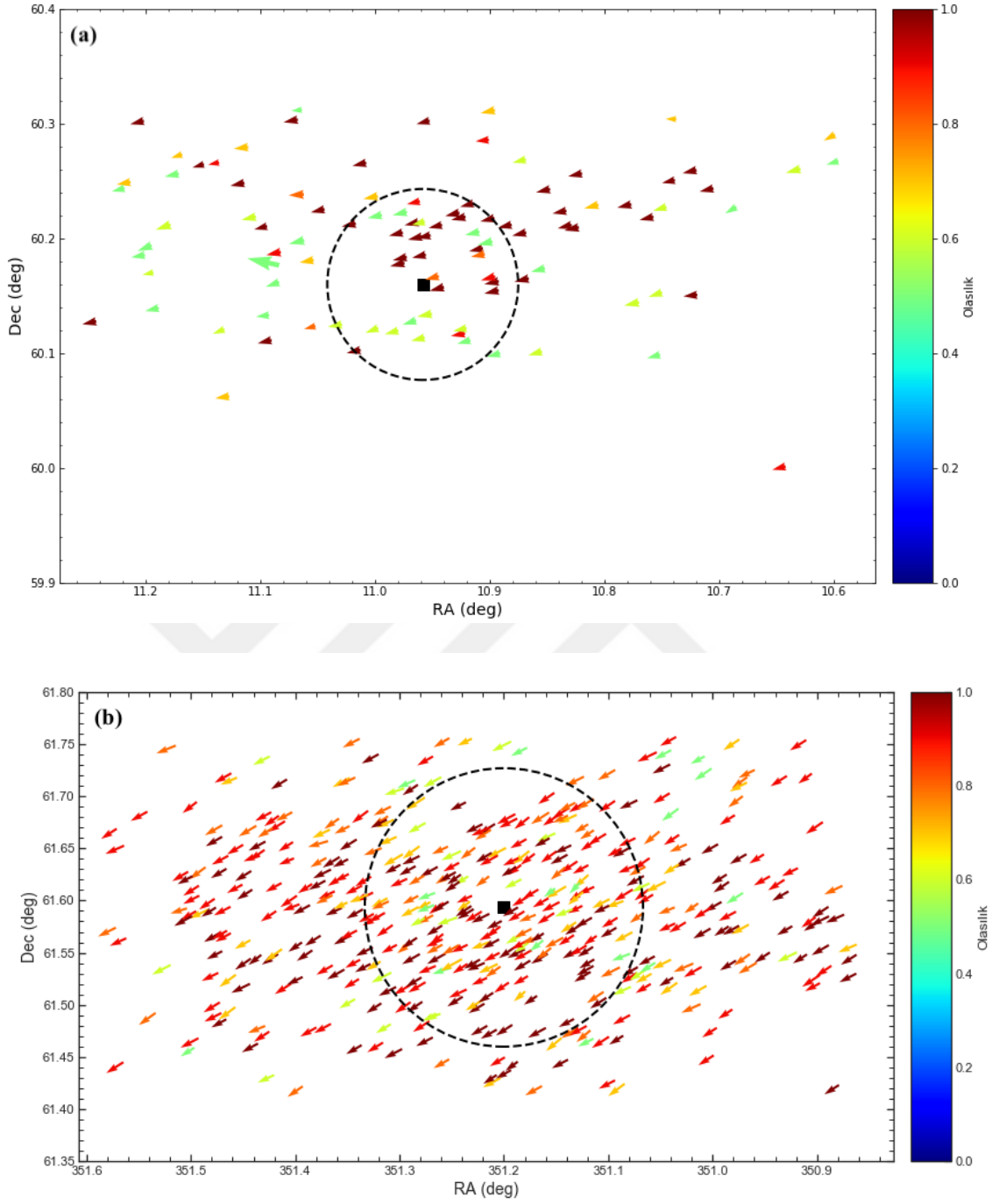


Şekil 4.6: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinin *UPMASK* yazılımıyla hesaplanmış kümeye üyelik olasılıklarının histogramları.

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızları öz hareket vektörleriyle birlikte ekvatorial koordinat (α, δ) düzleminde işaretlenerek yönelimleri incelenmiştir (Şekil 4.8). Şekilde incelenen açık kümelerin ekvatorial koordinat sistemindeki merkezi koordinatları içi dolu kare sembolüyle, Bölüm 4.2’de belirlenen kümelerin etkin yarıçapları da siyah kesikli çember ile gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi kümeye üyeliği yüksek yıldızların öz hareket vektörleri kümelerin merkezi doğrultusuna ve hemen hemen kümelerin etkin yarıçapları içinde yer almaktadır. Çemberlerin dışında bulunan üyeliği yüksek yıldızlar da kümelerin gelgit yarıçapının birkaç katı mesafesinde bulunmakta olup bu yıldızlar kümelerden ayrılmakta (buharlaşmak) olanlardır. Sonuç olarak, *UPMASK* yazılımıyla kümeye üyelikleri belirlenen yıldızların seçiminin oldukça duyarlı yapıldığı söylenebilir.



Şekil 4.7: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusundaki yıldızların *Gaia* DR2 kataloğundan alınan astrometrik verilerinin öz hareket uzayındaki konumları. Renk ölçeği *UPMASK* yazılımıyla hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir. Panellerin sağ üst köşelerindeki çizimler öz hareket uzayında incelenen açık kümelerin ayrıntılı konumunu vermektedir.



Şekil 4.8: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri doğrultusundaki yıldızların ekvatorial koordinat sisteminde öz hareket vektörlerine göre oluşturulmuş diyagramları. Oklar kümeye üyelik olasılığına göre renklendirilmiştir. Kesikli çember kümelerin etkin olduğu gökyüzü parçasını, kare sembolü de kümelerin ekvatorial koordinat sistemindeki merkezini göstermektedir.

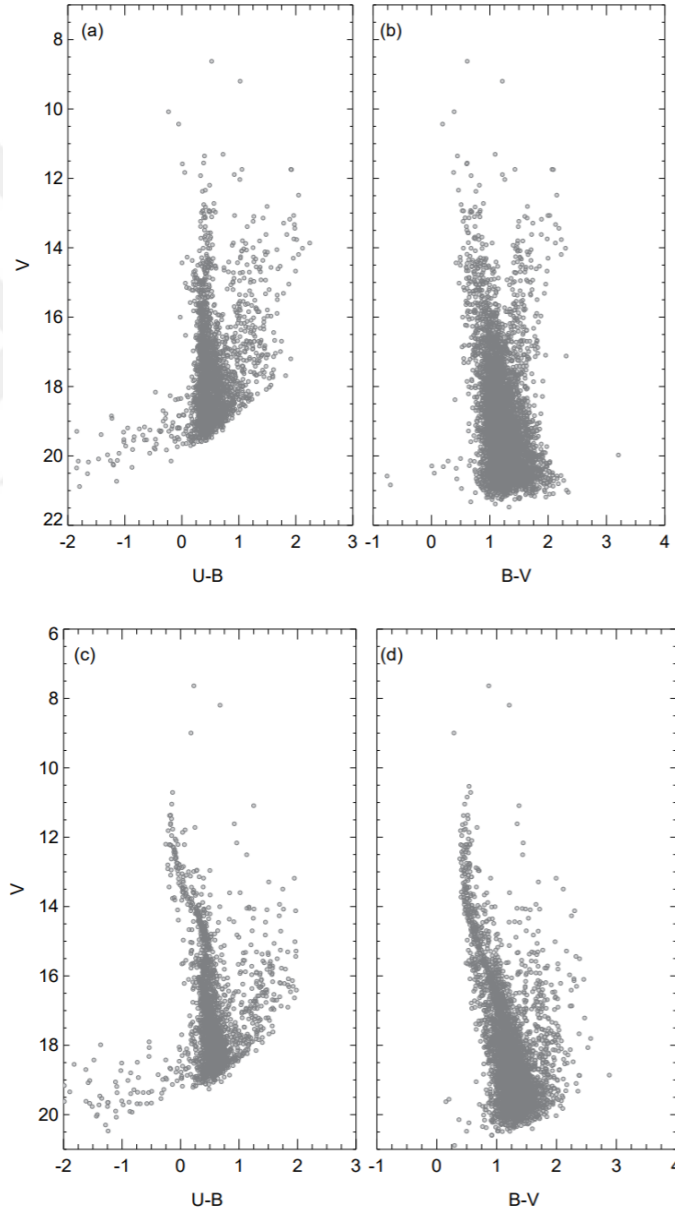
4.4. KÜMELERİN RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI

Açık kümelerin uzaklık ve yaş gibi parametrelerinin belirlenmesinde en çok renk-parlaklık diyagramlarından yararlanılır. Tez çalışmasında da $V \times U-B$ ile $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları oluşturularak Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin uzaklık modülleri ve yaşları tayin edilmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekilde parlak kadirlerde bulunan küme üyesi yıldızlar göz ile hemen hemen ayırt edilebilmesine karşın, sönük parlaklıklara doğru alan yıldız sayısının artması nedeniyle küme üyesi yıldızların teşhisi zorlaşmaktadır.

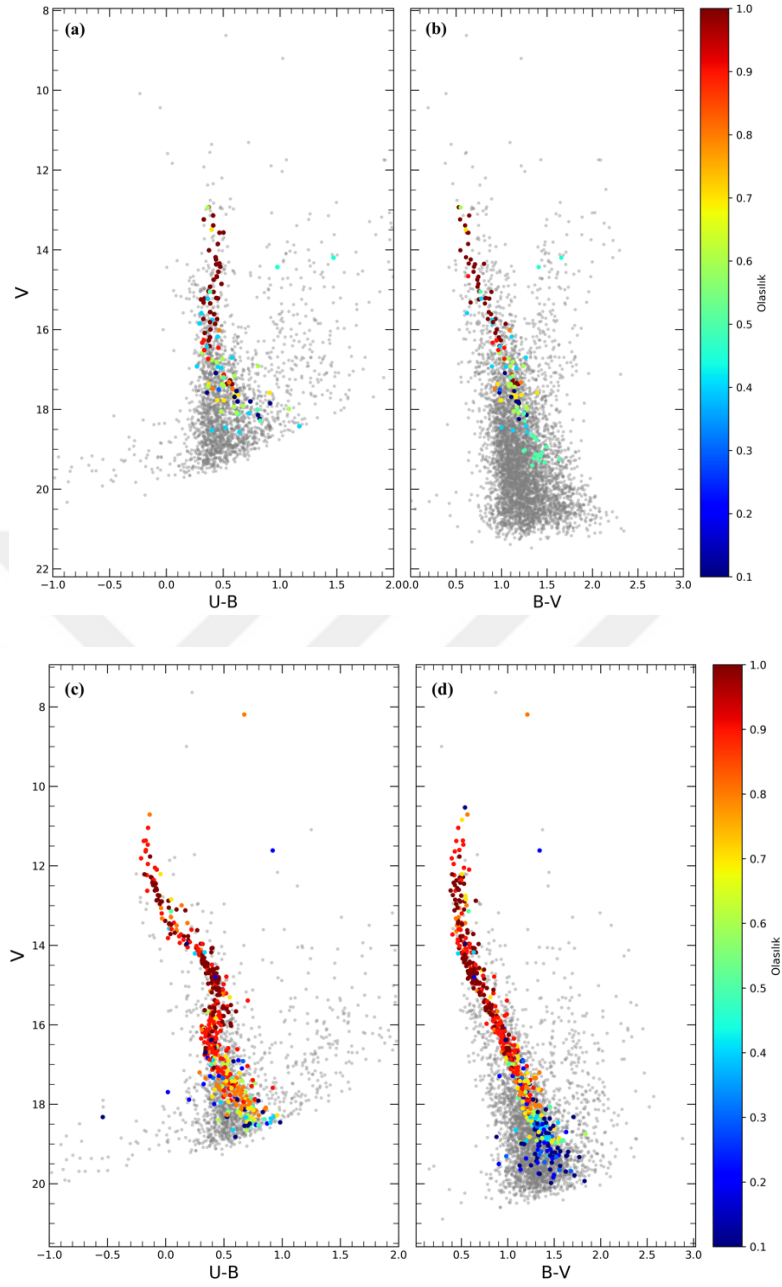
Czernik 2 açık kümesi için oluşturulan renk-parlaklık diyagramları (Şekil 4.9 a ve b) incelendiğinde, görünen parlaklıkları $12 < V < 15$ kadir, renk indeksleri $0.5 < B-V < 0.8$ ve $0.3 < U-B < 0.5$ kadir aralığında bulunan az sayıda yıldız, kümenin dönüm noktasına karşılık gelmektedir. Kümenin anakol yıldızları, söz konusu diyagramlardan kabaca belirlenen dönüm noktasındaki yıldızların altında yaklaşık $V=16$ kadire kadar belirgin bir şekilde ayırt edilebilmekte, bu parlaklığın ötesinde alan yıldızlarının baskınlığı görülmektedir. NGC 7654 açık kümesinin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde (Şekil 4.9 c ve d) bu kümenin Czernik 2 açık kümesinin aksine daha belirgin bir açık küme morfolojisine sahip olduğu görülmektedir. Kümenin dönüm noktası $12 < V < 14$ kadir, renk indeksleri de $0.4 < B-V < 0.7$ ve $-0.1 < U-B < 0.2$ kadir aralığındadır. Her iki küme için evrimleşmiş yıldızlar renk-parlaklık diyagramında görülememektedir.

Açık kümelerin diferansiyel renk artıkları, metal bollukları, yaşları, kümeye üye yıldızların sayıları gibi temel parametrelerinin bilinmemesi kümelerin renk-parlaklık diyagramlarından kolay ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle Güneş'e yakın açık kümelerin yıldızlarının renk-parlaklık diyagramlarında alan yıldızlarına göre parlak kadirlerde daha baskın olması küme üyesi yıldızların belirlenmesinde önemli rol oynar. Güneş komşuluğundan uzaklaştıkça bu durum gittikçe zorlaşır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için küme üyesi yıldızların tespitinde yıldızların fotometrik verilerinin renk uzaylarında (renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları) incelenmesinin dışında, astrometrik ve tayfsal verilerinden de yararlanılması gerekir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık küme doğrultusundaki yıldızların *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundan alınan astrometrik verilerinden hesaplanan kümeye üyelik olasılıkları dikkate alınarak daha da duyarlı küme üyesi yıldızlar belirlenmiştir. Bu amaç

doğrultusunda Bölüm 4.3'te Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri doğrultusunda kümelere üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızlar, tüm yıldızlar ile birlikte, Şekil 4.10'da gösterilen $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları üzerine işaretlenmiştir. Bu diyagramlar üzerinde küme üyesi yıldızlar olasılık değerlerine göre farklı renklerle gösterilmiştir. Astrometrik ölçümlerden hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarının renk-parlaklık diyagramlarına taşınmasıyla birlikte kümelerin renk-parlaklık diyagramlarındaki morfolojileri daha belirgin hale gelmiştir.



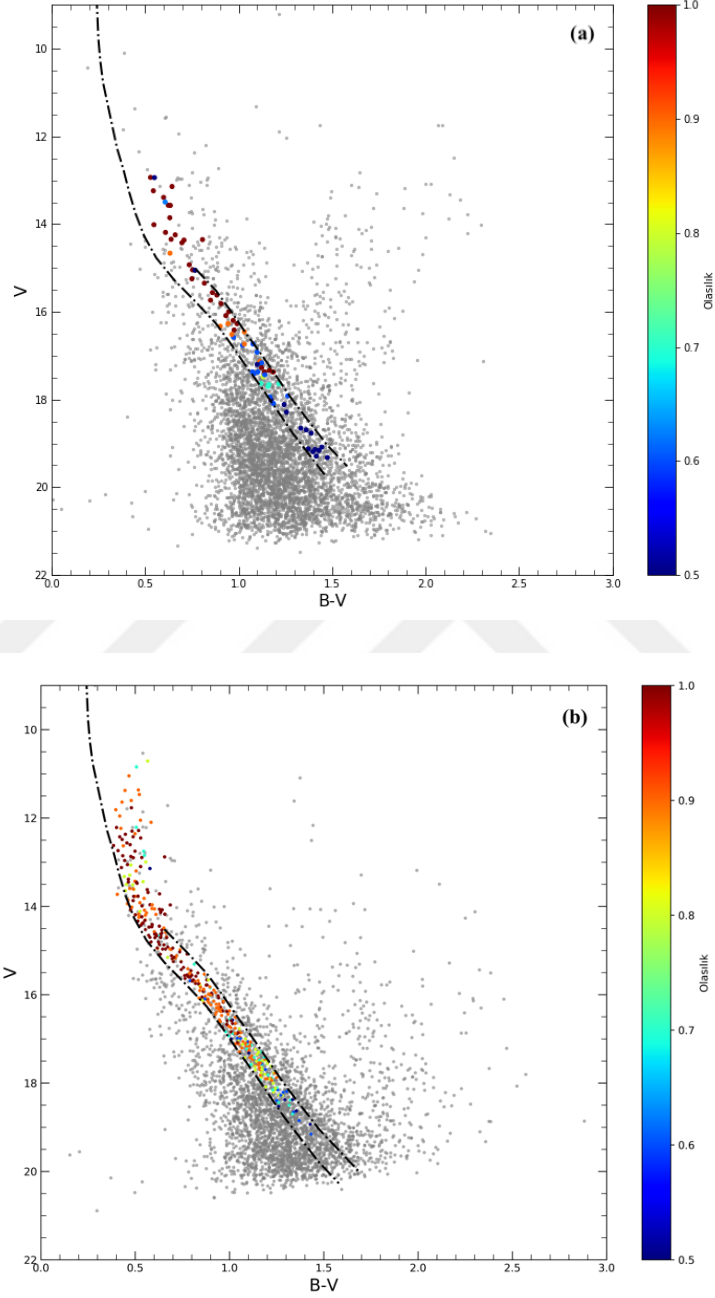
Şekil 4.9: Czernik 2 (a,b) ve NGC 7654 (c,d) kümeleri doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları.



Şekil 4.10: Czernik 2 (a,b) ve NGC 7654 (c,d) kümeleri doğrultusunda tespit edilen tüm yıldızlar ile küme üyeliği yüksek yıldızların $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renkli yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir.

Tez çalışmasında küme üyesi yıldızların belirlenmesi için renk-parlaklık diyagramları üzerinde çift yıldız etkisi de dikkate alınmıştır. Şekil 4.11’de Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları üzerine küme üyeliği yüksek yıldızlara Sung ve diğ.’nin (2013) ZAMS eğrisi fit edilmiştir. Bu ZAMS eğrisi daha sonra kümedeki çift yıldız etkisini içerecek şekilde 0.75 kadir parlak kısma doğru kaydırılmıştır. İki eğri arasında kalan ve kümeye

üyelikleri $P \geq 0.5$ olan yıldızlar kümenin üyeleri olarak kabul edilmiştir. Bu analizler sonucunda Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerine üye yıldızların sayıları, sırasıyla, 75 ve 365 olmuştur.

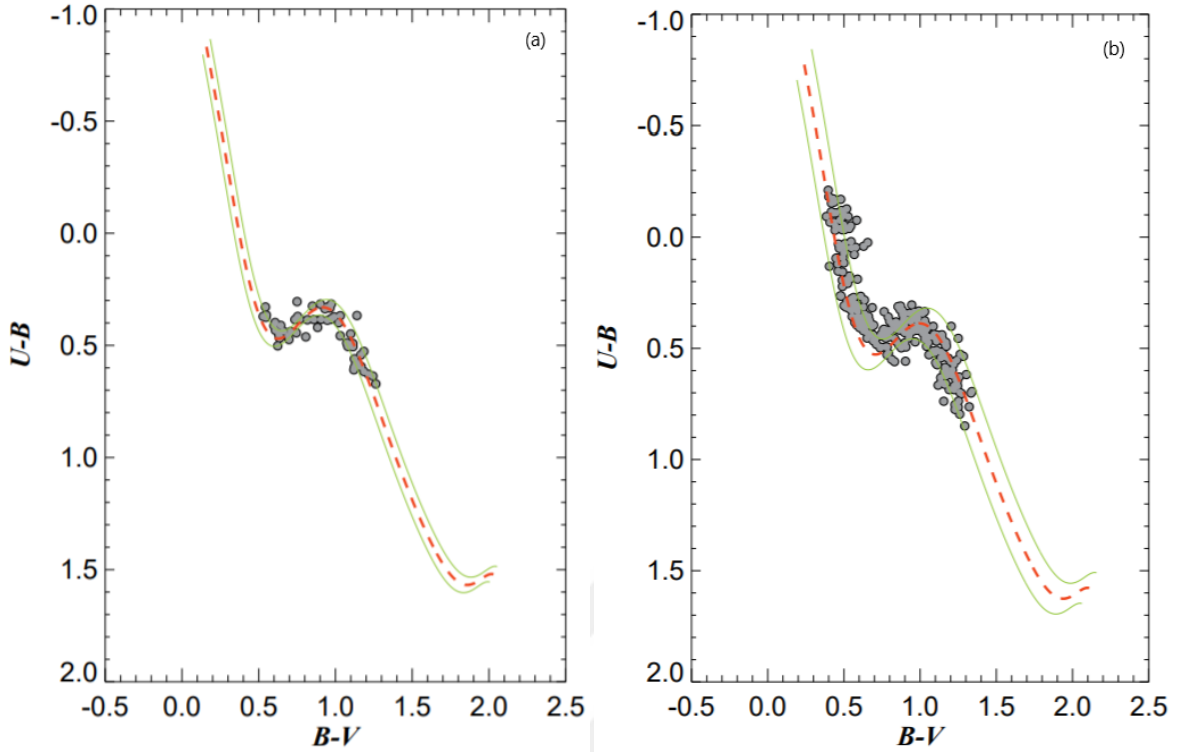


Şekil 4.11: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) kümeleri doğrultusunda tespit edilen tüm yıldızlar ile küme üyeliği yüksek yıldızların $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları. Renkli yıldızlar kümeye üyelik olasılıklarını göstermektedir. Uzun noktalı kesikli çizgi Sung ve diğ.’nin (2013) ZAMS eğrisini, kısa noktalı kesikli çizgi çift yıldız etkisinden dolayı ZAMS eğrisinin 0.75 kadir yukarı ötelenmiş halini göstermektedir.

4.5. KÜMELERİN KIZARMA DEĞERLERİ

Literatürde, genellikle, renk-parlaklık diyagramları üzerindeki küme yıldızlarına fit edilen eş-yaş eğrileri yardımıyla incelenen kümenin renk artığı ($E(B-V)$), uzaklık modülü (μ_V), metal bolluğu ($[Fe/H]$) ve yaşının (t) eş-zamanlı olarak tayin edildiği görülmektedir. Birçok makalede bu yöntem ile temel astrofizik parametreleri belirlenen kümelerin parametre dejenerasyonluğuna uğrayacağı belirtilmektedir (King ve diğ., 2005; Janes ve diğ. 2014). Söz konusu parametre dejenerasyonluğunun ortadan kaldırılabilmesi için parametrelerin birbirinden bağımsız yöntemler ile elde edilmesi gerekmektedir. Küme doğrultusundaki renk artığı, kümelerin iki-renk ve renk-parlaklık diyagramlarından hesaplanan metal bolluğu, uzaklık ve yaşı etkilediğinden, öncelikle tayin edilmesi gereken parametredir.

Tez çalışmasında ZAMS eğrileri incelenen kümelerin iki-renk diyagramlarına fit edilerek küme doğrultusundaki renk artıkları belirlenmiştir. ZAMS olarak Sung ve diğ.'nin (2013) çalışmasında anakol için verilen eğriler kullanılmıştır (Tablo 3.6). Czernik 2 ve NGC 7654 kümeleri için V bandındaki sökülüşmeyle $E(B-V)$ ve $E(U-B)$ renk artıklarının hesaplanmasında $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı kullanılmıştır. Küme doğrultusundaki renk artığının ölçülmesi için kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan anakol yıldızlarının $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramları oluşturulmuştur. Sung ve diğ.'nin (2013) Güneş bolluğundaki ZAMS verileri Bölüm 3.8'de verilen (3.6) bağıntısına göre, kümeler için belirlenen olası küme üyesi yıldızların anakolu ile uyum sağlayıncaya kadar kaydırılmıştır. ZAMS'ın fit edilme işleminde, renk artığı $0 < E(B-V) < 2$ kadir aralığında 0.01 adımlar ile taranmış, χ^2 analizleri yapılmış ve bu analizler içinde en küçük χ^2 değerine karşılık gelen $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıkları kümelerin kızarma değerleri olarak kabul edilmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin iki-renk diyagramında yüksek olasılıklı anakol yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayan ZAMS eğrisi Şekil 4.12'de kırmızı kesikli çizgiler ile, $\pm 1\sigma$ değerine karşılık gelen belirsizlikler de yeşil düz çizgiler ile gösterilmiştir. Czernik 2 kümesinin renk artıkları $E(B-V) = 0.49 \pm 0.02$ ve $E(U-B) = 0.35 \pm 0.02$ kadir, NGC 7654 kümesinin renk artıkları ise $E(B-V) = 0.57 \pm 0.05$ ve $E(U-B) = 0.41 \pm 0.03$ kadir hesaplanmıştır.

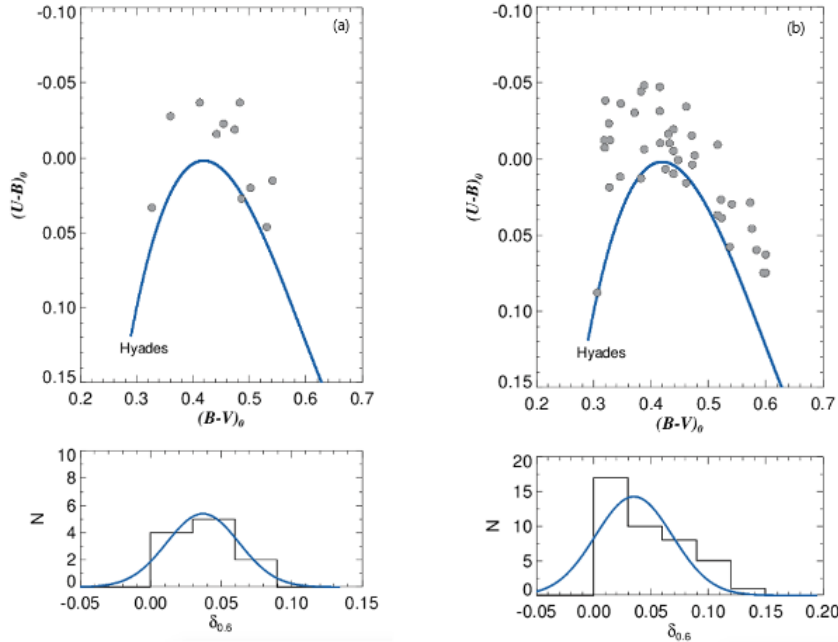


Şekil 4.12: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık küme yıldızlarının $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramları. Kümelerin anakolunda bulunan ve kümeye üyelik olasılıkları $P \geq 0.5$ olan yıldızlar gri daire sembolüyle, Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle, dağılımın $\pm 1\sigma$ belirsizliği ise yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

4.6. KÜMELERİN METAL BOLLUKLARI

Açık kümelerde bulunan F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik veya tayfsal analizleri yapılarak kümenin ortalama metal bolluğu belirlenebilir. Tez çalışmasında incelenen kümelerin metal bolluğunu tayin etmek için Karaali ve diğ.'nin (2011) geliştirdiği fotometrik metal bolluğu bağıntısı kullanılmıştır (Bağıntı 3.7). Karaali ve diğ. (2011) bu bağıntıyı F ve G tayf türü anakol yıldızlarını kullanarak elde ettiklerinden kümelerin metal bolluğu tayininde yıldızların $(B-V)_0$ renk indekslerine sınırlama getirilmelidir. Cox (2000), F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının kızarmadan arındırılmış renk indeksi aralığını $0.3 \leq (B-V)_0 \leq 0.6$ olarak vermiştir. Bu durumda, incelenen kümelerde $0.3 \leq (B-V)_0 \leq 0.6$ kadar renk indeksi aralığında bulunan F ve G tayf türünden yıldızlar seçilmeli ve $U-B$ ile $B-V$ renk indeksleri kızarmadan arındırılmalıdır. Yıldızların $U-B$ ile $B-V$ renk indeksleri her iki açık küme için iki-renk diyagramlarından hesaplanan $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artışı değerleri dikkate alınarak kızarmadan arındırılmıştır. Renk indeksleri $0.3 \leq (B-V)_0 \leq 0.6$ kadar aralığına giren ve olasılık

değeri $P \geq 0.5$ olan yıldızlar incelenen kümelerin yüksek olasılıklı F ve G tayf türü üye anakol yıldızları olarak seçilmiştir. Bu yıldızların $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramlarındaki konumları Şekil 4.13'ün üst panellinde gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümelerinde belirlenen F ve G tayf türü anakol yıldızlarının $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramlarındaki konumları (üst panel) ve $(B-V)_0 = 0.6$ kadir renk indeksine normalize edilmiş morötesi artık değerlerinin frekans dağılımları (alt panel). Üst ve alt panellerdeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades kümesinin anakolunu ve dağılıma fit edilen Gauss eğrisini temsil etmektedir.

Kümelerdeki F ve G tayf türü anakol yıldızların morötesi artıkları Bölüm 3.9'da verilen yöntem ile hesaplanarak $(B-V)_0 = 0.6$ kadir renk indeksindeki değerlere göre normalize edilmiştir. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin fotometrik metal bolluklarının hesaplanmasında kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan, sırasıyla, 11 ve 41 F ve G tayf türü anakol yıldızı belirlenmiştir. İncelenen bu iki kümenin ortalama morötesi artığı Şekil 4.13'ün alt panelinde gösterilen frekans dağılımına fit edilen Gauss eğrisinden, sırasıyla, $\langle \delta_{0.6} \rangle = 0.04 \pm 0.002$ ve $\langle \delta_{0.6} \rangle = 0.02 \pm 0.002$ kadir hesaplanmıştır. Bu morötesi artığı değerleri Karaali ve diğ.'nin (2011) fotometrik metal bolluğu bağıntısına (Bağıntı 3.7) yerleştirilerek Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin demir bollukları, sırasıyla, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.04 \pm 0.03$ dex ve $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.04 \pm 0.02$ dex hesaplanmıştır. Kümelerin demir bolluklarına ait belirsizlikler standart hata ($\sigma/\sqrt{N}$) formülüyle hesaplanmıştır. Kümenin demir bolluğunun ağır element bolluğuna (Z)

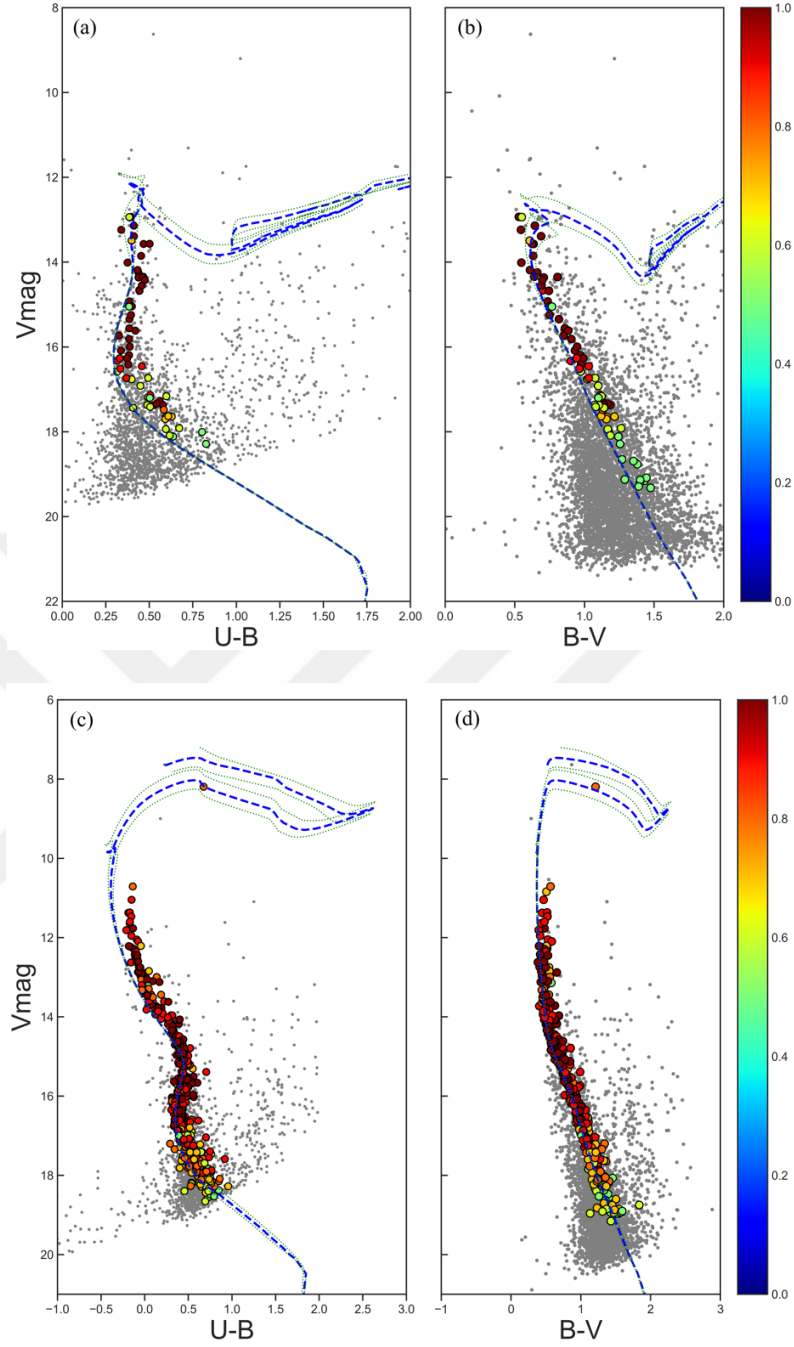
dönüştürülmesinde (3.8) ve (3.9) bağıntıları kullanılmış ve Czernik 2 ile NGC 7654 açık kümelerinin ağır element bolluğu, sırasıyla, $Z = 0.0138$ ve $Z = 0.0139$ olarak tayin edilmiştir. Kümeler için hesaplanan ağır element bollukları kümelerin yaş tayininde renk artıklarından sonra ikinci bir bağımsız parametre olarak kullanılmıştır.

4.7. KÜMELERİN UZAKLIK MODÜLLERİ VE YAŞLARI

Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin uzaklık modülleri (μ_V) ve yaşlarının (t) hesaplanmasında Bölüm 3.10'da verilen PARSEC (Bressan ve diğ., 2012) eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. Bu temel astrofizik parametrelerinin belirlenmesi için küme alanlarında tespit edilen yıldızların $V \times U-B$ ile $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş ve kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan yıldızlar bu diyagramlar üzerinde işaretlenmiştir. Her küme için hesaplanan ağır element bollukları dikkate alınarak, bu değerlere karşılık gelen farklı yaşlardaki PARSEC eş-yaş eğrileri seçilmiştir. Bu eğriler kümeye yüksek olasılıklı ($P \geq 0.5$) üye yıldızlara ağırlık verilecek şekilde diyagramlar üzerinde kaydırılarak kümelerin kızarmış uzaklık modülleriyle yaşları eş-zamanlı olarak belirlenmiştir. Renk-parlaklık diyagramlarında eş-yaş eğrilerinin kaydırma işlemi belirlenen $E(U-B)$ ve $E(B-V)$ renk artıklarından $V = V_0 + 3.1 \times E(B-V)$ bağıntısına göre yapılmıştır. Ayrıca, kümelerin yaşlarının belirlenmesinde kümeye yüksek olasılıklı üye anakol yıldızlarının dışında, kümenin dönüm noktası ve dev bölgesindeki yıldızlara da ağırlık verilmiştir. Böylece kümelere üye yıldızları en iyi temsil eden uzaklık modülü ve yaşını veren PARSEC eş-yaş eğrileri belirlenmiştir.

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları, kümelere üye yıldızlar ve bu yıldızlar ile en uyumlu yaşı veren PARSEC eş-yaş eğrileri Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Czernik 2 açık kümesinin kızarmış uzaklık modülü $\mu = m_V - M_V = 12.80 \pm 0.08$ kadir, uzaklığı $d = 1,804 \pm 66$ pc hesaplanmıştır. Kümenin uzaklık modülü ve uzaklığındaki belirsizlikler, (3.11) ve (3.12) bağıntılarından hesaplanmıştır. Czernik 2 kümesinin renk-parlaklık diyagramlarıyla en iyi uyumu sağlayan $Z = 0.0138$ ağır element bolluklu eş-yaş eğrisinin karşılık geldiği yaş değeri $t = 650 \pm 100$ Myıl'dır (Şekil 4.14 a ve b).

Benzer yöntemler NGC 7654 açık kümesine uygulanarak kümenin kızarmış uzaklık modülü $\mu = m_V - M_V = 13.0 \pm 0.17$ kadir, uzaklığı $d = 1,764 \pm 147$ pc hesaplanmıştır. NGC 7654 kümesinin renk-parlaklık diyagramlarıyla en iyi uyumu sağlayan $Z = 0.0139$ ağır element bolluklu eş-yaş eğrisinin karşılık geldiği yaş değeri $t = 37 \pm 5$ Myıl'dır (Şekil 4.14 c ve d).



Şekil 4.14: Czernik 2 (a ve b) ve NGC 7654 (c ve d) açık kümelerinin $V \times U-B$ ve $V \times B-V$ renk-parlaklık diyagramları ve küme üyesi yıldızları en iyi temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri. Renkli ve gri daireler, sırasıyla, kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan ve küme alanında tespit edilen yıldızları, mavi kesikli çizgi kümenin uzaklık modülünü ve yaşını veren en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler de yaş tayinindeki belirsizlikleri göstermektedir.

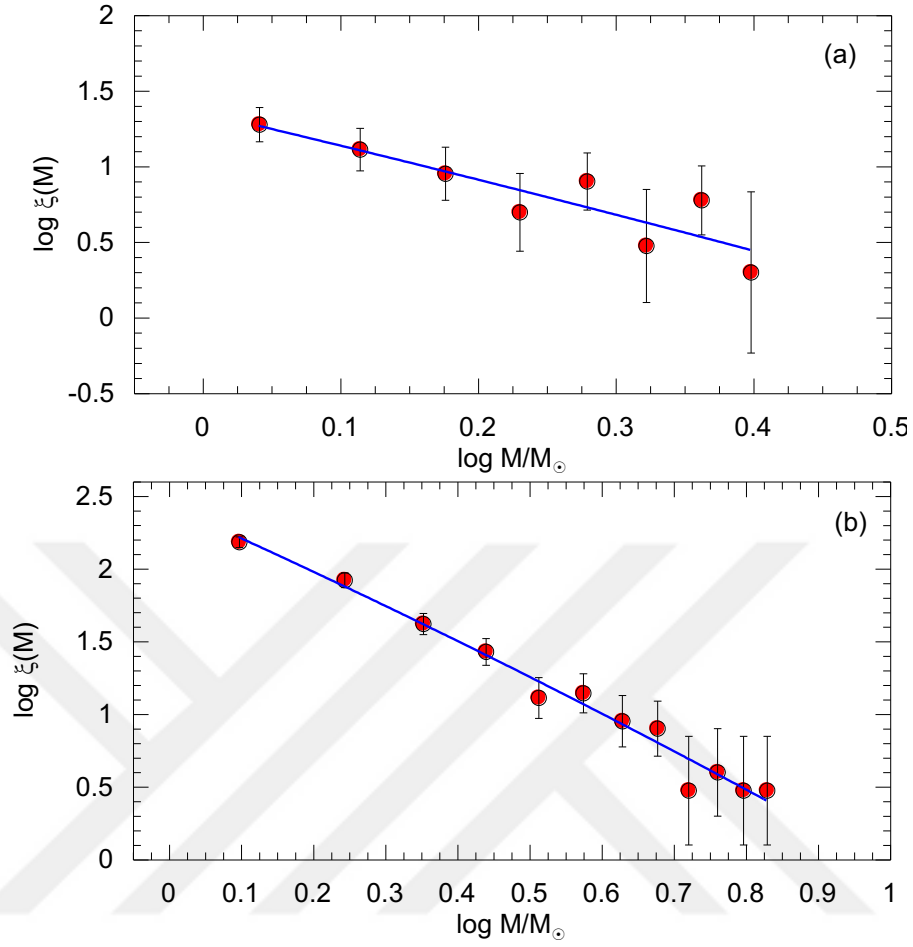
4.8. KÜMELERİN KÜTLE FONKSİYONLARI

Tez çalışmasında Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin temel astrofizik parametrelerinin belirlenmesi dışında mevcut kütle fonksiyonları elde edilip başlangıç kütle fonksiyonları hesaplanmıştır. Bunun için Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerine üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan, sırasıyla, 75 ve 365 anakol yıldızı dikkate alınmıştır. Her bir yıldızın M_V mutlak parlaklıkları $M_V = V - \mu_V + E(B-V)$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada V yıldızın görünen parlaklığı, μ_V ve $E(B-V)$ kümeler için hesaplanmış uzaklık modülü ve renk artığını ifade etmektedir. Küme üyesi yıldızların kütleleri, incelenen kümelerin astrofizik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan teorik PARSEC eş-yaş eğrilerinden yararlanarak tayin edilir. PARSEC eş-yaş eğrilerine ait veri dosyalarında yıldızların farklı mutlak parlaklıklarına ait fotometrik verileri dışında kütle verileri de bulunmaktadır. Anakol yıldızlarının mutlak parlaklıklarıyla kütleleri arasındaki verilere altıncı dereceden bir polinom fonksiyonu fit edilerek iki küme için mutlak parlaklık-kütle bağıntıları elde edilmiştir. Küme yıldızlarının mutlak parlaklıkları elde edilen bağıntılar ile kütle değerlerine dönüştürülmüştür. Analizler sonucunda Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin anakol yıldızlarının, sırasıyla, $1 < M/M_\odot < 2.6$ ve $1 < M/M_\odot < 7$ kütle aralıklarında bulunduğu tespit edilmiştir.

Kümelerin başlangıç kütle fonksiyonlarının hesaplanabilmesi için öncelikle kütle dağılımlarının oluşturulması gerekir. Bunun için Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerindeki anakol yıldızları, sırasıyla, 0.2 ve 0.5 $M/M_\odot$ kütle aralıklarına göre tasnif edilmiş ve bu kütle aralıklarındaki yıldız sayıları belirlenmiştir. Her bir küme için kütle aralıkları ve bu aralıklarda bulunan yıldız sayılarının logaritmik değerleri hesaplanarak Şekil 4.15'te gösterilen kütle dağılımları oluşturulmuştur. Kütle değerlerine ait hatalar Poisson istatistiğine göre hesaplanmıştır. Kümelerin başlangıç kütle fonksiyonlarının belirlenmesinde (4.2) bağıntısı kullanılmıştır.

$$\log \frac{dN}{dM} = -(1 + X) \log M + C \quad (4.2)$$

Burada dM kütle aralığını, dN kütle aralığındaki yıldız sayısını, M kütle aralığındaki ortalama kütle, X kütle fonksiyonunun eğimini ve C de doğrusal fitin sabit katsayısını ifade etmektedir. Şekil 4.15'te kütle değerlerine fit edilen doğrusal bağıntı mavi düz çizgiyle gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) açık kümeleri için hesaplanan kütle dağılımları (kırmızı noktalar) ve bu dağılıma yapılan doğrusal fit (mavi çizgi). Ortalama kütlelere ait hatalar Poisson istatistiğine ($1/\sqrt{N}$) göre hesaplanmıştır.

Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin anakol yıldızlarına yapılan doğrusal fitler sonucunda kümelerin başlangıç kütle fonksiyonlarına ait eğimler (X), korelasyon katsayıları (R^2) ve standart sapma (σ) değerleri, sırasıyla, 1.30 ± 0.49 , 0.75 , 0.16 ve 1.49 ± 0.12 , 0.97 , 0.09 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen X değerleri Salpeter'in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği $X = 1.35$ değeriyle uyum içerisindedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışmasında, kuzey gökyüzünde bulunan Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri yapılmış ve *Gaia* DR2 kataloğundaki (*Gaia* işbirliği, 2018) astrometrik veriler ile birlikte değerlendirilerek yapısal ve astrofizik parametreleri hesaplanmıştır. Kümeler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki T100 teleskobunun odak düzleminde bulunan $4K \times 4K$ boyutundaki CCD kamerayla 6 ve 7 Ekim 2018 tarihlerinde fotometrik olarak gözlenmiştir. Kümelerin dışında Landolt'un (2009) standart yıldız alanları da aynı geceler gözlenmiş ve küme doğrultusunda incelenen yıldızların mutlak fotometrisinin yapılmasında kullanılmıştır. Görüntülerin indirgenmesinde literatürde kabul gören yöntem ve standart yazılımlar kullanılarak gözlemleri yapılan yıldızların aletsel parlaklıkları hesaplanmış ve bu veriler standart yıldız alanlarından hesaplanan fotometrik dönüşüm katsayıları kullanılarak incelenen yıldızların *UBV* fotometrik parlaklıkları hesaplanmıştır. İki küme doğrultusundaki yıldızların limit parlaklıkları belirlendikten sonra kümelerin yapısal parametrelerini elde edebilmek için küme merkezlerinden itibaren yıldız sayı yoğunluğu profilleri oluşturulmuş ve bu profillere King modeli (1962) fit edilmiştir.

Tez çalışmasında küme üyesi yıldızları belirleyebilmek için *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundaki astrometrik verilerinden faydalanılmıştır. Küme doğrultusundaki yıldızların öz hareket ve trigonometrik paralakslarından itibaren *UPMASK* yazılımıyla (Krone-Martins ve Moitinho, 2014) kümeye üyelik olasılıkları tayin edilmiştir. İki-renk ve renk-parlaklık diyagramlarında kümeye üyelik olasılığı yüksek yıldızlar kullanılarak küme doğrultusundaki renk artığı, metal bolluğu, uzaklık modülü ve yaşlar hesaplanmıştır. Kümelerin renk artıkları Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrileri, metal bollukları Karaali ve diğ.'nin (2011) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu, uzaklık ve yaşları ise PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ., 2012) kullanılarak belirlenmiştir. Bu temel astrofizik parametrelerinin belirlenmesinde bağımsız yöntemler kullandığı için hesaplanan değerlerde parametre dejenerasyonluğunun önüne geçilmiştir. Ayrıca, Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin kütle fonksiyonları da hesaplanmıştır. Tezde incelenen söz konusu kümeler için elde edilen bulguların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

5.1 CZERNİK 2 AÇIK KÜMESİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında fotometrik ve astrometrik yöntemler ile incelenen Czernik 2 açık kümesine ait yapısal ve astrofizik parametreler ilk kez bu çalışmayla literatüre kazandırıldığından elde edilen sonuçlar literatürdeki herhangi bir çalışmayla karşılaştırılamamıştır. Bu nedenle Czernik 2 için hesaplanan yapısal ve astrofizik parametreler özet halinde verilmiştir.

Czernik 2 açık kümesi için elde edilen yapısal parametreler küme için oluşturulan yıldız yoğunluk profiline yapılan King modeli (King, 1962) fitiyle tayin edilmiştir. Kümenin merkezi yoğunluğu $f_0 = 1.426 \pm 0.663$ yıldız/(yay dakikası)², zemin yoğunluğu $f_{bg} = 0.424 \pm 0.266$ yıldız/(yay dakikası)² ve kümenin kor yarıçapı $r_c = 0.988 \pm 0.879$ yay dakikası olarak hesaplanmıştır.

Kümenin astrofizik parametreleri bağımsız yöntemler kullanılarak hesaplanmış ve parametre dejenasyonluğunun önüne geçilmiştir. Bölüm 3'te verilen yöntemler kullanılarak kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı tayin edilmiş ve elde edilen bu parametreler Tablo 5.1'de listelenmiştir.

Czernik 2 açık kümesinin kütle fonksiyonu kümeye üyelikleri $P \geq 0.5$ olan 75 anakol yıldızından belirlenmiştir. Kümedeki anakol yıldızlarının kütle aralığı $1 < M/M_\odot < 2.6$ olup bu aralıktan hesaplanan kütle fonksiyonun eğimi $X = 1.30 \pm 0.49$ 'dir. Bu değer Salpeter'in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği $X = 1.35$ değeriyle oldukça uyumludur.

5.2 NGC 7654 AÇIK KÜMESİNİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında CCD *UBV* ve *Gaia* DR2 astrometrik verileri kullanılarak incelenen diğer bir açık küme NGC 7654'tür. Kümenin hem yapısal hem de astrofizik parametreleri bağımsız yöntemler kullanılarak duyarlı tayin edilmiştir. NGC 7654 açık kümesinin yapısal parametreleri, küme merkezinden itibaren oluşturulan yıldız yoğunluk profiline King modeli fit edilerek, merkezi yoğunluğu $f_0 = 3.024 \pm 0.274$ yıldız/(yay dakikası)², zemin yoğunluğu $f_{bg} = 1.680 \pm 0.257$ yıldız/(yay dakikası)² ve kümenin kor yarıçapı $r_c = 4.663 \pm 0.699$ yay dakikası olarak hesaplanmıştır. NGC 7654'ün güncel yapısal parametreleri 42 açık kümenin CCD *UBV* fotometrisini yapan Maciejewski ve Niedzielski (2007) tarafından verilmiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007) kümenin merkezi yoğunluğunu $f_0 = 4.29 \pm 0.21$ yıldız/(yay dakikası)², zemin yoğunluğu $f_{bg} = 3.36 \pm 0.20$ yıldız/(yay dakikası)² ve kümenin kor yarıçapı

$r_c = 5.0 \pm 0.50$ yay dakikası olarak belirlenmiştir. İki çalışmada elde edilen parametreler birbirleriyle karşılaştırıldığında tez çalışmasında küme merkezi ve küme zemini için hesaplanan yıldız sayı yoğunluklarının yaklaşık 1.5 yıldız/(yay dakikası)² daha küçük, küme kor yarıçaplarının ise hata değerleri içinde uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.1: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin tez çalışmasında elde edilen ve literatürde verilen astrofizik parametreleri.

Czernik 2					
Yazarlar	$E(B-V)$ (kadir)	d (pc)	[Fe/H] (dex)	Z	t (Myıl)
Tez Çalışması	0.49 ± 0.02	$1,804 \pm 66$	-0.04 ± 0.03	0.014	650 ± 100
NGC 7654					
Lundby (1946)	0.64	1,421	—	—	58
Schmidt (1977)	0.66	—	—	—	—
Pfau (1980)	0.70	—	—	—	—
Viskum ve diğ. (1997)	0.58 ± 0.02	$1,400 \pm 200$	—	—	160
Choi ve diğ. (1999)	0.62	1,510	—	—	100
Pandey ve diğ. (2001)	0.65	$1,380 \pm 70$	—	—	160
Maciejewski ve Niedzielski (2007)	0.73 ± 0.15	$1,480 \pm 470$	0	—	10
Tez Çalışması	0.57 ± 0.05	$1,764 \pm 147$	-0.04 ± 0.02	0.014	37 ± 5

NGC 7554 açık kümesinin renk artışı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı gibi astrofizik parametreleri Bölüm 3'te bahsedilen bağımsız yöntemlerin küme üyeliği yüksek yıldızlara uygulanmasıyla hesaplanmış ve Tablo 5.1'de literatürdeki çalışmaları da içerecek şekilde listelenmiştir. Tablo 5.1'de görüldüğü gibi kümenin renk artıkları $0.57 \leq E(B-V) \leq 0.73$ kadir aralığında değişmektedir. Tez çalışmasında hesaplanan renk artışı bu tablodaki en küçük değerdir. 1997 yılından önceki çalışmalarda kümenin renk artışı fotografik plak ölçümlerinden itibaren hesaplanmıştır. Bilindiği gibi sönük yıldızlara doğru fotografik plakların duyarlılığı doğrusallıktan uzaklaştığı için U bandı gibi kısa dalgaboylarında yapılan gözlemlere ait hatalar büyüktür. Bu da $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramından belirlenen renk artışı değerlerinin farklı bulunmasına yol açar. Kümedeki değişen yıldızları CCD BV fotometrisiyle inceleyen Viskum ve diğ. (1997) ile Choi ve diğ. (1999) renk artığını sadece $B-V$ rengini kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmaları U bandı verilerini içermediğinden hesapladıkları renk artışı değerleri bir miktar belirsizlik içerir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında kümenin hesaplanan renk artışı değerlerinin geniş bir aralıkta bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni Pandey ve diğ. 'nin (2001) belirttiği gibi küme doğrultusundaki renk artışı değişiminin $0.46 \leq E(B-V) \leq 0.80$ kadir aralığında bulunmasından ileri gelmektedir. Tez çalışmasında yıldızların kümeye üyelik

olasılıkları *Gaia* uydusunun hassas öz hareket verilerinden hesaplanmıştır. Kümeye üye anakol yıldızlarının seçimi yeterince duyarlı yapıldığından bu yıldızların $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarından belirlenen renk artıkları da hassastır. O halde tez çalışmasında küme için hassas fotometrik ve astrometrik veriler kullanıldığından Tablo 5.1’de verilen renk artığının yeterince duyarlı tayin edildiği söylenebilir.

NGC 7654 açık kümesinin demir bolluğu literatürdeki tüm çalışmalarda Güneş bolluğunda kabul edilmiştir. Bu nedenle, Karaali ve diğ.’nin (2011) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu ile hesaplanan $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.02$ dex’lik demir bolluğu küme için hesaplanan ilk değerdir.

Literatürdeki yaklaşık 75 yıllık çalışmaları dikkate alındığında kümenin Güneş’e uzaklığı $1,380 \leq d \leq 1,764$ pc aralığında değişmektedir. Literatürde NGC 7654 kümesi için hesaplanan renk artıkları farklı değerlerde verildiğinden (bakınız Tablo 5.1) anakol çıkartma yöntemine dayalı uzaklık tayinleri dejenerasyonluğa uğramaktadır. Tablo 5.1’de listelenen büyük değerlerdeki renk artıklarına karşılık gelen uzaklıkların genel olarak en küçük uzaklıklar olduğu görülmektedir. Tez çalışmasında hesaplanan renk artığı $(E(B-V) = 0.57 \pm 0.05$ kadir) literatürdeki en küçük değer olduğundan küme için verilen uzaklık değeri de en büyüğüdür. Anakol çıkartma yöntemine göre tayin edilen küme uzaklığı $1,764 \pm 147$ pc’tir.

Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında NGC 7654 için hesaplanan yaşlar $10 \leq t \leq 160$ Myıl aralığındadır. Tez çalışmasında kümenin yaşı 37 ± 5 Myıl hesaplanmıştır ve bu değer Lundby (1946) ile Maciejewski ve Niedzielski’nin (2007) yaşlarıyla daha uyumludur.

NGC 7654 açık kümesinin kütle fonksiyonu kümeye üyelikleri $P \geq 0.5$ olan 365 anakol yıldızından belirlenmiştir. Kümedeki anakol yıldızlarının kütle aralığı $1 < M/M_{\odot} < 7$ olup bu aralıktan hesaplanan kütle fonksiyonun eğimi $X = 1.49 \pm 0.12$ ’dir. Bu değer Salpeter’in (1955) Güneş civarındaki yıldızlardan elde ettiği $X = 1.35$ değeriyle uyumludur. NGC 7654 açık kümesini CCD $UBVI_C$ fotometrisiyle inceleyen Pandey ve diğ. (2001) kümenin kütle fonksiyonunu $0.92 < M/M_{\odot} < 4.04$ kütle aralığındaki anakol yıldızlarından itibaren $X = 1.40 \pm 0.07$ olarak hesaplamışlardır. Bu değer, tez çalışmasında hesaplanan kütle fonksiyonu eğimiyle hata değerleri içinde uyumludur. Kümeye üye yıldızlar *Gaia* uydusunun hassas öz hareket verilerinden belirlendiği için tez çalışmasındaki sonuçların daha duyarlı olduğu söylenebilir.

5.3. KÜMELERİN ASTROMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

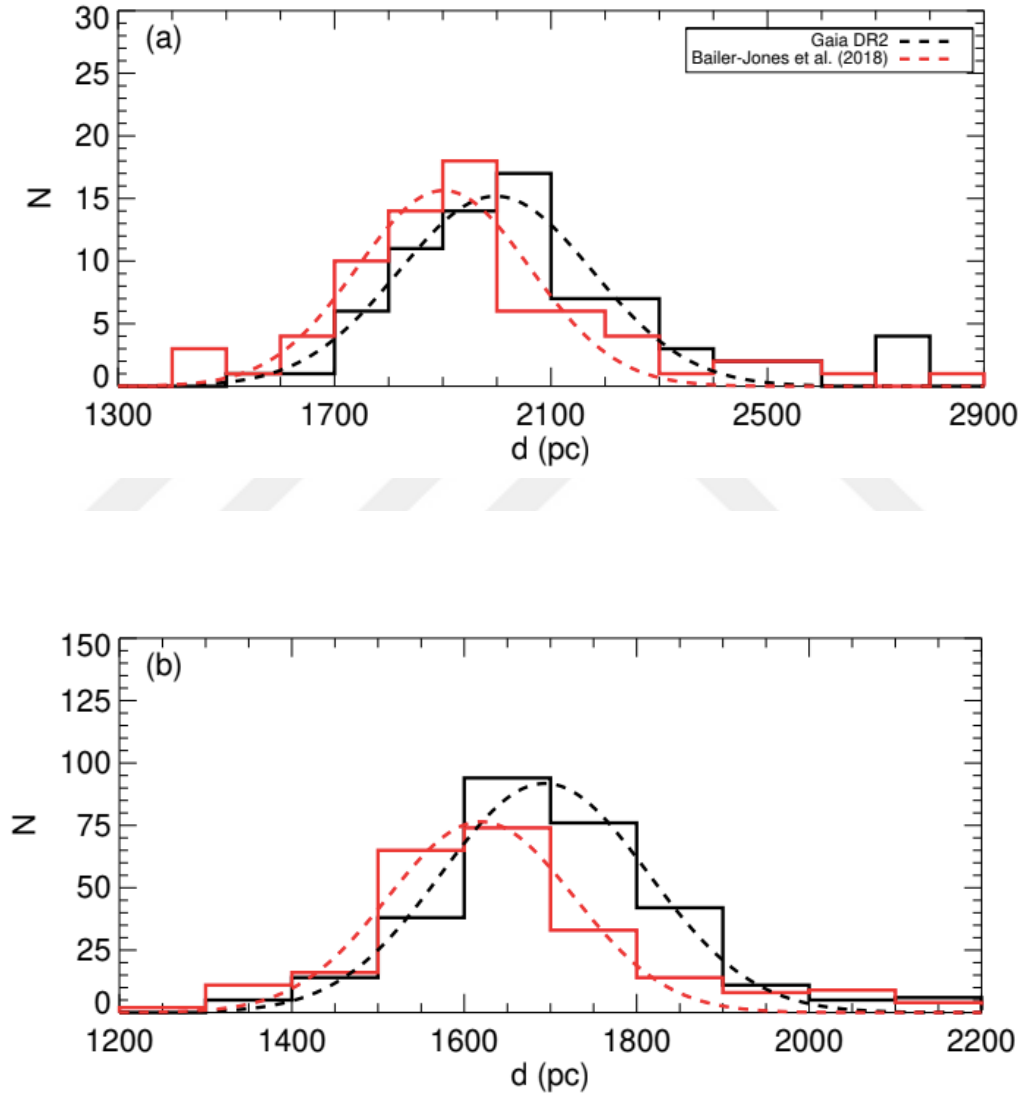
Tez çalışmasında incelenen Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin üye yıldızlarının seçiminde *Gaia* DR2 kataloğundaki (*Gaia* işbirliği, 2018) astrometrik verilerden faydalanılmıştır. Küme doğrultusundaki yıldızların *Gaia* DR2'deki öz hareket ve trigonometrik paralaks verilerinden, Bölüm 3.7'de bahsedilen UPMASK yazılımıyla kümeye üyelik olasılıkları hesaplanmıştır. En olası üye yıldızların belirlenmesinde kümeye üyelik olasılığı $P \geq 0.5$ olan yıldızlar seçilerek Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinde bu şarta uyan, sırasıyla, 101 ve 439 yıldız belirlenmiştir. Bu yıldızlar dikkate alındığında Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin medyan öz hareket verileri ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ), sırasıyla, $(-4.049 \pm 0.070, -0.921 \pm 0.063)$ ve $(-1.956 \pm 0.062, -1.127 \pm 0.052)$ mas/yıl hesaplanmıştır.

Cantat-Gaudin ve diğ. (2018) Galaksimizde bulunan 1,229 açık kümeyi *Gaia* DR2'deki astrometrik ve fotometrik veriler ile incelemiştir. Analizleri yapılan 1,229 açık kümenin öz hareket bileşenleri ve uzaklıkları hesaplanarak elde edilen sonuçlar elektronik olarak Vizier¹³ web sayfası üzerinden yayımlanmıştır. Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) incelediği kümeler arasında tez çalışmasında yer alan kümelerden sadece NGC 7654 açık kümesinin öz hareket verilerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Cantat-Gaudin ve diğ. (2018) NGC 7654 açık kümesinin öz hareket değerlerini ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ) = $(-1.938 \pm 0.147, -1.131 \pm 0.154)$ mas/yıl olarak vermiştir. NGC 7654 açık kümesi için tez çalışmasında elde edilen sonuçların Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasında anakol çakıştırma yöntemiyle belirlenen küme uzaklıklarının sınanması için kümeye üyelikleri yüksek yıldızların *Gaia* DR2'de verilen trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklar ve *Gaia* DR2 kataloğundaki yıldızların trigonometrik paralaks hatalarına göre yeniden uzaklık hesabını yapan Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) değerleri dikkate alınmıştır. Küme uzaklıklarının sınanmasında tercih edilen bu iki yöntemde öncelikle kümeye üye yıldızların *Gaia* DR2'de verilen trigonometrik paralaksları d (pc) = $1/\varpi$ (mas) bağıntısıyla uzaklıklara dönüştürülmüş ve küme üyesi tüm yıldızların uzaklık histogramı oluşturulmuştur. Benzer durum Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) tarafından hesaplanan uzaklıklar için de yapılmıştır. Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümeleri için oluşturulan uzaklık dağılımlarına Gauss eğrileri fit edilmiş ve bu eğrilerin tepe noktaları kümelerin ortalama uzaklıkları olarak kabul

¹³ <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

edilmiştir (Şekil 5.1). Gauss eğrilerinin 1σ standart sapma değerleri uzaklıklardaki hatalar olarak alınmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de listelenmiştir. Tablo 5.2’den de görüldüğü gibi eş-yaş eğrileriyle tayin edilen ortalama küme uzaklıkların trigonometrik paralakslardan hesaplanan uzaklıklar ile hata değerleri içinde oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1: Czernik 2 (a) ve NGC 7654 (b) kümeleri için iki farklı uzaklık yöntemi (Bailer-Jones ve diğ., 2018 ve Gaia işbirliği, 2018) ile hesaplanan küme üyesi yıldızların uzaklık histogramları ve bu histogramlara fit edilen Gauss eğrileri.

Tablo 5.2: Czernik 2 ve NGC 7654 açık kümelerinin üç farklı yöntem ile hesaplanan uzaklıkları.

Küme	d eş-yaş eğrisi (pc)	d <i>Gaia</i> (pc)	d Bailer-Jones ve diğ. (pc)
Czernik 2	$1,804 \pm 66$	$1,998 \pm 179$	$1,901 \pm 160$
NGC 7654	$1,764 \pm 147$	$1,694 \pm 120$	$1,620 \pm 108$

Tez çalışmasında iki açık kümenin fotometrik ve astrometrik verileri güncel ve duyarlı yöntemler kullanılarak analiz edilmiş ve temel astrofizik parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada temel astrofizik parameteler, literatürdeki çoğu çalışmada yapıldığı gibi, eş zamanlı tayin edilmediğinden renk artığı, metal bolluğu, uzaklık modülü ve yaş parametreleri arasında bir dejenerasyonluk bulunmamaktadır. Bu duruma en iyi kanıt *Gaia* DR2 kataloğundaki hassas astrometrik veriler kullanılarak gösterilmiştir. Gelecekte açık kümelerin fotometrik, tayfsal ve astrometrik yöntemler ile sistematik olarak incelenmesi kümelerin oluşumu ve evriminin anlaşılmasına olanak sağlamasının yanında bir bütün olarak Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimin anlaşılmasına da doğrudan katkı verecektir. Özellikle *Gaia* uydusunun gelecek veri sürümlerindeki astrometrik ve fotometrik duyarlılıkların artması özellikle sönük küme üyesi yıldızların belirlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Böylece, açık kümelerin kütle fonksiyonları daha küçük kütlelerdeki yıldızlar için de elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Adams, F. C., Shu, F. C., Lada, C. J., 1987, The Disks of T Tauri Stars with Flat Infrared Spectra, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 19, 1096.
- Adams, F. C., Myers, P. C., 2001, Modes of Multiple Star Formation, *The Astrophysical Journal*, 553, 744-753.
- Andersen, J., Nordström, B., 2000, Dynamical evolution of intermediate-age and old clusters, *Stellar Clusters and Associations: Convection, Rotation, and Dynamos. Proceedings from ASP Conference*, Vol. 1. Edited by R. Pallavicini, G. Micela, and S. Sciortino ISBN: 1-58381-025-0 (2000), 198, 171.
- Assmann, P., Wilkinson, M. I., Fellhauerand, M., Smith, R., 2011, Star Cluster Collisions – A Formation Scenario for the Extended Globular Cluster Scl-dE1 GC1, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 413, 2606.
- 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, 11.
- Beccari, G., Petr-Gotzens, M.G., Boffin, H., Romaniello, M., 2017, Tale of Three Cities: OmegaCAM Uncovers Three Discrete Episodes of Star Formation in The Orion Nebula Cluster, *Astronomy and Astrophysics*. 604, 8.
- Becker, W., Fenkart R., 1970, Galactic Clusters and HII Regions, *International Astronomical Union. Symposium No. 38*, Dordrecht, Reidel, 205.
- Bergin, E. A, Tafalla, M., 2007, Cold Dark Clouds: The Initial Conditions for Star Formation, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 45, 339.
- Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., Nasi, E., 1994, Theoretical Isochrones from Models with New Radiative Opacities, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 106, 275-302.
- Bertin, E., Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for Source Extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 393-404.
- Bertin, E., 2011, Automated Morphometry with SExtractor and PSFEx, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XX. ASP Conference Proceedings*, 442, 435.
- Blaauw, A., 1963, in Basic Astronomical Data, *Stars and Stellar Systems*, 2, Edit by K. A. Strand (Chicago, Univ. of Chicago Press), 383.
- Bonatto, C., Kerber, L. O., Bica, E., Santiago, B. X., 2006, Probing Disk Properties with Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 446, 121-135.
- Borissova, J., Ivanov, V. D., Minniti, D., Geisler, D., 2006, Discovery of New Milky Way Star Cluster Candidates in the 2MASS Point Source Catalog. V. Follow-up Observations of

- the Young Stellar Cluster Candidates RCW 87, [BDSB2003] 164 and [DBSB2003] 172 *Astronomy and Astrophysics*, 455, 923-930.
- 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.
- Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., Bragaglia, A., Balaguer-Núñez, L., Soubiran, C., Bossini, D., Moitinho, A., Castro-Ginard, A., Krone-Martins, A., Casamiquela, L., Sordo, R., Carrera, R., 2018, A Gaia DR2 View of the Open Cluster Population in the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 618, id.A93, 16.
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S., 1989, The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction, *The Astrophysical Journal*, 345, 245.
- Carpenter, J. M., 2000, 2MASS Observations of the Perseus, Orion A, Orion B, and Monoceros R2 Molecular Clouds, *The Astronomical Journal*, 120, 3139-3161.
- Carraro, G., 2006, Open Cluster Remnants: An Observational Overview, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 34, 153.
- Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Álvarez Cid-Fuentes, J., Casamiquela, L., Anders, F., Cantat-Gaudin, T., Monguió, M., Balaguer-Núñez, L., Solà, S., Badia, R. M., 2020, Hunting for Open Clusters in Gaia DR2: 582 New Open Clusters in the Galactic Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 635, id.A45, 10.
- Chabrier, G., 2005, The Initial Mass Function: From Salpeter 1955 to 2005, *The Initial Mass Function 50 Years Later. Edited by E. Corbelli and F. Palle, INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze, Italy; H. Zinnecker, Astrophysikalisches Potsdam, Germany. Astrophysics and Space Science Library Volume 327.* Published by Springer, Dordrecht, 2005, 41.
- Choi, H. S., Kim, S. L., Kang, Y. H., Park, B. G., 1999, Search for Variable Stars in the Open Cluster NGC 7654, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 789-794.
- Cox, A. N., 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, Allen's Astrophysical Quantities, 4th ed. Publisher: New York: AIP Press, Springer, Edit by Arthur N. Cox. ISBN: 0387987460.
- Czernik, M., 1966, New Open Star Clusters, *Acta Astronomica*, 16, 93.
- Çoban, T., 2011, Makine Öğrenme Algoritmaları ile Web Siteleri Tıklanmalarının Analizi, Tez, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Danford, S. C., Thomas, J., 1981, uvby Beta Photometry of the Open Cluster M52, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 93, 447-452.
- De Marchi, G., Paresce, F., 2001, The Mass Function of Galactic Clusters and its Evolution with Time, *Astronomische Gesellschaft Abstract Series*, Vol. 18., Abstracts of Contributed Talks and Posters presented at the Annual Scientific Meeting of the

Astronomische Gesellschaft at the Joint European and National Meeting JENAM 2001 of the European Astronomical Society and the Astronomische Gesellschaft at Munich.

- De Silva, G. M., Sneden, C., Paulson, D. B., Asplund, M., Bland-Hawthorn, J., Bessell, M. S., Freeman, K. C., 2006, Chemical Homogeneity in the Hyades, *The Astronomical Journal*, 131, 455-460.
- Dias, W. S., Alessi, B. S., Moitinho, A., Lepine, J. R. D., 2002, New Catalogue of Optically Visible Open Clusters and Candidates, *Astronomy and Astrophysics*, 389, 871-873.
- Dreyer, J. L. E., 1888, New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, *The Royal Astronomy Society*, 49, 1-237.
- Dreyer, J. L. E., 1895, Index Catalogue of Nebulae Found in the Years 1888 to 1894, with Notes and Corrections to the New General Catalogue. *The Royal Astronomy Society*, 51, 185-228.
- Dreyer, J. L. E., 1910, Second Index Catalogue of Nebulae Found in the Years 1895 to 1907; with Notes and Corrections to the New General Catalogue and to the Index Catalogue for 1888 to 1894. *The Royal Astronomy Society*, 59, 105-198.
- Fitzgerald, M. P., 1970, The Intrinsic Colours of Stars and Two-Colour Reddening Lines, *Astronomy and Astrophysics*, 4, 234-243.
- Fitzpatrick, E. L., Massa, D., 2009, An Analysis of the Shapes of Interstellar Extinction Curves. VI. The Near-IR Extinction Law, *The Astrophysical Journal*, 699, 1209-1222.
- Gaia İşbirliği, 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 İşbirliği, Babusiaux, C., van Leeuwen, F., Barstow, M. A., 2018, Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell Diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id.A10, 29.
- Gaia İşbirliği., 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, is.A1, 22.
- Harris, W. E., A New Catalog of Globular Clusters in the Milky Way, 2010, eprint arXiv:1012.3224.
- Henden, A. A., Kaitchuck, R. H., 1990, Astronomical photometry: a text and handbook for the advanced amateur and professional astronomer. *Richmond, Va.: Willmann-Bell*
- Herschel, W., 1785, On the Construction of the Heavens, *Royal Society of London Philosophical Transactions Series I*, 75, 213.
- Herschel, W., 1814, Astronomical Observations Relating to the Sideral Part of the Heavens, and Its Connection with the Nebulous Part: Arranged for the Purpose of A Critical

- Examination, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series I*, 104, 248-284.
- Herschel, W., 1864, Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 154, 1-137.
- Hertzsprung, E., 1911, Über die Verwendung Photographischer Effektiver Wellenlaengen zur Bestimmung von Farbaequivalenten, *Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, 22. Bd., 1. Stuck = Nr.63.
- Hiltner, W. A., Johnson, H. L., 1956, Observational Confirmation of A Theory of Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, 123, 267-277.
- Hodierna, G. B., 1654, De Systemate Orbis Cometici Deque Admirandis Coeli Characteribus, Opuscula Duo, in Quorum Primo Cometarum Causae Disquiruntur & Explicantur; In Secundo Vero Quid, Quales, Quotue Sint Stellae Luminosae, Nebulosae, Necnon, & Occultae, Manifestantur & Rerem; Caelestium Studiosis Commendantur, Palermo.
- Hur, H., Sung, H., Bessell, M. S., 2012, Distance and the Initial Mass Function of Open Clusters in the eta Carina Nebula: Tr 14 and Tr 16, *The Astronomical Journal*, 143, id. 41.
- Ihaka, R., Gentleman, R. R., 1996, A Language for Data Analysis and Graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299-314.
- Janes, K. A., Tilley, C., Lynga, G., 1988, Properties of the Open Cluster System, *The Astronomical Journal*, 95, 771.
- 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, 15.
- Janes, K., Barnes, S. A., Meibom, S., Hoq, S., 2014, Open Clusters in the Kepler Field. II. NGC 6866, *The Astronomical Journal*, 147, id. 139, 5.
- Johnson, H. L., Morgan, W. W., 1953, Fundamental Stellar Photometry for Standards of Spectral Type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas, *Astrophysical Journal*, 117, 313.
- Johnson, H. L., Hiltner, W. A., 1956, Observational Confirmation of a Theory of Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, 123, 267.
- Johnson, H. L., Borgman, J., 1963, The Law of Interstellar Extinction, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 17, 115.
- Johnson, H. L., 1966, Astronomical Measurements in the Infrared, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 4, 193-206.

- Kaltcheva, N. T., 1990, Photographic uvby Photometry of the Open Cluster M52, *Astrophysics and Space Science*, 173, 69-76.
- Karaali, S., Bilir, S., Karataş, Y., Ak, S. G., 2003, New Metallicity Calibration Down to $[Fe/H] = -2.75$ dex, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 165-172.
- Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, New Colour Transformations for the Sloan Photometry, and Revised Metallicity Calibration and Equations for Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 22, 24-28.
- Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoglu, B., 2011, An Improved Metallicity Calibration with UBV Photometry, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 28, 95-106.
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R. D., 2005, Astrophysical Parameters of Galactic Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 438, 3, 1163-1173.
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Roeser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D., 2013, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way, II. The Catalogue of Basic Parameters. *Astronomy and Astrophysics*, 558, A53.
- King, I. R., 1962, The Structure of Star Clusters. I. An Empirical Density Law, *Astronomical Journal*, 67, 471-485.
- King, I. R., 1966, The Structure of Star Clusters. III. Some Simple Dynamical Models, *Astronomical Journal*, 71, 64-75.
- King, I. R., Bedin, L. R., Piotto, G., Cassisi, S., Anderson, J., 2005, Color-Magnitude Diagrams and Luminosity Functions Down to the Hydrogen-Burning Limit. III. A Preliminary Hubble Space Telescope Study of NGC 6791, *The Astronomical Journal*, 130, 626.
- Krone-Martins, A., Moitinho, A., 2014. UPMASK: Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 561, A57.
- Kroupa, P., 2001, On the Variation of the Initial Mass Function, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 322, 231-246.
- Kroupa P., 2005, in Proceedings of the Gaia Symposium “The Three-Dimensional Universe with Gaia” (ESA SP-576). Held at the Observatoire de Paris-Meudon, 4–7 October 2004, eds. C. Turon, K. S. O’Flaherty, M. A. C. Perryman (Noordwijk: ESA Publications Division), 629, arXiv:astro-ph/0412069.
- Lacaille, N. L., 1755, Sur les étoiles nébuleuses du Ciel Austral [On The Nebulous Stars of The Southern Sky]. *Memoirs of the Royal Academy* 194-199.
- Lada, C. J., Lada, E. A., 2003, Embedded Clusters in Molecular Clouds, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 41, 57-115.

- Laird, J. B., Rupen, M. P., Carney, B. W., Latham, D. W., 1988, A Survey of Proper-Motion Stars. VII - The Halo Metallicity Distribution Function, *Astronomical Journal*, 96, 1908-1917.
- Landolt, A. U., 2009, UBVRI Photometric Standard Stars Around The Celestial Equator: Updates and Additions, *The Astronomical Journal*, 137, 5.
- Larson, R. B., 1998, Early Star Formation and the Evolution of the Stellar Initial Mass Function in Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 301, 569-581.
- Lundby, A., 1946, On the Proper Motions of Stars and the Absorption of Light in the Region of the Open Cluster Messier 52, *Uppsala astronomiska observatoriums annaler; bd. 1, n:o 10; Kungl. Svenska vetenskapsakademiens handlingar; 3. serien, bd. 23, n:o 2, Stockholm: Almqvist and Wiksell*, 62 p.
- Lynga, G., 1982, Open Cluster in Our Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 109, 213-222.
- Lynga, G., Palous, J., 1987, The Local Kinematics of Open Star Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 188, 35-38.
- Maciejewski, G., Niedzielski, A., 2007, CCD BV Survey of 42 Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 467, 1065-1074.
- Marigo, P., Girardi, L., Bressan, A., Rosenfield, P., 2017, A New Generation of PARSEC-COLIBRI Stellar Isochrones Including the TP-AGB Phase, *The Astrophysical Journal*, 835, id. 77, 19.
- Mathieu, R. D., 1984, The Structure and Dynamics of the Open Cluster M11, *Astrophysical Journal*, 284, 643-662.
- Meibom, S., Liebesny, P., Stassun, K. G., Saar, S. H., 2011, The Color-Period Diagram and Stellar Rotational Evolution - New Rotation Period Measurements in the Open Cluster M34, *The Astrophysical Journal*, 733, id. 115, 13.
- 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., 1995, The Database for Galactic Open Clusters (BDA), *Information and On-Line Data in Astronomy, Astrophysics and Space Science Library*, 203, 127-138.
- Messier, C., 1784, Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles. Connaissance des Temps for 1787 (published 1784), 238-282.
- Monet, D. G., 1998, The 526,280,881 Objects in the USNO-A2.0 Catalog, American Astronomical Society, 193rd AAS Meeting, id.120.03; *Bulletin of the American Astronomical Society*, 30, 1427.
- Monet, D. G., Levine, S. E., Canzian, B., Ables, H. D., ve diğ., 2003. The USNO-B Catalog, *The Astronomical Journal*, 125, 984-993.

- Montgomery, K. A., Marschall, L. A., Janes, K. A., 1993, CCD Photometry of the Old Open Cluster M67, *The Astronomical Journal*, 106, 181-219.
- Monz, C., 2008, *Machine Learning for Data Mining: Week 6 Clustering*. <https://staff.fnwi.uva.nl/c.monz/html/teaching.html> [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2019.]
- Netopil, M., Paunzen, E., Stütz, C., 2012, Developments of the Open Cluster Database WEBDA, Star Clusters in the Era of Large Surveys, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, Springer, Berlin, Heidelberg 53-61.
- Offner, S. S. R., Clark, P. C., Hennebelle, P., Bastian, N., 2014, The Origin and Universality of the Stellar Initial Mass Function, Protostars and Planets VI, : 3. pag. Crossref. Web.
- Pandey, A. K., Ogura, K., Sekiguchi, K., 2000, Stellar Contents of the Galactic Giant H II Region NGC 3603, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 52, 847-865.
- Pandey, A. K., Nilakshi, O., K., Sagar, R., Tarusawa, K., 2001, NGC 7654: An Interesting Cluster to Study Star Formation History, *Astronomy and Astrophysics*, 374, 504-522.
- Patat, F., Carraro, G., 1995, NGC 7762: A Forgotten Moderate Age Open Cluster, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 114, 281.
- Perryman, M. A. C., de Boer, K. S., Gilmore, G., ve diğ., 2001, GAIA: Composition, Formation and Evolution of the Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 369, 339-363.
- Pesch, P., 1960, The Galactic Cluster NGC 7654 (M 52), *Astrophysical Journal*, 132, 689.
- Pfau, W., 1980, Variable Star in the Galactic Cluster NGC 7654, *Information Bulletin on Variable Stars*, 1874, #1.
- Phelps, R. L., Janes, K. A., 1994, Young Open Clusters As Probes of The Star Formation Process. I. An Atlas of Open Cluster Photometry, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 90, 31-82.
- Piskunov, A. E., Kharchenko, N. V., Röser, S., Schilbach, E., Scholz. R.-D., 2006, *Astronomy and Astrophysic*, 445, 545.
- Poincot, P., Lesteven, S., Murtagh, F., 1998, A Spatial User Interface to the Astronomical Literature, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 130, 183-191.
- Roeser, S., Demleitner, M., Schilbach, E., 2010, The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 139, 2440-2447.
- Russell, H. N., 1913, Giant and Dwarf Stars, *The Observatory*, 36, 324.
- Salpeter, E. E., 1955, The Luminosity Function and Stellar Evolution, *The Astrophysical Journal*, 121, 161-167.

- Sandage, A., 1957, Observational Approach to Evolution. II. A Computed Luminosity Function for K0 – K2 Stars from $M_V = +5$ to $M_V = -4.5$, *The Astrophysical Journal*, 125, 435-444.
- Sandage, A., 1969, New Subdwarfs. II. Radial Velocities, Photometry, and Preliminary Space Motions for 112 Stars with Large Proper Motion, *The Astrophysical Journal*, 158, 1115-1136.
- Schmidt, E. G., 1977, Four-color and H β Photometry of Stars in NGC 7654 and M25, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 89, 546-549.
- Schmidt-Kaler, Th., 1982, In *Landolt-Bornstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*, 2b, eds Schaifers, K., Voigt, H. H., Springer: Berlin.
- Shapley, H., 1916, Studies Based on the Colors and Magnitudes in Stellar Clusters. I. The General Problem of Clusters, *Contributions of the Mount Wilson Solar Observatory*, 115, 22.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 131, 1163-1183.
- Soubiran, C., Cantat-Gaudin, T., Romero-Gómez, M., Casamiquela, L., Jordi, C., Vallenari, A., Antoja, T., Balaguer-Nunez, L., Bossini, D., Bragaglia, A., Carrera, R., Castro-Ginard, A., Figueras, F., Heiter, U., Katz, D., Krone-Martins, A., Le Campion, J. -F., Moitinho, A., Sordo, R., 2018, Open Cluster Kinematics with Gaia DR2, *Astronomy and Astrophysics*, 619, id.A155, 11.
- Stebbins, J., Whitford, A. E., 1943, Six-color Photometry of Stars. I. The Law of Space Reddening from the Colors of O and B stars, *The Astrophysical Journal*, 98, 20.
- Sung, H., Bessell, M. S., Lee, S.W., 1998, UBVRI and H α Photometry of the Young Open Cluster NGC 6231, *The Astronomical Journal*, 115, 734-744.
- Sung, H., Bessell, M. S., 1999, UBVI CCD Photometry of M35 (NGC 2168), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 306, 361-370.
- Sung, H., Lom, B., Bessell, M. S., Kim, J. S., Hur, H., Chun, M., Park, B., 2013, Sejong Open Cluster Survey (SOS). 0. Target Selection and Data Analysis, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 46, 103-123.
- Thies, I., Kroupa, P., 2007, A Discontinuity in the Low-Mass Initial Mass Function, *The Astrophysical Journal*, 671, 767-780.
- Trumpler, R. J., 1930, Preliminary Results on the Distances, Dimensions and Space Distribution of Open Star Clusters, Lick Observatory Bulletins, *Berkeley University of California Press*, 420, 154-188.
- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., 2016, Metallicity Calibration and Photometric Parallax Estimation: I. UBV Photometry, *Astrophysics and Space Science*, 361, id.186.

- Van den Bergh, S., 2006, Diameters of Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 131, 1559-1564.
- Viskum, M., Hernandez, M. M., Belmonte, J. A., Frandsen, S., 1977, A Search for Delta Scuti Stars in Northern Open Clusters. I. CCD Photometry of NGC 7245, NGC 7062, NGC 7226 and NGC 7654, *Astronomy and Astrophysics*, 328,158-166.
- Whittet, D. C. B., 1977, The Dependence of the Extinction Ratio on Galactic Longitude, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 180, 29-35.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., ve diğ., 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *The Astrophysical Journal*, 120, 1579-1587.
- Zacharias, N., Finch, C., Frouard, J., 2017, UCAC5: New Proper Motions using Gaia DR1, *The Astronomical Journal*, 153, id. 166.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Burcu Akbulut
Doğum Yeri	Demirözü
Doğum Tarihi	05.11.1994
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05427163988
E-Posta Adresi	burcu.akbulut@ogr.iu.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	07.07.2017

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

Makale ve Bildiriler