T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Doktora Tezi

GALAKSİMİZDEKİ RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİNİN AÇIK KÜMELER YOLUYLA İNCELENMESİ

Talar YONTAN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Şubat, 2020

İSTANBUL

Bu çalışma, 28.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

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

Prof. Dr. Tansel AK
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

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

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin FDK-2016-22543 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 113F270 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumunun (TÜBİTAK) projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Beni özveriyle yetiştiren, hayatım, eğitimim ve akademik çalışmalarım boyunca daima gelişmem için benden desteklerini esirgemeyen canım aileme en içten dileklerim ile teşekkür ederim.

Öğretmen, geçmişin öğreticisi geleceğin kurucusudur ve bu hayattaki en değerli varlığımızdır aile. Lisansüstü eğitimim boyunca bilimsel bilgi ve deneyimlerini paylaşmalarının yanında sıcak bir aile ortamı sunan, yanımda olan ve beni destekleyen Galaktik Yapı Grubu'ndaki hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma,

Tez çalışması boyunca, manevi ve bilimsel desteklerini benden esirgemeyen, programlama konusunda gelişmeme büyük katkı sağlayan ve her koşulda bir aile gibi yanımda olan değerli danışmanım Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER'e,

Başarılı olmak için çok çalışmanın yanında, bilgi birikiminin ve deneyimin paylaşılması gerektiğini, iyi bir insan olmanın akademisyenlikten önce geldiğini bana öğreten, bilimsel bilgi birikimiyle ve anlayışıyla beni her koşulda destekleyen Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Tezde incelenen kümelerin gözlem ve ön analizlerinde deneyimlerini benimle paylaşan, tezi titizlikle inceleyen bir danışman gibi destek veren Prof. Dr. Tansel AK'a,

Tez süreci boyunca çalışmalarımı titizlikle takip eden, tezin gelişiminde bilgi, deneyim ve önerilerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI'ya,

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen, tezin şekillenmesinde önemli katkılarda bulunan, iyi bir eğitimci olmasının yanında her koşulda manevi desteğini esirgemeyen ve bana yol gösteren Prof. Dr. Serap AK'a,

Tezde kullanılan programlama kodlarının yazılmasında ve geliştirilmesinde önemli katkıları olan Prof. Dr. Tolga GÜVER'e,

Lisans eğitiminde aynı sıraları paylaştığım, akademik hayatımda aynı ortamda çalışmaya devam ettiğim, sadece tez aşamasında değil, karşılıksız her koşulda yanımda olan, beni destekleyen canım arkadaşım Remziye CANBAY'a,

Bu çalışmayı 1001 kodlu program çerçevesinde 113F270 proje numarasıyla destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK),

Doktora çalışmamda beni destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi'ne (FDK-2016-22543),

En samimi duygularımla teşekkür ederim…

Şubat 2020 Talar YONTAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xviii**
SUMMARY ..... **xx**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **12**
2.1. AÇIK KÜMELER 12
2.1.1. Açık Küme Verileri 16
2.1.2. Açık Kümelerin Galaksi'deki Konumları 20
2.1.3. Açık Kümelerin Dinamik Evrimi 24
2.1.4. Açık Kümelerin Oluşumu ve Evrimi 26
2.2. GALAKSİ DİSKİNİN YAPISININ AÇIK KÜMELER İLE ARAŞTIRILMASI 27
2.2.1. Açık Kümelerin Kimyasal Kompozisyonları ve Element bollukları 31
2.2.2. Galaksi Diskinde Metal Bolluğu Gradyenti 35
2.2.3. Galaksi Diskinde Yaş-Metal Bolluğu ilişkisi 41
2.2.4. Metal bolluğu Gradyentinin Farklı Nesneler ile Araştırılması 45
2.3. GALAKSİ DİSKİ'NİN KEMODİNAMİK MODELLERİ 51
2.4. GALAKSİ OLUŞUM VE EVRİMİNDE AÇIK KÜMELERİN ÖNEMİ 58
3. MALZEME VE YÖNTEM **62**
3.1. VERİLER 62
3.2. GÖZLEMLER 67
3.2.1. Standart Yıldız Alan Gözlemleri 68
3.2.2. Açık Küme Gözlemleri 68
3.3. FOTOMETRİK ANALİZLER 70
3.3.1. Standart Alan Yıldız Fotometrisi 72
3.3.2. Aletsel Parlaklıklardan Standart Fotometrik Parlaklıkların Elde Edilmesi 73

3.3.3. Açık Kümelerin Astrometrik ve Fotometrik Kataloglarının Oluşturulması.....76
3.3.4. Kümeye Üye Yıldızların Belirlenmesi.....78
3.4. KIZARMADAN ARINDIRILMIŞ RENKLER.....82
3.5. VERİ ANALİZİ ARAÇLARI.....87
3.5.1. Kızarma Kanunu.....87
3.5.2. Metal Bolluğu.....88
3.5.3. Açık Kümelerin Uzaklık Tayini.....93
3.5.4. PARSEC Eş-Yaş Eğrileri ve Küme Yaşlarının Tayini.....94
4. BULGULAR.....96
4.1. STANDART SİSTEME DÖNÜŞÜM VE SÖNÜMLEME KATSAYILARI.....97
4.2. ASTROMETRİK ÖLÇÜMLER VE MUTLAK FOTOMETRİ.....97
4.3. KÜMEYE ÜYELİK OLASILIKLARI.....98
4.4. FOTOMETRİK HATALAR.....100
4.4.1. Fotometrik Ölçümlerin Literatür ile Karşılaştırılması.....102
4.5. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI.....104
4.6. KÜMEYE ÜYE YILDIZLARIN BELİRLENMESİ.....105
4.7. KÜMELERİN RENK ARTIKLARININ BELİRLENMESİ.....108
4.8. KÜMELERİN METAL BOLLUKLARININ TAYİNİ.....109
4.9. KÜMELERİN UZAKLIK MODÜLLERİNİN VE YAŞLARININ TAYİNİ.....111
4.10. GALAKTİK RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİ TAYİNİ.....115
4.10.1. İncelenen Açık Kümelerin Uzay Dağılımları.....115
4.10.2. Galaktik Radyal Metal Bolluğu Gradyenti.....118
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....124
5.1. LİTERATÜRDEKİ AÇIK KÜME ÇALIŞMALARI.....124
5.2. KÜMELERİN ASTROFİZİK VE FOTOMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....157
5.2.1. Renk Artıkları.....157
5.2.2. Metal Bollukları.....162
5.2.3. Uzaklıklar.....168
5.2.4. Yaşlar.....173
5.3. KÜMELERİN ASTROMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....177
5.3.1. Öz Hareket Bileşenleri.....177
5.3.2. Uzaklık.....180
5.4. RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİ.....184
5.4.1. Literatür ile Karşılaştırma.....185

5.4.2. Modeller ile Karşılaştırma 187
5.5. GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR 193
KAYNAKLAR 194
EKLER 226
Tablo EK 1: Kümelerin görünen parlaklığının bir foksiyonu olarak ortalama fotometrik hatalar. 226
Şekil EK 1: Kümelerin fotometrik tamlık sınırları şekil üzerinde ok ile gösterilmiştir. 228
Şekil EK 2: Kümelerin fotometrik parlaklık ve renk hata diyagramları. 232
Şekil EK 3: Kümelerin renk-parlaklık diyagramları. 235
Şekil EK 4: Küme üyelerinin seçiminde kullanılan renk-parlaklık diyagramları. 242
Şekil EK 5: Kümelerin iki-renk diyagramları ve renk artıkları. 249
Şekil EK 6: Kümelerin metal bolluğu tayininde kullanılan iki-renk diyagramları ve mor-ötesi artıkların frekans dağılımları. 254
Şekil EK 7: Kümelerin renk-parlaklık diyagramları ve küme üyesi yıldızlara fit edilen PARSEC yaş eğrileri. 261
Şekil EK 8: İki farklı yöntem (Bailer-Jones ve diğ., 2018 ve Gaia işbirliği, 2018) ile hesaplanan küme üyesi yıldızların uzaklık histaogramları ve bu histogramlara fit edilen Gauss eğrileri. 268
ÖZGEÇMİŞ 272

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Samanyolu düzlemi boyunca gökyüzünün görünümü. 2

Şekil 1.2: Pleiades (a), Messier 44 (b) ve Hyades (c) açık kümelerinin görüntüleri. 2

Şekil 1.3: Alfred Tennyson'un (1809-1892) "Locksley Hall" (1842) kitabında, "Yumuşak gölgede yükselen Pleiad'ler, gümüş bir örgüye dolanmış bir ateş böceği sürüsü gibi parlıyorlar" şeklinde Pleiades gibi bir yıldız kümesi tanımlanmadı. 3

Şekil 1.4: Trumpler sınıflamasına göre gruplanmış açık kümeler. Kümeler, sütunlarda (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmalarına göre, satırlarda (r, m ve p) yıldız sayılarına göre sınıflandırılmıştır. 7

Şekil 2.1: Galaksimizdeki genç yıldız grupları: (a) yıldız oymakları (üst Akrep, üst Erboğa-Akrep ve alt Erboğa), (b) açık küme (NGC 3603) ve (c) kütleli yıldız kümesi (Westerlund 1). 14

Şekil 2.2: Yaklaşık 15,000 yıldızdan oluşan M2 küresel kümesi (sol panel) ve yaklaşık 200 üye yıldızı bulunan NGC 457 açık kümesi (sağ panel). 15

Şekil 2.3: DAML02 kataloğunda yaşı ve uzaklığı bilinen 2,013 açık kümenin Galaktik düzlem üzerindeki konumları. Mavi üçgenler 300 Myıldan genç, kırmızı üçgenler de 300 Myıldan yaşlı açık kümeleri göstermektedir. Şekilde bilinen spiral kollar gri renk, Güneş'in konumu ise Galaktik merkezden 8 kpc uzaklıkta sarı daire sembolüyle gösterilmiştir. Apsis ve ordinat eksenleri, sırasıyla, Güneş'e göre hesaplanan Y ve X Kartezyen koordinatlardaki uzaklıkları göstermektedir. 23

Şekil 2.4: DAML02 kataloğunda yaşı ve uzaklığı bilinen 2013 açık kümenin Galaktik düzleme dik doğrultudaki kesiti. Mavi üçgenler 300 Myıldan genç, kırmızı üçgenler de 300 Myıldan yaşlı açık kümeleri göstermektedir. 23

Şekil 2.5: Güneş civarındaki açık kümelerin küme yaşlarına göre uzay dağılımları gösterilmiştir. Sol panelde yaşı 12 Myıldan genç, sağ panelde de yaşı $12 < t < 20$ Myıl arasındaki açık kümeler gösterilmiştir. Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı 7.5 kpc kabul edilmiştir. Veriler Dias ve Lepine'den (2005) alınmıştır. 25

Şekil 2.6: SA 141 yıldız alanı doğrultusundaki yıldız yoğunluk profillerinin iki farklı disk bileşeni için modellenmesi (Gilmore ve Reid, 1983). Noktalar anakol yıldızlarının uzay yoğunluklarını, sürekli çizgi ince disk ve kesikli çizgi kalın disk bileşenini göstermektedir. Modellerde ince ve kalın diskler için yükseklik ölçeği değerleri, sırasıyla, 300 ve 1,350 pc hesaplanmıştır. 28

Şekil 2.7: Samanyolu'nun spiral kolları. 30

Şekil 2.8: Kümelerdeki [X/Fe] element bolluklarının (X = Mg, Si, Ca ve Ti) Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla değişimi. İçi boş daireler literatürdeki farklı çalışmalardan alınan bolluk değerlerini gösterirken, kırmızı kareler Sestito ve diğ. (2008), mavi daireler Friel ve diğ. (2005) ve yeşil üçgenler Yong ve diğ.'den (2005) alınan bollukları ifade etmektedir. Ortak kümeler kesikli çizgiler ile belirtilmiştir. 34

Şekil 2.9: Yüksek çözünürlüklü tayf çalışmalarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyenti. İçi boş daireler literatürdeki çeşitli çalışmaları derleyen Magrini ve diğ.'nin (2009) verilerini, içi dolu kare, daire ve üçgenler de, sırasıyla, Sestito ve diğ. (2008), Friel ve diğ. (2010) ve Yong ve diğ.'nin (2005) verilerini içermektedir. Örneklerde ortak olan kümeler kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Hata çubukları, araştırmacılar tarafından verilen, kümelerin ortalama metal bolluğundaki belirsizlikleri göstermektedir. 38

Şekil 2.10: Netopil ve diğ.'nin (2016) çalışmasındaki açık kümelerin metal bollukları ile Galaksi merkezinden uzaklıklarına ait dağılım. İçi dolu ve boş daireler, sırasıyla, yüksek ve düşük çözünürlüklü tayfsal verileri göstermektedir. Fotometrik metal bollukları üçgen sembolüyle ifade edilmiş olup, büyük boyutlu üçgenler en az iki fotometrik sistemde metal bolluğu ölçümü yapılmış açık kümeleri temsil etmektedir. Kesikli çizgi Lepine ve diğ. (2011) tarafından verilen metal bolluğu düzlüğünü ve basamak-benzeri süreksizliği gösterirken, sürekli çizgiler Netopil ve diğ.'nin (2016) tüm tayfsal veriler dikkate alınarak geçirdikleri doğrusal fiti ve dış disk için ortalama değeri temsil etmektedir. Gri bölge tayf verilerinden elde edilen ortalama metal bolluklarının hatalarını göstermektedir. 40

Şekil 2.11: Friel ve diğ.'nin (2002) açık küme verilerinden oluşturulan yaş-metal bolluğu dağılımları. Küme yaşları, Janes ve Phelps'in (1994) çalışmasında kabul edilen ölçeklendirme sistemiyle standartlaştırılmıştır. Açık kümeler Galaksi merkezinden R_{gc} < 10 kpc (içi boş daire) ve R_{gc} > 10 kpc (içi dolu daire) olmak üzere iki uzaklık aralığına ayrılmıştır. Hata değerleriyle işaretlenen noktalar kümelerin $t < 2$, $2 < t < 4$ ve $t > 4$ Gyıl yaş aralıklarındaki ortalama metal bolluğunu göstermektedir. Şekilde hesaplanan metal bollukları (a) ve radyal metal bolluğu gradyenti -0.06 dex/kpc kabul edilerek düzeltilmiş küme metal bollukları (b) gösterilmiştir. 42

Şekil 2.12: Metal bolluğu gradyentlerinin üç farklı uzaklık aralığı için yaş ile değişimi (Magrini ve diğ., 2009). Her bir panelde gösterilen sürekli çizgiler ve içi dolu daireler, sırasıyla, kimyasal evrim modelinden üretilen ve üç farklı yaş aralığı için (t < 0.8 Gyıl, 0.8 < t < 4 Gyıl ve t > 4 Gyıl) açık kümelerden hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini göstermektedir. İçi dolu kareler, her bir radyal uzaklık bölgesi için sefeidlerden hesaplanan gradyentlerini göstermektedir. 43

Şekil 2.13: Samanyolu'ndaki klasik sefeidlerin Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla metal bollukları arasındaki dağılım. Kırmızı ve mavi daireler Genovali ve diğ. (2013), sarı daireler Lemasle ve diğ. (2007; 2008), yeşil daireler Romaniello ve diğ. (2008), siyah daireler Luck ve Lambert (2011), Luck ve diğ. (2011) ve Sziladi ve diğ. (2007), içi boş daireler de Samus ve diğ.'nin (2009) çalışmasından alınmıştır. 47

Şekil 2.14: Farklı yaşlarda ve farklı uzaklıklardaki açık kümelerin uzaklıklarına göre metal bolluğu dağılımları. Kümelerin metal bollukları yüksek çözünürlüklü

tayflardan elde edilmiş ve Galaktik kimyasal evrim modelleriyle (Magrini ve diğ., 2009) karşılaştırılmıştır. Panellerde farklı yaş aralığındaki açık kümeler için metal bolluğu dağılımları gösterilmiştir. Üst panelde, 0 ve 1 Gyıl, orta panelde 1-4 Gyıl ve alt panelde 4, 6, 8, 10, 11 Gyıl öncesi için üretilen kimyasal evrim modelleri gözlemler ile karşılaştırılmıştır. 55

Şekil 3.1: CCD *UBV* verileri literatürden alınan 24 açık kümenin fotoğraf plaklarıyla alınmış negatif görüntüleri. 64

Şekil 3.2: Doktora tez çalışmasında Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda 10^{o}'lik bir uzanım içinde, TUG'dan gözlemi yapılan açık kümeler ile birlikte, literatürde CCD *UBV* parlaklıkları bulunan açık kümelerin Galaktik kartezyen koordinat sistemindeki uzaklık dağılımları verilmiştir. Şekil üzerinde Güneş'in (⊙) ve Galaksi merkezinin (+) yerleri işaretlenmiş olup, aralarındaki uzaklık 8 kpc kabul edilmiştir (Majewski, 1993). Samanyolu'nun sarmal kolları da şekil üzerinde işaretlenmiştir (Xu ve diğ., 2009). Mavi ve kırmızı daireler, sırasıyla, TUG'dan gözlenen ve fotometrik verileri literatürden alınan kümeleri göstermektedir. Paneldeki kesikli ve kalın çizginin temsil ettiği alan, Galaksi merkezi-Güneş doğrultusu boyunca metal bolluğu gradyentinin radyal değişiminin araştırılacağı bölgeyi kabaca temsil etmektedir. 65

Şekil 3.3: Seçilen özel doğrultuda bulunan 39 açık kümenin Galaksi merkezinden uzaklıklarının (R_{gc}) histogramı gösterilmiştir. Uzaklıklar WEBDA veri tabanı'ndan alınmıştır. 67

Şekil 3.4: Doktora tez çalışması kapsamında gözlemleri TUG'da yapılan 15 açık kümenin *V* bandında uzun poz sürelerinde birleştirilmiş negatif görüntüleri. 69

Şekil 3.5: İki-renk diyagramında metalce fakir bir yıldızın aynı *B-V* renk indeksindeki Hyades anakolundan hesaplanan mor-ötesi artığı ve bu yıldız için oluşturulan blanketing vektörü (Wildey ve diğ., 1962). 92

Şekil 4.1: NGC 7086 kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların *V* parlaklıklarının histogramı. Şekil üzerindeki ok tamlık sınırını göstermektedir. 100

Şekil 4.2: NGC 7086 açık kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların *V* parlaklığına göre fotometrik ölçüm hataları verilmiştir. 101

Şekil 4.3: NGC 7086'nın bu çalışmadan ölçülen ve Rosvick ve Robb'dan (2006) hesaplanan *B-V* renk indeksleriyle (üst panel), *V* görünen parlaklıklarının (alt panel) karşılaştırılması 103

Şekil 4.4: NGC 7086 kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U\text{-}B$ (a), $V \times B\text{-}V$ (b) renk-parlaklık diyagramlarındaki konumları 104

Şekil 4.5: NGG 7086 kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Mavi sürekli çizgiler Sung ve diğ.'ne (2013) ait ZAMS eğrileri olup, alt ve üst tabanı oluşturanlar, sırasıyla, kümenin anakol tabanı kabul edilen sınır ile çift yıldız etkisi dikkate alınarak 0.75 kadir parlaklaştırılan ZAMS eğrisini göstermektedir. İçi dolu kırmızı daireler kümenin en olası üyelerini ($P \geq \%50$), içi

boş daireler de küme doğrultusundaki üyelik olasılığı düşük yıldızları göstermektedir. 107

Şekil 4.6: NGC 7086 açık kümesinin $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramı. Kümenin anakolunda yer alan ve kümeye üyelik olasılıkları $P \geq$%50 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. 109

Şekil 4.7: NGC 7086 açık kümesindeki 45 F ve G tayf türü anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki-renk diyagramı (üst panel) ve $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ kadir rengine kalibre edilmiş UV artık değerlerinin frekans dağılımı (alt panel). Üst ve alt panellerdeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades kümesinin anakolunu ve dağılıma fit edilen Gauss eğrisini temsil etmektedir. 111

Şekil 4.8: NGC 7086 açık kümesinin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramlarıyla bunlara en uygun PARSEC eş-yaş eğrileri. Kırmızı ve gri daireler, sırasıyla, kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan ve küme alanında tespit edilen yıldızları, mavi düz çizgi kümenin uzaklık modülünü ve yaşını veren en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler de yaş tayinindeki belirsizlikleri göstermektedir. 113

Şekil 4.9: Galaksi düzleminde Güneş merkezli Galaktik koordinat sisteminin Galaksi merkezinden uzaklığa geçişinde kullanılan çizim. 115

Şekil 4.10: Doktora tez çalışmasında seçilen 39 açık kümenin (yeşil daireler) Galaktik düzlemdeki izdüşümleri. Şekil açıklaması Şekil 3.2'de verildiği gibidir. 116

Şekil 4.11: Gözlemleri TUG'da yapılan (turuncu daire) ve literatürdeki farklı çalışmalardan CCD *UBV* fotometrik verileri alınan kümelerin (yeşil daire) metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına göre (R_{gc}) dağılımı. 118

Şekil 4.12: Analiz edilen 39 kümenin metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına (R_{gc}) göre dağılımı. Kırmızı daireler metal bolluğu fotometrik olarak tayin edilen kümeleri, yeşil daireler metal bolluğu tayfsal çalışmalardan alınan kümeleri göstermektedir. Düz kırmızı çizgi metal bolluğu gradyentini, mavi kesikli çizgiler de gradyentin $\pm 1\sigma$ standart sapmasını göstermektedir. 119

Şekil 4.13: Güneş çemberi içinde ($R_{gc} < 9$ kpc) ve dışında ($R_{gc} \geq 9$ kpc) kalan açık kümelerin [Fe/H] $\times$ R_{gc} düzlemindeki dağılımları. Kırmızı sürekli çizgi açık kümelere uygulanan radyal metal bolluğu fitlerini, mavi kesikli çizgiler de doğrusal fitlerin $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir. 120

Şekil 4.14: Kümelerin metal bolluklarıyla ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıkları (R_{gc}) arasındaki dağılım. Yeşil daireler yörünge parametreleri belirlenen kümeleri, düz kırmızı çizgi metal bolluğu gradyent fitini, yeşil kesikli çizgiler de fitin $\pm 1\sigma$ standart sapmasını göstermektedir. Kesikli mor çizgiler kümelerin Galaksi merkezine göre zaman içinde değişen uzaklıklarını göstermektedir. 121

Şekil 4.15: Kümelerin metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına (R_{gc}) göre dağılımı. Yeşil ve kırmızı daireler, sırasıyla, genç ($t \leq 300$ Myıl) ve yaşlı ($t > 300$ Myıl) açık kümeleri göstermektedir. 122

Şekil 5.1: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan renk artıklarının karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir. 160

Şekil 5.2: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin metal bolluklarının histogramı. ... 163

Şekil 5.3: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir. 165

Şekil 5.4: Tez çalışmasında fotometrik ve tayfsal yöntem ile metal bolluğu belirlenen altı kümenin metal bolluklarının karşılaştırılması. Diyagonal hat birebir çizgisini göstermektedir. 168

Şekil 5.5: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin Güneş'ten uzaklıklarının histogramı. 169

Şekil 5.6: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir. 172

Şekil 5.7: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşlarının histogramı. 174

Şekil 5.8: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşların karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir. 176

Şekil 5.9: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) çalışmalarında hesaplanan öz hareket bileşenlerinin, $\mu_\alpha \cos\delta$ (panel a) ve μ_δ (panel b), birbirleriyle karşılaştırılması 178

Şekil 5.10: Dört farklı uzaklık yöntemiyle incelenen 39 açık küme uzaklıklarının birbirleriyle karşılaştırılması: (a) Eş-yaş eğrisi × Cantat-Gaudin ve diğ. (2018), (b) Eş-yaş eğrisi × Gaia işbirliği (2018), (c) Eş-yaş eğrisi × Bailer-Jones ve diğ. (2018) ve (d) Gaia işbirliği (2018) × Bailer-Jones ve diğ. (2018). 183

Şekil 5.11: Dört farklı yaş aralığı için üretilen kimyasal evrim modellerinin (Minchev ve diğ., 2013, 2014) tez çalışması ve dört araştırma grubundan alınan açık küme verileriyle karşılaştırılması. Küçük mavi noktalar kimyasal evrim modelinde kullanılan simülasyon verilerini, ince sürekli çizgi model radyal metal bolluğu profilini, renkli daireler farklı araştırmacıların kullandığı açık kümelerin göstermektedir. 189

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Hodierna'nın nesne sınıflandırması. 4

Tablo 3.1: Doktora tez çalışmasında kullanılan açık kümelerin listesi. Verileri Dias ve diğ.'nin (2002) kataloğundan alınmıştır. Sütunlarda, sıra numarası (Sıra), küme ismi, kümenin ekvatoral (α, δ) ve Galaktik (l, b) koordinatları, kümenin Güneş'e uzaklığı (d), Galaksi merkezine göre kartezyen koordinatlardaki konumları (X, Y, Z), kümenin Galaksi merkezine uzaklığı (R_{gc}) ve fotometrik verinin kaynağı verilmiştir. 66

Tablo 3.2: Doktora tez çalışmasında incelenen ve gözlemleri TUG'dan yapılan açık kümenin ekvatoral ve Galaktik koordinatları, gözlem tarihi ve gözlemlerde kullanılan filtreler ile poz süreleri ve sayıları. Kümelerin ekvatoral ve Galaktik koordinatları Dias ve diğ.'nin (2002) kataloğundan alınmıştır. 70

Tablo 3.3: TUG T100 teleskobu için 11 gözlem gecesini içeren, tez çalışmasında U, B ve V filtrelerinde hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları. 74

Tablo 3.4: Sung ve diğ.'nin (2013) *UBVI* fotometrik sisteminde, farklı ışıma gücü sınıfları için geliştirdikleri renk bağıntıları. 85

Tablo 3.5: Sung ve diğ.'nin (2013) optik renk indekslerine karşılık gelen V bandı mutlak parlaklık değerleri. 86

Tablo 4.1: NGC 7086 doğrultusunda tespit edilen yıldızların, V parlaklık aralıklarına göre fotometrik ölçüm hataları. N, parlaklık aralıklarındaki yıldız sayısını gösterir. ...101

Tablo 4.2: İncelenen 39 açık küme için tez çalışmasında hesaplanan renk artığı ($E(B-V)$), metal bolluğu ([Fe/H]), ağır element bolluğu (Z), uzaklık modülü (μ_V), uzaklık (d) ve yaş (t) değerleri. 114

Tablo 4.3: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin Güneş merkezli kartezyen sisteminde ve Galaksi merkezine uzaklıklarıyla birlikte metal bollukları. 117

Tablo 4.4: Tüm örnek ve Güneş civarı için tez çalışmasında elde edilen veriler ile Galaktik radyal metal bolluğu gradyentinin değişimi. N küme sayısını göstermektedir. 123

Tablo 5.1: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan renk artıkları (kadir) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. 158

Tablo 5.2: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan metal bollukları (dex) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1 de verildiği gibidir. 166

Tablo 5.3: Tez çalışmasında fotometrik ve tayfsal yöntem ile metal bolluğu belirlenen altı kümenin metal bolluklarının karşılaştırılması. 167

Tablo 5.4: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan uzaklıkları (pc) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1 de verildiği gibidir. 171

Tablo 5.5: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşları (Myıl cinsinden) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1'de verildiği gibidir. 175

Tablo 5.6: Tezde incelenen kümelerin ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) çalışmasında öz hareket bileşenleri için hesaplanan değerler. 179

Tablo 5.7: 39 açık kümenin farklı yöntemler ile hesaplanmış uzaklıkları. 181

Tablo 5.8: Literatürde son 20 yılda açık kümeler kullanılarak hesaplanmış radyal metal bolluğu gradyentleri, geçerlilik aralıkları ve makalelere ait biblografik kodlar. Açık kümelerin uzaklık aralıkları kpc, yaş değerleri de Gyıl birimindedir. 186

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

A_v : *V* bandındaki sönümleme miktarı (kadir)
b : *B* bandı âletsel kadiri
b : Galaktik enlem (derece)
d : Güneş'e uzaklık (pc)
B-V : *B-V* renk indeksi (kadir)
C : Gecelik sabit
E(*B-V*) : *B-V*'nin renk artığı (kadir)
E(*U-B*) : *U-B*'ninrenk artığı (kadir)
f : Morötesi artığının B-V=0.6 rengine kalibrasyonunda kullanılan sabit
k : Parlaklık ve renklerdeki birinci mertebe sönümleme katsayıları
k' : Parlaklık ve renklerdeki ikinci mertebe sönümleme katsayıları
l : Galaktik boylam
$M_\odot$: Güneş kütlesi
[Fe/H] : Fotometrik ve/veya tayfsal metal bolluğu
[M/H] : Element bolluğu
M_V : Mutlak parlaklık (kadir)
n_c : Normalize edilmiş alan yıldızı sayısı
n_f : Normalize edilmiş küme yıldızı sayısı
r : Küme merkezinden uzaklık
r_c : Kümenin etkin yarıçapı
R_v : Sönümleme katsayısı
R_{gc} : Galaksi merkezine uzaklık (pc)
t : Küme yaşı (yıl)
u : *U* bandı âletsel kadiri
U-B : *U-B* renk indeksi (kadir)
$(U-B)_H$: Hyades kümesine ait *U-B* renk indeksi (kadir)
$(U-B)_M$: Metalce fakir zarfa ait *U-B* renk indeksi (kadir)
UV : Morötesi artık
V : Görünen parlaklık (kadir)
V : Anakol yıldızı
v : *V* bandı âletsel kadiri
V-I : *V-I* renk indeksi (kadir)
V-R : *V-R* renk indeksi (kadir)
X : Hava kütle değeri
X, Y : CCD görüntüsü üzerindeki kaynakların piksel koordinatları
X, Y, Z : Galaksinin kartezyen koordinatları
YI : Yıldızımsılık indeksi
Z : Ağır element bolluğu
Å : Angström
α : Standart sisteme dönüşüm katsayısı
α_{2000} : Sağ açıklık
δ_{2000} : Dik açıklık

$\delta(U\text{-}B)$: Morötesi fazlalık (kadir)
$\delta(U\text{-}B)_{0.6}$: $B\text{-}V$=0.6 için normalize edilen morötesi fazlalık (kadir)
σ_c : Küme üyesi yıldızların gerçek öz hareket dispersiyonu
σ_V : V parlaklığındaki hata
$\sigma_{U\text{-}B}$: $U\text{-}B$ renk indeksindeki hata
$\sigma_{B\text{-}V}$: $B\text{-}V$ renk indeksindeki hata
ε_{xi} : Bir yıldızın x doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
ε_{yi} : Bir yıldızın y doğrultusundaki öz hareket bileşeninin hatası
γ : Korelasyon katsayısı
λ : Dalgaboyu
$\Delta\lambda$: Band genişliği
μ : Uzaklık modülü
ξ : Gözlenen yıldız alan merkezinin zenit uzaklığı
χ : Ki-kare değeri
ρ : Yıldız yoğunluğu
Ia : Süper parlak dev yıldız
Ib : Daha az parlak dev yıldız
III : Dev yıldız
x_c : Açık kümenin x eksenindeki merkezi koordinati
x_i : CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın x koordinat değeri
y_c : Açık kümenin y eksenindeki merkezi koordinati
y_i : CCD görüntüsü üzerindeki bir yıldızın y koordinat değeri
P_c : Bir yıldızın kümeye üyelik olasılığı

Kısaltmalar **Açıklama**

BOCCE : Bologna Open Clusters Chemical Evolution Project
CCD : Charge Coupled Device
DAML02 : Dias, Alessi, Moitinho ve Lepine açık küme kataloğu
DIONYSOS : Disc Optical Near-Infrared Stellar Object Spectroscopy
e^- : Elektron
ESA : Europen Space Agency
ESO : Europen Southern Observation
FWHM : Full width at half maximum
FSR : Froebrich, Scholz ve Raftery açık küme kataloğu
Gaia : Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
Gyıl : Milyar yıl
Hipparcos : High Precision Parallax Collecting Satellite
HR : Hertzprung-Russell
IC : Index Catalogues
IDL : Interactive Data Language
IMF : Initial Mass Function (Başlangıç Kütle Fonksiyonu)
IRAF : Image Reduction and Analysis Facility (Görüntü İndirgeme ve Analiz Programı)
km : Kilometre
kpc : Kiloparsek
LF : Luminosity Function (Işıma Gücü Fonksiyonu)
mas : Mili yay saniyesi
MWSC : The Mikyway Star Cluster Catalogue (Samanyolu Yıldız Küme Kataloğu)
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 (Nokta Yayılım Fonksiyonu)
Python : Python Programlama Dili
SA : Selected Area (Seçilmiş Alan)
SExtractor : Software for source extraction
SIMBAD : Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data
SDSS : Sloan Digital Sky Survey (Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması)
sn : Saniye
S/N : Sinyal/Gürültü değeri
TUG : TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
T100 : TUG yerleşkesindeki 100 cm ayna çaplı teleskop
UCAC : USNO CCD Astrograph Catalog
ZAMS : Zero Age Main Sequence (Sıfır Yaş Anakolu)
2MASS : Two Micron All-Sky Survey (İki Mikron Gökyüzü Taraması)
WEBDA : Açık Kümeler İçin Elektronik Veri Tabanı
VLT : Very Large Telescope (Çok Büyük Teleskop)
VVV : The VISTA Variables in the Via Lactae
WIYN : Wisconsin-Madison, Indiana, Yale Universities and National Optical Astronomy Observatories

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GALAKSİMİZDEKİ RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİNİN AÇIK KÜMELER YOLUYLA İNCELENMESİ

Talar YONTAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

Doktora tez çalışmasında, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda seçilen 39 açık kümenin fotometrik analizleri yapılarak astrofiziksel parametreleri tayin edilmiş ve bu parametreler kullanılarak Galaksi diskindeki radyal metal bolluğu gradyenti araştırılmıştır. İncelenen 15 açık kümenin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) 1m ayna çaplı T100 teleskobuyla, geriye kalan 24 açık kümenin fotometrik verileri de literatürdeki çalışmalardan alınmıştır. Küme üyesi yıldızların seçiminde fotometrik ve astrometrik verilerden faydalanılmış, kümenin astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde küme üyesi yıldızlara ağırlık verilmiştir. Kümelerin renk artıkları ve metal bolluklarının hesaplanmasında bağımsız yöntemler kullanılırken, uzaklık modülü ve yaş tayinleri renk-parlaklık diyagramlarındaki kümeye üyelik olasılıkları yüksek yıldızlara fit edilen PARSEC eş-yaş eğrileriyle yapılmıştır. Küme uzaklıklarının astrometrik veriler ile uyumlu olması bağımsız yöntemler kullanılarak hesaplanan küme parametrelerinin dejenerasyona uğramadığını göstermiştir. Kümelerin F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuyla hesaplanan metal bolluklarıyla Galaksi merkezine uzaklıkları arasında

oluşturulan radyal metal bolluğu gradyent incelemesinde $6 < R_{gc} < 9$ kpc uzaklık aralığında d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.053 ± 0.014 dex/kpc'lik kuvvetli, $9 \leq R_{gc} < 12$ kpc uzaklık aralığında ise d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.018 ± 0.010 dex/kpc'lik zayıf bir gradyent belirlenmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında metal bolluklarında görülen saçılmaların incelenen bazı açık kümelerin basık Galaktik yörüngelerde dolanmalarından kaynaklandığı gösterilmiştir. Galaksimizin ikili çökme senaryosunu içeren modeller ile genç açık küme verilerinin karşılaştırılmasında benzer radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilmesine rağmen, kümelerin metal bolluklarıyla kimyasal evrim modeli arasında metal bolluğu değerlerinde belirgin bir farklılık tespit edilmiştir. Kümelerin metal bolluğu hesaplanmasında kümelere üye farklı ışıma gücündeki yıldızların analiz edilmesi söz konusu farklılığı açıklamaktadır.

Şubat 2020, 296 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi: Oluşum ve Evrim, Galaksi: Disk, Galaksi: Açık kümeler ve Oymaklar, Fotometri: *UBV*

SUMMARY

Ph.D. THESIS

INVESTIGATION OF THE RADIAL METALLICITY GRADIENT IN OUR GALAXY VIA OPEN CLUSTERS

Talar YONTAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

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

In this thesis, the photometric analysis of 39 open clusters which located the opposite direction from the Galaxy center are performed and astrophysical parameters are determined. Taking into account these parameters, the radial metallicity gradient is investigated. The CCD *UBV* photometric observations of 15 open clusters are performed with 1m T100 telescope located in TÜBİTAK National Observatory (TUG), the photometric data of the remaining 24 clusters are taken from studies literature. Photometric and astrometric data are used in selection of cluster member stars. Taking into account the cluster member stars, the astrophysical parameters are determined. The color excesses and metallicities of the clusters are calculated via independent methods, while distance modulus and age are determined simultaneously with PARSEC isochrones which are fitted to the most probable member stars of the clusters on color-magnitude diagrams. The consistence of the cluster distances and astrometric data indicated that there are no degeneragy among the cluster astrophysical parameters calculated via independent methods. In the analysis of the radial metallicity gradient obtained between the

metallicity calculated via photometric metallicity calibration using the most probable F-G type main sequence stars of the clusters and distances from the Galaxy center is determined strong in the distance range of $6 < R_{gc} < 9$ kpc with value of d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.053 ± 0.014 dex/kpc, while it is calculated weak between $9 \leq R_{gc} < 12$ kpc with value of d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.018 ± 0.010 dex/kpc. In the calculation of radial metallicity gradient, it is shown that the scattering in the metallicities are to be due to the fact that some open clusters move in the eccentric Galactic orbits. Altough similar radial metallicity gradients are obtained in comparison between the models that contain the two-infall scenario of our Galaxy and young open clusters, a significant difference is determined between the Galactic chemical evolution model and metallicity values. The analysis of cluster member stars with different luminosities explain the differences in calculating the metallicity of the clusters.

February 2020, 296 pages.

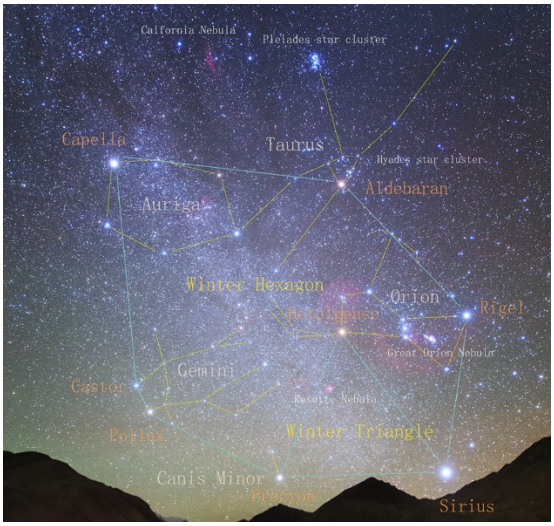
Keywords: Galaxy: Formation and Evolution, Galaxy: Disc, Galaxy: Open Clusters and Associations, Photometry: *UBV*

1. GİRİŞ

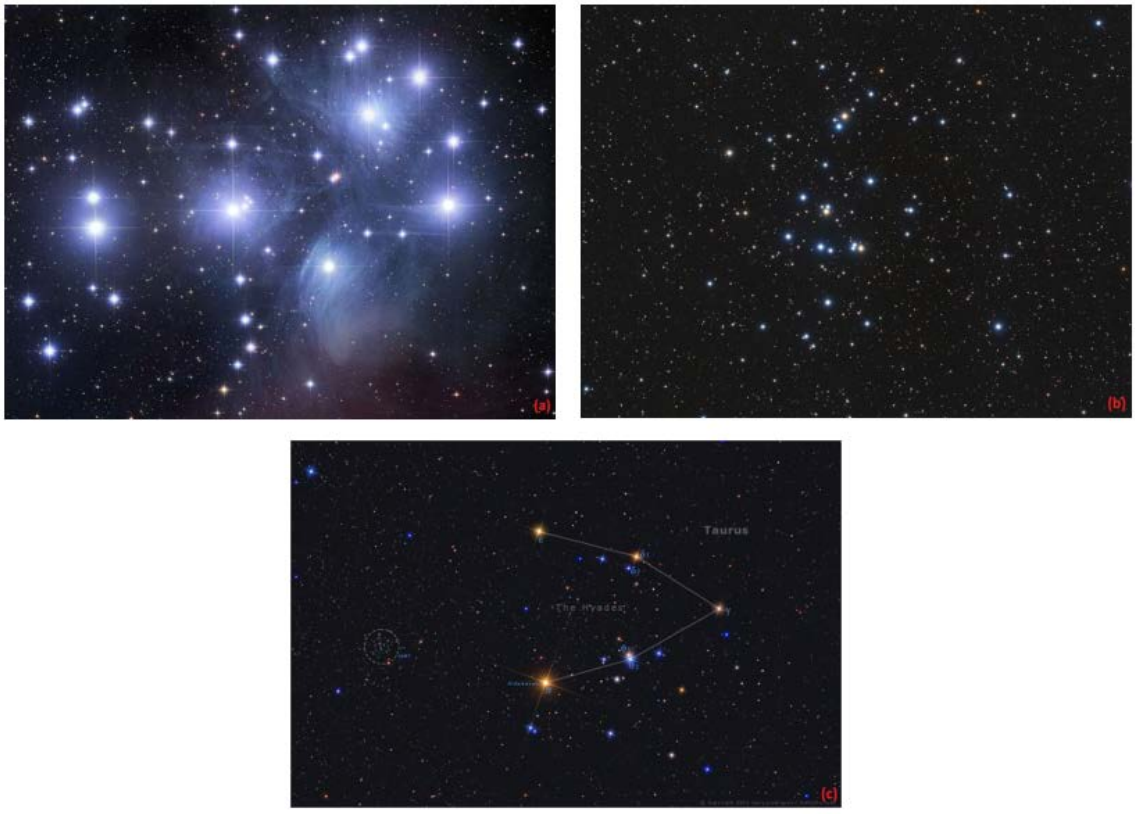
Yıldız kümeleri, yıldızların içyapısı ve evriminin anlaşılmasında kullanılan önemli gök cisimleridir. Farklı kütledeki aynı nesilden yıldızların bir araya gelerek oluşturduğu küme yapılar, yerel ve genel yıldız oluşumundan galaksilerin yapısı ve evrimine kadar birçok problemi aydınlatmaktadır. Samanyolu galaksisindeki yıldız kümelerinin incelenmesi; orta kütleli yıldızların çekirdeklerinde konveksiyon ve radyasyon yoluyla enerji iletiminin ayrıntılarının anlaşılması, yıldızların dinamiğinin duyarlı bir şekilde modellenmesi, Galaktik birleşmelerin kanıtları ve galaksi oluşumlarının teorilerinin açıklanması gibi birçok konuda önemli bilgiler sağlamaktadır.

İnsanlığın aydınlatmayı şehirlerde kullanmaya başlamasından çok önce, atalarımız gökyüzüne bugün olduğumuzdan daha yakındılar. Yıldızlar tarih boyunca tarım ile uğraşanlara, denizde ve karada yol alanlara değerli bilgiler sundular. Karanlık gökyüzünü sistematik olarak inceleyen atalarımız, Samanyolu'nun parlak yıldızlarının gökyüzünde muazzam bir kuşak oluşturduğunu, gezegenlerin takımyıldızlar boyunca eliptik yörüngelerde ilerlediğini ve takımyıldızların mevsimsel konum değişimlerini fark ettiler.

Atalarımız yaptıkları gözlemlerden birçok bilgiye ulaştılar. Özellikle Samanyolu düzlemi boyunca yapılan gözlemlerden Kahraman (Perseus) takımyıldızının kuzey bölgesindeki gibi göze çarpan parlak yapıların, Yengeç takımyıldızındaki Messier 44 (Praesepe) açık yıldız kümesinde olduğu gibi sönük yıldızların, Ülker (Pleiades) ve Öküz (Hyades) takımyıldızında olduğu gibi parlak yıldızların varlığını keşfetmişlerdir (Şekil 1.1). Hyades, Praesepe ve Pleiades'in içerdiği yıldız yoğunluğu ve her bir yıldızın parlaklığı bu gök cisimlerini Güney ve Kuzey yarı kürelerde gökyüzünde belirgin kılarak birçok toplumun yıldızlara ilgi duymasına neden olmuştur (Şekil 1.2). Özellikle Pleiades ve nerdeyse tüm kültürlerin efsanelerine yerleşmiştir. Pleiades'e ait yazılar yaklaşık 4,500 yıl önceki Çin kayıtlarında görülmüştür.



Şekil 1.1: Samanyolu düzlemi boyunca gökyüzünün görünümü[1].



Şekil 1.2: Pleiades (a)[2], Messier 44 (b)[3] ve Hyades (c)[4] açık kümelerinin görüntüleri.

[1] https://apod.nasa.gov/apod/ap170123.html
[2] https://apod.nasa.gov/apod/ap120903.html
[3] https://apod.nasa.gov/apod/ap140222.html
[4] https://apod.nasa.gov/apod/ap121224.html

Batı Roma İmparatorluğu'nun yıkımından yüzyıllar sonra Avrupa kültürü en alt seviyedeyken sanat ve bilim dalları Doğu'da gelişti ve astronomik kaynaklar genellikle Arap edebiyatında yer aldı. Örneğin 13. yüzyılda İran'da Sadi tarafından Pleaiades için yazılan şiirde şu dizelere rastlanmaktadır. "Zemin, renkli emaye ile kaplanmış gibiydi ve Pleiades'in kolyesi ağaçların dallarına asılı duruyordu". Dünya üzerindeki tüm medeniyetlerde Pleiades ile ilgili masallar ve efsaneler yer almıştır. Bu özel gök cismi her zaman kadın olarak ve yedi sayısıyla anılmıştır: bir çok gelenekte halen "kayıp Pleiad" ile ilgili hikayeler bulunmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Alfred Tennyson'un (1809-1892) "Locksley Hall" (1842) kitabında, "Yumuşak gölgede yükselen Pleiad'ler, gümüş bir örgüye dolanmış bir ateş böceği sürüsü gibi parlıyorlar" şeklinde Pleiades gibi bir yıldız kümesi tanımlanmadı.

Teleskop 1609'da Galileo tarafından astronomik amaçla kullanılmaya başladığında yaklaşık dokuz açık kümenin (Pleiades, Hyades, M44, Çift Küme (NGC 869 ve NGC 884), M7, Collinder 69, IC 2391, Collinder 399) varlığı biliniyordu; bunlardan beşi (Pleiades, Hyades, M44, Çift Küme) optik yardım olmaksızın fark edilebilirdi. Galileo, teleskop ile yaptığı gözlemler sonucunda Samanyolu'nu birçok sönük ve parlak yıldız gruplarının bir araya gelerek oluşturduğu bir yapı olarak tanımlamış, bununla birlikte *bulutumsu* yapılardan söz ederek, bunların solgun ışıkla parladığını ve ayrıntılı incelendiğinde yoğun bir yıldız kütlesi içerebileceklerini belirtmiştir.

Teleskobun icadı astronominin gelişimine ivme kazandırarak birçok yeni buluşun yapılmasına olanak tanımıştır. Galileo'nun çalışmalarını takiben, Giovanni Batista Hodierna (1597-1660) birçok bulutsu ve parlak yıldız kümesinin gözlemlerini yaparak bunları bir kitapçıkta toplamıştır. Hodierna, derin gökyüzü cisimleri için bir sınıflandırma sistemi oluşturan ve onları üç sınıfa ayıran ilk kişi olarak bilinmektedir: *Luminosae* (Işıldayanlar), çıplak göz ile görülebilen yıldızları içeren bulutsular; *Nebulosae* (Bulutsular), teleskop ile yıldızları ayırt edilebilen bulutsular ve *Occulatae* (Saklı), teleskopla bile yıldızları ayırt edilemeyen bulutsular (bkz. Archinal ve Hynes, 2003). Hodierna üç farklı nesne grubunu Tablo 1.1'deki gibi sınıflamıştır.

Tablo 1.1: Hodierna'nın nesne sınıflandırması.

Işıldıyanlar	**Bulutsular**	**Saklı**
1) Pleiades	1) Praesepe	1) Coma Berenices takım yıldızından önceki iki güneysel yıldız
2) Hyades	2) M7	2) Andromeda galaksisi
3) Coma yıldız kümesi	3) NGC 869 ve NGC 884	
4) α Per kümesi	4) M6	
5) M42	5) v_1, v_2 Yay takımyıldızı	
6) Collinder 69	6) M8	
7) ξ Sco ve NGC 6231	7) M36 / M37 / M38	
8) Kova takımyıldızında belirsiz nesne	8) Cr 399	
	9) 88 Her	
	10) σ Cap	

Charles Messier (1771) birçok nesnenin gözlemini yaparak ve kendi ismiyle anılan Messier kataloğunu oluşturarak derin gökyüzü cisimlerinin çalışmalarına öncülük etmiştir. Messier, açık küme olarak tanımlanan 30 nesneyi kataloğunda listelemiş ve bunların en az dokuzunu kendisi keşfetmiştir. Messier kataloğunun yayımlanmasından sonra William Herschel, katalogdaki her bir nesneyi geliştirdiği 30 cm ayna çaplı teleskop ile incelemiştir. Daha sonraki araştırmalarında 48 cm çaplı aynalı teleskop ile gece gökyüzünün ayrıntılı gözlemini yapmış ve yaklaşık 2,300 yeni nesne keşfederek bunları yıldız yoğunluğu ve parlaklık gibi kriterler altında incelemiş ve bir sınıflama yapmıştır. Bu sınıflamada nesneler için yapılan tanımlamalar literatürde uzun bir süre kullanılmıştır. Bununla birlikte, William Herschel keşfettiği bulutsu ve kümelerdeki bazı yapısal özelliklerin kökeniyle ilgili yorumlarda da bulunmuştur. Samanyolu

Galaksisi'ni farklı bölgelerde gözleyerek yaptığı ölçümlerin sonucunda yıldız sayısının, çıplak gözle, görünen parlaklığıyla orantılı olarak sürekli arttığı veya azaldığı sonucuna varmıştır. Ayrıca yıldızların farklı büyüklük ve parlaklıklarda olduğunu, hemen hemen tüm uzaya eşit dağıldığını belirtmiş ve yıldız kümeleriyle ilgili tanımlamalarda bulunmuştur. Bu tanımlamalara göre, gökyüzünde bir arada bulunan yıldızlar birbirlerinin çekimsel etkisi altındadır. Aynı zamanda, "düzensiz kümeler" olarak adlandırılan açık kümelerin, belli bir uzaklık içinde bulunan yıldız gruplarının karşılıklı çekim etkilerinin sonucunda bir araya gelerek oluştuklarını belirtmiştir. Herschel, gökyüzünün aynı bölgelerinde keşfedilen farklı yıldız gruplarının büyük ölçekte aynı prensipten, kümelerin birbirine olan çekim etkisinden, kaynaklanabileceğini ileri sürmüştür. Herschel daha sonra yıldızların bulutsudaki maddelerin yoğunlaşmaları sonucu oluştuklarını ve yıldızların oluştuktan sonra bulutsudaki maddeyi soğuracağını belirtmiştir.

William Herschel'i takiben, oğlu John Hershel (1792-1871) babasının deneyimlerinden ve bilgi birikiminden faydalanmış ve 48 cm çaplı aynalı teleskobu Güney Afrika'ya götürerek Güney yarımküreden gökyüzünü ayrıntılı olarak gözlemiştir. Gözlemleri sonucunda bulutsuları, kümeleri ve çift yıldızları keşfetmiş ve bunları yayımlamıştır. John Herschel daha sonra yaptığı gözlemleri analiz ederek ve babasının bulgularını güncelleyerek 1864 yılında 5,079 nesneyi içeren *"A General Catalogue of Nebulae (CN)"* kataloğunu yayınlamıştır. Yalnızca John Herschel değil başka araştırmacılar da gökyüzünü gözleyerek farklı nesneleri keşfetmişlerdir.

İlerleyen yıllarda Dreyer, 1887 yılına kadar keşfedilmiş 7,840 derin uzay nesnesini derleyerek *"A New General Catalogue and Clusters of Stars (NGC)"* adında, bir katalog yayımlamıştır (Dreyer, 1888). Bu genel katalog geliştirilerek 1907 yılına kadar keşfedilen bulutsu ve kümeleri kapsayacak şekilde *"Index Catalogues (IC)"* adı altında toplanmıştır (Dreyer 1895, 1910). Günümüzde, NGC ve IC katalogları, profesyonel ve amatör astronomların önemli katkılarda bulunduğu, derin gökyüzü cisimlerinin incelendiği önemli veri tabanları olup güncelliklerini korumaktadır. Görsel astronominin yerini fotoğrafçılığın almasıyla astronomide kullanılan teknikler gelişmiş, yeni veriler astronomi ve astrofiziğe yön vermiştir. Fotoğraf plaklarının gözlemlerde kullanılmaya başlanmasıyla yeni nesneler keşfedilmiş ve kataloglar güncellenmeye devam etmiştir. Ayrıca, kısa süre içinde gözlem teknikleri ilerlemiş ve astrofizik alanında gelişmeye katkıda bulunmuştur. Bunun bir sonucu olarak da yıldız kümeleriyle ilgili bilimsel çalışmalarda belirgin ilerlemeler kaydedilmiştir.

Açık kümeler söz konusu olduğunda, anlamlı bir sınıflandırma sistemi geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Melotte (1915), fotoğrafik plaklarını kullanarak görünen parlaklıkları 16. ve 17. kadire kadar olan yıldızları gözlemiştir. Böylece gökyüzünde daha dar bir alandaki kümelerin karakteristik görünümünü kaybetmeden incelenmesini sağlamıştır. Melotte'nin çalışması, birçok açık kümenin keşfi ve küme yapılarını dikkate alan bir sınıflamayla sonuçlanmıştır. Melotte'nin sınıflamasına göre kümeler küresel, ayrık, iyi tanımlanamayan ve belirgin olacak şekilde gruplandırılmıştır. Sınıflamada belirsizliklerin fazla olması Melotte'nin yaptığı bu gruplamayı kullanışlı olmaktan uzaklaştırmıştır.

Shapley (1930), Melotte'nin gruplandırmasını takiben küme yoğunluklarına ve yıldız sayılarına bağlı bir sınıflandırma geliştirmiştir. Bu sınıflama sistemi çok sayıda yıldızın bir arada bulunduğu gruplardan küresel kümelere kadar yıldız kümelerinin tamamını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Shapley'in yaptığı bu sınıflandırma, yıldız yoğunluğu ve yıldız grubunun uzaklığı dikkate alınarak yapıldığından tam anlamıyla tamamlanmış değildir. Bu nedenle Shapley, açık kümeleri üye yıldızlarının tayf türlerine ve renklerine göre iki gruba daha ayırmıştır. Bunlar; Pleiades gibi üyelerinin çoğu erken B ve A tayf türünden yıldızlar içeren kümeler ile Hyades türü daha çok geç tayf türünden, kimyasal bolluğu iyi bilinen yıldızları içeren kümelerdir. Shapley tarafından önerilen bu sınıflama Melotte'ninkine göre daha kullanışlıdır.

Shapley'in sınıflaması detaylı bir çalışma olmasına rağmen Trumpler (1930) tarafından geliştirilen küme sınıflaması günümüzde dahi güncelliğini korumaktadır. Trumpler sınıflaması açık kümeleri inceleyen araştırmacılar için önemli bir kaynak olup, açık kümelerin uzaklık, büyüklük ve uzay dağılımlarının anlaşılmasında daha kullanışlı olmuş ve böylece eski sınıflandırmalardaki belirsizlikler ortadan kalkmıştır. Örneğin, Shapley'in belirttiği *dağınık kümelerin* sadece yakınlığından dolayı küme yıldızlarının ayrık göründüğü anlaşılmıştır. Bu tür kümeler diğerleriyle aynı uzaklıkta yer alsaydı daha yoğun görünürdü.

Trumpler (1930) açık kümeler için üç temel özellik tanımlamıştır (Şekil 1.4): (i) Küme yıldızlarının merkezi yoğunlaşma göstermesi ve alan yıldızlarına göre belirginlik derecesi, (ii) kümeye üye yıldızların parlaklık aralığı ve (iii) kümenin yıldız sayısı. Bu üç temel madde dikkate alınıp alt kategoriler oluşturularak sınıflama daha detaylandırılmıştır. Alt kategorilerin oluşturulmasında Latin, Romen rakamları ve küçük harfler kullanılmıştır. Öncelikle kümeler yoğunluklarına göre ayrıştırılmıştır. Buna göre;

I. Alan yıldızlarına göre belirgin, güçlü merkezi yoğunlaşma gösteren kümeler.

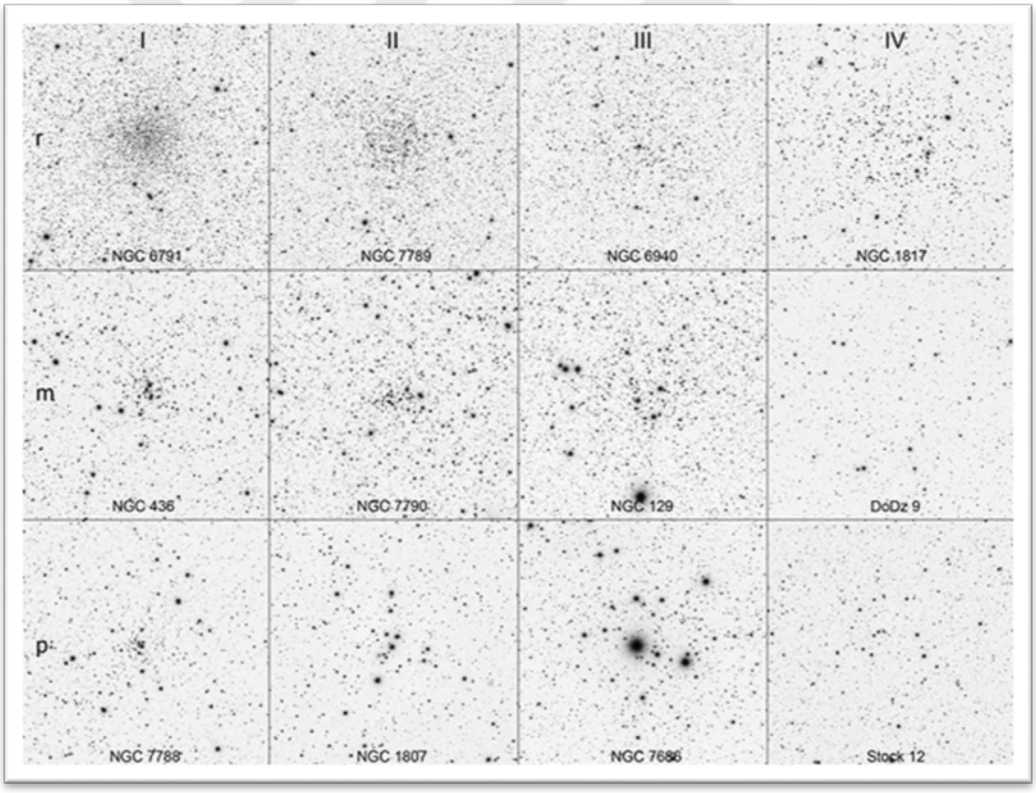
II. Alan yıldızlarına göre belirgin, orta derecede merkezi yoğunlaşma gösteren kümeler.

III. Alan yıldızlarına göre belirgin, belli olmayan merkezi yoğunlaşma, az veya çok sayıda seyrek ve düzenli yıldız dağılımı gösteren kümeler.

IV. Alan yıldızlarına göre belirgin olmayan, alan yıldız yoğunluğuna benzer dağılım gösteren kümeler.

Daha sonra kümeler, olası üye yıldızlarının parlaklık aralığına göre üç gruba ayrılmıştır:

1. Büyük bir bölümü aynı görünen parlaklığa sahip yıldızlardan oluşan kümeler.
2. Orta seviyede parlaklığa sahip yıldızlardan oluşan kümeler.
3. Sönük ve parlak yıldızlardan oluşan kümeler.



Şekil 1.4: Trumpler sınıflamasına göre gruplanmış açık kümeler. Kümeler, sütunlarda (I, II, III ve IV) merkezi yoğunlaşmalarına göre, satırlarda (r, m ve p) yıldız sayılarına göre sınıflandırılmıştır.

Küme sınıflamasında kullanılan üçüncü sistemde, kümedeki yıldızların sayısı dikkate alınmıştır: 50'den daha az sayıda yıldız içeren fakir kümelere *p*, 50 ile 100 arası yıldız içeren kümelere *m* ve 100'den fazla yıldız içeren zengin kümeler için de *r* harfi kullanılmıştır.

20. yüzyılın başlarında kümeler ile ilgili verilen tanımlamalar çok sayıda değişime uğramıştır. Örneğin, daha önce *düzensiz küme* olarak tanımlanan nesneleri *açık küme* olarak tanımlamak daha uygun görülmüştür.

Trumpler (1930) açık kümelerin Galaktik düzleme yakın oluşları, buna karşın küresel kümelerin ise Galaktik düzlemden farklı uzaklıklarda bulunmalarını dikkate alarak açık kümeler için *Galaktik Küme* tanımını literatüre önermiştir. Ayrıca bu cisimlerin tanımlanmasında Galaksiye ait oldukları için *Galaktik*, çekimsel olarak da birbirine zayıf bağlı olduklarından *açık* terimlerini bir arada kullanarak bu tür nesnelere *açık küme* ismini vermiştir.

Trumpler, faydalı bir açık küme sınıflama sistemi oluşturmasının yanı sıra, açık kümelerin özelliklerini inceleyerek Galaksinin yapısını anlamak için çalışmalarda bulunmuştur. Birçok kümede B ve A tayf türünden yıldızlar çoğunlukta olduğundan, Trumpler seçtiği 100 açık kümedeki B ve A tayf türünden yıldızların görünür parlaklıklarını (buradan itibaren mutlak parlaklığını) tayin etmek için bir gözlem programı oluşturmuştur. Bunun sonucunda kümelerin uzaklıklarını hesaplayarak, fotoğraf plaklarındaki görünen boyutlarından gerçek boyutlarını belirlemek için çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı, her bir küme için hesapladığı büyüklük ve uzaklığı karşılaştırdığında, Güneş civarındaki küme boyutlarının en uzaktakilerden daha küçük olduğu sonucuna varmıştır. Fakat küme uzaklığı ve boyutu arasında böyle bir ilişkinin var olması ihtimali düşüktür; incelenen uzaklık aralığında kümelerin büyüklük dağılımının rastgele olması daha muhtemeldir. Uzak kümelerde bulunan yıldızlar, aynı tayf türünden gözlenen bir yıldızınki kadar parlaklığa sahip değildir. Bu durum kümelerin daha uzak bir mesafede gözlenebilmesini sağlayarak olması gerekenden daha büyük boyutlarda görünmesine neden olur. Böylece, Trumpler (1930) yıldızlararası ortamın önemli bir bileşeni olan tozun varlığını göstermiştir. Aynı tayf türünden iki yıldızın uzaklık arttıkça renginin kırmızılaşması başka çalışmalarla da desteklenmiştir.

Trumpler (1930), açık kümelerin Güneş'e göre uzay dağılımını oluşturarak yıldızlararası ortamın kızarma etkisine düzeltmeler yapmıştır. Çalışmaları sonucunda Galaksinin spiral yapısına dair ipuçları bularak bu yapıyı M31 ve M33 gibi spiral galaksiler ile karşılaştırmış ve

spiral yapının bölgesel yoğunlaşmalar barındırdığını, bunun da açık kümelerden kaynaklanabileceğini, ayrıca, birçok spiral galaksinin merkezinde küçük parlak bir çekirdek olduğunu belirtmiştir. Böylece, Carina takımyıldızında parlak ve görkemli NGC 3532 kümesinin açık kümelerin bulunduğu bölgeye yakın olması Galaksimiz için merkezi parlaklığı oluşturabileceği düşüncesini doğurmuştur. Bu, 1 kpc kalınlığında ve 10 kpc çapında düz disk benzeri bir yapının varlığı düşüncesini oluşturmuştur.

NGC ve IC kataloglarının yayımlanmasını takiben yeni açık kümelerin keşfi devam etmiştir, fakat bunlar bir süre için kataloglara eklenmemiştir. Edward Emerson Bernard yeni kümelerin birçoğunu 1927 yılında yayınladığı "*Atlas of Selected Regions of the Milky Way"* başlıklı çalışmasına eklemiştir. Sahpley'in (1930) "*Star Clusters "* başlıklı çalışması dönemin en kullanışlı açık küme listesini içermektedir ve bu içerik Becvar'ın "*Atlas Coeli"*sinde kullanılmıştır. Bu süreci takiben çeşitli araştırmacıların yaptığı gözlemler sonucunda keşfedilen yeni açık kümeler "*Catalogue of Star Clusters and Associations (Alter Catalog*)" (Alter ve diğ., 1958) adlı çalışmada listelenmiştir. Bu katalogda kümelerin konumları, boyutları, uzaklıkları, üyelik olasılıkları, parlaklıkları, tayfsal verileri, kaynakları ve her bir kümeye ait açıklamalar yer almıştır. Yıllar içinde kaydedilen açık küme sayısı 1,017'ye çıkmış, Alter ve diğ.'nin (1958) kataloğu sürekli güncellenmiş ve tekrar yayımlanmıştır (Alter ve diğ. 1970). Katalog en kapsamlı şekilde Ruprecht (1981) tarafından oluşturulmuş ve literatüre kazandırılmıştır.

1981 yılında basılan bir diğer önemli katalog, Göstå Lyngå'nın Lund Gözlemevi'nde derlediği "*Catalogue of Open Cluster Data*" dır. "Lund Kataloğu" olarak da adlandırılan katalog (Lynga 1987), bugün 5. sürümünde, bilgisayarda okunabilir formda ve açık kümeler için birincil veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Lund Kataloğu'nun elektronik okunabilir formatı altı dosyadan oluşmakta ve ana katalog yaklaşık 1,151 kümenin konumunu, Trumpler sınıflamasını, yıldızların kümeye üyelik olasılıklarını, yarıçaplarını, uzaklıklaklırını, kızarmalarını, metal bolluklarını, radyal hızlarını, parlaklıklarını, erken tayf türündeki kümeye üye yıldızın tayf sınıflarını, üye yıldızların parlaklıklarını, kümeye üye sefeid, emisyonlu B (Be) ve Wolf-Rayet (WR) gibi yıldızları ve bazı cisimler için alınan özel notları içermektedir. Katalogdaki diğer dosyalar, kataloglar ve 527 kaynak arasındaki eşleşmeyi içermektedir.

20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde CCD kameraların büyük teleskopların odak düzlemlerinde yer almasıyla birlikte astronomlar daha sönük nesneleri incelemeye fırsat bulmuşlardır. Ayrıca,

bilgisayar teknolojisinin hem yazılım hem de donanım bakımından hızlı gelişmesi küçük teleskoplardan bile kaliteli fotometrik CCD gözlemlerinin yapılmasına fırsat vermiştir. 20. yüzyılın sonlarında CCD yongalarının bir arada kullanılarak mozaik haline getirilmesi, gökyüzü parçalarının daha homojen ve daha hızlı gözlenmesine fırsat vermiş ve astronomi dünyası yeni bir çağa adım atmıştır. Bu hızlı gelişmeden Galaktik kümeler üzerine araştırma yapan bilim insanları da faydalanarak, elektromanyetik tayfın optik ve kızılötesi bölgelerinde sistematik gökyüzü tarama programlarını başlatmışlardır. Bu gökyüzü tarama programlarına örnek olarak Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (SDSS; York ve diğ., 2000) ve yakın kızılötesi bölgede İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması (2MASS; Skrutskie ve diğ., 2006) verilebilir. Yıldızlararası ortam ile iç içe bulunan açık kümelerin optik bölgede gözlenememesi araştırmacıları yakın kızılötesi bölgeye yönlendirmiştir. 2MASS verilerinin Cutri ve diğ. (2003) tarafından literatüre kazandırılmasıyla birlikte yaklaşık 480 milyon nokta kaynağın incelenmesine fırsat verilmiştir. Bu veri salımı sayesinde Galaktik diske gömülü yeni açık kümlerin keşifleri veya aday açık kümelerin sınanması sağlanmıştır. Kümeye üye yıldızlar farklı ışıma gücünde ve farklı tayf türlerinde oldukları için fotometrik gözlemlerde geniş bir görünen parlaklık ve renk indeksi aralığında bulunmaktadır. Gökyüzü tarama programları çoğunlukla geniş bir bilimsel hedef içerecek şekilde tanımlandığından *sığ* ve *derin* olarak tasarlanmaktadır. Bu da bazı durumlarda küme yıldızlarının bir bütün olarak incelenmesine sınırlamalar getirmektedir. Fakat SDSS (Frinchaboy ve diğ., 2010, 2013; Donor ve diğ., 2018) ve *Gaia*-ESO (Gilmore ve diğ., 2012; Jacobson ve diğ., 2016; Magrini ve diğ., 2015) gözlemleri sonucunda açık kümeleri fotometrik ve tayfsal olarak inceleyen çok sayıda çalışma literatüre kazandırılmıştır. 19 Aralık 2013 tarihinde uzaya gönderilen *Gaia* uydusu astronomi dünyasında yeni bir pencere açmıştır. Uydunun 22 aylık gözlemlerinin iki farklı zamanda (Gaia işbirliği, 2016, 2018) astronomların kullanımına sunulmasıyla, nesnelerin yüksek duyarlılıkla ölçülen konum, öz hareket ve trigonometrik paralakslarına ulaşmak mümkün olmuştur. Bu da yıldız evriminden Galaksimizin oluşumu ve evriminin anlaşılmasına kadar kuramsal çalışmaların gözlemsel veriler ile sınanmasına olanak vermiştir.

Açık kümelerin Galaktik düzlemde yer alması kuzey ve güney yarımkürelerden gözlem yapan araştırmacıları kısıtlamaktadır. Örneğin kuzey yarımküreden açık kümeleri gözleyen bir araştırmacı etkin olarak Galaksinin birinci ve ikinci çeyreklerini, güney yarımküreden gözlem yapan bir araştırmacı da etkin olarak Galaksinin üçüncü ve dördüncü çeyreklerindeki açık kümeleri inceleyebilir. Bu da Galaksinin bir bütün olarak incelenmesine kısıtlama getirir.

Ülkemizin Dünya üzerindeki coğrafi konumu dikkate alındığında açık kümeler üzerine yapılacak gözlemsel çalışmalar Galaksimizin birinci ve ikinci çeyreklerinde bulunanlar üzerine olacaktır.

2010 yılında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde 1m ayna çaplı Ritchey-Chrètien türü bir teleskobun (T100) devreye girmesiyle ülkemizde geniş alan çok renk fotometrik gözlemlerin yapılması mümkün olmuştur. Teleskobun odak düzlemine yerleştirilen 4K×4K büyüklüğündeki bir CCD kamerayla Güneş sistemindeki asteroidlerden, geniş alana dağılmış kümelere kadar çeşitli nesnelerin gözlemlerinin yapılması imkanı doğmuştur. İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nde yer alan Galaktik yapı araştırma grubunun T100 teleskobuna verdiği bir dizi gözlem projesi sayesinde farklı poz sürelerinde yapılan gözlemler ile 21 × 21 yay dakikası büyüklüğündeki yıldız alanlarının CCD *UBVRI* gözlemleri sonucunda $8 < V < 21$ kadir aralığındaki nesnelerin duyarlı fotometrik ölçümlerinin yapılabileceği anlaşılmıştır. Gözlemlerde elde edilen başarı bu tez çalışmasının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Johnson – Morgan fotometrik sisteminde *U* bandının önemi büyüktür. Bu band sayesinde yıldızların fotometrik metal bollukları ve yıldızlararası kızarmanın neden olduğu renk artığı duyarlı bir şekilde tayin edilebilir. Bu da literatürde az çalışılmış ve belli bir radyal doğrultuda bulunan açık kümelerin CCD *UBV* gözlemlerinin yapılarak, temel astrofizik parametrelerinin eksikliğinin giderilmesine katkı verecektir. Ayrıca incelenecek kümelerin Galaksi merkezinden uzaklıkları ve fotometrik yöntemler ile hesaplanan metal bolluklarının bir arada incelenmesiyle Galaksi diskinin kimyasal evriminin araştırılması ve mevcut Galaksi oluşum ve evrim modellerinin sınanması açısından önemli olacaktır. Bu da doktora tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

Galaksimizdeki yıldız oluşum bölgelerinde yeni yıldızların çoğunlukla yıldız gruplarında oluştuğu düşünülmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber duyarlı gözlemlerin bir sonucu olarak söz konusu düşüncenin tüm yıldızlar için geçerli olmadığı görülmüştür (Baumgardt ve Kroupa, 2007). Gaz yoğunluğu fazla olan gömülü açık kümeler ile gazı tükenen yaşlı kümelerin gözlemlerinin karşılaştırılmasının sonucunda, küme yapısı gösteren yıldızların %90 oranında birbirlerine çekimsel olarak bağlı bulunmadıkları veya yıldızları oluşturan gazın tükenmesiyle aralarındaki çekim kuvvetinin ortadan kalktığı belirtilmiştir (Carpenter, 2000; Lada ve Lada, 2003). Kümeyi oluşturan gazın iyonize radyasyon tarafından ısıtılması ve yıldızlararası ortama atılması, yıldız rüzgârları veya büyük kütleli yıldızların süpernova patlamaları sonucu oluşan şok dalgaları, düşük yıldız oluşum oranları küme yıldızlarının çekimsel etkileşimini bozmakta ve tüm kümenin ayrışmasına sebep olabilmektedir (Hills, 1980; Bastian, 2011).

Yıldız kümeleri, yıldız oluşum süreçleri, yıldızların evrimi, Galaksimizin oluşumu ve kimyasal evrimi gibi birçok konuda önemli bilgiler elde edilmesinde kullanılan astrofiziksel laboratuvarlardır.

2.1. AÇIK KÜMELER

Açık kümeler Galaksi diskinin özelliklerinin araştırılmasında uzun zamandan beri birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Friel, 1995; Lada ve Lada, 2003). Bu nesneler Galaksimizde geniş bir uzaklık ve yaş aralığında bulunmakta ve her bir açık küme oluştukları bulutun kimyasal kompozisyonunu yansıtmaktadır. Genç kümeler ve yıldız oymakları, Galaksimizin spiral kol yapısının, yıldız oluşum süreçlerinin anlaşılması, küme yıldızlarının ışıma gücü ve kütle fonksiyonlarının incelenmesi gibi birçok konuda kullanılan astrofiziksel araçlardır. Yaşlı açık kümeleri incelemek Galaksi diskinin erken oluşum ve evrim süreçlerinin anlaşılması açısından önemlidir. Bu kümelerde bulunan parlak dev yıldızlar uzak mesafelerden gözlenebildiğinden, geniş bir uzaklık aralığında Galaksi diskinin özelliklerinin araştırılmasında kullanılır.

Literatürde açık kümeler için belirgin bir tanım bulunmamaktadır. Yıldız kümeleri arasında görülen çeşitlilik sayısal çıkarımdan çok nitel tanımlar ile açıklanmaktadır. Galaksimizdeki yıldız kümeleri benzer özellikleri taşıyan bir grup yıldızın oluşturduğu topluluklardır. Bu

gruplar *yıldız oymakları*, *açık kümeler* (OCs) ve *küresel kümeler* (GCs) olarak içerdikleri yıldız türlerinin özelliklerine göre tanımlanırlar (Şekil 2.1a,b). Bununla birlikte, uzak galaksilerdeki kütleli yıldız kümeleri *süper yıldız kümeleri* (SSCs) olarak tanımlanmaktadır. Samanyolu'nda sadece Westerlund 1 SSC olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.1c; Zwart ve diğ., 2010). SSCs'nin dışında yoğun yıldız kütlesinden oluşan kümeler küresel kümeler olarak bilinir.

Teleskobun keşfiyle birlikte gökyüzünün bazı bölgelerinin yıldızların çevrelerine göre belirgin bir yoğunluk gösterdiği anlaşılmış ve bu nesnelerin sınıflanması üzerine çalışmalar yapılmıştır (Trumpler, 1925, 1930; Shapley, 1930). Bu çalışmalar sonucunda, zemin yıldızlarına göre çok yoğun ve küresel yapılar gösteren yıldız grupları *küresel kümeler*, daha az yoğunluk gösteren ve düzensiz gruplar halinde bulunan yıldız grupları da *açık kümeler* olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.2). Trumpler (1925), Galaksimizde bulunan bu yıldız gruplarını *Galaktik kümeler* olarak isimlendirmiştir. Günümüzde, küme olarak sınıflanan yapıların tanımı halen belirsizlikler içermektedir. Özellikle açık ve küresel kümelerin açısal boyut, içerdikleri yıldız yoğunluğu ve yaşları gibi parametrelerin geniş bir aralıkta yer alması, tam olarak bir tanım yapılmasını ve bu nesnelerin kesin ayırımını zorlaştırmaktadır. Friel (1995), açık kümeleri "*birbirlerine çekimsel olarak zayıf bağlı birkaç on veya yüz yıldızın oluşturduğu gevşek yoğunlaşmış ve seyrek popülasyona sahip sistemler*" olarak tanımlamaktadır. Bu sezgisel tanım açık kümelerin genel yapısıyla uyuşmakta, fakat yapılan gözlemler az sayıda yıldız içeren veya büyük ölçüde yoğunlaşmış yıldıza sahip açık kümelerin varlığını da göstermektedir.

Yıldızların çekim kuvvetiyle birbirine bağlı olması gerektiği şartı, küme kütlesi ve kümeye üye yıldızların sayısı için bir sınır belirlediğinden önemlidir. Lada ve Lada'ya (2003) göre, yıldız kümesinin sınıflanmasında, kümeyle fiziksel olarak ilişkilendirilmiş bir tanım kullanılmalı ve kümelerin *gel-git etkilerine karşı kararlı* özellik göstermeleri gerekmektedir.

Genel olarak, bir küme Galaktik gel-git etkilerine karşı koyabilecek yeterli yıldız yoğunluğuna ($\rho_* \geq 0.1\ M_\odot/\mathrm{pc}^3$; Bok, 1934), molekül bulutlarıyla karşılaşmalarında en az etkilenecek yıldız yoğunluğuna ve geçiş yapan yıldızlararası bulutlara karşı ($\rho_* \geq 1\ \mathrm{M}_\odot\ \mathrm{pc}^{-3}$, Spitzer, 1958) denge durumunda kalabilecek yoğunluğa sahip olmalıdır. Bok (1934) ve Spitzer (1958), bir kümenin 10^8 yıl yaşayabilmesi için en az 35 yıldıza sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, 35 yıldızdan daha az üyeye sahip yıldız gruplarının ise *küme oymakları* olarak sınıflandırılabileceklerini, bu sistemlerin kısa zaman ölçeklerinde Galaksi içi dinamiğinden etkilenip dağılabileceklerini belirtmişlerdir. Adams ve Myers (2001) yıldız kümelerini kütle

yoğunluğu 1 $M_{\odot}/pc^3$'ten büyük ve birbirlerine fiziksel bağlı en az 35 yıldız barındıran nesneler olarak tanımlamışlardır. Bu tanım açık kümeleri yıldız oymaklarından ayırmak için geçerlidir.



Şekil 2.1: Galaksimizdeki genç yıldız grupları: (a) yıldız oymakları (üst Akrep, üst Erboğa-Akrep ve alt Erboğa[5]), (b) açık küme (NGC 3603[6]) ve (c) kütleli yıldız kümesi (Westerlund 1[7]).

[5] https://www.yumpu.com/en/document/read/23571022/triggered-star-formation-in-ob-associations-thomas-preibisch
[6] https://apod.nasa.gov/apod/ap161106.html
[7] https://apod.nasa.gov/apod/ap170620.html



Şekil 2.2: Yaklaşık 15,000 yıldızdan oluşan M2 küresel kümesi (sol panel)[8] ve yaklaşık 200 üye yıldızı bulunan NGC 457 açık kümesi (sağ panel)[9].

Yıldız kümelerinin büyük kütleli olduğu durumlarda, açık ve küresel kümeler arasındaki yapısal ayırım henüz belirgin değildir. Terzan 7 gibi düşük kütleli küresel kümeler düzgün küresel bir yapı göstermezken, NGC 6791 gibi kütleli bir açık küme daha küresel bir görüntüye sahip olabilir. Bugüne kadar açık kümeleri, küresel kümelerden tam olarak ayıran yeterli bir tanım yapılamamıştır. Bununla birlikte, açık kümeler Galaksi diskinde, küresel kümeler de çoğunlukla şişkin bölge ve haloda bulunurlar. Açık kümeler, 10 Gyıldan daha yaşlı metalce fakir küresel kümelerden daha genç olup metalce zengin yıldızlardan oluşur. Carretta ve diğ. (2010) açık ve küresel kümeler arasındaki ayırımın yapılmasında yeni bir yaklaşım önermiştir. Araştırmacılar 19 küresel kümede bulunan 1,200'den fazla kırmızı dev yıldızın tayfsal gözlemlerinden kümelerin kimyasal yapısını inceleyerek, yıldızların üye oldukları kümelerde Na ve O element bollukları arasında ters bir uyum tespit etmişlerdir. Bu element bolluklarındaki farklılık ilk nesil orta kütleli asimptotik dev kolu yıldızlar ile ikinci kuşak yıldızların oluştuğu ilkel gaz bulutu arasında geçen fiziksel süreçlerden kaynaklanabilir (Lee, 2010). Carretta ve diğ.'nin (2010) elde ettiği bulgulara göre küresel kümelerde yüksek oranlarda Na bulunduran yıldızlarda O oranları düşüktür. Araştırmacılar, Na ile O element bollukları arasındaki bu ters uyumun küresel kümelerin genel bir özelliği olabileceğini ve homojen olmayan popülasyonlara

[8] https://hwilson.zenfolio.com/globularclusters/h186ba57a#h186ba57a
[9] https://hwilson.zenfolio.com/openclusters/h2bb91bb0#h2bb91bb0

sahip açık kümeler henüz keşfedilmediğinden, Na ve O elementleri arasındaki bu ters uyumunun küresel ve açık kümeler arasındaki ayrımın yapılmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

2.1.1. Açık Küme Verileri

Açık kümeler geçmişten günümüze birçok araştırmacı tarafından fotometrik, astrometrik ve tayfsal yöntemler kullanılarak incelenmektedir. Farklı yöntemler ile incelenen açık küme çalışmaları homojen olmayan verileri içermektedir. Açık kümelerin üç farklı fotometrik gözlem tekniğinden (fotoğrafik, fotoelektrik ve CCD) elde edilen farklı duyarlılıklara sahip verileri bulunmaktadır. Açık kümelerin tayf gözlemlerinde de benzer bir durum söz konusudur. Küme yıldızlarının tayfsal verileri fotoğraf plakları veya CCD kameralar ile elde edilmiştir. Ayrıca tayf gözlemlerindeki element bolluğu tayinlerinde kullanılan çizgilerin sayılarında da zaman içinde ciddi artış olmuştur. Bu da incelenen küme yıldızlarının metal bolluklarını etkilemektedir. Açık küme yıldızlarının astrometrik çalışmaları dikkate alındığında öz hareket ve trigonometrik paralaks verilerinin küme üyeliklerinin ve uzaklık tayinlerinde oldukça önemli olduğu aşikârdır. Astrometrik veriler de zaman içinde yer ve uzay tabanlı olmak üzere tasarlanan gözlem projeleriyle literatüre kazandırılmıştır. Yer tabanlı astrometrik veriler Dünya atmosferinin bozucu etkilerine maruz kaldığı için yay saniyesi hassasiyetinde iken (Gliese ve Jahreiss, 1991), uzay tabanlı astrometrik verilerin hassasiyeti mili veya mikro yay saniyesi mertebesindedir (ESA, 1997; Gaia işbirliği, 2016, 2018). Bununla birlikte, yıldız evrimi üzerine kuramsal olarak çalışan araştırmacılar yıldız içyapı modellerini yeni fiziği içerecek şekilde geliştirmektedirler (Canuto ve Dunovikov, 1997). Bu da farklı zamanlarda açık küme analizi yapan ve eş yaş eğrilerini kullanan araştırmacıların literatüre kazandırdığı küme yaş bilgilerinin homojen olmayan sonuçlar içermesine neden olmaktadır. Son yirmi yıldaki teknolojik gelişmeler doğrultusunda yapılan açık küme gözlemlerindeki hassasiyetin artmasıyla, kümeler yeniden analiz edilerek homojenize veriler literatüre kazandırılmaktadır. Buna rağmen günümüzde homojen olarak analiz edilen açık kümelerin sayısı, hem bu nesnelerin evrimlerinin hem de Galaksinin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılması için halen yeterli değildir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için bazı araştırma grupları literatüre bağımsız yollar ile kazandırılan açık küme verilerini derleyerek büyük veri tabanları oluşturmuşlardır (Dias ve diğ., 2002; Netopil ve diğ., 2015).

Lynga ve Palous (1987) bilinen açık kümelerin tayin edilmiş parametrelerini ilk defa derlemiş ve kapsamlı bir katalog oluşturmuşlardır. Bu çalışmadan sonra teknolojinin ve analiz yöntemlerinin hızlı bir şekilde gelişmesi, elektromanyetik tayfın farklı dalgaboylarında yeni tür gözlemlerin yapılarak yeni açık kümelerin keşfedilmesine ve bu kümelerin tayin edilen astrofizik parametrelerinin literatüre kazandırılmasına katkı sağlamıştır. Günümüzde kümelerin farklı optik bantlarda elde edilmiş astrofizik parametrelerini içeren ve sürekli güncellenen birçok katalog ve veri tabanı bulunmaktadır. Bu veri tabanları ve katalogları açık kümelerin fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerini içermektedir. Söz konusu kataloglara WEBDA[10] (Mermilliod, 1995; Netopil ve diğ., 2012), DAML02[11] (Dias ve diğ., 2002) MWSC[12] (Kharchenko ve diğ., 2013) ve VizieR[13] (Poincot ve diğ., 1998) gibi kapsamlı veri merkezleri sayesinde elektronik olarak ulaşmak mümkündür. Bu merkezlerde farklı türden sorgulamalar ve web ara yüzleri kullanılarak basit analizler yapılabilmektedir.

WEBDA (Web database for Galactic Open Cluster) kataloğunun oluşturulması 1987 yılında İsviçre'deki Lausane Üniversitesinde bir veri merkezinde başlamıştır (Mermilliod, 1996). Birkaç yüz NGC ve IC açık kümesindeki 100,000'den fazla yıldızın verileri WEBDA'da yer almaktadır. Veri merkezindeki verilerin büyük çoğunluğu *UBV* fotometrik sisteminde, fotoğraf plaklarından, fotoelektrik ve CCD gözlemlerinden oluşmaktadır. Veriler nesnelerin farklı isimleri girilerek de başarıyla sorgulanabilmektedir. 200'den fazla açık kümenin haritası taranarak WEBDA üzerine aktarılmıştır. Veri tabanında kümelerin uzaklık, kızarma, yaş, metal bolluğu, öz hareket ve radyal hızları bulunmaktadır. Zaman içinde gelişen web teknolojisinin WEBDA'ya uyarlanmasıyla birlikte temel düzeyde analiz yapabilme yeteneği kazandırılmış ve mevcut veriler üzerinden açık kümelerin farklı eş-yaş eğrileri kullanılarak yaş hesaplamaları yapılabilir hale gelmiştir. Ayrıca güncel çalışmaların veri merkezine aktarılmasıyla küme yıldızlarının farklı fotometrik sistemlerdeki parlaklık ve renk indeksleri, tayf sınıflandırılması, radyal ve dönme hızları, X-ışın akıları, fotometrik, tayfsal ve astrometrik üyelik olasılıkları, özel türden yıldızlar ve kümedeki çift yıldızların yörünge parametreleri yer almaktadır. Günümüzde yeni kümeler keşfedildikçe ve mevcut kümelerin yeni gözlem verileriyle analizleri

[10] https://webda.physics.muni.cz/
[11] https://wilton.unifei.edu.br/ocdb/
[12] https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/all/mwsc.html
[13] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR

yapıldıkça WEBDA Paunzen, Szasz ve Janik tarafından geliştirilmeye devam etmektedir (Netopil ve diğ., 2012).

MWSC, Kharchenko ve diğ. (2013) tarafından derlenen, Galaksimizde bilinen tüm açık küme adaylarını içeren bir katalogdur. Katalogda küme adayı olarak 3,784 kaynak bulunmakta olup, bunların 3,006'sı tanımlanmış Galaktik nesneler, geriye kalanlar ise ya küme olmayan ya da katalogda çakışan nesneler olarak sınıflandırılmıştır. Tanımlanmış nesneler; *açık kümeler, bulutsular, küresel kümeler, kalıntılar, oymaklar* veya *hareketli gruplardır*. Burada *bulutsular* ve *kalıntılar* kümenin bulutsuyla veya küme kalıntısıyla ilgili olup olmadığını belirtir.

Katalogda, Galaktik düzlemden 1 kpc uzaklığa kadar ve yaklaşık 1.6 Gyıldan genç açık kümeler bulunmaktadır. MWSC'de açık kümelerin sınırlı uzaklık ve yaşlarda bulunmalarının nedeni bu bölgedeki yaşlı açık kümelerin henüz keşfedilmemiş veya Galaktik düzlemden 1 kpc ötede yaşlı açık kümelerin bulunması ihtimalidir. Schmeja ve diğ. (2014) henüz keşfedilmemiş açık kümeleri araştırmak için girişimlerde bulunmasına rağmen istenen sonuca ulaşamamıştır. Bununla birlikte, yaşı 1 ile 3.5 Gyıl arasında olan açık kümelerin yükseklik ölçekleri 550 pc'e kadar uzanabilmekte (Moitinho, 2010; Buckner ve Froebrich, 2014) ve gözlem sonuçları dağınık yaşlı kümelerin Galaktik düzlemden 1 kpc uzaklığa kadar alan yıldızlarından ayırt edilemeyeceğini göstermektedir.

Kharchenko ve diğ. (2013) MWSC kataloğunda, her bir açık kümenin kızarma, metal bolluğu, uzaklık, yaş ve açısal yarıçapını geliştirdikleri homojen veri analiz yöntemleriyle tayin etmişlerdir. Bu açıdan MWSC kataloğu, kümelerin astrofizik parametrelerinin homojen bir şekilde elde edildiği ve literatüre sunulduğu en kapsamlı katalogdur. Kharchenko ve diğ. (2013) küme parametrelerini belirlerken, küme doğrultusundaki yıldızların öz hareketlerini PPMXL kataloğundan (Roeser ve diğ., 2010) ve yakın kızılötesi parlaklıklarını da 2MASS (Cutri ve diğ., 2003) kataloğundan alarak verileri homojenize etmiştir. Daha sonra küme analizlerinde küme doğrultusundaki yıldızların renk-parlaklık diyagramlarını oluşturmuş ve Padova eş-yaş eğrilerini (Marigo ve diğ., 2008) yıldızların bu diyagramlar üzerindeki konumlarına göre eşleştirerek kümelerin yaşlarını tayin etmişlerdir. Araştırmacıların izlediği analiz yöntemi küme yıldızlarının üyelik olasılıkları hakkında doğru bilgi içermediğinden, küme doğrultusundaki yıldızlardan itibaren kümeler için hesaplanan temel astrofizik parametreler literatürden önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Bu farklılıklara en iyi örnek olarak Davies ve diğ.'nin (2007) çalışması verilebilir. Davies ve diğ. (2007) Stephenson 2 kümesi için yaşı 12-17 Myıl,

uzaklığını $5.8^{+1.9}_{-0.8}$ kpc tayin ederken, Kharchenko ve diğ. (2013) küme yaşını 1 Myıl, uzaklığı 1.1 kpc vermektedir. Stephanson 2, büyük kütleli, 26 kırmızı süperdev yıldız içeren genç bir açık kümedir. Kharchenko ve diğ. (2013) kümeye üye yıldızları ve kümenin yapısal parametrelerini yeterli duyarlılık ile belirlemediklerinden, oluşturdukları renk-parlaklık diyagramları kümenin özelliklerini doğru yansıtmamış, bu da küme için farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, MWSC kataloğundaki tüm küme adaylarının özellikleri aynı yöntem ile belirlendiğinden, kullanılan örnekte geniş ölçekteki belirsizlikler küme adaylarının özelliklerini etkilememektedir.

2002 yılında literatürdeki açık kümelerin parametrelerini derleyen **D**ias, **A**lessi, **M**oitinho ve **L**epine, DAML02 kataloğunu oluşturmuşlardır (Dias ve diğ., 2002). Katalog WEBDA veri tabanında kayıtlı, bilinen ve aday açık kümelerden oluşmakta, ayrıca literatüre kazandırılan yeni kümelere ait veriler ile güncellenmektedir. DAML02'de yayınlandığı 2002 tarihinden günümüze kadar farklı zamanlarda güncellemeler yapılmıştır. Kataloğun en güncel hali 28 Ocak 2016 tarihinde yayımlanan 3.5 veri sürümüdür. Kataloğun mevcut durumunda optik ve kızılötesi dalgaboyu bölgesinde gözlenmiş 2,167 açık kümenin verileri bulunmaktadır. Bu kümelerden 1,658'inin (%76) uzaklık, yaş ve renk artıkları tayin edilmişken, sadece 202'sinin (%9) metal bolluğu belirlenmiştir. Her bir açık kümenin uzaklık, renk artığı gibi temel parametreleri literatürdeki farklı çalışmalardan derlendiğinden, DAML02 homojen olmayan verilerden oluşmaktadır.

Literatürde Froebrich, Scholz ve Raftery tarafından derlenen bir başka açık küme kataloğu da araştırmacıların soyadlarının ilk harfleriyle isimlendirdikleri ve homojen verileri içeren FSR kataloğudur (Froebrich ve diğ., 2007). 1,788 kaynaktan oluşan FSR kataloğunda literatürde yer almayan 1,021 yeni açık küme, 680 bilinen açık küme ve 87 küresel küme yer almaktadır.

Froebrich ve diğ. (2007) Galaktik düzlemin $|b| \leq 20°$'lik bölgesi için 2MASS nokta kaynak kataloğundaki (Cutri ve diğ., 2003) yıldız yoğunluk değerlerini inceledikleri nesnelerin zemin yoğunluklarıyla karşılaştırmış ve katalogdaki nesnelerin listesini oluşturmuşlardır. FSR kataloğunda açık küme adayı olarak gösterilen az sayıda nesnenin ayrıntılı incelemesi yapılmıştır (Bonatto ve Bica, 2007; Bica ve diğ., 2008; Froebrich ve diğ., 2010; Camargo ve diğ., 2009; 2012, 2013). Katalogdaki çok sayıda aday ve bilinen nesnelerin tayfsal ve astrometrik verileri eksiktir, bu da küme parametrelerinin duyarlı ve homojen bir şekilde elde edilip literatüre kazandırılmasını zorlaştırmıştır.

Açık kümeler hakkındaki bilgiler, farklı kaynaklardan alınan fotometrik verilerin bir arada kullanılmasıyla elde edilmektedir (Bologna Open Clusters Chemical Evolution Project (BOCCE), Bragaglia ve Tosi (2006); the WIYN Open Cluster Study, Anthony-Twarog ve diğ., (2016); the Open Cluster Chemical Abundances from Spanish Observatories Program, Casamiquela ve diğ., (2016)). Seçilmiş açık kümeleri programları dâhilinde inceleyen projeler dışında gökyüzü tarama programlarından elde edilmiş fotometrik ve astrometrik veriler de literatürde yer almaktadır. Bu tarama programları içinde tüm gökyüzünü yakın kızılötesi bölgede inceleyen 2MASS'de (Skrutskie ve diğ., 2006), yıldızlararası ortamın yoğun bulunduğu Galaksi diskinin araştırılması ön planda tutulmuştur. Tüm gökyüzünü astrometrik açıdan inceleyen tarama programlarına bakıldığında, nesnelerin öz hareket verilerinin *Tycho-2* (Hog ve diğ. 2000), PPMXL (Roeser ve diğ., 2010) ve UCAC4 (Zacharias ve diğ., 2013) gibi kataloglardan, trigonometrik paralakslarının da *Hipparcos* (ESA, 1997; Perryman ve diğ., 1997; van Leeuwen, 2007) uydu verilerinden sağlandığı görülmektedir. Sampedro ve diğ., (2017) UCAC4 kataloğundaki öz hareket verilerinden itibaren 1,876 açık kümede, yıldızların kümeye üyelik olasılıklarını hesaplamıştır. Günümüzde sürmekte olan Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) *Gaia* uydusu (Perryman ve diğ., 2001; Gaia işbirliği, 2016), tüm gökyüzü taramasını içeren, nesnelerin yüksek duyarlılıkta astrometrik, fotometrik ve tayfsal gözlemleriyle tamamlayıcı verilere duyulan ihtiyacı ortadan kaldıracaktır.

2.1.2. Açık Kümelerin Galaksi'deki Konumları

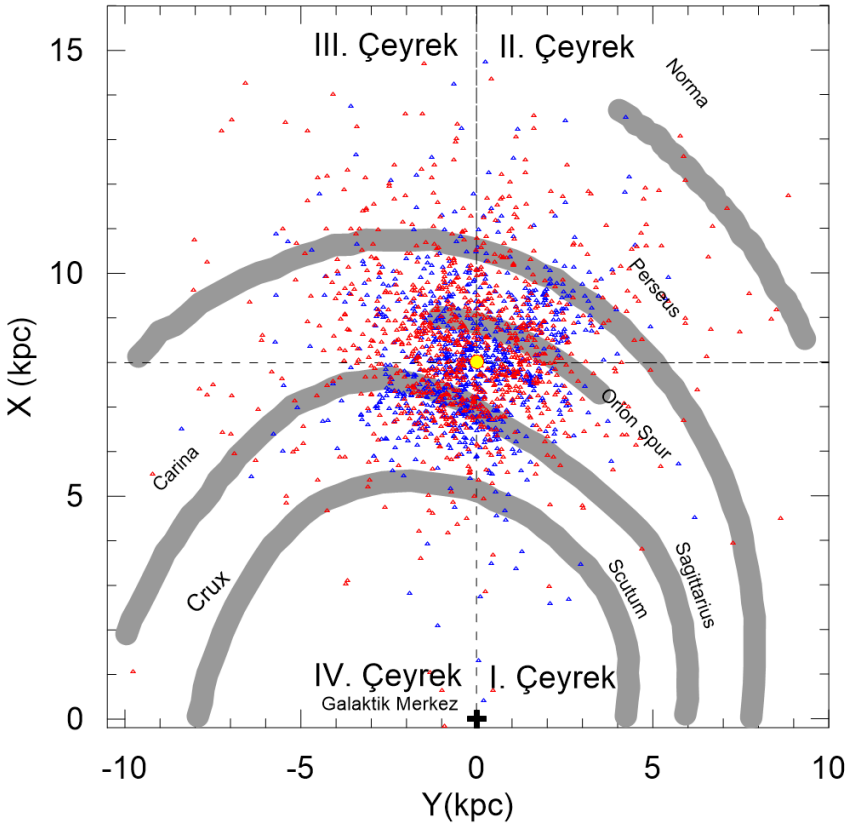
Van den Bergh'in (1958) çalışmasından beri genç ve yaşlı açık kümelerin Galaksi'nin farklı bölgelerinde bulunduğu bilinmektedir. Yaşı 200 Myıldan genç açık kümeler düşük Galaktik enlemlerde ve Galaksi diskinin iç kısımlarında yer alırken, yaşlı açık kümeler ise daha büyük Galaktik enlemlerde ve Galaksi diskinin dış bölgelerinde bulunurlar (Bonatto ve diğ., 2006; Buckner ve Froebrich, 2013). Galaksi merkezi doğrultusunda ve düşük Galaktik enlemlerdeki yıldız yoğunluklarının ve yıldızların spiral kollar ile etkileşimlerinin artması, bu bölgelerdeki açık kümelerin dinamiğini etkileyerek yörüngelerinde önemli ölçüde değişime ve yıldızlarını hızlı bir şekilde kaybetmelerine, bunun sonucu olarak da kısa zaman ölçeklerinde dağılmalarına sebep olmaktadır. Galaksi merkezinden uzak ve yüksek enlemlerde dinamik etkileşimler azaldığından, bu bölgelerde bulunan açık kümelerin yörüngeleri daha az bozulmaya uğrar, böylece uzun zaman ölçeklerinde yıldızlarını kaybetmeden yapılarını korurlar. Roskar ve diğ. (2012) Galaksi dinamiğinin bir sonucu olarak açık kümelerin Galaksideki dağılımlarının yaşlara göre farklılık gösterdiğini iddia etmektedir.

Genç açık kümelerin uzaysal dağılımı, yükseklik ölçeği 50 ile 100 pc aralığında değişim gösteren ve Galaksi diski boyunca yayılan gaz dağılımıyla uyumludurlar. Galaksinin çekim potansiyelindeki düzensizlikler kümelerin rastgele hareketini arttırarak, bu nesnelerin yaşamları boyunca Galaktik düzlemden daha büyük uzaklıklara taşınmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da yaşlı açık kümelerin yükseklik ölçeği genç olanlardan daha büyük olmaktadır. Buckner ve Froebrich (2014), MWSC, DAML02, WEBDA ve FSR kataloglarında bulunan açık küme örneklerini kullanarak, kümelerin yükseklik ölçeğinin, alan yıldızlarından farklı olarak, küme yaşlarıyla doğrusal olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Buna göre, açık kümelerin 1 Myıl yaşına kadar açık kümeler için yükseklik ölçekleri 40 pc, 1 Gyıla kadar 75 pc ve 1 ile 3.5 Gyıl aralığındaki açık kümeler için yükseklik ölçekleri de 550 pc'e ulaşmaktadır. Günümüzde, Galaksi merkezine zıt doğrultuda gözlenen yaşlı açık kümelerin Galaktik düzlemden büyük uzaklıklarda bulunmaları Galaksi içi etkileşimlerin bir sonucu olarak zaman içinde artan yükseklik ölçekleriyle açıklanabilir. Araştırmacılar, farklı yaşlarda ve Galaksi merkezine göre farklı uzaklıklarda bulunan açık kümelerin bir araya getirilerek, sayısal benzetim yöntemleri kullanılmak suretiyle, yükseklik ölçeklerindeki artışın daha kolay anlaşılabileceğini belirtmişlerdir. Sayısal benzetimler yaşlı açık kümelerin zaman içinde daha fazla dinamik evrim süreçlerine maruz kaldığını, bu nedenle Galaktik yörünge parametrelerinde belirgin değişimlerin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yaşlı açık kümelerin Galaktik düzlemden büyük uzaklıklarda bulunmaları, yıldızlararası molekül bulutlarıyla karşılaşmaları sonucunda oluşabilecek bozucu etkilerden korunarak dağılmalarını önlemekte ve uzun zaman ölçeklerinde varlıklarını sürdüröelerine sebep olmaktadır. Genç açık kümeler, yeni oluştuklarından daha az dinamik evrim süreçlerine maruz kalırlar ve yörünge parametrelerini değiştirmeden doğdukları bölgelerde kalırlar. Samanyolu'nda yıldız oluşumu yoğun olarak spiral kollarda gerçekleştiğinden (Roberts, 1969; Martinez-Garcia ve Puerari, 2014), halen doğdukları bölgelerde bulunan genç yıldızlar da, açık kümelerde olduğu gibi, spiral yapıyı temsil eder. 10 Myıldan genç açık kümeler spiral kollarda bulunurken, yaşlı açık kümeler doğdukları bölgelerden ayrılırlar ve özgün uzaysal dağılımlarını kaybederler (Dias ve Lepine, 2005).

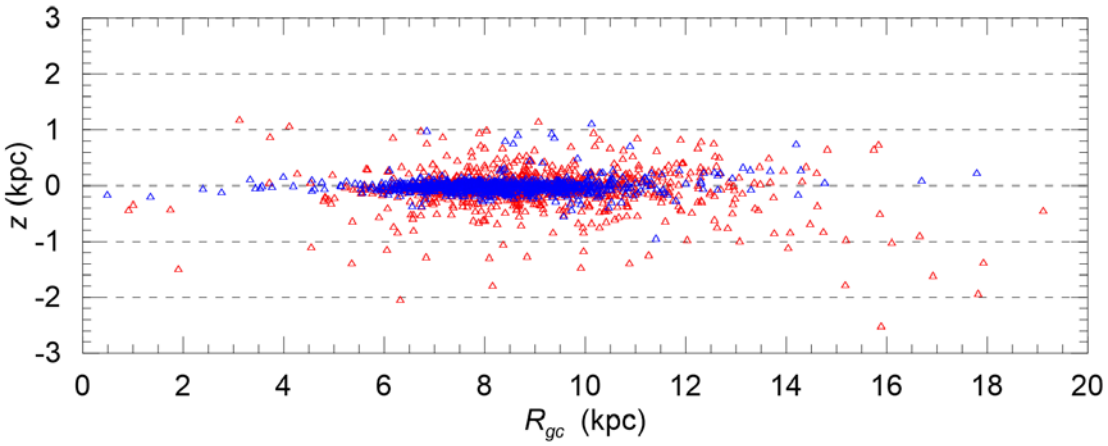
Bugüne kadar Güneş'ten 1.8 kpc uzaklığa kadar tüm açık kümelerin keşfedilmiş ve kataloglanmış oldukları öne sürülmüş olmasına rağmen (Kharchenko ve diğ., 2013; Joshi ve diğ., 2016; Yen ve diğ., 2018), Moitinho (2010) ve Piskunov ve diğ. (2018) Güneş civarında özellikle yaşlı açık kümelerin de bulunabileceğini ileri sürmektedirler. Röser ve diğ. (2016) ve Castro-Ginard ve diğ. (2018), son zamanlarda yapılan gözlemler sonucunda, merkezi

yoğunlaşması olmayan ve geniş görünür çaplı açık kümelerin astrometrik yöntemler ile ortaya çıkartılabileceğini göstermişlerdir.

Açık kümelerin Galaksimizdeki dağılımı henüz keşfedilmemiş kümeler olduğundan görecelidir. Yoğun bir bölgede genç açık kümelerin parlak mavi yıldızlarını tespit etmek, çoğunlukla yaşlı kümelerde bulunan sönük ve kırmızı yıldızları tespit etmekten daha kolaydır. Bununla birlikte, iç bölgelerdeki yoğun yıldız alanları kümelerin uzun süre yaşamalarını engellemekte, bu da fiziksel seçim etkisine sebep olmaktadır. Galaktik açık kümelerin uzay dağılımları DAML02 kataloğunda yaşları ve uzaklıkları bilinen 2,013 küme dikkate alınarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Ayrıca, uzay dağılımları küme yaşlarının bir fonksiyonu olarak da incelenmiştir. Kümeler 1 Myıl ile 10 Gyıl yaş aralığında olup, medyan yaş değeri yaklaşık 300 Myıldır. DAML02'de bulunan açık kümeler 300 Myıldan genç ve yaşlı olarak iki gruba ayrılarak Galaktik düzlem üzerinde incelendiğinde, genç (mavi içi boş üçgen) ve yaşlı (kırmızı içi boş üçgen) grubun Galaksi merkezinden 15 kpc uzaklığa kadar bulunduğu görülmektedir (Şekil 2.3). Galaksimizdeki yıldızlararası ortamın Galaksi merkezine doğru yoğunlaşması yüksek kızarmaya sebep olduğundan optik bantlarda duyarlı gözlem yapılmasını ve bu bölgede var olan yaşlı açık kümelerin tespitini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle açık kümeler ancak Güneş'ten 3 kpc uzaklığa kadar yoğun bir şekilde görülmektedir. Şekil 2.3'te de görüleceği gibi genç açık kümelerin dağılımının yaşlara göre saçılması daha küçüktür. Bununla birlikte Güneş çemberinin ötesinde Galaksi merkezinden uzaklaştıkça genç kümelerin sayıları yaşlı olanlara göre azalmaktadır. Aynı örneğin Galaksi merkezinden radyal (R_{gc}) ve Galaktik düzlemden dik uzaklıklarına (z) göre dağılımları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Genç popülasyonun Güneş çemberi içinde yaklaşık $z = 250$ pc'e kadar yer aldığı, Güneş çemberinin ötesinde ise kümelerin yaklaşık $z = 250$ pc'in ötesinde bulundukları tespit edilmiştir. Benzer olarak yaşlı küme popülasyonunun genç popülasyona göre Galaktik düzlem etrafında daha fazla saçıldığı görülmektedir. Ayrıca, Galaksi merkezinden 14 kpc uzaklığın ötesinde bulunan yaşlı açık kümelerin Galaktik düzlemden 2 kpc'ten daha büyük uzaklıklarda güney Galaktik yarı küreye doğru yönelim gösterdikleri dikkat çekmektedir. Bu da Galaksi diskinde açık kümelerden itibaren belirlenen burulmayı göstermekte olup, benzer bir dağılım *Gaia* DR2 kataloğunda bulunan sefeidlerin uzay dağılımlarıyla da ortaya konmuştur (Chen ve diğ., 2019).



Şekil 2.3: DAML02 kataloğunda yaşı ve uzaklığı bilinen 2,013 açık kümenin Galaktik düzlem üzerindeki konumları. Mavi üçgenler 300 Myıldan genç, kırmızı üçgenler de 300 Myıldan yaşlı açık kümeleri göstermektedir. Şekilde bilinen spiral kollar gri renk, Güneş'in konumu ise Galaktik merkezden 8 kpc uzaklıkta sarı daire sembolüyle gösterilmiştir. Apsis ve ordinat eksenleri, sırasıyla, Güneş'e göre hesaplanan *Y* ve *X* Kartezyen koordinatlardaki uzaklıkları göstermektedir.



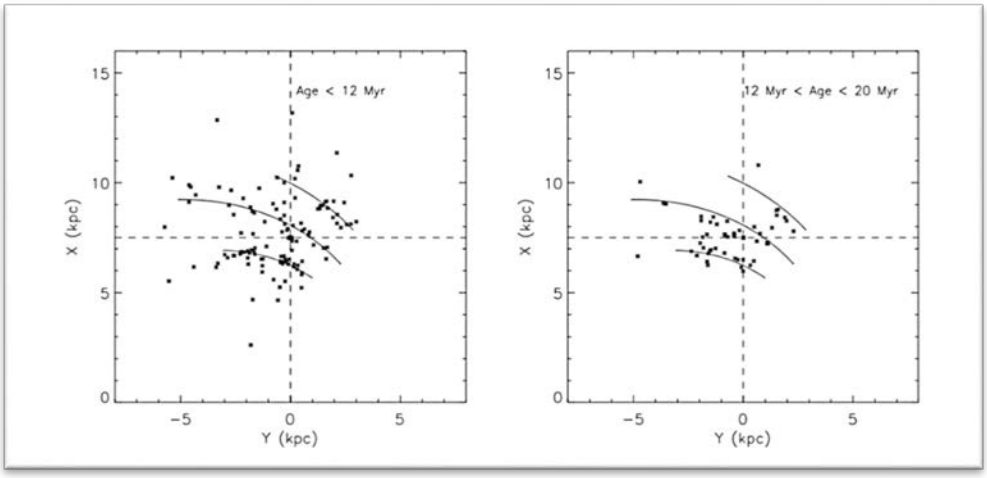
Şekil 2.4: DAML02 kataloğunda yaşı ve uzaklığı bilinen 2013 açık kümenin Galaktik düzleme dik doğrultudaki kesiti. Mavi üçgenler 300 Myıldan genç, kırmızı üçgenler de 300 Myıldan yaşlı açık kümeleri göstermektedir.

Kızılötesi bölgede 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006) ve VVV (The VISTA Variables in The Via Lactea; Minniti ve diğ., 2010) gibi geniş gökyüzü taramaları, optik bölgede olduğundan daha etkili gözlemlerin yapılmasına ve Galaksi merkezi yönünde, molekül bulutlarına gömülü, yüksek kızarmadan dolayı optik bölgede gözlenemeyen yeni kümelerin keşfedilmesine olanak vermektedir (Bica ve diğ., 2003; Froebrich ve diğ., 2007; Borissova ve diğ., 2011; Schmeja ve diğ., 2014; Barba ve diğ., 2015). *Gaia* uydusunun elektromanyetik tayfın optik bölgesinde (3,000 – 10,000 Å) yüksek duyarlılıklı öz hareket ve trigonometrik paralaks ölçümleri, yoğun yıldız alanlarında kümelenmiş yıldızlar ile alan yıldızları arasındaki ayırımın astrometrik uzayda hassas bir şekilde yapılmasına fırsat vermiş ve yeni açık kümelerin keşfedilmesini sağlamıştır (Ryu ve Lee, 2018; Cantat-Gaudin ve diğ., 2018; Castro-Ginard ve diğ., 2018; Torrealba ve diğ., 2019).

Galaksilerdeki yıldız oluşum bölgelerinin Galaksi diskindeki çekimsel kararsızlıklardan meydana geldiği bilinmektedir (Elmegreen, 2011). Moleküler gaz spiral yoğunluk dalgaları tarafından sıkıştırılır. Spiral kollarda çekimsel kararsızlıklar ve bulut-bulut karşılaşmaları moleküler bulut oluşumunu kollar arası bölgelere kıyasla daha etkili bir şekilde tetikler, bunun sonucu olarak da birim alandaki yıldız oluşum oranı spiral kollarda daha fazladır. Genç açık kümeler doğdukları bulutun özelliklerini yansıttıklarından (Lada ve Lada, 2003; Elmegreen 2011; Bastian, 2011) Galaksimizin spiral yapısının anlaşılmasında önemlidirler. Gutermuth ve diğ. (2008) DAML02'deki açık küme verilerini yaşın bir fonksiyonu olarak uzay dağılımlarına göre oluşturmuştur (Şekil 2.5). Araştırmacılar genç açık kümeleri 12 Myıldan küçük ve 12 ile 20 Myıl aralığındaki yaşlara ayırdıklarında, genç grubun spiral kolların yapısını daha iyi temsil ettiğini, yaşlı grubun ise Galaksideki etkileşimlerinden dolayı doğdukları bölgelerden ayrılarak spiral kol yapısını iyi temsil etmediklerini ve kollar arasına saçıldıklarını göstermişlerdir.

2.1.3. Açık Kümelerin Dinamik Evrimi

Açık kümelerin yapısal parametreleri ve iç dinamik özellikleri üzerine yapılan gözlemlere dayalı çalışmalar, literatürde küresel kümeler üzerine yapılanlar kadar hassasiyete ulaşamamıştır. Açık küme doğrultusundaki alan yıldızı kirlenmesi ve Galaksi diskindeki çekimsel potansiyel etkileri, Galaksi düzleminden çok uzakta bulunan küresel kümelerdekinden fazladır, bu nedenle küresel küme yıldızlarının dinamik özellikleri daha duyarlı ölçülebilmektedir.



Şekil 2.5: Güneş civarındaki açık kümelerin küme yaşlarına göre uzay dağılımları gösterilmiştir. Sol panelde yaşı 12 Myıldan genç, sağ panelde de yaşı $12 < t < 20$ Myıl arasındaki açık kümeler gösterilmiştir. Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı 7.5 kpc kabul edilmiştir. Veriler Dias ve Lepine'den (2005) alınmıştır.

Gözlemsel ve teorik çalışmalar, yaşı en az 1 Gyıl olan açık kümelerin doğumlarından itibaren belirgin bir dinamik evrim süreci geçirdiğini ortaya koymaktadır (Lada ve Lada, 2003; Bastian, 2011). King (1962; 1966) çalışmasında, açık kümelerin gel-git kuvvetleri tarafından şekli değiştirilmiş eş-ısısal küreler için beklenen yüzey yoğunluğunu verdiğini göstermiştir. Kharchenko ve diğ. (2013) tipik bir açık kümenin kor yarıçapının yaklaşık 1-2 pc, gel-git yarıçapının 10-25 pc olduğunu açıklamışlardır.

Kümelerde görülen *ayrılma* ve *buharlaşma* modeller tarafından üretilen farklı iki dinamik mekanizmadır. Gevşemeden sonra kümenin kütleli yıldızları daha düşük yörüngelere geçerek kümenin merkeze yakın bölgelerinde yoğunlaşırken, küçük kütleli yıldızları kümenin kaçış hızından daha büyük hızlara sahip olurlar ve kümeden ayrılırlar. Bu da kümede sayıca fazla olan küçük kütleli yıldızların azalarak ışıma gücü fonksiyonunun daha düz bir yapıya ulaşmasına neden olur. Bu düşüncenin kanıtları ancak yaşlı açık kümelerin iç bölgelerindeki ışıma gücü fonksiyonu incelenerek anlaşılabilir.

Açık kümeler, Galaksideki gel-git kuvvetleri ve yıldızlararası kütleli molekül bulutu karşılaşmalarının bozucu etkilerine maruz kalarak dinamik evrim süreçlerinde değişim gösterirler. Samanyolu içindeki birçok karşılaşma kümelerin 10^8-10^9 yıl içinde, küme yıldızlarının kütle dağılımı ve yoğunluklarına bağlı olarak, dağılmalarına sebep olabilir. Bugün

gözlenen yaşlı açık kümelerin yapısal ve yörünge özellikleri (yoğunluk, kütle gibi) dikkate alındığında, yaşlı kümelerin bozucu dev molekül bulutlarıyla karşılaşmalardan kurtuldukları söylenebilir. Bununla birlikte, dinamik bozulma sonucu kümede kalan *açık küme artıkları*, açık kümelerin evrimi ve dağılmasıyla ilgili durumların anlaşılmasında temel oluşturabilirler. *Açık küme artıkları* yaşlı açık kümelerden kalan yıldızlar olarak tanımlanabilir ve Galaksi diskindeki yaşlı açık kümelerin oluşumu ve erken evrimi hakkındaki bilgilerin elde edilmesinde kullanılabilirler (Carraro ve diğ., 1999).

2.1.4. Açık Kümelerin Oluşumu ve Evrimi

Açık kümeler Galaksi yapısının ortaya konmasında incelenen ideal gök cisimleri olmalarının yanı sıra, yıldız evriminin anlaşılmasında da kullanılırlar. Açık kümeler aynı molekül bulutunun tek bir evrede çökmesi sonucunda oluştuklarından, kümeyi oluşturan yıldızların kimyasal kompozisyonları Güneş'e uzaklıkları ve yaşları aynıdır, bununla birlikte küme içindeki yıldızların kütleleri birbirinden farklıdır. Bu özellikleri açık kümeleri yıldız oluşum ve evriminin anlaşılmasında kullanılan ideal gök cisimleri yapar. Samanyolu'ndaki yıldızların çoğu yıldız alanlarında gözlenmesine rağmen, yıldızların büyük bir bölümünün gruplar halinde doğduğu, zayıf çekimsel kuvvetler ile birbirlerine bağlı bulundukları ve kısa bir süre de olsa oluştukları molekül bulutunda kaldıkları iddia edilmektedir (Clarke ve diğ., 2000; Lada ve Lada, 2003; Zwart ve diğ., 2010). Bu tür sistemlerin birçoğu doğdukları bulutlar ile çevrelenmiş olup *gömülü kümeler* olarak tanımlanır (Bastian, 2011). *Gömülü kümeler*, oluştukları ilk birkaç milyon yıllık sürede sistem içindeki yıldız geri-beslenmesinden (Moeckel ve Bate, 2010; Brinkmann ve diğ., 2017) kaynaklanan gaz kaybı veya sistemin Galaksi içi molekül bulutlarıyla karşılaşmaları (Gieles ve diğ., 2006) sonucunda dağılacaktır. Galaksi'deki bozucu etkilerden kurtulabilen sistemler doğdukları molekül bulutuna bağlı kalacak, yıldızları uzun zaman bir arada bulunacak ve zaman içinde açık kümeyi oluşturacaktır. Örneğin NGC 1333 kümesinin yıldız dağılımını inceleyen Gutermuth ve diğ. (2008), genç yıldızların belli bir merkezi yoğunlaşma göstermeyen, daha çok oluştukları molekül bulutunun hiyerarşik yapısını temsil eden ipliksi sistemler olarak doğduklarını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, böyle bir ortamda oluşan yıldızların birbirine çekim etkisi uygulayarak yıldız sistemlerini oluşturabilecekleri gibi, yıldızların dağılma ihtimalinin de bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Bir yıldız oluşum bölgesi, küme oluşumunun erken evresinde sadece yıldızlardan ve gazdan meydana gelir. Yıldız ile gaz viryel dengedeyse, gazın ortamdan atılması sistemin süperviryel

duruma geçmesine neden olur: Küme yeni bir dengeye gelmek için genişler. Bu aşamada, yıldız oluşumunun başlangıç sürecinde büyük miktarlarda yıldız kütlesi kaybedilebilir. Bir molekül bulutu yıldız kümesi oluşturmak üzere çöktüğünde gazın yaklaşık %30 – 60'ı yıldız oluşturabilir (Lada ve Lada, 2003). Bastian ve Goodvin (2006) yıldız oluşum etkinliğinin %30'dan az olduğu durumda, başlangıçtaki gaz yapının sistemden kaybedilmesiyle kümelenmenin bozulacağını belirtmişlerdir.

2.2. GALAKSİ DİSKİNİN YAPISININ AÇIK KÜMELER İLE ARAŞTIRILMASI

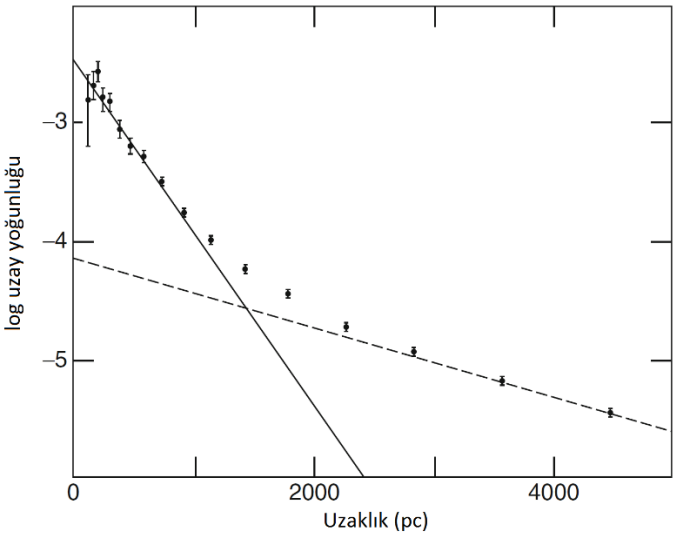
Kuzey enlemlerde yaz aylarında gece gökyüzüne bakıldığında boydan boya parlak, yay gibi görünen yapı Samanyolu olarak bilinmektedir. Yay biçimindeki yapı tüm yönlerde aynı parlaklıkta görüldüğünden, gökyüzüne bakan biri için Galaksinin merkezinde yer alıyormuş hissini vermektedir. Shapley'den (1918) beri Güneş'in Galaksi diskinin yaklaşık yarı uzaklığında olduğu biliniyordu. *Gaia* uydu verileri Güneş'in uzaklığının yarıçapı 15 kpc olan Galaksi diski içinde Galaksi merkezinden yaklaşık 7.9±0.3 kpc olduğunu göstermektedir (Hunt ve diğ., 2016). Güneş'in Galaktik düzlemden yüksekliği de $z_{\odot}$ = 27 pc olarak verilmektedir (Chen ve diğ., 2001).

Samanyolu'nda disk yapısının dışında, Galaksi merkezinden 3 kpc (Launhardt ve diğ., 2002) uzaklığa kadar uzanan ve diskten daha kalın bir yapıda olan *şişkin bölge* bulunmaktadır. Şişkin bölgenin basık olduğu, çubuk ile birlikte oluştuğu veya daha karmaşık bir yapıda olduğu önerilmektedir (Gilmore, 2005). Bununla birlikte Samanyolu merkezden dışarı doğru yaklaşık 200 pc'e kadar uzanan küresel bir şişkin bölgeyle çevrilidir (Zaritsky, 1999).

Disk ve şişkin bölge/çubuk yapıları Galaksimizi oluşturan temel bileşenlerdir. Galaksi diski yaklaşık 5×10^{10} $M_{\odot}$ yıldız barındırır ki bu da Galaksi de görünen yıldızların 1×10^{11} $M_{\odot}$'lik kütlesini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yıldızlararası ortamın büyük bölümü Galaksi diskinde toplanmıştır.

Galaksi diski için yıldız yoğunluk profilleri diski meydana getiren ince ve kalın disk bileşenlerini içeren eksponansiyel bir bağıntıyla modellenebilir (Bilir ve diğ., 2008). Samanyolu diski Gilmore ve Reid (1983) tarafından, ilk kez, ince ve kalın disk bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir. Gilmore ve Reid (1983), güney Galaktik kutup doğrultusunda 18.24 derece kare büyüklüğündeki bir yıldız alanını *V* ve *I* filtrelerinde *I* = 18 kadir limit parlaklığına kadar incelemişlerdir. Yıldız alanında mutlak parlaklıkları $4 < M_V < 5$ kadir aralığındaki anakol

yıldızlarının yoğunluk profillerini disk ve halo popülasyonlarını içerecek şekilde modellemeye çalışmış, ancak istenen sonuca ulaşamamışlardır. Fakat modellerindeki disk yapısını *ince* ve *kalın* disk olarak öneren Gilmore ve Reid (1983), gözlemsel yoğunluk profillerini üç bileşenli bir Galaksi modeliyle tanımlamışlardır. Gilmore ve Reid (1983) tarafından incelenen SA 141 yıldız alanında uzay yoğunluklarının ince ve kalın disk bileşenleri dikkate alınarak modellenmesi Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Bu çalışmadan sonra Galaksimizde bir kalın diskin varlığı kabul edilmiştir. Fakat Gilmore ve Reid'ın (1983) çalışmasından önce Samanyolu'nun dışında yandan görülen spiral galaksileri inceleyen Burstein (1979) ve Tsikoudi (1979) bu tür galaksilerde kalın diskin varlığını göstermişlerdi.



Şekil 2.6: SA 141 yıldız alanı doğrultusundaki yıldız yoğunluk profillerinin iki farklı disk bileşeni için modellenmesi (Gilmore ve Reid, 1983). Noktalar anakol yıldızlarının uzay yoğunluklarını, sürekli çizgi ince disk ve kesikli çizgi kalın disk bileşenini göstermektedir. Modellerde ince ve kalın diskler için yükseklik ölçeği değerleri, sırasıyla, 300 ve 1,350 pc hesaplanmıştır.

Galaksimizin ince ve kalın disk bileşenleri için günümüzde kabul edilen yükseklik ölçekleri, sırasıyla, 300 pc ile 900 pc (Juric ve diğ., 2008) ve uzunluk ölçekleri, sırasıyla, 2.5 kpc ile 3.6 kpc'tir (Robin ve diğ., 2003). Sistematik Galaksi araştırmalarından elde edilen sonuçlar ince ve kalın diskler için verilen uzunluk ve yükseklik ölçekleriyle Güneş civarındaki göreceli yıldız yoğunluk değerlerinin çok farklı olduğunu göstermiştir (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006a; 2006b; 2008; Yaz ve Karaali, 2010). Farklılıkların temel nedenlerinden biri Galaksi model parametrelerinin hesaplanmasında eş-zamanlı yöntemlerin kullanılması olduğu literatürdeki birkaç çalışmayla gösterilmiştir (Cabrera Lavers ve diğ., 2007; Bilir ve diğ., 2008).

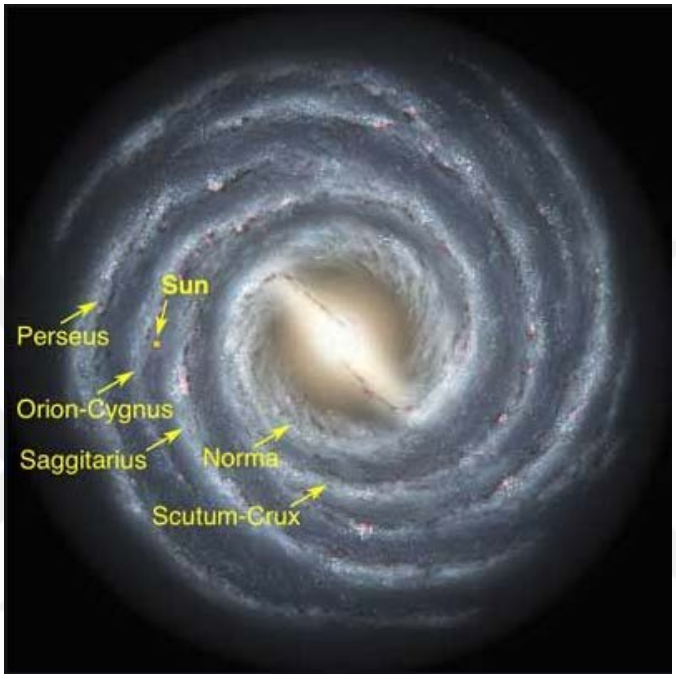
Galaksi diskinin iki bileşenli yapısı arasındaki farklılıklar sadece yıldız yoğunluk dağılımından ibaret değildir. İnce ve kalın diskin kimyasal olarak birbirinden farklı ve çift tepeli bir dağılımının olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Gratton ve diğ., 2000; Bensby ve diğ., 2003). Kalın disk yıldızlarının ince disk yıldızlarına göre metalce fakir ve yüksek α-element oranları içermesi, kalın disk yıldızlarının daha yaşlı olduğunu da göstermektedir. Bunun yanı sıra, kalın disk yıldızlarının kinematik olarak ince disk yıldızlarına göre daha büyük uzay hızı bileşenlerine sahip olması farklı dinamik evrim sürecini de yansıtmaktadır (Chiba ve Beers, 2000; Bensby ve diğ., 2005; Karaali ve diğ., 2019). Kalın diskin yapısal, kimyasal ve kinematik açıdan ortaya konması, bu bileşenin, Galaksi diskinin doğal dinamik evrimiyle veya ince diskin ısınmasına sebep olan cüce galaksi birleşmeleriyle oluşabileceğini düşündürmüştür. Bovy ve diğ. (2012), Galaksi diskinde görülen iki modlu dağılımın çalışmalardaki yanlılıklardan kaynaklanabileceğini, bu bileşenlerin süreklilik gösteren bir disk yapısı olabileceğini savunmaktadır.

Galaksi diskinin yaklaşık beşte biri gazdan oluşmaktadır. Bu gaz yapı üç temel formda bulunmaktadır: *i*) karanlık, soğuk (10 - 20 K), çoğunlukla H_2 ve CO'dan oluşan molekül bulutları, *ii*) yaklaşık 100 K sıcaklığında (Spitzer ve Savedoff, 1950), atomik hidrojenden oluşan yaygın bulutsular (HI bölgeleri), *iii*) gazın sıcak ve genç yıldızlar tarafından ısıtılarak iyonize edildiği sıcak bulutsular (HII bölgeleri). HI bölgeleri (yaygın bulutsular) 21-cm H emisyon çizgisiyle gözlenirler. Bu tür gözlemler Galaksimizdeki HI bölgelerinin yükseklik ölçeğinin 100-200 pc olduğunu ortaya koymaktadır (Dickey ve Lockman, 1990).

Galaksimizin dikkat çeken bir diğer yapısını spiral kollar oluşturmaktadır. Yapılan gözlemler, spiral yapının disk galaksilerinin genel bir özelliği olduğunu göstermiştir (Morgan ve diğ., 1952). Gazın büyük bir bölümünü içerdiğinden, Galaksi diski yıldız oluşum bölgelerini kapsar. Süpernova patlamalarının ve Galaktik çubuğun etkisi altında oluştuğu düşünülen yoğunluk dalgaları Galaktik düzlem üzerinde hareket ederken yıldızlararası ortamla etkileşerek ortamın yoğunlaşmasına ve yeni yıldızların oluşmasına neden olur. Yıldızların meydana geldiği yoğun bölgeler Galaksimizin spiral kollarını oluşturur. Bununla birlikte, Galaksimizdeki gazın ve çok genç yıldızların konumları da spiral yapının önemli göstergelerindendir (Xu ve diğ., 2016).

Güneş sistemimiz Galaksi düzlemine yakın bir konumda bulunduğundan, spiral yapının gerçek şeklini ortaya çıkarmak zordur. Drimmel (2000) kızılötesi fotometrik K_s filtre gözlemleriyle Galaksi'deki iki spiral kolu belirlerken, Levine ve diğ. (2006) 21-cm radyo bölgesindeki

verilerden dört spiral kolu belirlemişlerdir. İstatistiksel çalışmalar (Vallee, 2002, 2005), spiral yapının dört ayrı koldan oluştuğunu, kollar arasında 10^o–20^o'lik bir açıklık bulunduğunu, bunun da spiral yapıların genel bir özelliği olduğunu göstermektedir (Kennicutt, 1981). Bununla birlikte, Hubble sınıflamasına göre (Hubble, 1926) Samanyolu geç türden bir SBb grubunda yer almaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Samanyolu'nun spiral kolları[14].

Galaksi diski Güneş çemberinin dışında $0^o < l < 180^o$ Galaktik boylam aralığı (I. ve II. Galaktik çeyrek) için güney Galaktik kutba doğru bükülürken, $180^o < l < 360^o$ (III. ve IV. Galaktik çeyrek) boylam aralığı için kuzey Galaktik kutba doğru bükülmektedir. Galaksi diskinin bu eğri yapısı *burulma* olarak adlandırılmaktadır. Bu burulmuş yapı Galaksimizde ilk defa iyonize hidrojenin emisyon gözlemleriyle ortaya konmuştur (Burke, 1957; Kerr, 1957; Westerhout, 1957). Galaksi diskindeki burulma, spiral yapıya sahip dış galaksilerde de görülen genel bir özelliktir (Briggs, 1990; Garcia-Ruiz ve diğ., 2002b). Cox ve diğ. (1996), Galaksi diskinin HI profiliyle aynı şekilde burulduğunu ve burulma için çekimsel bir köken olduğunu işaret etmektedir. Samanyolu galaksisinde, diskteki burulmanın, Galaksinin karanlık maddesinden veya Küçük ve Büyük Magellan bulutları gibi cüce galaksilerin varlığından da

[14] https://tr.pinterest.com/pin/456130268505711754/

kaynaklanabileceği farklı yazarlar tarafından belirtilmiştir (Garcia-Ruiz ve diğ., 2002a; Weinberg ve Blitz, 2006).

2.2.1. Açık Kümelerin Kimyasal Kompozisyonları ve Element bollukları

Geniş bir yaş aralığında ve Galaksi diski boyunca dağılım gösteren açık kümeler, diskin kimyasal zenginleşmesinin araştırılmasında kullanılan eşsiz nesnelerdir. Açık kümeler oluştukları gaz bulutunun kimyasal yapısını yansıttıklarından, Galaksi merkezinden farklı uzaklık ve yaşlarda bulunan kümelerin kimyasal profilinin incelenmesiyle, Galaksinin oluşum sürecinden günümüze kadar olan zaman dilimi boyunca yıldız oluşum ve çekirdek reaksiyon süreçlerinin anlaşılmasında kullanılırlar. Güncel analizler açık kümelere üye yıldızların element bolluklarının benzer ve küme içindeki dağılımlarıyla tutarlı olduğunu göstermektedir (De Silva ve diğ., 2006). Bu nedenle, kümeye üye yıldızların belirlenen ortalama element bolluklarının, oluştukları gaz bulutunun başlangıçtaki kompozisyonunu yansıttığı söylenebilir. Daha önce belirtildiği gibi, yıldız evrimi etkileri ve çekirdek birleşmeleri sonucu üretilen maddenin yıldız yüzeyine karışması, dev yıldız atmosferlerinde Li, C ve N gibi bazı hafif element bolluklarının değişimine sebep olabilir. Bazı elementlerin gözlemi teorik modellerde zorluklar çıkarmasına rağmen, yıldız veya kümelerdeki element bolluklarının Galaksi boyunca incelenmesi Galaktik kimyasal evrimin araştırılmasına engel olmaz.

Yıldızların element bollukları ve kümelerin metal bollukları, fotometrik ve tayfsal yöntemler ile belirlenir. Bu konudaki çalışmalar, *UBV* (Loktin, 1998), *DDO* (Twarog ve Anthony-Twarog, 1994), Washington ve Strömgren (Anthony-Twarog ve Twarog, 2006) fotometrik sistemlerine dayanmaktadır. Bu sistemler çok sayıda yıldızın metal bolluğu tayininde kullanılmaktadır. Fotometrik çalışmalar, sönük ve uzak nesnelerin büyük oranda tespit edilmesinde avantaj sağlamalarına karşın, alan yıldızı kirlenmesi ve yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma etkisi gibi problemleri içermektedir. Fotometrik metal bolluğu tayininde incelenen yıldızın ağır element bolluğu belirlenirken, tayfsal metal bolluğu tayininde de yıldızların tek tek elementlerinin bolluğu hakkında bilgi sahibi olunur. Modern tayf çalışmaları 1980'li yıllarda yapılmaya başlandığından, yüksek çözünürlüklü tayf verilerine sahip yıldızların sayısı fazla değildi. Fotometrik veya düşük çözünürlüklü tayf çalışmalarından elde edilen element bollukları genelde $0.1 \leq [M/H] \leq 0.15$ dex aralığında bir duyarlılıkta ölçülebilmektedir. Fotometrik ve tayfsal indeksler Fe ve Fe-pik elementlerin veya CN, MgH gibi sonradan demir bolluğuna ([Fe/H]) kalibre edilen moleküllerin karışmasına bağlı olarak

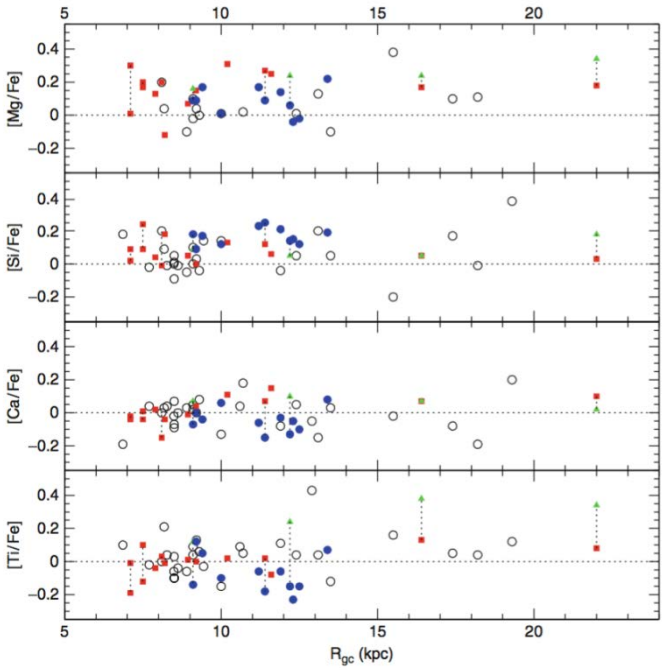
dar veya geniş bantta *blanketing etkisini* ölçer. Bazı fotometrik indekslerde teorik eş-yaş eğrileri yardımıyla renk-parlaklık diyagramlarının analizleri boyunca blanketing etkisi yorumlanmaktadır. Açık küme parametrelerinin yer aldığı Lynga, DAML02 ve WEBDA kataloglarında kümelerin metal bollukları birçok farklı kaynaktan derlenmiştir, bu nedenle farklı kataloglardaki verilerde sistematik yanlılıkların olması normaldir. Literatürde, kümelerin metal bolluklarının ölçümlerinde 0.1 ile 0.2 dex'lik sistematik farklar yaygın bir şekilde görüldüğünden, Galaksinin oluşumu ve evrimiyle ilgili sonuçlar önemli ölçüde etkilenebilmektedir.

Açık kümelerin astrofizik parametrelerine ait homojenize verilerin kullanılması, kümedeki yıldız popülasyonunun metal bolluğu aralığının belirlenmesini ve Galaksi'nin farklı bölgelerindeki metal bolluğu dağılımının anlaşılmasını sağlar. Tayf analizlerinde izlenen farklı yöntemler (eşdeğer genişlik, model atmosferlerinin seçimi, kabul edilen atomik parametreler, sıcaklık ölçekleri, yıldızlardaki konveksiyon, yerel termodinamik denge varsayımları) sonuçları etkilediği gibi, çalışmalar arasında sistematik farklılıklara da sebep olmaktadır. Günümüzde bireysel ve sistematik tayfsal çalışmaların artması, incelenen örnek sayısını arttırmakla birlikte oluşan sistematik farkların doğasını ortaya çıkarmış ve gözlem sonuçlarının daha duyarlı değerlendirilmesine neden olmuştur. Yüksek çözünürlüklü tayf çalışmalarının artması, yıldızların metal bolluklarının belirlenmesinin yanı sıra elementlerin çizgi profillerinin de elde edilmesine olanak verir; bu da farklı küme popülasyonları arasında yıldız oluşum tarihini ve çekirdek reaksiyon süreçlerini açıklar.

Galaksimizin kimyasal bakımdan incelenmesinde yıldız atmosferlerindeki metallerin ve demir (Fe) bolluklarının Galaksi boyunca dağılımlarını araştırmak önemli bilgiler sağlasa da, bolluk analizleri Galaksideki yıldız oluşumu ve çekirdek reaksiyonlarının anlaşılmasında yeterli değildir. Yıldız oluşumu ve anakol sürecinden itibaren çekirdek reaksiyonları, oksijen (O), α-elementleri, r- ve s- süreci elementlerinin üretimi ve bu element bolluklarının oranlarıyla anlaşılmaktadır. 21. yüzyılın başlarında teknolojideki hızlı gelişmeler sayesinde yüksek çözünürlüklü yıldız tayflarının alınması ve bunların analizleri sonucunda, kümelerde demir ve daha hafif element bolluklarıyla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Bu konuyla ilgili birçok araştırma grubu literatüre önemli katkılarda bulunmuştur (Yong ve diğ., 2005; Bragaglia ve Tosi, 2006; Carraro ve diğ., 2007; Sestito ve diğ., 2008; Jacobson ve diğ., 2009; Friel ve diğ., 2010).

Büyük kütleli yıldızlardaki çekirdek reaksiyon süreçleri, kütle kaybı ve Tip II süpernova patlamaları sonucunda yıldızlararası ortama yayılan O ve α-elementlerinin (Mg, Si, Ca ve Ti) bolluğu, Güneş'teki değerlerden daha fazladır. Bu da yıldızlararası ortamdaki maddenin metalce zengin olmasına ve yıldız oluşum süreçlerindeki farklılıklara neden olmaktadır. Galaksi diskinin dış kısımlarında bulunan kümelere ait bolluk çalışmaları hızlı ve farklı yıldız oluşum süreçlerine işaret eder. Yong ve diğ. (2005) ve Carraro ve diğ. (2004), Galaksi diskinin dış bölgesinde [Fe/H] ~ -0.3 dex'lik hemen hemen değişmeyen bir değer ile tanımlanan kümelerin aynı zamanda kütleli yıldızlarda üretilen elementlerden oluştuğunu ve elde edilen bulguların da hızlı bir yıldız oluşum sürecine işaret ettiğini göstermişlerdir. Galaksi merkezinden uzakta bulunan kümelerdeki metal bolluğu değerleri Galaksinin disk ve halo popülasyonlarıyla uyuşmamaktadır. Yong ve diğ. (2005), Galaksi diskinin dış bölgesinde bulunan kümelerde O, α-elementlerini ve r- ve s- süreçlerinde üretilen element bolluklarını inceleyerek, Galaksi diskinin dış kısımlarının oluşumunda cüce galaksi birleşmelerinin etkin olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte, Galaksi diskinin dış bölgesindeki açık kümelerin bolluk oranları Güneş bolluğu cinsinde verilmekte olup, Güneş komşuluğundaki kümelerin bolluğuna benzerlik gösterir (Carraro ve diğ., 2007; Sestito ve diğ., 2008). Galaksi diskinin sınırlarında bulunan kümelerin doğası hala bilinmemektedir. Bu kümelerin element bollukları dikkate alındığında farklı bir oluşum süreci geçirmedikleri anlaşılmaktadır.

Açık küme yıldızlarının α-elementleri (Mg, Si, Ca ve Ti) için derlenen yüksek-çözünürlüklü tayfsal element bolluklarının kümelerin Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla (R_{gc}) değişimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bu şekilden element oranlarının uzaklık ile belirgin bir ilişkisinin bulunmadığı görülmektedir. Kümelerdeki Mg ve Si element bollukları Ca ve Ti bolluklarından yüksek olmasına karşın, bolluk farkları küçük ve gözlemsel belirsizlikle uyumludur. Farklı çalışmalarda incelenen ortak açık kümelerin element bollukları Şekil 2.8'de kesikli çizgiler ile belirtilmiştir. Aynı elementlerin çeşitli çalışmalarda hesaplanmış element bollukları arasında sistematik farklar bulunmakla birlikte, radyal metal bolluğu gradyent hesaplamalarında Galaksi diskinin dış bölgesindeki açık kümelerde görülen bu durumun dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Genel olarak küme bollukları, alan yıldızlarında görülen [Fe/H] eğilimlerine benzerlik göstermekte ve bunlar ince disk popülasyonunun içinde bulunmaktadır.



Şekil 2.8: Kümelerdeki [X/Fe] element bolluklarının (X = Mg, Si, Ca ve Ti) Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla değişimi. İçi boş daireler literatürdeki farklı çalışmalardan alınan bolluk değerlerini gösterirken, kırmızı kareler Sestito ve diğ. (2008), mavi daireler Friel ve diğ. (2005) ve yeşil üçgenler Yong ve diğ.'den (2005) alınan bollukları ifade etmektedir. Ortak kümeler kesikli çizgiler ile belirtilmiştir.

Diğer yıldızların atmosferlerinde incelenen birçok element Güneş atmosferinde bulunanlardan daha fazla miktarlarda olabilir. Açık kümelerde Na ve Al element bollukları her zaman fazla miktarlarda bulunur. Bu elementler orta kütleli yıldızların çekirdeklerinde üretilir. Özellikle Ne-Na ve Mg-Al elementlerinin yanma süreçleri evrimleşmiş yıldızların kabuklarında yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Söz konusu elementlerin bolluk artışlarının yıldız rüzgârlarının katkısıyla olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, Na ve Al elementlerinin evrimleşmiş yıldızların çekirdeklerinde üretilen maddelerin yıldız yüzeyiyle karışımı sonucunda artması mümkündür, çünkü bolluk analizlerinin birçoğu kümelerdeki parlak dev yıldızların analizine dayanmaktadır. Bir kümede bulunan farklı evrim aşamasındaki yıldızların sınırlı gözlemleri, yıldız çekirdeklerinde üretilen ağır element süreçleri hakkında net bir sonuç ortaya koymayabilir. Na element fazlalığı için en basit açıklama, genellikle, analizlerdeki zorluklar ve ileri evrim aşamasındaki dev yıldızların bolluk analizlerinin, birçok kümenin bolluk çalışmalarının temelini oluşturan, yerel termodinamik dengede bulunmayan etkilere düzeltme uygulanmaması şeklindedir. Bu analizler tam olarak anlaşılana kadar, Na bolluğunun fazla olmasının sebebi belirsiz kalacaktır.

2.2.2. Galaksi Diskinde Metal Bolluğu Gradyenti

Galaksi diskinin farklı bölgelerdeki element bolluklarının çeşitliliği, kimyasal evrim modellerine önemli kısıtlamalar getirir. Bununla birlikte açık kümeler, geniş bir yaş ve uzaklık aralığında bulunmalarından dolayı, metal bolluğunun yanı sıra element bolluğu modellerini en iyi temsil eden Galaktik nesnelerdir. Açık küme popülasyonlarının ilk çalışmalarında, Galaksi merkezinden uzaklaştıkça metal bolluğu değerlerinde bir azalma görülür. Özellikle, Galaksi sınırındaki açık kümeler Güneş civarındakilere göre metalce daha fakirdirler. Bu bulgu 2000'li yıllara kadar yapılan çalışmalarda kabul görmüştür. Gözlemsel çalışmalardan elde edilen birbirine benzer bazı genel sonuçlar bulunmaktadır. Bu durumlara örnek olarak, Galaksi merkezinden uzaklaştıkça [Fe/H] bolluğunda görülen negatif gradyent ve Galaksi diskindeki açık kümelerin yaşlarıyla metal bollukları arasında bir ilişkinin bulunmaması gösterilebilir (Carraro ve Chiosi, 1994; Friel, 1995).

Açık kümelerden Galaksi diskinde bir metal bolluğu gradyentinin varlığını gösteren ilk çalışma Janes'e (1979) aittir. Janes (1979) 41 açık kümedeki dev yıldızların DDO ve *UBV* fotometrilerinden hesaplanan metal bolluklarını kullanarak Galaksi diskindeki radyal metal bolluğu gradyentini elde etmiştir. Çalışmada, Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı 10 kpc kabul edilerek, Galaksi merkezinden $8 < R_{gc} < 14$ kpc uzaklık aralığında bulunan küme ve alan kırmızı yığın yıldızlarından radyal metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.05 dex/kpc hesaplanmıştır. Yaşı 800 Myıldan genç kümelerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.039 ± 0.030 dex/kpc, daha yaşlı açık kümelerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentini de d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.076 ± 0.028 dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Janes'in (1979) çalışmasına göre, yaşlı açık kümeler için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentinin eğimi genç açık kümelerinkine göre daha diktir. Janes ve diğ. (1988) açık kümelere yönelik çalışmayı daha büyük bir küme örneğine uygulamıştır. Araştırmacılar, Lynga (1987) kataloğunda yaşı 200 Myıldan genç açık kümeler için -0.07 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyenti, 200 Myıldan yaşlı kümeler için de -0.14 dex/kpc'lik daha dik bir radyal metal bolluğu gradyenti elde etmişlerdir. Çalışmadaki bu sonuçlar, metal bolluğu [Fe/H] = -0.5 ile -0.6 dex olan ve Galaksinin dış bölgelerinde yer alan az sayıdaki açık kümeden belirlenmiştir. Galaksi merkezinden uzaklaştıkça radyal metal bolluğu gradyentindeki azalma belirgin olmasına karşın, incelenen açık kümeler [Fe/H] × R_{gc} düzleminde büyük saçılma göstermiştir. Bununla birlikte, açık kümeler için Galaktik düzleme

dik doğrultularda metal bolluğu gradyenti elde edilememiştir.

Piatti ve diğ. (1995), büyük bir bölümünün yaşı 1 Gyıldan küçük olan 63 açık kümenin DDO fotometrisinin geniş ve homojen verilerinden elde edilen metal bolluklarını kullanarak, radyal metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.07 dex/kpc hesaplamışlardır. Bununla birlikte, araştırmacılar diğer çalışmalardan farklı olarak, Galaktik düzlemden dik doğrultuda d[Fe/H]/dZ = -0.34 dex/kpc'lik bir metal bolluğu gradyenti bulmuşlardır. Çalışmada, 19 kümenin radyal hız ve öz hareket verilerinden Galaktik yörünge parametreleri belirlenmiş ve buradan kümelerin yörünge hareketlerinin, radyal metal bolluğu gradyentini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Twarog ve diğ. (1997) metal bolluğu gradyentinin sürekli bir eğimden çok, Galaksi merkezinden itibaren 10 kpc'lik bir sınır ile belirlenen uzaklıkta kırılma gösteren bir eğim ile veya adım fonksiyonuyla tanımlanmasının daha duyarlı sonuçlar verebileceğini belirtmiştir.

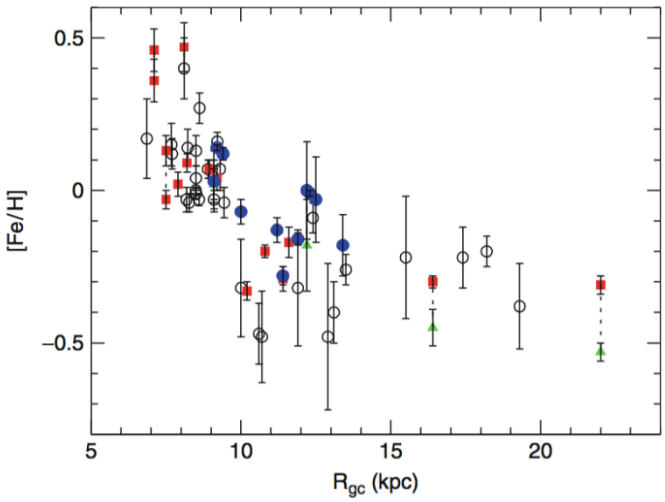
Teknolojinin gelişmesine paralel olarak büyük teleskopların odak düzlemlerinde yer alan tayfçekerler ile küme yıldızlarının yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinin yapılabilmesi mümkün olmuştur. Fotometrik yöntemler yerine tayf gözlemleriyle metal bolluğu belirlenen açık küme sayısının artması, metal bolluğu gradyentinin daha duyarlı şekilde belirlenmesine olanak vermiştir. Açık kümelerin tayf verilerinden belirlenmiş metal bolluklarına dayanan ilk çalışma Friel ve Janes'e (1993) aittir. Araştırmacılar kümelerde bulunan kırmızı yığın yıldızlarının düşük çözünürlüklü tayflarını kullanmışlardır. Friel ve Janes (1993) en yaşlı ve en uzak kümelere yoğunlaşarak, literatürde iyi çalışılmış olanları bir araya getirmiş ve radyal metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/ dR_{gc} = -0.09 ± 0.02 dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Daha sonra Friel ve diğ. (2002), açık küme örneğini genişleterek, 39 kümenin yeni metal bolluğu kalibrasyonu sonucunda, Galaksi merkezinden 7 ile 16 kpc uzaklık aralığındaki açık küme verilerinden radyal metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.06 ± 0.01 dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Araştırmacılar, Galaktik düzlemden daha büyük uzaklıklarda bulunma ihtimali olan Galaksi diskinin dışındaki metalce fakir kümelerin seçim etkisini düzeltmelerine karşın dikey doğrultuda bir metal bolluğu gradyentine ulaşamamışlardır.

Galaksi diskinin metal bolluğu gradyenti üzerine yapılan birçok çalışmada kümelerin uzaklıklarıyla metal bollukları arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte, Friel (1995) daha karmaşık bir yapının bulunması olasılığından söz etmiştir. Twarog ve diğ. (1997), Friel ve Janes'in (1993) elde ettikleri tayfsal ve DDO fotometrik sonuçlarını bir

araya getirerek, geniş bir yaş aralığında bulunan 76 açık kümeden itibaren diğer çalışmalara nazaran daha farklı bir sonuç ortaya koymuştur. Çalışmalarında, Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığını 8.5 kpc kabul etmiş ve açık kümelerin metal bolluğu dağılımlarının Galaksi merkezinden itibaren iki farklı uzaklık bölgesinde en iyi şekilde tanımlanabileceğini göstermişlerdir. Buna göre, $6.5 < R_{gc} < 10$ kpc uzaklık aralığında kümelerin metal bollukları yaklaşık Güneş bolluğunda ve dispersiyonu da en fazla 0.1 dex olarak hesaplanmıştır. $R_{gc} = 10$ kpc'in ötesinde ise küme metal bolluklarının [Fe/H] = -0.3 dex'e kadar azalmış olduğu ve 16 kpc'e kadar bu metal bolluğu seviyesinde kaldığı belirtilmiştir.

Friel ve Janes'in (1993) çalışmasından sonra literatürde Galaksi merkezinden daha uzak kümelerin keşfi ve analizleri, radyal metal bolluğu gradyentinin Galaksi merkezinden 20 kpc ötesine kadar araştırılmasına olanak vermiş ve Galaksi diskinin dış bölgesinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Bilinen en uzak küme olan Berkeley 29 Galaksi merkezinden $R_{gc} = 22$ kpc uzaklıktadır ve metal bolluğu [Fe/H] = -0.3 ile -0.5 dex arasında değişmektedir. Galaksi diskinde incelenen açık küme örneği arttıkça diskteki radyal metal bolluğu gradyenti 10 ile 12 kpc'nin ötesinde düzleşmekte ve ortalama metal bolluğu [Fe/H] ~ -0.3'ten -0.5 dex'e azalmaktadır (Carraro ve diğ., 2004; Yong ve diğ., 2005).

Literatürdeki farklı çalışmalardan derlenen açık kümelere üye yıldızların yüksek çözünürlüklü tayf verilerinin analizleriyle belirlenen metal bolluğu dağılımının Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla değişimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekil üzerinde gösterilen içi dolu kareler Sestito ve diğ.'den (2008), içi dolu daireler Friel ve diğ.'den (2010) ve içi dolu üçgenler Yong ve diğ.'den (2005) alınmıştır. Hata değerleri literatürde verildiği gibi kümelerin ortalama metal bolluğundaki hataları vermekte ve genelde iç hataları göstermektedir. Şekil 2.9'da birden fazla çalışmada analiz edilen kümeler kesikli çizgiler ile gösterilmiş olup bu çizgiler analizler arasındaki olası sistematik etkilerin büyüklüğünü ifade etmektedir. Kümelerin metal bolluklarıyla Galaksi merkezine uzaklıklarına göre oluşturulan Şekil 2.9'da farklı uzaklık aralıklarındaki kümelerin metal bolluklarında büyük saçılmalar olduğu görülmekle birlikte, içi dolu semboller dikkate alındığında saçılmanın daha homojen olduğu görülmektedir. Veriler Galaksi merkezinden R_{gc} ~10-13 kpc'ye kadar dik bir gradyent ile uyumluyken, 13 ile 22 kpc aralığında metal bolluğu gradyenti neredeyse düzdür. Galaksi merkezinden R_{gc} ~13 kpc uzaklığın ötesinde ise ortalama metal bolluğu yaklaşık -0.3 dex'tir.



Şekil 2.9: Yüksek çözünürlüklü tayf çalışmalarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyenti. İçi boş daireler literatürdeki çeşitli çalışmaları derleyen Magrini ve diğ.'nin (2009) verilerini, içi dolu kare, daire ve üçgenler de, sırasıyla, Sestito ve diğ. (2008), Friel ve diğ. (2010) ve Yong ve diğ.'nin (2005) verilerini içermektedir. Örneklerde ortak olan kümeler kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Hata çubukları, araştırmacılar tarafından verilen, kümelerin ortalama metal bolluğundaki belirsizlikleri göstermektedir.

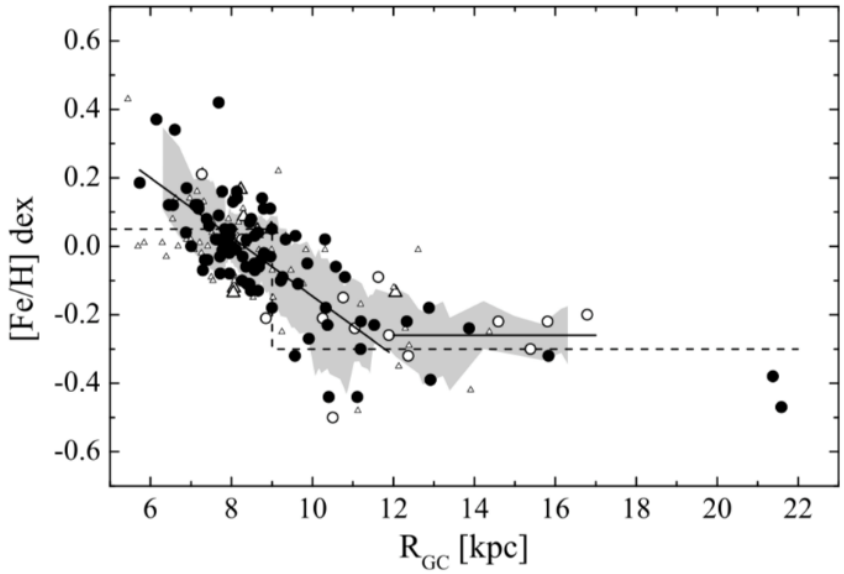
Yong ve diğ. (2012), 49 açık kümenin tayf analizlerinden elde edilen element bolluklarını ([X/Fe]), kümelerin Galaksideki uzaklık, yaş ve metal bolluğuyla ([Fe/H]) karşılaştırmaları sonucunda, metal bolluğu gradyentinin R_{gc} > 13 kpc civarında düzleştiğini ve bu bölgede bulunan açık kümelerin metalce fakir olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada kümelerin element bolluğu veya metal bolluklarıyla yaşları arasında bir ilişki bulunamamıştır. Bununla birlikte, kümelerin [X/Fe]-[Fe/H] değişimlerinin hemen hemen tüm element bolluğu oranlarında alan dev yıldızlarlarınkine benzer dağılımlar sergilediği gösterilmiştir. Araştırmacılar, elde ettikleri bulgulardan düzleşen bir metal bolluğu gradyentinin varlığının, [α/Fe] oranlarındaki artış ve metal bolluklarındaki farklılıklar, ancak Galaksi diskinin dış bölgesindeki gaz yapıların iç bölgedekilere göre daha farklı yıldız oluşum süreçleri geçirmesi sonucunda olabileceğini belirtmişlerdir.

Frinchaboy ve diğ. (2013), 28 açık kümede bulunan toplam 141 küme üyesi yıldızın yüksek çözünürlüklü SDSS-III/APOGEE tayf verilerini analiz ederek Galaksideki metal bolluğu ([M/H]) değişimini araştırmışlardır. Çalışmada $7.9 \leq R_{gc} < 10$ kpc (Galaksi diskinin iç bölgesi) ve $R_{gc} \geq 10$ kpc (Galaksi diskinin dış bölgesi) uzaklık aralıkları için doğrusal fitler kullanılmış ve radyal metal bolluğu gradyentleri bu uzaklık aralıkları için, sırasıyla, d[M/H]/dR = -0.20 ±

0.08 dex/kpc ve d[M/H]/dR = -0.02 ± 0.09 dex/kpc hesaplanmıştır. Frinchaboy ve diğ. (2013) R_{gc} = 10 kpc'lik uzaklığın Galaksinin dinamik eş-rotasyon bölgesine yakın olduğunu, bu bölgenin Güneş civarı için (7.9 ≤ R_{gc} < 10 kpc) daha dik bir radyal metal bolluğu gradyenti oluşturabileceğini, R_{gc} ≥ 10 kpc uzaklıklarında ise düzleşebileceğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, Galaksi diskinin iç bölgesi için elde edilen bu gradyent Yong ve diğ.'ne (2012) göre daha dik bir eğim göstermektedir. Metal bolluğundaki bu tür bir dağılımın, Lepine ve diğ.'nin (2014a) sefeidlerden elde ettiği radyal metal bolluğu dağılımıyla benzerlik gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca bu araştırmacılar, Yong ve diğ.'den (2012) farklı olarak 7.9 ≤ R_{gc} < 10 kpc uzaklık aralığındaki Galaksi diskinin iç bölgesi için α-element oranlarında ([α/M]) herhangi bir eğilim belirlememişlerdir.

Netopil ve diğ. (2016) açık kümelerin tayfsal ve fotometrik metal bolluklarını bir arada değerlendirerek Galaksi merkezinden farklı uzaklık aralıkları için radyal metal bolluğu gradyentini araştırmışlardır. Çalışmada, R_{gc} < 12 kpc'de bulunan kümelerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.086 ± 0.009 dex/kpc iken R_{gc} > 12 kpc için hesaplanan değer d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.004 ± 0.012 dex/kpc'tir. Bu sonuçlar, Galaksi diskinin iç bölgesi için daha dik bir gradyentin varlığına işaret ederken, Galaksi diskinin dış kısmında gradyentin hemen hemen düzleştiğini göstermektedir. Netopil ve diğ.'nin (2016) inceledikleri açık kümelerin Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla metal bolluklarının değişimi Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Şekilden R_{gc} ~12 kpc'ye kadar dik bir gradyent ve bu uzaklığın ötesinde ise düz bir gradyent görülmektedir.

Metal bolluğu dağılımındaki kırılma davranışının doğası ve kırılmanın kesin noktası henüz iyi belirlenememiş ve anlaşılamamıştır. Jacobson ve diğ. (2009), Galaksi merkezinden yaklaşık R_{gc} = 10-13 kpc'lik geçiş bölgesinde bulunan açık kümelerdeki kırmızı dev yıldızların tayfsal metal bolluklarını tayin etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre R_{gc} < 10 kpc'de Güneş metal bolluğundan zengin, R_{gc} > 10 kpc'de ise Güneş bolluğundan fakir bir metal bolluğu dağılımı görülmüştür. Metalce zengin bölgeden metalce fakir bölgeye geçişin Twarog ve diğ.'nin (1997) önerdiğinden farklı olarak daha yumuşak olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.10: Netopil ve diğ.'nin (2016) çalışmasındaki açık kümelerin metal bollukları ile Galaksi merkezinden uzaklıklarına ait dağılım. İçi dolu ve boş daireler, sırasıyla, yüksek ve düşük çözünürlüklü tayfsal verileri göstermektedir. Fotometrik metal bollukları üçgen sembolüyle ifade edilmiş olup, büyük boyutlu üçgenler en az iki fotometrik sistemde metal bolluğu ölçümü yapılmış açık kümeleri temsil etmektedir. Kesikli çizgi Lepine ve diğ. (2011) tarafından verilen metal bolluğu düzlüğünü ve basamak-benzeri süreksizliği gösterirken, sürekli çizgiler Netopil ve diğ.'nin (2016) tüm tayfsal veriler dikkate alınarak geçirdikleri doğrusal fiti ve dış disk için ortalama değeri temsil etmektedir. Gri bölge tayf verilerinden elde edilen ortalama metal bolluklarının hatalarını göstermektedir.

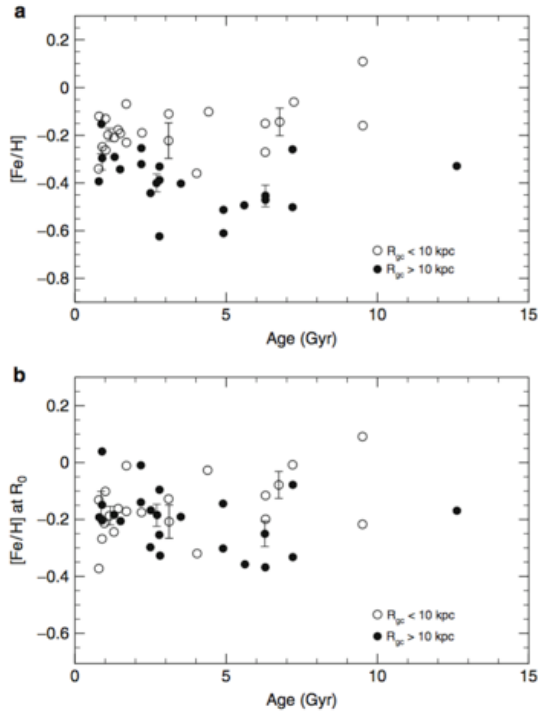
Galaksi diskinin iç bölgesinde bulunan metalce zengin NGC 6791 ([Fe/H] = 0.42 dex, R_{gc} = 8 kpc) ve NGC 6253 ([Fe/H] = 0.45 dex, R_{gc} = 7 kpc) açık kümeleri radyal metal bolluğu gradyentini oldukça etkilemektedir (Dias ve diğ., 2002). Şimdiye kadar bu kümelerin Galaksi diskinin iç bölgesini nasıl temsil ettikleri tam olarak anlaşılmış değildir. Metal bolluğu gradyentiyle ilgili çalışmalar dikkate alındığında, Galaksi merkezinden belirli uzaklıklarda bulunan açık kümelerin metal bolluklarında geniş bir dağılım görülmektedir. Galaksi diski üzerindeki açık kümelerin boylamsal dağılımları diskin iç kısmında ortalama değerlerdedir ve metal bolluklarında geniş bir değişim beklenmemektedir. Buna karşın, Galaksi diskinin dış kısımlarındaki açık kümelerde ise metal bollukları Galaktik boylam ile değişmekte ve geniş bir aralıkta yer almaktadır. Luck ve diğ. (2006), Galaktik boylamı l~120°'de ve Güneş çemberinin dışında bulunan yaklaşık 200 sefeid yıldızın analizinden radyal metal bolluğu gradyentinin demir bolluklarında [Fe/H] = 0.2 dex'lik bir artış olduğunu göstermişlerdir. Davies ve diğ. (2009), Galaksinin iç bölgesindeki genç açık kümeleri kullanarak, metal

bolluğunun Galaktik boylam ile değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarındaki bu bulgunun Galaksimizdeki çubuk yapı tarafından sürüklenen düzensiz yıldız oluşumlarından kaynaklanabileceğini önermişlerdir. Galaksimizin iç ve dış bölgesindeki açık kümelerin keşfi devam etmektedir ve bu nesnelerin sayılarının artması, Galaksi diskinin iki boyutlu metal bolluğu yapısının ortaya çıkartılmasında yardımcı olacaktır. Sonuç olarak, açık kümelerden itibaren Galaksi diskinin oluşum ve evrimi hakkında kesin sonuçların elde edilmesi, kümeye üye yıldızların yüksek çözünürlüklü tayflarının analizleriyle mümkün olacaktır.

2.2.3. Galaksi Diskinde Yaş-Metal Bolluğu ilişkisi

Alan yıldızlarına göre belirgin bir şekilde ayırt edilmeleri ve Galaksi diski boyunca geniş bir yaş aralığında bulunmaları, açık kümeleri Samanyolu'nun kimyasal evriminin anlaşılmasında kullanılan modellere gözlemsel sınırlamalar getirmesi açısından önemli kılar. Az sayıda açık kümeden oluşan bir örnekten incelenen metal bolluğu değişimine ait ilk çalışmalar, yaşlı kümelerin daha dik gradyentler gösterdiğini ortaya koymuş (Janes, 1979; Janes ve diğ., 1988), bu da Galaksi diskinin zaman içinde birbirini izleyen yıldız oluşumlarıyla metalce giderek zenginleştiği fikrininin doğmasına neden olmuştur. NGC 188 gibi yaşlı ve Güneş metal bolluğundaki kümelerin varlığı, Galaksi diskinin daha erken bir dönemde metalce zenginleştiğini göstermekte ve küme örneklerinin artması, sonucu değiştirmemektedir. Friel ve diğ. (1995) ve Carraro ve diğ. (1998) Galaksi merkezinden $7 < R_{gc} < 17$ kpc uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini -0.09 dex/kpc olarak hesaplamış, yaş ve uzaklık arasındaki ilişki dikkate alındığında bu değerin farklılık göstermediğini belirtmişlerdir. Panagia ve Tosi (1981) ve Cameron (1985) ise gradyentin yaş ve uzaklığa bağlı olarak değişebileceğini belirtmişlerdir. Friel ve Janes (1993) yaşı 1 Gyıl'dan büyük olan açık kümelerdeki dev yıldızların tayf analizleri sonucunda elde ettikleri metal bolluklarını, küme yaşlarıyla karşılaştırdıklarında belirgin bir ilişki görememiştir. Friel ve diğ. (2002), çalışmalarında yaşları ~0.7 ile 10 Gyıl arasında olan açık kümeleri kullanarak, artan yaş ile birlikte gradyentin giderek dikleştiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, her iki çalışmada da (Friel ve Janes, 1993; Friel ve diğ., 2002) küme metal bolluklarının 0.7 Gyıl yaşındaki Hyades'ten 10 Gyıl yaşındaki Be 17'ye kadar küme yaşlarıyla ilşkisi görülmemektedir (Şekil 2.11). Salaris ve diğ. (2004) tüm Galaksi diski boyunca [Fe/H] × R_{gc} arasındaki değişimi veren eğimi Friel ve diğ.'ne (2002) benzer olarak hesaplamışlar fakat eğimin artan yaş ile birlikte azaldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, yaşı genç açık kümelerin uzaklık limitlerinin sınırlı olması ve küme yaşlarının yeterli duyarlılıkta belirlenememesi böyle bir sonucun elde edilmesinde etkili olmaktadır. Küme

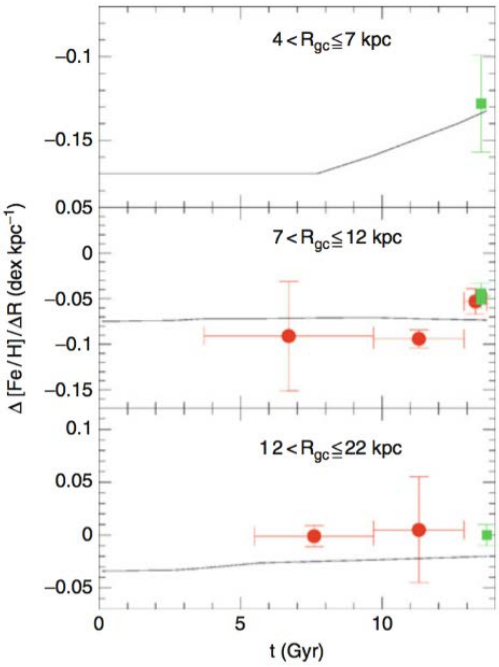
yaşları ve uzaklıkları arasında belirgin bir ilişkinin bulunmaması, Galaksi merkezinden farklı uzaklıklardaki metal bolluğu değişimiyle birlikte değerlendirildiğinde, Galaksi diskinin oluşumuna dair çıkarımları zorlaştırmaktadır. Galaksi merkezinden $6 < R_{gc} < 7$ kpc uzaklık aralığında bulunmayan yaşlı açık kümeler çoğunlukla Galaksinin dış disk bölgesinde yer alırlar. Bu da diskin iç bölgelerinin genç açık kümelerle incelenebileceği anlamına gelmektedir. Galaksi diskinde R_{gc} = ~20 kpc uzaklıklarda yeni kümelerin keşfedilmesi, küme yaşıyla uzaklığı arasında duyarlı bir ilişki kurulmasına olanak verebilir.



Şekil 2.11: Friel ve diğ.'nin (2002) açık küme verilerinden oluşturulan yaş-metal bolluğu dağılımları. Küme yaşları, Janes ve Phelps'in (1994) çalışmasında kabul edilen ölçeklendirme sistemiyle standartlaştırılmıştır. Açık kümeler Galaksi merkezinden $R_{gc} < 10$ kpc (içi boş daire) ve $R_{gc} > 10$ kpc (içi dolu daire) olmak üzere iki uzaklık aralığına ayrılmıştır. Hata değerleriyle işaretlenen noktalar kümelerin $t < 2$, $2 < t < 4$ ve $t > 4$ Gyıl yaş aralıklarındaki ortalama metal bolluğunu göstermektedir. Şekilde hesaplanan metal bollukları (a) ve radyal metal bolluğu gradyenti -0.06 dex/kpc kabul edilerek düzeltilmiş küme metal bollukları (b) gösterilmiştir.

Yaşları 25 Myıl ile 11 Gyıl arasında değişen 45 kümenin yüksek çözünürlüklü tayf verilerinden hesaplanan metal bolluklarını derleyen Magrini ve diğ. (2009) $7 < R_{gc} < 22$ kpc aralığında metal bolluklarının zamanla değişimini araştırmışlardır. Çalışmada, kümelerin metal bolluklarında değişim görülmesine rağmen [Fe/H]'ta farklılığın 0.12 dex'e karşılık geldiği, küme yaşlarıyla metal bollukları arasında belirgin bir ilişkinin bulunmadığı belirtilmiştir (Şekil 2.12). Radyal

metal bolluğu gradyentinin daha dik olduğu $7 < R_{gc} < 12$ kpc uzaklık aralığında yaşı 0.8 Gyıldan genç kümelerden hesaplanan gradyentin, yaşlı kümelerden bulunanlara benzer olduğu belirtilmektedir. Galaksi merkezinden ~12 kpc uzaklığın ötesinde, küme metal bollukları düz bir eğim ile uyuşmakta ve bu eğim Galaksi'nin evrimi boyunca değişmemektedir.



Şekil 2.12: Metal bolluğu gradyentlerinin üç farklı uzaklık aralığı için yaş ile değişimi (Magrini ve diğ., 2009). Her bir panelde gösterilen sürekli çizgiler ve içi dolu daireler, sırasıyla, kimyasal evrim modelinden üretilen ve üç farklı yaş aralığı için ($t < 0.8$ Gyıl, $0.8 < t < 4$ Gyıl ve $t > 4$ Gyıl) açık kümelerden hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini göstermektedir. İçi dolu kareler, her bir radyal uzaklık bölgesi için sefeidlerden hesaplanan gradyentlerini göstermektedir.

Magrini ve diğ.'nin (2009) elde ettiği sonuçlar, farklı yaş gruplarındaki kümelerin metal bolluklarının kimyasal evrim modellerinden hesaplanan metalce zenginleşmeyle karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Galaksi evrim modelleri metalce zengin genç açık kümelerin gözlemsel sonuçlarını karşılasa da, yaşı birkaç Gyıl'dan büyük metalce zengin açık kümelerin gözlemsel sonuçlarının elde edilmesine sınırlamalar getirmekte ve hatalı sonuçların üretilmesine neden olmaktadır.

Yong ve diğ. (2012) yaşı 1.5 Gyıldan büyük açık kümeler ile sefeidleri dikkate aldıklarında, Galaksi merkezinden uzaklaştıkça daha belirgin element bolluğu ([X/H]) oranları görüldüğü, böylece Galaksi diskinin *içten-dışa* oluştuğuna dair senaryonun geçerli olduğunu öne

sürmüşlerdir. Genç sefeid yıldızları ve yaşlı açık kümelerin [X/Fe]-[Fe/H] oranlarının benzerlik göstermesi, farklı yaşlarda bulunan nesnelerin kapalı bir sistemin kimyasal evriminden kaynaklanamayacağını göstermektedir. Yaşlı uzak açık kümeler ile genç uzak sefeidlerin kimyasal yapısının anlaşılması, oluşturulacak kimyasal evrim modellerine sınırlamalar getirilmesine ve Galaksinin evriminin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Frinchaboy ve diğ. (2013), APOGEE verilerini kullanarak açık kümeleri genç (log t (Gyıl) < 8.5), orta ($8.5 \leq \log t$ (Gyıl) ≤ 9) ve yaşlı (log t (Gyıl) ≥ 9) olmak üzere üç ayrı yaş grubuna ayırarak radyal metal bolluğu gradyentinin zamanla değişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar, genç ve orta yaşlı açık kümelerden hesaplanan gradyentin küçük (d[M/H]/$dR_{gc} = -0.04 \pm 0.09$ dex/kpc) ve saçılmaların yüksek, yaşlı açık kümelerden belirlenen gradyentin ise daha dik (d[M/H]/$dR_{gc} = -0.10 \pm 0.04$ dex/kpc) olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Genç açık kümelerin büyük saçılmalar göstermesinin kümelerin doğasından, APOGEE veri sürümünde dev yıldızlar için verilen parametrelerin yeterli duyarlılıkta olmamasından veya yıldızların küme üyesi olmamasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Yaşlı kümeler için elde edilen dik gradyent de Galaksimizde metal bolluğunun zamanla değişebileceğini göstermektedir. Çalışmada kullanılan verilerin sınırlı olmasının yaş ile metal bolluğu arasındaki ilişkinin yorumlanmasını zorlaştırdığı, daha duyarlı sonuçlar için araştırmanın daha büyük veri örneğinden yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Netopil ve diğ. (2016), R_{gc} = 12 kpc'ye kadar bulunan açık kümeleri iki farklı yaş aralığına ($t \leq 0.5$ Gyıl; genç ve $1 < t < 2.5$ Gyıl; yaşlı) ayırarak metal bolluğu gradyentinin yaşla ilişkisini araştırmışlardır. Çalışmada, kümelerin metal bolluğu yüksek ve düşük çözünürlüklü tayflardan elde edilmiş olup, kümelerin artan yaşıyla birlikte metal bolluğunda bir miktar zenginleşme olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, bu sonuçların doğrulanmasında açık kümeler için homojen bir yaş ölçeğinin oluşturulmasıyla Galaksinin kimyasal evriminin yaş ile birlikte daha duyarlı incelenebileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, duyarlı sonuçların elde edilmesi için homojen yaş tayininin yanında hesaplanan metal bolluklarının mevcut doğruluğu ile de sınırlı olduğu, Güneş civarındaki yaşlı açık küme sayısının arttırılması gerektiği vurgulanmıştır. Buradan, küme yaşlarının metal bolluğuyla artmasının radyal göç ile açıklanabileceği sonucunu vurgulamışlardır. Grand ve diğ. (2015) ve Minchev ve diğ. (2013) tarafından yapılan sayısal benzetimler, yaş artışıyla metal bolluğundaki dağılımın genişlediğini doğrulamış ve dışa doğru radyal göçün bu durumda baskın bir etki olduğu görülmüştür. Küme metal bolluklarının hem

yaş hem de kümelerin Galaksideki konumuna göre dağılımı kimyasal evrim modelleri için önemli bir sınırlama getirir. Açık kümeler, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, farklı yaş ve uzaklıklarda metal bolluğu bakımından oldukça geniş saçılma göstermektedirler. Bu da Samanyolu'ndaki iç dinamiklerin neden olduğu olayların sonucunda geniş bir metal bolluğu aralığının meydana geldiğini göstermektedir. Radyal metal bolluğu gradyenti göz önüne alındığında, açık küme yaşlarıyla metal bollukları arasında bir ilişkinin bulunmaması, kümelerin bulunduğu tüm Galaksi diski boyunca görülmektedir (Şekil 2.11). Galaksi diskindeki en yaşlı açık kümeler daha genç nesneler kadar metalce zengin kompozisyonlarda bulunabilirler. Buna en iyi örnek t ~ 8 Gyıl yaşında ve metal bolluğu [Fe/H] = + 0.4 dex olan NGC 6791 açık kümesidir (Martinez-Medina ve diğ., 2018). Kümenin metal bolluğu yüksek çözünürlüklü tayf analizleri sonucunda elde edilmiştir ve bu değer t ~ 700 Myıl yaşında olan Hyades açık kümesinin metal bolluğunun yaklaşık iki katıdır. Bedin ve diğ. (2006), NGC 6791'in Galaktik yörünge analizleri sonucunda kümenin Galaksi merkezine 3 kpc yaklaşabileceğini göstermiş ve bunun radyal göç mekanizmasıyla bugün Güneş civarına gelen kümenin metalce zengin bir bölgede oluştuğuna dair bir kanıt olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, t ~ 6-7 Gyıl yaşında, Güneş metal bolluğundaki NGC 188 (Wang ve diğ., 2015) ve t ~ 10 Gyıl yaşında [Fe/H] = -0.33 dex metal bolluğundaki Be 17 (Bhattacharya ve diğ., 2017) açık kümeleri önerilen radyal göç mekanizmasıyla çelişen örneklerdir. Bu bulgular, bir kümenin metal bolluğunun belirlenmesinde kümenin yaşından çok Galaksi'nin hangi bölgesinde oluştuğunun önemli olduğunu göstermektedir.

Yukarıda sözü edilen çalışmalar dikkate alındığında, küme verilerinin duyarlı ve homojen olması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Bununla birlikte, metal bolluğu tayini gözlemsel duyarlılıklardan çok analiz yöntemlerinden daha fazla etkilenmektedir (Heiter ve diğ., 2014). *Gaia*-ESO (Gilmore ve diğ., 2012), APOGEE (Frinchaboy ve diğ., 2010) ve GALAH (Zucker ve diğ., 2013) gibi devam etmekte olan tayfsal gökyüzü taramaları, farklı yaşlardaki açık kümelerin kimyasal bolluklarının homojen bir şekilde belirlenmesini sağlamakla birlikte birçok çalışmayı da ileriye taşıyacaktır.

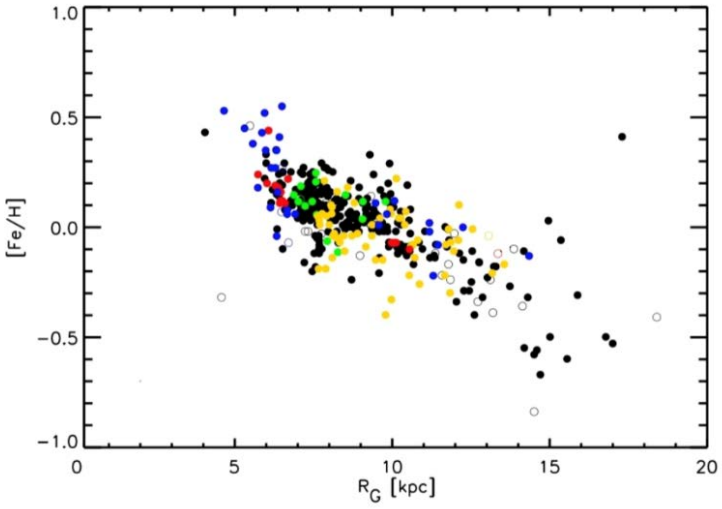
2.2.4. Metal bolluğu Gradyentinin Farklı Nesneler ile Araştırılması

Yukarıda görüldüğü gibi element bolluklarının Galaksi diski boyunca dağılımı homojen olmayıp, diskin iç bölgelerinin dış bölgelere göre metalce daha zengin olduğu bilinmektedir. Ağır element bolluklarının Galaksi diskinde merkezden farklı uzaklıklardaki dağılımı,

incelenen nesnelerin tek boyutlu radyal metal bolluğu gradyentiyle tanımlanmaktadır. Farklı yaşlardaki nesneleri incelemek Galaksinin farklı dönemlerindeki evrim süreçlerinin anlaşılması açısından önemlidir. Galaksi diskinde metal bolluğu değişiminin araştırılmasında açık kümelerin yanı sıra sefeidler, OB yıldızları, HII bölgeleri ve gezegenimsi bulutsular da incelenir. Bu nesnelerden gezegenimsi bulutsular Galaksimizin erken dönem özellikleri hakkında, diğer nesneler ise ömürleri kısa veya genç yaşta olduklarından Samanyolu'nun bugünkü yapısı hakkında önemli bilgiler içerirler.

Sefeidler metal bolluğu-dönem arasındaki ilişki dikkate alınarak geliştirilebilecek zayıf bir dönem-ışıma gücü ilişkisine sahip, uzaklık tayininde kullanılan, düzenli parlaklık değişimi gösteren nesneler olarak bilinirler (Leavitt ve Pickering, 1912; Groenewegen, 2013). Bu nedenle sefeidler iyi bir uzaklık göstergesi olmalarının yanı sıra yıldız astrofiziğinde ve kozmolojide mutlak parlaklığı değişmeyen standart nesneler olarak kullanılırlar. Bunun yanı sıra, sefeidler orta kütleli yıldızların zonklama özellikleri ve evriminin anlaşılmasında temel fizik laboratuvarı ve genç ince disk yıldızlarının bir göstergesi olarak da araştırmalarda kullanılırlar. Zonklama özelliklerinden dolayı kolaylıkla yıldız alanlarında veya kümelerde tespit edilebildiklerinden, Galaksi yapısının belirlenmesinde ve Galaktik kimyasal evrim modellerine sınırlamalar getirilmesinde tercih edilirler.

Genovali ve diğ.'nin (2013) çalışmasında belirtildiği gibi sefeid yıldızlarından tayin edilen metal bolluğu gradyenti $-0.05 < d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} < 0.06$ dex/kpc aralığındadır (Şekil 2.13; Pedicelli ve diğ. 2009; Luck ve Lambert 2011), fakat homojen olmayan veri ve analizlerden dolayı üretilen bu sonuçlar tartışmalıdır. Bu nedenle, Genovali ve diğ. (2013) 420 sefeid örneğini bir araya getirip verilerini literatür ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmaları sonucunda, Galaksi diskinin iç bölgelerinde metal bolluğunda sabit bir artma olduğunu fakat metal bolluğu dağılımında boylamsal değişime dair kanıt bulunmadığını göstermişlerdir. Lepine ve diğ. (2011), sefeidlerden itibaren Güneş civarında Güneş'in metal bolluğunda bir dağılım, Güneş çemberinin 1 kpc ötesinde ise metal bolluğunda 0.3 dex'lik bir fakirleşmeyi önermekte ve bu değişimin $6 < R_{gc} < 13$ kpc'lik uzaklık aralığında üretilen doğrusal bir fit ile aynı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, $7 < R_{gc} < 11$ kpc'lik bölgede radyal metal bolluğu gradyentinin -0.05 dex/kpc olmasını bu bölgede yer alan sefeidlerin sayıca az olmasına ve spiral yapının disk üzerindeki etkisine bağlamışlardır.



Şekil 2.13: Samanyolu'ndaki klasik sefeidlerin Galaksi merkezinden uzaklıklarıyla metal bollukları arasındaki dağılım. Kırmızı ve mavi daireler Genovali ve diğ. (2013), sarı daireler Lemasle ve diğ. (2007; 2008), yeşil daireler Romaniello ve diğ. (2008), siyah daireler Luck ve Lambert (2011), Luck ve diğ. (2011) ve Sziladi ve diğ. (2007), içi boş daireler de Samus ve diğ.'nin (2009) çalışmasından alınmıştır.

HII bölgeleri, büyük kütleli OB yıldızları tarafından iyonize edilen yıldızlararası ortamlar olup, Galaksi'deki yıldız oluşum bölgelerinin ortaya çıkarılmasında önemlidir. Bu nesnelerin kimyasal bolluğu yıldızlararası ortamın şimdiki halini yansıtır ve birçok yıldız neslinin nükleer süreçlerinden kaynaklanan element zenginleşmesini ortaya çıkarır. HII bölgelerinin metal bolluğu yapısı, radyo bölgede yeniden birleşme yoluyla oluşan çizgilerinden belirlendiği için kızarmadan etkilenmezler, böylece Güneş'ten çok uzakta tespit edilebilirler. Galaksimizdeki HII bölgelerinin gözlem yöntemi, düşük metal bolluğu içeren bölgelerdeki daha yüksek olan elektron sıcaklıklarının belirlenmesine dayanır ve bu nedenle disk boyunca radyal metal bolluğu gradyentinin incelenmesine olanak verir. HII bölgelerine dair geçmişte yapılmış çalışmalar elektron sıcaklıklarından hesaplanan pozitif Galaktik radyal gradyent olduğunu göstermektedir (Shaver ve diğ., 1983). Elektron sıcaklığı radyal gradyenti, metal bolluğu gradyenti olarak değerlendirilmektedir; bunun sebebi HII bölgelerindeki ısınma ve soğuma dengesinin C ve O gibi metal soğutucu bolluklarına duyarlı olmasıdır. Örneğin, elektron sıcaklığındaki yükselme O element bolluğunda azalmaya işaret eder. Bununla birlikte, elektron sıcaklığı ve metal bolluğu arasındaki ilişki, ağır elementlerin kompozisyonunun doğru bir şekilde belirlenmesine dayanır, bu da metal bolluğu tayinini daha belirsiz hale getirir (Rood ve diğ., 2007).

HII bölgelerinin uzaklıkları kinematik uzaklık olarak tanımlanan yöntem ile belirlenir. Bu yöntem, gözlenen radyal hızların Galaksi'nin rotasyon eğrisiyle karşılaştırılmasına dayanır ve diğer nesnelerin uzaklık tayinine göre daha az duyarlı sonuçlar verir. Uzaklık tayinindeki zorluklara rağmen, farklı araştırmacıların HII bölgelerinden itibaren, yaptığı çalışmalar sonucunda (Simpson ve diğ., 1995; Rudolph ve diğ., 2006; Rood ve diğ., 2007), Galaktik boylama bağlı olarak (Balser ve diğ., 2011), radyal metal bolluğu gradyentlerinin $-0.03 < d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} < -0.08$ dex/kpc aralığında değiştiği görülmüştür.

OB oymakları, erken tayf türündeki büyük kütleli ve büyük ışıma gücüne sahip yıldızlardan oluşmaktadır. Erken B tayf türünden anakol yıldızlarının kütleleri 10 $M_{\odot}$'ten daha büyük ve yaşları da 10 Myıldan küçüktür. Bu özelliklerinden dolayı Galaksi'nin bugünkü metal bolluğu dağılımının araştırılmasında sıklıkla kullanılırlar. Daflon ve Cunha (2004) Galaksi diskinde bulunan açık kümelere üye ve küme oymaklarıyla ilişkili OB tayf türünden yıldızları inceleyerek, Galaksi diskinden uzaklıklarıyla metal bolluğu dağılımını araştırmışlardır. Çalışmada tüm elementlerden elde edilen ortalama metal bolluğu değişimi Galaksi merkezinden $4.7 < R_{gc} < 13.2$ kpc uzaklık aralıkları için -0.042 ± 0.007 dex/kpc, O bolluğu için -0.031 dex/kpc olarak tayin edilmiştir. OB oymakları hakkında daha eski çalışmalara bakıldığında, radyal metal bolluğu gradyentinin -0.03 ile -0.07 dex/kpc arasında değiştiği görülmüştür (Smartt ve Olleston, 1997; Gummersbach ve diğ., 1998).

Gezegenimsi bulutsular, başlangıç kütlesi 0.8 $M_{\odot}$ ile 8 $M_{\odot}$ arasında olan yıldızların yaşantılarının sonunda dış zarflarını yıldızlararası ortama bıraktıkları yapılardır ve yaşları 30 Myıl ile 10 Gyıl arasında değişir (Maciel ve diğ., 2009). Gezegenimsi bulutsular, Galaksi diski, şişkin bölge ve haloda bulunurlar ve farklı Galaktik bileşenleri temsil ederler. Pasquali ve Perinotto (1993), gezegenimsi bulutsuların metal bolluğu ve uzaklıkları arasındaki ilişkiyi incelediğinde, metal bolluğu gradyentini -0.05 dex/kpc olarak hesaplamış ve günümüzde yıldızlararası ortamın daha homojen olduğunu belirtmişlerdir. Henry ve diğ. (2010) Galaksi merkezinden $R_{gc} \sim 20$ kpc'ye kadar uzaklıkta bulunan gezegenimsi bulutsuların verilerinden -0.058 ± 0.006 dex/kpc'lik eğim hesaplamış ve Galaksi diskinin dış bölgesi için eğimin daha dik olduğunu önermiştir. Stanghellini ve Haywood (2010), gezegenimsi bulutsulardaki oksijen bolluğundan itibaren gradyenti -0.023 ± 0.006 dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Çalışmalarında radyal metal bolluğu gradyentinin büyük kütleli ve kısa ömürlü yıldızlardan meydana gelen

gezegenimsi bulutsular için daha dik olduğunu, bunun sonucu olarak zamanla dikleşebildiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca Stanghellini ve Haywood (2010), metal bolluğu gradyentinin zamanla değişebileceğini veya değişmeden kalabileceğini, dolayısıyla metal bolluğundaki değişiminin farklı zamanlarda değişken bir evrim süreci geçirebileceğini belirtmişlerdir. Genç ve orta yaştaki yıldız popülasyonlarından (OB yıldızları, HII bölgeleri ve açık kümeler) elde edilen O ve Fe element bolluk gradyentleri genel olarak gezegenimsi bulutsulardan elde edilenler ile uyum içindedir.

Anakolda bulunan alan yıldızlarının sayıca fazla olması, bu nesnelerden itibaren geniş bir örnek için metal bolluğu değişiminin araştırılmasında avantaj sağlarken, mutlak parlaklıklarının büyük değerlerde olması uzak mesafelerden gözlenmelerine sınırlama getirmektedir. Coşkunoğlu ve diğ. (2012) RAVE DR3'teki anakol yıldızlarını kinematik kriterlere göre ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini $-0.02 \leq d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} \leq -0.05$ dex/kpc hesaplamışlardır. RAVE DR3'ten kırmızı yığın yıldızlarını seçen, kinematik ve yörünge parametrelerini hesaplayan Bilir ve diğ. (2012) radyal metal bolluğu gradyentlerini $+0.022 \leq d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} \leq -0.041$ dex/kpc vermiştir. Boeche ve diğ. (2013), Geneva-Copenhagen Taraması'nda tespit edilen yıldızların tayf verilerini kullanarak metal bolluğu gradyentini -0.065 dex/kpc, RAVE taramasındaki örneklerden itibaren de bu değeri -0.043 dex/kpc olarak vermiştir. Araştırmacılar her iki çalışmada da gradyentin Güneş çemberinin ötesinde duyarlı olmayabileceğini belirtmiştir. Recio-Blanco ve diğ. (2014), Gaia-ESO taramasındaki verilerden itibaren ince diskteki metal bolluğu gradyentini -0.058 dex/kpc hesaplamış ve kalın diskte belirgin bir gradyentin bulunmadığını tespit etmişlerdir. Boeche ve diğ. (2014) RAVE'deki dev yıldızlardan itibaren radyal metal bolluğu gradyentine -0.055 dex/kpc olarak hesaplamış ve metal bolluğu değişiminin Galaktik düzlemden daha uzakta bulunan örnek için düzleştiğini belirtmişlerdir. RAVE DR4'te F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını seçen Plevne ve diğ. (2015), yıldızların yörünge basıklığını ($e_p < 0.10$) ve Galaktik düzlemden dik uzaklıklarını dikkate alarak radyal metal bolluğu gradyentlerini $-0.028 \leq d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} \leq -0.083$ dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Önal Taş ve diğ. (2016) RAVE DR4'deki kırmızı yığın yıldızlarını seçerek Galaktik yörünge parametrelerini belirlemiş ve yörünge parametrelerine göre $-0.044 \leq d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{gc} \leq -0.089$ dex/kpc arasında değişen radyal metal bolluğu gradyentleri elde etmişlerdir.

Galaksi diskinin açık kümelerden itibaren belirlenen kimyasal yapısı, genel özellikleriyle diğer disk popülasyonlarından (OB yıldızları, HII bölgeleri, gezegenimsi bulutsular veya sefeidler) elde edilenlerle benzerlik göstermektedir. Sefeid yıldızları kullanılarak hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentinin Galaksi diskinin dış bölgesinde düzleştiği görülmektedir ki bu durum yaşlı açık kümelerden elde edilen ile benzerlik göstermektedir (Andrievsky ve diğ., 2004; Yong ve diğ., 2005). Edvardsson ve diğ. (1993) ve Nordstrom ve diğ. (2004) alan yıldızlarından itibaren elde edilen Güneş komşuluğundaki radyal metal bolluğu gradyentinin, karşılaştırılabilir yaşlardaki açık kümelerden elde edilen ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Yaş-metal bolluğu ilişkisi dikkate alındığında, alan yıldızlarından hesaplanan sonuçların karşılaştırılması daha zordur. Güneş komşuluğundaki alan yıldızları için yaş-metal bolluğu bağıntısını belirlemede birçok yöntem olmasına rağmen, yıldızların seçim kriterleri, yıldız sınıflamasındaki belirsizlikler ve tayf verilerinin indirgeme adımlarındaki farklılıklar sonuçların duyarlılığını doğrudan etkilemektedir (Feltzing ve diğ., 2001). Literatürde yaş ile metal bolluğu arasında bağıntılar verilmiş olmakla beraber, yaş tayinindeki belirsizliklerin büyük olması yaş-metal bolluğu ilişkisinin duyarlılığını azaltmaktadır (Reddy ve diğ., 2003; Nordstrom ve diğ., 2004).

Yukarıda sözü edilen tüm bu nesneleri incelemek ve astrofizik parametrelerini tayin etmek beraberinde bazı eksiklikler getirmektedir. Sefeid ve HII bölgeleri Galaksi diskinin sadece günümüzdeki özelliklerine sınırlama getirilmesine ve uzaklık tayininde geniş belirsizliklerin bulunmasına neden olabilirler. Gezegenimsi bulutsular disk evriminin erken zamanlarının tanımlanmasına yardımcı olur, fakat uzaklık hesaplarındaki büyük belirsizlikler bu nesnelerin Galaksi diskinin gerçek yapısının bu nesneler ile incelenmesine sınırlamalar getirmektedir. Açık kümeler bu tür eksiklikler ve belirsizliklerden çok etkilenmez, aksine Galaksi diskinin özelliklerinin ve evriminin anlaşılmasında tercih edilen benzersiz nesnelerdir. Bununla birlikte, yıldızlardaki birçok element bolluğunun tayin edilmesinde de kullanılabilirler. Açık kümeler geniş bir uzaklık aralığında bulunduklarından, yaş ve uzaklıklarının duyarlı şekilde tayin edilmesi göreceli olarak daha kolaydır, bu da Galaksi diskinin özelliklerinin anlaşılmasında belirleyici olur.

2.3. GALAKSİ DİSKİ'NİN KEMODİNAMİK MODELLERİ

Eggen ve diğ. (1962), Galaksi'nin yapısı ve kimyasını bir arada değerlendirerek Galaktik arkeolojinin ilk çalışmasını literatüre kazandırmışlardır. Araştırmacılar, Güneş civarındaki yıldızların fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerini analiz ederek Galaksi'nin metalce fakir bir bulutun yüz milyon yıl mertebesinde hızlı bir şekilde çökerek oluştuğunu önermişlerdir. Artan gözlemsel veriler ile halodaki nesnelerin farklı yaş ve metal bolluklarında bulunduklarının gösterilmesiyle birlikte Searle ve Zinn (1978), Eggen ve diğ.'nin (1962) senaryosunun çeliştiğini belirtmişlerdir. Searle ve Zinn (1978) tarafından oluşturulan ve *Hiyerarşik Model* olarak adlandırılan bu senaryo günümüzde kabul edilmiş olup kozmolojik modeller ile uyum içindedir (Belokurov, 2013).

Galaksi evrim modelleri, Galaksimizde gözlemler sonucu elde edilen bulgular dikkate alınarak üretilirler. İlk çekirdek tepkimeleri büyük patlamayı takiben dakikalar içinde oluşur ve bu evrede sadece H, He ve Li elementleri üretilir (Gamow, 1946). Bu üç elementten daha ağır olanları ilerleyen süreçlerde yıldız çekirdeklerinde üretilmiştir (Burbidge ve diğ., 1957; Wallerstein, 1962).

Yıldızlar yaşamları boyunca çekirdeklerinde ürettikleri ağır elementleri ömürlerinin sonunda yıldızlararası ortama bırakarak bulundukları galaksiyi metalce zenginleştirir. Yıldızlararası ortamın metal bakımından zenginleşmesinde süpernova patlamalarının da önemli bir yeri vardır. Kütlesi 12 $M_{\odot}$'den büyük olan yıldızlar çekirdeklerinde karbondan (C) daha ağır elementleri üretebilecek sıcaklık ve basınca ulaşarak α-elementlerini (Mg, Ti, Ca, Si), oksijeni (O) ve demire (Fe) kadar ağır elementleri oluştururlar. Büyük kütleli yıldızlar oluştuktan yaklaşık birkaç yüzyıl sonra çekirdek çökmesi sonucunda Tip II süpernovası olarak adlandırılan şiddetli patlamalar ile ürettikleri bu ağır elementleri yıldızlararası ortama saçarlar. Yıldızlarda üretilen ağır elementlerin yıldızlararası ortama saçılmasını sağlayan bir diğer etken olay da süpernova patlamalarının farklı bir türü olan Tip Ia süpernovalarıdır. Bu patlamalar 12 $M_{\odot}$'ten daha düşük kütleli çift sistemlerde meydana gelmektedir. Düşük kütleli çift sistemlerde baş bileşen hayatını tamamlayan bir beyaz cüce ile nükleer evrimini sürdüren bir yoldaş yıldızdan oluşur. Yoldaş bileşen evrimsel süreci gereği Roche lobunu doldurarak beyaz cüce üzerine madde aktarır. Beyaz cüce etrafında biriken madde yeni bir nükleer füzyon oluşumunu başlatır ve nükleer bir patlama sonucunda yıldızlararası ortam α-elementlerinden ziyade demir elementlerince zenginleşir. Tip Ia süpernovası olarak patlayan bu sistemler Tip II süpernovası

gibi büyük kütleye sahip değildirler ve daha uzun süreçlerde meydana gelirler.

Sonuç olarak, basit bir yıldız popülasyonu içeren kapalı bir sistem dikkate alındığında, yıldızlararası ortamda yıldızların erken evrim aşamasında α-elementleri ve demir bakımından, daha sonra sadece etkin olarak demir bakımından zenginleşme meydana geldiği görülür. Daha karmaşık yıldız popülasyonu içeren sistemlerde, [Fe/H] ve [α/Fe] oranları yıldızların oluştuğu ortamın karmaşık yapısı ve Galaksi evriminin hangi sürecinde oluştukları hakkında bilgi verir. Farklı yıldız oluşum oranları birçok elementin Galaksi boyunca dağılımı hakkında bilgi vermek ile birlikte, Galaksi'nin yaşantısı boyunca metal bolluğunun değişiminin incelenmesine de olanak verir.

Günümüzde Samanyolu'nun kimyasal evrim modellerini üreten birçok araştırmacı bulunmaktadır. Galaksi'nin bugünkü gaz ve yıldız yoğunluğu, yıldız oluşum oranları, erken tip yıldızlar, genç disk nesneleri ve kütle fonksiyonunun gözlemleri sonucunda elde edilen bulgular, kimyasal evrim modellerinin duyarlı sonuçlar üretmesini sağlamaktadır. Modeller gün geçtikçe güncellenmesine rağmen, mevcut gözlemlerin eksikliğinden dolayı tam olarak sınırlama getirilmemiştir. Bununla birlikte, genellikle kabul gören temel gözlemsel bağıntılar, farklı model parametrelerinin bir araya getirilmesiyle yeniden üretilebilir. Yıldız oluşum oranı, bu oranın toplam gaz ve yoğunluğa bağlılığı, başlangıç kütle fonksiyonu, Galaksi'nin içine ve dışına doğru akan gazın oranı ve kimyasal kompozisyonu gibi girdiler kimyasal evrim modellerinde temel serbest parametrelerdir. Radyal bolluk gradyenti, örneğin, gaz veya toplam kütleyle değişen bir yıldız oluşum oranına sahip herhangi bir model tarafından üretilebilirken, eğimi büyük ölçüde değişime uğrar.

Açık kümeler Galaksi'nin kimyasal evrim modellerinin anlaşılmasında kullanılan temel nesnelerden biridir. Galaksi merkezinden artan uzaklık ile metal bolluğundaki azalma, küme yaşıyla metal bolluğu arasında bir ilişkinin bulunmaması, Galaksi diski boyunca metal bolluğundaki saçılma gibi bulgular farklı türden nesnelerin gözlemlerinin sonuçlarından da elde edilmesine rağmen, açık kümeler Galaksi'nin kimyasal evrim modellerine sınırlamalar getirmektedir. Açık kümelerin geniş bir yaş aralığında bulunmaları, Galaksi'nin farklı dönemlerindeki metal bolluğu değişimlerinin incelenmesine olanak verir. Yıldız oluşum oranları, metalce zenginleşme süreçleri ve Galaksi diskinin farklı bölgelerinde çöken gaz miktarını dikkate alarak oluşturulan kimyasal evrim modelleri, Samanyolu'nun kimyasal yapısının zamanla değişimini üretebilir (Tosi, 1988a).

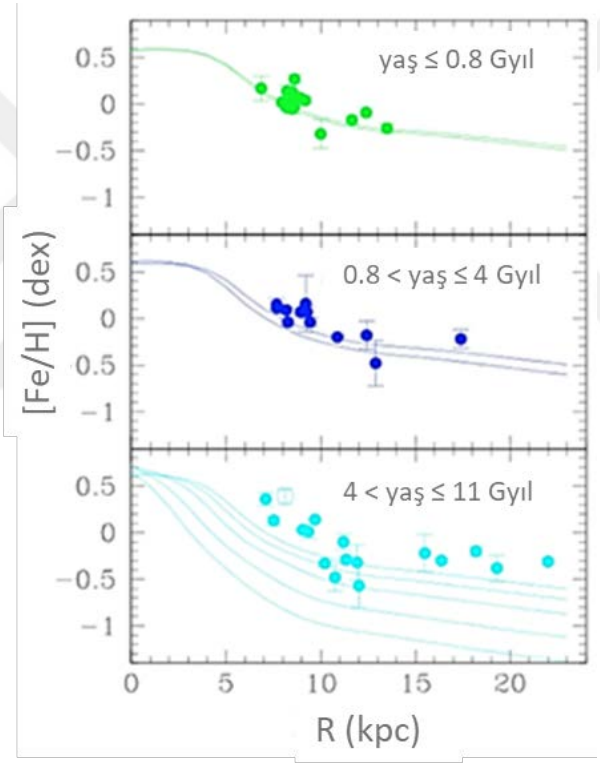
Magrini ve diğ. (2009), Galaksinin kimyasal evrim modellerinin iki gruba ayrılabileceğini belirtmişlerdir: *i*) Zamanla dikleşen bir metal bolluğu gradyenti üreten modeller (Tosi, 1988b; Chiappini ve diğ., 1997, 2001), *ii*) zamanla düzleşen metal bolluğu gradyenti üreten kimyasal evrim modelleri (Mollá ve diğ., 1997; Portinari ve Chiosi, 1999; Hou ve diğ., 2000). İki grup arasındaki temel fark, yıldız oluşum oranı olarak tanımlanan, Galaksi diskinin iç ve dış bölgelerindeki kimyasal zenginleşme süreçlerinin etkinliği ve halodan Galaksi diskine çöken maddenin doğasından kaynaklanmaktadır. Zamanla dikleşen metal bolluğu gradyenti üreten modellerde, Galaksi diskinin dış bölgesi daha önce oluşan şişkin bölgenin ilk evrimiyle metalce ön-zenginleşme geçirmiş ve oluşumun ilk 1 Gyıllık zaman zarfında metal bolluğu Galaksi diskindeki düşük yıldız oluşum oranlarından (SFR) çok az etkilenmiştir. Galaksi merkezinden artan uzaklık ile çökme hızla azaldığından, metalce fakir maddenin büyük kısmı Galaksi diskinin dış bölgesinden ziyade daha çok merkez bölgesinde yoğunlaşmıştır. Böylece, başlangıçta pozitif ve daha dik bir metal bolluğu gradyenti meydana gelmiştir. Halonun çökme süreci sona erdiğinde, Galaksi diskinin iç bölgesindeki metal bolluğu değeri diskin dış bölgesine göre daha hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Bunun sebebi, küçük bölgedeki (Galaksi diskinin iç bölgesi) yüksek SFR ve geniş ölçekte (Galaksi diskinin dış bölgesi) devam eden gazdaki seyrelmenin birleşimidir ki bu durum metal bolluğu gradyentini negatife çevirmiştir. Galaksi diskinin dış bölgesinde zamanla düzleşen metal bolluğu gradyenti gösteren modellerde, Galaksi diskinin iç bölgesinde başlangıçta süregelen güçlü yıldız oluşum aktivitesi ve çöken metalce fakir gaz kompozisyonu Galaksi merkezine yakın bölgelerde metal bolluğunda hızlı bir artışa sebep olmuştur. Galaksi diskinin iç bölgelerinde metal bolluğu hızla artmış ve bu bölgedeki evrim ilk 2-3 Gyıllık sürecinde son değerlerine ulaşmıştır. Buna karşın Galaksi diskinin dış bölgesinin metalce zenginleşmesi daha yavaş ilerlemiş, bu süreç de radyal metal bolluğu gradyentinin düzleşmesine sebep olmuştur. Bu gruptaki modellerde farklı çökme oranları kabul edilmektedir: Halo bölgesinin hızlı, tek tür bir çökmeyle Galaksi diskini oluşturduğu veya zamanla seyrelen gaz veya yıldızlararası ortamdaki gazın çökmesinin sürekliliği sonucu birbirini takip eden Galaksi disk oluşumu. Modellemelerde kullanılan bu olasılıklar ve oranlar metal bolluğu gradyentinin farklı zaman süreçlerindeki evrimini üretir. Modellemeler sonucunda, metal bolluğu değişiminde hızlı bir şekilde düzleşme veya metal bolluğu eğiminde herhangi bir değişime sebep olmayan tek tür bir artış görülmektedir. Bu durumda Galaksi diskinde farklı yaşlardaki metal bolluğu gradyentlerinin çözümü birçok farklı evrimsel senaryonun anlaşılması açısından önemlidir.

Galaksi evrimiyle ilgili üretilen güncel modeller, Samanyolu'nun kimyasal yapısıyla birlikte dinamik etkinliğini de dikkate almaktadır. Galaksi'nin spiral yapısı, diskteki yıldızları ve gaz dinamiğini etkilemektedir. Güneş'ten yaklaşık 1 kpc uzaklıkta gaz yoğunluğundaki halka benzeri yapı ilk defa Kerr (1969) tarafından gözlenmiştir. Spiral dalga teorisi ve hidrodinamik sayısal benzetimler, gazın dönme hızının spiral yapının hızına eşit olduğu Galaksi'nin eş dönme yarıçapında düşük yoğunluklu gazın olduğunu göstermektedir. Galaksi diskinin iç ve dış bölgeleri arasında yer alan bu *bariyer*, eş dönmelerin olduğu bu bölgelerde farklı yıldız oluşum oranlarına ve metal bolluğu gradyentinde bir süreksizliğe neden olabilir (Amores ve diğ., 2009; Lepine ve diğ., 2014b). Simpson ve diğ. (1995) HII bölgelerini, Twarog ve diğ. (1997) açık kümeleri, Smartt ve Rolleston (1997) B yıldızlarını ve Caputo ve diğ. (2001) sefeid yıldızlarını inceleyerek Galaksi'nin eş dönme bölgesinde metal bolluğundaki süreksizliği belirtmişlerdir.

Magrini ve diğ. (2009), açık kümelerdeki yıldızların yüksek çözünürlüklü tayflarından itibaren Galaksi'nin metal bolluğu gradyenti problemini ele almışlardır. Araştırmacılar, Galaktik kimyasal evrim modeli için en iyi uyumun Galaksi'nin içten-dışa oluşum senaryosunu desteklediğini belirtmişlerdir. Eksponansiyel kanunla ifade edilen çöken gaz, $R_{gc} < 12$ kpc civarındaki bölgede hızlı bir çökme, daha dış bölgelerde ise homojen bir gaz birikimi oluşturur. Galaksi'nin iç bölgeleri hızlı gaz çökmeleri ve SFR'den dolayı hızlı bir evrim geçirirken, dış bölgeleri daha yavaş bir evrim geçirir. Galaksi diskinin dış bölgesindeki metal bolluğu homojen bir şekilde arttığından, metal bolluğu gradyentinde bir değişim meydana gelmez. Bununla birlikte, Samanyolu'nda geçmişte olası galaksi birleşmeleri, Galaksi diskinin dış bölgesinde yaşlı açık kümeler incelenerek belirlenen metal bolluğundaki düzlüğü açıklayabilir (Chiappini ve diğ., 2001). Şekil 2.14'te Chiappini ve diğ.'nin (2001), farklı yaşlardaki açık kümelerden belirlenen radyal metal bolluğu gradyentlerinin Galaktik kimyasal evrim modelleriyle karşılaştırılmaları verilmiştir. Şekil 2.14 incelendiğinde, modellerin genç açık kümeler için uyumlu olduğu, fakat disk oluşumunun erken dönemlerini temsil eden yaşlı açık kümeler için uyumun bozulduğu görülmektedir.

Yong ve diğ. (2005) Galaksi diskinin dış bölgesinde metal bolluğu değişiminin görülmeme sebebini detaylıca incelemiştir. Araştırmacılar, Chiappini ve diğ.'nin (2001) ürettikleri modelin $R_{gc} = 12$ kpc'nin ötesindeki düzlüğü ve [α/Fe] ile [Eu/Fe] oranlarını iyi bir şekilde temsil etmesine rağmen, Galaksi diskinin dış bölgesinin halo oluşumundan kalan gazdan meydana gelmiş olduğu hipotezinin göz ardı edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Açısal momentum

korunumu ve metal bolluğu modeli, Galaksi diskinin dış bölgesinin oluşumu için farklı element üretim süreçlerini gerektirmektedir. Yong ve diğ.'de (2005), Galaksi merkezinden 12 kpc ötede, Galaksi'nin dış bölgesinin önemli ölçüde galaksi birleşmelerine maruz kaldığı ve bu bölgelerde bulunan açık kümelerin birleşmeler sonucunda meydana geldikleri önerilmesine rağmen, Carraro ve diğ.'de (2007) bu durum kabul edilmemektedir. Lepine ve diğ. (2011) literatürdeki verilerden farklı bir metal bolluğu dağılımı önermişlerdir. Araştırmacılar, Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığını 7.5 kpc kabul ederek, Galaksi diskinin iç ve dış bölgelerinde düz metal bolluğu dağılımını ayıran boşluğun R_{gc} = 8.5 kpc uzaklıkta açıkça belirdiğini ve bunun dinamik bir süreç ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.14: Farklı yaşlarda ve farklı uzaklıklardaki açık kümelerin uzaklıklarına göre metal bolluğu dağılımları. Kümelerin metal bollukları yüksek çözünürlüklü tayflardan elde edilmiş ve Galaktik kimyasal evrim modelleriyle (Magrini ve diğ., 2009) karşılaştırılmıştır. Panellerde farklı yaş aralığındaki açık kümeler için metal bolluğu dağılımları gösterilmiştir. Üst panelde, 0 ve 1 Gyıl, orta panelde 1-4 Gyıl ve alt panelde 4, 6, 8, 10, 11 Gyıl öncesi için üretilen kimyasal evrim modelleri gözlemler ile karşılaştırılmıştır.

Açık kümeler dikkate alındığında, Galaksi merkezinden artan uzaklık ile negatif metal bolluğu gradyentinin gösterimi, Galaksi oluşumunun erken dönemlerinde diskin iç bölgesinde yüksek yıldız oluşum oranlarından kaynaklanmaktadır. Bu durum Galaksi diskinin dış bölgelerinde

gradyentin belirgin bir şekilde düzleştiği durumla ilişkilendirildiğinde, Galaksi diskinin içten-dışa oluşumunu kullanan modeller tercih edilmektedir. Radyal doğrultuya bağlı gazın çökmesi, diskin dış bölgelerinde düzgün bir gaz yığılmasıyla birlikte, Galaksinin iç bölgelerinde (R_{gc} < 12 kpc) hızlı bir çökmeye sebep olur. Galaksinin iç bölgeleri etkin yıldız oluşumuyla değerlendirildiğinde, erken zamanda daha dik gradyent belirlenirken, Galaksi diskinin dış bölgesinde çöken gazın metalce fakir olması ve düşük yıldız oluşum oranı düz ve yavaş gelişen gradyentin devamlılığına katkıda bulunur. Bununla birlikte, Magrini ve diğ.'de (2009) belirtildiği gibi, Galaksi diskinin dış bölgelerinde daha düz bir gradyent üretebilmek için sürekli bir madde katılımı gerekmektedir. Bu durum, gözlenenden daha fazla yıldız oluşumu ve metalce zenginleşmeyle sonuçlanır. Araştırmacılar, Galaksi diskinin dış bölgesinin geçmişte yıldız oluşum oranını etkilemeyen, metalce zenginleşmiş madde sağlayan bir birleşmenin sonucu olabileceğini belirtmektedirler.

Son yıllarda üzerinde durulan ve Galaksi kimyasal evrim modelleri oluşturulurken dikkate alınan bir diğer konu da radyal göç olayıdır. Tüm bu modellerin yorumlanmasındaki zorluklar, diskteki yıldız ve yıldız sistemlerinin radyal göçün potansiyel etkisinin göz önünde bulundurulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Roskar ve diğ. (2008), radyal göçün Galaksi diskine etkileri üzerine yapılan dinamik sayısal benztimler sonucunda, yıldızların, geçiş yapan spiral kollar ile rezonans saçılmasından dolayı Galaksi merkezinden farklı uzaklıklara göç ettiklerini, bununla birlikte çember yörüngelerini koruduklarını belirtmişlerdir. Roskar ve diğ.'ne (2008) göre, Güneş civarındaki yıldızların yaklaşık yarısı Galaksi diskinin daha iç veya dış bölgelerinde oluşmuşlardır. Bu durumda, modeller oluşturulurken yıldızların radyal hareketlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Metal bolluğu gradyentinin eğimi, yıldız popülasyonunun yaşının artmasıyla azalmaktadır çünkü radyal göç yaşlı popülasyonlarda daha fazla karışıma sebep olmakta, bu durum da erken zamanlarda daha düz bir metal bolluğu gradyentinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Schönric ve Binney (2009), oluşturulan yıldız göç modeliyle beraber küçük çaplı spiral geçişlerin eş-dönmesi boyunca açısal momentum değişimini ve çember yörüngelerde bulunmayan yıldızlar tarafından sürüklenen yarıçap aralığını hesaba katar ve daha önceden oluşmuş bir diski ısıtmak için birleşme olayı gerektirmeyen, diskin sürekli bir şekilde gelişmesiyle kalın bir disk yapısının ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, Lepine ve diğ. (2011), modellerinde çubuk ve spiral yapılar gibi eksene-simetrik olmayan yapıların dikkate alınmadığını, eş-dönme gösteren yarıçapta metal bolluğu gradyentlerinin güvenilir bir şekilde üretilemeyeceğini göstermişlerdir.

Minchev ve diğ.'nin (2013) modeli, Galaksi'nin günümüzdeki gözlenen özelliklerini ortaya koymak için erken evrede gaz bakımından zengin bileşeni içeren dinamik sayısal benzetimlere dayanmaktadır. Çalışmanın sonucunda, radyal göçün zamanla metal bolluğu gradyentini ortadan kaldıracağı belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, Güneş'in metal bolluğu ve bugünkü konumunun 4.4 kpc ile 7.7 kpc arasındaki en olası doğum yarıçapıyla uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Radyal göçün Galaksi diskinin evrimi üzerindeki etkisi halen tartışmalı olup teorik ve gözlemsel verilerin bir arada değerlendirilmesiyle bu etkilerin bir bütün halinde incelenmesini gerektirmektedir. Modeller her ne kadar yıldızlar için yorumlanmış olsa da, yapılan sayısal benzetimler radyal göç mekanizmalarının yıldız kümelerini de etkilediğini göstermiştir. Araştırmacılar, radyal göç etkisinin alan yıldızları ve açık kümelerin yaş-metal bolluğu ilişkisindeki zayıf uyumu ve saçılmayı açıklayabileceğini, radyal metal bolluğu gradyentinin evrimi ve şekliyle ilgili çıkarım yapılabileceğini belirtmişlerdir. Radyal göç, yaşlı popülasyonlarda daha çok karışıma sebep olur, bu da erken zamanlarda daha düz bir metal bolluğu gradyenti oluşturur. Radyal göç olayı yıldız popülasyonlarının bugün gözlenen özelliklerini doğdukları yerlerden ve doğum şartlarından ayrıştırmakla birlikte, açık kümelerin Galaktik bağlamda özelliklerinin anlaşılmasında önemlidir.

Eş-dönme bariyeri yıldızlara değil, sadece gaz üzerine etki eder. Eliptik yörüngelerde hareket eden yıldızlar eş-dönme yarıçapını geçebilirler. Bununla birlikte, çember yörüngelerde dolanan yıldızlar eş-rotasyon yarıçapı boyunca dağılmıştır (Sellwood ve Binney, 2002; Lepine ve diğ., 2003); kısa süreli geçiş yapan yoğunluk spiral dalgalarıyla resonant etkileşimlerinden dolayı yıldızların büyük uzaklıklarda bulunabileceği, böylece doğal olarak kimyasal bariyeri geçebileceği belirtilmiştir. Yıldızların bu göç mekanizmasının etkinliği yaş-metal bolluğu arasındaki ilişkinin yaşlı yıldızlar için bulunmamasını açıklamakta (Edvardsson ve diğ., 1993) ve düzleşen bir metal bolluğu gradyentine sebep olmaktadır.

Açık kümeler için radyal göç modellerinin geliştirilmesi ve dinamik süreçlerin radyal dağılımı etkilemesi tartışmalıdır. Wu ve diğ. (2009), açık kümelerin doğdukları bölgeden çok fazla hareket etmediklerini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Magrini ve diğ. (2010), açık kümelerin Galaksi merkezinde doğdukları ve şimdiki uzaklıkları dikkate alınarak elde edilen metal bolluğu gradyentlerinin çok farklı sonuçlar vermediğini söylemişlerdir. Heiter ve diğ. (2014) farklı Galaksi kimyasal evrim modellerini açık küme verileriyle karşılaştırmak için kullanmışlardır. Çalışmada, açık kümeler için metal bollukları literatürden sağlanmış olup

homojen olmayan veriler içermektedir. Heiter ve diğ.'nin (2014) kullandıkları Galaksi kimyasal evrim modelleri kapsamlı olmadıkları gibi, açık kümelerin radyal metal bolluğu gradyentinin oluşturulmasında da başarılı olmamıştır.

2.4. GALAKSİ OLUŞUM VE EVRİMİNDE AÇIK KÜMELERİN ÖNEMİ

Galaksi'nin oluşum ve evrimiyle ilgili düşünceler son 20 yılda büyük ölçüde gelişmiştir. Galaksi'nin oluşumu ve evrimiyle ilgili iki alternatif görüş, gözlemsel sınırlamaların dikkate alındığı başlıca yapıyı sunmaya devam etmektedir: Genel olarak halo oluşumu, bunu takip eden disk oluşumu, Galaksi'nin kendi çekim kuvveti etkisinde devam eden çökmeyi ve soğuk karanlık maddenin baskın olduğu kozmolojideki düzenli yığılma ve uydu galaksilerin devam eden birleşmesidir (Eggen ve diğ., 1962; Majewski, 1993; Freeman ve Bland-Hawthorn, 2002). Samanyolu içinde birleşme konusunda çok sayıda doğrudan gözlemsel kanıt bulunmakta ve geçmiş olayların farklı dinamik ve kimyasal izlerini bırakmaları, Galaksi'nin oluşumu ve evriminin ayrıntılı tarihini araştırmak ve hatta yeniden yapılandırmak için temel bir araç haline gelmektedir.

Galaksi diskinin oluşumu sürecinde aşamalı çökmeyi takiben, gaz diskin kendini düzenleyen kimyasal ve dinamik evrimi sonucunda açık kümeler çok erken zamanlarda oluşmuşlardır. Bu durum NGC 6791 ve Berkeley 17 gibi kümelerin varlığıyla kanıtlanmıştır. Kümeler, genel yıldız oluşum süreciyle meydana gelmeye devam ettiklerinden bu nesneler Galaksi diskinin yapısının ve kimyasal özelliklerinin değişimlerini temsil eder. Bununla birlikte, Galaksi diskinin dinamik yapısı, kümelerin molekül bulutlarıyla karşılaşmaları, spiral kolların geçişi ve genel çekim alanları gibi sebepler ile bozulur. Küme oluşumu ve dinamik süreçler arasındaki çekimsel etkileşmeler, Galaksi'deki yıldız popülasyonlarının gerçek dağılımını yansıtmaz.

Galaksi merkezinden artan uzaklık ile metal bolluğunun azalması, kümelerin Galaksi düzleminden dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyenti göstermemesi ve radyal metal bolluğu gradyentiyle küme yaşları arasında bir ilişkisinin bulunmaması, Galaksi diskinin evrimi ve yıldız oluşumuyla ilgili bilgilere ulaşılmasını sağlar. Galaksi diskindeki açık kümelerin yaş ile metal bollukları arasında bir ilişkinin bulunmaması, en yaşlı kümelerin genç olanlara göre metalce fakir molekül bulutlarından oluşması, yıldızlararası maddenin kimyasal yapısının homojen olmadığını göstermektedir.

Galaksi'nin içten dışa oluşum senaryosu dikkate alındığında, açık kümeler Galaksi diskinin iç ve dış bölgelerinin araştırılmasında kullanılan en önemli nesnelerdir. Galaksi diskinin dış bölgelerine gidildikçe kümelerin medyan yaş değerlerinin azalması ve disk sınırında bulunan genç açık kümelerin keşifleri bu bölgelerde yıldız oluşumunun sürdüğünü göstermektedir (Hunter ve diğ., 2016). En yaşlı kümelerin Galaksi merkezinden itibaren $10 < R_{gc} < 11$ kpc aralığında bulunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, açık kümeler artan R_{gc} ile yaş arasında bir ilişkiye dair güçlü bir kanıt göstermezler ve Galaksi diskinin dış bölgesinde bulunan kümelerin ortalama yaşları genel olarak daha büyüktür. Bu durumun sebebi, Galaksi diskinin dış bölgesinde genç açık kümelerin bulunmaması değil, bu bölgedeki kümelerin Galaksi içinde daha az etkileşmeleri ve yapılarını koruyarak daha uzun süre yaşayabilmeleri olarak belirtilmiştir.

Galaksi diskinin dış bölgelerinde moleküler gazın varlığıyla yıldız kümelerinin oluşumuna dair gözlemsel kanıtlar bulunmaktadır. Galaksi merkezinden $13 < R_{gc} < 20$ kpc uzaklık aralığında, Galaktik düzlemdeki yoğun yıldızlararası ortamda gömülü çok sayıda küme bulunmuştur. Bu bölgede açık kümeleri içeren düşük gaz yoğunluklu molekül bulutları, Galaksi'nin iç bölgelerindeki molekül bulutlarıyla benzerlik gösterirler, bu da Galaksi diski boyunca yıldız kümelerinin oluşum süreçlerinin birbirine benzer olduğunu ortaya koyar (Yun ve diğ., 2009). Galaksi diskinin en dış bölgelerinde devam eden küme oluşumu, aşamalı olarak gelişen bir diskin varlığına dair görüşleri desteklemektedir.

Galaksi merkezinden yaklaşık $R_{gc} = 20$ kpc uzaklıktaki birçok açık kümenin keşfedilmesi (Be 29, Saurer 1), uzak açık kümelerin birleşme süreçlerini takip ettiklerine dair düşünceleri ortaya çıkarmıştır. Bilinen en uzak iki açık kümenin, Berkeley 29 ve Saurer 1, Galaksi içinde bulundukları konum ve hızlarının bozunan bir galaksideki akıntı modelleriyle uyumlu olduğu görülmüş ve bu iki kümenin Sagittarius cüce galaksisinden gelmiş olabileceği belirtilmiştir (Carraro ve Bensby, 2009). Diğer galaksilerden gelen açık kümelerin farklı metal bolluklarında olması, Galaksi'nin kendi içindeki evrimini doğrudan etkilemekte ve izole Galaksi modellerinin açıklamasını zorlaştırmaktadır.

Galaksi merkezinden $R_{gc} = 10$ kpc uzaklıktaki alan devleri ve beş açık kümede bulunan kırmızı yığın yıldızların yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinin analizini yapan Yong ve diğ. (2005), farklı elementlerin bolluklarını ve kimyasal özelliklerini belirleyerek, dış Galaksi diskindeki açık küme ve alan yıldızlarının Galaktik popülasyondan farklı bir oluşum ve element üretim

süreci geçirdiklerini belirlemişlerdir. Bu bulgulardan, dış Galaksi diskinin birleşmeler sonucu meydana gelebileceğini ileri sürmüşlerdir. Frinchaboy ve diğ. (2004), Galaksi'nin dış bölgesindeki yıldız özelliklerinin cüce uydu galaksinin gel-git etkileri sonucundaki katılımlardan ileri geldiğini, bu bölgede bulunan açık kümelerin bir veya birden çok katılım olayları geçirmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Carraro ve diğ. (2007) Galaksi diskinin dış bölgesinde açık kümelerin kimyasal özelliklerini incelemeleri sonucunda, bu kümelerin Galaksi dışı katılımlarla meydana geldiğine dair güçlü bir kanıt bulamamıştır. Araştırmacılar, bu kümelerin duyarlı öz hareket ölçümlerinin kinematik özelliklerinin anlaşılmasında yardımcı olacağını ve dış diskte bulunan kümeler ile ilgili önemli bilgilere ulaşılabileceğini önermişlerdir.

Cüce galaksiler farklı yaşta çok sayıda yıldız kümeleri bulundururlar ve Samanyolu'yla birleşmekte olan Sagittarius cüce galaksisi en az yedi küresel küme içermektedir. Sagittarius kümeleri, Galaksinin etrafındaki yörüngelere uygun bir dağılım göstermektedirler. Dış Galaksi diskindeki açık kümelerin galaksi birleşmeleriyle ilişkili olup olmadığı halen belirsizliğini korumaktadır.

SDSS ile yüksek Galaktik enlemlerde yapılan fotometrik gözlemler sonucunda keşfedilen Canis Major cüce galaksisinin Samanyolu'yla birleşmesine dair deliller Galaksinin yapısıyla ilişkili olan yıldız kümelerinin tanımlanmasına fırsat verir (Yanny ve diğ., 2003; Crane ve diğ., 2003; Conn ve diğ., 2005; Bellazzini ve diğ., 2006). Monoceros halkası olarak bilinen geniş yıldız alanı, Galaktik boylamda yaklaşık 100°'lik bir uzanımda, Galaksi diskinin dış bölgesiyle yaklaşık aynı düzlemde, ortalama yarıçapı Galaksi merkezinden itibaren yaklaşık 13-16 kpc olan bir bölgedir. Bu yapının Galaksinin dış kolu, uydu galaksinin çekimsel etkisi veya çekimsel olarak etkileşen uydu galaksi kalıntısıyla literatürde birçok teoriyle açıklanabilecek çalışmaları bulunmaktadır. Galaksimizdeki dış etkileşimlerin ortaya konmasında yıldız kümelerinin önemi büyüktür.

Frinchaboy ve diğ. (2004), Monoceros halkası ve Galaksi diskinin dış bölgesinin yapısıyla ilişkilendirilebilecek, konum ve radyal hızları temel alan bir dizi açık ve küresel küme tanımlamıştır. Araştırmacılar, kümelerin düzlemsel dağılımlarını dikkate alarak, bir uydu galaksinin Samanyolu'yla etkileşebileceğine dair delilleri ortaya koymuşlardır. Galaksi diskinin dış bölgesindeki kümelerin radyal hız ve uzaklıklarının elde edilmesiyle birlikte, sadece bir kümenin, Tombaugh 2, konumu ve radyal hızının Canis Major sisteminin merkeziyle

uyumlu olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, Çok Büyük Teleskop'a (VLT, Very Large Telescope) bağlı GIRAFFE tayfçekerini ve inceledikleri kümenin *UBVRI* fotometrisini yapan Villanova ve diğ. (2010), Tombaugh 2 kümesine üye yıldızları belirleyerek element bolluklarını ve uzaklıklarını tayin etmişlerdir. Samanyolu için kabul edilen radyal metal bolluğu gradyentini dikkate alan araştırmacılar, Tombaugh 2'nin Galaksi'de bulunduğu konum ve ortalama metal bolluğunun aynı bölgede bulunan açık kümeler ile uyumlu olduğunu, herhangi bir dış galaksi etkileşimiyle Samanyolu'na katılmadığını göstermişlerdir. Fakat Galaksi diskinin dış bölgesindeki diğer kümelerin Galaksimizin çevresinde bulunan uydu galaksilerden gelip gelmediği belirsizliğini korumaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Doktora tez çalışmasında kullanılan açık kümeler Galaksi'nin özel bir doğrultusunda yer almakta olup, fotometrik verileri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin (TUG) T100 teleskobunda yapılan gözlemler sonucunda elde edilmiş ya da literatürde CCD *UBV* gözlemleri bulunan farklı çalışmalardan alınmıştır. Literatürden farklı olarak bu tez çalışmasında Galaksi merkezine göre zıt doğrultu seçilerek Galaksi diskindeki çekimsel tedirginliklerin nesnelerin kimyasal ve dinamik yapılarındaki değişimlere ve bulundukları konumlara etkilerinin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda incelenen açık kümelerin fotometrik analizleriyle hem açık kümelerin temel astrofiziksel parametrelerinin güncel yöntemler ile literatüre kazandırılması hem de hesaplanan bu parametreler ile Galaktik radyal metal bolluğu gradyenti araştırılmıştır.

Radyal metal bolluğu analizlerinde kullanmak üzere, Galaksi'nin I. ve II. çeyreğinde, $0^o < l < 180^o$ Galaktik boylam aralığında ve Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda $\Delta l = 10°$'lik uzanımda bulunan ve ülkemizden gözlenebilir konumlardaki açık kümeler tercih edilmiştir. TUG'da gözlemi yapılan kümelerin fotometrik verilerinin analizi için uygulanan yöntemler verileri literatürden alınan açık kümelerin yeniden analiz edilmesinde de kullanılmış, böylece homojen bir parametre seti oluşturulmuştur. Fotometrik veriler elde edildikten sonra küme doğrultusundaki yıldızların kümeye üyelik olasılıkları, kümelerin renk artıkları, metal bollukları, uzaklıkları ve yaşları hesaplanmış, böylece, tüm kümelere benzer işlemler uygulandığından sonuçlardaki yanlılıklar en aza indirgenmiştir. Bu da tez çalışmasında seçilen doğrultuda duyarlı radyal metal bolluğu gradyenti hesabının yapılmasına, Galaksi diskinin oluşumu ve evrimi üzerine sürdürülmekte olan kuramsal modellerin geçerliliklerinin sınanmasına imkân vermiştir.

3.1. VERİLER

Tez çalışmasında kullanılması planlanan açık kümelerin bir bölümünün ülkemizden gözlenebilir, literatürde CCD *UBV* çalışması bulunmayan ve/veya astrofizik parametreleri bu fotometrik sistemde tayin edilmemiş kümeler olmasına öncelik verilmiştir. Bunun için WEBDA[15] veri tabanında bulunan, gökyüzündeki konumları itibariyle ülkemizdeki teleskoplar

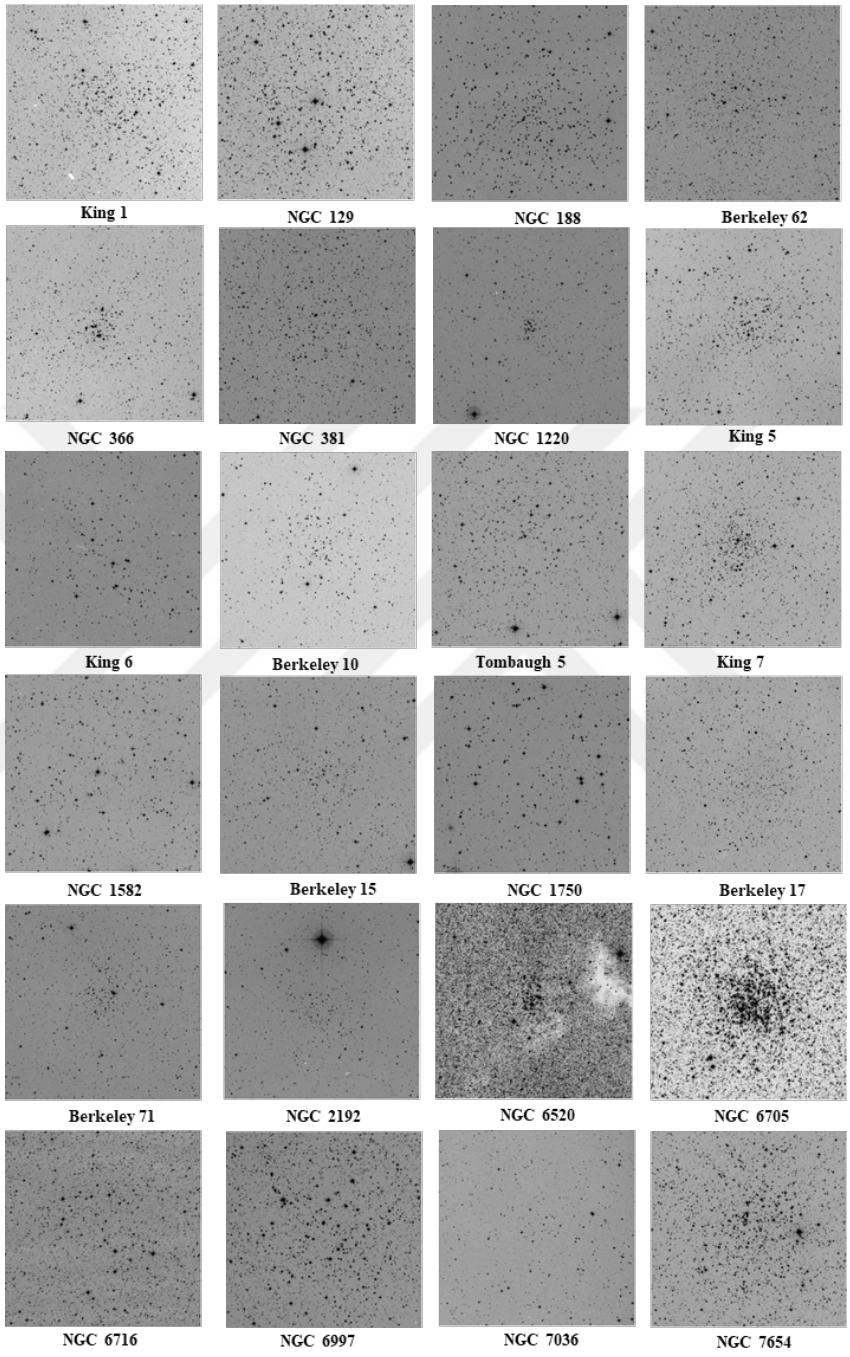
[15] https://webda.physics.muni.cz/navigation.html

ile gözlenebilen, tez çalışmasında Galaksi diskinin seçilen özel doğrultusunda yer alan 46 açık küme listelenerek CCD *UBV* fotometrik gözlemlerinin TUG'dan yapılması planlanmıştır.

Fotometrik verilerin duyarlılığı açık kümelerin astrofiziksel parametrelerinin hassas tayin edilmesinde önemlidir. Bu nedenle, gözlem verilerinin indirgenmesi ve fotometrik analizler sırasında gözlem gecelerindeki atmosferik şartlar dikkate alınmıştır. Böylece, söz konusu 46 açık küme içinden tez dönemi boyunca (2014 - 2018) gözlemi yapılan ve duyarlı fotometrik verileri elde edilebilen açık kümeler çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bununla birlikte, kümelerin fotometrik metal bolluğu tayini için kullanılan F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının kümelerde tespit edilebilmesi ve F tayf türünden yıldızların anakola gelmesi için yaklaşık 30 Myıl geçmesi gerektiğinden, 46 küme içinde yaşı 30 Myıl'dan küçük kümeler listeden çıkartılmıştır. Sonuç olarak, tez çalışmasında kullanılan, gözlemleri TUG'da yapılan küme sayısı 15 olmuştur.

TUG'da gözlemi yapılan kümelerin WEBDA veri tabanında kabaca verilen Güneş'e uzaklıkları ve Galaktik koordinatları kullanılarak her kümenin Galaksi merkezinden uzaklıklığı (R_{gc}) hesaplanmış ve bu kümelerin $7 < R_{gc} < 11$ kpc uzaklık aralığında bulundukları belirlenmiştir. Tez çalışmasında, Galaksi'nin seçilen bölgesi boyunca duyarlı radyal metal bolluğunun araştırılması için belirlenen açık kümelerin Galaksi merkezinden itibaren geniş bir uzaklık aralığında yer alması gerekmektedir. TUG'dan gözlemleri yapılan açık kümelerin sayı (15 küme) ve uzaklıkları ($7 < R_{gc} < 11$ kpc) dikkate alındığında büyük bir bölümünün Güneş civarında bulundukları görülmekte, bu da radyal metal bolluğu gradyent araştırmasının daha kısa bir uzaklık aralığından belirlenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, seçilen özel doğrultuda Galaksi merkezine göre farklı uzaklıklarda bulunan küme sayılarının arttırılması gerekliliği ortaya çıkmış ve incelenecek kümelerin bir kısmının literatürden sağlanmasına karar verilmiştir. Literatürden seçilecek kümeler için WEBDA veri tabanı taranarak, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda geniş bir uzaklık aralığında yer alan, literatürde özellikle CCD *UBV* çalışması bulunan ve/veya duyarlı astrofiziksel parametreleri elde edilmemiş 53 açık küme belirlenmiştir. Bu kümeler içinden duyarlı ve yeterli sayıda fotometrik verileri bulunanlar tez çalışmasında yeniden analiz edilmek üzere seçilmiştir. Böylece, tez çalışmasında CCD *UBV*

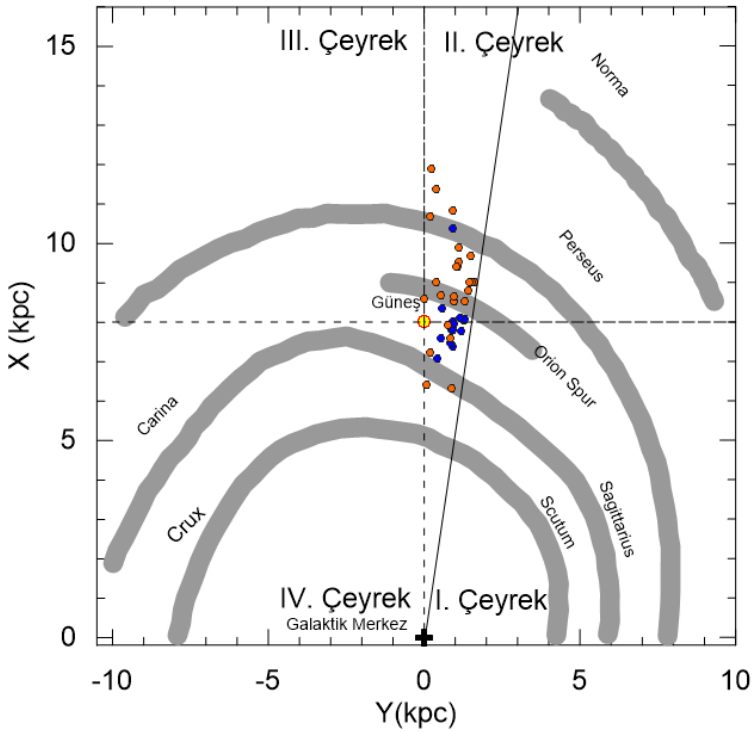
verileri literatürdeki farklı çalışmalardan alınan küme sayısı 24 olmuştur. 24 kümenin DSS veri Atlası'ndan[16] alınan, fotoğraf plaklarındaki alan görüntüleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: CCD *UBV* verileri literatürden alınan 24 açık kümenin fotoğraf plaklarıyla alınmış negatif görüntüleri.

[16] https://irsa.ipac.caltech.edu/data/DSS/

Sonuç olarak, doktora tez çalışmasında, Galaksi'nin I. ve II. çeyreğinde bulunan, astrofiziksel parametreleri homojen yöntemler ile belirlenen ve radyal metal bolluğu gradyenti araştırılmasında kullanılan açık küme sayısı 39 olmuş ve bu kümeler Tablo 3.1'de listelenmiştir. Ayrıca, bu 39 kümenin Galaktik koordinatları ve WEBDA'da hassas verilmeyen uzaklıkları dikkate alınarak, Galaksi düzlemindeki *X*, *Y* ve *Z* kartezyen koordinat sistemindeki uzaklıkları hesaplanmıştır. Açık kümelerin Galaksi düzlemi üzerindeki konumları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

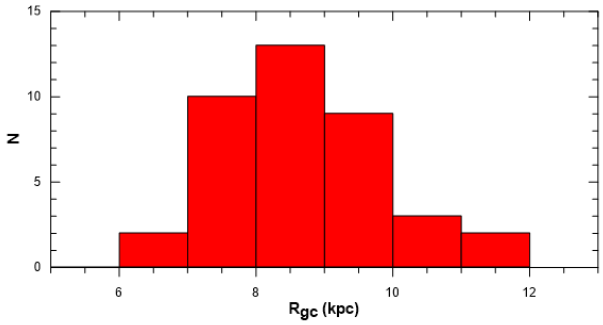


Şekil 3.2: Doktora tez çalışmasında Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda 10º'lik bir uzanım içinde, TUG'dan gözlemi yapılan açık kümeler ile birlikte, literatürde CCD *UBV* parlaklıkları bulunan açık kümelerin Galaktik kartezyen koordinat sistemindeki uzaklık dağılımları verilmiştir. Şekil üzerinde Güneş'in (⊙) ve Galaksi merkezinin (+) yerleri işaretlenmiş olup, aralarındaki uzaklık 8 kpc kabul edilmiştir (Majewski, 1993). Samanyolu'nun sarmal kolları da şekil üzerinde işaretlenmiştir (Xu ve diğ., 2009). Mavi ve kırmızı daireler, sırasıyla, TUG'dan gözlenen ve fotometrik verileri literatürden alınan kümeleri göstermektedir. Paneldeki kesikli ve kalın çizginin temsil ettiği alan, Galaksi merkezi-Güneş doğrultusu boyunca metal bolluğu gradyentinin radyal değişiminin araştırılacağı bölgeyi kabaca temsil etmektedir.

Kümelerin Galaksi merkezine göre uzaklıklarının (R_{gc}) histogramı oluşturulduğunda (Şekil 3.3) dağılımın $6 < R_{gc} < 12$ kpc aralığında bulunduğu ve çoğunlukla Güneş çemberinin hemen dışında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.1: Doktora tez çalışmasında kullanılan açık kümelerin listesi. Verileri Dias ve diğ.'nin (2002) kataloğundan alınmıştır. Sütunlarda, sıra numarası (Sıra), küme ismi, kümenin ekvatoral (α, δ) ve Galaktik (l, b) koordinatları, kümenin Güneş'e uzaklığı (d), Galaksi merkezine göre kartezyen koordinatlardaki konumları (X, Y, Z), kümenin Galaksi merkezine uzaklığı (R_{gc}) ve fotometrik verinin kaynağı verilmiştir.

Sıra	Küme	α (s:d:sn)	δ (° ´ ´´)	l (°)	b (°)	d (kpc)	X (kpc)	Y (kpc)	Z (kpc)	R_{gc} (kpc)	Kaynak
1	King 1	00 22 04	64 23 02	119.76	1.69	1.08	8.54	0.94	0.03	8.99	WEBDA
2	Stock 21	00 29 48	57 55 00	120.05	-4.83	1.10	8.55	0.95	-0.09	8.60	TUG
3	NGC 129	00 30 00	60 13 06	120.27	-2.54	1.63	8.82	1.40	-0.07	8.93	WEBDA
4	NGC 225	00 43 39	61 46 30	122.01	-1.08	0.66	8.35	0.56	-0.01	8.37	TUG
5	NGC 188	00 48 26	85 15 18	122.84	22.38	2.05	9.03	1.59	0.78	9.20	WEBDA
6	Berkeley 62	01 01 07	63 56 06	123.98	1.10	1.84	9.03	1.52	0.04	9.15	WEBDA
7	NGC 366	01 06 32	62 13 26	124.68	-0.59	1.79	9.02	1.47	-0.02	9.13	WEBDA
8	NGC 381	01 08 20	61 35 02	124.94	-1.22	1.15	8.66	0.94	-0.02	8.71	WEBDA
9	NGC 1220	03 11 41	53 20 49	143.04	-3.96	1.80	9.43	1.08	-0.12	9.50	WEBDA
10	King 5	03 14 46	52 41 49	143.74	-4.27	1.90	9.53	1.12	-0.14	9.59	WEBDA
11	King 6	03 28 04	56 27 30	143.36	-0.08	0.87	8.70	0.52	0.00	8.71	WEBDA
12	Berkeley 10	03 39 36	66 29 24	138.61	8.90	2.29	9.70	1.50	0.35	9.82	WEBDA
13	Tombaugh 5	03 47 48	59 03 00	143.94	3.57	1.75	9.41	1.03	0.11	9.47	WEBDA
14	King 7	03 59 07	51 46 55	149.77	-1.02	2.20	9.90	1.11	-0.04	9.96	WEBDA
15	NGC 1582	04 32 15	43 50 43	159.30	-3.04	1.10	9.03	0.39	-0.06	9.04	WEBDA
16	NGC 1605	04 34 55	45 16 30	158.57	-1.57	2.56	10.38	0.93	-0.07	10.42	TUG
17	Berkeley 15	05 02 07	44 30 43	162.27	1.61	3.00	10.86	0.91	0.08	10.90	WEBDA
18	NGC 1750	05 03 55	23 39 30	179.18	-10.69	0.63	8.62	0.01	-0.12	8.62	WEBDA
19	Berkeley 17	05 20 37	30 35 24	175.65	-3.65	2.70	10.69	0.20	-0.17	10.69	WEBDA
20	Berkeley 71	05 40 57	32 15 58	176.63	0.90	3.90	11.89	0.23	0.06	11.90	WEBDA
21	NGC 2192	06 15 17	39 52 05	173.44	10.65	3.47	11.38	0.39	0.64	11.41	WEBDA
22	NGC 6520	18 03 24	-27 53 18	002.88	-2.84	1.58	6.43	0.08	-0.08	6.43	WEBDA
23	NGC 6705	18 51 05	-06 16 12	027.31	-2.78	1.88	6.33	0.86	-0.09	6.39	WEBDA
24	NGC 6716	18 54 34	-19 54 06	015.40	-9.59	0.79	7.25	0.21	-0.13	7.25	WEBDA
25	NGC 6728	18 58 48	-08 58 00	025.76	-5.70	1.00	7.10	0.43	-0.10	7.12	TUG
26	NGC 6793	19 23 18	22 08 24	056.17	3.30	1.10	7.39	0.91	0.06	7.44	TUG
27	NGC 6800	19 27 06	25 08 00	059.23	3.95	1.00	7.49	0.86	0.07	7.54	TUG
28	NGC 6811	19 37 17	46 23 18	079.21	12.01	1.22	7.78	1.17	0.25	7.87	TUG
29	Roslund 1	19 45 00	17 31 00	054.60	-3.40	0.67	7.61	0.55	-0.04	7.63	TUG
30	Dolidze 36	20 02 30	42 06 00	077.66	5.98	0.90	7.81	0.87	0.09	7.86	TUG
31	Collinder 421	20 23 18	41 42 00	079.45	2.53	0.95	7.83	0.93	0.04	7.88	TUG
32	NGC 6997	20 56 31	44 36 36	085.45	-0.49	0.76	7.94	0.76	-0.01	7.98	WEBDA
33	NGC 7031	21 07 06	50 52 30	091.33	2.31	0.90	8.02	0.90	0.04	8.07	TUG
34	NGC 7036	21 10 02	15 31 06	064.54	-21.44	1.00	7.60	0.84	-0.37	7.65	WEBDA
35	NGC 7039	21 10 48	45 37 00	087.88	-1.70	0.95	7.96	0.95	-0.03	8.02	TUG
36	Platais 1	21 30 02	48 58 36	092.56	-1.65	1.27	8.06	1.27	-0.04	8.16	TUG
37	NGC 7086	21 30 27	51 36 00	094.41	0.22	1.30	8.10	1.29	0.00	8.20	TUG
38	NGC 7209	22 05 07	46 29 00	095.50	-7.34	1.17	8.11	1.15	-0.15	8.19	TUG
39	NGC 7654	23 24 48	61 35 36	112.82	0.43	1.42	8.55	1.31	0.01	8.65	WEBDA



Şekil 3.3: Seçilen özel doğrultuda bulunan 39 açık kümenin Galaksi merkezinden uzaklıklarının (R_{gc}) histogramı gösterilmiştir. Uzaklıklar WEBDA veri tabanı'ndan alınmıştır.

3.2. GÖZLEMLER

Doktora tez çalışmasında incelenen 15 açık kümenin fotometrik gözlemleri 18.07.2012-17.08.2015 tarihleri arasında, Bakırlıtepe Yerleşkesi'nde, deniz seviyesinden 2547 m yükseklikte bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde, T100 teleskobuyla, Asahi marka Bessel *UBV* filtreleri kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu gözlem tarihlerinde atmosferik koşullar fotometrik olup, ortalama görüş değeri *V* bandı için 1.5" olarak ölçülmüştür. Gözlemlerde kullanılan *UBV* filtrelerinin etkin dalgaboyları (λ), *U, B* ve *V* bantları için, sırasıyla, 3717, 4204 ve 5300 Å iken, yarı bant genişlikleri (Δλ), sırasıyla, 601, 900 ve 842 Å'dur (Fiorucci ve Munari, 2003). T100 teleskobunun birinci aynası 1 metre çapında olup, teleskop *f*/10 odak oranına ve Ritchey-Chrétien optik düzeneğe sahiptir. Teleskobun odak düzleminde Spectral Instruments (SI) firması tarafından üretilen SI 1100 serisi "Cryo-cooler" soğutmalı bir CCD kamera[17] bulunmaktadır. Kamerada kullanılan CCD yongası Fairchild marka CCD486 model arkadan aydınlatmalı, UV duyarlığı arttırılmış 4096×4096 piksel formatında olup piksellerin fiziksel boyutları 15 × 15 mikrondur. CCD yongasının bu özellikleri, teleskobun optik parametreleriyle birlikte kamera için 0.31 "/piksel'lik bir piksel ölçeği ve 21.5'×21.5' görüş alanı sağlamaktadır. CCD kamera mutlak olarak -100 ^{o}C'a kadar soğutulabilmektedir. Kameranın kazancı (Gain) 0.57/e^-/ADU (100 KHz), okuma gürültüsü (RMS) 4.11 e^- (100 KHz) ve "bias" seviyesi 500 ADU olup, kara akımı 0.0001 e^-/piksel/sn, kuyu derinliği de 142,900 elektron kadardır. T100'ün kamerasındaki bu CCD yongası, çoğu açık yıldız kümesinin tek pozla görüntülenebilmesini sağlayan geniş bir görüş alanıyla birlikte uzun ve kısa dalga

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

boylarında yüksek kuantum verimliliğine sahip olması bakımından gözlemlerde önemli avantajlar sağlamaktadır.

3.2.1. Standart Yıldız Alan Gözlemleri

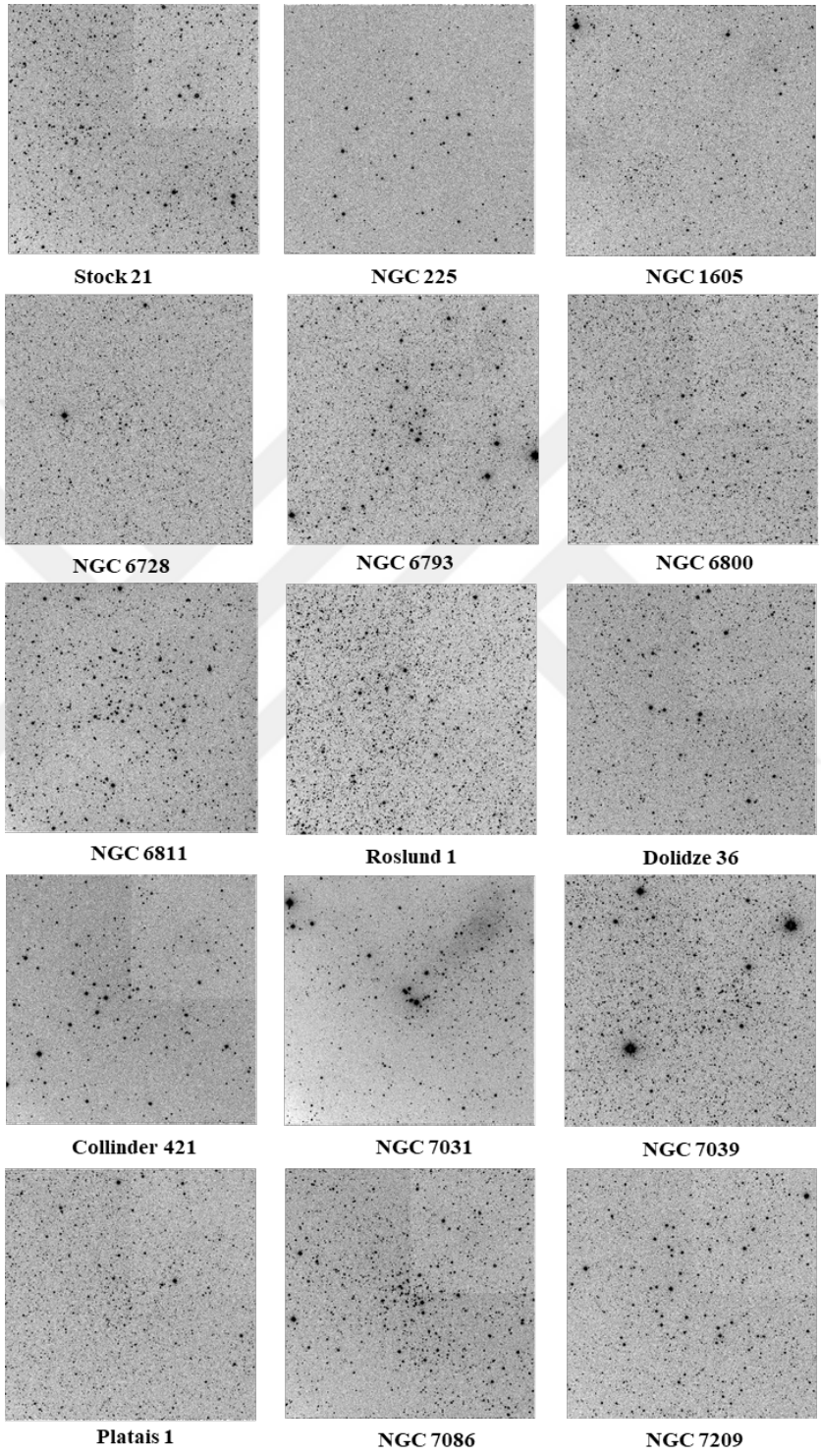
CCD gözlemlerinden ölçülen aletsel parlaklıkların standart fotometrik sisteme dönüştürülebilmesi için gözlem gecesine ait sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayılarının tayin edilmesi gerekir. Bu nedenle standart yıldız alanlarında bulunan nesnelerin geniş bir *B*-*V* renk indeksi aralığında olmaları, farklı hava kütlelerinde ve gözlem için gerekli tüm filtreler (*U*, *B* ve *V*) kullanılarak gözlenmeleri gerekir. Bu amaç doğrultusunda, tez çalışmasında analizleri yapılan açık kümelerin gözlendiği gecelerde, açık küme alanlarıyla birlikte Landolt'un (2009) kataloğundan seçilen çok sayıda standart yıldız alanının gözlemleri de yapılmıştır. Yıldız alanlarında bulunan standart yıldızlar belirlenirken, geniş bir *B*-*V* renk indeksi aralığında olmalarına dikkat edilmiştir. TUG yerleşkesinin atmosfer şartları değişken olduğundan gözlem gecelerinde farklı yıldız alanlarında bulunan en az 20-30 standart yıldızın gözlemi farklı hava kütlelerinde yapılmıştır. Her gece gözlenen kümenin fotometrik ölçümlerinde, o gece standart alan gözlemleriyle birlikte elde edilmiş katsayılar kullanılmıştır.

3.2.2. Açık Küme Gözlemleri

Doktora tez çalışmasında fotometrik analizlerin yapılması amacıyla, Galaksi'nin I. ve II. çeyreğinde yer alan 46 açık küme seçilerek T100 teleskobuyla CCD *UBV* gözlemlerinin yapılması hedeflenmiş (Bölüm 3.1) olmasına rağmen, hava şartlarının uygun, gözlem gecelerinde atmosferik şartların fotometrik kalitede olduğu zamanlarda gözlenebilen kümeler tez çalışmasına dâhil edilmiştir. Bununla birlikte, Bölüm 3.1'de belirtilen nedenlerden dolayı fotometrik verileri tez çalışmasında kullanılabilir 15 açık küme detaylıca incelenmiştir. Bazı gözlem gecelerinde standart alanlar ile birlikte birden fazla küme alanı gözlenmiş olup, tezde kullanılan 15 açık küme için toplamda 11 gece gözlem yapılmıştır.

Gözlemler sırasında, küme doğrultusunda bulunan sönük ve parlak yıldızların yüksek sinyal/gürültü (S/N) değerlerinin ölçümünü yapmak ve parlak kaynakların CCD piksellerini doyurmasını önlemek amacıyla, gözlem yapılan filtrelerde farklı poz süreleri kullanılmıştır. Gözlemi yapılan kümelerin isimleri, ekvatoral ve Galaktik koordinatları, gözlem tarihleri ve her filtrede alınmış görüntü sayıları ve poz süreleri Tablo 3.2'de listelenmiştir. Program

dâhilinde incelenen açık kümelerin uzun poz sürelerinde alınarak birleştirilmiş *V* bandı görüntüleri de Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Doktora tez çalışması kapsamında gözlemleri TUG'da yapılan 15 açık kümenin *V* bandında uzun poz sürelerinde birleştirilmiş negatif görüntüleri.

Tablo 3.2: Doktora tez çalışmasında incelenen ve gözlemleri TUG'dan yapılan açık kümenin ekvatoral ve Galaktik koordinatları, gözlem tarihi ve gözlemlerde kullanılan filtreler ile poz süreleri ve sayıları. Kümelerin ekvatoral ve Galaktik koordinatları Dias ve diğ.'nin (2002) kataloğundan alınmıştır.

Sıra	Küme	α (s:d:sn)	δ (° ′ ″)	l (°)	b (°)	Gözlem Tarihi (gg:aa:yy)	Poz Süresi (sn) × Görüntü Sayısı		
							U	*B*	*V*
1	Stock 21	00 29 48	+57 55 00	120.05	-4.83	08.08.2013	300×3 60×4	120×4 15×3 7×4	60×4 5×4 2×4
2	NGC 225	00 43 39	+61 46 30	122.01	-1.08	18.07.2012	180×2 30×3	30×2 3×3	10×3 1×3
3	NGC 1605	04 34 55	+45 16 30	158.57	-1.57	24.09.2014	300×5	120×8	60×6
4	NGC 6728	18 58 48	-08 58 00	25.76	-5.7	08.08.2013	3×3 60×1 120×2	1×1 0.6×3 25×4	0.25×3 7×3
5	NGC 6793	19 23 18	+22 08 24	56.17	+3.30	26.08.2014	300×4 90×4 30×4	90×5 7.5×5 2.5×4	60×10 5×10 2×10
6	NGC 6800	19 27 06	+25 08 00	59.23	+3.95	19.07.2012	360×3 90×3	60×3 5×3	30×2 3×3
7	NGC6811	19 37 17	46 23 18	79.21	+12.015	18.07.2012	90×2 60×1	20×3 90×3	5×3 60×3
8	Roslund 1	19 45 00	+17 31 00	54.60	-3.40	09.08.2013	360×3 300×3 40×5	60×5 4×5	30×5 3×5
9	Dolidze 36	20 02 30	+42 06 00	77.66	+5.98	20.07.2012	360×3 90×3	60×3 5×3	30×4 3×3
10	Collinder 421	20 23 18	+41 42 00	79.45	+2.53	16.08.2012	360×3 60×4	90×2 7×3	60×3 5×4
11	NGC 7031	21 07 06	+50 52 30	91.33	+2.31	17.08.2015	900×3 300×5	600×3 60×5	600×3 90×5 9×5
12	NGC 7039	21 10 48	+45 37 00	87.88	-1.70	10.08.2013	300×3 8×5	60×5 1×5	20×5 1×5
13	Platais 1	21 30 02	+48 58 36	92.56	-1.65	17.08.2012	60×3	4×3	2×4
14	NGC 7086	21 30 27	+51 36 00	94.41	+0.22	19.07.2012	360×3 90×3	100×3 10×3	60×3 5×3
15	NGC 7209	22 05 07	+46 29 00	95.50	-7.34	16.08.2012	360×3 60×3	60×3 5×3	20×3 2×3

3.3. FOTOMETRİK ANALİZLER

CCD kameralar ile elde edilen görüntüler teleskop-dedektör-filtre sisteminden ve CCD elektroniğinden etkilendiği için bu görüntüler sistematik hatalar içerir. Görüntülerin bilimsel analizlere hazır hale getirilmesi ve incelenen gök cisimlerinden duyarlı veriler elde edilmesi için söz konusu sistematik hataların giderilmesi gerekir. Bu süreç fotometrik ön indirgeme veya

kalibrasyon olarak bilinir ve uygulanmasında aşağıda verilen kalibrasyon görüntü türleri kullanılır:

Sıfır Görüntü (Bias Frame): CCD piksellerinde biriken elektronların okunması ve sayısal hale getirilmesi sırasında cihaz tarafından belli bir seviyede elektronik gürültü üretilir. Sadece bu gürültüleri içeren görüntüler *sıfır görüntüleridir* (zero frame, bias frame). Sıfır görüntüler, ışık kullanılmadan sıfır poz süresiyle alınır ve filtrelerden bağımsızdırlar. Bu nedenle gece boyunca tüm filtrelerde alınan görüntüler için kullanılabilirler. Görüntülerin alınmasındaki temel amaç her bir pikselde biriken elektronların okunması sırasında ortaya çıkan gürültünün giderilmesidir. Tez çalışmasında verileri TUG'dan elde edilen açık kümelerin gözlemleri öncesinde ve sonrasında çok sayıda sıfır görüntü alınmıştır. Bu görüntüler IRAF[18] yazılımı kullanılarak birleştirilmiş ve birleşik sıfır görüntü oluşturulmuştur. Bu görüntü gece boyunca alınan tüm görüntülerden çıkartılarak sıfır görüntü kalibrasyonu yapılmıştır.

Kara Akım (Dark Current) Görüntüsü: CCD yongasının yapıldığı yarı iletken materyal sıcaklığa bağlı olarak kendiliğinden elektron salar. Bunlara ısısal elektron denir. Bu elektronlardan kaynaklanan hataları içeren görüntüler *kara akım görüntüsü* olarak isimlendirilir. Kara akım, CCD kameranın sıcaklığına ve poz süresinin uzunluğuna bağlıdır. Bu sebeple CCD kameralar soğutulur. Her pikselde biriken ısısal elektronları ölçmek için, CCD yongasının önü kapalıyken, yıldız alanlarıyla aynı poz süresinde görüntüler alınır ve birleşik kara görüntü elde edilir. Kalibrasyon için, birleşik kara görüntü ilgilenilen görüntüden çıkarılır. Kara akım sıcaklığa duyarlıdır ve azalan sıcaklıkla birlikte kara akımın sebep olduğu gürültüde de azalma olur. SI CCD kameranın kara akımı -100 °C'de sadece 0.0001 e^-/piksel/sn olduğundan, gözlemlerde kullanılan poz süreleri dikkate alındığında, kara akım düzeltmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Dolayısıyla, gözlem gecelerinde alınan görüntülerin kalibrasyonlarında kara akım düzeltmesi yapılmamıştır.

Düz Alan (Flat Field) Görüntüsü: CCD kamera üzerinde bulunan her bir pikselin kuantum verimliliği diğerlerinden farklı olabileceği gibi, CCD yongasının önündeki cam ve filtre yüzeyinde üretim aşamasından kalan ve sonradan oluşan toz ve izler de bulunabilir. Bu farklılıklar sistematik hatalara neden olacağından görüntülerin bu hatalara göre kalibre edilmeleri gerekir. Bunun için *düz alan görüntüleri* olarak tanımlanan, CCD yongasının

[18] Image Reduction and Analysis Facility (Görüntü İndirgeme ve Analiz Programı). Program Ulusal Optik Astronomi Gözlemevleri tarafından hazırlanmıştır.

yüzeyinin homojen bir kaynakla aydınlatılması sonucunda alınan görüntüler kullanılır. Doktora tez çalışmasında bu amaçla, gözlemler sırasında *U, B* ve *V* filtreleri için çok sayıda düz alan görüntüsü astronomik tan vaktinde zenit doğrultusundaki gözlemler ile alınmıştır. Görüntüler her bir filtre için birleştirilmiş ve gözlemlerin yapıldığı *U, B* ve *V* filtreleri için birer birleşik düz alan görüntüsü elde edilmiştir. Bazı kümelerin gözlemlerinde düz alan gözlemlerinin tüm filtrelerde yapılması için yeterli zaman olmadığından, farklı gözlem zamanlarında alınan görüntüler de kullanılmıştır. Birleşik düz alan görüntüleri piksel sayımlarının mod değerine göre normalize edildikten sonra, ilgilenilen filtredeki görüntü, aynı filtredeki normalize düz alan görüntüsüne bölünerek kalibrasyonlar yapılmıştır. Tüm kalibrasyonlar için IRAF paketleri kullanılmıştır.

3.3.1. Standart Alan Yıldız Fotometrisi

Standart alanlarda bulunan yıldızlar, hem kuzey hem güney yarı küreden gözlenebilen, ekvator düzleminde bulunan, parlaklıkları değişmeyen ve parlaklıkları duyarlı bir şekilde tayin edilmiş yıldızlardır (Landolt, 2009). Farklı gözlemciler tarafından gözlemi yapılan bir gök cisminin aletsel parlaklığı, gözlemevlerinin atmosferik koşullarının ve kullanılan teleskop-filtre-CCD kombinasyonunun farklı olmasından dolayı değişim gösterir. Dolayısıyla, gök cisminin ölçülen aletsel parlaklığının standartlaştırılması gerekir. Gözlemler sırasında belirlenen standart alanlar seçilen her hava kütlesinde, tüm filtrelerde en az üç sefer gözlenmiştir. Doktora tez çalışmasında gözlemi yapılan standart yıldız alanı görüntülerine öncelikle sıfır ve düz alan düzeltmeleri yapılmış, daha sonra bu alanlarda bulunan yıldızların aletsel parlaklıkları ölçülmüştür. Ölçümlerde IRAF paketleri kullanılarak yıldızlara açıklık fotometrisi uygulanmıştır. CCD üzerinde bulunan bir kaynağın açıklık fotometrisiyle aletsel parlaklığı hesaplanırken, kaynağın merkezinden itibaren belirlenen dairesel şekilli bir açıklık içinde kalan toplam akı dikkate alınır. Belirlenen açıklığın büyüklüğü, kaynaktan gelen tüm akıyı kapsayacak şekilde olmalıdır. Bununla birlikte, söz konusu açıklık, yıldızın akısıyla birlikte gökyüzü zemin akısını da içerdiğinden yıldızın ölçülen parlaklığını etkiler. Bu etkinin giderilmesi ve yıldızdan gelen akının hesaplanması için öncelikle nokta kaynağın çevresinde bir halka belirlenerek buradaki piksel başına düşen ortalama elektron sayım değerleri (*pixel count, birimi Analog-to Digital Unit, ADU*) hesaplanır, daha sonra belirlenen açıklıktaki toplam zemin sayımı değeri toplam sayım değerinden çıkartılarak elde edilen sonuç poz süresine bölünür. Aletsel parlaklık hesabında $m=25-2.5\times\log[F_t-(Z_{ort}\times N)]/T$ bağıntısı kullanılır. Burada, m yıldızın aletsel parlaklığı, F_t açıklık içindeki toplam piksel sayımı, Z_{ort} halka içindeki

ortalama zemin sayımı, *T* saniye biriminde poz süresini ifade etmektedir. *N* açıklık içindeki piksel sayısıdır. Doktora tez çalışmasında kullanılan standart alan yıldızlarının FWHM değerleri her gözlem gecesi, hava kütlesi ve filtre için değişkenlik gösterdiğinden, yıldızların aletsel parlaklık hesaplarında her görüntüde farklı açıklık çapları kullanılmıştır. Bu uygulamalar sonucunda her bir standart yıldızın *UBV* filtrelerinde aletsel parlaklıkları hesaplanmıştır. Yıldızların aletsel parlaklıklarının elde edilmesiyle, bu değerler bilinen standart parlaklık değerleriyle hem parlaklık hem renk eşitlikleri kullanılarak karşılaştırılmış, böylece küme doğrultusundaki yıldızların fotometrik parlaklıklarının belirlenmesinde kullanılan gecelik sönümleme ve indirgeme katsayıları elde edilmiştir.

3.3.2. Aletsel Parlaklıklardan Standart Fotometrik Parlaklıkların Elde Edilmesi

Doktora tez çalışmasında 18.07.2012-17.08.2015 tarihleri arasında TUG'da gözlemi yapılan açık kümelerin doğrultusunda bulunan kaynakların mutlak fotometrilerinin yapılmasında, ilgili gecelerde kümeler ile beraber farklı hava kütlelerinde gözlemi yapılan standart alan yıldızlarından faydalanılmıştır. Hava kütlesi, $X=\sec Z$ bağıntısıyla hesaplanıp görüntü dosyasına işlenmektedir. Bu değer yaklaşık bir sonuç verdiğinden ve yüksek zenit uzaklıklarında kaba değerlerde olduğundan analizlerde daha duyarlı sonuçların elde edilmesi için Henden ve Kaitchuck (1990) tarafından geliştirilen Bağıntı (3.1), duyarlı hava kütlelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Burada *Z* zenit uzaklığıdır.

$$X=\sec Z-0.018167\times(\sec Z-1)-0.002875\times(\sec Z-1)^2-0.0008083\times(\sec Z-1)^3 \qquad (3.1)$$

Gözlenen standart alanların CCD kalibrasyonları yapıldıktan sonra, standart yıldızların görünen parlaklıklarının hesabında açıklık fotometrisi uygulanmıştır. Fotometrik dönüşüm bağıntılarındaki katsayıların elde edilmesinde, standart yıldızların hesaplanan aletsel parlaklıklarının yanı sıra, Landolt'un (2009) güncel kataloğundan da ilgili yıldızların standart sistemdeki parlaklık ve renkleri dikkate alınmıştır. *V*, *B-V* ve *U-B* aletsel parlaklık ve renklerinin standart sisteme dönüştürülmesinde Janes ve diğ.'nin (2013) verdiği bağıntılar kullanılmış ve bunlar Bağıntı (3.2), (3.3) ve (3.4) ifadeleriyle verilmiştir.

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

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

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

Burada *u, b, v* aletsel parlaklıkları, *V, U-B* ve *B-V* standart yıldızların parlaklık ve renklerini, *X* hava kütlesini, *k* ve *k'* birinci ve ikinci mertebe sönümleme katsayılarını, α standart sisteme dönüşüm katsayılarını, *C* de gecelik sabitleri temsil eder. Sönümleme katsayılarının indisleri, ilgili parlaklığı göstermektedir. Çok sayıda standart yıldız kullanılarak (Bağıntı 3.2-3.4) her bir gözlem gecesi için yukarıdaki bağıntılar ile elde edilen gecelik dönüşüm ve sönümleme katsayılarıyla sabitler çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Doktora tez çalışmasında TUG'da gözlemleri yapılan 15 açık kümenin 11 gecesine ait standart alan gözlemlerinden hesaplanan katsayılar belirlenmiş ve bu değerler Tablo 3.3'te listelenmiştir. Tabloda verilen hata mertebeleri, bu gecelere ait katsayıların standart sapmalarıdır. Her geceye ait katsayılar incelenen açık küme alanlarındaki yıldızların mutlak fotometrisinin yapılmasında kullanılmıştır.

Tablo 3.3: TUG T100 teleskobu için 11 gözlem gecesini içeren, tez çalışmasında *U, B* ve *V* filtrelerinde hesaplanan atmosferik sönümleme ve standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayıları.

Tarih	**Filtre**	**Katsayı**			
		k	***k'***	$\boldsymbol{\alpha}$	***C***
18.07.2012	***U***	0.597 ± 0.032	-0.058 ± 0.032	---	---
	B	0.392 ± 0.022	-0.030 ± 0.019	0.930 ± 0.043	0.771 ± 0.050
	V	0.247 ± 0.005	---	---	---
	U-B	---	---	0.926 ± 0.054	3.111 ± 0.054
	B-V	---	---	0.056 ± 0.006	0.799 ± 0.010
19.07.2012	***U***	0.472 ± 0.031	-0.019 ± 0.033	---	---
	B	0.326 ± 0.024	-0.057 ± 0.025	0.992 ± 0.038	0.745 ± 0.036
	V	0.189 ± 0.007	---	---	---
	U-B	---	---	0.861 ± 0.050	3.143 ± 0.046
	B-V	---	---	0.077 ± 0.011	0.799 ± 0.017
20.07.2012	***U***	0.559 ± 0.033	-0.002 ± 0.035	---	---
	B	0.392± 0.011	-0.037 ± 0.011	0.936 ± 0.018	0.786 ± 0.017
	V	0.235 ± 0.002	---	---	---
	U-B	---	---	0.813 ± 0.055	3.190 ± 0.054
	B-V	---	---	0.051 ± 0.003	0.838 ± 0.005
16.08.2012	***U***	0.677 ± 0.030	-0.023 ± 0.067	---	---
	B	0.525 ± 0.050	-0.246 ± 0.079	1.253 ± 0.105	0.550 ± 0.067
	V	0.242 ± 0.007	---	---	---
	U-B	---	---	0.836 ± 0.093	3.041 ± 0.043
	B-V	---	---	0.084 ± 0.011	0.779 ± 0.016
17.08.2012	***U***	0.365 ± 0.025	0.216 ± 0.041	---	---
	B	0.270 ± 0.041	0.002 ± 0.051	0.918 ± 0.066	0.890 ± 0.054
	V	0.166 ± 0.004	---	---	---
	U-B	---	---	0.537 ± 0.055	3.453 ± 0.034
	B-V	---	---	0.081 ± 0.011	0.879 ± 0.015

Tablo 3.3 (Devam)

Tarih	Filtre	Katsayı			
		k	***k'***	***α***	***C***
	U	0.397 ± 0.014	0.007 ± 0.018	---	---
	B	0.240 ± 0.014	-0.042 ± 0.015	0.972 ± 0.024	0.481 ± 0.021
08.08.2013	***V***	0.118 ± 0.003	---	---	---
	U-B	---	---	0.840 ± 0.027	2.893 ± 0.020
	B-V	---	---	0.070 ± 0.003	0.538 ± 0.005
	U	0.347 ± 0.016	-0.066 ± 0.018	---	---
	B	0.206 ± 0.014	-0.032 ± 0.014	0.959 ± 0.023	0.552 ± 0.022
09.08.2013	***V***	0.098 ± 0.005	---	---	---
	U-B	---	---	0.951 ± 0.028	2.991 ± 0.024
	B-V	---	---	0.068 ± 0.006	0.591 ± 0.009
	U	0.439 ± 0.025	-0.126 ± 0.024	---	---
	B	0.328 ± 0.042	-0.097 ± 0.038	1.045 ± 0.055	0.431 ± 0.060
10.08.2013	***V***	0.149 ± 0.006	---	---	---
	U-B	---	---	1.038 ± 0.037	2.908 ± 0.037
	B-V	---	---	0.069 ± 0.010	0.559 ± 0.015
	U	0.512 ± 0.061	0.436 ± 0.148	---	---
	B	0.493 ± 0.009	-0.256 ± 0.093	1.251 ± 0.127	0.687 ± 0.125
26.08.2014	***V***	0.203 ± 0.009	---	---	---
	U-B	---	---	0.294 ± 0.198	3.303 ± 0.086
	B-V	---	---	0.070 ± 0.020	0.969 ± 0.003
	U	0.330 ± 0.071	-0.038 ± 0.136	---	---
	B	0.263 ± 0.070	-0.065 ± 0.084	1.004 ± 0.124	0.994 ± 0.104
24.09.2014	***V***	0.130 ± 0.010	---	---	---
	U-B	---	---	0.929 ± 0.196	3.487 ± 0.102
	B-V	---	---	0.086 ± 0.020	1.006 ± 0.030
	U	0.451 ± 0.074	0.237 ± 0.091	---	---
	B	0.355 ± 0.087	-0.109 ± 0.093	1.063 ± 0.131	1.417 ± 0.123
17.08.2015	***V***	0.153 ± 0.013	---	---	---
	U-B	---	---	0.487 ± 0.130	3.938 ± 0.106
	B-V	---	---	0.076 ± 0.031	1.520 ± 0.046

Doktora tez çalışmasında gözlemleri TUG'dan yapılan açık kümelerin her birinin gözlem gecesi için belirlenen gecelik katsayılar, küme doğrultusunda bulunan yıldızların aletsel parlaklıklarının standart sisteme dönüştürülmesinde (Bağıntı (3.2), (3.3) ve (3.4)) kullanılmıştır. Bu işlemler, IDL[19] programlama dilinde hazırlanan kodlar kullanılarak yapılmıştır.

[19] IDL: Ineractive Data Language (http://www.exelisvis.co.uk/ProductServices/IDL.aspx)

3.3.3. Açık Kümelerin Astrometrik ve Fotometrik Kataloglarının Oluşturulması

Doktora tez çalışmasında TUG'da gözlemleri yapılan açık kümelerin CCD görüntüleri üzerindeki tüm indirgeme, ölçüm ve analizler, *PYTHON*[20] ve *IDL*[21] programlama dilleri kullanılarak geliştirilen kodlar ile birlikte *IRAF*[22] ve *PSFex*[23] paket programlarıyla yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle açık küme görüntülerinin CCD kalibrasyonları yapıldıktan sonra, küme doğrultusundaki yıldızların göksel ekvatoral koordinatları belirlenmiştir. Bunun için, her bir görüntüde tespit edilen yıldızlar USNO A2.0 kataloğunun aynı alanındaki yıldızları ile eşleştirilmiş, IRAF yazılımı kullanılarak astrometrik kalibrasyonları yapılmış ve görüntülerde tespit edilen her bir yıldızın piksel koordinatları (X, Y) ekvatoral koordinatlara (α, δ) dönüştürülmüştür. Daha sonra, astrometrik kalibrasyonu yapılan her görüntüdeki yıldızlar piksel koordinatlarına göre birbirine hizalanmış, böylece tüm görüntülerdeki yıldızların aynı piksel koordinatlarında bulunmaları sağlanarak tüm görüntülerden ortak bir görüş alanı elde edilmiştir.

Kümelerin *UBV* filtrelerinde her bir filtreyle alınan uzun ve kısa poz süreli görüntüler IRAF yazılımı kullanılarak birleştirilmiş, böylece oluşturulan birleşik görüntülerin S/N değerlerinin arttırılması amaçlanmıştır. Küme doğrultusundaki yıldızların aletsel parlaklıkları SExtractor[24] (Bertin ve Arnouts, 1996) ve PSFex[25] (Bertin, 2011) programlarıyla ölçülmüştür. PSFex, kalabalık yıldız alanlarındaki kaynakların nokta yayılım fonksiyonlarının (PSF, point spread function) modellerini SExtractor tarafından işlenen görüntülerden alan ve onların aletsel parlaklıklarını hesaplayan bir bilgisayar programıdır. PSFex programı altında çalışan PSF fotometri, birleştirilmiş görüntülerdeki yıldızların aynı şiddet profiline sahip olduğunu ve sadece bu profilin normalizasyonunun değiştiğini varsayarak yıldızların akılarından itibaren aletsel parlaklıklarını belirler. PSF fotometrisinin uygulanmasında birleşik görüntülerin her bir filtredeki poz sürelerine göre bir sıfır noktası hesaplanmış ve kaynakların tespitinde uzun ve kısa poz sürelerinde en çok kaynağın görüldüğü *V* filtresindeki görüntüler referans olarak alınmıştır. Böylece, *V* filtresinde merkezi koordinatları belirlenmiş kaynakların diğer filtrelerdeki konumları dikkate alınarak kısa ve uzun poz sürelerindeki akıları PSF ile

[20] https://www.python.org/
[21] http://www.harrisgeospatial.com/ProductsandSolutions/GeospatialProducts/IDL.aspx
[22] http://iraf.noao.edu/
[23] http://www.astromatic.net/software/psfex
[24] SExtractor: Software for source extraction
[25] PSFex: PSF extractor

modellenerek aletsel parlaklıkları elde edilmiştir. PSF modelinde kaynağın merkezinden kenarlara gidildikçe kanatlara doğru ani bir düşüş olur, bu da kaynakların belirlenen akısında bir kayba sebep olur ve aletsel parlaklıklar yeterli duyarlılıkta hesaplanmayabilir. Bu akı kaybını gidermek ve daha duyarlı parlaklık hesabı yapabilmek için her bir küme doğrultusundaki yıldız alanı içinden 100 ila 200 kaynak belirlenerek, bu kaynaklar için açıklık fotometrisi uygulanmış ve sonuçlar PSF'den elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Böylece PSF'den kaynaklanan akı kaybı açıklık düzeltmesiyle belirlenmiş ve bu düzeltme küme doğrultusundaki tüm kaynaklara uygulanarak aletsel parlaklıkları duyarlı bir şekilde hesaplanmıştır.

Küme doğrultusundaki kaynakların hesaplanan aletsel parlaklıkları, Bağıntı (3.2-3.4) ve her bir gözlem gecesi için elde edilen gecelik katsayılar kullanılarak standart sistemdeki parlaklık ve renklere dönüştürülmüş, böylece 15 açık küme için kaynakların fotometrik katalogları oluşturulmuştur.

Doktora tez çalışmasında CCD *UBV* fotometrik verileri literatürden sağlanan açık kümelerin birçoğunun ekvatoral (α, δ) koordinatları yerine *X*,*Y* piksel koordinatlarına ulaşılmıştır. Bu kümelerde bulunan kaynaklar için öncelikle yapay CCD görüntüleri oluşturulmuştur. Yapay görüntüler üzerindeki kaynaklar Aladin[26] gökyüzü atlasında ilgili kümenin görüntüsündeki kaynaklar ile eşleştirilmiş ve alandaki üç kaynağın *X*,*Y* piksel koordinatına karşılık gelen ekvatoral koordinatları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra PYTHON programlama dilinde geliştirilen bir kodla, belirlenen üç yıldızın koordinatları dikkate alınarak tüm kaynakların piksel koordinatları iterasyon yöntemiyle ekvatoral koordinatlara dönüştürülmüştür. Sonuç olarak, verileri literatürden sağlanan açık kümelerin de koordinat dönüşümleri yapılarak fotometrik katalogları tamamlanmıştır.

Daha sonra, doktora tez çalışmasında incelenen 39 kümenin fotometrik kataloglarındaki tüm kaynakların ekvatoral koordinatları dikkate alınarak VIZIER[27] veri tabanındaki UCAC4 (Zacharias ve diğ., 2013) ve PPMXL (Roeser ve diğ., 2010) öz hareket kataloglarındaki kaynaklar ile eşleştirilerek öz hareket bileşenleri tespit edilmiş, böylece her bir kümenin astrometrik ve fotometrik katalogları oluşturulmuştur.

[26] https://aladin.u-strasbg.fr/
[27] http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR

Bununla birlikte, SExtractor programı kaynakların aletsel parlaklıklarının yanı sıra yıldızımsılık indeksi (*YI*) olarak tanımlanan yaygın kaynak-yıldız ayırımını sağlayan 0 ile 1 arasında değişen bir parametre de üretir. Yıldızımsılık indeks değeri $0.8 < YI \leq 1$ olan kaynaklar yıldız olarak kabul edilmektedir (Andreuzzi ve diğ., 2002; Karaali ve diğ., 2004). TUG'da gözlemleri yapılan açık kümelerin alanlarında tespit edilen kaynaklardan $0.8 < YI \leq 1$ olanlar yıldız olarak kataloğa dâhil edilmiş, $YI \leq 0.8$ olanlar ise yaygın kaynak kabul edilip çalışmada dikkate alınmamıştır. Böylece küme doğrultularındaki yıldızları içeren astrometrik ve fotometrik kataloglar elde edilmiştir.

Verileri literatürden alınan 24 açık küme alanında bulunan kaynakların fotometrik parlaklık tayini farklı yazarlar tarafından yapıldığından, bu kümeler için oluşturulan fotometrik ve astrometrik kataloglardaki tüm kaynaklar yıldız olarak kabul edilmiştir.

3.3.4. Kümeye Üye Yıldızların Belirlenmesi

Kümeler alan yıldızlarına göre daha yoğunlaşmış yıldız bölgeleridir. Bununla birlikte, kümeler çoğunlukla ön ve arka plan yıldızlarından etkilenir ve küme yıldızlarını alan yıldızlarından ayırt etmek zorlaşır. Kümelerin temel parametrelerinin duyarlı bir şekilde tayin edilebilmesi için kümeyi oluşturan yıldızların alan yıldızlarından ayırt edilmesi, bunun için de küme doğrultusundaki yıldızlara üyelik analizleri uygulanarak yıldızların kümeye üyelik durumlarının belirlenmesi gerekmektedir (Villanova ve diğ., 2004; Moni Bidin ve diğ., 2010). Yıldızların gökyüzündeki konumları, öz hareket ölçümleri ve birçok fotometrik banttaki parlaklıklarına ulaşılabildiğinden, bu veriler yıldızların bir kümeye ait olma olasılığının araştırılmasında yardımcı olmaktadır. Kümeye üyelik olasılığı, bilinen yıldız parametrelerine dayanan çeşitli istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak tanımlanır. Basit bir ifadeyle, yıldızın gökyüzündeki konumuyla ilişkilendirilen olasılık değeri *uzaysal*, öz hareketiyle ilgili olan da *kinematik olasılık* olarak tanımlanmaktadır. Bu olasılıklara dayanan kriterlerin bir arada incelenmesi kümeye üye yıldızların ortaya çıkartılmasında etkilidir. Açık kümeleri oluşturan yıldızların Güneş'e uzaklıkları, yaşları, öz hareketleri ve uzay hızları benzerlik göstermektedir; bu da yıldızların renk-parlaklık diyagramlarında ve öz hareket uzaylarındaki dağılımlarında küme yıldızlarının alan yıldızlarından belli bir ölçüde ayırt edilmelerine olanak verir. Fakat açık kümeler Galaktik düzleme yakın enlemlerde yer aldıklarından, küme yıldızları aynı doğrultudaki çok sayıda alan yıldızıyla karışmaktadır, bu da küme üyesi yıldızların renk-parlaklık diyagramında ayırt edilmesini zorlaştırır. Kümeye üye yıldızların aynı doğrultuda

bulunan alan yıldızlarından ayırt edilmesinde, radyal hız, uzaklık ve öz hareket verileri bir arada veya ayrı değerlendirilmektedir. Günümüzde, kümeye üye yıldızlar farklı amaçlar için tasarlanmış tayfsal gökyüzü taramalarıyla (SEGUE, Allende-Prieto ve diğ., 2006; *Gaia*-ESO taraması, Gilmore ve diğ., 2012; DIONYSOS, da Silva ve diğ., 2016) tespit edilebilirler. Tayf ölçümleri, teleskop-zaman-odaklı yaklaşım gerektirmekte, bu da çok sayıda üye yıldıza sahip kümelerin incelenmesini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, Galaksi'deki tüm yıldızların radyal hız ölçümünü yapabilecek bir sistem henüz tasarlanmamıştır. Bu nedenle yıldızların kümeye üyeliklerinin belirlenmesinde radyal hız verilerinin dikkate alınması yeterli değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek ve kümeye üye yıldızları hassas bir şekilde belirlemek için yıldızların öz hareket verileri dikkate alınmaktadır. Yıldızların duyarlı öz hareket bileşenlerinin hesaplanabilmesi için en az 25-30 yıllık gözlemler gerekmektedir ve bu konuda geçmişte fotoğraf plaklarıyla alınmış görüntüler önemlidir. Fakat fotoğraf plaklarının düşük kuantum verimliliği ve düşük parlaklık limiti ancak V=16 kadir parlaklığa kadar olan kaynakların astrometrik çalışmalarının yapılmasına olanak vermektedir.

Günümüzde yıldızların öz hareket değerlerini içeren birçok katalog bulunmaktadır: Zacharias ve diğ.'nin (2013) oluşturduğu *The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog* (UCAC4) sadece belirli bir parlaklık limitine kadar (V=16) kaynak içerdiğinden, ancak Güneş'ten 1 kpc uzaklığa kadar olan açık kümelerdeki üye yıldızların belirlenmesinde kullanılabilir. UCAC4 kataloğunda 105 milyondan fazla yıldızın öz hareket verileri bulunmaktadır. Bu yıldızların ortalama epokta konumsal duyarlılıkları parlaklığa bağlı olarak koordinat başına yaklaşık 15 ila 100 mili yay saniyesi (mas) iken, öz hareketlerdeki belirsizlikler parlaklığa ve gözlem geçmişine bağlı olarak yaklaşık 1 ila 10 mas/yıl arasında değişmektedir. Öz hareketlerdeki sistematik hatalar da 1 ila 4 yay saniyesi/yıl aralığındadır. Astrometrik çalışmalarda kullanılan bir diğer katalog Roeser ve diğ.'nin (2010) oluşturduğu *Positions and Proper Motions on the ICRS*'dir (PPMXL)'dir. PPMXL, V=19 kadir limit parlaklığa kadar yaklaşık 910 milyondan fazla yıldızın öz hareket ve konum verilerini içermektedir. Yıldızların 2000.0 epoğundaki ortalama konum hataları 80 ila 120 mili yay saniyesi (mas) arasında değişmektedir. Bu değer 2MASS fotometrik ölçümleri bulunan yıldızlardan itibaren hesaplandığında da yıldız konumlarındaki belirsizlikler 150 ila 300 mas'a kadar uzanmaktadır. Öz hareketlerin ortalama hatalarının istatistikleri, sönük parlaklıklarda düşük sinyal/gürültü değerinden ziyade gözlemsel geçmişiyle ilgilidir. Yıldızların öz hareketlerindeki sistematik hatalar da 1 ila 2 yay saniyesi/yıl arasında değişmektedir. PPMXL

kataloğunda verilen hatalar UCAC4'te verilenlerden daha büyük olmasına rağmen, sönük parlaklıklardaki yıldızların öz hareket verilerini içermekte, bu da uzak açık kümelerdeki yıldızların kümeye üyeliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Gaia uydusunun 2013 yılında uzaya fırlatılmasıyla birlikte astronomi dünyasında yeni bir çağa adım atılmıştır. 25 Temmuz 2014 ile 16 Eylül 2015 tarihleri arasındaki astrometrik veriler, *Gaia* DR1 salımı olarak literatüre kazandırılmıştır (Gaia işbirliği, 2016). *Gaia* uydusunun göreve başlamasından itibaren geçen 22 aylık döneme ait verilerin astronomlara sunulmasıyla da *Gaia* DR2 (Gaia işbirliği, 2018) etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu veri sürümü gökyüzünde 1.3 milyardan fazla nesnenin duyarlı öz hareket ve trigonometrik paralakslarını içermektedir. *Gaia* DR2 verileri analiz edildiğinde G bandında limit görünen parlaklıkları G = 15, G = 17, G = 20 ve G = 21 kadirlerindeki yıldızların trigonometrik paralakslarındaki belirsizlikler (σ_π), sırasıyla, 0.04, 0.1, 0.7, 2 mas, öz hareketlerindeki belirsizlikler G = 15, G = 17 ve G = 20 kadir görünen limit parlaklıklarda da, sırasıyla, 0.06 mas/yıl, 0.2 mas/yıl ve 1.2 mas/yıl olarak verilmektedir (Gaia işbirliği, 2018). Bu da sönük yıldızlara gidildikçe astrometrik verilerde belirsizliklerin arttığını göstermektedir.

Doktora tez önerisi sırasında henüz *Gaia* DR1 ile DR2 (Gaia işbirliği, 2016, 2018) veri salımları astronomlara sunulmadığından, yıldızların *kümeye üyelik olasılıklarının hesaplanmasında* uydu verisinin en son veri sürümündeki (*Gaia* DR2) astrometrik verileri yerine Roeser ve diğ.'nin (2010) PPMXL astrometrik kataloğundaki öz hareket verileri kullanılmıştır. PPMXL kataloğunda UCAC4'e göre Güneş'ten daha uzak ve sönük nesnelerin öz hareket verileri verildiğinden ve doktora tezinde Güneş civarının ötesinde de açık kümeler incelendiğinden çalışmada PPMXL kataloğu dikkate alınmıştır.

Kümeye üye yıldızlar aynı uzaysal kökenden geldikleri için, öz hareket vektörleri birbirine yakın değerlerdedir. Bir küme alanında bulunan yıldızların, V görünen parlaklıklarının bir fonksiyonu olarak öz hareket dağılımları incelendiğinde, kümeye üye yıldızların belli bir öz hareket uzayında yoğunlaştıkları ve alan yıldızlarından ayrıldıkları görülmektedir (Yadav ve diğ., 2013). Tez çalışmasında incelenen küme alanlarındaki yıldızlar ekvatoral koordinatları r < 5 yay saniyesi kriter dikkate alınarak *Gaia* DR2 kataloğunda sorgulanmış ve eşleşen yıldızlar için katalogdaki öz hareket verileri alınmıştır. Yıldızların PPMXL kataloğundan (Roeser ve diğ., 2010) alınan öz hareket verilerinin kullanılmasıyla hesaplanan üyelik olasılıklarından $P \geq$ %50 olanlar dikkate alınarak bu yıldızların *Gaia* DR2'deki (Gaia işbirliği,

2018) astrometrik verilerinden itibaren ortalama öz hareket bileşenleri ve ortalama uzaklıkları (d = 1000/π (mas)) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar çalışmada elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Kümeye üye yıldızların belirlenmesi için Vasilevskis ve diğ. (1958) ve Sanders (1971a) tarafından üretilen maksimum olabilirlik ilkesine dayanan matematiksel yöntem literatüre kazandırıldığı tarihten itibaren sürekli geliştirilmiştir. Bu süreci takiben, yıldız kümelerinin üyelik olasılıklarının hesabı, yıldızların farklı duyarlılıkta ölçülen öz hareket bileşenlerinin frekans dağılımı dikkate alınarak oluşturulmuştur (Stetson, 1980; Zhao ve He, 1990). Daha sonraki çalışmalarda, alan yıldızlarının gökyüzündeki dağılımları, yıldız parlaklıklarının dağılımlarıyla ilişkilendirilerek üyelik hesabında kullanılan matematiksel yöntemler geliştirilmiştir (Zhao ve Shao, 1994). Balaguer-Nunez ve diğ. (1998) küme ve alan yıldızlarının öz hareket bileşenlerinin ve belirsizliklerinin frekans dağılımlarına dayanan ve küme doğrultusundaki yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının hesaplanmasını sağlayan bir algoritma ortaya koymuşlardır. Doktora tez çalışmasında da yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının hesaplanmasında Balaguer-Nunez ve diğ.'nin (1998) geliştirdiği yöntem tercih edilmiştir. Buna göre, Φ_c^v küme yıldızının frekans dağılımı olmak üzere, kümedeki *i.* yıldız için tanımlanan fonksiyon aşağıdaki gibidir:

$$\Phi_c^v = \frac{1}{2\pi(\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_c^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\mu_{xi}+\mu_{xy})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{xi}^2}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yc})^2}{\sigma_c^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \qquad (3.5)$$

Burada, (μ_{xi}, μ_{xy}) *i.* yıldızın öz hareket bileşenlerini, (μ_{yi}, μ_{yc}) kümenin öz hareket merkezini, σ_c üye yıldızların gerçek öz hareket saçılmalarını, $\epsilon_{xi}, \epsilon_{yi}$ de *i.* yıldızın öz hareket bileşenlerinin gözlemsel belirsizlerini gösterir.

Alan yıldızlarının frekans dağılımı Φ_f^v olmak üzere *i.* yıldız için tanımlanan fonksiyon da aşağıdaki gibidir:

$$\Phi_f^v = \frac{1}{2\pi(1-\gamma^2)^{1/2}(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2)^{1/2}(\sigma_{yf}^2+\varepsilon_{yi}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\gamma^2)}\left[\frac{(\mu_{xi}-\mu_{xf})^2}{\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2}-\frac{2\gamma(\mu_{xi}-\mu_{xf})(\mu_{yi}-\mu_{yf})}{\left(\sigma_{xf}^2+\epsilon_{xi}^2\right)^{1/2}\left(\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2\right)^{1/2}}+\frac{(\mu_{yi}-\mu_{yf})^2}{\sigma_{yf}^2+\epsilon_{yi}^2}\right]\right\} \qquad (3.6)$$

Burada, μ_{xi}, μ_{xy} *i.* yıldızın öz hareket bileşenlerini, μ_{xf}, μ_{yf} yıldız alanının öz hareket merkezini, ε_{xi}, ε_{yi}, *i.* yıldızın öz hareket bileşenlerinin gözlenen hatalarını, σ_{xf}, σ_{yf} yıldız alanının gerçek öz

hareket saçılmalarını göstermektedir. Bununla birlikte, γ korelasyon katsayısını gösterir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$\gamma = (\mu_{xi} - \mu_{xf})(\mu_{yi} - \mu_{yf})(\sigma_{xf}, \sigma_{yf}) \quad (3.7)$$

Küme üyelerinin yüzey-yoğunluk sayısı küme konumunun bir fonksiyonudur ve bir Gauss profiliyle ifade edilebilir.

$$\Phi_c^r = \frac{1}{2\pi r_c^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x_i - x_c}{r_c}\right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{r_c}\right)^2\right]\right\} \quad (3.8)$$

Burada, x_c, y_c kümenin merkezini ve r_c kümenin gökyüzündeki açısal uzanımını gösterir. Alan yıldızlarının homojen dağılımı aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$\Phi_f^r = \frac{1}{\pi r_{max}^2} \quad (3.9)$$

Alandaki tüm yıldızların dağılımı aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanır.

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

$$\sum_{c=1}^{2} n_c + n_f = 1 \quad (3.10)$$

$\Phi_f^v, \Phi_f^r, \Phi_c^v, \Phi_c^r$ küme üyelerinin ve alan yıldızlarının (r) ve göreli öz hareket (v) uzaylarındaki konumlarının normalize edilmiş dağılımlarını; n_f normalize edilmiş alan yıldız sayılarını, n_c de normalize edilmiş küme yıldız sayılarını gösterir. Sonuç olarak bu dağılım için bilinmeyen parametreler (n_c, x_c, y_c, r_c, μ_{xc}, μ_{yc}, σ_c) ve (n_f, x_f, y_f, r_f, μ_{xf}, μ_{yf}, γ)'dır. c kümesinin i'inci yıldızının üyelik olasılığı da $P_c = \Phi_c(i)/\Phi(i)$ bağıntısıyla hesaplanabilir.

3.4. KIZARMADAN ARINDIRILMIŞ RENKLER

Yıldızlararası ortamın temel yapısını oluşturan gaz ve toz, Galaksimizin özellikle disk bölgesinde yoğun olarak bulunmaktadır. Toz parçacıklarının boyutu mavi ışığın dalgaboyuyla karşılaştırılabilecek büyüklüktedir. Uzak nesnelerden gelen elektromanyetik radyasyonun mavi dalgaboyundaki ışınımı, yıldızlararası ortamdaki toz parçacıklarıyla karşılaştığında soğurulup saçılmaya uğrar. Bu da nesnelerin parlaklıklarında sönümlemeye, renklerinde de kızarmaya

neden olur. Özellikle elektromanyetik tayfın optik bölgesindeki fotometrik gözlem analizlerinde yıldızlararası ortamın bu etkilerinin dikkate alınıp giderilmesi gerekmektedir.

Yıldızlararası kızarmanın tayininde, fotometrik bantların renk artığı oranları kullanılır. Kızarma tayininde farklı fotometrik bantlardan oluşturulan iki-renk diyagramları incelenir. Bunların içinde $U\text{-}B \times B\text{-}V$ en çok tercih edilen ve duyarlı sonuçlar veren iki-renk diyagramıdır. Yıldızların gözlemlerden hesaplanan $U\text{-}B$ ve $B\text{-}V$ renk indeksleri iki-renk diyagramı üzerinde kızarmadan arındırılmış anakolu temsil eden eğriyle karşılaştırılarak $E(B\text{-}V)$ renk artığı tayin edilir.

Yıldızların *UBV* sistemindeki fotometrik indekslerine duyarlı farklı ışıma gücü sınıflarındaki $U\text{-}B$ ve $B\text{-}V$ renkleriyle M_V mutlak parlaklıklarını içeren bağıntılar zaman içinde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu araştırmacılar arasından, Johnson (1966), Mermilliod (1981), Schmidt-Kaler (1982) ve FitzGerald'ın (1970) renk indeksleri arasındaki ilişkiyi veren bağıntıları en çok kullanılanlardır. Johnson (1966) ve FitzGerald (1970) kızarmadan arındırılmış gerçek renk bağıntılarını tüm ışıma gücü sınıfları için verirken, Mermilliod (1981) bu bağıntıları gözlemleri duyarlı çok sayıda açık kümenin anakol yıldızları için vermiştir. Bununla birlikte, Sung ve diğ. (2013) kızarmadan arındırılmış renk bağıntılarını oluşturarak en güncel verileri sağlamıştır. Araştırmacılar, duyarlı sonuçlar elde etmek için temel kalibrasyon kaynağı olarak yıldızların tayf türünü dikkate almışlardır. Duyarlı renk bağıntılarının üretilmesinde, kızarmadan arındırılmış renk bağıntıları arasındaki ilişkiler kullanılmıştır. Sung ve diğ. (2013), Mermilliod'un (1981) erken tayf türünden anakol yıldızları için verdiği bağıntıları ve Johnson'ın (1966) anakol dışındaki ışıma gücü sınıfı için verdiği ilişkileri kullanılırken, FitzGerald'ın (1970) geç tayf türünden yıldızlar için ürettiği ifadelere düzeltmeler uygulayarak renk indeksleri arasında yeni ilişkiler elde etmiştir.

Sıfır yaş anakol (ZAMS) bağıntıları açık kümelerin uzaklık tayininde kullanılan en temel araçtır ve birçok araştırmacı tarafından zaman içinde geliştirilmiştir. Johnson ve Hiltner (1956) küme uzaklıklarındaki belirsizliklerin, yıldızların anakoldaki evrim aşamalarının ihmal edilmesi durumunda artabileceğini öne sürmüş ve sıfır yaş için standart anakolu oluşturmuştur. ZAMS bağıntılarının oluşturulmasında kullanılan çok sayıda standart küme olmasına rağmen, temel olarak iki küme (Hyades ve Pleiades) dikkate alınmaktadır. Hyades Güneş'e en yakın açık küme olduğu gibi, aynı zamanda uzaklığı da çok iyi tayin edilmiş bir kümedir. Pleiades açık kümesi de anakol yıldızlarının A tayf türüne kadar ZAMS ilişkilerinin oluşturulmasını sağlar. Güneş

civarında parametreleri duyarlı şekilde tayin edilmiş genç açık küme bulunmaması, anakolun üst kısmının genişletilmesini zorlaştırmaktadır. Genç açık küme yıldızları küme içinde bulunan gaz ve tozdan etkilenerek aşırı kızarmaya maruz kalırlar. Bundan dolayı, küme doğrultusu boyunca değişken kızarma değerlerine sahip olurlar ki bu da incelenen fotometrik sistemdeki bantlarda selektif sönümleme katsayılarının ortalama değer dışında hesaplanmasına yol açar. Ayrıca ZAMS bağıntıları metal bolluğunun bir fonksiyonudur. Güneş civarındaki yıldızların metal bolluklarının Galaksi'nin Perseus kolunda bulunanlara göre daha zengin oldukları bilinmektedir. Schmidt-Kaler'in (1982) ortaya koyduğu ZAMS bağıntıları Johnson ve Hiltner (1956), Sandage (1957) ve Blaauw'unkiyle (1963) benzerlik gösterir. Mermilliod (1981) çok sayıda açık kümenin fotometrik analizlerinden yeni bir ZAMS bağıntısı elde etmesine rağmen, Blaauw (1963) ve Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS ilişkisiyle karşılaştırıldığında bu bağıntının yeterli duyarlılıkta olmadığı görülmüştür. Bunlara ek olarak Sung ve Bessel (1999), metal bolluğu farkına daha az duyarlı olan *V-I* renk indeksi için ZAMS bağıntılarını oluşturmuşlardır.

Sung ve diğ.'nin (2013) optik bölgedeki renkler için farklı ışıma gücü sınıflarına ait güncel ZAMS bağıntıları Tablo 3.4'te listelenmiştir. Bu araştırmacılar, ZAMS'ın erken tayf türünden yıldızlarını oluşturmak için NGC 6811'in ve η Carina bulutsusundaki açık kümelerin (Hur ve diğ., 2012) kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarını kullanmış ve tek yıldızlar için *sıfır* yaş tanımını dikkate alarak, küme anakolunun alt sınır çizgisini ZAMS olarak kabul etmiştir. Ayrıca, B ve G tayf türünden yıldızlar için ZAMS'ların elde edilmesinde Mermilliod'un (1981) bağıntıları dikkate alınırken, geri tayf türündeki yıldızlar için Schmidt-Kaler'in (1982) bağıntıları kullanılmıştır. Sung ve diğ. (2013) farklı ışıma gücü sınıfındaki yıldızların *U-B, B-V* ve *V-I* renk indekslerini elde edebilmek için gözlemsel ZAMS verilerini kızarmadan arındırmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.4: Sung ve diğ.'nin (2013) *UBVI* fotometrik sisteminde, farklı ışıma gücü sınıfları için geliştirdikleri renk bağıntıları.

$(B\text{-}V)_o$	$(U\text{-}B)_o$				$(V\text{-}I)_o$	
Işıma Gücü Sınıfı →	**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

Tablo 3.5: Sung ve diğ.'nin (2013) optik renk indekslerine karşılık gelen *V* bandı mutlak parlaklık değerleri.

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

3.5. VERİ ANALİZİ ARAÇLARI

3.5.1. Kızarma Kanunu

Fotometrik gözlemler, Galaksi düzleminde yoğunlaşan yıldızlararası gaz ve tozdan etkilenir. Yıldızlararası toz parçacıkları yıldızlardan yayılan morötesi, optik ve yakın kızılötesi dalgaboylarında radyasyonun soğurulup saçılmasına sebep olur. Ortam şartlarından kaynaklanan soğurma ve saçılma miktarları yıldızdan yayınlanan elektromanyetik radyasyonun dalgaboyuna bağlı olup, yıldızların parlaklığında sönümlemeye, renklerinde ise kırmızılaşmaya sebep olur.

Yıldızların ve kümelerin astrofizik parametrelerinin duyarlı bir şekilde tayin edilmesi için parlaklık ve renklerinin yıldızlararası kızarmanın etkisinden arındırılması gerekir. Fotometrik analizler, açık kümelerin uzaklık, yaş gibi temel parametrelerinin tayininde ve küme doğrultusundaki renk artığının belirlenmesinde önemlidir. Yıldızlararası sönümlemenin ve *V* bandındaki toplam selektif sönümleme katsayısının ($R_v=A_v/E(B-V)$) iyi bilinmesi, kızarmaya maruz kalan yıldızların ve kümelerin uzaklıklarının fotometrik olarak duyarlı bir şekilde belirlenmesinde önemlidir.

Toplam selektif sönümleme katsayısı R_V genel olarak renk artığı oranından belirlenebilmektedir (Guetter ve Vrba, 1989). Birçok araştırmacı, R_V'yi 3.1 kabul ederek toplam sönümlemeyi (A_V) belirler. Stebbins ve Whitford (1943), çok sayıda O ve B tayf türünden yıldızın çok renk fotometrik ölçümlerinden, selektif absorbsiyonun (R_V) Galaksi'nin tüm yönlerinde aynı olduğunu öne sürerken, Johnson ve Borgman (1963) Galaksimiz için tek türlü bir kızarma kanununun bulunmadığını, R_V'nin Galaktik boylam ile değiştiğini belirtmişlerdir. Johnson ve Borgman'ın (1963) bu sonucu farklı araştırmacılar tarafından da desteklenmiştir (Whittet, 1977; Cardelli ve diğ., 1989; Pandey ve diğ., 2000; Fitzpatrick ve Massa, 2009).

Galaksi'nin farklı doğrultularında belirlenen düzensiz kızarma kanunları sadece yıldızları değil, Galaktik düzlem civarında birçok açık kümeyi ve yıldız oymaklarını da etkilemektedir. Kiszkurno ve diğ. (1984) 20 OB-oymağının sönümleme eğrilerini inceleyerek bu büyük yapıların aynı yıldızlararası maddeye gömülü olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Krełowski ve Strobel (1983) Galaksi diskinin farklı bölgelerinde bulunan Per OB1 ve Sco OB2 oymaklarını inceleyerek iki yapının gösterdiği kızarma kanunlarını karşılaştırmıştır. Araştırmacılar analizleri sonucunda, Galaksi'de farklı doğrultularda bulunan bu yapıların

ortalama sönümleme eğrilerinin, özellikle uzak UV bölgede farklı davranışlar sergilediklerini tespit etmiş ve ortalama sönümleme kanununun tüm oymaklarda aynı olmadığını, bu yapıların farklı fiziksel özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, Krełowski ve Strobel (1983), özellikle genç açık kümelerde ortalama sönümleme eğrilerinin fotometrik analizlerde kullanılmaması gerektiğini vurgulamışlardır. Sung ve diğ. (2013) yaklaşık 200 açık kümenin optik ve 2MASS yakın kızılötesi verilerinden kızarma kanununun Galaktik boylam ile değiştiğini göstermişlerdir.

Renk artığı oranlarını belirlemeden önce *U-B* × *B-V* iki renk diyagramlarından renk artığı *E*(*B*−*V)*'nin elde edilmesi gerekir. Golay (1974) iki-renk diyagramlarındaki kızarma vektörünün eğiminin kızarmadan arındırılmış renge bağlı olduğunu belirtmiştir. Sung ve diğ. (2013) 10 genç açık kümedeki 255 O ve B yıldızının tayf türü ile kızarmadan arındırılmış renkleri arasındaki ilişkiyi kullanarak *E*(*U-B*) ve *E*(*B-V*) renk artıklarını hesaplamışlardır. Çalışmada O ve B yıldızları arasında renk artıkları bakımından bir farklılık bulunmadığı, *E*(*U-B)* ve *E*(*B-V)* arasındaki ilişkinin sadece kızarma miktarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, Sung ve diğ. (2013) renk artıkları arasındaki ilişkiyi tanımlayarak Bağıntı (3.11)'i önermişlerdir:

$$\frac{E(U-B)}{E(B-V)} = 0.72 + 0.05 \times E(B-V) \qquad (3.11)$$

Cardelli ve diğ. (1989) toplam sönümleme A_λ'nın, selektif sönümleme katsayısı R_V'nin bir fonksiyonu olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu durumda, renk artığı $E(U-B)/E(B-V) = 0.859 - 0.045 \times R_V$ şeklinde tanımlanabilir. Hur ve diğ. (2012), η Car bulutsusundaki gibi düzensiz kızarma kanunu gösteren genç açık kümelerde bu oranın çok küçük olması gerektiğini önermişlerdir. Sung ve diğ. (2013) η Car bulutsusundaki O tayf türünden yıldızları incelediklerinde bu yıldızların renk artığı oranlarında bir farklılık tespit etmemiş, bu nedenle R_V'nin etkisini renk artığı oranında ($E(U-B)/E(B-V)$) ihmal etmişlerdir.

3.5.2. Metal Bolluğu

Açık kümeler aynı molekül bulutunun çökmesi sonucunda oluştuklarından, kümeye üye yıldızların metal bolluğu birbirine yakın değerlerde bulunur. Bir yıldızın atmosferindeki metal içeriği ancak tayfsal ve fotometrik yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Bu yöntemlerin en duyarlı olanı tayfsal analizlere dayanmaktadır. Günümüzde yıldızların kimyasal özelliklerinin

araştırılmasında yüksek çözünürlüklü ve yüksek S/N değerli tayf verileri tercih edilmektedir. Özellikle gökyüzünü sistematik şekilde tarayan tayfsal programlar sayesinde (RAVE: Steinmetz ve diğ., 2006; APOGEE: Allende Prieto ve diğ., 2008; SEGUE: Yanny ve diğ., 2009; GES: Gilmore ve diğ., 2012; LAMOST: Zhao ve diğ., 2012; GALAH: de Silva ve diğ., 2015; BRAVA: Kunder ve diğ., 2016 ve *Gaia*: Gaia işbirliği, 2018) yıldızların tayf türleri, radyal hızları, atmosfer model parametreleri, mikro ve makro türbülans hızları ve farklı türden elementlerin bollukları duyarlı bir şekilde belirlenmektedir. Hesaplanan parametreler içinde metal bolluğunun ([Fe/H]) Galaksimizin kimyasal evriminin araştırılmasında önemli bir yeri bulunmaktadır. Bununla birlikte, tayfsal analizler Güneş civarındaki yakın yıldızların metal bolluklarının ölçümünde duyarlı sonuçlar verirken, sönük yıldızlara gidildikçe S/N değerinin azalması metal bolluğu tayinindeki duyarlılığı azaltmaktadır. Dolayısıyla, duyarlı tayf sonuçlarının elde edilmesi için kaynağın parlak -ya da teleskobun büyük- yani S/N değerinin yüksek olması gerekmektedir. Küme yıldızları söz konusu olduğunda ancak kümeye üye parlak O ve B anakol ile evrimleşmiş yıldızların yüksek duyarlılıkta tayfsal gözlemlerinin yapılması mümkündür. Bu da ancak sınırlı ışıma gücü ve parlaklıktaki yıldızların tayfsal analizlerinin yapılması sonucunu doğurur. Sönük nesneler fotometrik gözlemlerde daha yüksek S/N değerleriyle gözlenebildikleri için tayf gözlemlerine göre daha duyarlı verilere sahiptirler (örneğin SDSS, York ve diğ., 2000). Açık kümeler parlak ve sönük yıldızları bir arada bulundururlar. Bu nedenle açık kümelerin metal bolluğu tayininde fotometrik yöntemlerin kullanılması da duyarlı sonuçlar vermektedir.

Fotometrik metal bolluğu tayini fotometrik indeksler ile tanımlanmış yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Literatürde yıldızların metal bolluğu tayini için farklı fotometrik sistemler ile tanımlanmış yöntemler bulunmasına rağmen, *UBV* sisteminde tanımlanan mor-ötesi artığı yöntemi en çok tercih edilendir (örneğin Sandage, 1969; Karaali ve diğ.; 2003; 2005; 2011; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2016). Doktora tez çalışmasında incelenen kümelerin *UBV* parlaklıkları dikkate alınarak UV artığı yöntemiyle metal bolluğu tayini yapılmış ve Karaali ve diğ.'nin (2011) yöntemi tercih edilmiştir.

Roman (1955), zayıf metal çizgilerine sahip F ve G tayf türünden yaklaşık 600 anakol yıldızını $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramına işaretleyerek yıldızların UV artıklarını standart anakoldan hesaplamıştır. Yıldızların UV artıklarının 0 ile 0.2 kadir aralığında değiştiğini ve UV artıkları büyük olan yıldızların uzay hızlarının da büyük olduğunu tespit etmiştir. Literatürde birçok

araştırmacı (Schwarzschild ve diğ., 1955; Sandage ve Eggen, 1959; Wallerstein, 1962) yıldızların UV artıklarını *blanketing modeli* ile ifade etmişlerdir. Bu yöntemde aynı metal bolluğunda ve farklı *B-V* renk indekslerindeki yıldızlar için, (*U-B*) × (*B-V*) iki-renk diyagramında UV artıkları değişkendir. Sandage (1969), UV artıklarını *B-V* = 0.6 kadire normalize edebilmek için bir giyotin çarpanı (*f*) kullanmış ve farklı *B-V* renk indeksleri için geçerli çarpanları hesaplamıştır. Carney (1979), 100 pc uzaklık içindeki anakol yıldızlarının *B-V* = 0.6 kadir renk indeksine kalibre edilmiş UV artıklarını, tayfsal metal bolluklarına göre ikinci dereceden bir polinom fonksiyonuyla ifade etmiştir. Karaali ve diğ. (2003), *UBV* fotometrik sisteminde renk indeksleri $0.37 < (B\text{-}V)_0 < 1.07$ kadir ve metal bollukları da $-2.70 <$ [Fe/H] $< +0.26$ dex aralıklarında bulunan 77 anakol yıldızının UV artıklarını tayfsal metal bolluklarına göre üçüncü dereceden bir polinom ile hesaplamışlardır. Karataş ve Schuster (2006), Güneş civarından seçtikleri F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının UV artıklarını tayfsal metal bolluklarına göre ikinci dereceden bir polinom ile tanımlamışlardır. Karaali ve diğ. (2011) *UBV* fotometrik sisteminde renk indeksleri $0.32 < (B\text{-}V)_0 < 1.16$ kadir ve metal bollukları $-1.76 <$ [Fe/H] $< +0.40$ dex aralıklarında bulunan 701 anakol yıldızını kullanarak, fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu daha hassas elde etmişlerdir. Burada kullanılan metal bolluğu tanımı demir bolluğu ([Fe/H])cinsinden ifade edilmektedir. Farklı araştırmacıların literatüre kazandırdığı metal bolluğu tayini kalibrasyonlarına bakıldığında, yıldızların fotometrik metal bolluklarının hesaplanmasında genellikle geniş band *UBV* filtrelerinde alınmış parlaklıklarının kullanıldığı görülmektedir. Yıldızların $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarının Güneş metal bolluğundaki Hyades kümesinin aynı renkteki anakoluna göre *U-B* farkları metal bolluğuna duyarlıdır. Mor-ötesi artığı $\delta_{U\text{-}B}$ olarak bilinen bu fark, yıldızların metal bolluklarının hesaplanmasında halen başarıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, literatürde verilen metal bolluğu tayini yöntemleri F ve G tayf türünden yıldızlardan itibaren elde edilmiş kalibrasyonlarla oluşturulduğundan, kalibrasyonlar ancak belirli tayf türü aralığındaki yıldızlarda duyarlı sonuçlar vermektedir. Yıldız evrimi incelendiğinde F ve G tayf türünden bir yıldızın anakola ulaşması yaklaşık 30 Myıl sürmektedir. Bu nedenle, fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu F-G tayf türündeki yıldızların anakola gelme zamanları dikkate alınarak en az 30 Myıl'dan yaşlı kümelerde kullanılmaktadır.

Bir anakol yıldızının atmosferinde bulunan ağır elementler ayrı ayrı çıkartılsaydı, yıldız tayfının sürekliliğe yaklaştığı ve *Blanketing vektörleri* boyunca $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramı üzerinde anakolu terk ettiği görülürdü. Teorik modeller, metalce zengin bir yıldızın merkezinde

üretilen enerjinin yıldızın atmosferindeki ağır elementler tarafından, metalce fakir bir yıldıza göre daha fazla engelleneceği ve atmosferini ısıtacağını, az bir kısmının da etkileşimlerden sonra atmosferden yayınlanacağını göstermektedir. Yıldızda üretilen enerjinin yıldız atmosferlerindeki ağır elementlerce soğurulma ve yayınlanma oranlarının bileşkesi *Blanketing etkisi* olarak tanımlanır. Metalce zengin yıldızlar mor-ötesi bölgede ($3{,}000 < \lambda < 4{,}000$ Å) metalce fakir olanlara göre daha fazla soğurma çizgileri gösterirler, bu nedenle metalce fakir yıldızların elektromanyetik tayfın mor-ötesi bölgesinde atmosferlerinden yayınlanan akı daha fazla olur ki bu da metalce fakir bir yıldızın *U* bandında alınan akısında artışa sebep olur.

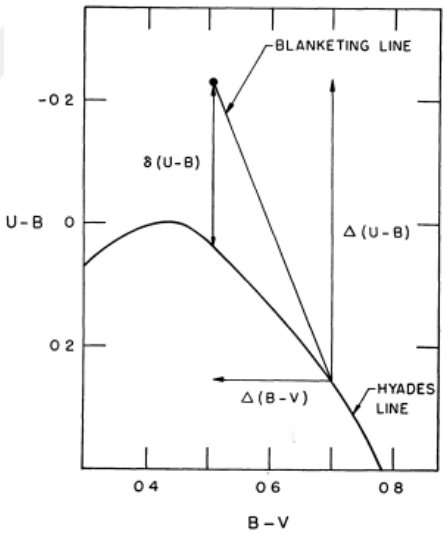
Blanketing etkisinin sürekli tayf ile olan ilişkisi çeşitli yazarlar tarafından araştırılmıştır. Melbourne (1960) anakol ve alt cüce yıldızlarının *UBV* fotometrik sistemindeki parlaklık ve renklerini belirleyerek, bu yıldızların $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramları üzerinde blanketing vektörü boyunca davranışlarını göstermiştir. Wildley ve diğ. (1962) farklı tayf türündeki yıldızların blanketing vektörleri boyunca hareket ettiğini ve yıldız sıcaklıklarının blanketing vektörleriyle ilişkili olduğunu belirtmiştir.

UV artığı, anakol yıldızlarının $(U\text{-}B)_o \times (B\text{-}V)_o$ iki-renk diyagramında Güneş metal bolluğundaki Hyades kümesinin aynı renk indeksindeki anakol yıldızlarına göre *U-B* renk indeksi farkları olarak tanımlanır ki bu fark metal bolluğuna duyarlıdır. Mor-ötesi artığının sayısal olarak ifade edilmesinde Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının *U-B* ve *B-V* renk indeksleri dikkate alınır. Güneş'ten metalce daha fakir yıldızların *U* bandında ölçülen akıları, metalce zengin yıldızlara göre fazladır. Bu da, *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı üzerinde yıldızların Hyades'in aynı *B-V* renk indeksindeki anakol yıldızlarına göre bir UV fazlalığı göstermesine sebep olur (Şekil 3.5).

Sandage (1969) fotometrik analizler sonucunda anakol yıldızlarının UV artığının en büyük değerinin $B\text{-}V = 0.6$ renk indeksine karşılık geldiğini göstermiş ve UV artığının farklı *B-V* renk indekslerinde aynı metal bolluğundaki yıldızlar için değiştiğini belirtmiştir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Sandage (1969), UV artıklarını $B\text{-}V = 0.6$ kadir renk indeksine normalize edecek bir giyotin çarpanı (*f*) kullanmış ve farklı *B-V* renk indeksleri için hesaplamalar yapmıştır. Giyotin çarpanıyla belirlenen UV artığı $\delta_{0.6}$ sembolüyle gösterilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte odak düzlemi aletlerinin duyarlılığının artması tayfsal ve fotometrik gözlemlerin kalitesini arttırmış ve Sandage'in (1969) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun daha geniş bir metal bolluğu aralığındaki yıldızlar kullanılarak

yeniden geliştirilmesini gündeme getirmiştir. 50 yıllık süre içinde *UBV* fotometrik sistemine dayalı metal bolluğu kalibrasyonu birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir (Laird ve diğ., 1988; Karaali ve diğ., 2003, 2005, 2011; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2016). Bu çalışmalar içinde en güncel çalışma Tunçel Güçtekin ve diğ.'ne (2016) aittir. Bu doktora tez çalışması Tunçel Güçtekin ve diğ.'ne (2016) ait bağıntılar literatüre kazandırılmadan önce başladığından ve bu süreç içinde çok sayıda küme analiz edildiğinden metal bolluğu kalibrasyonu için Karaali ve diğ.'nin (2011) bağıntısı tercih edilmiştir. Karaali ve diğ. (2011) *UBV* fotometrik sisteminde renk indeksleri $0.32 < (B\text{-}V)_0 < 1.16$ kadir ve tayfsal demir bollukları $-1.76 < [\mathrm{Fe/H}] < +0.40$ dex aralıklarında bulunan 701 anakol yıldızını kullanarak fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu hassas bir şekilde elde etmişlerdir. Çalışmada F-G anakol yıldızlarının demir bolluklarıyla UV artıkları arasında ikinci dereceden bir polinom fonksiyonu kullanarak 3.12'deki bağıntıyı üretmişlerdir:

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



Şekil 3.5: İki-renk diyagramında metalce fakir bir yıldızın aynı *B-V* renk indeksindeki Hyades anakolundan hesaplanan mor-ötesi artığı ve bu yıldız için oluşturulan blanketing vektörü (Wildey ve diğ., 1962).

Burada $\delta_{0.6}$, $(B\text{-}V)_0$ = 0.6 kadir renk indeksinde ölçülen UV artığı olup, aynı *B-V* renk indeksindeki yıldız ile Hyades yıldızının *U-B* renk indeksleri arasındaki farktır ve $\delta_{0.6}=(U\text{-}B)_Y-(U\text{-}B)_H$ şeklinde ifade edilir. Bağıntıda Y yıldızı, H de Hyades kümesini göstermektedir. Karaali ve diğ.'nin (2011) vermiş olduğu Bağıntı (3.12), doktora tez çalışmasında incelenen kümelere

üye, renk indeksi $0.3 \leq (B\text{-}V)_0 \leq 0.6$ kadir arasında olan F-G tayf türündeki anakol yıldızlarına (Cox, 2000) uygulanmış ve kümelerin fotometrik metal bolluklarının tayininde kullanılmıştır. Kümelerin yaş tayini aşamasında ağır element bolluğuna (Z) ihtiyaç duyulduğundan, Karaali ve diğ.'nin (2011) kalibrasyonundan hesaplanan metal bollukları Bağıntı (3.13) ve (3.14) ile ağır element bolluklarına (Z) çevrilmiştir. Bunun için Bovy'nin[28] PARSEC eş-yaş eğrilerini kullanarak analitik yolla elde ettiği ilişkiler kullanılmıştır:

$$Z_X = 10^{\left[[\mathrm{Fe/H}]+\log\left(\frac{Z_\odot}{1-0.2485-2.78\times Z_\odot}\right)\right]} \tag{3.13}$$

$$Z = \frac{(Z_X - 0.2485\times Z_X)}{(2.78\times Z_X + 1)} \tag{3.14}$$

Burada Z_X, kümenin Bağıntı 3.12'den hesaplanan demir bolluğu ([Fe/H]) ve Güneş'in ağır element bolluğuna ($Z_\odot$=0.0152) bağlı bir ara işlem fonksiyonudur. Z de Z_X'in bir fonksiyonu olup (Bağıntı 3.14), kümenin ağır element bolluğunun belirlenmesinde kullanılan bağıntıdır.

3.5.3. Açık Kümelerin Uzaklık Tayini

Açık kümelerin uzaklıkları, kümeye üye yıldızların uzaklık modülündeki dağılımlarından belirlenebilir. Fakat çift yıldızlar, özel kimyasal yapıya sahip yıldızlar ve yıldız evrimi bu dağılımı etkileyerek uzaklık tayinindeki duyarlılığı azaltmaktadır (Sung ve Bessell, 1999). Bununla birlikte, açık kümelerin uzaklık tayini çoğunlukla ZAMS bağıntılarının kızarmadan arındırılmış renk-parlaklık diyagramlarına uygulanmasıyla yapılmaktadır. Açık kümelerin uzaklık hesabı, $V_0 \times (B\text{-}V)_0$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde ZAMS bağıntılarının küme üyesi yıldızlara fit edilerek uzaklık modüllerinin belirlenmesine ve buradan da Pogson bağıntısıyla uzaklığın tayinine dayanır. Optik bölgede *U-B* renk indeksleri dikkate alınarak üretilen ZAMS bağıntıları metal bolluğuyla (Sung ve Bessell, 1999) kromosferik aktiviteden (Sung ve diğ., 2002) etkilendikleri için uzaklık modülü tayininde duyarlı sonuçlar vermemektedir.

Doktora tez çalışmasında farklı yaşlarda ve metal bolluklarındaki kümeler kullanıldığından, uzaklık modüllerinin belirlenmesinde kümelere fit edilen PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. İncelenen kümelerin $E(B\text{-}V)$ ve $E(U\text{-}B)$ renk artıkları belirlendikten sonra, PARSEC modelleri kümeler için oluşturulan $V \times B\text{-}V$, $V \times U\text{-}B$ renk-parlaklık diyagramlarında

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

renk artıkları da dikkate alınarak dik yönde kümelerin anakol yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayacak şekilde kaydırılmış ve her bir kümenin uzaklık modülü tayin edilmiştir. Tez çalışmasında kümelerin yaş tayini uzaklık modülüyle eş-zamanlı olarak yapılmıştır. Kümelerin uzaklıkları, her bir küme için belirlenen $E(B\text{-}V)$ renk artığının da dikkate alındığı uzaklık modülü ifadesinden (Bağıntı 3.15) hesaplanmıştır:

$$(m_V - M_V)_0 = V - M_V - A_V = 5 \times \log d - 5 \tag{3.15}$$

Bağıntı (3.15)'e göre $(m_V - M_v)_0$ kızarmadan arındırılmış uzaklık modülünü, $V\text{-}M_v$ kümenin anakol çakıştırma yöntemiyle elde edilen uzaklık modülünü, A_v yıldızlararası sönümleme değerini ve d kümenin uzaklığını ifade etmektedir.

Küme uzaklıklarındaki belirsizliklerin hesabında uzaklık modülünün hatası dikkate alınmış ve Bağıntı (3.16) ile (3.17) kullanılmıştır:

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

$$\Delta[\log(d)] = \frac{1}{5} \times [\Delta V + \Delta(M_V) + \Delta(A_V)], \tag{3.16}$$

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

Burada ΔV ve $\Delta(B\text{-}V)$ parlaklık ve renk indeksindeki belirsizlikleri göstermekte olup, incelenen her küme için bu parametrelere ait medyan değerler kullanılmıştır. Sonuç olarak, küme uzaklıklarındaki belirsizlikler Bağıntı (3.17) ile hesaplanmıştır:

$$\Delta\,(d) = \ln(10) \times d \times \frac{1}{5} \times [\Delta V + 3.1 \times \Delta(B - V)] \tag{3.17}$$

3.5.4. PARSEC Eş-Yaş Eğrileri ve Küme Yaşlarının Tayini

Açık kümeler Galaksi diski boyunca geniş bir yaş aralığında bulunurlar. Bununla birlikte, bir kümenin oluşum zamanı tüm üye yıldızları için hemen hemen aynı olduğundan, küme içinde aynı yaşta fakat farklı kütlelerde bulunan yıldızları tek bir eş-yaş eğrisiyle ifade etmek yıldız evrimi açısından son derece önemlidir. Ayrıca, farklı yaşlarda birçok açık kümenin incelenmesi, yıldız evriminin farklı aşamaları ve bu aşamaların astrofizik süreçlerinin incelenmesinin yanı sıra küme yaşlarının küme dinamiği ve kimyasıyla birlikte

değerlendirilmesi sonucunda Galaksi diskinin oluşum, evrim ve yapısıyla ilgili teorilerin sınanmasına yardımcı olur.

Açık kümelerin yaş tayininde teorik yıldız evrim modelleri kullanılmakta olup, literatürde bir çok araştırmacı tarafından oluşturulan yıldız evrim modelleri bulunmaktadır (Pols ve diğ., 1998; Demarque ve diğ., 2004; Girardi ve diğ., 2010; Ekström ve diğ., 2012). Yıldız evrim modellerinin oluşturulmasında temel olarak yıldızların başlangıç kütle değerleri, metal bollukları, kütle kayıpları gibi değişkenler dikkate alınır. Literatürde en çok Padova grubu tarafından oluşturulmuş yıldız evrim modelleri kullanılmaktadır (Bressan ve diğ., 1993; Fagotto ve diğ., 1994a, b; Bertelli ve diğ., 1994). Bu grubun bilinen en güncel yaş eğrileri Bressan ve diğ. (2012) tarafından sunulan PARSEC[29] eş-yaş eğrileridir. Bu modeller sürekli güncellenmekte olup, son yıllarda daha fakir metal bolluklarını ($0.0001 \leq Z \leq 0.06$, $-2.2 \leq$ [M/H] $\leq +0.5$ dex) ve daha geniş kütle aralığındaki yıldızları ($0.1 \leq M/M_{\odot} < 350$) içerecek şekilde geliştirilmiştir (Chen ve diğ., 2014; Tang ve diğ., 2014). Tez çalışmasında kümelerin uzaklık modülü ve yaş tayininde PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılmış ve Güneş'in ağır element bolluğu $Z_{\odot} = 0.0152$ kabul edilmiştir. PARSEC modelleri çok sayıda fotometrik sistem için oluşturulmakla birlikte, kırmızı dev yıldızların iç yapılarındaki karmaşık konvektif hareketler ile çevrelerindeki toz yapıları hesaba katan fotometrik sonuçları da içerecek şekilde üretilmiştir. Bu da PARSEC eş-yaş eğrilerini literatürdeki diğer yıldız evrim modellerinden üstün kılmaktadır.

Doktora tez çalışmasında incelenen açık kümeler için $V \times B\text{-}V$, $V \times U\text{-}B$ renk-parlaklık diyagramları oluşturularak PARSEC eş-yaş eğrileri bu diyagramlar üzerinde kaydırılmış ve kümelerin yaşı tayin edilmiştir. Kümeler için hesaplanan ağır element bolluklarında ve farklı yaşlardaki PARSEC eş-yaş eğrileri, yine kümeler için belirlenen $E(B\text{-}V)$ ve $E(U\text{-}B)$ renk artıkları ve yıldızların kümeye üyelik olasılıkları da dikkate alınarak, $V \times B\text{-}V$, $V \times U\text{-}B$ renk-parlaklık diyagramlarında gözlemsel verileri en iyi temsil edecek şekilde fit edilmiş ve küme yaşları belirtilmiştir.

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

4. BULGULAR

Doktora tez çalışmasında, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda Δl = 10°'lik uzanım içinde seçilen açık kümelerin astrofizik parametrelerinin homojen yöntemler kullanılarak tayin edilmesi, incelenen açık kümelerin Galaksi merkezine uzaklıklarının hesaplanarak radyal metal bolluğu gradyentinin araştırılması ve buradan Galaksi diskinin evrimine dair ipuçları elde edilerek Galaksinin kimyasal evrim modellerine sınırlamalar getirilmesi amaçlanmaktadır.

Samanyolu'nun kimyasal bakımdan zenginleşmesini tarif eden evrim modellerine göre, metal bolluğunun halodan diske doğru zenginleşmesi, Galaksi merkezinden Galaksi sınırlarına doğru ise fakirleşmesi beklenir. Yeni geliştirilen kimyasal/dinamik evrim modelleri de, çekimsel tedirginliklerin yıldızların yörüngelerini etkilemesi sonucunda, yıldızların Galaksi diskinde dış yörüngelere doğru radyal göçlerini önerir. Bu doktora tez çalışmasındaki araştırmada diskin iyi bir göstergesi olan açık kümeler tercih edilmiştir. Açık kümeler aynı yaş, metal bolluğu ve Güneş'ten aynı uzaklıkta olan, farklı tayf ve ışıma gücü sınıfından geniş bir kütle aralığında yıldızlar içerir. Bu da açık kümeleri, kimyasal evrim modellerinin sınanmasında gerekli olan metal bolluğu ve uzaklıkların belirlenmesinde kullanışlı hale getirir. Ayrıca, incelenen açık kümelerin yaşları güncel eş-yaş eğrileri kullanılarak güvenilir şekilde tayin edilmiştir. Bu da metalce zengin ve yaşlı kümelerin bulunması durumunda modellerin önerdiği radyal göçün sınanmasında önemlidir.

Doktora tez çalışmasında incelenen açık kümelerin astrofizik parametrelerinin tayininde bağımsız yöntemler kullanılarak parametre dejenerasyonluğunun önüne geçilmiş ve kümeler homojen yöntemler altında incelendiğinden radyal metal bolluğu gradyentinin araştırılmasındaki yanlılıklar en aza indirilmiştir. Tez çalışmasında çok sayıda küme incelendiğinden, her biri için yapılan analiz adımlarının tek tek anlatılması tezin kapsamını genişletecek ve çok sık tekrar gerektirecektir. Bu sebeple, analiz aşamalarının anlatılmasında tezde en hassas şekilde incelenen ve sonuçları literatüre kazandırılan NGC 7086 açık kümesi örnek alınmıştır. Tezin bulgular kısmında, analiz adımları, şekil ve tablo gibi görseller NGC 7086 ile ilişkili olarak verilmektedir. Çalışmada incelenen diğer kümelerin analiz sonuçları da ilgili şekil ve tablolara atıf yapılarak tezin ekler kısmında verilmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan 39 açık kümenin ekvatoral (α, δ) ve Galaktik (l, b) koordinatları, WEBDA'dan alınan Güneş'e uzaklıkları (d), buradan hesaplanan Güneş merkezli kartezyen (X, Y, Z) ve Galaksi merkezine (R_{gc}) uzaklıkları Tablo 3.1'de, TUG'dan CCD *UBV* gözlemleri yapılan kümelerin de gözlem tarihleri, kullanılan filtreler, poz süreleri ve sayıları Tablo 3.2'de verilmiştir.

4.1. STANDART SİSTEME DÖNÜŞÜM VE SÖNÜMLEME KATSAYILARI

Doktora tez çalışmasında incelenen 15 açık kümenin CCD *UBV* gözlemleri 18.07.2012-17.08.2015 tarihleri arasında TUG'daki T100 teleskobuyla yapılmıştır. Küme alanlarındaki sönük ve parlak yıldızların fotometrik verilerini elde etmek için gözlemler sırasında her bir filtrede farklı poz süreleri kullanılmıştır. Küme görüntüleri dışında tüm gözlem gecelerinde Landolt'un (2009) standart yıldız alanları da gözlenmiştir. Küme ve standart yıldız alan gözlemlerinin CCD kalibrasyonları Bölüm 3.3'te verilen yöntemler ile yapılarak tüm görüntüler CCD kameradan kaynaklanan sistematik hatalardan arındırılmıştır. Bu aşamadan sonra Bölüm 3.3.1'de anlatıldığı gibi standart yıldız gözlemlerinden sönümleme, dönüşüm ve gecelik dönüşüm katsayıları hesaplanmıştır. Tezde kullanılan küme ve standart alanlar için 11 gece gözlem yapılmıştır. Her bir gözlem gecesi için gecelik değerler hesaplanmış olup, katsayılar dikkate alındığında atmosferik şartların genellikle fotometrik olduğu görülmüştür. TUG'da gözlemleri yapılan 15 açık kümenin gözlem geceleri için hesaplanan katsayılar Tablo 3.3'te verilmiştir.

4.2. ASTROMETRİK ÖLÇÜMLER VE MUTLAK FOTOMETRİ

TUG'da gözlenen açık küme alanlarındaki kaynakların aletsel parlaklıklarının ölçülmesinden önce Bölüm 3.3.3'te belirtilen yöntemler kullanılarak astrometrik düzeltme yapılmış ve her bir filtre için görüntülerdeki kaynakların ekvatoral koordinatları (α, δ) elde edilmiştir. IRAF yazılımı kullanılarak kümelerin her bir filtrede (*UBV*) birleştirilmiş görüntüsü oluşturulmuş ve alanlardaki kaynakların aletsel parlaklıkları PSFex (Bertin, 2011) programıyla ölçülmüştür. Aletsel parlaklıklardan standart sistemdeki parlaklıklara geçilmesinde Bağıntı (3.1) – (3.4) ve standart yıldız gözlemlerinden hesaplanan katsayılar kullanılmıştır. Böylece TUG'dan gözlemi yapılan 15 açık küme alanı doğrultusunda bulunan kaynakların aletsel parlaklıkları standart sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmüştür.

Literatürdeki çalışmalardan CCD *UBV* verileri alınan 24 açık kümenin bir bölümü için ekvatoral koordinatları yerine sadece (*X, Y*) piksel koordinatlarına ulaşılmıştır. Bölüm 3.3.3'te verilen yöntemler ile bu kümelerin piksel koordinatları da küme alanlarında tespit edilmiş yıldızların ekvatoral koordinatlarına çevrilmiştir. Kümelerde bulunan kaynakların standart sistemdeki parlaklıkları farklı yazarlar tarafından tayin edilmiş olduğu için tekrar hesaplanmasına gerek duyulmamıştır.

TUG'dan gözlenen ve analizleri yapılan 15 açık küme alanında tespit edilen kaynakların standart sistemdeki parlaklıkları elde edildikten sonra her bir kümenin ekvatoral ve Galaktik koordinatları, *UBV* parlaklık ve ölçüm hatalarıyla yıldızımsılık indeksini içeren kataloglar oluşturulmuştur. Literatürden CCD *UBV* verileri toplanan 24 açık kümenin birçoğunun *UBV* parlaklıklarına ait ölçüm hataları yazarlar tarafından verilmemiştir. Bu nedenle, literatür kümeleri için oluşturulan katalogların bir bölümünde fotometrik parlaklıklara ait ölçüm hataları bulunmamaktadır.

4.3. KÜMEYE ÜYELİK OLASILIKLARI

Doktora tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin fotometrik katalogları oluşturulduktan sonra, yıldızların kümeye üyeliklerinin belirlenmesinde ve astrofizik parametrelerinin tayin edilmesinde homojen yöntemler uygulanmıştır.

Fotometrik katalogların düzenlenmesinin yanı sıra kümeye üyelik olasılıklarının hesaplanması için yıldızların öz hareketlerini de içeren astrometrik kataloglar oluşturulmuştur. Küme alanlarındaki yıldızların öz hareket verilerinin elde edilmesinde oluşturulan kataloglarda yıldızların ekvatoral koordinatları, Roeser ve diğ. (2010) ve Zacharias ve diğ.'nin (2013) kataloglarındaki koordinatlar ile açısal uzaklık için beş yay saniyelik bir üst sınır gözetilerek eşleştirilmiştir. Zacharias ve diğ.'nin (2013) öz hareket kataloğu (UCAC4) hassas öz hareket verileri içermesine rağmen, V = 16 kadirden daha sönük yıldızlar için öz hareket hataları arttığından duyarlılık azalmaktadır. Bu nedenle doktora tez çalışmasında incelenen tüm kümeler için Roeser ve diğ.'nin (2010) astrometrik kataloğu (PPMXL) kullanılmıştır. Böylece, yaklaşık V = 19 kadirden daha parlak çoğu yıldızın öz hareket verilerine ulaşılabilmiştir. Bu aşamadan sonra, öz hareket verileri Bölüm 3.3.4'de verilen algoritma kullanılarak (Bağıntı 3.5-3.10), incelenen küme alanlarındaki her yıldızın kümeye üyelik olasılığı hesaplanmış ve kümelerin fotometrik kataloglarına eklenmiştir. Bölüm 3.3.4'te belirtildiği gibi, *Gaia* DR2 veri

salımı (Gaia işbirliği, 2018) astronomlara doktora tez çalışmasının ilerleyen dönemlerinde sunulduğundan, yıldızların kümeye üyelik olasılıklarının hesaplanmasında *Gaia* DR2 öz hareketleri kullanılmamıştır. Ancak, küme alanlarındaki yıldızların *Gaia* DR2 verilerinden itibaren tüm kümelerin ortalama öz hareketleriyle daha sonra uzaklık karşılaştırmasında kullanılacak trigonometrik paralakslardan hesaplanan *Gaia* uzaklıkları belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 3.3.4).

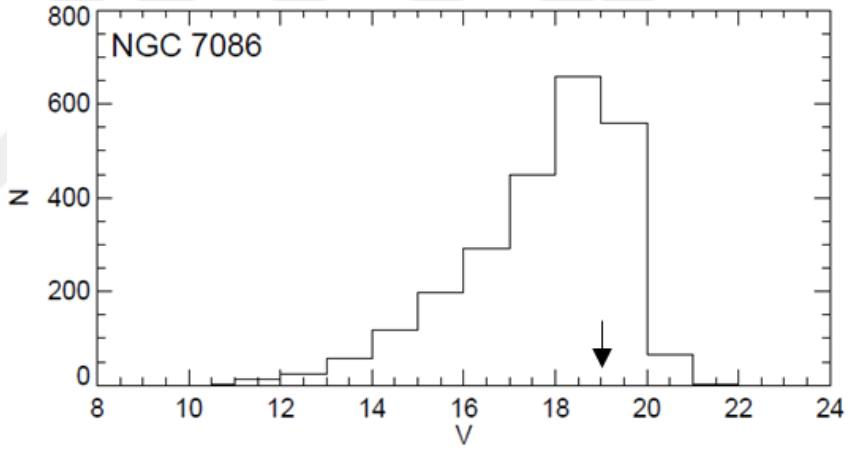
Yıldızların PPMXL kataloğundaki öz hareket bileşenlerinden hesaplanan üyelik olasılıklarının duyarlılığının sınanması için yıldızların *Gaia* DR2'deki astrometrik verileri (öz hareket ve trigonometrik paralaks) de elde edilmiştir. Yıldızların eşleştirilmesi, UCAC4 ve PPMXL'de olduğu gibi, ekvatoral koordinatlarına göre beş yay saniyelik bir üst sınır dikkate alınarak yapılmıştır. Böylece, küme kataloglarına *Gaia* DR2 verileri de eklenmiştir. *Gaia* DR2 öz hareket verileri kullanılarak küme alanında bulunan yıldızların *V* görünen parlaklığının bir fonksiyonu olacak şekilde öz hareket uzaylarında kümeleştikleri merkezi bölgeler belirlenmiştir. Daha sonra kümelerin vektör nokta diyagramlarındaki merkezi öz hareket bölgeleri tespit edilerek, yıldız sayı yoğunluğuna bağlı olarak, merkezden 0.5 ila 1 mas'lık yarıçap içinde kalan yıldızlar belirlenmiştir (bkz. Bölüm 3.3.4). *Gaia* DR2'den kabaca kümeye üye olarak belirlenen bu yıldızların PPMXL'den hesaplanan üyelik olasılıkları incelendiğinde, kümeye üyelik olasılıklarının %50'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, PPMXL kataloglarındaki öz hareket bileşenlerinden hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarının duyarlı olduğunu göstermiştir.

TUG'da gözlemleri yapılan 15 kümenin fotometrik parlaklıklarının tayininde kullanılan programlardan SourceExtractor (SExtractor, Bertin ve Arnouts, 1996), aynı zamanda, program çıktısı olarak alandaki kaynakların morfolojilerinin belirlenmesini sağlayan yıldızımsılık indeksi değerini de verir. Yaygın kaynakların morfolojileri yıldızlarınkinden farklıdır. Yıldızımsılık indeksi (*YI*) değeri 0.8'den küçük olanlar *yaygın kaynak* olarak sınıflandırılmış ve (Andreuzzi ve diğ., 2002; Karaali ve diğ., 2004) fotometrik kataloglardan çıkarılmıştır. Bu kümelerin analizlerinde, kataloglarda $YI > 0.8$ olarak belirlenen yıldızlar dikkate alınmıştır.

Küme analizlerinin daha hassas yapılabilmesi için, öncelikle kataloglardaki yıldızların fotometrik tamlık sınırları incelenmiştir. Fotometrik tamlık sınırı, gözlemlerde kullanılan poz süresinin küme alanındaki sönük kaynakları hangi parlaklık limitine kadar tespit ettiğini gösterir. Bir küme alanında tamlık sınırından daha sönük veya parlak yıldızlar bulunabilir. Tez

çalışmasında incelenen 39 açık küme için ardışık *V* görünen parlaklık aralıklarındaki yıldız sayılarının histogramları oluşturulmuş ve yıldız sayısının azalma gösterdiği parlaklık değerleri kümenin sönük tamlık sınırı olarak kabul edilmiştir. NGC 7086 alanındaki yıldızların *V* parlaklıklarına göre oluşturulmuş histogramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Küme alanında 2,438 yıldız tespit edilmiş olup, Şekil 4.1'deki dağılımda yıldız sayılarının $V = 19$ kadire kadar arttığı görülmektedir. Bu limit parlaklıktan sonra yıldız sayısı azaldığından, NGC 7086 açık kümesinin sönük tamlık sınırı V=19 kadir olarak belirlenmiştir. Şekilden görüleceği gibi küme alanındaki kaynaklar $11 < V < 19$ kadir aralıklarında etkindir.

Tez çalışmasında kullanılan tüm kümeler için bu histogramlar oluşturularak, sönük tamlık sınırları belirlenmiştir. Kümeler için belirlenen sönük tamlık sınırları, kümelerin astrofiziksel parametrelerinin tayininde dikkate alınmıştır. Tezde kullanılan 39 kümenin sönük tamlık sınır histogramları Ek Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: NGC 7086 kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların *V* parlaklıklarının histogramı. Şekil üzerindeki ok tamlık sınırını göstermektedir.

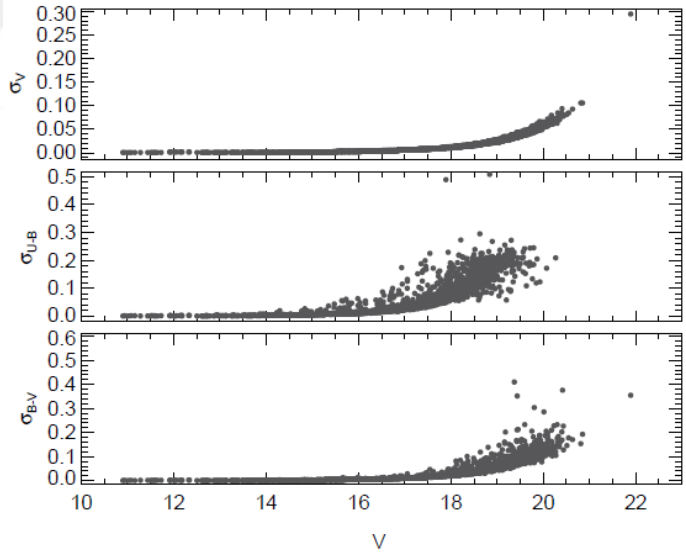
4.4. FOTOMETRİK HATALAR

Doktora tez çalışmasında TUG'daki fotometrik gözlemlerden elde edilen verilerin hassasiyetini ortaya koyabilmek için parlaklık ve renk indeksi hataları *V* görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak hesaplanmış ve listelenmiştir. Örnek olarak NGC 7086 açık kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızlar ardışık *V* görünen parlaklıklarına göre ayrılarak *V*, *U-B* ve *B-V* renk indekslerindeki belirsizliklerin ortalama değerleri hesaplanmış, elde edilen bulgular Tablo 4.1'de, parlaklık ve renk indekslerindeki belirsizlikler de *V* parlaklığının bir fonksiyonu olarak

Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekildeki dağılımda, hatalarda $V \sim 15.5$ kadir civarında çok belirgin olmayan bir süreksizlik görülmektedir, bu durum gözlemler sırasında farklı poz sürelerinin kullanımından kaynaklanmaktadır. Parlaklık hataları aletsel parlaklıkların istatistiksel belirsizliklerinden, renk indekslerindeki belirsizlikler de ilgili parlaklıkların hata yayılımlarından hesaplanmıştır. Tezdeki 39 küme için ilgili hata tabloları Ek Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: NGC 7086 doğrultusunda tespit edilen yıldızların, *V* parlaklık aralıklarına göre fotometrik ölçüm hataları. *N*, parlaklık aralıklarındaki yıldız sayısını gösterir.

Parlaklık (kadir)	***N***	σ_V **(kadir)**	σ_{U-B} **(kadir)**	σ_{B-V} **(kadir)**
$10 < V \leq 12$	16	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	81	0.001	0.002	0.001
$14 < V \leq 16$	316	0.002	0.009	0.004
$16 < V \leq 18$	741	0.007	0.046	0.014
$18 < V \leq 20$	1217	0.027	0.139	0.064
$20 < V \leq 22$	67	0.072	0.191	0.157



Şekil 4.2: NGC 7086 açık kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların *V* parlaklığına göre fotometrik ölçüm hataları verilmiştir.

Fotometrik ölçümlerin hata mertebeleri dikkate alındığında, *V* parlaklığı $10 < V \leq 18$ kadir aralığında olan yıldızların ortalama fotometrik hataları *V* filtresinde 0.01'in altındayken, *U-B* ve *B-V* renk indekslerinde 0.05'i aşmamaktadır. NGC 7086 kümesinin fotometrik tamlık sınırını içeren $18 < V \leq 20$ aralığı incelendiğinde, *V* bandındaki ortalama hatanın 0.05'in altında

kaldığı, *U-B* ve *B-V* renk indeksleri için ortalama fotometrik hataların, sırasıyla, 0.139 ve 0.064 kadir olduğu görülmektedir. *V* = 20 kadirden daha sönük yıldızların *U-B* ve *B-V* renk indekslerindeki ortalama hataların 0.15'ten daha büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Sönük parlaklıklara gidildikçe özellikle *U* bandındaki ortalama fotometrik hataların *V* ve *B-V*'den daha büyük olduğu belirlenmiştir. *U* bandıyla yapılan ölçümlerde sönük parlaklıklara gidildikçe yıldızlardan alınan enerji azaldığından, dolayısıyla S/N değeri küçüldüğünden, sönük yıldızların bu banttaki fotometrik hatalarının artması beklenen bir durumdur.

Farklı parlaklık aralıklarındaki hatalar incelendiğinde mutlak fotometrinin, kümenin tamlık sınırını da içeren sönük parlaklıklara kadar (*V*~20 kadir) duyarlı olduğu görülmektedir. Bu da elde edilen astrofiziksel parametrelerin hassas sonuçlar vereceğini göstermektedir. Ayrıca, TUG'dan gözlemi yapılan diğer kümelerde de benzer poz süreleri kullanıldığından bu kümelerdeki fotometrik ölçüm hataları da genelde küçüktür.

Fotometrik verileri literatürdeki farklı yazarlardan alınan ve tez çalışmasında incelenen diğer kümelerin birçoğunun parlaklık ve renk indeks hatalarına ulaşılamamıştır. Bu nedenle sadece TUG'dan gözlemleri yapılan 15 açık küme için fotometrik hata dağılımları Ek Şekil 2'de gösterilmiştir.

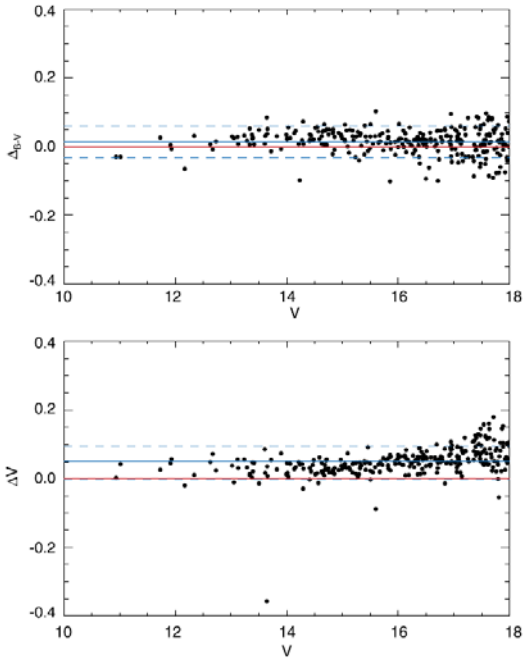
4.4.1. Fotometrik Ölçümlerin Literatür ile Karşılaştırılması

Doktora tez çalışmasında incelenen 39 açık kümeden 24'ü literatürdeki farklı yazarlardan alındığından, bu kümeler için sadece astrofizik sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. TUG'dan fotometrik gözlemleri yapılan 15 açık küme için literatür taramasında CCD *U*, *B* ve/veya *V* bandlarında ölçüm sonuçlarına ulaşılan kümelerin mevcut olan parlaklık ve renk indeksleri karşılaştırılmıştır. Bu bölümde sadece NGC 7086 için fotometrik karşılaştırma sonuçları verilmiş olup, astrofizik parametrelerin karşılaştırılması diğer kümeler ile birlikte tez çalışmasının *Tartışma ve Sonuç* kısmında verilmiştir.

NGC 7086 açık kümesinin literatür taraması yapıldığında, kümeye ait fotoğrafik ve fotometrik gözlemlerden yapılan yayınların az olduğu tespit edilmiştir (Hassan, 1967; Lindoff, 1968). Kümenin en güncel CCD *BV* çalışmaları Rosvick ve Robb (2006) ile Kopchev ve Petrov (2008) tarafından literatüre sunulmuş, ancak CCD *U* gözlemlerinin bulunmadığı görülmüştür. NGC 7086'nın literatürde az sayıda CCD çalışması olmasına rağmen, özel iletişimle, sadece Rosvick

ve Robb'un (2006) verilerine ulaşılmış, karşılaştırmalar sadece *V* parlaklığı ve *B-V* renk indeksiyle yapılabilmiştir.

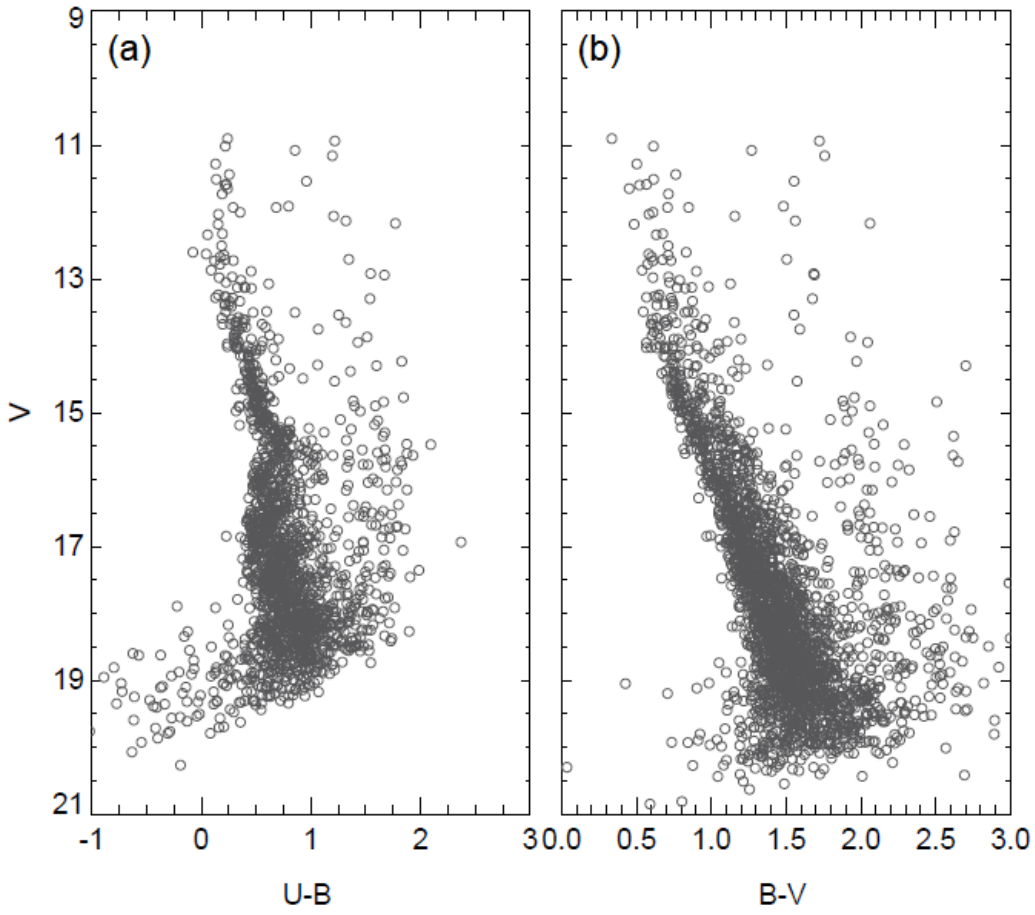
NGC 7086 kümesinin ilk CCD *BV* gözlem ve analizlerini yapan Rosvick ve Robb (2006), kümenin merkezi doğrultusunda 5 × 6 yay dakikalık alanda $10 < V < 18$ kadir aralığında 1,166 yıldızın fotometrik parlaklık ve renk indeksini belirlemişlerdir. NGC 7086'nın tez çalışmasında oluşturulan kataloğundaki 2,438 yıldızın ekvatoral koordinatları Rosvick ve Robb (2006) ile karşılaştırıldığında iki çalışmada görünen parlaklığı $V \leq 18$ kadir olan 637 yıldızın eşleştiği görülmüştür. İki çalışmada ortak olarak belirlenen 637 yıldızın *V* parlaklık ve *B-V* renk indekslerine ait karşılaştırmalar Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekilde, yatay eksende tezde hesaplanan *V* parlaklıkları, dikey eksende de tezde ölçülen ve Rosvick ve Robb'da (2006) hesaplanan *B-V* renk indeksi ve *V* parlaklıklarındaki farklar gösterilmiştir. İki çalışmada ortak oldukları belirlenen 637 yıldızın fotometrik verilerinin karşılaştırılması sonucunda hesaplanan farkların ortalamaları ve standart sapmaları, sırasıyla, $\langle \Delta_V \rangle = 0.051$, $\langle \Delta_{B-V} \rangle = 0.014$ kadir ve $\sigma_V = 0.043$, $\sigma_{B-V} = 0.046$ kadirdir. Sönük parlaklıklara doğru verilerdeki saçılma beklenen bir durum olup, iki çalışmada hesaplanan parlaklık ve renk indekslerinin fotometrik analizlerde kabul edilir seviyede uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3: NGC 7086'nın bu çalışmadan ölçülen ve Rosvick ve Robb'dan (2006) hesaplanan *B-V* renk indeksleriyle (üst panel), *V* görünen parlaklıklarının (alt panel) karşılaştırılması.

4.5. RENK-PARLAKLIK DİYAGRAMLARI

Açık kümelerin astrofiziksel parametrelerinin tayininde renk-parlaklık diyagramları en çok kullanılan araçların başında gelir. Çok renk fotometrik verilerden oluşturulan bu diyagramlardan kümelerin uzaklık ve yaşları tayin edilebilir. Bu nedenle tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş (Ek Şekil 3) ve astrofiziksel parametrelerinin bir kısmı (uzaklık modülü ve yaş) bu diyagramlar kullanılarak hesaplanmıştır. NGC 7086 açık kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekildeki her iki panelde de küme üyeleri göz ile ayırt edilebilmesine rağmen, özellikle sönük parlaklıklara doğru görülen ve küme doğrultusundaki alan yıldızlarından kaynaklanan kirlenme dikkat çekmekte, bu da kümeye üye yıldızların belirlenmesini zorlaştırmaktadır.



Şekil 4.4: NGC 7086 kümesi doğrultusunda tespit edilen yıldızların $V \times U\text{-}B$ (a), $V \times B\text{-}V$ (b) renk-parlaklık diyagramlarındaki konumları.

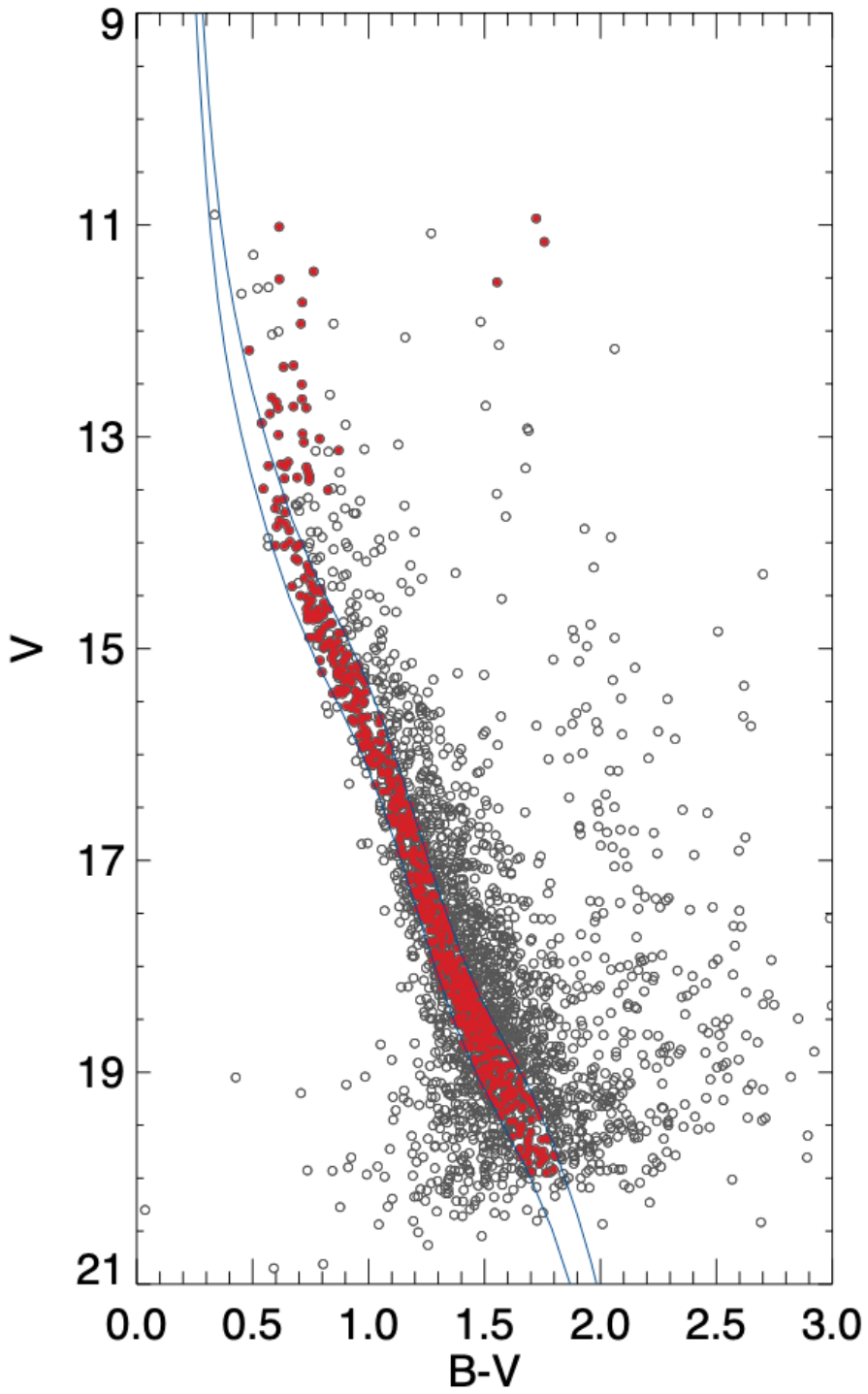
Şekil 4.4 incelendiğinde, görünen parlaklıkları $11 < V < 12$ kadir, renk indeksleri $0.5 < B\text{-}V < 0.8$ ve $0 < U\text{-}B < 0.3$ kadir aralığında bulunan yıldızlar kümenin dönüm noktasına karşılık gelmektedir. Kümenin anakol yıldızları, söz konusu diyagramlardan kabaca belirlenen dönüm noktasındaki yıldızların altında yaklaşık $V = 15.5$ kadire kadar belirgin bir şekilde ayırt edilebilmekte, bu parlaklığın ötesinde alan yıldızlarının baskınlığı görülmektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.4b'de parlaklığı $V < 12$ kadir ve renk indeksi $1.5 < B\text{-}V < 1.8$ kadir olan bölgedeki yıldızlar kümenin alt dev kolu ve kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu bölgelere denk gelmektedir. Parlaklığı $V \sim 15.5$ kadirden sönük yıldızlarda ise alan yıldızlarının baskınlığının kümenin geç tayf türünden yıldızlarının ayırt edilmesini zorlaştırdığı görülmektedir.

Açık kümelerin yaşları, kümeye üye yıldızların sayı yoğunluğu ve/veya kalabalık alan yıldızları gibi durumlar kümelerin renk-parlaklık diyagramlarındaki morfolojilerini etkiler. Bu durum, kümelerin anakol, dönüm noktası, alt dev kolu ve kırmızı dev bölgesi gibi yapılarının renk-parlaklık diyagramlarından belirgin bir şekilde tespit edilmesini güçleştirebileceği gibi, kolaylıkla ayırt edilmelerini de sağlayabilir. Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin yaşları ve morfolojileri farklı olduğundan, NGC 7086 özelinde anlatılan renk-parlaklık diyagramındaki (Şekil 4.4) kümenin yapısını belirleyen bölgeler (anakol, dönüm noktası, alt dev kolu vb.) de çalışmadaki diğer kümeler için değişkenlik göstermektedir (bkz. Ek Şekil 3). Tez çalışmasındaki tüm kümelerin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde, bir bölümünün dönüm noktasının kırmızı tarafında alt dev kolunda veya kırmızı dev kolundaki yıldızların yaklaşık olarak belirlenebildiği, bunun da küme yaşlarına ve morfolojilerine bağlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca Şekil 4.4'te görüleceği gibi, $V \sim 15.5$ kadirden daha sönük parlaklıklarda küme doğrultusundaki alan yıldızlarının etkisi artmakta ve kümenin geç tayf türünden yıldızlarının ayırt edilmesini güçleştirmektedir. Şekilden NGC 7086'nın renk-parlaklık diyagramları üzerindeki yapısı için söz edilen parlaklık limitleri, doğal olarak kümeden kümeye değişmektedir.

4.6. KÜMEYE ÜYE YILDIZLARIN BELİRLENMESİ

Kümelerin oluşumu, kimyasal yapıları ve kümeye üye yıldızların birbirine uyguladıkları fiziksel etkileşimler dikkate alındığında, küme yıldızlarının renk-parlaklık diyagramları üzerindeki konumlarının göz ile ayırt edilmesi beklenir. Çünkü küme yıldızları Güneş'ten hemen hemen aynı uzaklıkta, benzer kimyasal kompozisyonda ve aynı yaşta bulunurlar. Bu

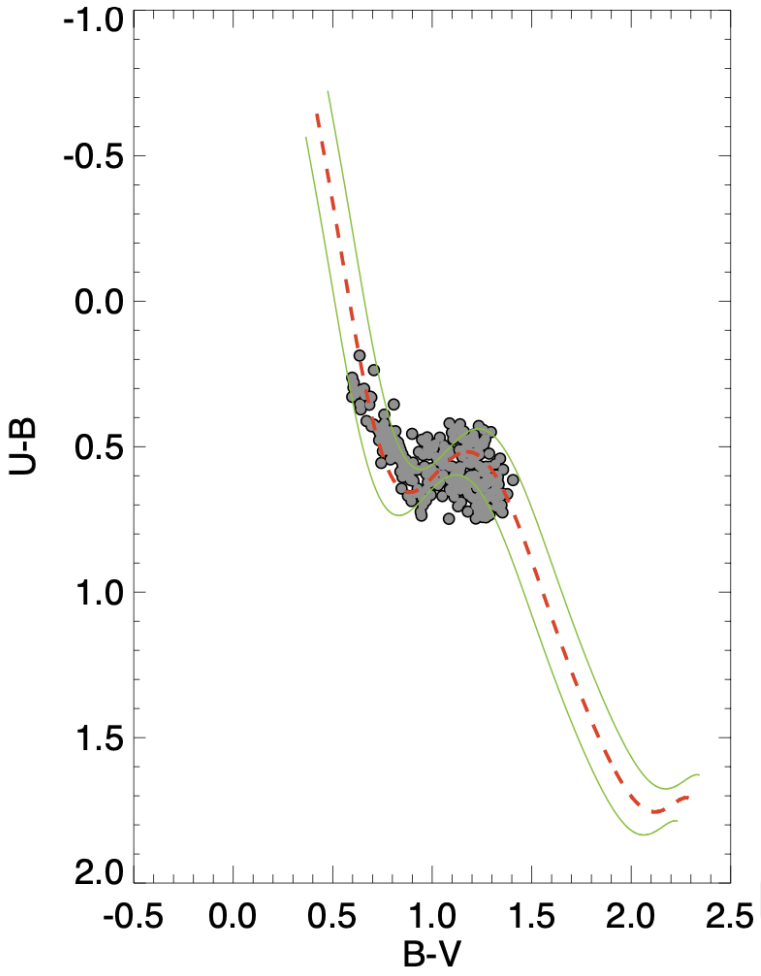
özellikleri renk-parlaklık diyagramı üzerinde ince ve belirgin bir yapıda görülmelerini sağlar. Fakat fotometrik gözlemlerden kaynaklanan bazı etkiler, gözlemsel hataların sönük parlaklıklara doğru artması ve ayrık bir şekilde görülemeyen yıldız sisteminin hem daha parlak hem de daha kırmızı görülmesi olarak ifade edilen çift yıldız etkisi gibi sebepler kümenin anakolunu genişleterek bir bant şeklinde görülmesine neden olur. Bununla birlikte, küme doğrultusundaki alan yıldızlarının varlığı, Şekil 4.4'te örnek verildiği gibi, renk-parlaklık diyagramlarında küme yıldızlarının ayırımını zorlaştırmaktadır. Kümeye en olası üye yıldızların belirlenerek küme analizlerinin bu yıldızlar ile yapılması, elde edilen astrofiziksel parametrelerin duyarlılığını arttırır. Kümeye üyelikler, yıldızların fotometrik renk uzaylarındaki dağılımlarından belirlenebilmesine rağmen, küme morfolojileri ve yıldız yoğunluklarıyla birlikte, sönük parlaklıklardaki alan yıldız kirlenmesi gibi sebepler kümelere üye yıldızların tespitini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple, doktora tez çalışmasında incelenen kümelerin en olası üyelerinin belirlenmesinde küme doğrultusundaki yıldızların öz hareket bileşenleriyle renk uzaylarındaki konumları birlikte değerlendirilmiştir. Bunun için öncelikle, küme alanlarında bulunan yıldızların $V \times B\text{-}V$ diyagramları oluşturularak kümenin anakolu göz ile yaklaşık olarak belirlenmiş ve bu yapı temel alınarak ZAMS sınırı tespit edilmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan bu yöntem için, doktora tez çalışmasında Sung ve diğ'nin (2013) gözlemsel ZAMS verileri tercih edilmiştir (Tablo 3.5). NGC 7086'nın $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı üzerine Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi işaretlenmiş ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bununla birlikte, kümedeki çift yıldız etkisinin neden olacağı olası anakol genişleme mekanizmasından dolayı ZAMS eğrisi en fazla ~0.75 kadir daha parlak olacak şekilde anakol tabanına paralel yönde kaydırılmıştır (Şekil 4.5). Kümeye en olası üye yıldızları belirleyebilmek için öncelikle kümenin dönüm noktasının altında ve iki ZAMS çizgisi arasında kalan yıldızlar ile kümenin dönüm noktasının üstündeki tüm yıldızlar seçilmiştir. Bu şartları sağlayan yıldızlardan, kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olanlar kümenin en olası üyeleri olarak belirlenmiştir. Doktora tez çalışmasındaki yıldızların üyelik olasılıkları diğer kümelerde de $P \geq$ %50 olarak kabul edilmiştir. Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin en olası üye yıldızlarının belirlenmesinde de NGC 7086'da uygulanan yöntem kullanılmıştır. Kümelerin astrofiziksel parametrelerinin hesaplanmasında üyelik olasılığı yüksek ($P \geq$ %50) yıldızlar dikkate alınmıştır. Tez çalışmasında analiz edilen tüm kümelerin $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramlarındaki ZAMS ile belirlenen küme üyesi yıldızları Ek Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: NGG 7086 kümesi doğrultusunda gözlenen yıldızların $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramı. Mavi sürekli çizgiler Sung ve diğ.'ne (2013) ait ZAMS eğrileri olup, alt ve üst tabanı oluşturanlar, sırasıyla, kümenin anakol tabanı kabul edilen sınır ile çift yıldız etkisi dikkate alınarak 0.75 kadir parlaklaştırılan ZAMS eğrisini göstermektedir. İçi dolu kırmızı daireler kümenin en olası üyelerini ($P \geq$ %50), içi boş daireler de küme doğrultusundaki üyelik olasılığı düşük yıldızları göstermektedir.

4.7. KÜMELERİN RENK ARTIKLARININ BELİRLENMESİ

Literatürde açık kümeler ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla, farklı renk-parlaklık diyagramları üzerine fit edilen eş-yaş eğrileriyle incelenen bir açık kümenin renk artığı, uzaklık modülü, metal bolluğu ve yaşının eş-zamanlı olarak tayin edildiği görülmektedir. Birçok araştırmacı literatürde tercih edilen bu yöntemin parametre dejenerasyonluğuna yol açabileceğini belirtilmektedir (King ve diğ., 2005; de Meulenaer ve diğ., 2013; Janes ve diğ. 2014). Bu durumda izlenmesi gereken yöntem, söz konusu parametrelerin birbirinden bağımsız yöntemler ile elde edilmesidir. Küme doğrultusundaki renk artığı, kümelerin iki-renk ve renk-parlaklık diyagramlarından tayin edilen metal bolluğu, uzaklık ve yaşını etkilediğinden, öncelikle belirlenmesi gereken astrofizik parametredir. Doktora tez çalışmasında küme doğrultusundaki renk artıkları ZAMS eğrilerinin kümelerin iki-renk diyagramlarına fit edilmesiyle belirlenmiştir. Bu yöntemin uygulanmasında Sung ve diğ.'nin (2013) anakol için verdiği gözlemsel ZAMS eğrileri tercih edilmiştir (Bkz Tablo 3.5). Tez çalışmasında incelenen kümeler için, *V* bandındaki sönümlemeyle *E(B-V)* ve *E(U-B)* renk artıklarının hesaplanmasında *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı kullanılmıştır. Küme doğrultusundaki renk artığının ölçülmesinde kümeye üyelik olasılığı $P \geq \%50$ olan anakol yıldızlarının *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramları oluşturulmuş ve Sung ve diğ'nin (2013) Güneş bolluğundaki ZAMS verileri Bölüm 3.5.1'de verilen Bağıntı (3.11)'e göre, kümeler için belirlenen muhtemel küme üyesi yıldızlar ile uyum sağlayıncaya kadar kaydırılmıştır. ZAMS'ın fit edilme işleminde, renk artığı $0.01 < E(B\text{-}V) < 1.50$ kadir aralığında 0.01 adımlar ile taranmış, χ^2 analizleri yapılmış ve bu analizler içinde en küçük χ^2 değerine karşılık gelen $E(U\text{-}B)$ ve $E(B\text{-}V)$ renk artıkları kümelerin kızarma değerleri olarak kabul edilmiştir. NGC 7086 açık kümesinin iki-renk diyagramında kümenin yüksek olasılıklı anakol yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayan ZAMS eğrisi Şekil 4.6'da kırmızı kesikli çizgiler ile, $\pm 1\sigma$ değerine karşılık gelen belirsizlikler de yeşil çizgiler ile gösterilmiştir. Kümenin renk artıkları $E(B\text{-}V) = 0.75 \pm 0.05$ ve $E(U\text{-}B) = 0.54 \pm 0.04$ kadir hesaplanmıştır. Tez çalışmasında aynı yöntem ile incelenen kümelerin *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramları Ek Şekil 5'te verilmiş olup, her şekil üzerinde, ilgili kümenin renk artığı değerleri de sunulmuş ve tüm bulgular Tablo 4.2'de listelenmiştir.



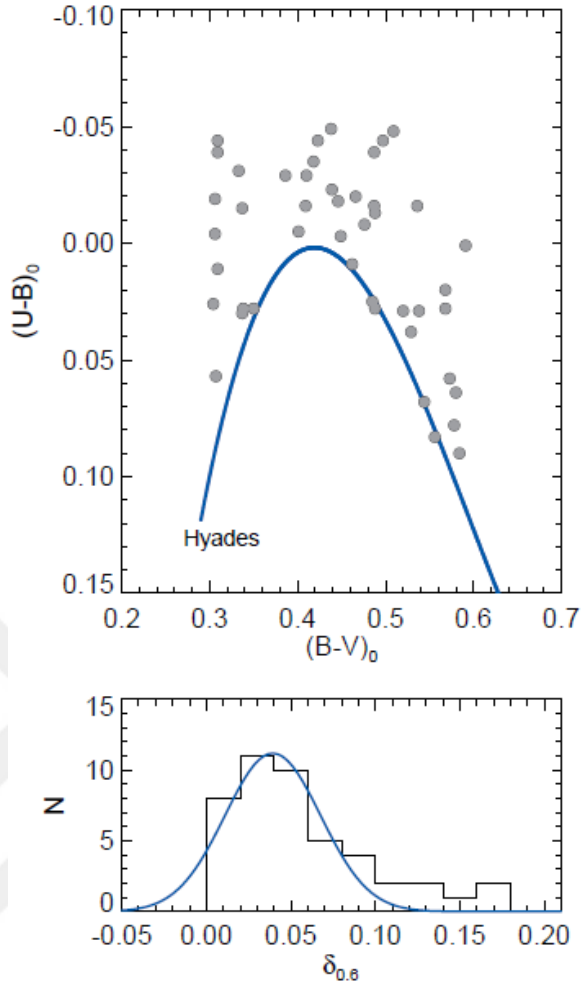
Şekil 4.6: NGC 7086 açık kümesinin *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramı. Kümenin anakolunda yer alan ve kümeye üyelik olasılıkları $P \geq$%50 olan yıldızlar gri daire sembolüyle, Sung ve diğ.'nin (2013) ZAMS eğrisi kırmızı kesikli çizgiyle, dağılımın $\pm 1\sigma$ belirsizliği ise yeşil çizgiler ile gösterilmiştir.

4.8. KÜMELERİN METAL BOLLUKLARININ TAYİNİ

Orta tayf türündeki anakol yıldızlarının anakolda kalma süreleri Galaksimizin yaşıyla karşılaştırılabilecek mertebededir. Bununla birlikte, bu tür yıldızlar çekirdeklerindeki hidrojeni henüz tüketmediğinden dış zarflarında bulunan konveksiyon tabakası daha iç katmanlara erişemez. Bu nedenle, yıldızın iç yapısındaki ağır elementler yıldızın atmosferine ulaşamaz ve yıldız atmosferi oluştuğu molekül bulutunun kimyasal kompozisyonunu yansıtır. Açık kümelerde bulunan F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik veya tayfsal analizlerinin yapılması, bu yıldızlardan itibaren kümenin ortalama metal bolluğunun tayinine olanak verir. Tez çalışmasında F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını barındıran açık

kümelerin metal bolluklarının tayininde Karaali ve diğ. (2011) tarafından geliştirilen fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu kullanılmıştır (Bağıntı 3.12). Kalibrasyonda F ve G tayf türü anakol yıldızları kullanıldığından, bu yıldızların seçiminde renk indekslerine sınırlamalar getirilmesi gerekmektedir. Cox (2000) F ve G tayf türünden anakol yıldızları için kızarmadan arındırılmış $0.30 \leq (B\text{-}V)_0 \leq 0.60$ kadir renk indeksi aralığını vermiştir. Doktora tez çalışmasında F ve G tayf türünden yıldız içeren kümeler için iki-renk diyagramlarından hesaplanan $E(U\text{-}B)$ ve $E(B\text{-}V)$ renk artığı değerleri dikkate alınarak yıldızların $U\text{-}B$ ve $B\text{-}V$ renk indeksleri kızarmadan arındırılmış ve $0.30 \leq (B\text{-}V)_0 \leq 0.60$ kadir aralığına giren, $P \geq$ %50 olan yıldızlar kümelerin yüksek olasılıklı üye F ve G tayf türünden anakol yıldızları olarak belirlenmiştir. Bu yıldızların UV artıkları Bölüm 3.5.2'de verilen yöntem ile hesaplanmış ve ardından bu değerler $(B\text{-}V)_0 = 0.60$ kadir renk indeksindeki değerlere göre kalibre edilmiştir. NGC 7086 açık kümesinin fotometrik metal bolluğunun belirlenmesinde kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan 45 F ve G tayf türü anakol yıldızı belirlenmiştir. Kümenin ortalama UV artığı Şekil 4.7'nin alt panelinde gösterilen frekans dağılımına fit edilen Gauss eğrisinden $\langle \delta_{0.6} \rangle = 0.014 \pm 0.002$ kadir olarak belirlenmiştir. Bu değerin Bağıntı (3.12)'de verilen kalibrasyona yerleştirilmesiyle de NGC 7086 açık kümesinin demir bolluğu [Fe/H] = -0.058 ± 0.133 dex hesaplanmıştır. Kümenin demir bolluğunun ağır element bolluğuna çevrilmesinde Bağıntı (3.13) ve (3.14) kullanılmış ve ağır element bolluğu Z = 0.013 olarak tayin edilmiştir. Hesaplanan bu değer, kümenin yaş tayininde bağımsız bir parametre olarak kullanılmıştır. Tez çalışmasındaki kümelerin fotometrik metal bolluğu tayininde kullanılan iki-renk diyagramları ve UV artık değerlerinin frekans dağılımları Ek Şekil 6'da, hesaplanan metal bollukları da Tablo 4.2'de verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında 30 Myıl'dan yaşlı kümeler incelense de, bazı küme alanlarında yıldız sayısının yeterli olmaması, kümelerin fotometrik metal bolluğu tayininde F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin 37'sinde fotometrik kalibrasyonlarda kullanılabilecek yeterli sayıda F ve G anakol yıldızı tespit edilmiştir. Ancak, iki kümenin (King 7 ve NGC 188) metal bollukları literatürdeki tayfsal çalışmalardan alınmıştır Buna göre King 7 ve NGC 188 açık kümeleri için metal bollukları, sırasıyla, [Fe/H] = -0.05 ± 0.02 dex (Donor ve diğ., 2018) ve [Fe/H]= -0.12 ± 0.16 dex (Hobbs ve diğ., 1990) kabul edilmiştir.



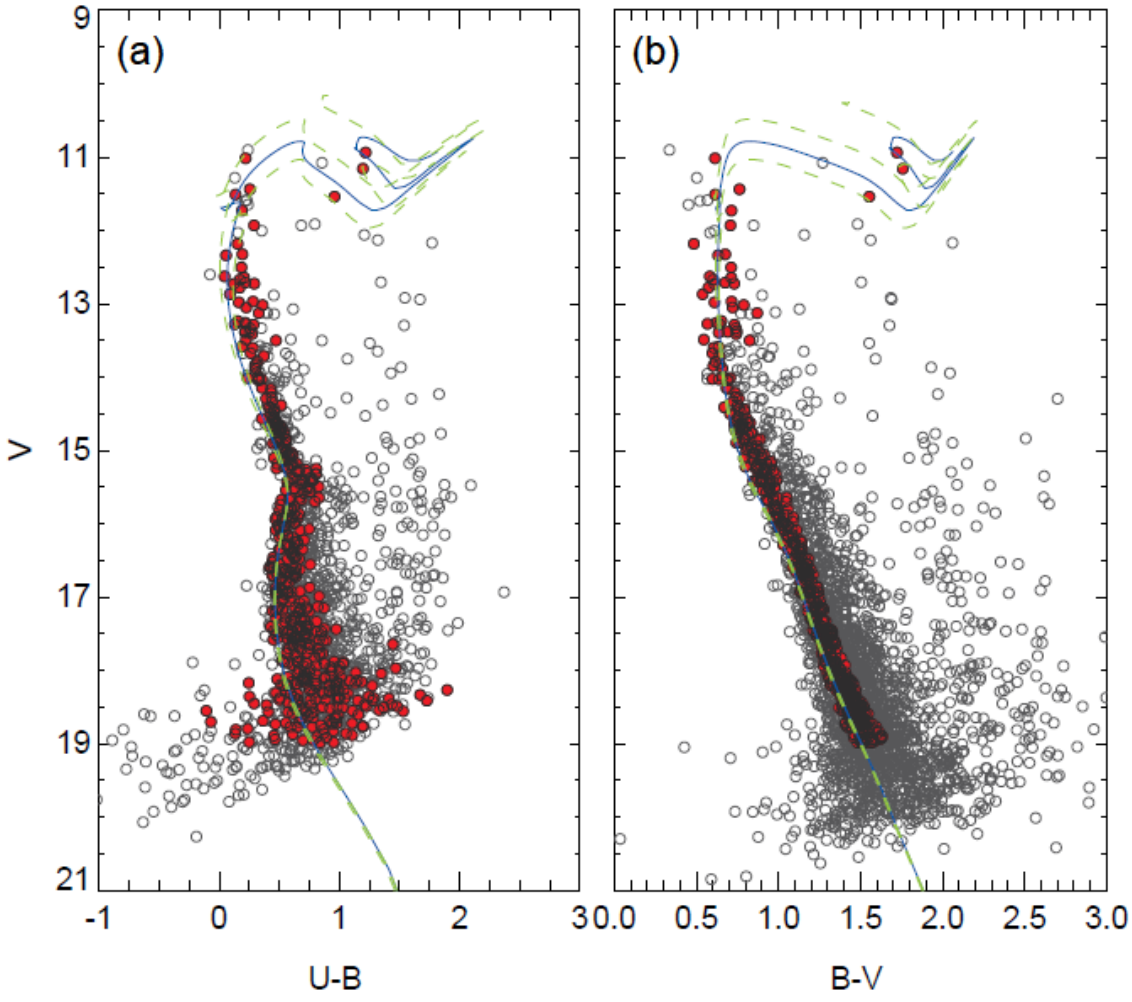
Şekil 4.7: NGC 7086 açık kümesindeki 45 F ve G tayf türü anakol yıldızının $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki-renk diyagramı (üst panel) ve $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ kadir rengine kalibre edilmiş UV artık değerlerinin frekans dağılımı (alt panel). Üst ve alt panellerdeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades kümesinin anakolunu ve dağılıma fit edilen Gauss eğrisini temsil etmektedir.

4.9. KÜMELERİN UZAKLIK MODÜLLERİNİN VE YAŞLARININ TAYİNİ

Doktora tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin uzaklık modülü ve yaş tayininde Bölüm 3.5.4'te verilen PARSEC (Bressan ve diğ., 2012) modelleri kullanılmıştır. Öncelikle, küme alanlarında tespit edilen yıldızların $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları oluşturularak kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızlar renk-parlaklık diyagramları üzerinde farklı renkte semboller ile işaretlenmiştir. Daha sonra her küme için bağımsız olarak tayin edilen ağır element bolluğu dikkate alınarak, bu değere karşılık gelen farklı yaşlardaki PARSEC eş-yaş eğrileri seçilmiştir. Bu eğriler kümeye yüksek olasılıklı ($P \geq$ %50) üye yıldızlara ağırlık verilecek şekilde diyagramlar üzerinde kaydırılmış ve kümelerin kızarmış uzaklık modülleriyle

yaşları eş-zamanlı olarak tayin edilmiştir. Renk-parlaklık diyagramlarında eş-yaş eğrilerinin kaydırma işlemi *U-B* ve *B-V* renk indeksleri için belirlenen $E(U\text{-}B)$ ve $E(B\text{-}V)$ renk artıklarına göre, *V* bandında da $V = V_0 + 3.1 \times E(B\text{-}V)$ bağıntısına göre yapılmıştır. Ayrıca, kümelerin yaşlarının belirlenmesinde kümeye yüksek olasılıklı anakol yıldızlarının yanı sıra, dönüm noktası ve dev bölgesindeki yıldızlara da ağırlık verilerek kümelerin en uygun yaşı tayin edilmiştir. Böylece kümelere üye yıldızları en iyi temsil eden uzaklık modülü ve yaşını veren PARSEC eş-yaş eğrileri belirlenmiştir.

NGC 7086 açık kümesinin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramlarıyla, kümeye üye yıldızlar ve bu yıldızlar ile en uyumlu yaşı veren PARSEC modelleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucunda NGC 7086'nın kızarmış uzaklık modülü $m_V\text{-}M_V = 13.37 \pm 0.18$ kadir bulunmuş olup, kümenin uzaklığı da $d = 1{,}618 \pm 136$ pc olarak hesaplanmıştır. Kümenin uzaklık modülü ve uzaklığındaki belirsizlikler, Bağıntı (3.16) ve (3.17)'den belirlenmiştir. NGC 7086 kümesinin renk-parlaklık diyagramlarıyla en iyi uyumu sağlayan Z = 0.013 ağır element bolluklu eş-yaş eğrisinin karşılık geldiği yaş değeri $t = 150 \pm 25$ Myıl'dır. Doktora tez çalışmasında incelenen tüm kümelerin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları ve bunlara en uygun eş-yaş eğrileri Ek Şekil 7'de, hesaplanan yaş ve uzaklık modülü verileri de Tablo 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.8: NGC 7086 açık kümesinin $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramlarıyla bunlara en uygun PARSEC eş-yaş eğrileri. Kırmızı ve gri daireler, sırasıyla, kümeye üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan ve küme alanında tespit edilen yıldızları, mavi düz çizgi kümenin uzaklık modülünü ve yaşını veren en uygun PARSEC eş-yaş eğrisini, yeşil kesikli çizgiler de yaş tayinindeki belirsizlikleri göstermektedir.

Tablo 4.2: İncelenen 39 açık küme için tez çalışmasında hesaplanan renk artığı ($E(B\text{-}V)$), metal bolluğu ([Fe/H]), ağır element bolluğu (Z), uzaklık modülü (μ_V), uzaklık (d) ve yaş (t) değerleri.

Sıra	Küme	$E(B\text{-}V)$ (kadir)	[Fe/H] (dex)	Z	μ_V (kadir)	d (pc)	t (Myıl)
1	King 1	0.63 ± 0.04	-0.025 ± 0.082	0.014	13.20 ± 0.14	1,776 ± 116	2,500 ± 250
2	Stock 21	0.43 ± 0.04	-0.045 ± 0.162	0.014	12.70 ± 0.14	1,877 ± 124	450 ± 25
3	NGC 129	0.54 ± 0.04	-0.109 ± 0.235	0.012	12.90 ± 0.13	1,759 ± 104	45 ± 5
4	NGC 225	0.15 ± 0.03	-0.120 ± 0.112	0.012	9.70 ± 0.16	703 ± 53	800 ± 100
5	NGC 188	0.05 ± 0.01	-0.120 ± 0.160	0.012	11.40 ± 0.05	1,774 ± 42	6,000 ± 500
6	Berkeley 62	0.70 ± 0.08	-0.061 ± 0.190	0.013	14.20 ± 0.26	2,547 ± 323	50 ± 10
7	NGC 366	1.06 ± 0.08	-0.131 ± 0.065	0.011	15.20 ± 0.27	2,414 ± 320	40 ± 5
8	NGC 381	0.36 ± 0.04	-0.127 ± 0.104	0.012	11.40 ± 0.14	1,140 ± 78	650 ± 50
9	NGC 1220	0.76 ± 0.04	-0.079 ± 0.056	0.013	15.30 ± 0.14	3,880 ± 265	225 ± 25
10	King 5	0.76 ± 0.07	-0.091 ± 0.145	0.012	13.90 ± 0.21	2,036 ± 208	1,000 ± 100
11	King 6	0.51 ± 0.02	-0.132 ± 0.078	0.011	10.50 ± 0.09	608 ± 26	300 ± 50
12	Berkeley 10	0.71 ± 0.07	-0.076 ± 0.141	0.013	13.90 ± 0.25	2,187 ± 266	1,000 ± 100
13	Tombaugh 5	0.75 ± 0.04	-0.058 ± 0.183	0.013	13.55 ± 0.15	1,799 ± 131	275 ± 25
14	King 7	1.35 ± 0.03	-0.050 ± 0.020	0.014	16.40 ± 0.13	2,773 ± 178	200 ± 50
15	NGC 1582	0.41 ± 0.06	-0.077 ± 0.088	0.013	11.80 ± 0.20	1,276 ± 121	350 ± 50
16	NGC 1605	0.92 ± 0.04	-0.072 ± 0.109	0.013	15.40 ± 0.14	3,233 ± 214	175 ± 25
17	Berkeley 15	0.90 ± 0.04	-0.152 ± 0.199	0.011	15.30 ± 0.14	3,178 ± 216	450 ± 50
18	NGC 1750	0.40 ± 0.07	-0.150 ± 0.067	0.011	10.50 ± 0.24	711 ± 82	75 ± 30
19	Berkeley 17	0.58 ± 0.03	-0.121 ± 0.186	0.012	14.50 ± 0.14	3,471 ± 223	6,000 ± 1,000
20	Berkeley 71	0.88 ± 0.09	-0.161 ± 0.137	0.011	15.30 ± 0.31	3,269 ± 505	900 ± 100
21	NGC 2192	0.12 ± 0.04	-0.060 ± 0.098	0.013	13.36 ± 0.14	3,959 ± 273	1,300 ± 200
22	NGC 6520	0.40 ± 0.04	-0.029 ± 0.073	0.014	12.30 ± 0.13	1,629 ± 103	95 ± 40
23	NGC 6705	0.39 ± 0.02	+0.010 ± 0.049	0.016	12.80 ± 0.08	2,081 ± 75	250 ± 25
24	NGC 6716	0.13 ± 0.05	+0.048 ± 0.055	0.017	9.90 ± 0.15	793 ± 57	125 ± 25
25	NGC 6728	0.14 ± 0.05	+0.020 ± 0.079	0.016	11.80 ± 0.20	1,876 ± 181	600 ± 100
26	NGC 6793	0.34 ± 0.03	-0.052 ± 0.070	0.014	10.00 ± 0.11	615 ± 32	500 ± 50
27	NGC 6800	0.36 ± 0.04	+0.010 ± 0.057	0.016	11.20 ± 0.16	1,039 ± 82	350 ± 50
28	NGC 6811	0.04 ± 0.02	-0.033 ± 0.099	0.014	10.30 ± 0.07	1,084 ± 34	1,000 ± 100
29	Roslund 1	0.19 ± 0.04	-0.087 ± 0.093	0.013	10.30 ± 0.15	875 ± 64	700 ± 100
30	Dolidze 36	0.19 ± 0.06	+0.009 ± 0.095	0.016	10.60 ± 0.21	1,005 ± 100	400 ± 100
31	Collinder 421	0.75 ± 0.05	-0.027 ± 0.058	0.014	12.80 ± 0.17	1,245 ± 103	125 ± 25
32	NGC 6997	0.53 ± 0.06	-0.056 ± 0.084	0.014	11.50 ± 0.22	936 ± 98	550 ± 50
33	NGC 7031	0.96 ± 0.05	-0.044 ± 0.135	0.014	13.50 ± 0.19	1,273 ± 114	65 ± 5
34	NGC 7036	0.05 ± 0.02	-0.101 ± 0.020	0.012	10.70 ± 0.08	1,285 ± 51	3,500 ± 500
35	NGC 7039	0.19 ± 0.06	+0.032 ± 0.078	0.016	10.00 ± 0.21	762 ± 76	95 ± 20
36	Platais 1	0.44 ± 0.06	-0.066 ± 0.108	0.013	12.50 ± 0.22	1,687 ± 178	75 ± 25
37	NGC 7086	0.75 ± 0.05	-0.058 ± 0.133	0.013	13.37 ± 0.18	1,618 ± 136	150 ± 25
38	NGC 7209	0.10 ± 0.04	-0.127 ± 0.142	0.012	10.40 ± 0.15	1,042 ± 77	550 ± 50
39	NGC 7654	0.54 ± 0.05	-0.102 ± 0.142	0.012	12.60 ± 0.26	1,533 ± 190	51 ± 5

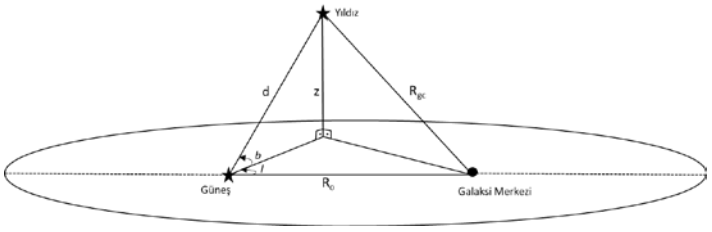
4.10. GALAKTİK RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİ TAYİNİ

Galaktik radyal metal bolluğu gradyenti, metal bolluğunun Galaksi merkezinden itibaren, Galaksi diski boyunca uzaklık ile değişimi olarak tanımlanır. Radyal metal bolluğu gradyentinin belirlenmesinde, nesnelerin metal bolluklarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasındaki dağılımda verilere uygulanan doğrusal fitin eğimi hesaplanır. Verilere fit edilen doğrusal ilişki Bağıntı (4.1)'de verildiği gibi tanımlanır:

$$\frac{d[\mathrm{Fe/H}]}{dR_{gc}} = a[\mathrm{Fe/H}] + b \qquad (4.1)$$

Burada R_{gc} ilgilenilen gök cisminin Galaksi merkezinden uzaklığı, a ve b, sırasıyla, doğrusal bağıntının eğimi ve sabitini ifade eder. Bağıntı (4.1)'deki eğim Galaktik metal bolluğu gradyentini ve sabit de eşitliğin sıfır noktasını göstermektedir. Bir yıldızın Galaksi merkezinden uzaklığı Şekil 4.9'da gösterilen çizimdeki basit geometriden hesaplanabilir. Burada Güneş ile Galaksi merkezi arasındaki uzaklık R_0 = 8 kpc'tir (Majewski, 1993). l ve b yıldızın Galaktik boylam ve enlemini, d yıldızın Güneş'e uzaklığını, z de yıldızın Galaktik düzlemden dik uzaklığını temsil eder. Yıldızın Galaksi merkezinden uzaklığı kosinüs teoremi kullanılarak Bağıntı (4.2)'de verildiği gibi hesaplanabilir:

$$R_{gc} = \sqrt{R_0^2 - 2R_0 d\cos l\cos b + d^2\cos^2 b + d^2\sin^2 b} \qquad (4.2)$$



Şekil 4.9: Galaksi düzleminde Güneş merkezli Galaktik koordinat sisteminin Galaksi merkezinden uzaklığa geçişinde kullanılan çizim.

4.10.1. İncelenen Açık Kümelerin Uzay Dağılımları

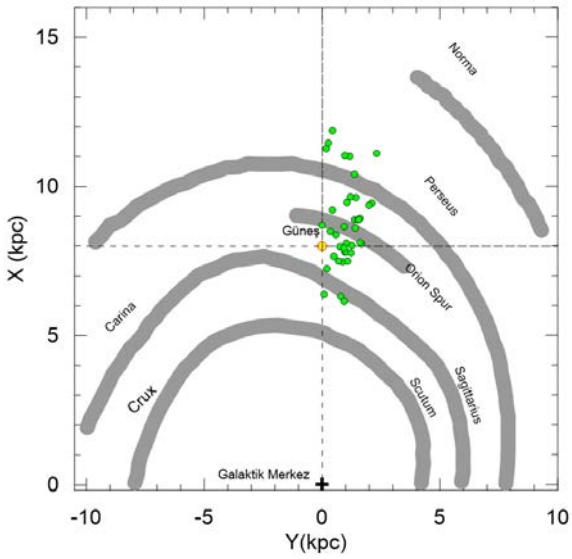
Radyal metal bolluğu gradyentinin incelenmesine başlanmadan önce bu tez çalışmasında hesaplanan küme uzaklıklarının gözden geçirilmesi ve bu sonuçların irdelenmesi gerekmektedir. İncelenen 39 açık kümenin Güneş merkezli Galaktik koordinatlardaki kartezyen dağılımları aşağıda verilen Bağıntı (4.3), (4.4) ve (4.5) kullanılarak bu çalışmada hesaplanan yeni uzaklıklardan itibaren incelenmiştir:

$$X = d \cos b \cos l \tag{4.3}$$

$$Y = d \cos b \sin l \tag{4.4}$$

$$Z = d \sin b \tag{4.5}$$

Burada *X*, *Y*, *Z*, sırasıyla, incelenen açık kümenin Galaksi merkezi doğrultusunda, Galaksi'nin dönme doğrultusunda ve Galaktik düzlemden Kuzey Galaktik Kutup doğrultusundaki Kartezyen uzaklıkları, *d* bu çalışmada eş-yaş eğrilerinden tayin edilen uzaklıkları, *l* ve *b* de, sırasıyla, Galaktik boylam ve enlemi göstermektedir. Hesaplamalar sonucunda 39 açık kümenin Güneş merkezli *X* × *Y* düzlemindeki uzay dağılımları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Kümelerin uzaklık analizleri sonucunda *X*, *Y*, *Z* doğrultularındaki uzanımları, sırasıyla, $6.15 < X < 11.86$, $0.01 < Y < 2.33$ ve $-0.47 < Z < 0.73$ kpc aralıklarındadır. Bu kümelerin Güneş'ten uzaklıkları dikkate alındığında en yakınının 0.61 kpc ile NGC 6793 kümesi, en uzağının da 3.96 kpc ile NGC 2192 kümesi olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, kümelerin Galaksi merkezine uzaklıklarının (R_{gc}) hesaplanmasında Bağıntı (4.2) kullanılmıştır. Buna göre, incelenen 39 açık küme içinde Galaksi merkezine en yakın açık kümenin 6.23 kpc ile NGC 6705, en uzak açık kümenin de 11.90 kpc ile NGC 2192 olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin Güneş merkezli kartezyen sistemdeki (*X*, *Y*, *Z*) ve Galaksi merkezine uzaklıkları (R_{gc}), metal bolluklarıyla birlikte Tablo 4.3'te listelenmiştir.



Şekil 4.10: Doktora tez çalışmasında seçilen 39 açık kümenin (yeşil daireler) Galaktik düzlemdeki izdüşümleri. Şekil açıklaması Şekil 3.2'de verildiği gibidir.

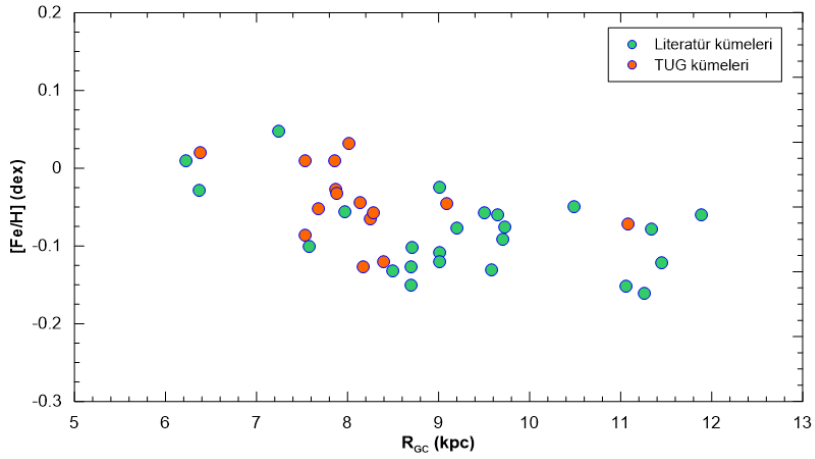
Tablo 4.3: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin Güneş merkezli kartezyen sisteminde ve Galaksi merkezine uzaklıklarıyla birlikte metal bollukları.

Sıra	Küme	d (kpc)	X (kpc)	Y (kpc)	Z (kpc)	R_{gc} (kpc)	[Fe/H]
1	King 1	1.78	8.881	1.541	0.052	9.01	-0.025
2	Stock 21	1.88	8.937	1.619	-0.158	9.08	-0.045
3	NGC 129	1.76	8.886	1.518	-0.078	9.01	-0.109
4	NGC 225	0.70	8.373	0.596	-0.013	8.39	-0.120
5	NGC 188	1.77	8.890	1.378	0.675	9.02	-0.120
6	Berkeley 62	2.55	9.423	2.112	0.049	9.66	-0.061
7	NGC 366	2.41	9.373	1.985	-0.025	9.58	-0.131
8	NGC 381	1.14	8.653	0.934	-0.024	8.70	-0.127
9	NGC 1220	3.88	11.093	2.327	-0.268	11.34	-0.079
10	King 5	2.04	9.637	1.201	-0.152	9.71	-0.091
11	King 6	0.61	8.488	0.363	-0.001	8.50	-0.132
12	Berkeley 10	2.19	9.621	1.429	0.338	9.73	-0.076
13	Tombaugh 5	1.80	9.451	1.057	0.112	9.51	-0.058
14	King 7	2.77	10.396	1.396	-0.049	10.49	-0.050
15	NGC 1582	1.28	9.192	0.450	-0.068	9.20	-0.077
16	NGC 1605	3.23	11.008	1.181	-0.089	11.07	-0.072
17	Berkeley 15	3.18	11.026	0.967	0.089	11.07	-0.152
18	NGC 1750	0.71	8.699	0.010	-0.132	8.70	-0.150
19	Berkeley 17	3.47	11.454	0.263	-0.221	11.46	-0.121
20	Berkeley 71	3.27	11.263	0.192	0.051	11.26	-0.161
21	NGC 2192	3.96	11.865	0.444	0.732	11.90	-0.060
22	NGC 6520	1.63	6.375	0.082	-0.081	6.38	-0.029
23	NGC 6705	2.08	6.153	0.954	-0.101	6.23	0.010
24	NGC 6716	0.79	7.246	0.208	-0.132	7.25	0.048
25	NGC 6728	1.88	6.319	0.811	-0.186	6.37	0.020
26	NGC 6793	0.62	7.658	0.510	0.035	7.68	-0.052
27	NGC 6800	1.04	7.470	0.891	0.072	7.52	0.010
28	NGC 6811	1.08	7.802	1.042	0.226	7.87	-0.033
29	Roslund 1	0.88	7.494	0.712	-0.052	7.53	-0.087
30	Dolidze 36	1.01	7.786	0.976	0.105	7.85	0.009
31	Collinder 421	1.25	7.772	1.223	0.055	7.87	-0.027
32	NGC 6997	0.94	7.926	0.933	-0.008	7.98	-0.056
33	NGC 7031	1.27	8.030	1.272	0.051	8.13	-0.044
34	NGC 7036	1.29	7.486	1.080	-0.470	7.58	-0.101
35	NGC 7039	0.76	7.972	0.761	-0.023	8.01	0.032
36	Platais 1	1.69	8.075	1.685	-0.049	8.25	-0.066
37	NGC 7086	1.62	8.124	1.613	0.006	8.28	-0.058
38	NGC 7209	1.04	8.099	1.029	-0.133	8.17	-0.127
39	NGC 7654	1.53	8.595	1.413	0.012	8.71	-0.102

4.10.2. Galaktik Radyal Metal Bolluğu Gradyenti

Doktora tez çalışmasında Galaktik radyal metal bolluğu gradyentinin incelenmesinde kullanılan 39 açık kümenin 37'sinin metal bollukları fotometrik kalibrasyon ile (Karaali ve diğ., 2011) belirlenirken, iki açık kümenin (King 7 ve NGC 188) metal bollukları fotometrik yöntem ile tayin edilemediğinden literatürdeki tayfsal çalışmalardan alınmıştır. Buna göre, King 7 ([Fe/H]= -0.050 ± 0.020 dex) ve NGC 188 ([Fe/H]= -0.120 ± 0.160 dex) açık kümelerinin tayfsal metal bollukları, sırasıyla, Donor ve diğ. (2018) ve Hobbs ve diğ.'den (1990) alınmıştır.

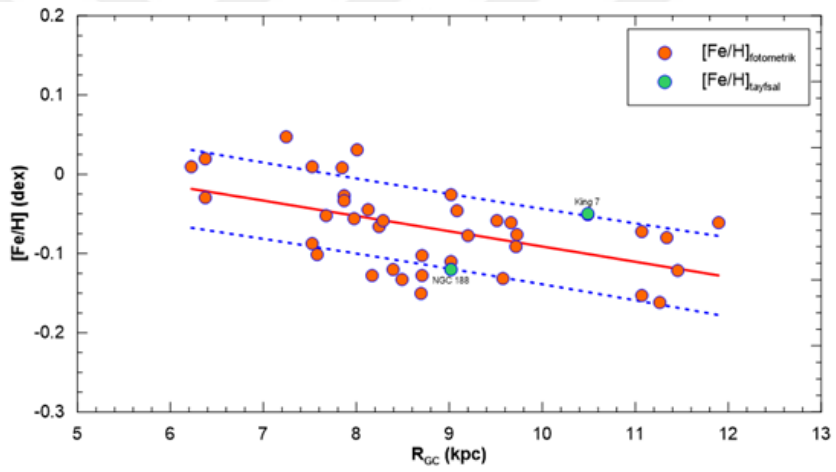
Galaksi diskinin radyal metal bolluğu gradyentinin araştırılmasında, 39 açık kümenin tez çalışmasında hesaplanan Güneş'e uzaklıkları (d) Galaksi merkezli uzaklığa (R_{gc}) dönüştürülmüş, metal bollukları da bu çalışmada 37 açık küme için uygulanan fotometrik yöntemler ve iki küme için literatürde verilen tayfsal sonuçlardan belirlenmiş ve bu bulgular [Fe/H] × R_{gc} düzleminde incelenmiştir. Metal bolluklarının R_{gc}'ye göre dağılımı Şekil 4.11'de gösterilmiştir. İncelenen 39 açık kümenin 15'inin verileri TUG gözlemlerinden, geriye kalan 24'ünün verileri ise literatürden gelmektedir. Kümelerin metal bollukları +0.075 < [Fe/H] < -0.175 dex, Galaksi merkezinden uzaklıkları da 6 < R_{gc} < 12 kpc aralığındadır. Kümeler metal bolluğu dağılımı bakımından incelendiğinde, Galaksi'nin ince disk bileşenini temsil eden metal bolluğu aralığında bulundukları tespit edilmiştir (Cox, 2000). TUG'da yapılan fotometrik gözlemlerin 6 < R_{gc} < 11 kpc uzaklık aralığında bulunduğu ve daha çok Güneş civarında yoğunlaştıkları görülmektedir.



Şekil 4.11: Gözlemleri TUG'da yapılan (turuncu daire) ve literatürdeki farklı çalışmalardan CCD *UBV* fotometrik verileri alınan kümelerin (yeşil daire) metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına göre (R_{gc}) dağılımı.

Duyarlı radyal metal bolluğu gradyenti tayini için geniş bir uzaklık aralığında çok sayıda nesne incelemek gerektiğinden, tez çalışmasındaki örneklerin seçiminde TUG'dan gözlenenler ile birlikte tez çalışmasında seçilen doğrultu üzerinde ve Güneş civarının ötesinde bulunan açık kümeler de incelenmiştir. Radyal metal bolluğu gradyenti, 39 açık kümenin Galaksi merkezinden uzaklıklarına karşılık gelen metal bolluğu dağılımlarına uygulanan doğrusal fit ile belirlenmiştir. Bu fit, diskteki radyal metal bolluğu gradyentini d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.019 ± 0.005 dex/kpc olarak vermektedir.

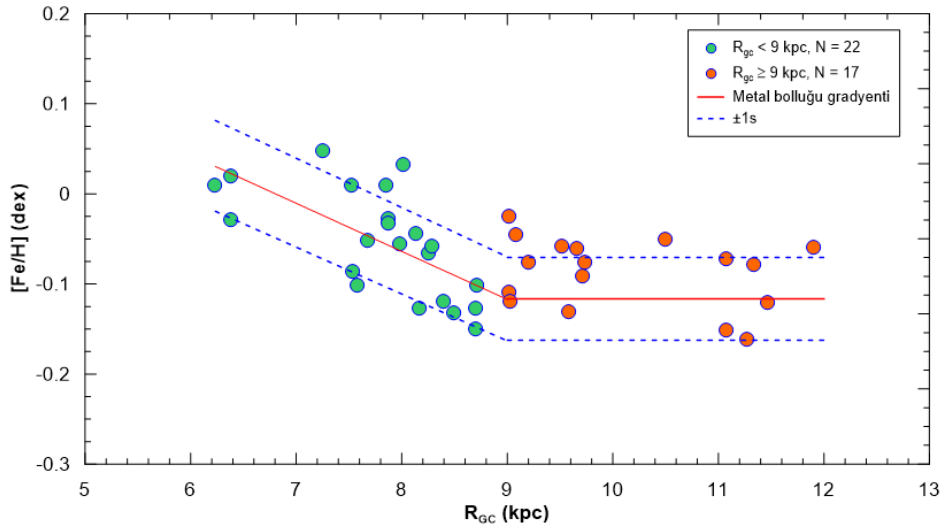
Tez çalışmasında incelenen kümelerin metal bolluğuna karşı Galaksi merkezinden uzaklık dağılımlarıyla, bu dağılıma geçirilen fit ve bu fitin ±1σ standart sapması Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekildeki dağılımdan Galaksi diski için elde edilen metal bolluğu gradyentinin sığ bir değer verdiği dikkat çekmektedir.



Şekil 4.12: Analiz edilen 39 kümenin metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına (R_{gc}) göre dağılımı. Kırmızı daireler metal bolluğu fotometrik olarak tayin edilen kümeleri, yeşil daireler metal bolluğu tayfsal çalışmalardan alınan kümeleri göstermektedir. Düz kırmızı çizgi metal bolluğu gradyentini, mavi kesikli çizgiler de gradyentin ±1σ standart sapmasını göstermektedir.

Radyal metal bolluğu gradyentinin hassas bir şekilde incelenmesi için kullanılan parametrelere getirilecek sınırlamaların anlamlı olması gerekir. Bu nedenle, tez çalışmasında öncelikle açık kümelerin uzaklıklarına sınırlamalar getirilmiş ve radyal metal bolluğu gradyentleri Güneş çemberi içinde ($6 < R_{gc} < 9$ kpc) ve dışında ($9 \leq R_{gc} < 12$ kpc) kalan kümelerden itibaren yeniden incelenmiştir. Böylece, iki grupta bulunan açık kümelerin metal bolluklarının Galaksi merkezinden uzaklıklarına göre dağılımlarına birbirinden bağımsız doğrusal fitler geçirilmiştir.

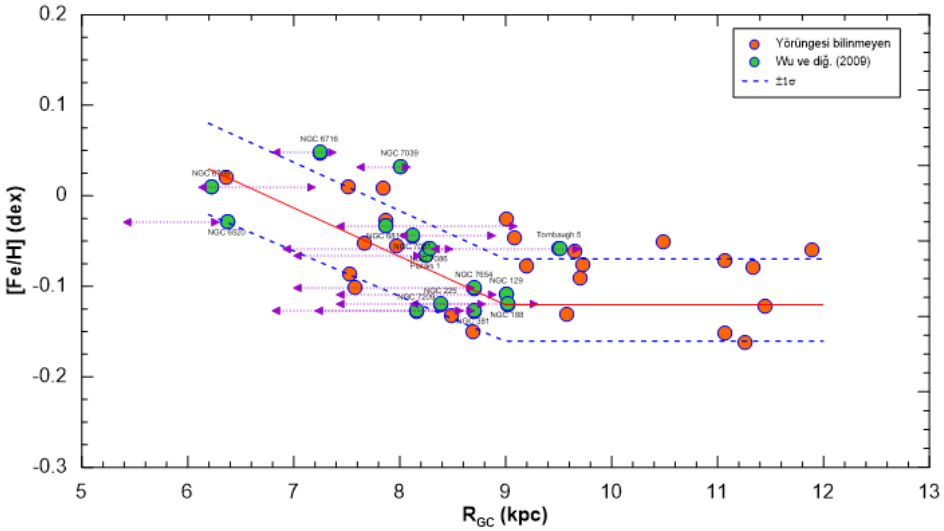
Sınırlamalar sonucunda $6 < R_{gc} < 9$ kpc'de 22 açık küme, $9 \leq R_{gc} < 12$ kpc uzaklık aralığında da 17 açık küme belirlenmiş ve radyal metal bolluğu gradyentleri söz konusu uzaklık aralıklarında bulunan açık kümeler için, sırasıyla, d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.053 ± 0.014 dex/kpc ve d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.011 ± 0.01 dex/kpc olarak belirlenmiştir. Böylece, Güneş çemberi içinde bulunan 22 açık küme dikkate alındığında bunların belirgin bir radyal metal bolluğu gradyenti gösterdiği, Güneş çemberi dışında kalan 17 kümenin ise metal bolluğu hataları içinde bir gradyent göstermedikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Güneş çemberi içinde (R_{gc}< 9 kpc) ve dışında ($R_{gc} \geq 9$ kpc) kalan açık kümelerin [Fe/H] × R_{gc} düzlemindeki dağılımları. Kırmızı sürekli çizgi açık kümelere uygulanan radyal metal bolluğu fitlerini, mavi kesikli çizgiler de doğrusal fitlerin ±1σ standart sapma değerlerini göstermektedir.

Doktora tez çalışmasında analiz edilen kümelerin metal bolluklarıyla ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıkları (R_{gc}) arasındaki dağılım incelendiğinde, radyal metal bolluğu değişimini temsil eden eğrinin ±1σ standart sapması dışında saçılan kümelerin olduğu görülmüştür (Şekil 4.13). Kümelerin metal bolluğu ve uzaklıklarındaki saçılmalara bu parametrelerin hesaplamalarındaki belirsizliklerin yanı sıra, kümelerin Galaksi merkezi etrafındaki yörünge hareketlerinin de sebep olabileceği dikkate alınmalıdır. Her ne kadar bu sistemler genç yaşta olsalar ve çember yörüngelerde hareket etseler bile, Galaksi diskindeki dinamik etkilerden dolayı yörünge parametrelerinin değişmesi mümkündür. Bu nedenle, analiz edilen kümelerin Galaktik yörünge parametreleri incelenmiş ve yaşamları boyunca Galaksi merkezine en yakın (R_p) ve en uzakta (R_a) bulunabilecekleri mesafeler araştırılmıştır. Wu ve diğ. (2009) Samanyolu Galaksisi'nde öz hareketleri, radyal hızları ve uzaklıkları bilinen 488

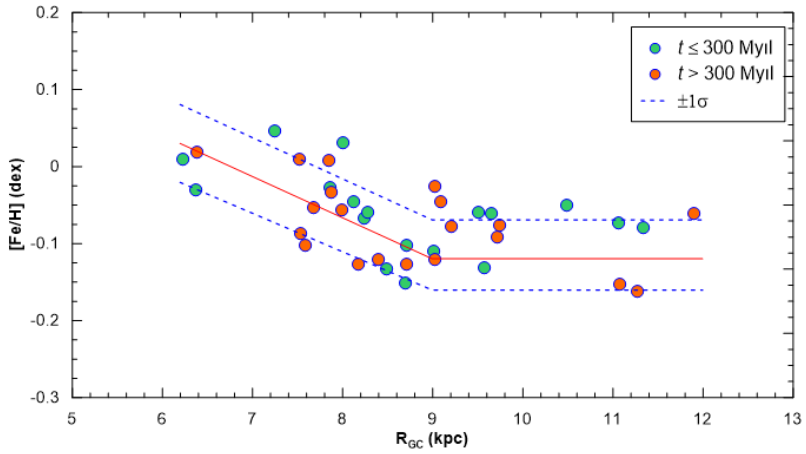
açık kümenin uzay hızlarını ve Galaktik yörünge parametrelerini hesaplamışlardır. Doktora çalışmasında analizleri yapılan 39 açık kümeden 14'ünün Wu ve diğ.'nin (2009) kataloğunda bulunduğu tespit edilmiştir. İncelenen açık kümelerin [Fe/H] × R_{gc} düzlemindeki dağılımları ve Wu ve diğ.'den (2009) alınan R_p ve R_a verileri Şekil 4.14'te gösterilmiştir. 14 açık kümenin Galaksi merkezine yaklaşabilecekleri en yakın (R_p) ve en uzak (R_a) mesafeler mor oklar ile belirtilmiştir. Yörünge basıklığı her bir küme için farklı olduğundan kümelerin zaman içinde Galaksi merkezine göre uzaklık aralıkları değişmektedir. Kümelerin dinamik analizleri Şekil 4.14'te saçılan açık kümelerin Galaksi merkezi etrafındaki yörünge hareketlerinin farklı mesafelerinde bulunabileceğini göstermiştir. Bu nedenle diyagram üzerindeki saçılmaların parametre hataları dışında, açık kümelerin Galaktik yörünge parametrelerinin de dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.14: Kümelerin metal bolluklarıyla ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıkları (R_{gc}) arasındaki dağılım. Yeşil daireler yörünge parametreleri belirlenen kümeleri, düz kırmızı çizgi metal bolluğu gradyent fitini, yeşil kesikli çizgiler de fitin ±1σ standart sapmasını göstermektedir. Kesikli mor çizgiler kümelerin Galaksi merkezine göre zaman içinde değişen uzaklıklarını göstermektedir.

Doktora tez çalışmasında incelenen açık kümelerin Galaksimizdeki bugünkü konumları dikkate alınarak bir radyal metal bolluğu araştırılması yapılmıştır. Fakat Şekil 4.14'te de görüleceği gibi kümelerin Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanarak ömürleri boyunca Galaksi merkezine en yakın ve en uzak oldukları mesafelerin de dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Galaktik radyal metal bolluğu gradyentinin açık kümelerden itibaren duyarlı şekilde tayin edilebilmesi için, bulundukları konumlarda çember yörüngelerde dolananların

kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Fakat bu durumun dinamik açıdan incelenmesi gerektiğinden açık kümelerin öz hareket, radyal hız ve uzaklıkları tayin edilmiş olmalıdır. Ne yazık ki, günümüzde bilinen çoğu açık kümenin ortalama radyal hızları ölçülmediğinden bu yöntem kullanılarak radyal metal bolluğu gradyenti ancak sınırlı bir açık küme örneğinden belirlenebilir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için basit bir yaklaşım yapılabilir. Genç açık kümelerin Galaktik yörünge parametreleri Galaksi'deki dinamik etkilere daha az maruz kalır ve bu durum kümelerin çember yörüngelerde dolanmalarına sebep olur. Bu da, [Fe/H] × R_{gc} ilişkisinde kullanılan genç kümelerin Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarının dinamik yöntemler ile hesaplanan ortalama uzaklıklarıyla ($R_m = (R_a+R_p)/2$) uyum içinde olmasını sağlar. Güneş çemberi komşuluğundaki açık kümelerin Galaksi merkezi etrafındaki bir turu 300 Myıl'dan daha kısa sürede tamamlanır; böylelikle kümeler Galaksi diskindeki dinamik etkileşimlere daha az maruz kalırlar. Bu da Galaktik yörünge parametrelerinin zaman içinde çok değişmeyeceğini gösterir. Doktora tez çalışmasında elde edilen radyal metal bolluğu gradyentinin yaşla ilişkisini incelemek için açık kümeler genç ($t \leq 300$ Myıl) ve yaşlı ($t > 300$ Myıl) olarak iki gruba ayrılmıştır. Güneş komşuluğundaki genç ve yaşlı açık kümeler ayrı ayrı incelendiğinde her iki yaş grubundaki küme dağılımlarının da belirgin bir gradyent oluşturmalarına rağmen, kümelerin yaşlarına göre Güneş komşuluğunda homojen dağılmadıkları Şekil 4.15'te görülmektedir. Ayrıca, küme yaşları dikkate alındığında bu dağılımdan açık kümelerin metal bolluğuyla yaşları arasında bir ilişkinin varlığı net olarak belirlenememiştir.



Şekil 4.15: Kümelerin metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaksi merkezinden uzaklıklarına (R_{gc}) göre dağılımı. Yeşil ve kırmızı daireler, sırasıyla, genç ($t \leq 300$ Myıl) ve yaşlı ($t > 300$ Myıl) açık kümeleri göstermektedir.

Doktora tez çalışmasında açık küme uzaklıklarına getirilen farklı sınırlamalar, radyal metal bolluğu gradyentini daha belirgin ve anlamlı hale getirmiştir. Tablo 4.4'te kümelere getirilen sınırlamalar ile radyal metal bolluğu gradyentinin sonuçları listelenmiştir.

Tablo 4.4: Tüm örnek ve Güneş civarı için tez çalışmasında elde edilen veriler ile Galaktik radyal metal bolluğu gradyentinin değişimi. *N* küme sayısını göstermektedir.

R_{gc} (kpc)	*N*	d[Fe/H]/dR_{gc} (dex/kpc)
$6 < R_{gc} < 12$	39	-0.019 ± 0.005
$6 < R_{gc} < 9$	22	-0.053 ± 0.014
$9 \leq R_{gc} < 12$	17	-0.011 ± 0.010

Gaia uydusunun hassas verilerinin zaman içinde artmasıyla açık kümelerin ortalama uzaklık, öz hareket ve radyal hızları belirlenebilecektir. Bu verilerden itibaren de daha duyarlı radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilebilecektir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doktora tez çalışmasında, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda seçilen 39 açık kümenin fotometrik analizleri yapılarak astrofiziksel parametreleri tayin edilmiş ve bu parametreler kullanılarak Galaksi diskindeki radyal metal bolluğu gradyenti araştırılmıştır. İncelenen 15 açık kümenin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri TUG T100 teleskobuyla, geriye kalan 24 açık kümenin fotometrik verileri de literatürdeki çalışmalardan alınmıştır. Küme üyesi yıldızların seçiminde fotometrik ve astrometrik verilerden faydalanılmış, kümenin astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde küme üyesi yıldızlara ağırlık verilmiştir. Kümelerin renk artıkları ve metal bolluklarının hesaplanmasında bağımsız yöntemler kullanılırken, uzaklık modülü ve yaş tayinleri renk-parlaklık diyagramlarındaki kümeye üyelik olasılığı yüksek yıldızlara fit edilen PARSEC eş-yaş eğrileriyle (Bressan ve diğ., 2012) yapılmıştır. Kümeler için hesaplanan öz hareket ve uzaklık sonuçlarının literatürde *Gaia* DR2 verilerinden elde edilenler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Küme uzaklıklarının astrometrik veriler ile uyumlu olması bağımsız yöntemler kullanılarak hesaplanan küme parametrelerinin dejenerasyona uğramadığını göstermiştir. Kümelerin F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuyla hesaplanan metal bolluklarıyla Galaksi merkezine uzaklıkları arasında oluşturulan radyal metal bolluğu gradyent incelemesinde $6 < R_{gc} < 9$ kpc uzaklık aralığında d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.053 ± 0.014 dex/kpc'lik kuvvetli, $9 \leq R_{gc} < 12$ kpc uzaklık aralığında ise d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.018 ± 0.010 dex/kpc'lik zayıf bir gradyent belirlenmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında metal bolluklarında görülen saçılmaların incelenen bazı açık kümelerin basık Galaktik yörüngelerde dolanmalarından kaynaklandığı gösterilmiştir.

5.1. LİTERATÜRDEKİ AÇIK KÜME ÇALIŞMALARI

King 1: King 1 kümesinin ilk CCD *UBVRI* fotometrik çalışması Lata ve diğ. (2004b) tarafından yapılmıştır. Kümenin çalışmadaki renk-parlaklık diyagramı incelendiğinde anakol ve kırmızı dev bölgesindeki yıldızların belirgin olduğu görülmektedir. Lata ve diğ. (2004b), kümenin yoğunluk profilini analiz ederek etkin yarıçapını r = 4 yay dakikası olarak belirlemiştir. Araştırmacılar King 1'in renk-parlaklık diyagramında Güneş metal bolluğundaki eş-yaş eğrilerini fit ederek kümenin renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.70 ± 0.05 kadir, d = 1,900 ± 200 pc ve t = 1.6 ± 0.4 Gyıl elde etmiştir. Lata ve diğ. (2004b) ile benzer

analiz yöntemini uygulayan ve King 1'in CCD *BV* fotometrik çalışmasını yapan Maciejewski ve Niedzielski (2007), kümenin renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.76 \pm 0.09$ kadir, $d = 1{,}080 \pm 230$ pc ve $t = 4$ Gyıl olarak hesaplamışlardır. Hasegawa ve diğ. (2008), King 1'in CCD *VI* fotometrik analizleri sonucunda renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.62$ kadir, $d = 2{,}060$ pc ve $t = 2.8$ Gyıl vermiştir. King 1 kümesinin tüm fotometrik çalışmalarında metal bolluğu Güneş metal bolluğunda kabul edilmiştir.

Kümenin ilk tayfsal çalışması Carrera ve diğ. (2015) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, renk-parlaklık diyagramının kırmızı yığın bölgesinde belirlenen 10 yıldızın orta çözünürlükte tayf gözlemlerinin analizleri yapılarak, King 1'in metal bolluğu [Fe/H] = 0.01 ± 0.52 dex olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar küme doğrultusunda belirledikleri 10 yıldızın radyal hız ve metal bolluklarında geniş dispersiyonlar olduğunu, bu nedenle yıldızların tamamının King 1 kümesine üye olmayabileceğini ifade etmiştir. Carrera ve diğ. (2017) çok renk fotometrik (*BVI, JHK*$_s$) verilerin analizleri sonucunda küme doğrultusundaki renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.80 \pm 0.05$ kadir, uzaklık modülünü $\mu_V = 13.08$ ve yaşını $t = 2.8 \pm 0.3$ Gyıl hesaplamıştır. Bununla birlikte, King 1 kümesindeki kırmızı yığın yıldızlarının orta çözünürlüklü tayf gözlemlerini analiz ederek kümenin ortalama metal bolluğunu [M/H] = 0.07 ± 0.08 dex olarak vermişlerdir.

Doktora tez çalışmasında King 1 kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Lata ve diğ.'den (2004b) alınarak, küme alanındaki yıldızların fotometrik ve astrometrik verilerini içeren bir katalog oluşturulmuştur. Katalogda, küme merkezinden itibaren $r \leq 10$ yay dakikalık yarıçap içinde 2,484 yıldız bulunmaktadır. Analizler sonucunda kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.63 \pm 0.04$ kadir, [Fe/H] = -0.025 ± 0.082 dex, $d = 1{,}776 \pm 116$ pc ve $t = 2.5 \pm 0.25$ Gyıl elde edilmiştir. Tez çalışmasında King 1 açık kümesi için verilen astrofiziksel sonuçların literatürde verilenler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Stock 21: Stock 21'in literatürde az sayıda çalışması olup, kümenin CCD *BV* fotometrik analizlerinden elde edilen astrofizik parametreleri Kharchenko ve diğ. (2005) tarafından yayımlanmıştır. Araştırmacılar küme doğrultusundaki parlak yıldızların *BV* fotometrik verilerini literatürden derleyerek, kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı olarak tayin etmiştir. Buna göre, Kharchenko ve diğ. (2005) kümenin kızarma, uzaklık modülü, uzaklık ve yaş değerlerini, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.4$ kadir, $\mu = 11.45$ kadir, $d = 1{,}100$ pc ve $t = 525$ Myıl vermiştir.

Doktora tez çalışmasında Stock 21 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri TUG'da yapılan gözlemlerden elde edilmiştir. Küme alanında tespit edilen kaynakların standart sistemdeki fotometrik parlaklıkları belirlendikten sonra astrofizik parametreleri kümenin en muhtemel üyelerine ağırlık verilerek bağımsız yöntemler ile tayin edilmiştir. Analizler sonucunda Stock 21 kümesinin renk artığı, fotometrik metal bolluğu, uzaklık modülü, uzaklık ve yaş değerlerini, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.43 ± 0.04 kadir, [Fe/H] = -0.045 ± 0.162 dex, μ = 12.70 ± 0.14 kadir, d = 1,877 ± 124 pc ve t = 450 ± 25 Myıl belirlenmiştir. Tez çalışmasında kümenin Kharchenko ve diğ.'de (2005) verilenden daha uzak ve genç olduğu tespit edilmiştir. Muhtemelen, Kharchenko ve diğ.'de (2005) Stock 21'in astrofizik parametrelerinin eş-zamanlı tayin edilmesi kızarma ve uzaklık arasında dejenerasyona sebep olmuş, böylece kümenin yaşı daha büyük belirlenmiştir.

NGC 129: NGC 129 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik analizleri Phelps ve diğ. (1994) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, küme doğrultusundaki renk artığının ve küme uzaklığının tayininde, sırasıyla, $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk ve $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramları kullanılmıştır. Kümenin renk artığı ve uzaklık modülü Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS'ı iki-renk ve renk-parlaklık diyagramları üzerinde gözlemsel verilere ağırlık verilerek fit edilmesiyle, kümenin yaşı da Maeder ve Meynet (1988, 1989, 1991) ve Maeder (1990) yıldız evrim modellerinin, küme için aynı çalışmada elde edilen renk artığı ve uzaklık modülü dikkate alınarak, $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramında anakol yıldızlarını ve devleri temsil edecek şekilde kaydırılmasıyla belirlenmiştir. Analizler sonucunda Phelps ve diğ. (1994) NGC 129'un renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.57 kadir, d = 1,738 pc ve t = 50 Myıl belirlemiştir. Paunzen ve Netopil (2006), 72 açık kümenin literatürdeki çalışmalarda verilen astrofizik parametrelerini dikkate alarak, bu kümelerin ortalama kızarma, uzaklık ve yaş değerlerini vermişlerdir. Buna göre, NGC 129 açık kümesinin Paunzen ve Netopil'de (2006) verilen kızarma, uzaklık ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.56 ± 0.03 kadir, d = 1,632 ± 56 pc ve t = 62 ± 15 Myıl'dır. Tadross (2001), NGC 129 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verilerini Phelps ve diğ.'nin (1994) çalışmasından alarak kümenin astrofizik parametrelerini yeniden tayin etmiştir. Çalışmada kümeye üye yıldızlar renk-parlaklık diyagramındaki konumlarından kabaca belirlenmiş olup, analizlerde bu yıldızlar dikkate alınmıştır. Tadross'un (2001) çalışmasında NGC 129'un renk artığı ve uzaklığı, Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS'ının $V \times B\text{-}V$ ve $V \times U\text{-}B$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde kümeye üye olarak belirlenen yıldızlar dikkate alınarak fit edilmesiyle eş-zamanlı olarak tayin edilmiştir. Kümeye üye yıldızların

V, *B-V* parlaklık ve renk indeksleri, küme için belirlenen renk artığı da dikkate alınarak kızarmadan arındırılmış ve $V_0 \times (B\text{-}V)_0$ renk-parlaklık diyagramı oluşturulmuştur. Küme yaşının tayininde, Meynet ve diğ.'nin (1993) eş-yaş eğrileri $V_0 \times (B\text{-}V)_0$ diyagramı üzerinde yıldızlar ile uyumlu olacak şekilde eşleştirilmiştir. Bununla birlikte, Tadross (2001) kümenin metal bolluğu tayininde *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramını kullanarak Carney (1979) ile Cameron'un (1985) verdiği fotometrik metal bolluğu bağıntılarından kümenin ortalama fotometrik metal bolluğunu tayin etmiştir. Tadross'un (2001) fotometrik analizleri sonucunda NGC 129 açık kümesinin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.56$ kadir, [Fe/H] = -1.44 dex, d = 1,803 pc ve t = 63 Myıl olarak belirlenmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 129'un CCD *UBV* fotometrik verileri Phelps ve diğ'den (1994) alınmıştır. Kümenin bağımsız yöntemler ile tayin edilen renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.54 \pm 0.04$ kadir, [Fe/H] = -0.109 ± 0.235 dex, d = 1,759 ± 104 pc ve t = 45 ± 5 Myıl'dır. NGC 129 açık kümesinin tez çalışmasında elde edilen astrofizik parametreleri literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında, renk artığı ve uzaklığın hatalar içinde uyumlu olduğu, küme yaşının ise bu çalışmada daha genç tayin edildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, tez çalışmasında NGC 129 için hesaplanan fotometrik metal bolluğu Tadross'ta (2001) verilenden metalce daha zengindir.

NGC 225: NGC 225 gökyüzünde yaygın görünümlü az çalışılmış bir açık kümedir. Kümeye ait ilk analizler geçen yüzyılın başlarına uzanmaktadır. Lee (1926), NGC 225 alanındaki yıldızların fotoğrafik parlaklıklarını ve öz hareketlerini ölçmüştür. Kümenin ilk duyarlı *UBV* fotometrik ve fotoelektrik gözlemleri Hoag ve diğ (1961) tarafından yapılmış olup, *V* × *B-V* renk parlaklık ve *U-B* × *B-V* iki renk diyagramları elde edilmiştir. Hoag ve diğ'nin (1961) fotometrik verilerini kullanan Johnson ve diğ. (1961) küme için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.29$ kadir belirlemiştir. Svolopoulos (1962), NGC 225 doğrultusunda bulunan az sayıdaki yıldızın tayfsal analizlerini yaparak yıldızların tayf türlerini belirlemiş ve kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.29$ kadir, uzaklık modülünü $m\text{-}M$ = 9 kadir ve uzaklığını d = 630 pc hesaplamıştır. Sistematik gökyüzü gözlemleri yapan Becker ve Fenkart (1971), kümenin fotoğrafik verilerinden çapını 14 yay dakikası, renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.29$ kadir, uzaklık modülünü $m\text{-}M$ = 9.87 kadir ve uzaklığını d = 630 pc olarak elde etmiştir. NGC 225 açık kümesinin en ayrıntılı incelemesi Lattanzi ve diğ. (1991) tarafından *B* ve *V* filtrelerinde alınan fotoğrafik plakların sayısallaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Lattanzi ve diğ. (1991) bu verileri

kullanarak kümenin yaşını t = 120 Myıl, renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.25 ± 0.08 kadir ve uzaklığını da d = 527 ± 73 pc hesaplamıştır. Subramaniam ve diğ. (2006) NGC 225 kümesinin optik fotoğrafik (*UBV*) ve yakın kızılötesi CCD JHK_s (2MASS; Skrutskie ve diğ. 2006) verilerini kullanarak kümenin astrofizik parametrelerini yeniden elde etmiştir. Subramaniam ve diğ. (2006) kümenin yaşının 0.5 ile 10 Myıl arasında olabileceğini hesaplayarak, Lattanzi ve diğ.'nin (1991) hesapladığı 120 Myıl yaşına göre çok küçük bir değer elde etmiştir. Bu küçük yaş değerini destekleyen görüş olarak da küme doğrultusunda H_α emisyonu yapan iki Herbig Be yıldızının bulunması ve toz yapısıyla bir bulutsunun küme civarında yer alması gösterilmektedir. NGC 225 açık kümesinin güncel ve detaylı CCD *UBV* fotometrik analizi yapan Bilir ve diğ. (2016) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.151 ± 0.047 kadir, fotometrik metal bolluğunu [Fe/H] = -0.11 ± 0.01 dex, uzaklık modülünü μ_V = 9.3 ± 0.07 kadir ve yaşını da t = 900 ± 100 Myıl belirlemiştir. Çalışmada kümenin uzaklığı d = 585 ± 20 pc verilmiştir. Fotometrik gözlemlerin yanı sıra küme üyesi sekiz yıldızın radyal hızlarını hesaplayan Bilir ve diğ. (2016) kümenin ortalama radyal hızını V_r = -8.3 ± 5.0 km/sn elde etmiştir. Araştırmacılar tayf gözlemi yapılan bu sekiz yıldızın literatürdeki öz hareket kataloglarından belirledikleri ortalama öz hareket verileri ve CCD fotometrik gözlemlerinden hesapladıkları uzaklıkları bir arada kullanarak, kümenin Galaktik yörünge parametrelerini tayin etmiştir. Bu analizlere göre kümenin Galaksi merkezine en yakın ve en uzak mesafeleri, sırasıyla, R_p = 8.22 ± 0.12 ve R_a = 9.37 ± 0.15 kpc, yörünge basıklığı e = 0.07 ± 0.01, Galaktik düzlemden ayrılabileceği en uzak mesafe Z_{max} = 90 ± 70 pc ve Galaksi merkezi etrafındaki dolanma periyodu P = 255 ± 5 Myıl'dır.

Tez çalışmasında NGC 225 için hesaplanan astrofizik parametreler dikkate alındığında kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.15 ± 0.03 kadir, fotometrik metal bolluğu [Fe/H] = -0.12 ± 0.112 dex, uzaklık modülü μ_V = 9.70 ± 0.16 kadir ve yaşı da t = 800 ± 100 Myıl'dır. Bu sonuçlar literatürde NGC 225'in en güncel sonuçlarını veren Bilir ve diğ.'nin (2016) çalışmasıyla oldukça uyumludur.

NGC 188: NGC 188 açık kümesinin Sandage (1962) tarafından yapılan ilk fotometrik analizleri, kümenin Galaksi diskindeki en yaşlı kümelerden olduğunu göstermiştir. Zaman içinde, kümenin fiziksel parametrelerinin tayin edildiği birçok çalışma literatüre kazandırılmıştır (von Hippel ve Sarajedini, 1998; Sarajedini ve diğ., 1999; Platais ve diğ., 2003; Michaud ve diğ., 2004; Stetson ve diğ., 2004; VandenBerg ve Stetson, 2004). NGC 188'in

UBVRI fotometrik çalışmasını yapan Sarajedini ve diğ. (1999), küme doğrultusundaki renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.09 \pm 0.02$ kadir, kümenin yaşını $t = 7.0 \pm 0.5$ Gyıl ve uzaklık modülünü $\mu_V = 11.44 \pm 0.08$ kadir belirlemiştir. Bu değerler genel olarak, kümenin fotometrik çalışmasını yapan Caputo ve diğ. (1990) ile Twarog ve Anthony-Twarog'un (1989) sonuçlarıyla uyumludur. Krusberg ve Chaboyer (2006), NGC 188'in CCD *UBVI* fotometrik çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada kümenin astrofizik parametreleri $V \times B\text{-}V$ ve $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramlarında eş-zamanlı tayin edilmiştir. Kümenin metal bolluğu [Fe/H] = -0.10 ± 0.09 dex (Friel ve diğ., 2002) kabul edilerek Chaboyer ve diğ.'nin (1999; 2001) farklı yaşlarda yıldız evrim modelleri söz konusu renk-parlaklık diyagramları üzerinde kümenin anakol ve dönüm noktasındaki yıldızlara ağırlık verilerek fit edilmiştir. Analizler sonucunda Krusberg ve Chaboyer (2006) kümenin kızarma, uzaklık ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.08$ kadir, $d = 1{,}500$ pc ve $t = 7 \pm 0.5$ Gyıl belirlemiştir. Bossini ve diğ. (2019) 269 açık kümenin yaş, uzaklık modülü ve renk artığını istatistiksel bir yöntem ile elde etmiştir. Çalışmada, küme alanlarında belirlenmiş yıldızların *Gaia* DR2 astrometrik ve fotometrik verileri bir arada kullanılmıştır. Bunun için, küme üyesi yıldızlar farklı renk-parlaklık uzaylarında teorik eş-yaş eğrileriyle bayesyan istatistik ile karşılaştırılmıştır. Bossini ve diğ. (2019) metal bolluğunu [Fe/H] = 0.11 ± 0.04 dex (Netopil ve diğ., 2016) kabul ederek, küme doğrultusundaki renk artığı, kümenin uzaklığı ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{–}V) = 0.025 \pm 0.004$ kadir, $d = 1{,}610 \pm 13$ pc ve $t = 7.5 \pm 0.173$ Gyıl belirlemiştir.

NGC 188 açık kümesinin metal bolluğu fotometrik ve tayfsal olarak birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Hobbs ve diğ. (1990) NGC 188'in dönüm noktasındaki yedi yıldızın yüksek-dispersiyonlu tayflarını analiz etmiştir. Hesaplamalar sonucunda kümenin ortalama metal bolluğu [Fe/H] = -0.12 ± 0.16 dex elde edilmiştir. Friel ve diğ. (2010) NGC 188 açık kümesindeki yıldızların yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinin sonucunda kümenin metal bolluğunu [Fe/H] = 0.12 ± 0.02 dex, Jacobson ve diğ. (2011) kümedeki dev yıldızların tayfsal gözlemlerini analiz etmeleri sonucunda kümenin metal bolluğunu [Fe/H] = -0.03 ± 0.04 dex hesaplamışlardır. Netopil ve diğ. (2016), kümenin yüksek çözünürlüklü tayfsal metal bolluğunu [Fe/H] = 0.11 ± 0.04 dex vermişlerdir. Casamiquela ve diğ. (2017) 18 açık kümedeki kırmızı yığın yıldızlarının yüksek çözünürlüklü tayf analizlerini yapmışlardır. Çalışmada iki farklı yaklaşım ile yıldızların ortalama demir bollukları ([Fe/H]) belirlenmiştir. Buna göre, NGC 188 açık kümesinde belirlenen beş kırmızı yığın yıldızın tayfsal analizlerinden itibaren, demir bollukları [Fe/H] = 0.02 ± 0.02 ve [Fe/H] = -0.05 ± 0.05 dex elde edilmiştir. Donor ve diğ.

(2018) SDSS DR14 veri sürümünde, 19 açık küme doğrultusunda belirlenmiş yıldızların APOGEE tayf gözlemlerinin sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmada NGC 188 kümesi doğrultusundaki 13 yıldızın ortalama metal bolluğu [Fe/H] = 0.14 ± 0.03 dex olarak belirlenmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 188'in CCD *UBV* fotometrik verileri Krusberg ve Chaboyer'den (2006) alınmıştır. Bağımsız analizler sonucunda küme doğrultusundaki renk artığı $E(B–V)$ = 0.05 ± 0.01 kadir, kümenin uzaklığı d =1,774 ± 42 pc ve yaşı t = 6 ± 0.5 Gyıl tayin edilmiştir. Kümenin metal bolluğu fotometrik yöntemler ile hesaplanamadığından, literatürde küme için verilen tafsal metal bolluğu tez çalışmasında da kullanılmıştır. Buna göre, NGC 188 açık kümesinin tez çalışmasında metal bolluğu Hobbs ve diğ.'den (1990) alınmış olup [Fe/H] = -0.12 ± 0.16 dex kabul edilmiştir.

Berkeley 62: Berkeley 62 kümesine ait CCD *UBV* çalışmaları Phelps ve diğ. (1994) ile Sharma ve diğ. (2006) tarafından yapılmıştır. Phelps ve diğ. (1994) $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk ve $V \times B\text{-}V$ renk-parlaklık diyagramlarında Schmidt-Kaler'e (1982) ait ZAMS'ı kaydırarak kümenin renk artığını ve uzaklık modülünü, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.82 ve μ = 14.7 kadir tayin etmiştir. Kümenin yaşı Maeder ve Meynet'in (1991) yaş eğrileri kullanılarak kümenin anakol eğrisi ve gözlemsel verileriyle uyum sağlayacak şekilde $V \times B\text{-}V$ diyagramı üzerinde kaydırılması sonucu 10 Myıl olarak belirlenmiştir. Sharma ve diğ. (2006) küme doğrultusundaki renk artığını Schmidt-Kaler (1982) ZAMS'ını $U\text{-}B \times B\text{-}V$ diyagramında $E(U\text{-}B)/E(B\text{-}V)$ = 0.72 oranında gözlemsel veriye uygun şekilde kaydırarak hesaplamıştır. Araştırmacılar küme doğrultusu için renk artığının $0.7 \leq E(B\text{-}V) \leq 1$ kadir aralığında değiştiğini belirtmiştir. Kümenin yaşı, Güneş bolluğundaki Bertelli ve diğ.'ne (1994) ait eş-yaş eğrilerinin $V \times B\text{-}V$ diyagramındaki gözlemsel veriyle karşılaştırılması sonucunda t = 16 Myıl hesaplanmıştır.

Doktora tez çalışmasında Berkeley 62 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Phelps ve diğ. (1994) ile Sharma ve diğ.'den (2006) alınmıştır. Kümenin fotometrik kataloğunun oluşturulmasında öncelikle Sharma ve diğ.'nin (2006) verileri dikkate alınmış, *U* bandında ölçümü yapılmayan yıldızların bu banttaki parlaklıkları Phelps ve diğ.'nin (1994) çalışmasından alınarak kümenin kataloğu oluşturulmuştur. Oluşturulan katalog ile küme doğrultusunda, küme merkezinden itibaren $r \leq 11$ yay dakikalık yarıçap içinde 2,928 yıldız tespit edilmiştir. Tez çalışmasında yapılan analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.70 ± 0.08 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.061 ± 0.190 dex, uzaklığı ve yaşı,

sırasıyla, d = 2,547 ± 323 pc ve t = 50 ± 10 Myıl hesaplanmıştır. Tez çalışmasında Berkeley 62 için elde edilen astrofizik parametreler genel olarak literatürde verilenler ile uyumludur. Ancak kümenin bu çalışmada hesaplanan yaşı literatürdekilerden daha büyüktür. Literatürden farklı olarak, tez çalışmasında kullanılan eş-yaş eğrileri detaylı yeni fizik içeren modellerden itibaren oluşturulmuş (Bressan ve diğ., 2012) ve kümeye üye yıldızlar hassas bir şekilde belirlenmiştir. Bu da yaş tayininin duyarlı bir şekilde yapılmasına olanak vermiştir.

NGC 366: NGC 366 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik analizlerini yapan Phelps ve diğ. (1994), kümenin renk artığını, uzaklık modülünü, uzaklık ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 1.37 kadir, μ_V = 16.75 kadir, d = 3,163 pc ve t = 6 Myıl tayin etmiştir. Pandey ve diğ. (1994) kümenin CCD *UBVRI* fotometrik analizlerini yapmışlardır ve küme alanında V = 19.5 kadire kadar olan yıldızları tespit etmiştir. Araştırmacılar küme doğrultusundaki kızarmanın homojen olmadığını ve $1.1 \leq E(B\text{-}V) \leq 1.4$ kadir arasında değiştiğini belirtmişledir. Bununla birlikte, kümenin renk artığı olarak Q yöntemiyle elde ettikleri $E(B\text{-}V)$ = 1.25 kadir değerini kabul etmiştir. Pandey ve diğ. (1994) NGC 366'nın uzaklık modülünü μ_V = 15.53 kadir, uzaklığını d = 2,150 pc ve yaşını t = 25 Myıl olarak belirlemiştir. Tadross (2001), Phelps ve diğ.'ne (1994) ait fotometrik verilerden itibaren NGC 366'nın yaşını yaklaşık t = 22 Myıl ve fotometrik metal bolluğunu da [Fe/H] = -0.457 dex hesaplamıştır.

Tez çalışmasında NGC 366 açık kümesinin fotometrik verileri Phelps ve diğ'den (1994) alınarak astrofiziksel parametreleri yeniden tayin edilmiştir. Kümenin oluşturulan fotometrik ve astrometrik kataloğunda küme merkezinden itibaren $r \leq 9$ yay dakikalık yarıçap içinde 1,014 yıldız bulunmaktadır. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 1.06 ± 0.08 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.131 ± 0.065 dex, Güneş'e uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, d = 2,414 ± 320 pc ve t = 40 ± 5 Myıl belirlenmiştir. Tez çalışmasında NGC 366 için elde edilen renk artığı ve uzaklık değerleri literatür ile genel olarak uyum içindeyken, hesaplanan yaş değeri daha büyük, fotometrik metal bolluğu ise daha zengin ölçülmüştür. Kümeye üye yıldızların belirlenmesinde kullanılan yöntemler, farklı teorik eş-yaş eğrilerinin ve fotometrik metal bolluğu bağıntılarının dikkate alınması, analizlerde bağımsız yöntemler kullanılması kümenin elde edilen astrofizik parametreleriyle literatürde verilenler arasındaki farkları açıklamaktadır.

NGC 381: Phelps ve diğ. (1994) 23 açık kümenin CCD *UBV* gözlemlerini ve analizlerini yapmışlardır. Araştırmacılar NGC 381 açık kümesinin iki-renk ($U\text{-}B \times B\text{-}V$) ve renk-parlaklık ($V \times B\text{-}V$) diyagramlarını inceleyerek sönük parlaklıklarda alan yıldızlarının etkisini azaltmak

için, küme alanındaki yıldızların parlaklık ve renk indekslerine, sırasıyla, $V < 16$ ve $(B\text{-}V) < 1$ kadir sınırlamalarını getirmiştir. Phelps ve diğ. (1994) iki-renk diyagramlarında Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS eğrilerini, renk-parlaklık diyagramlarında da Maeder ve Meynet'in (1991) eş-yaş eğrilerini gözlemsel veriler ile uyum sağlayıncaya kadar kaydırarak NGC 381'in, sırasıyla, renk artığını, uzaklığını ve yaşını, $E(B\text{-}V) = 0.36$ kadir, $d = 1{,}062$ pc ve $t = 1.1$ Gyıl olarak tayin etmiştir. Tadross (2001), Phelps ve diğ.'nin (1994) fotometrik verilerini kullanarak NGC 381'in fotometrik metal bolluğu ve yaşını yeniden tayin etmiştir. Buna göre, kümenin Tadross'un (2001) çalışmasında verilen yaşı ve metal bolluğu, sırasıyla, $t = 1$ Gyıl ve [Fe/H] = -0.04 dex'tir. Ann ve diğ. (2002) kümenin CCD *UBVI* fotometrik gözlemlerini yaparak astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Araştırmacılar NGC 381'in analizlerinde Phelps ve diğ. (1994) ile benzer yöntemleri dönemin güncel eş-yaş eğrileriyle (Bertelli ve diğ., 1994) uygulayarak kümenin renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.40 \pm 0.10$ kadir, $d = 1{,}150 \pm 170$ pc ve $t = 320 \pm 80$ Myıl belirlemiştir. Ayrıca, Ann ve diğ. (2002) küme verileriyle en iyi uyumu [Fe/H] = 0.07 dex metal bolluğundaki eş-yaş eğrilerinin verdiğini belirtmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 381 açık kümesinin fotometrik verileri Phelps ve diğ. (1994) ile Ann ve diğ.'den (2002) alınmıştır. Kümenin fotometrik kataloğu oluşturulurken yıldızların *U* bandı ölçümlerinin olmasına öncelik verilmiştir. NGC 381 için bu çalışmada oluşturulan fotometrik katalogda küme merkezinden itibaren $r \leq 8.5$ yay dakikalık yarıçap içinde 2,624 yıldız bulunmaktadır. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.36 \pm 0.04$ kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.127 ± 0.104 dex, uzaklık modülü, uzaklık ve yaşı, sırasıyla, $\mu_V = 11.4 \pm 0.14$ kadir, $d = 1{,}140 \pm 78$ pc ve $t = 650 \pm 50$ Myıl belirlenmiştir. Tez çalışmasında NGC 381 için elde edilen renk artığı ve uzaklık değerleri literatür ile genel olarak uyum içindeyken, kümenin yaşı daha büyük tayin edilmiştir. Literatürde küme için verilen fotometrik metal bollukları dikkate alındığında, bu çalışmadan elde edilen değerin metalce fakir olduğu görülmüştür. Analizlerde kullanılan yöntemler ve kümeye üye yıldızların seçilmesi için uygulanan kriterler NGC 381'in fotometrik metal bolluğu ve yaşı için elde edilen değerlerin literatürden farklı olmasını açıklamaktadır.

NGC 1220: NGC 1220 alan yıldızlarına göre belirgin, merkezi yoğunlaşma gösteren bir açık kümedir. Literatürde fazla çalışması bulunmamakla birlikte, ilk olarak Phelps ve diğ. (1994) tarafından incelenmiştir. Galaksi'deki yaşlı açık kümeleri araştıran Phelps ve diğ. (1994)

NGC 1220'nin *BVI* ölçümlerinden oluşturdukları renk-parlaklık diyagramlarını incelediklerinde, belirgin bir dev kolu göstermediğinden genç küme olarak sınıflanması gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle araştırmacılar NGC 1220'nin temel parametrelerini tayin etmemiştir. Ortolani ve diğ. (2002) kümenin ilk ayrıntılı CCD *UBV* fotometrik gözlem ve ölçümlerini yaparak astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Araştırmacılar yoğunluk profili analizlerinden kümenin etkin yarıçapını r = 1.5 – 2 yay dakikası olarak belirlemiştir. Küme alanındaki yıldızların iki-renk ve renk-parlaklık diyagramlarındaki konumlarına göre Ortolani ve diğ. (2002) V_0=15 kadire ve A5 tayf türüne kadar 26 küme üyesi yıldız belirlemiştir. Küme doğrultusundaki renk artığının tayininde iki-renk diyagramı Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS'ıyla, kümenin yaş ve uzaklık modülünün elde edilmesinde de renk-parlaklık diyagramları Girardi ve diğ.'nin (2000) Güneş metal bolluğundaki eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda Ortolani ve diğ. (2002) NGC 1220'nin renk artığı, uzaklık modülü, Güneş'e uzaklık ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.70 ± 0.15 kadir, μ_V = 11.3 ± 0.03 kadir, d = 1,800 ± 200 pc ve t = 60 Myıl elde etmiştir.

Doktora tez çalışmasında incelenen NGC 1220 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Ortolani ve diğ.'den (2002) alınarak, fotometrik ve astrometrik kataloğu oluşturulmuştur. Katalog küme merkezinden r = 3 yay dakikası uzaklık içinde, parlaklığı $V \cong 23$ kadire kadar olan 234 yıldız içermektedir. Analizler sonucunda NGC 1220'nin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.76 ± 0.04 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.079 ± 0.056 dex, uzaklık modülü, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, μ_V = 15.30 ± 0.14 kadir, d = 3,880 ± 265 pc ve t = 225 ± 25 Myıl belirlenmiştir. Sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında renk artığının Ortolani ve diğ. (2002)'de verilenler ile uyumlu olduğu, buna karşın tez çalışmasında kümenin yaşlı ve literatürde verilenden uzak olduğu belirlenmiştir. Yaş ve uzaklıktaki bu farklılıkların kümeye üye yıldızların belirlenmesinde kullanılan yöntem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

King 5: King 5 açık kümesinin ilk çalışmasını yapan Phelps ve diğ. (1994), küme alanında 11 × 11 yay dakikalık bölgede 1,300 yıldızın *VI* ölçümlerini yaparak kümenin yaklaşık 1 Gyıl yaşında olabileceğini belirtmiştir. King 5'in ilk ayrıntılı CCD $UBVR_cI_c$ çalışması Durgapal ve diğ. (2001) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar küme doğrultusundaki yıldızların $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramını oluşturarak ve bu diyagram üzerinde Cameron'a (1985) ait Z = 0.006 metal bolluğundaki ZAMS'ı gözlemsel verilerle karşılaştırarak küme doğrultusundaki renk artığını belirlemiştir. Kümenin yaşı ve uzaklığı Bertelli ve diğ.'nin (1994) eş-yaş eğrilerinin

kümenin farklı renk-parlaklık diyagramları ($V \times V\text{-}R$, $V \times V\text{-}I$, $V \times B\text{-}V$) üzerinde gözlemsel verilere fit edilmesi sonucunda belirlenmiştir. Analizler sonucunda Durgapal ve diğ. (2001), King 5 'in renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.82$ kadir, uzaklık modülünü, uzaklık ve yaşını, sırasıyla, $\mu_V = 14$ kadir, $d = 1.9 \pm 0.1$ kpc ve $t = 1$ Gyıl belirlemiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007) CCD *BV* fotometrik verilerinden itibaren kümenin yapısal ve astrofizik parametrelerini hesaplamıştır. Araştırmacılar King 5'in yarıçapını $r = 10.9$ yay dakikası hesaplamış olup, küme merkezinden itibaren belirlenen bu yarıçap dâhilinde bulunan yıldızlar analizlerde dikkate alınmıştır. Daha sonra Maciejewski ve Niedzielski (2007) belirledikleri küme yıldızlarının $V \times B\text{-}V$ diyagramını oluşturarak, Bertelli ve diğ.'nin (1994) Güneş metal bolluğundaki eş-yaş eğrilerini diyagram üzerinde gözlem verileriyle eşleştirmiş ve kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin etmiştir. Sonuç olarak Maciejewski ve Niedzielski (2007) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.67 \pm 0.09$ kadir, uzaklığını $d = 2.23 \pm 0.62$ kpc ve yaşını $t = 1.25$ Gyıl belirlemiştir. Akkaya ve diğ. (2015) 20 açık kümenin CCD *UBVRI* fotometrik gözlem ve analizlerini yaptıkları çalışmada kümelerin astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Araştırmacılar tüm kümeler için benzer yöntemler kullanmış olup, kümelerin renk artıkları, fotometrik metal bollukları, uzaklık modülleri ve yaşları birbirinden bağımsız tayin edilmiştir. Astrofiziksel parametrelerin belirlenmesinde kümelerin iki-renk ve farklı beş renk-parlaklık diyagramları Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS'ıyla, Sandage (1969) ile Melbourne'nin (1959, 1960) Hyades anakol renkleriyle, Marigo ve diğ.'nin (2008) eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Akkaya ve diğ. (2015) King 5 açık kümesinin renk artığını, fotometrik metal bolluğunu, uzaklık ve yaşını sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.70 \pm 0.08$ kadir, [Fe/H] = -0.17 ± 0.25 dex, $d = 1.74 \pm 0.04$ kpc ve $t = 1.26 \pm 0.16$ Gyıl tayin etmiştir.

Ayrıca, King 5 kümesinin metal bolluğu hakkındaki çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından literatüre sunulmuştur. Friel ve diğ. (1995) 700 Myıl'dan yaşlı 24 açık kümenin orta çözünürlüklü tayf gözlem verilerinden kümelerin radyal hızları ve ortalama metal bolluğu değerlerini belirlemiştir. Araştırmacılar King 5'teki 20 dev yıldızın tayf analizleri sonucunda kümenin tayfsal metal bolluğunu [Fe/H] = -0.385 ± 0.20 dex tayin etmiştir. Netopil ve diğ. (2016) 172 açık kümenin literatürde farklı çalışmalarda hesaplanan metal bolluklarını homojenize ederek radyal metal bolluğu gradyentini araştırmıştır. Araştırmacılar, analizleri sonucunda King 5'in metal bolluğunu [Fe/H] = - 0.11 dex belirlerken, Donor ve diğ. (2018) ile

Carrera ve diğ. (2019) kümenin tayfsal metal bolluğunu, sırasıyla, [Fe/H]= -0.11 ± 0.02 dex ve [Fe/H]= -0.11 ± 0.01 dex hesaplamışlardır.

Doktora tez çalışmasında King 5 kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Durgapal ve diğ.'den (2001) alınarak astrofiziksel parametreleri yeniden tayin edilmiştir. Analizler sonucunda, tez çalışmasında kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.76 ± 0.07 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.091± 0.145 dex, uzaklık modülü, uzaklık ve yaşı, sırasıyla, μ_V = 13.9 ± 0.21 kadir, d = 2,036 ± 208 pc ve t = 1 ± 0.1 Gyıl hesaplanmıştır. King 5 kümesi için elde edilen sonuçlar parametrelerdeki hatalar dikkate alındığında literatürde verilenler ile genelde uyum içindedir.

King 6: King 6 açık kümesinin ilk detaylı CCD *UBVI* fotometrik analizlerini Ann ve diğ. (2002) yapmıştır. Kümenin renk artığının hesaplanmasında $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki renk-diyagramları, uzaklık modülü ve yaşının hesaplanmasında da $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları kullanılmıştır. Araştırmacılar Bertelli ve diğ.'nin (1994) [Fe/H] = 0.46 dex metal bolluğuna karşılık gelen teorik eş-yaş eğrilerini bu diyagramlar üzerinde gözlem verileriyle eşleştirilerek küme doğrultusundaki renk artığını, kümenin uzaklık modülünü ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.50 ± 0.10 kadir, μ_V = 11.25 kadir ve t = 250 ± 50 Myıl hesaplamıştır. Maciejewski ve Niedzielski (2007), King 6'nın CCD *BV* analizleri sonucunda renk artığını, uzaklık modülünü, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.53 ± 0.11 kadir, μ_V = 11.17 ± 0.51 kadir, d = 800 ± 270 pc ve t = 250 Myıl tayin etmiştir.

Tez çalışmasında King 6 kümesinin analizleri Ann ve diğ.'nin (2002) CCD *UBV* verileri kullanılarak yapılmıştır. Küme için oluşturulan fotometrik ve astrometrik katalogda küme merkezinden itibaren r = 9 yay dakikalık yarıçap içinde 236 yıldız bulunmaktadır. Analizler sonucunda tez çalışmasında kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.51 ± 0.02 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.132 ± 0.078 dex, uzaklık modülü, uzaklık ve yaşı, sırasıyla, μ_V = 10.5 ± 0.09 kadir, d = 608 ± 26 pc ve t = 300 ± 50 Myıl hesaplanmıştır.

Berkeley 10: Berkeley 10 kümesine ait ilk CCD $UBVR_CI_C$ çalışmasını Lata ve diğ. (2004a) yapmıştır. Araştırmacılar kümenin yarıçapını r = 6 yay dakikası belirlemiş olup, alan yıldızı etkilerini azaltmak ve kümenin en muhtemel üye yıldızlarından itibaren analizleri yapmak için bu yarıçap içinde kalan yıldızları dikkate almıştır. Lata ve diğ. (2004a), Girardi ve diğ.'nin (2002) Z= 0.008 ağır element bolluğundaki eş-yaş eğrilerini kullanarak Berkeley 10'un renk

artığını iki-renk (*U-B* × *B-V)* diyagramından, yaş ve ağır element bolluğunu da dört farklı renk-parlaklık diyagramından (*V* × *V-R, V* × *V-I, V* × *U-B, V* × *B-V*) eş-zamanlı olarak tayin etmiştir. Analizler sonucunda Lata ve diğ. (2004a) Berkeley 10'un renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.87 \pm 0.05$ kadir, uzaklığını $d = 2{,}290 \pm 210$ pc ve yaşını $t = 630 \pm 165$ Myıl tayin etmiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007) çalışmalarında CCD *BV* verilerini kullanarak Berkeley 10'un yapısal ve astrofizik parametrelerini hesaplamıştır. Çalışmada, küme için hesaplanan $r = 8.3$ yay dakikalık yarıçap içinde kalan yıldızlar kümeye en muhtemel üyeler olarak belirlenmiştir. Bu yıldızlardan itibaren *V* × *B-V* diyagramından kümenin renk artığı, uzaklık modülü ve yaş değerleri Bertelli ve diğ.'nin (1994) Güneş metal bolluğundaki eş yaş eğrileriyle fit edilerek eş-zamanlı tayin edilmiştir. Analizler sonucunda Maciejewski ve Niedzielski (2007) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.71 \pm 0.09$ kadir, uzaklığını $d = 1{,}790 \pm 630$ pc ve yaşını $t = 1$ Gyıl olarak tayin etmiştir.

Akkaya ve diğ. (2010) Berkeley 10'un CCD *UBVRI* fotometrik gözlemlerinin analizleri sonucunda kümenin renk artığını, fotometrik metal bolluğunu, yaşını ve uzaklığını hesaplamıştır. Berkeley 10'un astrofiziksel parametrelerinin hesabında küme merkezinden $r = 5$ yay dakikası içinde kalan yıldızlar dikkate alınmıştır. Araştırmacılar, renk artığı ve metal bolluğunu *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramından itibaren belirlemiş olup, kümenin hesaplanan metal bolluğunu dikkate alarak ağır element bolluğunu tayin etmiştir. Akkaya ve diğ.'de (2010) farklı renk-parlaklık diyagramları oluşturularak Marigo ve diğ.'nin (2008) eş-yaş eğrileri bu diyagramlar üzerinde gözlemsel verilere göre kaydırılarak kümenin uzaklık modülü ve yaşı tayin edilmiştir. Analizler sonucunda Akkaya ve diğ. (2010) Berkeley 10 kümesinin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.75 \pm 0.09$ kadir, fotometrik metal bolluğunu $[Fe/H] = -0.49 \pm 0.02$ dex, uzaklığını $d = 1{,}700 \pm 50$ pc ve yaşını $t = 1.15 \pm 0.08$ Gyıl hesaplamıştır.

Doktora tez çalışmasında Berkeley 10 kümesinin CCD *UBV* verileri Akkaya ve diğ.'nden (2010) alınmış ve analizleri bu veriler üzerinden yapılmıştır. Küme kataloğunda $V = 20$ kadire kadar 264 yıldız bulunmakta ve küme yıldızları küme merkezinden $r = 5$ yay dakikası uzaklık içinde yer almaktadır. Analizler sonucunda tez çalışmasında kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.71 \pm 0.07$ kadir, fotometrik metal bolluğu $[Fe/H] = -0.076 \pm 0.141$ dex, uzaklığı $d = 2{,}187 \pm 266$ pc ve yaşı $t = 1.0 \pm 0.1$ Gyıl hesaplanmıştır. Kümenin bu çalışmada elde edilen renk artığı uzaklık ve yaşı literatürde verilenler ile genelde uyum içindeyken, metal bolluğunun Akkaya ve diğ'nden (2010) metalce daha zengin hesaplandığı belirlenmiştir.

Tombaugh 5: Tombaugh 5 az çalışılan açık kümelerden biri olup literatürde yaşı 200 – 250 Myıl, renk artığı ortalama $E(B\text{-}V) = 0.80$ kadir verilmektedir (Lata ve diğ., 2004a; Maciejewski ve Niedzielski, 2007; Majaess ve diğ., 2008; Zdanavičius ve diğ., 2011). Bununla birlikte Tombaugh 5'in kalabalık bir yıldız alanında yer alması çalışmalarda kümenin uzaklığının farklı hesaplanmasına sebep olmaktadır. Lata ve diğ.'nin (2004a) CCD $UBVR_CI_C$ analiz sonuçlarına göre kümenin uzaklığı d = 1,750 ± 160 pc'tir. Bu değer, Tombaugh 5'in Vilnius fotometrik sisteminde analizlerini yapan Zdanavičius ve diğ. (2011) tarafından da kabul edilmiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007), Lata ve diğ.'nin (2004a) küme için oluşturdukları renk-parlaklık diyagramının alan yıldızlarından etkilendiğini belirtmiştir. Ayrıca, Maciejewski ve Niedzielski (2007) Tombaugh 5'e üye yıldızları istatistiksel bir yaklaşım ile belirlemiş, CCD BV fotometrik analizler sonucunda kümenin uzaklığını d = 1,330 ± 340 pc elde etmiştir. Bu değer, kümenin 2MASS fotometrik verilerini analiz eden Kharchenko ve diğ. (2013) tarafından da kabul görmüştür. Majaess ve diğ. (2008) 2MASS renk-parlaklık diyagramlarından kümenin uzaklığını 1,700 pc vermiştir. Kümenin tayfsal çalışması Baratella ve diğ. (2018) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kümeye üye olarak belirlenen beş kırmızı dev yıldızın orta çözünürlükte tayf analizlerinin sonucunda Tombaugh 5'in ortalama metal bolluğunu [Fe/H] = 0.06 ± 0.11 dex hesaplamıştır.

Tez çalışmasında Tombaugh 5 kümesinin CCD UBV verileri Lata ve diğ.'den (2004a) alınarak astrofizik parametreleri tayin edilmiştir. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.75 ± 0.04 kadir, fotometrik metal bolluğu [Fe/H] = -0.058 ± 0.183 dex, uzaklığı d = 1,799 ± 131 pc ve yaşı t = 275 ± 25 Myıl hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen renk artığı ve yaş literatürde verilenler ile uyumluyken, kümenin uzaklığı Lata ve diğ.'de (2004a) hesaplanan değer ile uyumludur. Kümenin fotometrik metal bolluğu Baratella ve diğ.'nden (2018) daha düşük hesaplanmıştır. Baratella ve diğ.'nin (2018) çalışmasında gözlenen beş dev yıldız incelendiğinde metal bolluklarının -0.05 ≤ [Fe/H] ≤ 0.11 dex aralığında olduğu görülmektetir. Tez çalışmasında hesaplanan [Fe/H] = -0.058 ± 0.183 dex metal bolluğunun hata mertebeleri içinde -0.05 ≤ [Fe/H] ≤ 0.11 dex aralığında sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

King 7: King 7 açık kümesinin literatürde az sayıda fotometrik çalışması olup, kümenin CCD $UBVRI$ gözlemlerinin analiz sonuçları Durgapal ve diğ. (1997) tarafından sunulmuştur. Kümenin renk artığı, Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS değerlerinin $U\text{-}B \times B\text{-}V$ diyagramı

üzerinde küme alanında tespit edilen yıldızlara göre fit edilmesi sonucunda $E(B\text{-}V) = 1.25$ kadir elde edilmiştir. Küme doğrultusundaki yıldızların $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}I$, $V \times V\text{-}R$ renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş, Bertelli ve diğ.'nin (1994) teorik eş-yaş eğrileri bu diyagramlar üzerinde kümenin anakol, dönüm noktası ve dev bölgesindeki yıldızlar ile en iyi uyumu sağlayacak şekilde kaydırılmıştır. Gözlemsel veriyle en iyi uyumu sağlayan eş yaş eğrisi kümenin yaşını $t = 630$ Myıl, uzaklığını $d = 2{,}200 \pm 340$ pc ve ağır element bolluğunu Z=0.008 vermiştir. Açık kümelerin literatüre kazandırılmış astrofizik parametrelerini derleyen ve bu değerlerden itibaren 72 kümenin ortalama kızarma, uzaklık ve yaşlarını tayin eden Paunzen ve Netopil (2006) King 7 için bu parametreleri, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 1.27 \pm 0.05$ kadir, $d = 2{,}211 \pm 200$ pc ve $t = 603 \pm 121$ Myıl vermişlerdir. Kümenin literatürde verilen metal bolluğu fotometrik ve tayfsal olarak farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Durgapal ve diğ.'nin (1997) fotometrik verilerini yeniden analiz eden Tadross (2001), King 7'nin fotometrik metal bolluğunu [Fe/H] = 0.33 dex belirlemiştir.

Donor ve diğ. (2018), APOGEE tayf gözlemleri sonucunda King 7 açık kümesine üye dört yıldızın metal bolluğunu [Fe/H] = -0.05 ± 0.02 dex tayin etmişlerdir. Carrera ve diğ. (2019), APOGEE ve GALAH yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinden 103 açık kümeye yüksek olasılıkla üye yıldızların metal bolluğunu belirlemişlerdir. Çalışmada King 7 kümesine üye dört anakol ve kırmızı dev yıldızdan itibaren kümenin ortalama metal bolluğu [Fe/H] = -0.04 ± 0.04 dex elde edilmiştir.

Doktora tez çalışmasında King 7 kümesinin astrofizik parametrelerinin tayininde Durgapal ve diğ.'nin (1997) CCD *UBV* fotometrik verileri kullanılmıştır. Küme doğrultusundaki renk artığı, kümenin uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 1.35 \pm 0.03$ kadir, $d = 2{,}773 \pm 178$ pc ve $t = 200 \pm 50$ Myıl tayin edilmiştir. Kümenin literatürden alınan verilerinin yeterli sayıda olmamasından dolayı, metal bolluğu tayininde fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu kullanılmamıştır. Bu nedenle King 7 için Donor ve diğ.'nin (2018) tayfsal metal bolluğu değeri [Fe/H] = -0.05 ± 0.02 dex olarak tez çalışmasında kabul edilmiştir.

NGC 1582: NGC 1582 birçok parlak yıldızın bulunduğu alanda yer almakla birlikte, küme alan yıldızlarına göre merkezi yoğunlaşma göstermeyen seyrek bir yıldız dağılımına sahiptir. NGC 1582, literatürde az çalışılan açık kümelerden biri olup ilk ayrıntılı CCD $UBVI_C$ fotometrik gözlemleri ve kümedeki parlak yıldızların tayf analizleri Baume ve diğ. (2003) tarafından

yapılmıştır. Çalışmada, Tycho-2 kataloğundan küme doğrultusunda 20 yay dakikası içinde 53 yıldızın öz hareket verilerine ulaşılmıştır. Kümeye üye yıldızların belirlenmesinde bu öz hareketlerden oluşturulan vektör nokta diyagramının yanısıra, yıldızların radyal hız değerleri ve farklı fotometrik diyagramlardaki konumları dikkate alınmıştır. Baume ve diğ. (2003) NGC 1582'nin astrofizik parametrelerini kümeye üye olduğunu belirledikleri yıldızları dikkate alarak tayin etmiştir. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.35 \pm 0.03$ kadir, uzaklığı $d = 1{,}100 \pm 100$ pc ve yaşı $t = 300 \pm 100$ Myıl hesaplanmıştır.

Doktora tez çalışmasında incelenen NGC 1582 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Baume ve diğ.'den (2003) alınmıştır. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.41 \pm 0.06$ kadir, fotometrik metal bolluğu [Fe/H] = -0.077 ± 0.088 dex, uzaklığı $d = 1{,}276 \pm 121$ pc ve yaşı $t = 350 \pm 50$ Myıl hesaplanmıştır. Çalışmada NGC 1582 için elde edilen renk artığı, uzaklık ve yaş değerleri literatürde verilenler ile uyum içindedir.

NGC 1605: Literatürde fazla çalışması bulunmayan ve gökyüzünde belirgin bir yoğunlaşma göstermeyen NGC 1605 açık kümesi ilk kez *RGU* fotometrik verileriyle Fang (1970) tarafından incelenmiştir. Küme doğrultusundaki yoğun yıldızlararası ortamdan etkilenen kümenin *RGU* fotometrisindeki renk artığı $E(G\text{-}R) = 1.35$ kadir, sönümleme değeri $A(G) = 3.63$ kadir uzaklık modülü $\mu = 15.85$ kadir ve uzaklığı da $d = 2{,}750$ pc hesaplanmıştır. Sujatha ve Babu (2003) NGC 1605 açık kümesini ilk kez CCD *UBVRI* fotometrik verileriyle incelemiş ve kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.14$ kadir ve uzaklığını da $d = 1{,}148$ pc olarak tayin etmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 1605 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik gözlemleri T100 ile yapılmış olup, analizler sonucunda renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.92 \pm 0.04$ kadir, uzaklık modülü $\mu = 15.40 \pm 0.14$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 3{,}233 \pm 214$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.072 ± 0.109 dex ve yaşı da $t = 175 \pm 25$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada küme için elde edilen astrofizik parametrelerin literatürde bulunanlardan farklı olduğu tespit edilmiştir.

Berkeley 15: Berkeley 15'in CCD *UBVRI* fotometrik gözlem ve analizleri farklı araştırmacılar tarafından sunulmuştur (Lata ve diğ., 2004b; Sujatha ve diğ., 2004; Maciejewski ve Niedzielski, 2007; Tapia ve diğ., 2010). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde NGC 1582'in renk artığının $0.23 \leq E(B\text{-}V) \leq 1.01$ kadir, uzaklığının $1{,}202 \leq d \leq 3{,}000$ pc ve yaşının $316 \leq t \leq 5{,}010$ Myıl aralığında değiştiği görülmektedir.

Doktora tez çalışmasında incelenen Berkeley 15 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Lata ve diğ. (2004b) ile Tapia ve diğ.'den (2010) alınmıştır. Her bir çalışmada incelenen yıldızlardan ortak olanlar belirlenmiştir. Ortak yıldızlardan *U* bandında fotometrik gözlemleri olanlar ve/veya en güncel çalışmada yer alanlar kataloğa eklenmiştir. Böylece oluşturulan fotometrik katalog astrometrik verilerin de eklenmesiyle tamamlanmıştır. Analizler sonucunda, Berkeley 15'in renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.90 \pm 0.04$ kadir, uzaklık modülü $\mu = 15.30 \pm 0.14$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 3{,}178 \pm 216$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.152 ± 0.199 dex ve yaşı da $t = 450 \pm 50$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında Berkeley 15 için elde edilen renk artığı, uzaklık ve yaşın Lata ve diğ. (2004b) ile Maciejewski ve Niedzielski'nin (2007) değerleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sujatha ve diğ. (2004) U bandındaki ölçümlerin yeterli duyarlılıkta olmadığını, bu nedenle kümenin renk artığı tayininde $B\text{-}I \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramının kullanıldığını belirtmiştir. Tapia ve diğ.'nin (2010) kümenin renk artığını $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramından belirlemesine rağmen, kızarma tayininde kullanılan yıldızları Schmidt-Kaler'in (1962) ZAMS'ıyla hatalı fit ettiği tespit edilmiştir. İki çalışmada da kullanılan yıldızların hatalı seçimi ve yöntem farklılığı Berkeley 15'in renk artığının olduğundan daha düşük elde edilmesine, bunun da parametreler arasında dejenerasyona sebep olduğu belirlenmiştir. Söz konusu nedenler tez çalışmasında elde edilen astrofizik parametrelerin literatürde verilenlerden farklı olmasını açıklamaktadır.

NGC 1750: Galadi-Enriquez ve diğ. (1998) NGC 1750 açık kümesinin CCD *UBVRI* gözlemlerini yaparak küme alanında parlaklığı $V \leq 20$ kadir olan 3,224 yıldız tespit etmiştir. Çalışmada kümenin astrofizik parametrelerinin tayininde CCD verilerinin yanısıra fotografik *BVR* fotometrisi ve öz hareket verileri birlikte kullanılmıştır. Fotografik parlaklığı $R \leq 15$ kadir olan 79 yıldız kümeye üye olarak belirlenmiş ve astrofizik parametreleri bu yıldızlar dikkate alınarak tayin edilmiştir. Kümenin renk artığı Strömgren ölçümlerinden ve Straizys ve diğ.'nin (1992) Vilnius fotometrik verilerinden itibaren $E(B\text{-}V) = 0.34 \pm 0.07$ kadir hesaplanmıştır. Kümenin yaşı ve uzaklığı Schaller ve diğ.'nin (1992) eş-yaş eğrilerinin renk-parlaklık diyagramlarında fit edilmesiyle, sırasıyla, $t = 200 \pm 50$ Myıl ve $d = 692$ pc belirlenmiştir. Tadross (2001), Galadi-Enriquez ve diğ.'nin (1998) fotometrik verilerinden itibaren NGC 1750'in astrofizik parametrelerini yeniden hesaplamıştır. Analizleri sonucunda Tadross (2001), kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.34 \pm 0.01$ kadir, uzaklığını $d = 669 \pm 20$ pc, fotometrik metal bolluğunu [Fe/H] = -1.97 dex ve yaşını da $t = 250 \pm 30$ Myıl olarak hesaplamıştır.

Doktora tez çalışmasında NGC 1750 açık kümesinin CCD *UBV* verileri Galadi-Enriquez ve diğ.'den (1998) alınarak astrofiziksel parametreleri yeniden tayin edilmiştir. Kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.40 \pm 0.07$ kadir, uzaklığı $d = 711 \pm 82$ pc, fotometrik metal bolluğu [Fe/H] = -0.15 ± 0.067 dex ve yaşı da $t = 75 \pm 30$ Myıl olarak hesaplanmıştır. NGC 1750'nin tez çalışmasında elde edilen renk artığı ve uzaklığı literatürde verilenler ile uyumluyken, yaşı Galadi-Enriquez ve diğ. (1998) ile Tadross'dan (2001) daha büyük değerde elde edilmiştir. Literatürdeki bu iki çalışma incelendiğinde kümeye üye yıldızların yeterli duyarlılıkla belirlenmediği, bunun da tezde NGC 1750 için hesaplanan yaş arasında farklılığa sebep olduğu tespit edilmiştir.

Berkeley 17: Berkeley 17 açık kümesi Setteducati ve Waever (1962) tarafından keşfedilmiş olup, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda düşük Galaktik enlemde bulunmaktadır. Galaksi diskinde bulunduğu konumun bir sonucu olarak, küme yıldızlararası ortamdan kaynaklanan yüksek kızarmaya maruz kalır ve alan yıldızları tarafından büyük ölçüde kirlenir. Kümenin Phelps ve diğ. (1994) tarafından yapılan kapsamlı çalışmasından sonra, Berkeley 17'nin Galaksi'de bilinen en yaşlı açık küme olduğu kabul edilmiştir. Kaluzny (1994), kümenin ilk *BVI* fotometrik ölçümlerini yapmış ve renk-parlaklık diyagramlarındaki morfolojilerini bilinen en yaşlı açık küme olan NGC 6791'in renk-parlaklık diyagramlarıyla karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda Kaluzny (1994), Berkeley 17'nin NGC 6791 açık kümesi kadar veya daha yaşlı olabileceğini belirtmiştir. Kümenin yaşı eş-yaş eğrilerinden (VandenBerg, 1985) itibaren ilk defa Phelps (1997) tarafından $10 < t < 13$ Gyıl arasında tayin edilmiştir. Ayrıca, çalışmada kümenin metal bolluğu $-0.3 <$ [Fe/H] < 0 dex, renk artığı $0.52 < E(B\text{–}V) < 0.68$ kadir aralığında ve uzaklık modülü $\mu_V = 14.05 \pm 0.25$ kadir belirlenmiştir. Krusberg ve Chaboyer (2006), CCD *UBV* fotometrik gözlemlerinden itibaren, eş-yaş eğrilerini (Chaboyer ve diğ., 1999, 2001) Berkeley 17 için oluşturdukları $V \times B\text{-}V$ ve $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde fit ederek kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin etmişlerdir. Buna göre, kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.58$ kadir, [Fe/H] = -0.33 dex, $d = 2{,}700$ pc ve $t = 10 \pm 1.0$ Gyıl belirlenmiştir. Çalışmada, küme doğrultusunda yüksek kızarmanın renk artığındaki belirsizliği arttırdığı, çok sayıda alan yıldız kirlenmesinin renk-parlaklık diyagramında küme morfolojisinin iyi belirlenmemesine, bunun da yaştaki belirsizliğin büyük hesaplanmasına sebep olduğu belirtilmektedir. Berkeley 17'nin literatürde belirlenen astrofizik parametrelerinden itibaren ortalama sonuçlarını veren Paunzen ve Netopil (2006), kümenin ortalama renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.63 \pm 0.05$

kadir, d = 2,575 ± 88 pc ve t = 9,448 ± 1,776 Myıl olarak belirlemiştir. Bragaglia ve diğ. (2006), Berkeley 17'nin CCD *BVI* fotometrik gözlemlerinin analizleri sonucunda, renk-parlaklık diyagramlarında eş-yaş eğrilerinin fit edilmesiyle kümenin astrofizik parametrelerini tayin etmiştir. Çalışmada, renk artığı $E(B\text{-}V)$'nin 0.60 ile 0.62 kadir arasında olduğu, küme doğrultusunda diferansiyel kızarmanın, eğer varsa, %5 seviyesinde olabileceği belirtilmiştir. Analizler sonucunda Bragaglia ve diğ. (2006) kümenin uzaklık modülünü μ_0 =12.2 kadir, yaşını da 8.5 ila 9 Gyıl vermiştir.

Kümenin tayfsal metal bolluğu literatürde farklı araştırmacılar tarafından yayımlanmıştır. Friel ve diğ. (2002) Berkeley 17'nin tayfsal metal bolluğunu [Fe/H] = -0.33 ± 0.12 dex, Heiter ve diğ. (2014) [Fe/H] = -0.06 ± 0.08 dex, Donor ve diğ. (2018) [Fe/H] = -0.11 ± 0.03 dex ve Carrera ve diğ. (2019) [Fe/H] = -0.10 ± 0.01 dex belirlemişlerdir.

Doktora tez çalışmasında Berkeley 17 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Krusberg ve Chaboyer'den (2006) alınmıştır. Analizler sonucunda küme doğrultusundaki renk artığı, kümenin metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.58 ± 0.03 kadir, [Fe/H] = -0.121 ± 0.186 dex, d = 3,471 ± 223 pc ve t = 6 ± 1 Gyıl tayin edilmiştir.

Berkeley 71: Berkeley 71 açık kümesinin *U* bandı ölçümleri sadece Lata ve diğ. (2004b) tarafından verilmiştir. Kümenin CCD *UBVRI* fotometrik gözlem ve analizlerini yapan Lata ve diğ. (2004b) kümeye üye yıldızların belirlenmesinde küme için hesapladıkları yapısal parametreler ile küme alanındaki yıldızların renk-parlaklık diyagramlarındaki dağılımlarını kullanmıştır. Çalışmada küme merkezinden r = 3 yay dakikası uzaklıktan sonra alan yıldızlarının etkisinin arttığı belirlenerek küme merkezinden $r \leq 3$ yay dakikası içinde kalan yıldızlar kümenin üyesi kabul edilmiş ve analizlerde bu yıldızlar dikkate alınmıştır. Kümenin renk artığı $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk, uzaklık modülü de $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$ ve $V \times V\text{-}I$ renk-parlaklık diyagramlarında Schmidt-Kaler (1982) ve Walker'ın (1985) ZAMS'larının (sadece $V \times V\text{-}I$ diyagramı için kullanılmıştır) küme yıldızlarına fit edilmesiyle belirlenmiştir. Girardi ve diğ.'nin (2002) Güneş metal bolluğundaki eş-yaş eğrileri de $V \times U\text{-}B$, $V \times B\text{-}V$, $V \times V\text{-}R$ ve $V \times V\text{-}I$ diyagramlarında anakol ve dönüm noktasındaki yıldızlara ağırlık verilecek şekilde fit edilmiş ve kümenin yaşı belirlenmiştir. Buna göre Lata ve diğ. (2004b) Berkeley 71'in renk artığını, uzaklık modülünü ve yaşını, sırayla, $E(B\text{-}V)$ = 0.85 ± 0.05 kadir, d = 3,900 ± 400 pc, t = 630 ± 163 yıl olarak hesaplamıştır. Berkeley 71'in CCD *BV* analizlerini

yapan ve astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin eden Maciejewski ve Niedzielski (2007), kümenin renk artığı, uzaklık modülü ve yaşını, sırayla, $E(B\text{-}V)$ = 0.81 kadir, d = 3,260 pc, t = 1 Gyıl vermiştir. Çalışmada kümenin metal bolluğu Güneş ile aynı kabul edilmiştir.

Berkeley 71 açık kümesi literatürde az çalışılan bir küme olup, metal bolluğu tayfsal çalışmalarda verilmiştir. Carrera ve diğ. (2019), APOGEE ve GALAH yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinden 103 açık kümeye yüksek olasılıkla üye yıldızların metal bolluklarını belirlemişlerdir. Çalışmada Berkeley 71 kümesine üye dört anakol yıldızı ve kırmızı devden itibaren kümenin ortalama metal bolluğu [Fe/H] = -0.20 ± 0.01 dex elde edilmiştir.

Doktora tez çalışmasında Berkeley 71'in CCD *UBV* verileri Lata ve diğ.'den (2004b) alınmış olup, kümenin renk artığı, kümenin metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.88 ± 0.09 kadir, [Fe/H] = -0.161 ± 0.137 dex, d = 3,269 ± 505 pc ve t = 900 ± 100 Myıl tayin edilmiştir. Tez çalışmasında Berkeley 71 için hesaplanan renk artığı ve uzaklık literatürde verilenler ile uyumluyken, küme Lata ve diğ.'de (2004b) belirlenenden daha yaşlı hesaplanmıştır.

NGC 2192: Galaktik enlemi yaklaşık 10° olan ve Galaksi'nin II. çeyreğinde bulunan bir açık kümedir. Kümenin ilk CCD *UBVI* fotometrik analizlerini Park ve Lee (1999) yapmıştır. Çalışmada, küme merkezinden r = 7 yay dakikası yarıçap içinde bulunan yıldızlar kümeye üye olarak seçilmiş ve analizlerde bu yıldızlar dikkate alınmıştır. Kümenin renk artığı, uzaklığı ve yaşının hesaplanmasında iki yöntem kullanılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Yöntemlerin ilkinde kümedeki kırmızı yığın yıldızlarının ortalama V, $U\text{-}B$, $B\text{-}V$ renk ve parlaklıkları, diğerinde iki-renk ($U\text{-}B \times B\text{-}V$) ve renk-parlaklık diyagramları ($V \times B\text{-}V$) kullanılmıştır. NGC 2192'nin iki-renk diyagramlarında Bertelli ve diğ.'nin (1994) eş-yaş eğrileri küme yıldızlarına ağırlık verilerek fit edilmiş ve kümenin renk artığıyla metal bolluğu eş-zamanlı tayin edilmiştir. Benzer şekilde renk-parlaklık diyagramlarından da uzaklık ve yaş eş-zamanlı tayin edilmiştir. Sonuç olarak, Park ve Lee (1999) kümenin ortalama kızarma, metal bolluğu, uzaklık ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.20 ± 0.03 kadir, [Fe/H] = -0.31 ± 0.15 dex, d =3,500 ± 300 pc ve t = 1,100±100 Myıl belirlemiştir. Tadross (2001), Parker ve Lee'nin (1999) fotometrik verilerinden kümenin astrofizik parametrelerini yeniden hesaplayarak renk artığı, fotometrik metal bolluğu, uzaklık ve yaşını, sırayla, $E(B\text{-}V)$ = 0.22 ± 0.13 kadir, [Fe/H] = -0.22 dex, d = 3,365 pc, t = 1,000 ± 516 Myıl belirlemiştir. Paunzen ve Netopil (2006)

NGC 2192'nin ortalama astrofizik parametrelerini vermişlerdir. Buna göre kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.21 ± 0.01 kadir, uzaklığı d = 3,467 ± 72 pc ve yaşı t = 1,072 ± 48 Myıl'dır. Maiejewski ve Niedzielski (2007) CCD *BV* fotometrik analizlerinde metal bolluğunu Güneş'e benzer kabul ederek yaptıkları hesaplamalar sonucunda kümenin renk artığı, uzaklığı ve yaşını, sırayla, $E(B\text{-}V)$ = 0.04 ± 0.13 kadir, d = 2,500 pc, t = 1,995 ± 516 Myıl tayin etmiştir. Park ve Lee'nin (1999) çalışmasından sonra NGC 2192 açık kümesinin ayrıntılı CCD $UBV(RI)_C$ çalışmasını Tapia ve diğ. (2010) yapmıştır. Çalışmada, iki-renk diyagramlarında Schmidt-Kaler'in (1982) anakol ve dev yıldızlar için verdiği eğriler kümenin F-tayf türünden anakol ve kırmızı dev yıldızlarına ağırlık verilerek fit edilmiş, kümenin renk artığıyla metal bolluğu eş-zamanlı tayin edilmiştir. Tapia ve diğ. (2010), NGC 2192'nin renk-parlaklık diyagramlarında, Girardi ve diğ.'nin (2002) eş-yaş eğrilerini kümenin belirledikleri anakol, dönüm noktası ve kırmızı dev kolundaki yıldızlarıyla en iyi uyumu sağlayacak şekilde fit ederek uzaklık ile yaşını eş-zamanlı tayin etmiştir. Buna göre çalışmada kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.16 ± 0.03 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.31 dex, uzaklığı d = 3,467 ± 72 pc ve yaşı t = 1,400 ± 170 Myıl belirlenmiştir. Kharchenko ve diğ. (2012) 2MASS fotometrik analizlerinde kümenin metal bolluğunu [Fe/H] = -0.31 dex (Dias ve diğ., 2012) kabul ederek NGC 2192'nin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.10 kadir, uzaklığını d =3,501 pc ve yaşını t = 1,780 ± 190 Myıl tayin etmişlerdir.

Literatürde NGC 2192'nin CCD *UBV* verileri iki farklı çalışmada verilmesine rağmen, doktora tez çalışmasında daha güncel olduğundan Tapia ve diğ.'nin (2010) fotometrik verileri kullanılmıştır. Analizler sonucunda NGC 2192'nin tez çalışmasında belirlenen renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.12 ± 0.04 kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.06 ± 0.098 dex, uzaklığı d = 3,959 ± 273 pc ve yaşı t = 1,300 ± 200 Myıl'dır. Tez çalışmasında NGC 2192 için belirlenen yaşın literatürde verilenler ile uyumlu olduğu, küme uzaklığının diğer çalışmalardakinden daha büyük hesaplandığı, bununla birlikte renk artığının Maciejewski ve Niedzielski (2007) dışında tüm çalışmalar ile hatalar içinde kabul edilir olduğu tespit edilmiştir.

NGC 6520: NGC 6520, Galaksi merkezinin 4° doğusunda, yoğun yıldız alanında bulunan bir açık kümedir. Aynı zamanda küme alanında Bernard 86 karanlık bulutsusu bulunmakta, bu da küme doğrultusunda değişen kızarma olabileceğini göstermektedir (Kjeldsen ve Frandsen, 1991). Kümenin ilk CCD *UBV* fotometrik çalışması Kjeldsen ve Frandsen (1991) tarafından literatüre kazandırılmış olup, küme alanında 4.0 × 2.6 yay dakika karelik alanda 300 yıldızın fotometrik ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, kümenin renk artığı, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla,

$E(B\text{-}V)$ = 0.43 ± 0.03 kadir, d = 1,600 ± 120 pc ve t = 190 Myıl belirlenmiştir. NGC 6520'nin CCD *BVI* fotometrisini yapan Carraro ve diğ. (2005), kümenin temel astrofizik parametrelerini yıldız sayımı ve renk-parlaklık diyagramlarına eş-yaş eğrilerinin fit edilmesi yöntemiyle belirlemiştir. Buna göre, çalışmada kümenin renk artığı, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.42 ± 0.10 kadir, d = 1,900 ± 100 pc ve t = 150 ± 50 Myıl belirlenmiştir. NGC 6520 alanında bulunan yıldızların *B* ve *V* parlaklıklarını Tycho-2 kataloğundan derleyen Kharchenko ve diğ. (2005), kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$= 0.42 kadir, uzaklığını d = 1,577 pc ve yaşını t = 56 Myıl belirlemiştir. Kjeldsen ve Frandsen'in (1991) fotometrik verilerini yeniden değerlendiren Tadross (2001) NGC 6520'nin renk artığı, fotometrik metal bolluğu, uzaklığı ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.44 kadir, [Fe/H] = -0.25 dex, d = 1,600 pc ve t = 220 Myıl elde etmiştir.

Doktora tez çalışmasında, NGC 6520 açık kümesinin CCD *UBV* verileri Kjeldsen ve Frandsen'den (1991) alınmış olup, kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.40 ± 0.04 kadir, [Fe/H] = -0.029 ± 0.073 dex, d = 1,629 ± 103 pc ve t = 95 ± 40 Myıl belirlenmiştir. Kümenin tez çalışmasında tayin edilen renk artığı ve uzaklığı literatürde verilenler ile uyum içindeyken, yaşının Kjeldsen ve Frandsen (1991), Tadross (2001) ve Carraro ve diğ.'den (2005) daha küçük hesaplandığı belirlenmiştir.

NGC 6705: NGC 6705 bilinen en büyük kütleli açık kümelerden biri olduğundan birçok araştırmacı tarafından farklı fotometrik sistemlerde incelenmiştir (2MASS, Santos ve diğ., 2005; Strömgren-H_β, Beaver ve diğ., 2013). Kümenin yaşı literatürdeki çalışmalarda eş-yaş eğrilerinin renk-parlaklık diyagramlarına fit edilmesiyle belirlenmiş olup, $145 \leq t \leq 300$ Myıl arasında değişmektedir (Kjeldsen ve Frandsen, 1991; Sung ve diğ., 1999; Santos ve diğ., 2005; Beaver ve diğ., 2013; Cantat-Gaudin ve diğ., 2014b). Fotometrik çalışmalarının yanısıra, farklı araştırmacılar NGC 6705'in tayfsal analiz sonuçlarını da literatüre sunmuştur (Cantat-Gaudin ve diğ., 2014; Tautvaišiene ve diğ., 2015; Gonzales ve Wallerstein, 2000). Kjeldsen ve Frandsen (1991) NGC 6705 kümesinin CCD *UBV* fotometrik gözlemlerinin analizleri sonucunda küme doğrultusundaki renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.46 ± 0.03 kadir, uzaklığını d = 2,150 ± 200 pc ve yaşını t = 145 Myıl olarak elde etmiştir. Sung ve diğ. (1999) kümenin ayrıntılı CCD *UBVI* fotometrik analizlerini yapmıştır. Küme doğrultusundaki yıldızların McNamara ve diğ. (1977) tarafından hesaplanan kümeye üyelik olasılıklarını dikkate alan Sung ve diğ. (1999) çalışmalarında bu olasılıkları kullanmışlardır. Araştırmacılar kümenin

U-B × *B-V* iki-renk diyagramında Mermilliod'un (1981) renk değerlerini, *V* × *B-V*, *V* × *V-I* renk-parlaklık diyagramlarında Bertelli ve diğ.'nin (1994) eş-yaş eğrilerini kümeye yüksek olasılıkla üye yıldızlara fit etmeleri sonucunda NGC 6705'in renk artığını, uzaklığını ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.43 \pm 0.03$ kadir, $d = 2{,}000 \pm 100$ pc, $t = 250 \pm 65$ Myıl hesaplamıştır. Gonzales ve Wallerstein (2000) kümenin K tayf türünden 10 dev yıldızının yüksek çözünürlüklü tayf gözlemleri sonucunda ortalama metal bolluğunu [Fe/H] = 0.07 ± 0.05 dex hesaplamıştır. Cantat-Gaudin ve diğ. (2014), NGC 6705'in ayrıntılı CCD *UBV* ve tayf gözlemlerinin analizlerini yapmışlardır. Çalışmada kümeye üye yıldızlar belirlenerek *V* × *B-V* renk-parlaklık diyagramı üzerinde gözlemsel veriler PARSEC eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılarak kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.4$ kadir, uzaklığı $d = 1{,}950 \pm 200$ pc ve yaşı $t = 250$ Myıl belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada kümeye üye olduğu belirlenen 21 yıldızın yüksek çözünürlüklü tayf (*Gaia*-ESO veri sürümü, Gilmore ve diğ., 2012; Randich ve Gilmore, 2013) ölçümlerinden kümenin ortalama metal bolluğu [Fe/H] = 0.10 ± 0.06 dex olarak hesaplanmıştır. Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2014) çalışması incelendiğinde tayf analizi yapılan 21 yıldızın metal bolluklarının $0.03 \leq [Fe/H] \leq 0.19$ dex arasında hesaplandığı belirlenmiştir. Tautvaišiene ve diğ. (2015) küme doğrultusundaki 27 dev yıldızın yüksek çözünürlüklü tayf gözlemleri sonucunda NGC 6705'in ortalama metal bolluğunu [Fe/H] = 0.0 ± 0.05 dex hesaplamıştır. Çalışmada gözlemi yapılan yıldızlar dikkate alındığında metal bolluklarının $-0.14 \leq [Fe/H] \leq 0.08$ dex arasında hesaplandığı tespit edilmiştir. Carrera ve diğ. (2019) APOGEE tayfsal gökyüzü tarama verilerini *Gaia* DR2 astrometrik verileriyle birlikte değerlendirerek NGC 6705 kümesindeki 12 kırmızı dev yıldızın ortalama metal bolluğunu [Fe/H] = 0.16 ± 0.01 dex olarak belirlemiştir. Çalışma incelendiğinde bu yıldızların metal bolluklarının $0.12 \leq [Fe/H] \leq 0.21$ dex aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 6705 açık kümesinin verileri Sung ve diğ.'den (1999) alınmıştır. Analizler sonucunda tez çalışmasında kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.39 \pm 0.02$ kadir, [Fe/H]= 0.01 ± 0.049 dex, $d = 2{,}081 \pm 75$ pc ve $t = 250 \pm 25$ Myıl belirlenmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda tez çalışmasında elde edilen astrofiziksel parametrelerinin literatürde verilenler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

NGC 6716: NGC 6716 kümesinin CCD *UBV* çalışması Chun ve Lee (1996) tarafından yapılmış olup, analizlerde küme merkezinden 5′ yay dakikası uzaklık içinde kalan yıldızlar kümeye üye

kabul edilmiş ve analizler bu yıldızlardan itibaren yapılmıştır. Çalşmada kümenin renk artığı ve uzaklığı eş-zamanlı tayin edilmiştir. Bunun için *U-B* × *B-V* iki-renk diyagramında Lee ve Sung'un (1995) ZAMS'ı fit edilerek kümenin renk artığı ve uzaklığı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.17 ± 0.03 kadir ve d = 690 ± 33 pc hesaplanmıştır. Chun ve Lee (1996) NGC 6716'nın yaşını Schaller ve diğ.'nin (1992) teorik eş-yaş eğrisinin *V* × *B-V* renk-parlaklık diyagramıyla karşılaştırılması sonucunda t = 79 Myıl belirlemiştir. Tadross (2001), Chun ve Lee'nin (1996) verilerini kullanarak kümenin astrofizik parametrelerini yeniden tayin etmiştir. Analizler sonucunda kümenin renk artığı, fotometrik metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.10 kadir, [Fe/H] = -0.26 dex, d = 670 pc ve t = 178 Myıl belirlenmiştir.

NGC 6716 açık kümesinin CCD *UBV* fotometrik verileri Chun ve Lee'den (1996) alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.13 ± 0.05 kadir, [Fe/H] = 0.048 ± 0.055 dex, d = 793 ± 57 pc ve t = 125 ± 25 Myıl belirlenmiştir. Kümenin tez çalışmasında elde edilen renk artığı ve uzaklığı literatürde verilenler ile genel olarak uyum içindeyken, yaşının Chun ve Lee'den (1996) daha büyük değerde olduğu tespit edilmiştir.

NGC 6728: 15 Temmuz 1830 tarihinde John Herschel tarafından keşfedilen NGC 6728 açık kümesi, M24 bulutsusunun en parlak bölgesinde yer almaktadır. Gökyüzünde beş yay dakikalık bir bölgede yaklaşık 30 parlak yıldızdan oluşan kümenin Güneş'e ortalama uzaklığı kabaca 2,900 pc'tir. CCD *BV* fotometrisiyle kümeyi inceleyen Kharchenko ve diğ. (2005) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.15 kadir, uzaklık modülünü μ = 10.47 kadir, bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,000 pc ve yaşını da t = 850 Myıl olarak belirlemiştir. NGC 6728 kümesini ayrıntılı CCD *UBV* fotometrisiyle inceleyen Bostancı ve diğ. (2018) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.15 ± 0.05 kadir, uzaklık modülünü μ = 11.50 ± 0.25 kadir, bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,610 ± 190 pc, metal bolluğunu [Fe/H] = 0.02 ± 0.11 dex ve kümenin yaşını da t = 750 ± 160 Myıl hesaplamıştır.

CCD *UBV* fotometrik verileri TUG'daki gözlemlerden elde edilen NGC 6728 açık kümesi doktora tez çalışmasında yeni yöntemler ile yeniden analiz edilmiştir. Buna göre kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.14 ± 0.05 kadir, uzaklık modülü μ = 11.80 ± 0.20 kadir, bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,876 ± 181 pc, metal bolluğu [Fe/H] = 0.020 ± 0.079 dex ve yaşı da

t = 600 ± 100 Myıl olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar Bostancı ve diğ.'nin (2018) bulgularıyla uyumludur.

NGC 6793: Kümenin detaylı fotometrik analizi Kharchenko ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. NGC 6793 açık kümesinin *BV* fotometrik analizini yapan araştırmacılar kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.17 kadir, uzaklık modülünü μ_V = 10.73 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,100 pc, yaşını da t = 436 Myıl olarak belirlemiştir.

Tez çalışmasında TUG T100 teleskobuyla kümenin CCD *UBV* fotometrik gözlemlerinden elde edilen verilerin analizleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda NGC 6793'ün renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.34 ± 0.03 kadir, uzaklık modülü μ = 10.05 ± 0.11 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 615 ± 32 pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.052 ± 0.070 dex ve küme yaşı da t = 500 ± 50 Myıl olarak belirlenmiştir.

NGC 6800: Tilkicik takımyıldızında bulunan NGC 6800 açık kümesinin ilk detaylı *BV* fotometrik analizi Kharchenko ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. *BV* fotometrisiyle kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.40 kadir, uzaklık modülü μ = 11.24 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,000 pc ve yaşı da t = 400 Myıl olarak hesaplanmıştır. Ananjevskaja ve diğ. (2015) kümenin sekiz fotoğrafik plağını "Fantasy" plak ölçeriyle sayısallaştırarak küme merkezli 80 × 80 yay dakikalık bir alanda parlaklığı $B \leq 16.5$ olan nesneleri belirlemiş ve *BV* parlaklıklarını hesaplamıştır. Ayrıca koordinatları tayin edilmiş nesnelerin 2MASS nokta kaynak kataloğundaki (Cutri ve diğ., 2003) kızılötesi JHK_s parlaklıkları belirlenmiştir. Küme üyesi yıldızların teşhisinde küme doğrultusundaki yıldızların astrometrik verilerinden faydalanan araştırmacılar, kümeye üyelik olasılığı %60'dan büyük olan yıldızları kümenin en olası üyeleri olarak kabul etmiş ve bu üyelerden itibaren kümenin astrofizik parametrelerini belirlemiştir. Analizleri sonucunda Ananjevskaja ve diğ. (2015) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.40 kadir, uzaklık modülünü μ = 11.29 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,025 pc ve yaşını da t = 250 Myıl olarak belirlemiştir. NGC 6800 açık kümenin en güncel çalışması Bostancı ve diğ.'ne (2018) aittir. Küme doğrultusundaki yıldızları CCD *UBV* fotometresiyle inceleyen araştırmacılar kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.32 ± 0.05 kadir, uzaklık modülünü μ_V = 11.40 ± 0.26 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,210 ± 150 pc, metal bolluğunu [Fe/H] = 0.03 ± 0.07 dex ve yaşını da t = 400 ± 100 Myıl olarak hesaplamıştır.

Doktora tez çalışmasında Bostancı ve diğ.'nin (2018) fotometrik verileri yeniden incelenerek kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.36 ± 0.04 kadir, uzaklık modülü μ_V = 11.20 ± 0.16 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,039 ± 82 pc, metal bolluğu [Fe/H] = 0.01 ± 0.057 dex ve küme yaşı da t = 350 ± 50 Myıl hesaplanmıştır. Doktora tez çalışmasında kümenin astrofizik parametreleri için elde edilen bulgular Bostancı ve diğ.'nin (2018) sonuçlarıyla oldukça uyumludur.

NGC 6811: NGC 6811 Galaksi'nin Orion-Cygnus kolunda bulunan, Güneş'ten 1,215 pc uzaklıkta, 630 Myıl yaşında orta yaşlı bir açık kümedir. Küme doğrultusundaki 377 yıldızın *UBV* parlaklıklarını fotoğrafik yöntem ile ilk kez belirleyen Lindoff (1972), aynı zamanda incelenen örnek içinde 20 yıldızın fotoelektrik parlaklıklarını da ölçerek kümenin yaşını t = 500 Myıl, Güneş'ten uzaklığını d = 1,100 pc hesaplamıştır. Barkhatova ve diğ. (1978) NGC 6811 kümesi doğrultusunda V = 15.2 kadirden daha parlak yaklaşık 2000 yıldızın fotoğrafik fotometrisini yapmıştır. Çalışmada kümenin Güneş'ten uzaklığı d = 1,150 pc ve yaşı t = 800 Myıl hesaplanmıştır. Kümenin ilk astrometrik çalışması Sanders (1971b) tarafından yapılmış olup, küme merkezi civarında bulunan 296 yıldızın öz hareketleri ölçülmüştür. Sanders'in (1971b) çalışmasında V = 14 kadirden daha parlak 97 olası küme üyesi tespit edilmiştir. Mermilliod ve Mayor (1990) NGC 6811 küme alanındaki 10 kırmızı yıldızın radyal hızlarını hassas bir şekilde ölçerek küme üyesi üç yıldızın ortalama radyal hızını 7.14 ± 0.15 km/sn hesaplamıştır. Glushkova ve diğ. (1999) de küme alanındaki yıldızların radyal hızlarını ölçerek ve fotoelektrik *UBVRI* incelemesini yaparak, kümenin Güneş'ten uzaklığını d = 1,040 pc ve yaşını t = 700 Myıl bulmuştur. Ayrıca fotometrik verileri kullanarak kümenin olası üyelerini de belirlemiştir. Janes ve diğ. (2013) NGC 6811'in farklı teleskoplardan elde ettikleri CCD *UBVRI* fotometrik verilerini kullanarak, küme için renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.074 ± 0.024 kadir, metal bolluğunu [Fe/H] = -0.19 dex, yaşını t = 1.00 ± 0.17 Gyıl, uzaklığını d = 1,000 ± 50 pc hesaplamıştır. Kepler alanında bulunan NGC 6811'in fotometrik açıdan incelenmiş en güncel çalışmalarından biri Yontan ve diğ.'ne (2015) aittir. T100 teleskobuyla CCD *UBVRI* filtreleriyle incelenen NGC 6811'in renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.05 ± 0.01 kadir, uzaklık modülü μ_V = 10.06 ± 0.08 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,273 ± 114 pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.10 ± 0.01 dex ve küme yaşı da t = 1,000 ± 50 Myıl olarak hesaplanmıştır. Küme uzaklığı küme üyesi kırmızı yığın yıldızlarının uzaklıklarıyla karşılaştırılmış ve eş-yaş eğrilerinden elde edilen uzaklıkla uyumlu olduğu vurgulanmıştır.

NGC 6811'in T100 teleskobuyla alınan verileri doktora tez çalışmasında yeni yöntemler ile yeniden analiz edilmiştir. Buna göre kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.04 ± 0.02 kadir, uzaklık modülü μ_V = 10.30 ± 0.07 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,084 ± 34 pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.033 ± 0.099 dex ve küme yaşı da t = 1,000 ± 100 Myıl olarak hesaplanmıştır.

Roslund 1: Kümenin detaylı fotometrik analizi Kharchenko ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.05 kadir, uzaklığı modülünü μ_V = 9.285 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 670 pc ve yaşını da t = 295 Myıl olarak belirlemiştir.

Doktora tez çalışmasında Roslund 1'in CCD *UBV* fotometrik gözlemleri T100 ile yapılmış olup, analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.19 ± 0.04 kadir, uzaklık modülü μ = 10.30 ± 0.15 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 875 ± 64 pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.087 ± 0.093 dex ve yaşı da t = 700 ± 100 Myıl hesaplanmıştır.

Dolidze 36: Literatürde çok az çalışması bulunan Dolidze 36 açık kümesinin şimdiye kadar ayrıntılı fotometrik analizi yapılmamıştır. Kharchenko ve diğ. (2005) *BV* fotometrisiyle kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.22 kadir, uzaklık modülünü μ = 10.45 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 900 pc ve yaşını da t = 680 Myıl olarak belirlemiştir. Kümenin en güncel CCD *UBV* çalışması Bostancı ve diğ. (2018) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.19 ± 0.06 kadir, uzaklık modülü μ_V = 10.70 ± 0.19 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,050 ± 90 pc, metal bolluğu [Fe/H] = 0.00 ± 0.09 dex ve küme yaşı da t = 400 ± 100 Myıl hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında da Dolidze 36'nın renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.19 ± 0.06 kadir, uzaklık modülü μ_V = 10.60 ± 0.21 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,005 ± 100 pc, metal bolluğu [Fe/H] = 0.009 ± 0.095 dex ve küme yaşı da t = 400 ± 100 Myıl belirlenmiş olup, sonuçların Bostancı ve diğ. (2018) ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Collinder 421: Seçtikleri 520 açık kümeyi 2MASS nokta kataloğundaki (Cutri ve diğ., 2003) kızılötesi fotometrik verileriyle inceleyen Kharchenko ve diğ. (2005), Collinder 421 kümesi için renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.1 kadir, uzaklık modülünü μ_V = 10.2 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 950 pc ve küme yaşını da t = 1,150 Myıl olarak vermiştir. 42 açık kümenin

BV fotometrisini inceleyen Maciejewski ve Niedzielski (2007), kümenin astrofizik parametrelerini Kharchenko ve diğ.'ninkinden (2005) oldukça farklı belirlemiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007), Collinder 421 kümesi için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.64 \pm 0.12$ kadir, uzaklık modülünü $\mu_V = 12.08 \pm 0.56$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 1{,}050 \pm 565$ pc ve küme yaşını da $t = 250$ Myıl olarak vermiştir.

Doktora tez çalışmasında gözlemleri TUG'dan yapılan Collinder 421'in renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.75 \pm 0.05$ kadir, uzaklık modülü $\mu_V = 12.80 \pm 0.17$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 1245 \pm 103$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.027 ± 0.058 dex ve küme yaşı da $t = 125 \pm 25$ Myıl olarak belirlenmiştir.

NGC 6997: NGC 6997 açık kümesinin CCD *UBVI* fotometrik gözlem ve analizleri Villanova ve diğ. (2004) tarafından yapılmıştır. Çalışmada küme doğrultusundaki renk artığının $0.43 \leq E(B\text{-}V) \leq 0.65$ kadir aralığında değişebileceği belirtilmiştir. Analizler sonucunda Villanova ve diğ. (2004) NGC 6997'nin uzaklığını $d = 760 \pm 20$ pc ve $t = 350 \pm 50$ Myıl olarak tayin etmiştir.

Bu tez çalışmasında NGC 6997 açık kümesini analizlerinde kullanılan CCD *UBV* verileri Villanova ve diğ.'den (2004) alınarak astrometrik ve fotometrik kataloğu oluşturulmuştur. Küme kataloğunda küme merkezinden $r = 2$ yay dakikası yarıçap içinde 398 yıldız bulunmaktadır. Analizler sonucunda tez çalışmasında kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.53 \pm 0.06$ kadir, metal bolluğu [Fe/H] = -0.056 ± 0.084 dex, uzaklık modülü, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $\mu_V = 11.5 \pm 0.22$ kadir, $d = 936 \pm 98$ pc ve $t = 550 \pm 50$ Myıl hesaplanmıştır. Tez çalışmasında NGC 6997 için elde edilen renk artığı ve uzaklık değerleri Villanova ve diğ. (2004) ile genel olarak uyum içindeyken, küme için hesaplanan yaş daha büyüktür.

NGC 7031: Çok sayıda fotoğrafik çalışması bulunan NGC 7031 açık kümesi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Söz konusu çalışmalarda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$, uzaklığı (d) ve yaşı (t), sırasıyla, $0.71 < E(B\text{-}V) < 1.03$ kadir, $686 \leq d \leq 910$ pc ve $56 \leq t \leq 480$ Myıl aralığında verilmiştir. Daha güncel çalışmalar incelendiğinde, kümenin *BV* fotometrisiyle analizlerini yapan Kopchev ve Petrov (2008), NGC 7031 için renk artığını $E(B\text{-}V) = 1.05 \pm 0.05$ kadir, uzaklık modülünü $\mu_V = 9.6 \pm 0.2$ kadir, $d = 831 \pm 72$ pc ve yaşını $t = 224 \pm 25$ Myıl olarak hesaplamıştır. NGC 7031 açık kümesi için literatürdeki bu veriler dikkate alındığında kızarma değerinin oldukça yüksek ve kümenin yaklaşık 1 kpc uzaklıkta bulunduğunu göstermektedir.

Doktora tez çalışmasında NGC 7031'in CCD *UBV* fotometrik verileri TUG'dan yapılan gözlemlerden elde edilmiştir. Analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.96 \pm 0.05$ kadir, uzaklık modülü $\mu_V = 13.50 \pm 0.19$ kadir, bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 1{,}273 \pm 114$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.044 ± 0.135 dex ve küme yaşı da $t = 65 \pm 5$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar NGC 7031 açık kümesinin yıldızlararası ortamdan aşırı etkilendiğini, uzaklığının literatürdeki diğer verilere göre %25 daha fazla ve yaşının da çok daha genç hesaplandığını göstermektedir.

NGC 7036: NGC 7036 açık kümesi, alan yıldızlarının nispeten baskın olduğu bir bölgede seyrek dağılım gösteren yıldızlardan oluşmaktadır. Küme literatürde az çalışılmış olup, CCD *UBVI* fotometrik gözlem ve analizleri Carraro (2002) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, Galaksi düzleminden yüksek enlemde bulunduğundan NGC 7036'nın bir açık küme kalıntısı olabileceği belirtilmektedir. Kümenin yıldız yoğunluk profilinden, üye yıldızların küme merkezinden $r = 3$ yay dakikası açısal mesafeye kadar bulunan bölgede baskın olduğu belirlenmiş ve analizlerde bu yıldızlar dikkate alınmıştır. Carraro (2002), küme doğrultusundaki renk artığı ve uzaklık modülünü, Schmidt-Kaler'in (1982) ZAMS'ının küme yıldızları için oluşturulan $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk ve $V \times B\text{-}V$, $V \times U\text{-}B$ renk-parlaklık diyagramları üzerinde göz ile kaydırarak belirlemiştir. Çalışmada, küme alanında evrimleşmiş yıldız tespit edilmediğinden ve kümenin az sayıda yıldız bulundurmasından dolayı NGC 7036'nın yaşının belirlenmesi girişiminin duyarlı sonuç vermeyeceği belirtilmiştir. Carraro (2002), NGC 7036'nın renk-parlaklık diyagramlarında anakol yıldızlarıyla ZAMS'ı karşılaştırmış ve yıldızların mutlak parlaklıklarından tayfsal sınıflarını belirlemiştir. Bunun sonucunda, kümenin hala G0 tayf türünden anakol yıldızlarının bulunduğunu, bu durumda NGC 7036'nın yaşının 3-4 Gyıl olabileceğini belirtmiştir. Analizler, kümenin renk-parlaklık diyagramlarındaki morfolojisi yeterli bilgi sağlamadığından, NGC 7036'nın açık küme kalıntısı olup olmadığının belirsizliğini koruduğunu göstermektedir. Carraro (2002), kümenin renk artığı, uzaklık modülü, uzaklığı ve yaşını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.10 \pm 0.06$ kadir, $\mu_V = 10.7 \pm 0.5$ kadir, $d = 1{,}200 \pm 360$ pc ve $t = 3\text{-}4$ Gyıl tayin etmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 7036 açık kümesinin astrofizik parametrelerinin tayininde Carraro'nun (2002) CCD *UBVI* verileri kullanılmıştır. Analizler sonucunda kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 0.05 \pm 0.02$ kadir, [Fe/H] = -0.101 ± 0.02 dex, $d = 1{,}285 \pm 51$ pc ve $t = 3.5 \pm 0.5$ Gyıl belirlenmiştir.

NGC 7039: Kümenin fotoelektrik ve fotoğrafik *UBV* çalışmaları Zelwanowa ve Schoneich (1972) ve Hassan (1973) tarafından yayınlanmıştır. Bunlara ek olarak, ilk CCD *BV* fotometrik sonuçlarını Kharchenko ve diğ. (2005) vermiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde küme için renk artığı değerinin $0.13 \leq E(B\text{-}V) \leq 0.19$ kadir, uzaklığının $700 \leq d \leq 1{,}535$ pc ve yaşının da $10 < t < 1{,}000$ Myıl aralıklarında verildiği tespit edilmiştir.

CCD *UBV* fotometrik gözlemleri TUG'dan yapılan NGC 7039'un en kısa poz süresiyle gözlenebilen en parlak yıldızı yaklaşık $V = 8$ kadir civarındadır. Küme alanında bulunan fakat parlak gözlem limitinin dışında yer alan HD 201935 ($V = 6.671$, $B\text{-}V = 0.354$, $U\text{-}B = 0.285$ kadir) yıldızı kümenin bir üyesi olarak SIMBAD veri tabanında tanımlanmıştır. Bu yıldız için *Hipparcos* ve *Gaia* uydularından ölçülen trigonometrik paralakslar sırasıyla $\pi = 1.90 \pm 0.38$ ve $\pi = 0.5715 \pm 0.0297$ mas'tır. *Gaia* DR2 kataloğunda (Gaia işbirliği, 2018) verilen trigonometrik paralaks ve hatası dikkate alındığında, rölatif paralaks hatasının *Hipparcos* verisine göre oldukça az olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, HD 201935'in van Leeuwen (2007) tarafından verilen *Hipparcos* trigonometrik paralaksı tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrilerinden (Bressan ve diğ., 2012) hesaplanan küme uzaklığıyla daha uyumludur. Bu bulgu da yıldızın kümeye üye olduğunu ve kümenin astrofizik parametrelerinin hesaplanmasında dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Kharchenko ve diğ. (2005), NGC 7039 açık kümesi için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.13$ kadir, uzaklık modülünü $\mu = 10.294$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 951$ pc ve küme yaşını da $t = 680$ Myıl olarak vermiştir.

Tez çalışmasında küme için renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.19 \pm 0.06$ kadir, uzaklık modülü $\mu = 10.00 \pm 0.21$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklık $d = 762 \pm 76$ pc, metal bolluğu $[Fe/H] = 0.032 \pm 0.078$ dex ve yaşı da $t = 95 \pm 20$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar NGC 7039 açık kümesinin renk artığının daha büyük, Güneş'e daha yakın, yaşının da 100 Myıl'dan daha küçük olduğunu göstermiştir.

Platais 1: Platais 1 açık kümesinin ilk kapsamlı incelenmesi Turner ve diğ. (1994) tarafından yapılmıştır. Küme doğrultusunda 32 yıldızın *UBV* fotoelektrik, 120 yıldızın *UBV* fotoğrafik fotometrisini yapan araştırmacılar, ayrıca sekiz yıldızın da tayfsal analizini yapmıştır. Tayfsal gözlemleri yapılan yıldızlar içinde yörünge dönemi $P = 4.237$ gün olan sefeid türü V1726 Cyg değişen yıldızı da bulunmaktadır. Turner ve diğ. (1994) fotometrik analizler sonucunda kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.43 \pm 0.02$ kadir, uzaklık modülünü $\mu = 12.30 \pm 0.02$ kadir ve

bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,568 ± 13 pc ve yaşını da t = 100 ile 200 Myıl aralığında vermiştir. Küme üyesi V1726 Cyg'nin fotometrik ve tayfsal gözlemleri Platais 1'in uzaklık tayininin sınanmasında ve yaşının belirlenmesinde de kullanılmıştır. Bostancı ve diğ. (2018) T100 CCD *UBV* fotometrik verileriyle Platais 1'i ayrıntılı bir şekilde analiz ederek kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.43 ± 0.06 kadir, uzaklık modülünü μ_V = 12.50 ± 0.29 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,710 ± 250 pc, metal bolluğunu [Fe/H] = 0.01 ± 0.08 dex ve yaşını da t = 175 ± 50 Myıl olarak hesaplamıştır. Bostancı ve diğ.'nin (2018) verileri doktora tez çalışmasında yeniden incelenmiş, Platais 1 kümesinin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.44 ± 0.06 kadir, uzaklık modülü μ_V = 12.50 ± 0.22 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı d = 1,687 ± 178 pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.066 ± 0.108 dex ve küme yaşı da t = 75 ± 25 Myıl tayin edilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar Bostancı ve diğ.'nin (2018) bulgularıyla oldukça uyumlu iken Turner ve diğ.'nin (1994) çalışmasından farklıdır. Sonuçlardaki farklılığın fotometrik gözlemler ve analiz tekniklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

NGC 7086: Kuğu takımyıldızındaki NGC 7086 açık kümesinin ilk ayrıntılı fotoğrafik ve fotoelektrik gözlemleri Hassan (1967) tarafından yapılmış olup, Lindoff (1968) bu verileri kullanarak kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.70 kadir, uzaklık modülünü μ = 12.50 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 1,190 pc ve yaşını t = 85 Myıl olarak tayin etmiştir. Rosvick ve Robb (2006) kümenin CCD *BVR* fotometrik gözlemlerinin yanı sıra beş yıldızın tayfsal gözlem ve analizlerinden kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.83 ± 0.02 kadir, uzaklık modülünü μ = 13.40 ± 0.30 kadir hesaplamıştır. Vanderberg ve Poll'un (1989) yaş eğrilerini kümenin anakoluna fit eden Rosvick ve Robb (2006) NGC 7086'ın yaşını t = 100 Myıl belirlemiştir. Kopchev ve Petrov (2008) kümenin *BV* fotometrisini yaparak kümenin renk artığını $E(B\text{-}V)$ = 0.75 ± 0.05 kadir, uzaklık modülünü μ = 9.9 ± 0.2 kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığını d = 995 ± 84 pc, küme yaşını da t = 178 ± 25 Myıl olarak hesaplamıştır.

Doktora tez çalışmasında NGC 7086'nın CCD *UBV* fotometrik verileri TUG'dan yapılmış olup, analizler sonucunda kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$ = 0.75 ± 0.05 kadir, uzaklığı d = 1,618 ± 136 pc ve metal bolluğu [Fe/H] = -0.058 ± 0.133 dex ve küme yaşı t = 150 ± 25 Myıl hesaplanmıştır.

NGC 7209: Kertenkele takımyıldızında bulunan NGC 7209 açık kümesi 19 Ekim 1787 yılında William Herschel tarafından keşfedilmiştir. Kümenin ilk ayrıntılı *UBV* ve *DDO* fotometrik gözlemleri Claria ve diğ. (1996) tarafından yapılmıştır. Çalışmada kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.15 \pm 0.04$ kadir, uzaklık modülü $\mu = 10.25$ kadir, uzaklığı $d = 900$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.01 ± 0.11 dex ve yaşı da $t = 300$ Myıl olarak hesaplanmıştır. NGC 7209'u DDO fotometrisi ve düşük/orta çözünürlüklü tayflar ile inceleyen Twarog ve diğ. (1997) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.17$ kadir, uzaklık modülünü $\mu = 10.75$ kadir, uzaklığını $d = 1{,}140$ pc ve metal bolluğunu [Fe/H] = 0.07 ± 0.05 dex belirlemiştir. Kümeyi Vilnius fotometrik verileriyle inceleyen Vansevicius ve diğ. (1997), $V = 14$ görünen kadire kadar kümeyeüye olma ihtimali yüksek 96 yıldız tespit etmiştir. Çalışmada kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.171$ kadir, uzaklık modülü $\mu = 10.60 \pm 0.06$ kadir, uzaklığı $d = 1{,}026 \pm 30$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.07 dex ve yaşı $t = 450$ Myıl elde edilmiştir. Kharchenko ve diğ. (2005) NGC 7209 açık kümesi için renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.16$ kadir, uzaklık modülünü $\mu = 10.83$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 1{,}167$ pc ve yaşı da $t = 450$ Myıl olarak vermiştir. Küme için yapılan en güncel çalışma Bostancı ve diğ.'ne (2018) aittir. T100 CCD *UBV* gözlemlerini analiz eden araştırmacılar kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.12 \pm 0.04$ kadir, uzaklık modülünü $\mu_V = 10.50 \pm 0.18$ kadir, uzaklığını $d = 1{,}060 \pm 90$ pc, metal bolluğunu [Fe/H] = 0.01 ± 0.08 dex ve küme yaşını da $t = 600 \pm 100$ Myıl olarak hesaplamıştır.

Doktora tez çalışmasında Bostancı ve diğ.'deki (2018) verileri yeniden incelenen NGC 7209 açık kümesinin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.10 \pm 0.04$ kadir, uzaklık modülü $\mu_V = 12.40 \pm 0.15$ kadir ve bu değere karşılık gelen uzaklığı $d = 1{,}042 \pm 77$ pc, metal bolluğu [Fe/H] = -0.127 ± 0.142 dex ve yaşı da $t = 550 \pm 50$ Myıl olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, metal bolluğu dışında, Bostancı ve diğ.'nin (2018) bulgularıyla oldukça uyumlu bulunmuştur. İki çalışma hesaplanan metal bolluğu değerlerinin farklı oluşu küme doğrultusundaki renk artığı değerlerinin birbirlerinden az da olsa farklı hesaplanmasından kaynaklanmıştır.

NGC 7654: NGC 7654 açık kümesi merkezi yıldız yoğunluğuyla dikkat çekmekte olup $r = 6$ yay dakikalık bir açısal çapa sahiptir. Kraliçe takımyıldızında bulunan bu açık küme farklı araştırmacılar tarafından *UBV* fotometrisiyle incelenmiştir (Lundby, 1946; Pesch, 1960; Schmidt, 1977). NGC 7654 kümesinin 2000 yılına kadar hesaplanan astrofizik parametreleri yakın değerlerde bulunmuştur. Literatürde verilen çalışmalar incelendiğinde, kümenin renk artığı $E(B\text{-}V)$'nin 0.62 ile 0.70 kadir ve yaşının $60 < t < 100$ Myıl aralığında, ortalama

uzaklığının da 1,450 pc olduğu görülmüştür (Lundby, 1946; Pesch, 1960; Schmidt, 1977; Choi ve diğ., 1999). NGC 7654 açık kümesinin detaylı analizi Pandey ve diğ. (2001) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar küme doğrultusunda CCD $UBVRI_c$ fotometrisiyle V = 20 kadire kadar 17,860 yıldızı analiz etmiştir. Küme doğrultusundaki yıldız alanında $E(B\text{-}V)$ rek artığının 0.46 ile 0.80 kadir aralığında değiştiği belirtilmiş, kümenin ortalama uzaklığı 1,380 ± 70 pc olarak verilmiştir. Bertelli ve diğ.'nin (1994) eş-yaş eğrilerini kullanan Pandey ve diğ. (2001) küme yaşını yaklaşık 160 Myıl olarak tayin etmiştir. Maciejewski ve Niedzielski (2007) CCD *BV* fotometrik analizleri sonucunda kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin etmiştir. Buna göre çalışmada, kümenin renk artığı, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.73 ± 0.15 kadir, d = 1,480 ± 470 pc ve t = 10 Myıl verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında NGC 7654 açık kümesinin analizlerinde Pandey ve diğ.'nin (2001) CCD *UBV* verileri kullanılmış ve kümenin astrofizik parametreleri yeniden tayin edilmiştir. Buna göre, kümenin renk artığı, metal bolluğu, uzaklığı ve yaşı, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.54 ± 0.05 kadir, [Fe/H] = -0.102 ± 0.142 dex, d = 1,533 ± 190 pc ve t = 51 ± 5 Myıl belirlenmiştir. Farklı çalışmalarda küme doğrultusunda değişen kızarma olduğu belirtilmiştir. Bu durum tez çalışmasında NGC 7654 için hesaplanan renk artığının literatürden farklı olmasını açıklamaktadır. Renk artığı değerinin kümenin yaş tayininde de önemli etkisi olduğundan, tezde hesaplanan küme yaşının literatürdeki bazı çalışmalardan farklı olma beklenen bir sonuçtur.

5.2. KÜMELERİN ASTROFİZİK VE FOTOMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.2.1. Renk Artıkları

Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin renk artıkları ($E(B\text{-}V)$) Bölüm 5.1'de kümelere ait literatür özetlerinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılan ve tez çalışmasında hesaplanan renk artıkları derlenerek Tablo 5.1'de listelenmiş ve tez çalışmasındaki sonuçlar ile karşılaştırılması Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Genel olarak, incelenen açık kümelerde en az bir en fazla altı çalışmanın bulunduğu tespit edilmiştir. Kümelerin bazıları 1960'lı yıllardan beri incelenirken, bazıları 2000'li yıllardan sonra çalışılmıştır. Bu nedenle kümeler fotoğrafik, fotolelektrik ve CCD kameralar ile gözlenmiştir. Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin renk artıkları $0.05 \leq E(B\text{-}V) \leq 1.35$ kadir aralığında bulunmaktadır. Buna göre, en düşük ve en yüksek renk artığı değerlerine sahip kümeler, sırasıyla, NGC 188 ve King 7'dir.

Tez çalışmasında hesaplanan renk artıklarının literatürde verilen sonuçlar ile genelde uyumlu olduğu Şekil 5.1'den görülmektedir. Fakat bazı çalışmalarda kümeler için verilen renk artıklarının geniş bir aralıkta hesaplandığı da tespit edilmiştir. Bu açık kümeler King 1, NGC 366, NGC 1605, Berkley 15, Roslund 1 ve NGC 7654'tür.

King 1 kümesi dört farklı araştırma grubu tarafından incelenmiş olup, bunlardan biri tez çalışmasında hesaplanan renk artığıyla ($E(B\text{-}V) = 0.63 \pm 0.04$ kadir) Hasegawa ve diğ.'nin (2008) $E(B\text{-}V) = 0.62$ kadir değerleri oldukça uyum içindedir. King 1 kümesini CCD *UBVRI* fotometrik verileriyle analiz eden Lata ve diğ. (2004b) kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.70 \pm 0.05$ kadir vermiştir. Çalışmalarında kümenin renk artığı $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramına fit edilen ZAMS eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Fakat verilen iki-renk diyagramı dikkatlice incelendiğinde kümenin anakol yıldızları dışında dev yıldızlarının da analizlere tâbi tutulduğu, bu nedenle orta tayf türündeki yıldızların fit edilen ZAMS'ı iyi temsil etmediği görülmüştür. Bu da tez çalışmasıyla Lata ve diğ. (2004b) tarafından verilen renk artığı arasındaki uyumsuzluğunu açıklamaktadır. Maciejewski ve Niedzielski (2007) King 1'in *BV* fotometrik verilerinden itibaren oluşturdukları renk-parlaklık diyagramı üzerinde teorik-eş yaş eğrilerini fit etmeleri sonucunda kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı yöntem ile tayin etmiştir. Çalışmalarında King 1 kümesinin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.70 \pm 0.09$ kadir belirlenmiştir.

Carrera ve diğ. (2017) de kümenin renk artığını renk-parlaklık diyagramları üzerinde ($V \times B\text{-}V$ ve $V \times V\text{-}I$) eş-yaş eğrilerini fit ederek uzaklık ve yaşı eş-zamanlı tayin etmiştir.

Tablo 5.1: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan renk artıkları (kadir) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir.

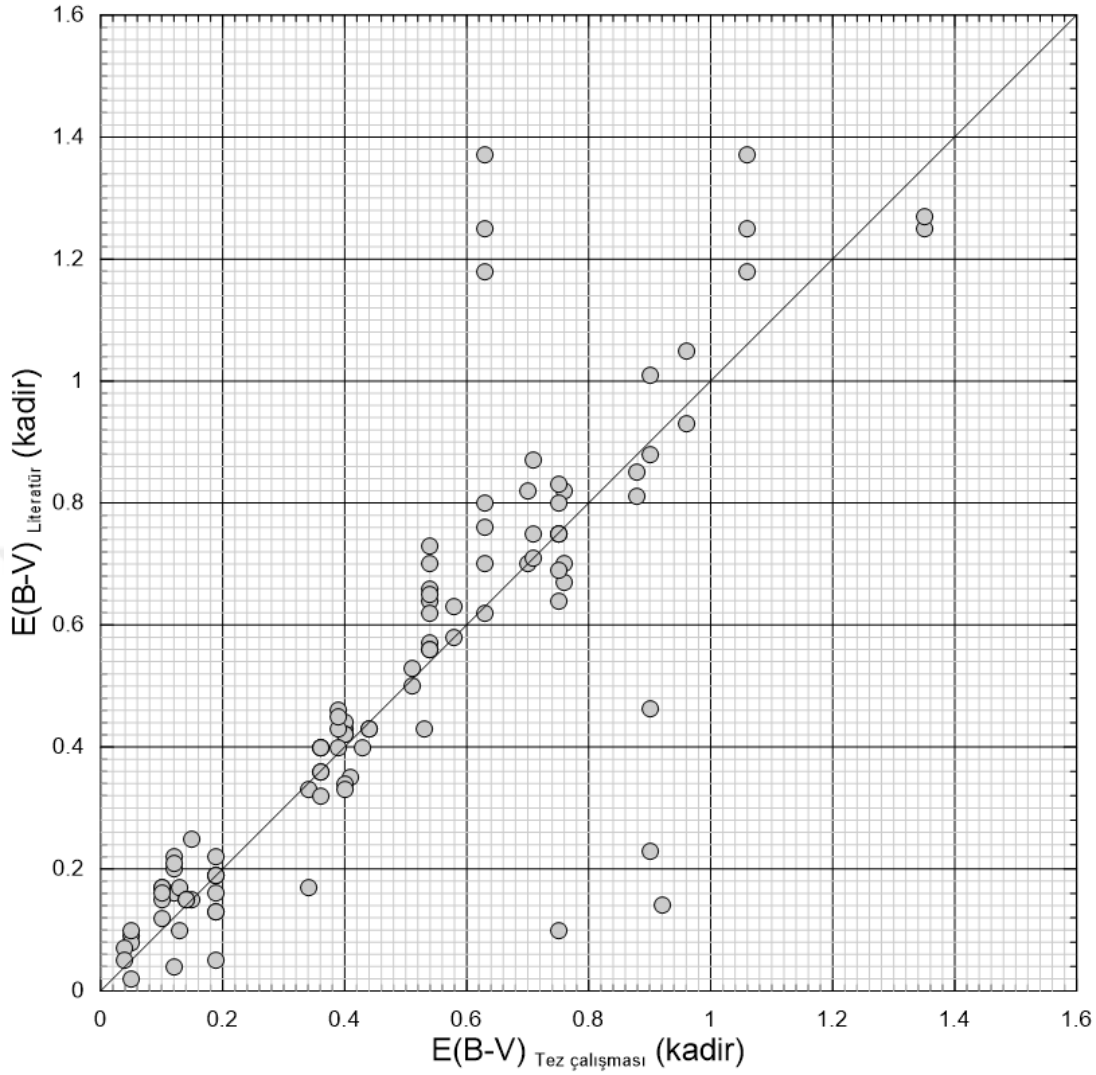
Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
1	King 1	0.63 (0.04)	0.70 (0.05)	0.76 (0.09)	0.62	0.80 (0.05)	---	---	1, 2, 3, 4, 5
2	Stock 21	0.43 (0.04)	0.40	---	---	---	---	---	1, 6
3	NGC 129	0.54 (0.04)	0.57	0.56 (0.03)	0.56	---	---	---	1, 7, 8, 9
4	NGC 225	0.15 (0.03)	0.25 (0.08)	0.151 (0.047)	---	---	---	---	1, 10, 11
5	NGC 188	0.05 (0.01)	0.025 (0.004)	0.09 (0.02)	0.08	---	---	---	1, 12, 13, 14
6	Berkeley 62	0.70 (0.08)	0.82	0.70	---	---	---	---	1, 7, 15
7	NGC 366	1.06 (0.08)	1.37	1.25	1.18	---	---	---	1, 7, 16, 9
8	NGC 381	0.36 (0.04)	0.36	0.40 (0.10)	0.36	---	---	---	1, 7, 17, 9
9	NGC 1220	0.76 (0.04)	0.70 (0.15)	---	---	---	---	---	1, 18
10	King 5	0.76 (0.07)	0.82	0.67 (0.09)	---	---	---	---	1, 19, 3
11	King 6	0.51 (0.02)	0.50 (0.10)	0.53 (0.11)	---	---	---	---	1, 17, 3
12	Berkeley 10	0.71 (0.07)	0.75 (0.09)	0.71 (0.09)	0.87 (0.05)	---	---	---	1, 20, 3, 21
13	Tombaugh 5	0.75 (0.04)	0.80 (0.05)	---	---	---	---	---	1, 21
14	King 7	1.35 (0.03)	1.25	1.27 (0.05)	---	---	---	---	1, 22, 8
15	NGC 1582	0.41 (0.06)	0.35 (0.03)	---	---	---	---	---	1, 23
16	NGC 1605	0.92 (0.04)	0.14	---	---	---	---	---	1, 24
17	Berkeley 15	0.90 (0.04)	0.88 (0.05)	0.462	1.01 (0.15)	0.23 (0.03)	---	---	1, 2, 25, 3, 26
18	NGC 1750	0.40 (0.07)	0.34 (0.07)	0.34 (0.01)	---	---	---	---	1, 27, 9
19	Berkeley 17	0.58 (0.03)	0.58	0.63 (0.05)	---	---	---	---	1, 28, 8
20	Berkeley 71	0.88 (0.09)	0.85 (0.05)	0.81	---	---	---	---	1, 2, 3
21	NGC 2192	0.12 (0.04)	0.20 (0.03)	0.22 (0.13)	0.21 (0.01)	0.04 (0.13)	0.16 (0.03)	---	1, 29, 9, 8, 3, 26
22	NGC 6520	0.40 (0.04)	0.43 (0.03)	0.44	0.42 (0.10)	0.42	---	---	1, 30, 9, 31, 6
23	NGC 6705	0.39 (0.02)	0.46 (0.03)	0.43 (0.03)	0.4	0.45	---	---	1, 30, 32, 33, 9
24	NGC 6716	0.13 (0.05)	0.17 (0.03)	0.10	---	---	---	---	1, 34, 9
25	NGC 6728	0.14 (0.05)	0.15	0.15 (0.05)	---	---	---	---	1, 6, 35
26	NGC 6793	0.34 (0.03)	0.17	0.33 (0.04)	---	---	---	---	1, 6, 36
27	NGC 6800	0.36 (0.04)	0.40	0.40	0.32 (0.05)	---	---	---	1, 6, 37, 35
28	NGC 6811	0.04 (0.02)	---	---	---	0.074 (0.024)	0.05 (0.01)	---	1, 38, 39, 40, 41, 42
29	Roslund 1	0.19 (0.04)	0.05	0.19 (0.03)	---	---	---	---	1, 6, 36

Tablo 5.1 (devam)

Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
30	Dolidze 36	0.19 (0.06)	0.22	0.19 (0.06)	---	---	---	---	1, 6, 35
31	Collinder 421	0.75 (0.05)	0.10	0.64 (0.12)	0.75 (0.05)	---	---	---	1, 6, 3, 36
32	NGC 6997	0.53 (0.06)	0.43	---	---	---	---	---	1, 43
33	NGC 7031	0.96 (0.05)	1.05 (0.05)	0.93 (0.08)	---	---	---	---	1, 44, 36
34	NGC 7036	0.05 (0.02)	0.10 (0.06)	---	---	---	---	---	1, 45
35	NGC 7039	0.19 (0.06)	0.13	0.19	0.13	0.16 (0.05)	---	---	1, 46, 47, 6, 36
36	Platais 1	0.44 (0.06)	0.43 (0.02)	0.43 (0.06)	---	---	---	---	1, 48, 35
37	NGC 7086	0.75 (0.05)	0.69	0.83 (0.02)	0.75 (0.05)	0.75 (0.07)	---	---	1, 49, 50, 44, 36
38	NGC 7209	0.10 (0.04)	0.15 (0.04)	0.17	0.171	0.16	0.12 (0.04)	---	1, 51, 52, 53, 6, 35
39	NGC 7654	0.54 (0.05)	0.64	0.66	0.70	0.62	0.65	0.73 (0.15)	1, 54, 55, 56, 57, 58, 3

(1) Bu çalışma, (2) Lata ve diğ. (2004b), (3) Maciejewski ve Niedzielski (2007), (4) Hasegawa ve diğ. (2008), (5) Carrera ve diğ. (2017), (6) Kharchenko ve diğ. (2005), (7) Phelps ve diğ. (1994), (8) Paunzen ve Netopil (2006), (9) Tadross (2001), (10) Lattanzi ve diğ. (1991), (11) Bilir ve diğ. (2016), (12) Bossini ve diğ. (2019), (13) Sarajedini ve diğ. (1999), (14) Krusberg ve Brian (2006), (15) Sharma ve diğ. (2006), (16) Pandey ve diğ. (1994), (17) Ann ve diğ. (2002), (18) Ortolani ve diğ. (2002), (19) Durgapal ve diğ. (2001), (20) Akkaya ve diğ. (2010), (21) Lata ve diğ. (2004a), (22) Durgapal ve diğ. (1997), (23) Baume ve diğ. (2003), (24) Sujatha ve Babu (2003), (25) Sujatha ve diğ. (2004), (26) Tapia ve diğ. (2010), (27) Galadi-Enriquez ve diğ. (1998), (28) Krusberg ve Chaboyer (2006), (29) Park ve Lee (1999), (30) Kjeldsen ve Frandsen (1991), (31) Carraro ve diğ. (2005), (32) Sung ve diğ. (1999), (33) Cantat-Gaudin ve diğ. (2014), (34) Chun ve Lee (1996), (35) Bostancı ve diğ. (2018), (36) Yontan ve diğ. (2019), (37) Ananjevskaja ve diğ. (2015), (38) Lindoff (1972), (39) Barkhatova ve diğ. (1978), (40) Glushkova ve diğ. (1999), (41) Janes ve diğ. (2013), (42) Yontan ve diğ. (2015), (43) Villanova ve diğ. (2004), (44) Kopchev ve Petrov (2008), (45) Carraro (2002), (46) Zelwanowa ve Schoneich (1972), (47) Hassan (1973), (48) Turner ve diğ. (1994), (49) Hassan (1967), (50) Rosvick ve Robb (2006), (51) Claria ve diğ. (1996), (52) Twarog ve diğ. (1997), (53) Vansevicius ve diğ. (1997), (54) Lundby (1946), (55) Schmidt (1977), (56) Pfau (1980), (57) Choi ve diğ. (1999), (58) Pandey ve diğ. (2001).

Araştırmacılar King 1'in renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.80 \pm 0.05$ olarak hesaplamıştır. Maciejewski ve Niedzielski (2007) ile Carrera ve diğ.'nde (2017) renk artığının iki-renk diyagramı yerine renk-parlaklık diyagramları kullanılarak kümenin uzaklığı ve yaşıyla eş-zamanlı tayin edilmesi parametreler arasında dejenerasyona yol açmıştır. Bu da King 1 küme alanı için farklı renk artığı değerlerinin elde edilmesine neden olmaktadır.



Şekil 5.1: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan renk artıklarının karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir.

NGC 366 açık kümesi fotometrik olarak üç çalışmada incelenmiştir. Kümenin tez çalışmasında hesaplanan renk artığı $E(B\text{-}V) = 1.06 \pm 0.08$ kadir olup, literatürdeki çalışmalardan Tadross'un (2001) elde ettiği $E(B\text{-}V) = 1.18$ kadir değeriyle uyumludur. Bu küme ayrıca Phelps ve diğ. (1994) ve Pandey ve diğ. (1994) tarafından fotometrik yöntem ile incelenmiştir. Bu araştırmacılar kümenin renk artığını, sırasıyla, $E(B\text{-}V) = 1.37$ ve $E(B\text{-}V) = 1.25$ kadir olarak vermektedir. Bu çalışmalarda küme doğrultusunda $1.1 \leq E(B\text{-}V) \leq 1.4$ kadir aralığında değişen diferansiyel kızarmanın bulunduğu rapor edilmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda kümenin astrofiziksel parametreleri eş-zamanlı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı kümenin renk artığında farklı sonuçlar elde edilmiştir.

NGC 1605 literatürde en az çalışılan kümelerden biri olup ilk CCD *UBVRI* fotometrik gözlemleri Sujatha ve Babu (2003) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.14$ kadir olarak verilirken, tez çalışmasında $E(B\text{-}V) = 0.92 \pm 0.04$ kadir gibi yüksek bir değerde hesaplanmıştır. Sujatha ve Babu (2003) tarafından yapılmış çalışma incelendiğinde, fotometrik analizlerin küme merkezi doğrutusunda 5 × 5 yay dakikalık küçük bir alanda belirlenen yaklaşık 100 yıldızdan itibaren yapıldığı tespit edilmiştir. Tez çalışmasında incelenen NGC 1605'in CCD *UBV* gözlemleri TUG'dan yapılmış olup, kümenin renk artığı küme merkezi doğrultusunda 21 × 21 yay dakikalık alanda tespit edilen kümeye yüksek olasılıkla üye anakol yıldızlarından belirlenmiştir. Bu çalışmadaki renk artığı değerinin Sujatha ve Babu'dan (2003) farklı hesaplanmasının, iki çalışmada kullanılan yıldız sayılarının farklı olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Berkeley 15 açık kümesi dört farklı araştırma grubu tarafından incelenmiş olup, tez çalışmasında hesaplanan renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.90 \pm 0.04$ kadirdir. Bu değer Lata ve diğ.'nin (2004b) $E(B\text{-}V) = 0.88 \pm 0.05$ kadir ve Maciejewski ve Niedzielski'nin (2007) $E(B\text{-}V) = 1.01 \pm 0.15$ kadir değerleriyle uyumludur. Bununla birlikte, tez çalışmasında elde edilen renk artığı değerinin Sujatha ve diğ.'de (2004) hesaplanan $E(B\text{-}V) = 0.462$ kadir ile Tapia ve diğ.'de (2010) verilen $E(B\text{-}V) = 0.23 \pm 0.03$ kadir değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sujatha ve diğ. (2004) Berkeley 15 kümesinin CCD *UBVRI* gözlemlerini ve fotometrik analizlerini yapmışlardır. Çalışmada *U* bandındaki ölçümlerin yeterli duyarlılıkta olmadığı ve yıldızların iki-renk diyagramlarında çok saçıldığı, bu nedenle kümenin renk artığının $B\text{-}I \times B\text{-}V$ diyagramından itibaren elde edildiği belirtilmiştir. Kümenin CCD $UBV(RI)_C$ fotometrik analizlerini yapan Tapia ve diğ.'nin (2010) çalışması incelendiğinde, araştırmacıların Berkeley 15'in renk artığını hesaplarken kümenin parlak yıldızlarını dikkate aldıkları ve bu yıldızları $U\text{-}B \times B\text{-}V$ iki-renk diyagramına işaretledikten sonra ZAMS eğrisiyle yanlış bir noktadan fit ettikleri belirlenmiştir. Ancak tez çalışmasında kümeye yüksek olasılıkla üye parlak ve sönük yıldızlar dikkate alınmış ve geniş bir tayf türü aralığı kullanılmıştır. Bu da tez çalışmasında iki renk diyagramında fit edilen ZAMS'ın duyarlı renk artığı değerini verdiğini göstermektedir.

Roslund 1 literatürde az çalışılan açık kümelerden biri olup CCD *BV* fotometrik analizleri Kharchenko ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kümenin renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.05$ kadir hesaplarken, tez çalışmasında bu değer $E(B\text{-}V) = 0.19 \pm 0.04$ kadir olarak

belirlenmiştir. Bu farklılık, Kharchenko ve diğ.'nin (2005) çalışmasında kümenin sönük parlaklıklara kadar duyarlı üye yıldızlarının belirlenmemiş olması ve analizlerde az sayıda yıldızın kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

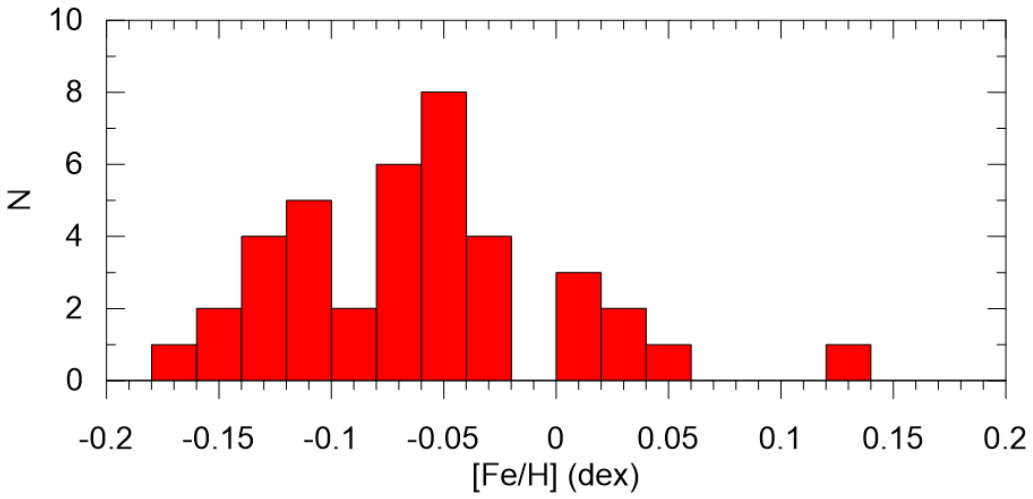
Tez çalışmasında renk artığı literatürden farklı belirlenmiş bir başka açık küme de NGC 7654'tür. Küme 1960'lı yıllardan itibaren farklı fotometrik yöntemler ile analiz edilmiştir (Lundby, 1946; Schmidt, 1977; Pfau, 1980; Choi ve diğ., 1999 ve Pandey ve diğ., 2001). Kümenin ilk çalışmaları çoğunlukla fotoğrafik plakların analizlerine dayanmaktadır. Küme için verilen renk artığı değerleri $0.62 \leq E(B\text{-}V) \leq 0.73$ kadir aralığında değişmektedir. Tez çalışmasında ise kümenin renk artığı $E(B\text{-}V) = 0.54 \pm 0.05$ kadir hesaplanmıştır. Küme hakkındaki daha güncel çalışmalar incelendiğinde küme doğrultusundaki renk artığının Choi ve diğ. (1999) ile Pandey ve diğ.'nin (2001) çalışmasında, sırasıyla, 0.62 ± 0.05 ve 0.65 kadir verildiği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar küme doğrultusundaki kızarmanın homojen olmadığı belirtilmektedir. Tespitler, kümenin tez çalışmasında hesaplanan renk artığının literatürdeki daha yeni çalışmaların sonuçlarıyla hata değerleri içinde uyumlu kabul edilebileceğini göstermektedir.

5.2.2. Metal Bollukları

Doktora tez çalışmasında analizleri yapılan 39 açık kümenin metal bollukları, iki küme hariç Karaali ve diğ.'nin (2011) *UBV* fotometrisi için geliştirmiş olduğu fotometrik metal bolluğu kalibrasyonuyla tayin edilmiştir. NGC 188 ve King 7 açık kümelerinin literatürdeki metal bolluğu çalışmalarının tayfsal yöntemler ile kullanılarak yeteri duyarlılıkta yapıldığı belirlendiğinden (Donor ve diğ., 2018; Hobbs ve diğ., 1990), bu kümelerin metal bolluklarının tayfsal çalışmalardan alınması tercih edilmiştir. 39 açık kümenin metal bollukları $-0.161 \leq [Fe/H] \leq 0.131$ dex aralığında değişmekte olup frekans dağılımları Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Metal bolluğu dağılımı Şekil 5.2'de incelendiğinde, yedi açık kümenin Güneş metal bolluğundan daha zengin olduğu, geriye kalanların ise Güneş'ten daha fakir olduğu tespit edilmiştir. İncelenen kümeler içinde metalce en fakir ve zengin kümeler, sırasıyla, Berkeley 71 ($[Fe/H] = -0.161 \pm 0.137$ dex) ve NGC 366'dır ($[Fe/H] = 0.131 \pm 0.065$ dex).

Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin metal bollukları ([Fe/H]) Bölüm 5.1'de kümelere ait literatür özetlerinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılan ve tez çalışmasında hesaplanan metal bollukları derlenerek Tablo 5.2'de

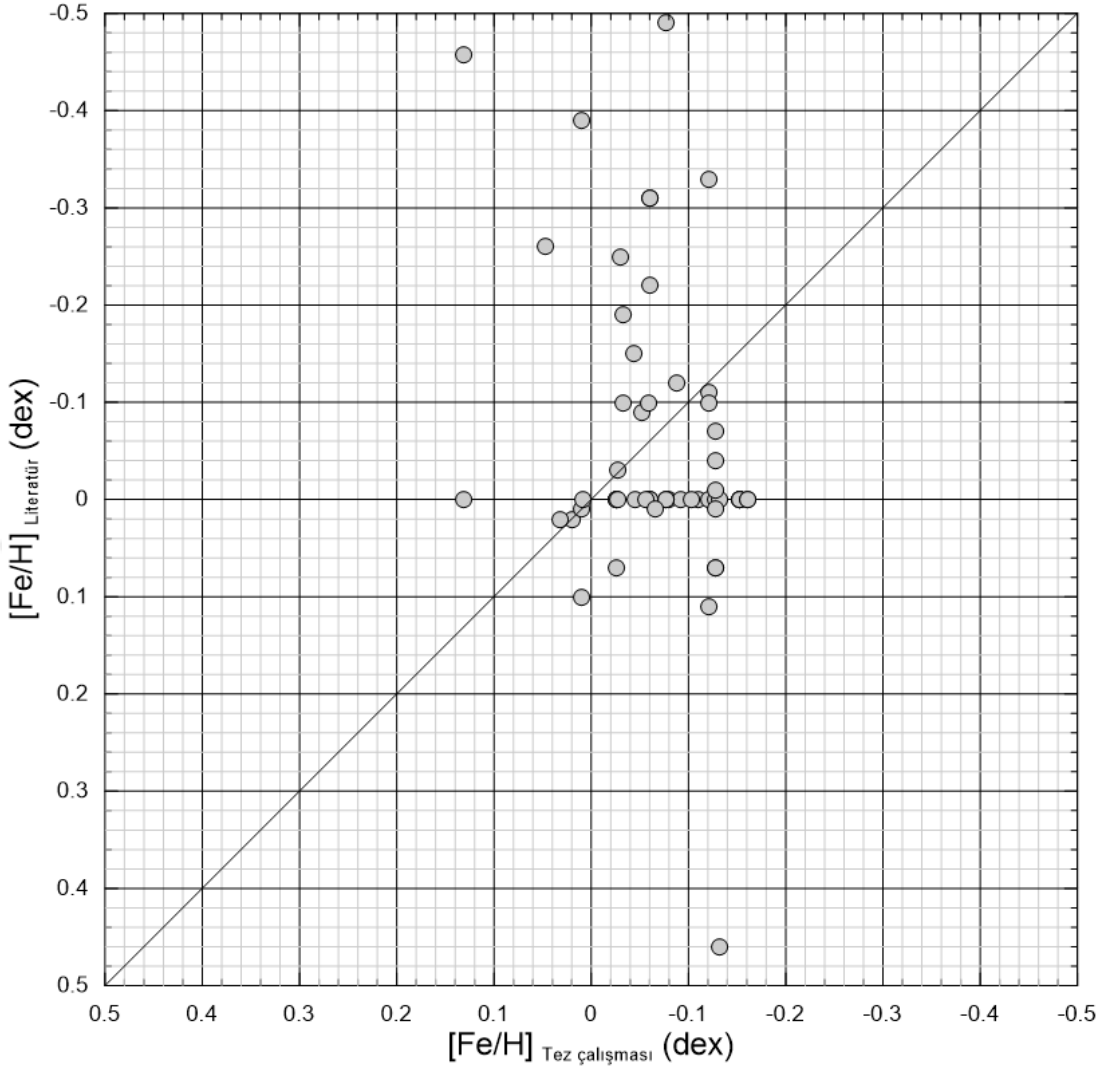
listelenmiş ve tez çalışmasındaki sonuçlar ile karşılaştırılması Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Literatür verilerini içeren Tablo 5.2 incelendiğinde 1990'lı yıllardan önce kümelerin metal bollukları farklı element bollukları için üretilen eş-yaş eğrilerinden itibaren belirlenemediği, bu nedenle kümelerin metal bolluklarının Güneş bolluğunda kabul edildiği ([Fe/H] = 0 dex) görülmektedir. Teorik eş-yaş modellerinin zaman içinde geliştirilmesi ve güncellenmesiyle kümelerin bu modellerden itibaren ağır element bollukları (Z) ve buradan da metal bollukları belirlenmiştir. Bu durumda incelenen 39 açık küme içinde metal bolluğu fotometrik yöntemler ile hesaplanmamış beş küme (Berkeley 62, King 7, NGC 1582, NGC 1605, NGC 6997 ve NGC 7036) ve metal bolluğu Güneş bolluğunda kabul edilen beş açık küme (Stock 21, King 5, Tombaugh 5, Berkeley 15 ve Berkeley 71) bulunmaktadır (Bkz. Tablo 5.2). Tez çalışmasında ve literatürde metal bolluğu belirlenmiş 34 açık kümenin Şekil 5.3'te gösterilen karşılaştırılması incelendiğinde metal bolluğu dağılımının saçılmalı olduğu görülmektedir. Bu saçılmaların temel nedenleri arasında metal bolluğu parametresinin renk artığı, uzaklık ve yaş parametreleriyle beraber eş-zamanlı tayin edilmesi, kümelerin Güneş metal bolluğunda kabul edilmesi ve farklı fotometrik metal bolluğu kalibrasyonlarının kullanılması vardır.



Şekil 5.2: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin metal bolluklarının histogramı.

Tez çalışmasına ait bulguların elde edilmesi aşamasında literatüre açık kümelerin tayfsal metal bolluklarını kazandıran iki çalışma yayımlanmıştır (Donor ve diğ., 2018; Carrera ve diğ., 2019). Donor ve diğ. (2018) "açık kümelerin kimyasal bollukları ve haritalanması" isimli projeleriyle100'e yakın açık kümenin tayfsal yöntemler ile incelenmesini hedefleyen bir çalışma başlatmışlardır. APOGEE tayfsal gökyüzü taraması (Majewski ve diğ., 2017)

çerçevesinde 19 açık kümede 259 küme üyesi yıldızın demir bolluklarını ve radyal hızlarını belirleyerek, kümelerin ortalama metal bolluklarını ve radyal hızlarını hesaplamışlardır. Donor ve diğ.'nin (2018) incelediği 19 açık kümenin, tez çalışması dâhilinde analiz edilen ve fotometrik metal bolluğu tayini yapılan dört kümeyle (King 5, Berkeley 17, Berkeley 71 ve NGC 6811) eşleştiği belirlenmiştir. Carrera ve diğ. (2019) APOGEE ve GALAH tayfsal gökyüzü tarama verilerini *Gaia* DR2 astrometrik verileriyle birlikte değerlendirerek, α-element bolluklarıyla beraber 104 açık kümenin ortalama demir bolluklarını elde etmişlerdir. Carrera ve diğ.'nin (2019) incelediği 104 açık kümenin, tez çalışması dâhilinde analiz edilen ve fotometrik metal bolluğu tayini yapılan altı kümeyle (King 1, King 5, Berkeley 17, Berkeley 71, NGC 6705 ve NGC 6811) eşleştiği tespit edilmiştir. Tez çalışmasında ve söz konusu iki tayfsal çalışmada ortak incelenen kümelerin metal bollukları Tablo 5.3'te listelenmiş, karşılaştırmaları da Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Altı kümenin fotometrik metal bolluğu Şekil 5.4'te Donor ve diğ. (2018) ile Carrera ve diğ.'nin (2019) tayfsal sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, NGC 6705 kümesi dışında metal bolluğunun hataları içinde birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, kümelerin fotometrik yöntem ile hesaplanan metal bolluklarının yeterli duyarlılıkta olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.3: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir.

Tablo 5.2: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan metal bollukları (dex) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1 de verildiği gibidir.

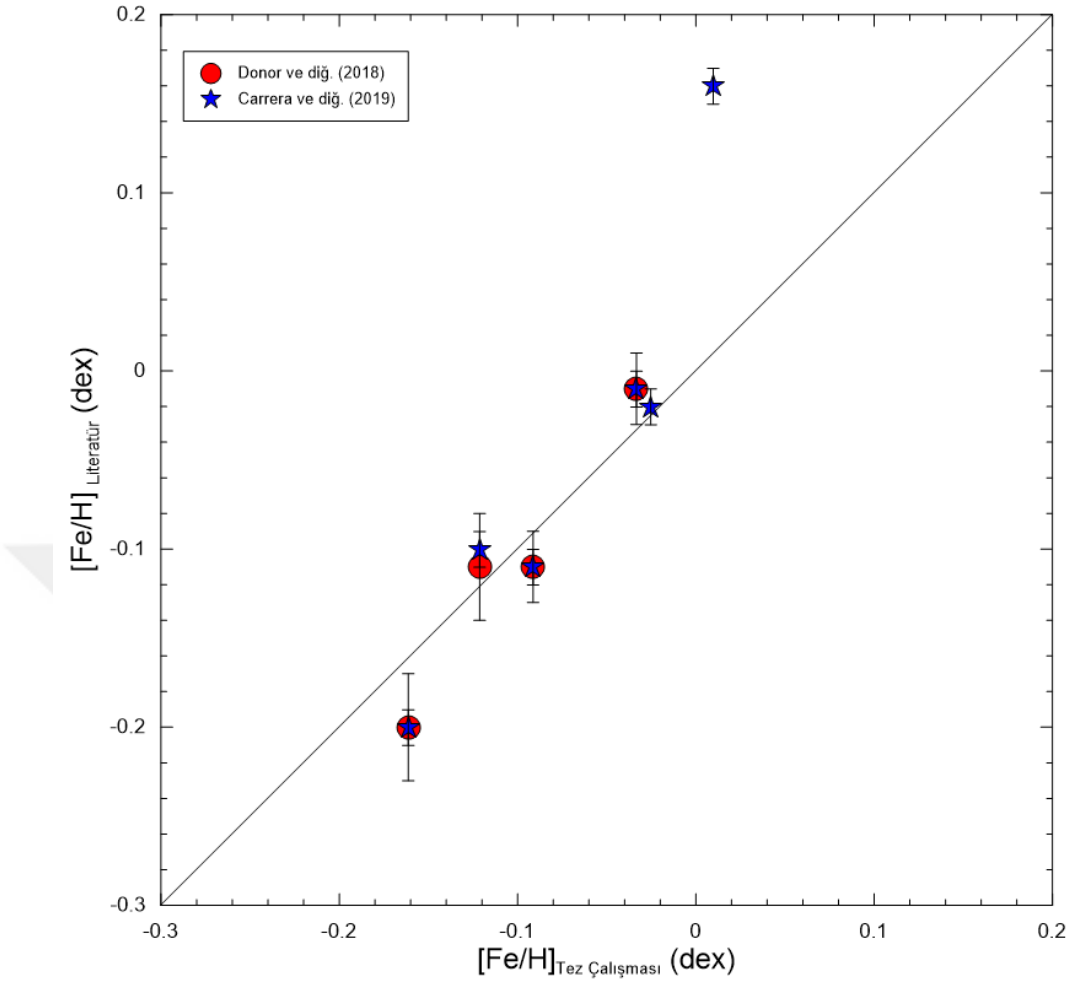
Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
1	King 1	-0.025 (0.082)	0	0	0	0.07 (0.08)	---	---	1, 2, 3, 4, 5
2	Stock 21	-0.045 (0.162)	0	---	---	---	---	---	1, 6
3	NGC 129	-0.109 (0.235)	0	---	-1.44	---	---	---	1, 7, 8, 9
4	NGC 225	-0.12 (0.112)	---	-0.11 (0.01)	---	---	---	---	1, 10, 11
5	NGC 188	-0.12 (0.16)	0.11 (0.04)	0	-0.10 (0.09)	---	---	---	1, 12, 13, 14
6	Berkeley 62	-0.061 (0.190)	---	---	---	---	---	---	1, 7, 15
7	NGC 366	-0.131 (0.065)	0	---	-0.457	---	---	---	1, 7, 16, 9
8	NGC 381	-0.127 (0.104)	0	0.07	-0.04	---	---	---	1, 7, 17, 9
9	NGC 1220	-0.079 (0.056)	0.00	---	---	---	---	---	1, 18
10	King 5	-0.091 (0.145)	---	0	---	---	---	---	1, 19, 3
11	King 6	-0.132 (0.078)	0.46	0	---	---	---	---	1, 17, 3
12	Berkeley 10	-0.076 (0.141)	-0.49 (0.02)	0.00	0.00	---	---	---	1, 20, 3, 21
13	Tombaugh 5	-0.058 (0.183)	0	---	---	---	---	---	1, 21
14	King 7	-0.05 (0.02)	---	---	---	---	---	---	1, 22, 8
15	NGC 1582	-0.077 (0.088)	---	---	---	---	---	---	1, 23
16	NGC 1605	-0.072 (0.109)	---	---	---	---	---	---	1, 24
17	Berkeley 15	-0.152 (0.199)	0	0	0	0	---	---	1, 2, 25, 3, 26
18	NGC 1750	-0.150 (0.067)	---	-1.97	---	---	---	---	1, 27, 9
19	Berkeley 17	-0.121 (0.186)	-0.33	---	---	---	---	---	1, 28, 8
20	Berkeley 71	-0.161 (0.137)	0	0	---	---	---	---	1, 2, 3
21	NGC 2192	-0.060 (0.098)	-0.31 (0.15)	-0.22	0	0	-0.31	---	1, 29, 9, 8, 3, 26
22	NGC 6520	-0.029 (0.073)	---	-0.25	---	---	---	---	1, 30, 9, 31, 6
23	NGC 6705	0.010 (0.049)	---	---	0.10 (0.06)	-0.39	---	---	1, 30, 32, 33, 9
24	NGC 6716	0.048 (0.055)	---	-0.26	---	---	---	---	1, 34, 9
25	NGC 6728	0.020 (0.079)	---	0.02 (0.11)	---	---	---	---	1, 6, 35
26	NGC 6793	-0.052 (0.070)	---	-0.09 (0.10)	---	---	---	---	1, 6, 36
27	NGC 6800	0.010 (0.057)	---	---	0.03 (0.07)	---	---	---	1, 6, 37, 35
28	NGC 6811	-0.033 (0.099)	---	---	---	-0.19	-0.10 (0.01)	---	1, 38, 39, 40, 41, 42

Tablo 5.2 (Devam)

Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
29	Roslund 1	-0.087 (0.093)	---	-0.12 (0.09)	---	---	---	---	1, 6, 36
30	Dolidze 36	0.009 (0.095)	---	0.00 (0.09)	---	---	---	---	1, 6, 35
31	Collinder 421	-0.027 (0.058)	---	0	-0.03 (0.10)	---	---	---	1, 6, 3, 36
32	NGC 6997	-0.056 (0.084)	---	---	---	---	---	---	1, 43
33	NGC 7031	-0.044 (0.135)	---	-0.15 (0.13)	---	---	---	---	1, 44, 36
34	NGC 7036	-0.101 (0.02)	---	---	---	---	---	---	1, 45
35	NGC 7039	0.032 (0.078)	---	---	---	0.02 (0.07)	---	---	1, 46, 47, 6, 36
36	Platais 1	-0.066 (0.108)	---	0.01 (0.08)	---	---	---	---	1, 48, 35
37	NGC 7086	-0.058 (0.133)	---	---	---	-0.10 (0.20)	---	---	1, 49, 50, 44, 36
38	NGC 7209	-0.127 (0.142)	-0.01 (0.11)	0.07 (0.05)	-0.07 (0.03)	---	0.01 (0.08)	---	1, 51, 52, 53, 6, 35
39	NGC 7654	-0.102 (0.142)	---	---	---	---	---	0	1, 54, 55, 56, 57, 58, 3

Tablo 5.3: Tez çalışmasında fotometrik ve tayfsal yöntem ile metal bolluğu belirlenen altı kümenin metal bolluklarının karşılaştırılması.

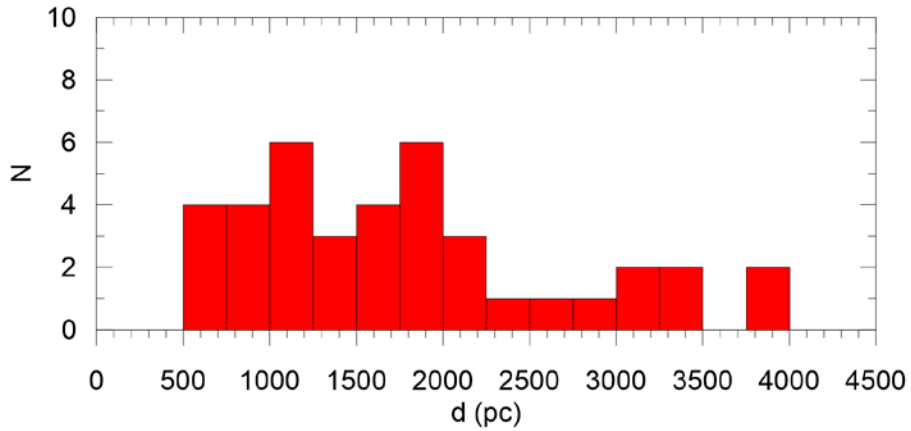
Küme	Bu çalışma	Donor ve diğ. (2018)	Carrera ve diğ. (2019)
	[Fe/H] (dex)	[Fe/H] (dex)	[Fe/H] (dex)
King 1	-0.025 ± 0.082	---	-0.02 ± 0.01
King 5	-0.091 ± 0.145	-0.11 ± 0.02	-0.11 ± 0.01
Berkeley 17	-0.121 ± 0.186	-0.11 ± 0.03	-0.10 ± 0.01
Berkeley 71	-0.161 ± 0.137	-0.20 ± 0.03	-0.20 ± 0.01
NGC 6705	0.010 ± 0.049	---	0.16 ± 0.01
NGC 6811	-0.033 ± 0.099	-0.01 ± 0.02	-0.01 ± 0.01



Şekil 5.4: Tez çalışmasında fotometrik ve tayfsal yöntem ile metal bolluğu belirlenen altı kümenin metal bolluklarının karşılaştırılması. Diyagonal hat birebir çizgisini göstermektedir.

5.2.3. Uzaklıklar

Doktora tez çalışmasında analizleri yapılan 39 açık kümenin uzaklık modülleri PARSEC eş-yaş eğrilerinin renk-parlaklık diyagramları üzerine fit edilmesiyle belirlenmiş ve Pogson bağıntısıyla da kümelerin Güneş'ten uzaklıkları hesaplanmıştır. 39 açık kümenin uzaklık dağılımları Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Uzaklık histogramı incelendiğinde kümelerin 0.5 ile 4 kpc uzaklık aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. 39 açık küme içinde Güneş'e en yakın kümenin King 6 (d = 608 ± 26 pc), en uzağının ise NGC 2192 (d = 3,959 ± 273 pc) olduğu belirlenmiştir. Küme uzaklıklarının frekans dağılımları incelendiğinde 0.5 < d < 2 kpc aralığında hemen hemen eşit sayıda küme bulunduğu, 2 kpc'nin ötesinde ise kümelerin az ve farklı sayılarda bulunduğu görülmüştür (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin Güneş'ten uzaklıklarının histogramı.

İncelenen açık kümelerin farklı araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılan ve tez çalışmasında belirlenen uzaklıkları derlenerek Tablo 5.4'te listelenmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan uzaklıkların literatürde verilen sonuçlar ile genelde uyumlu olduğu Şekil 5.6'dan görülmektedir. Özellikle 3 kpc'nin ötesinde, kümeler için tez çalışmasında verilen uzaklıkların literatürdeki bazı çalışmalarda Güneş'e daha yakın ve geniş bir değer aralığında hesaplandığı tespit edilmiştir. Bu açık kümeler NGC 1220, NGC 1605, Berkeley 17 ve NGC 2192'dir.

NGC 1220 açık kümesi literatürde az çalışılmış olup ayrıntılı fotometrik incelemesi Ortolani ve diğ. (2002) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kümenin uzaklığını d = 1,800 ± 200 pc verirken, tez çalışmasında bu değer d = 3,880 ± 265 pc hesaplanmıştır. Küme uzaklıklarındaki uyumsuzlukların sebeplerinden biri küme için hesaplanan farklı renk artıklarıdır. Tez çalışmasında ve Ortolani ve diğ.'de (2002) hesaplanan renk artıkları, sırasıyla, $E(B\text{-}V)$ = 0.76 ± 0.04 ve $E(B\text{-}V)$ = 0.70 ± 0.15 kadir olup, hatalar dikkate alındığında birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle, iki çalışmada belirlenen küme uzaklıklarının farklılığının renk artıklarından kaynaklanmadığı belirlenmiştir. Ortolani ve diğ.'nin (2002) çalışması incelendiğinde, küme doğrultusunda A tayf türüne kadar belirledikleri 26 anakol yıldızına fit edilen ZAMS ile uzaklık hesabı yaptıkları görülmüştür. Tez çalışmasında ise daha geniş bir tayf türü aralığında kümenin anakol, dönüm noktası ve dev yıldızları dikkate alınarak eş-yaş eğrilerinden itibaren uzaklık tayini yapılmıştır. İki çalışmada belirlenen uzaklıkların farklı olmasının nedeni Ortolani ve diğ.'nin (2002) kümenin uzaklığını sınırlı bir tayf türündeki yıldızlardan belirlemeleridir.

Literatürde en az çalışılan kümelerden biri olan NGC 1605'in ilk CCD *UBVRI* fotometrik gözlemleri Sujatha ve Babu (2003) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kümenin uzaklığını 1,148 pc verirken tez çalışmasında bu değer 3,233 ± 214 pc belirlenmiştir. Uzaklığın bu derece farklı çıkmasının birincil nedeni küme için hesaplanan renk artıklarının farklı olmasıdır. Sujatha ve Babu (2003) NGC 1605'in renk artığını $E(B\text{-}V) = 0.14$ kadir verirken, tez çalışmasında $E(B\text{-}V) = 0.92 \pm 0.04$ kadir gibi yüksek bir değer bulunmuştur. Bu da uzaklığın oldukça farklı hesaplanmasının temel nedenidir.

Berkeley 17 açık kümesi Krusberg ve Chaboyer (2006) ve Paunzen ve Netopil (2006) tarafından detaylıca incelenmiştir. Krusberg ve Chaboyer (2006), Berkeley 17 için oluşturdukları renk-parlaklık diyagramları üzerinde küme üyelerini belirlemeden, eş-yaş eğrilerini fit ederek kümenin astrofizik parametrelerini eş-zamanlı tayin etmişlerdir. Paunzen ve Netopil (2006) Berkeley 17'nin literatürde verilen astrofiziksel parametrelerini derleyerek ortalama değerleri vermişlerdir. Krusberg ve Chaboyer (2006) ile Paunzen ve Netopil (2006) kümenin uzaklığını, sırasıyla, 2,700 ve 2,575 ± 88 pc verirken, tez çalışmasında bu değer 3,471 ± 223 pc hesaplanmıştır. Çalışmalarda renk artıkları uyumlu olmasına rağmen, elde edilen uzaklıklardaki farklar yine önceki çalışmalarda küme üyelerinin duyarlı tayin edilmediğinden kaynaklanmaktadır.

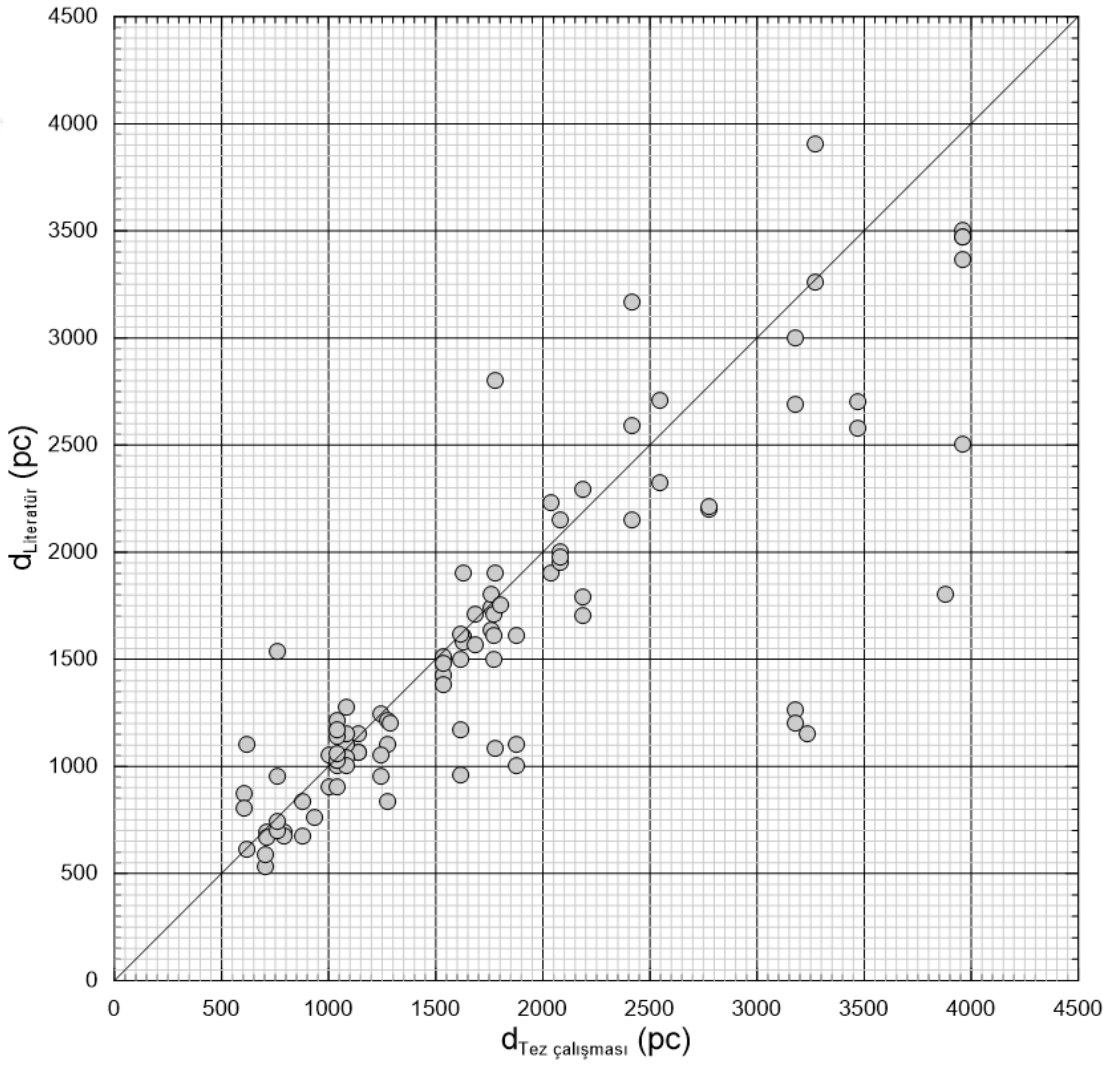
Tez çalışmasında Güneş'ten en uzak küme olan NGC 2192'nin uzaklığı $d = 3{,}959 \pm 273$ pc olarak hesaplanmıştır. Kümenin literatürdeki çalışmaları dikkate alındığında uzaklığının 2,500 ile 3,500 pc aralığında bulunduğu tespit edilmiştir (Park ve Lee, 1999; Tadross, 2001; Maciejewski ve Niedzielski, 2007; Tapia ve diğ., 2010). Bu da tez çalışmasında elde edilen değerin küme için uzaklığın en üst limitinde hesaplandığını göstermiştir. Çalışmalardaki uzaklıkların hataları dikkate alındığında tez çalışmasıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Kümenin uzaklığının daha duyarlı tayin edilebilmesi için *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslarının (Gaia işbirliği, 2018) dikkate alınması gerekmektedir.

Tablo 5.4: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada hesaplanan uzaklıkları (pc) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1 de verildiği gibidir.

Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
1	King 1	1,776 (116)	1,900 (200)	1,080 (280)	2,800	---	---	---	1, 2, 3, 4, 5
2	Stock 21	1,877 (124)	1,100	---	---	---	---	---	1, 6
3	NGC 129	1,759 (104)	1,738	1,632 (56)	1,803	---	---	---	1, 7, 8, 9
4	NGC 225	703 (53)	527 (73)	585 (20)	---	---	---	---	1, 10, 11
5	NGC 188	1,774 (42)	1,610 (12)	1,710 (73)	1,500	---	---	---	1, 12, 13, 14
6	Berkeley 62	2,547 (323)	2,704	2,320	---	---	---	---	1, 7, 15
7	NGC 366	2,414 (320)	3,163	2,150	2,588	---	---	---	1, 7, 16, 9
8	NGC 381	1,140 (78)	1,062	1,150 (170)	1,062	---	---	---	1, 7, 17, 9
9	NGC 1220	3,880 (265)	1,800 (200)	---	---	---	---	---	1, 18
10	King 5	2,036 (208)	1,900	2,230 (620)	---	---	---	---	1, 19, 3
11	King 6	608 (26)	870 (175)	800 (270)	---	---	---	---	1, 17, 3
12	Berkeley 10	2,187 (266)	1,700 (50)	1,790 (630)	2,290 (210)	---	---	---	1, 20, 3, 21
13	Tombaugh 5	1,799 (131)	1,750 (160)	---	---	---	---	---	1, 21
14	King 7	2,773 (178)	2,200 (340)	2,211 (200)	---	---	---	---	1, 22, 8
15	NGC 1582	1,276 (121)	1,100 (100)	---	---	---	---	---	1, 23
16	NGC 1605	3,233 (214)	1,148	---	---	---	---	---	1, 24
17	Berkeley 15	3,178 (216)	3,000 (300)	1,259 (135)	2,690 (835)	1,202	---	---	1, 2, 25, 3, 26
18	NGC 1750	711 (82)	692	669	---	---	---	---	1, 27, 9
19	Berkeley 17	3,471 (223)	2,700	2,575 (88)	---	---	---	---	1, 28, 8
20	Berkeley 71	3,269 (505)	3,900 (400)	3,260	---	---	---	---	1, 2, 3
21	NGC 2192	3,959 (273)	3,500 (300)	3,365	3,467 (72)	2,500	3,467 (72)	---	1, 29, 9, 8, 3, 26
22	NGC 6520	1,629 (103)	1,600 (120)	1,600	1,900 (100)	1,577	---	---	1, 30, 9, 31, 6
23	NGC 6705	2,081 (75)	2,150 (200)	2,000 (100)	1,950 (200)	1,975	---	---	1, 30, 32, 33, 9
24	NGC 6716	793 (57)	690 (33)	670	---	---	---	---	1, 34, 9
25	NGC 6728	1,876 (181)	1,000	1,610 (190)	---	---	---	---	1, 6, 35
26	NGC 6793	615 (32)	1,100	610 (40)	---	---	---	---	1, 6, 36
27	NGC 6800	1,039 (82)	1,000	1,025	1,210 (150)	---	---	---	1, 6, 37, 35
28	NGC 6811	1,084 (34)	1,100	1,150	1,040	1,000 (50)	1,273 (114)	---	1, 38, 39, 40, 41, 42
29	Roslund 1	875 (64)	670	836 (48)	---	---	---	---	1, 6, 36
30	Dolidze 36	1,005 (100)	900	1,050 (90)	---	---	---	---	1, 6, 35
31	Collinder 421	1,245 (103)	950	1,050 (565)	1,245 (103)	---	---	---	1, 6, 3, 36
32	NGC 6997	936 (98)	760 (20)	---	---	---	---	---	1, 43
33	NGC 7031	1,273 (114)	831 (72)	1,212 (146)	---	---	---	---	1, 44, 36

Tablo 5.4 (Devamı)

34	NGC 7036	1,285 (51)	1,200 (360)	---	---	---	---	---	1, 45
35	NGC 7039	762 (76)	700	1,535	951	743 (64)	---	---	1, 46, 47, 6, 36
36	Platais 1	1,687 (178)	1,568 (13)	1,710 (250)	---	---	---	---	1, 48, 35
37	NGC 7086	1,618 (136)	1,170	1,500	955 (84)	1,618 (182)	---	---	1, 49, 50, 44, 36
38	NGC 7209	1,042 (77)	900	1,140	1,026 (30)	1,167	1,060 (90)	---	1, 51, 52, 53, 6, 35
39	NGC 7654	1,533 (190)	1,421	---	---	1,510	1,380 (70)	1,480 (470)	1, 54, 55, 56, 57, 58, 3

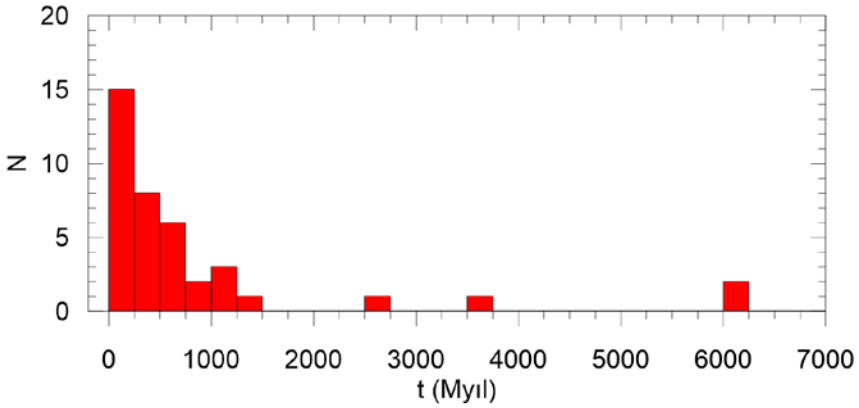


Şekil 5.6: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir.

5.2.4. Yaşlar

Doktora tez çalışmasında analizleri yapılan 39 açık kümenin yaşları, $V \times U\text{-}B$ ve $V \times B\text{-}V$ renk parlaklık diyagramlarında bulunan kümeye üyelik olasılıkları yüksek olan yıldızlara PARSEC eş-yaş eğrilerinin (Bressan ve diğ., 2012) fit edilmesiyle belirlenmiştir. Kümelerin yaş tayininde gerekli olan renk artığı ve metal bolluğu parametreleri tez çalışmasında bağımsız yöntemler kullanılarak hesaplanırken, uzaklık modülleri ve yaşları eş-zamanlı tayin edilmiştir. Çalışmada homojen yöntemler ve güncel eş-yaş eğrileri kullanıldığı için hesaplanan yaşların yeterince güvenilir olduğu düşünülmektedir. PARSEC eş-yaş eğrileri kullanılarak yaşları tayin edilen 39 açık kümenin yaş histogramları Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Oluşturulan yaş histogramı incelendiğinde kümelerin 40 ile 6,000 Myıl yaş aralığında bulunduğu, medyan yaş değerinin de t = 350 Myıl olduğu tespit edilmiştir. 39 küme içinde en genç ve en yaşlı olanlar, sırasıyla, NGC 366 ($t = 40 \pm 5$ Myıl) ve Berkeley 17'dir ($t = 6 \pm 1$ Gyıl). Beklenildiği gibi analiz edilen açık kümelerin büyük çoğunluğu 1.5 Gyıl'dan daha genç iken, yaşı t = 2 Gyıl'dan büyük olan dört açık kümenin (King 1, NGC 188, Berkeley 17 ve NGC 7036) bulunduğu görülmektedir. NGC 7036 dışında diğer üç açık küme Galaksi merkezinin $R_{gc} > 9$ kpc ötesinde yer almaktadır. Bu bulgu Güneş çemberi dışında yer alan açık kümelerin daha az çekimsel etkileşimlere maruz kalmaları nedeniyle uzun süre yapılarını koruduklarını göstermektedir (Gutermuth ve diğ., 2008). NGC 7036 açık kümesi ise bugünkü konumuna göre Galaksi'nin ilk çeyreğinde yer alıp, Galaksi merkezine R_{gc} = 7.58 kpc uzaklığında bulunmaktadır. Bu bilgiler NGC 7036'nın Galaksi merkezine göre en yakın geçişini yapabileceğini ve basık yörüngeli bir disk kümesi olabileceğini düşündürmektedir. Bu durumun açığa kavuşturulabilmesi için kümenin tayfsal ve astromertik ölçümlerinin yapılarak Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir.

İncelenen 39 açık kümenin farklı araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılan ve tez çalışmasında hesaplanan yaşları derlenerek Tablo 5.5'te listelenmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan yaşların literatürde verilen sonuçlar ile genelde uyumlu, fakat saçılmanın büyük olduğu Şekil 5.8'den görülmektedir. Küme yaşlarındaki sistematik uyumsuzluk özellikle tez çalışmasında yaşı 100 Myıl'dan genç hesaplanan kümelerde görülmektedir (Berkeley 62, NGC 366, NGC 1750, NGC 6520, NGC 7031, NGC 7039, NGC 7654, Platais 1). Literatürdeki çalışmalarda küme üyesi yıldızların yeterli hassasiyette belirlenmemesi, özellikle evrimleşmiş küme üyesi yıldızların alan yıldızlarıyla karıştırılması, farklı yıllarda geliştirilen eş-yaş eğrilerinin kullanılması küme yaşları arasındaki farkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.7: Tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşlarının histogramı.

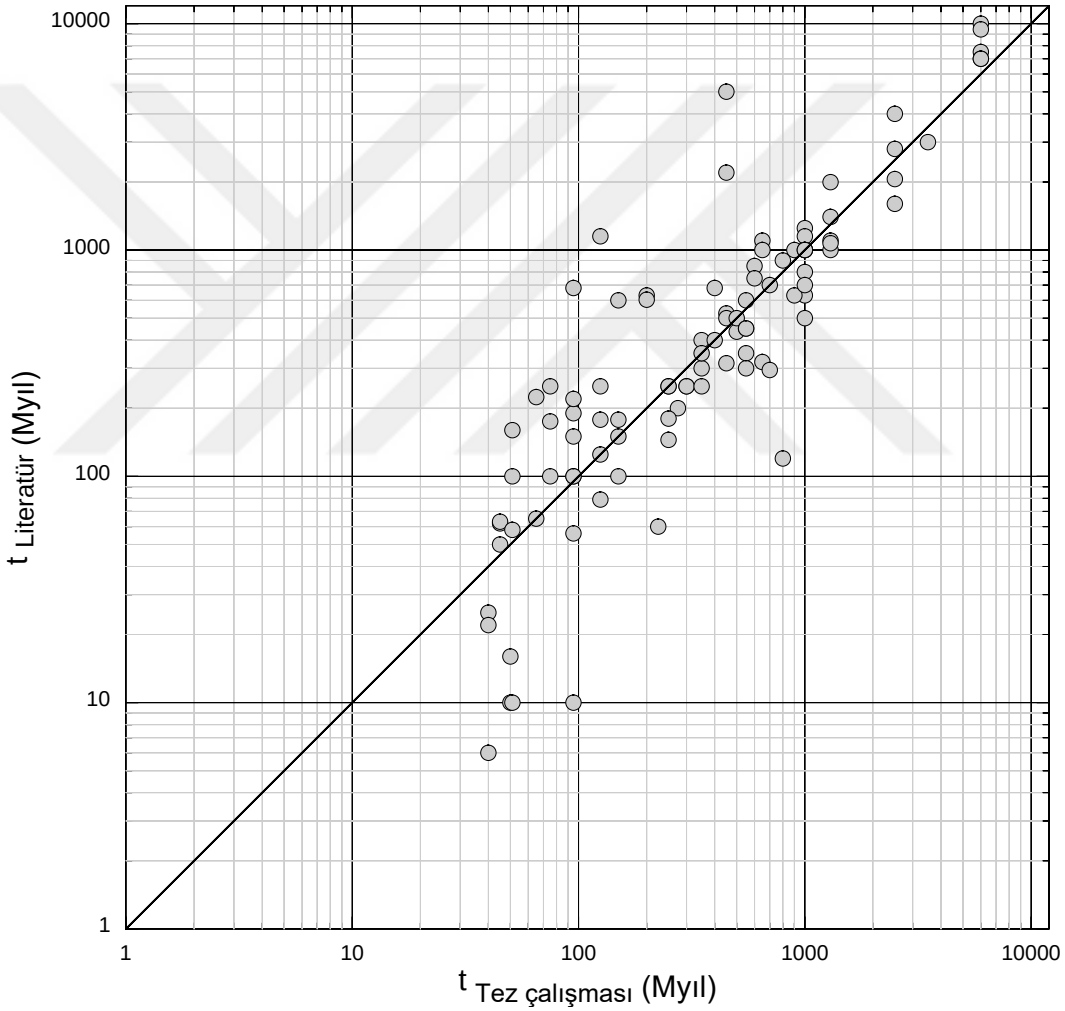
Kümelerin astrofiziksel parametrelerinin hesaplaması söz konusu olduğunda bu parametreler arasında en büyük belirsizliğin küme yaşlarında olması beklenir. Çünkü küme yaşı renk artığı, metal bolluğu ve uzaklık modülünün bağımlı veya bağımsız yöntemler ile tayin edilmiş olmasını gerektirir. Özellikle bağımlı (eş-zamanlı) parametre tayininde dejenerasyon ciddi bir problemdir ve küme yaşının yanlış hesaplanmasına doğrudan katkı yapar. Bununla birlikte, kümenin üye yıldızlarının belirlenmesi de önemlidir. Kümenin evrimleşmiş ve dönüm noktasındaki üye yıldızlarının iyi bir şekilde belirlenmemiş olması kümenin daha genç bir yaşta tayin edilmesine yol açar. Ayrıca eş-yaş eğrilerinde kullanılanan fiziğin gelişen teknolojiyle birlikte karmaşık hesapları içermesi, hesaplanan küme yaşlarının daha duyarlı tayin edilmesine olanak vermektedir. Teorik yaş eğrilerinin 1980'li yılların ortalarında kullanılmaya başlanması tek tek incelenen kümelerin yaş tayininin yapılmasını sağlamıştır. Fakat zaman içinde çok daha fazla parametre içeren modellerin oluşturulması geçmişte hesaplanan küme yaşlarının yeniden tayinini gerektirmiştir. Yukarıda belirtilen durumlar tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin yaşlarıyla literatürde verilenler arasında büyük bir saçılma bulunmasının temel nedenidir. Tez çalışmasında yaş tayini için gerekli parametrelerin bağımsız yöntemler ile belirlenmiş olması, kümeye üye yıldızların öz hareket verilerinden hesaplanmış olması ve güncel eş-yaş eğrilerinin kullanılması tayin edilen küme yaşlarının güvenilirliğini arttırmıştır.

Tablo 5.5: Tez çalışmasında analiz edilen 39 açık kümenin literatürde verilen ve bu çalışmada PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşları (Myıl cinsinden) ve ilgili kaynakları. Literatürden toplanan kaynaklar K1 ile K6 aralığında verilmiştir. Kaynak numaralarına ait referanslar Tablo 5.1'de verildiği gibidir.

Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
1	King 1	2,500 (250)	1,600 (400)	4,000	2,060	2,800 (300)	---	---	1, 2, 3, 4, 5
2	Stock 21	450 (25)	525	---	---	---	---	---	1, 6
3	NGC 129	45 (5)	50	62 (15)	63	---	---	---	1, 7, 8, 9
4	NGC 225	800 (100)	120	900 (100)	---	---	---	---	1, 10, 11
5	NGC 188	6,000 (500)	7,500 (173)	7,000 (500)	7,000 (500)	---	---	---	1, 12, 13, 14
6	Berkeley 62	50 (10)	10	16	---	---	---	---	1, 7, 15
7	NGC 366	40 (5)	6	25	22	---	---	---	1, 7, 16, 9
8	NGC 381	650 (50)	1,100	320 (80)	1,000	---	---	---	1, 7, 17, 9
9	NGC 1220	225 (25)	60	---	---	---	---	---	1, 18
10	King 5	1,000 (100)	1,000	1,250	---	---	---	---	1, 19, 3
11	King 6	300 (50)	250 (50)	250	---	---	---	---	1, 17, 3
12	Berkeley 10	1,000 (100)	1,150 (80)	1,000	630 (165)	---	---	---	1, 20, 3, 21
13	Tombaugh 5	275 (25)	200 (117)	---	---	---	---	---	1, 21
14	King 7	200 (50)	630	603 (121)	---	---	---	---	1, 22, 8
15	NGC 1582	350 (50)	300 (100)	---	---	---	---	---	1, 23
16	NGC 1605	175 (25)	---	---	---	---	---	---	1, 24
17	Berkeley 15	450 (50)	316 (82)	5,010	500	2,200	---	---	1, 2, 25, 3, 26
18	NGC 1750	75 (30)	---	250 (30)	---	---	---	---	1, 27, 9
19	Berkeley 17	6,000 (1,000)	10,000 (1,000)	9,448 (1,776)	---	---	---	---	1, 28, 8
20	Berkeley 71	900 (100)	630 (163)	1,000	---	---	---	---	1, 2, 3
21	NGC 2192	1,300 (200)	1,100 (100)	1,000 (516)	1,072 (48)	1,995 (516)	1,400 (170)	---	1, 29, 9, 8, 3, 26
22	NGC 6520	95 (40)	190	220	150 (50)	56	---	---	1, 30, 9, 31, 6
23	NGC 6705	250 (25)	145	250 (65)	250	180	---	---	1, 30, 32, 33, 9
24	NGC 6716	125 (25)	79	178	---	---	---	---	1, 34, 9
25	NGC 6728	600 (100)	850	750 (160)	---	---	---	---	1, 6, 35
26	NGC 6793	500 (50)	436	500 (50)	---	---	---	---	1, 6, 36
27	NGC 6800	350 (50)	400	250	400 (100)	---	---	---	1, 6, 37, 35
28	NGC 6811	1,000 (100)	500	800	700	1,000 (170)	1,000 (50)	---	1, 38, 39, 40, 41, 42
29	Roslund 1	700 (100)	295	700 (50)	---	---	---	---	1, 6, 36
30	Dolidze 36	400 (100)	680	400 (100)	---	---	---	---	1, 6, 35
31	Collinder 421	125 (25)	1,150	250	125 (25)	---	---	---	1, 6, 3, 36
32	NGC 6997	550 (50)	350 (50)	---	---	---	---	---	1, 43
33	NGC 7031	65 (5)	224 (25)	65 (5)	---	---	---	---	1, 44, 36

Tablo 5.5 (Devamı)

Sıra	Küme	Tez	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kaynak No
34	NGC 7036	3,500 (500)	3,500	---	---	---	---	---	1, 45
35	NGC 7039	95 (20)	10	1,000	680	100 (25)	---	---	1, 46, 47, 6, 36
36	Platais 1	75 (25)	150	175 (50)	---	---	---	---	1, 48, 35
37	NGC 7086	150 (25)	600	100	178 (25)	150 (25)	---	---	1, 49, 50, 44, 36
38	NGC 7209	550 (50)	300	---	450	450	600 (100)	---	1, 51, 52, 53, 6, 35
39	NGC 7654	51 (5)	58	---	---	100	160	10	1, 54, 55, 56, 57, 58, 3



Şekil 5.8: İncelenen 39 açık kümenin literatürde verilen ve tez çalışmasında PARSEC eş-yaş eğrileriyle hesaplanan yaşların karşılaştırılması. Diyagonal sürekli hat birebir çizgisini göstermektedir.

5.3. KÜMELERİN ASTROMETRİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

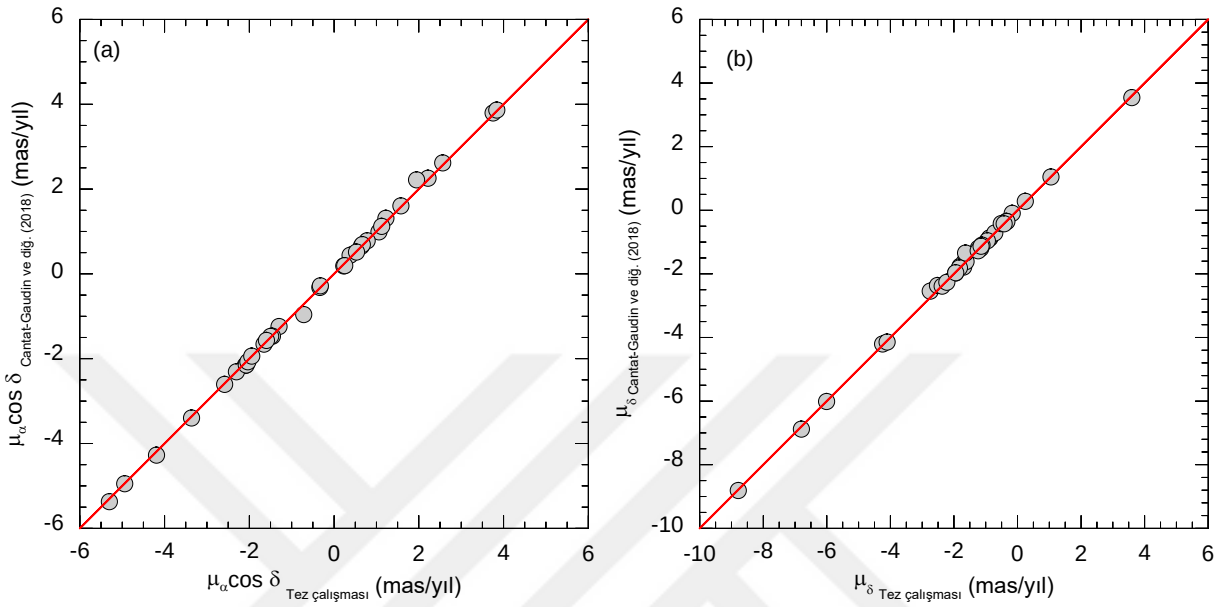
Tez çalışmasında incelenen açık kümelerin üye yıldızlarının seçiminde güncel astrometrik kataloglardan faydalanılmıştır (Roeser ve diğ., 2010). Doktora tez çalışmasının son bir yıllık dönemine girildiğinde, *Gaia* DR2 kataloğunun (Gaia işbirliği, 2018) literatüre sunulmasıyla duyarlı astrometrik verilerin küme analizlerinde dikkate alınması gereği ortaya çıkmıştır. Bölüm 3.3.4'te bahsedildiği gibi, yıldızların PPMXL kataloğundan belirlenen kümeye üyelik olasılıkları içinden $P \geq$ %50 olanların *Gaia* DR2'deki öz hareket ile trigonometrik paralaks değerleri belirsizlikleriyle birlikte derlenmiştir. Bu yolla çalışmada incelenen kümeler için *Gaia* DR2'den hesaplanan ortalama öz hareket ve uzaklık değerlerinin literatürdeki diğer astrometrik çalışmalar ile karşılaştırma fırsatı doğmuştur.

5.3.1. Öz Hareket Bileşenleri

Gaia DR2 verilerinin literatüre kazandırılmasıyla birlikte, *Gaia* grubuna üye araştırmacılar Galaksimizdeki açık kümelerin uydudan sağlanan astrometrik ve fotometrik verilerini incelemişlerdir. Bu araştırma grupları içinde Cantat-Gaudin ve diğ. (2018) 1,229 açık kümenin *Gaia* DR2'deki astrometrik ve fotometrik verilerini kullanarak, kümelere üye yıldızları dikkate alarak, kümelerin ortalama öz hareket ve uzaklıkarını literatüre kazandırmışlardır. Kümeye üye yıldızların belirlenmesinde Krone-Martins ve Moitinho (2014) tarafından geliştirilen UPMASK yazılımını kullanmışlardır.

Galaksimizde bilinen açık kümelerin büyük bir bölümünün astrometrik bakımdan analiz edildiği çalışmadaki (Cantat-Gaudin ve diğ., 2018) sonuçlar ile tezde incelenen 39 açık kümenin karşılaştırılması yapılmıştır. Tez çalışmasında incelenen kümelerde üyelik olasılığı $P \geq$ %50 olan yıldızlar seçilerek, bu yıldızların ortalama öz hareketleri hesaplanmış ve bu değerler kümenin öz hareket bileşenleri olarak kabul edilmiştir. Doktora tezinde analiz edilen kümelerden beşinin (Roslund 1, Dolidze 36, Collinder 421, NGC 7036 ve Platais 1) Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) çalışmasında yer almadığı tespit edilmiştir. Her iki çalışmada kümeler için hesaplanan ortalama öz hareket bileşenleri Tablo 5.6'da listelenmiş ve karşılaştırmaları Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Öz hareket bileşenlerinin rektasansyon ve deklinasyon doğrultularında ölçülen değerleri, sırasıyla, $-6 < \mu_\alpha \cos\delta < 4$ ve $-10 < \mu_\delta < 4$ mas/yıl aralıklarındadır.

İki çalışmada kümeler için hesaplanan ortalama değerlerin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'de (2018) küme üyelerinin hemen hemen ortak olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.9: Tez çalışmasında ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) çalışmalarında hesaplanan öz hareket bileşenlerinin, $\mu_\alpha \cos\delta$ (panel a) ve μ_δ (panel b), birbirleriyle karşılaştırılması.

Tablo 5.6: Tezde incelenen kümelerin ve Cantat-Gaudin ve diğ.'nin (2018) çalışmasında öz hareket bileşenleri için hesaplanan değerler.

		Tez Çalışması		Cantat-Gaudin ve diğ. (2018)	
Sıra	Küme	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yıl)	μ_δ (mas/yıl)	$\mu_\alpha \cos\delta$ (mas/yıl)	μ_δ (mas/yıl)
1	King 1	-4.942±0.124	-1.240±0.097	-4.947±0.154	-1.273±0.126
2	Stock 21	-2.096±0.068	-1.696±0.065	-2.161±0.067	-1.787±0.092
3	NGC 129	-2.584±0.038	-1.117±0.038	-2.605±0.099	-1.096±0.099
4	NGC 225	-5.301±0.040	-0.165±0.041	-5.373±0.110	-0.093±0.119
5	NGC 188	-2.305±0.082	-0.948±0.056	-2.307±0.139	-0.960±0.146
6	Berkeley 62	-2.073±0.138	-0.333±0.158	-2.150±0.089	-0.353±0.085
7	NGC 366	-2.034±0.109	-0.421±0.118	-2.071±0.110	-0.425±0.130
8	NGC 381	1.578±0.065	-2.226±0.071	1.602±0.124	-2.263±0.141
9	NGC 1220	0.230±0.155	-0.713±0.108	0.187±0.188	-0.717±0.123
10	King 5	-0.324±0.109	-1.158±0.093	-0.282±0.152	-1.200±0.127
11	King 6	3.839±0.083	-1.826±0.064	3.864±0.219	-1.814±0.244
12	Berkeley 10	-1.454±0.033	1.054±0.052	-1.470±0.070	1.047±0.106
13	Tombaugh 5	0.528±0.092	-2.370±0.088	0.515±0.113	-2.388±0.120
14	King 7	1.124±0.156	-1.232±0.132	1.121±0.220	-1.196±0.181
15	NGC 1582	1.945±0.119	-1.633±0.074	2.216±0.182	-1.347±0.130
16	NGC 1605	1.058±0.126	-1.949±0.075	0.990±0.151	-1.977±0.104
17	Berkeley 15	0.781±0.155	-0.885±0.124	0.782±0.145	-0.872±0.137
18	NGC 1750	-0.715±0.092	-2.519±0.061	-0.960±0.246	-2.366±0.201
19	Berkeley 17	2.565±0.241	-0.350±0.164	2.618±0.281	-0.350±0.176
20	Berkeley 71	0.645±0.423	-1.621±0.316	0.650±0.162	-1.614±0.102
21	NGC 2192	0.252±0.095	-1.946±0.084	0.193±0.131	-1.962±0.104
22	NGC 6520	0.668±0.123	-0.514±0.090	0.688±0.126	-0.418±0.120
23	NGC 6705	-1.597±0.096	-4.101±0.090	-1.568±0.160	-4.144±0.161
24	NGC 6716	-1.498±0.085	-6.009±0.077	-1.476±0.199	-6.013±0.184
25	NGC 6728	1.224±0.121	-1.807±0.112	1.312±0.108	-1.760±0.107
26	NGC 6793	3.751±0.050	3.595±0.060	3.795±0.186	3.544±0.177
27	NGC 6800	0.378±0.055	-0.868±0.061	0.438±0.057	-0.876±0.108
28	NGC 6811	-3.365±0.051	-8.786±0.057	-3.399±0.116	-8.812±0.123
29	Roslund 1	-0.895±0.054	-4.994±0.057	---	---
30	Dolidze 36	-0.826±0.041	-2.759±0.041	---	---
31	Collinder 421	-3.594±0.057	-8.271±0.063	---	---
32	NGC 6997	-4.191±0.053	-6.801±0.053	-4.275±0.155	-6.882±0.19
33	NGC 7031	-1.298±0.077	-4.247±0.075	-1.242±0.122	-4.205±0.13
34	NGC 7036	-2.761±0.079	-5.419±0.088	---	---
35	NGC 7039	-0.334±0.115	-2.747±0.111	-0.320±0.287	-2.542±0.215
36	Platais 1	-3.000±0.058	-3.888±0.510	---	---
37	NGC 7086	-1.653±0.084	-1.673±0.075	-1.656±0.148	-1.629±0.143
38	NGC 7209	2.216±0.051	0.247±0.053	2.255±0.110	0.283±0.115
39	NGC 7654	-1.942±0.050	-1.146±0.043	-1.938±0.147	-1.131±0.154

5.3.2. Uzaklık

Doktora tez çalışmasında 39 açık kümenin uzaklıkları dört farklı yöntem kullanılarak hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemlerin başında kümelerin renk-parlaklık diygaramlarına PARSEC (Bressan ve diğ., 2012) eş-yaş eğrilerinin fit edilmesiyle belirlenen uzaklık modülü ve yaş tayini gelmektedir. İkinci yöntem, Cantan-Gaudin ve diğ.'nın (2018), 1,229 açık küme doğrultusunda bulunan yıldızların *Gaia* DR2'nin (Gaia işbirliği, 2018) astrometrik ve fotometrik verilerinden hesapladığı üyelik olasılıklarından $P \geq \%\ 50$ olanları dikkate alarak, bu yıldızların ortalama *Gaia* trigonometrik paralakslarından uzaklıklarını tayin ettikleri çalışmasıdır. Üçüncü uzaklık yöntemi, tez çalışmasında incelenen 39 küme alanında kümeye üyelik olasılıkları $P \geq \%\ 50$ olan yıldızların *Gaia* DR2'deki trigonometrik verilerinin doğrusal yolla ($d = 1000/\pi(\text{mas})$) uzaklık tayinine dayanmaktadır. Son yöntem, *Gaia* DR2'deki trigonometrik paralaks verilerinden doğrusal bir yöntem kullanılarak uzaklık tayin edilmesinin duyarlı olmayacağını belirten ve bu nedenle bir olasılık dağılımıyla yıldızların uzaklıklarını belirleyen Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) çalışmasında sunulmuştur.

Eş-yaş eğrilerinin kümelerin renk-parlaklık diyagramlarına fit edilmesine dayanan uzaklık tayin yöntemi Bölüm 4.9'da anlatılmış, tez çalışmasında incelenen 39 açık kümeye uygulanmış ve sonuçlar Tablo 5.7'de listelenmiştir. Cantan-Gaudin ve diğ.'nin (2018) uzaklıklarını hesapladığı 1,229 açık küme içinden tez çalışmasında 34 kümenin ortak olduğu tespit edilmiş ve bu kümelerin uzaklıkları araştırmacıların kataloğundan derlenerek Tablo 5.7'ye aktarılmıştır.

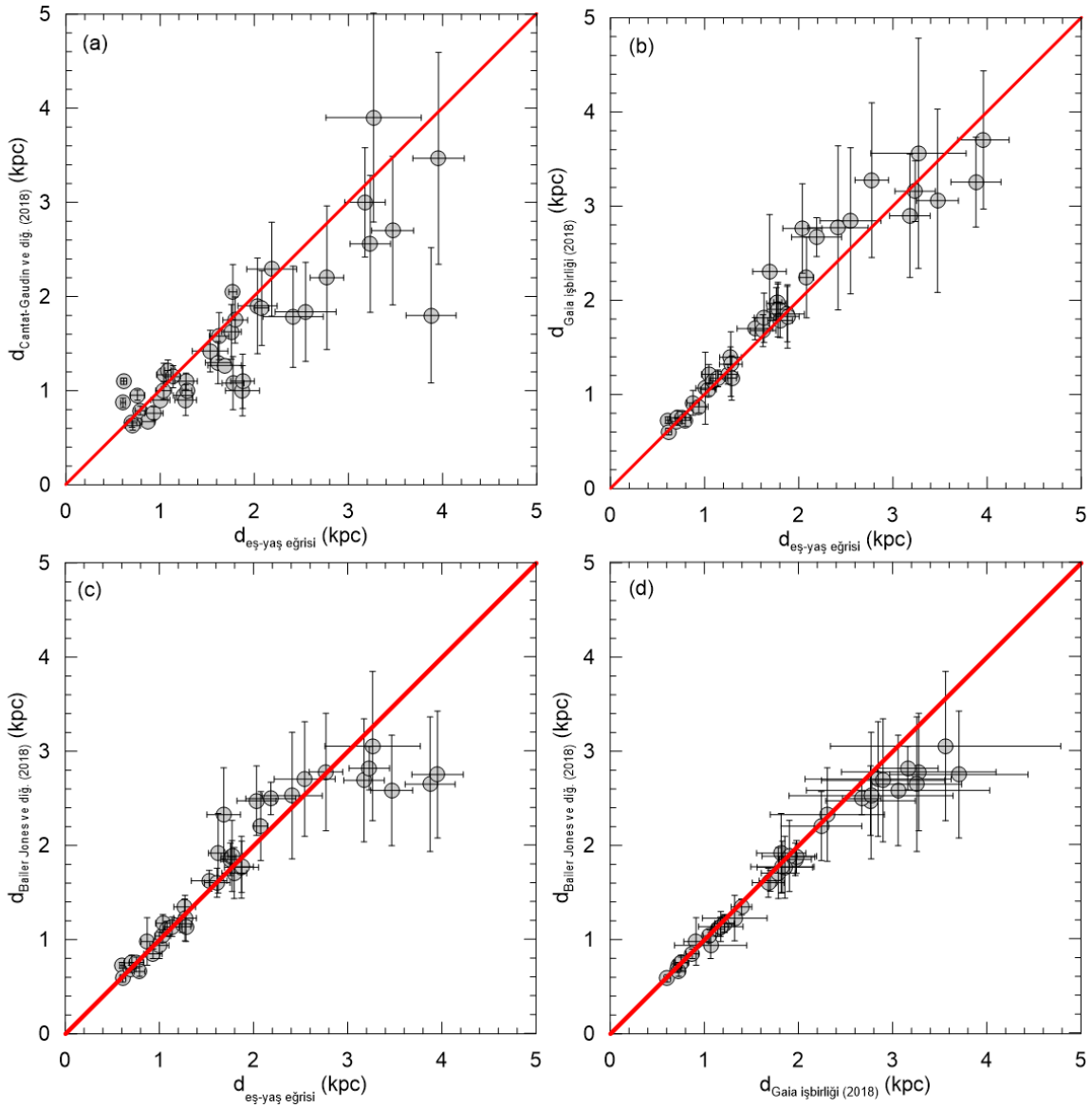
Tez çalışmasında uzaklık tayininde kullanılan üçüncü ve dördüncü yöntemler kümelerin ortalama uzaklıkları yerine yıldızların uzaklıklarına dayanmaktadır. Tez kapsamında incelenen kümelerin ortalama uzaklıklarının belirlenmesinde, kümelere yüksek olasılıkla üye yıldızların *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslarıyla Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yıldızlar için hesapladıkları istatistiksel *Gaia* uzaklıklıkları belirlenmiştir. Daha sonra bu yıldızların uzaklık histogramları oluşturularak, dağılımlara Gauss eğrileri fit edilmiş ve bu eğrilerin tepe noktaları kümelerin ortalama uzaklıkları olarak kabul edilmiştir. Gauss eğrilerinin 1σ standart sapma değerleri uzaklıklardaki hatalar olarak alınmıştır. Bu yöntem ile uzaklıkları hesaplanan kümeler Tablo 5.7'de listelenmiş ve uzaklık histogramları Ek Şekil 8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7: 39 açık kümenin farklı yöntemler ile hesaplanmış uzaklıkları.

		Tez Çalışması	*Gaia* İşbirliği (2018)	Blair-Jones ve diğ. (2018)	Cantat-Gaudin ve diğ. (2018)
Sıra	**Küme**	***d* (pc)**	***d* (pc)**	***d* (pc)**	***d* (pc)**
1	King 1	1,776 ± 116	1,903 ± 290	1,888 ± 377	1,825 ± 345
2	Stock 21	1,877 ± 124	1,830 ± 337	1,774 ± 272	1,854 ± 356
3	NGC 129	1,759 ± 104	1,966 ± 170	1,853 ± 172	1,852 ± 355
4	NGC 225	703 ± 53	713 ± 38	689 ± 38	684 ± 47
5	NGC 188	1,774 ± 42	1,979 ± 195	1,878 ± 174	1,864 ± 360
6	Berkeley 62	2,547 ± 323	2,846 ± 776	2,706 ± 608	2,572 ± 708
7	NGC 366	2,414 ± 320	2,771 ± 871	2,529 ± 672	2,602 ± 725
8	NGC 381	1,140 ± 78	1,171 ± 89	1,137 ± 102	1,141 ± 132
9	NGC 1220	3,880 ± 265	3,257 ± 477	2,651 ± 714	3,067 ± 1,038
10	King 5	2,036 ± 208	2,765 ± 474	2,476 ± 368	2,524 ± 679
11	King 6	608 ± 26	729 ± 34	726 ± 31	727 ± 53
12	Berkeley 10	2,187 ± 266	2,672 ± 206	2,499 ± 172	2,496 ± 665
13	Tombaugh 5	1,799 ± 131	1,785 ± 181	1,707 ± 270	1,695 ± 296
14	King 7	2,773 ± 178	3,277 ± 821	2,781 ± 624	3,172 ± 1,119
15	NGC 1582	1,276 ± 121	1,323 ± 343	1,229 ± 241	978 ± 97
16	NGC 1605	3,233 ± 214	3,160 ± 322	2,821 ± 231	3,083 ± 1,051
17	Berkeley 15	3,178 ± 216	2,899 ± 655	2,692 ± 653	2,720 ± 799
18	NGC 1750	711 ± 82	752 ± 78	754 ± 81	720 ± 52
19	Berkeley 17	3,471 ± 223	3,058 ± 974	2,585 ± 586	3,230 ± 1,165
20	Berkeley 71	3,269 ± 505	3,562 ± 1,223	3,056 ± 793	3,930 ± 1,822
21	NGC 2192	3,959 ± 273	3,704 ± 734	2,754 ± 675	3,963 ± 1,862
22	NGC 6520	1,629 ± 103	1,816 ± 261	1,919 ± 423	1,708 ± 300
23	NGC 6705	2,081 ± 75	2,243 ± 428	2,206 ± 367	2,195 ± 506
24	NGC 6716	793 ± 57	728 ± 66	662 ± 52	697 ± 49
25	NGC 6728	1,876 ± 181	1,855 ± 294	1,769 ± 330	1,771 ± 324
26	NGC 6793	615 ± 32	607 ± 36	589 ± 39	589 ± 35
27	NGC 6800	1,039 ± 82	1,055 ± 69	1,040 ± 64	1,018 ± 105
28	NGC 6811	1,084 ± 34	1,143 ± 71	1,114 ± 80	1,112 ± 125
29	Roslund 1	875 ± 64	913 ± 131	980 ± 253	---
30	Dolidze 36	1,005 ± 100	1,067 ± 383	940 ± 141	---
31	Collinder 421	1,245 ± 103	1,215 ± 105	1,168 ± 92	---
32	NGC 6997	936 ± 98	872 ± 67	850 ± 51	865 ± 75
33	NGC 7031	1,273 ± 114	1,395 ± 109	1,347 ± 84	1,365 ± 190
34	NGC 7036	1,285 ± 51	1,175 ± 236	1,140 ± 160	---
35	NGC 7039	762 ± 76	756 ± 64	757 ± 58	756 ± 58
36	Platais 1	1,687 ± 178	2,306 ± 606	2,329 ± 496	---
37	NGC 7086	1,618 ± 136	1,679 ± 170	1,604 ± 155	1,616 ± 268
38	NGC 7209	1,042 ± 77	1,215 ± 104	1,173 ± 94	1,178 ± 141
39	NGC 7654	1,533 ± 190	1,700 ± 118	1,625 ± 112	1, 600 ± 263

Uzaklık tayininde kullanılan yöntemlerden hesaplanan küme uzaklıklarının birbirleriyle karşılaştırılması Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan küme uzaklıklarının Cantan-Gaudin ve diğ.'nin (2018) sonuçlarıyla karşılaştırılması dikkate alındığında uzaklıkları yaklaşık d = 2 kpc'ye kadar olanların birbirleriyle uyumlu oldukları, 2 kpc ötesinde ise Cantan-Gaudin ve diğ.'nin (2018) uzaklıklarının genellikle tez çalışmasından elde edilenlere göre daha küçük değerlerde ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 5.10a). Bununla birlikte, artan uzaklıklar ile birlikte küme uzaklıklarındaki belirsizliklerin arttığı tespit edilmiştir. İki çalışmaya ait uzaklık hataları dikkate alındığında küme uzaklıklarının uyumlu olduğu söylenebilir. Tez çalışmasındaki sonuçlar ile *Gaia* DR2 trigonometrik paralaks verilerinden doğrusal yöntem ile hesaplanan uzaklıklarının karşılaştırılması Şekil 5.10b'de gösterilmiştir. Her iki yöntemden hesaplanan küme uzaklıklarının yaklaşık d = 2.2 kpc'ye kadar uyumlu olduğu, bu uzaklığın ötesinde saçılmaların başladığı, fakat hatalar dikkate alındığında sonuçların genelde uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında kümeler için hesaplanan uzaklıkların Bailer-Jones ve diğ.'den (2018) elde edilenler ile karşılaştırılması Şekil 5.10c'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, genel olarak iki çalışmanın yaklaşık d = 3 kpc'ye kadar uyumlu olduğu, bu uzaklığın ötesinde ise tez çalışmasında eş-yaş eğrileriyle hesaplanan uzaklıkların artmasına karşın Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yönteminden hesaplanan uzaklıkların hemen hemen 2.5 ile 3 kpc arasında sabitlendiği görülmektedir. Son olarak yıldızların *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklarıyla Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yönteminden elde edilen uzaklıkların karşılaştırılması Şekil 5.10d'de gösterilmiştir. Şekilden iki çalışmanın 3 kpc'ye kadar oldukça uyumlu olduğu, bu uzaklığın ötesinde ise artan *Gaia* uzaklıklarına karşı Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) uzaklıklarının hemen hemen $2.5 < d < 3$ kpc aralığında bulunduğu tespit edilmiştir.

Doktora tez çalışmasında incelenen 39 kümenin uzaklık tayinlerinde kullanılan yöntemlerin birbirleriyle yaklaşık d = 2 kpc'ye kadar uyumlu oldukları görülmektedir. Kümelerin uzaklıkları arttıkça yöntemler arasındaki saçılmanın arttığı, fakat hatalar dikkate alındığında genelde uyumlu oldukları tespit edilmiştir. Karşılaştırmalar içinde en büyük uyumsuzluğun yaklaşık d = 2 kpc'nin ötesinde Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yönteminden kaynaklandığı belirlenmiştir.



Şekil 5.10: Dört farklı uzaklık yöntemiyle incelenen 39 açık küme uzaklıklarının birbirleriyle karşılaştırılması: (a) Eş-yaş eğrisi × Cantat-Gaudin ve diğ. (2018), (b) Eş-yaş eğrisi × Gaia işbirliği (2018), (c) Eş-yaş eğrisi × Bailer-Jones ve diğ. (2018) ve (d) Gaia işbirliği (2018) × Bailer-Jones ve diğ. (2018).

Kümelerin farklı yöntemler ile hesaplanan uzaklıkları artmasına rağmen Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yönteminden belirlenen uzaklıkların d = 2.5 kpc'den sonra 2.5 < d < 3 kpc aralığında bulunduğunu görülmektedir. Kümelerin Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) yönteminden elde edilen uzaklıklardaki bu farklılıkların, araştırmacıların kullanmış olduğu Galaksi model parametrelerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bailer-Jones ve diğ.'nin (2018) çalışmaları incelendiğinde, dikkate aldıkları modelde Galaksi diskinin uzunluk ölçeğinin Galaktik enlem ve boylama göre değiştiği söylenmesine rağmen, uzunluk ölçeği için

hangi değer veya değer aralıklarının kullanıldığı belirtilmemiştir. Kümelerin Galaktik düzlem civarında dağılmış olmaları, uyumsuzluğun modelde kullanılan uzunluk ölçeğiyle doğrudan ilgili olduğunu göstermektedir. Özellikle uyumsuzluğun $d = 2.5$ kpc uzaklığın ötesinde olması, modelde kullanılan uzunluk ölçeği değerlerinin 2.5 kpc'den daha kısa kabul edildiği düşüncesini destekler niteliktedir.

5.4. RADYAL METAL BOLLUĞU GRADYENTİ

Galaksi diskinin oluşum ve evriminin anlaşılmasında açık kümelerin metal bolluklarıyla uzaklıkları arasında oluşturulacak ilişki önemlidir. Galaksimiz metalce fakir ilkel bir bulutun çökerek kısa bir süre içinde büyük kütleli yıldızların oluşmasına zemin hazırlamıştır. İlk oluşan metalce fakir büyük kütleli yıldızlar hızlı nükleer evrimlerinden dolayı çekirdeklerinde demire kadar olan ağır elementleri füzyon reaksiyonlarıyla üretmişlerdir. Bu yıldızlar çekirdeklerinde üretmiş oldukları demir elementini yakabilecek yeterli sıcaklık ve basıncı sağlayamadıklarından çekim kuvvetine karşı koyamazlar ve süpernova patlaması geçirerek üretmiş oldukları ağır elementleri yıldızlararası ortama saçarlar. Bu durum metalce zengin yeni nesil yıldızların oluşmasını sağlamıştır. Galaksi'deki açısal momentumun korunumundan dolayı yıldızlararası ortama saçılan metalce zengin madde Galaktik düzleme doğru hareket ederek bir disk yapı oluşturur ve dönmeye başlar. İzole bir sistem olmayan Samanyolu, komşu cüce galaksiler ile etkileşmeye devam ederek Galaktik haloda farklı kimyasal yapılardaki nesnelerin birkaç milyar yıl daha oluşmasını sürdürür. Yıldız oluşumunun aktif bir şekilde devam ettiği Galaksi diskinde durum daha farklıdır. Galaksi merkezine yakın bölgelerde etkileşimlerin diskin dış kısımlarına göre daha fazla olması yıldız oluşum aktivitesinin Galaksinin iç kısımlarında daha hızlı ilerlemesine yol açar. Bu da Galaksi merkezine yakın bölgelerde metalce daha zengin yıldızların oluşmasına neden olur. İkili çökme modeli olarak bilinen bu senaryo, radyal doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin ortaya çıkmasına yol açar.

Söz konusu senaryonun geçerliliğinin araştırılabilmesi için Galaksi diskini iyi temsil eden nesnelere ihtiyaç duyulur. Açık kümeleri oluşturan yıldızların hemen hemen aynı uzaklıkta, metal bolluğunda ve yaşta olmaları, bu gök cisimlerini Galaksi diskinin yapısı ve evriminin araştırılmasında kullanılan en iyi nesne yapmaktadır. Günümüzde açık kümelerin tayfsal, fotometrik ve astrometrik verilerinin büyük bir duyarlılıkla ölçülebilir olması, duyarlı astrofizik parametrelerinin hesaplanmasına olanak vermektedir. Bu özelliklerinden dolayı tez çalışmasında az veya hiç çalışılmamış açık kümeler dikkate alınmıştır.

5.4.1. Literatür ile Karşılaştırma

Tez çalışmasında duyarlı bir radyal metal bolluğu gradyentinin araştırılması hedeflendiğinden, Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda $6 \leq R_{gc} \leq 12$ kpc uzaklık aralığında bulunan 39 açık küme analiz edilmiştir. Kümelerin metal bolluklarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasındaki ilişkiler incelendiğinde $6 \leq R_{gc} < 9$ kpc'de bulunan açık kümelerin belirgin bir radyal metal bolluğu gradyenti gösterdiği (d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.053 ± 0.014 dex/kpc), $9 \leq R_{gc}$ 12 kpc'deki kümelerin ise radyal metal bolluğu gradyenti göstermediği (d[Fe/H]/dR_{gc} = -0.011 ± 0.010 dex/kpc) sonucuna ulaşılmıştır (Bkz. Bölüm 4.10.2). Elde edilen bu sonuçlar literatürdekiler ile karşılaştırılmıştır. Yaklaşık 20 yıllık bir literatür taraması yapılarak açık kümelerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri Tablo 5.8'de listelenmiştir.

Literatürde açık kümelerden hesaplanmış radyal metal bolluğu gradyentlerinin -0.01< d[Fe/H]/dR_{gc}< -0.20 dex/kpc aralığında yer aldığı tespit edilmiştir (bkz. Tablo 5.8). Çalışmaların çoğunda açık kümelerde dev veya dönüm noktasında bulunan yıldızlar tayfsal olarak analiz edilmiş ve bu yıldızların ortalama metal bollukları incelenen kümenin metal bolluğu olarak kabul edilmiştir. 2010 yılından itibaren APOGEE (Frinchaboy ve diğ., 2013), *Gaia* ESO (Carrera ve diğ., 2019), GALAH (Kos ve diğ., 2018), LAMOST (Zhong ve diğ., 2018) ve RAVE (Conrad ve diğ., 2014, 2017) gibi tayfsal gökyüzü tarama programları sayesinde açık küme doğrultusundaki yıldızlar sistematik şekilde incelenmeye başlanmıştır. Bu çalışmalarda yıldızların radyal hızları, atmosfer model parametreleri, metal bolluğu ve farklı türdeki element bollukları belirlenmiştir. Özellikle *Gaia* DR2 verilerinin literatüre kazandırılması açık küme çalışmalarını daha önemli hale getirerek Galaksi diskinin oluşumu ve evrimi için önerilen senaryoların sınanmasında kullanılmıştır (Chiappini, 2009; Minchev ve diğ., 2013, 2014). Bu çalışmalarda belirlenen metal bolluklarıyla trigonometrik paralaks verilerinden hesaplanan uzaklıklar bir arada değerlendirilmiştir. Çalışmalarda Güneş çemberin içinde yer alan açık kümelerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinin bu çemberi dışında bulunan açık kümelerden hesaplananlara göre daha dik değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Netopil ve diğ., 2016; Carrera ve diğ., 2019). Bu bulgu, tez çalışmasında $6 < R_{gc} < 9$ ve $9 \leq R_{gc} < 12$ kpc'lik uzaklıklarda hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleriyle uyumludur. Açık kümelerin uzaklıklarına bir sınırlama getirilmediğinde hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinin düzleştiği belirlenmiştir (Andreuzzi ve diğ., 2011; Cunha ve diğ., 2016; Reddy ve diğ., 2016). Bu bulgu da tez çalışmasında $6 < R_{gc} < 12$ kpc uzaklık aralığı için

hesaplanan değere yakındır. Literatürdeki radyal metal bolluğu çalışmaları incelendiğinde uzaklık sınırlamalarının yanısıra küme yaşlarının da hesaplamalarda dikkate alındığı görülmektedir. Kümeler yaşlara göre alt gruplara ayrıldığı zaman, yaşlıların gençlere göre daha dik bir radyal metal bolluğu gradyentinin olduğu tespit edilmiştir (Friel ve diğ., 2002; Yong ve diğ., 2012; Netopil ve diğ., 2016). Tez çalışmasında açık küme örneği 300 Myıl'dan genç ve yaşlı olarak iki grupta incelendiğinde radyal metal bolluğu gradyentlerinin düz bir yapıda bulunduğu Bölüm 4. 10. 2'de belirtilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda radyal metal bolluğu gradyentinin yaşa bağlı değişimleri belirginken, tez çalışmasında bu durumun aksine sonuçların elde edilmiş olmasının, çalışmada belli bir doğrultuda göreceli olarak az sayıda açık kümenin incenlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5.8: Literatürde son 20 yılda açık kümeler kullanılarak hesaplanmış radyal metal bolluğu gradyentleri, geçerlilik aralıkları ve makalelere ait biblografik kodlar. Açık kümelerin uzaklık aralıkları kpc, yaş değerleri de Gyıl birimindedir.

Yazar	d**[Fe/H]**/dR_{gc} **(dex/kpc)**	**Uzaklık**	**Bibliografik Kod**
Yontan (2020)	-0.019 ± 0.005	$6 < R_{gc} < 12$	Tez çalışması
	-0.053 ± 0.014	$6 < R_{gc} < 9$	Tez çalışması
	-0.011 ± 0.010	$9 \leq R_{gc} < 12$	Tez çalışması
Carrera ve diğ. (2019)	-0.052 ± 0.003	$6 < R_{gc} < 15$	2019A&A...623A..80C
	-0.077 ± 0.007	$6 < R_{gc} \leq 11$	2019A&A...623A..80C
	-0.018 ± 0.009	$11 \leq R_{gc} < 15$	2019A&A...623A..80C
Donor ve diğ. (2018)	-0.061 ± 0.004	$7 < R_{gc} < 13$	2018AJ....156..142D
Jacobson ve diğ. (2016)	-0.100 ± 0.020	$6 < R_{gc} < 12$	2016A&A...591A..37J
Cunha ve diğ. (2016)	-0.035 ± 0.007	$6 < R_{gc} < 25$	2016AN....337..922C
Netopil ve diğ. (2016)	-0.066 ± 0.007	$5 < R_{gc} < 12$	2016A&A...585A.150N
	-0.061 ± 0.015	$R_{gc} \leq 9$	2016A&A...585A.150N
	-0.079 ± 0.012	$\tau \leq 0.5$	2016A&A...585A.150N
	-0.072 ± 0.013	$1 < \tau < 2.5$	2016A&A...585A.150N
Reddy ve diğ. (2016)	-0.052 ± 0.011	$5 < R_{gc} < 12$	2016MNRAS.463.4366R
	-0.015 ± 0.007	$12 < R_{gc} < 23$	2016MNRAS.463.4366R
Andreuzzi ve diğ. (2011)	-0.04	$6 < R_{gc} < 22$	2011MNRAS.412.1265A
Frinchaboy ve diğ. (2013)	-0.090 ± 0.030	$7.9 \leq R_{gc} \leq 14.5$	2013ApJ...777L...1F
	-0.200 ± 0.080	$7.9 \leq R_{gc} \leq 10$	2013ApJ...777L...1F
	-0.020 ± 0.090	$10 < R_{gc} \leq 14.5$	2013ApJ...777L...1F
Yong ve diğ. (2012)	$-0.120^{+0.010}_{-0.140}$	$\tau \geq 2.5$, $R_{gc} < 13$	2012AJ....144...95Y
Carrera ve Pancino (2011)	-0.070 ± 0.010	$6 < R_{gc} < 12.5$	2011A&A...535A..30C
Jacobson ve diğ. (2011)	-0.085 ± 0.019	$9 < R_{gc} < 13$	2011AJ....142...59J
Friel ve diğ. (2010)	-0.076 ± 0.018	$6 < R_{gc} < 15$	2010AJ....139.1942F
Wu ve diğ. (2009)	-0.070 ± 0.011	$6 \leq R_{gc} \leq 13.5$	2009MNRAS.399.2146W
Magrini ve diğ. (2009)	-0.053 ± 0.029	$7 < R_{gc} < 12$, $\tau \leq 0.8$	2009A&A...494...95M
Chen ve diğ. (2003)	-0.063 ± 0.008	$6 < R_{gc} < 15$	2003AJ....125.1397C
Hou ve diğ. (2002)	-0.099 ± 0.008	$6.5 < R_{gc} < 16$	2002ChJAA...2...17H
Friel ve diğ. (2002)	-0.060 ± 0.010	$7 < R_{gc} < 16$	2002AJ....124.2693F
	-0.023 ± 0.019	$\tau < 2$	2002AJ....124.2693F
	-0.053 ± 0.018	$2 \leq \tau \leq 4$	2002AJ....124.2693F
	-0.075 ± 0.019	$\tau > 4$	2002AJ....124.2693F

Sonuç olarak, kümelerin kimyasal verileriyle Galaksi merkezine olan uzaklıkları arasındaki ilişkinin incelendiği bu çalışmada, kümelerin homojen verilerin elde edilmesine ve seçilen özel bir doğrultuda bulunmasına önem verilerek literatürdeki farklı radyal metal bolluğu sonuçlarının farklılıkları üzerine bir tartışma yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların tayfsal gökyüzü tarama programlarında verilen metal bolluğu gradyentleriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir.

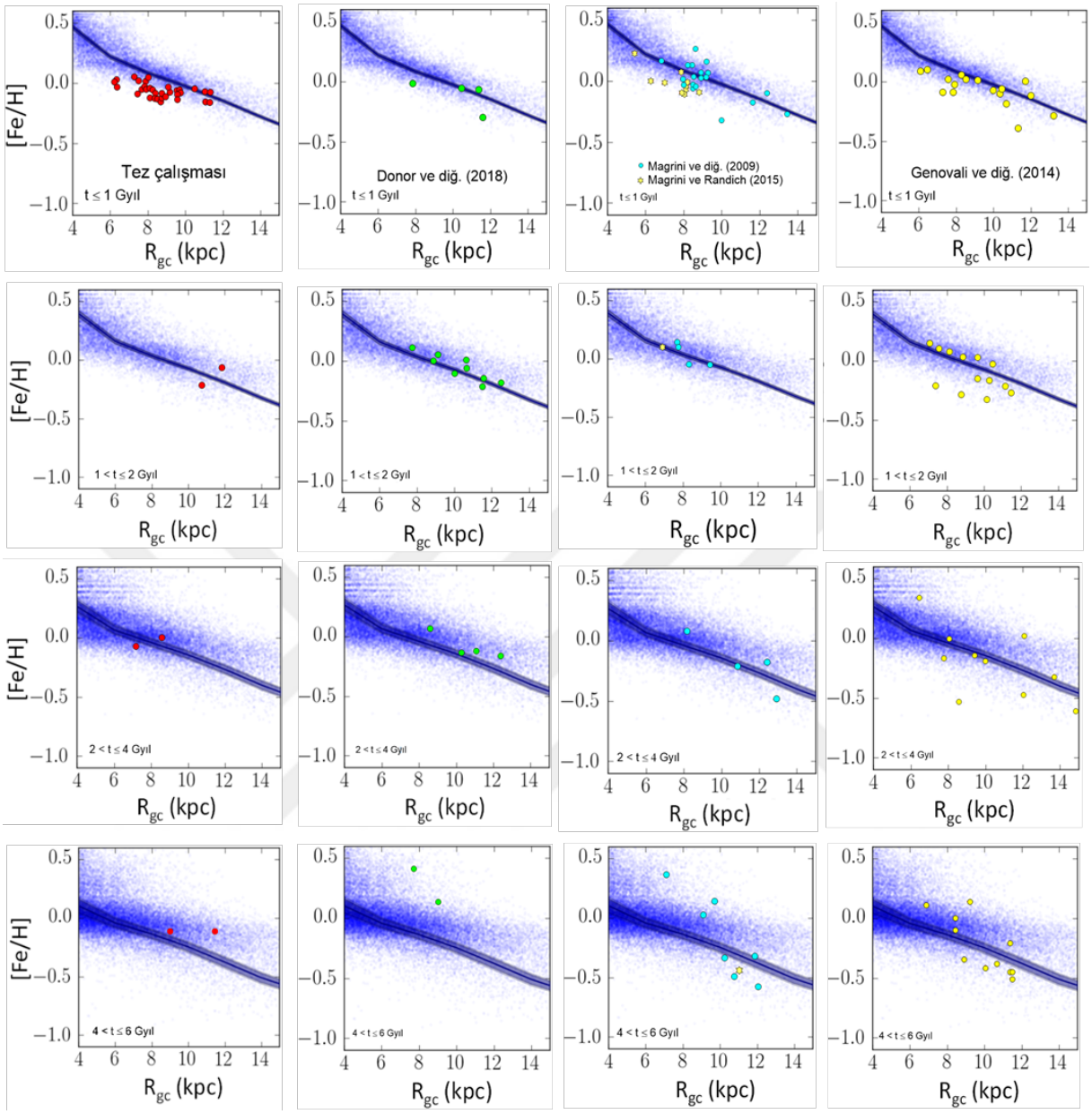
5.4.2. Modeller ile Karşılaştırma

Açık kümelerin radyal metal bolluğu dağılımı Galaksi için oluşturulan kimyasal evrim modelleriyle de yorumlanabilir. Literatürde araştırmacılar tarafından oluşturulan kimyasal evrim modelleri, kabul edilen parametreler ve Galaksi evrim senaryolarına göre farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Modellerin bir bölümünde, Galaksi'nin iç kısımlarındaki hızlı yıldız oluşumundan dolayı negatif bir radyal metal bolluğu üretilirken, Galaksi'nin dış kısımlarında yavaş seyreden yıldız oluşumu daha düz bir gradyent değeri vermektedir (Chiappini, Matteucci ve Romano 2001; Chiappini, 2009; Magrini ve diğ. 2009; Romano ve diğ. 2010). Bununla birlikte, bazı çalaşmalarda radyal metal bolluğu gradyentinin zamanla değişiminin gözlemsel ve teorik yaklaşımlar ile anlaşılamayacağını, bu değişiminin negatif bir gradyentten çok adım dağılımıyla tanımlanabileceği belirtilmiştir (Twarog ve diğ., 1997; Lepine ve diğ., 2011). Modeller Galaksi'nin dinamik yapısıyla birlikte değerlendirildiğinde kimyasal evrime dair yorumlar da değişmektedir. Örneğin, radyal göç senaryosu kabul edildiğinde modeller düz bir metal bolluğu gradyenti üretirler (Roskar ve diğ., 2008; Sanchez-Blazquez ve diğ., 2009; Minchev ve diğ., 2011, 2012). Güneş civarındaki metalce zengin yıldızların varlığı radyal göçün sebep olduğu karışımlar için iyi bir örnektir (Grenon, 1972, 1999; Chiappini, 2009; Minchev ve diğ., 2013; Kordopatis ve diğ., 2015; Anders ve diğ., 2016). Minchev ve diğ.'nin (2013) modeli Güneş civarında görülen metalce zengin yıldızların günümüzden 2 ila 4 Gyıl önce Galaksi merkezine göre 4 ile 6 kpc arasındaki bir bölgede doğduğunu önermektedir. Bu senaryoyu destekleyen bir diğer çalışma çok cisim simülasyonları kullanan Fuji ve Baba (2012) tarafından yapılmış olup, açık kümelerin radyal göçü için 100 Myıl'lık bir zaman ölçeği değerinin yeterli olabileceği belirtilmiştir. Kümelerin 100 Myıl'da doğum yerinden 1.5 kpc uzaklaşabileceğini gösteren Fuji ve Baba (2012), dinamik süreçlerin Galaksi diskinin kimyasal evriminin yorumlanmasında dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, Haywood ve diğ. (2013) Güneş civarındaki FGK yıldızlarını inceleyerek, bu bölgede radyal göçün belirgin bir etkisinin olmadığını ifade etmiştir. Nesneleri farklı yaş aralığında ve dinamik

özelliklerine sınırlamalar getirerek incelemek, diskin radyal metal bolluğu gradyentinin araştırılmasında Galaksi'nin kimyasal oluşum ve evrimi için ortaya konan senaryoların anlaşılması bakımından önemlidir (Donati ve diğ., 2015).

Doktora tez çalışmasında kümelerin hesaplanan uzaklık ve metal bollukları Chiappini ve diğ.'nin (2009) oluşturduğu ve Minchev ve diğ.'nin (2013; 2014) geliştirdiği kimyasal evrim modeliyle incelenmiştir. Galaksi kimyasal evrim modeli, farklı yaşlardaki evrimleşmiş yıldızlar için çok cisim simülasyonları ve radyal göç mekanizmasını içerecek şekilde oluşturulmuştur. Modelde, radyal metal bolluğu gradyentleri Galaksi düzlemine yakın ($Z < 0.3$ kpc) ve dört farklı yaş aralığında ($t \leq 1$, $1 < t \leq 2$, $2 < t \leq 4$, $4 < t \leq 6$ Gyıl) üretilmiştir. Tez çalışmasında hesaplanan sonuçlar, yanlılıkları en aza indirmek için açık kümelerin tayfsal analizlerinin yapıldığı farklı çalışmalar ile (Magrini ve diğ., 2009; Genovali ve diğ., 2014; Magrini ve Randich, 2015 ve Donor ve diğ., 2018) eş-zamanlı olarak Minchev ve diğ.'nin (2013, 2014) modeliyle incelenmiştir. Araştırmacıların inceledikleri açık kümelerin metal bollukları ve Galaksi merkezinden uzaklıkları söz konusu modelde üretilen farklı yaş aralıkları için gruplandırılmış ve bu yaş aralıkları için verilen metal bolluğu gradyentleriyle beraber Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Minchev ve diğ.'nin (2013, 2014) kimyasal evrim modellerinde genç nesneler için demir bolluklarının yaşlı olanlara göre daha zengin, buna karşın radyal metal bolluğu gradyentlerinin hemen hemen birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Şekil 5.11'in ilk sütununda tez çalışmasında incelenen 39 açık kümenin dört yaş aralığına ayrılmış radyal metal bolluğu profilleri gösterilmiştir. Genç grupta ($t \leq 1$ Gyıl) yer alan açık kümelerin modelin önerdiği radyal metal bolluğu gradyent değerine yakın fakat metalce fakir tarafta yer aldığı tespit edilmiştir.

Yaşları $1 < t \leq 2$ ve $2 < t \leq 4$ Gyıl aralığındaki modellerde dört açık kümenin bulunduğu ve modelin önermiş olduğu radyal metal bolluğu profiline uygun dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Tez çalışmasında yaşları $4 < t \leq 6$ Gyıl aralığında iki açık küme bulunmakta olup, bu yaş aralığı için üretilen radyal metal bolluğu profili Güneş civarındaki bir açık kümeyle uyumluyken, R_{gc} = 11 kpc'nin ötesinde bulunan kümeyle yaklaşık [Fe/H] = 0.2 dex'lik bir saçılma göstermektedir.



Şekil 5.11: Dört farklı yaş aralığı için üretilen kimyasal evrim modellerinin (Minchev ve diğ., 2013, 2014) tez çalışması ve dört araştırma grubundan alınan açık küme verileriyle karşılaştırılması. Küçük mavi noktalar kimyasal evrim modelinde kullanılan simülasyon verilerini, ince sürekli çizgi model radyal metal bolluğu profilini, renkli daireler farklı araştırmacıların kullandığı açık kümelerin göstermektedir.

Minchev ve diğ.'nin (2013, 2014) kimyasal evrim modelinin, Donor ve diğ.'nin (2018) tayfsal yöntemler kullanarak 19 açık küme için elde ettiği parametreler ile karşılaştırılması Şekil 5.11'in ikinci sütununda gösterilmiştir. Donor ve diğ. (2018) kümeye üyelikleri radyal hızlar ile belirlenmiş 260 APOGEE kırmızı dev yıldızın atmosfer model parametrelerini elde etmiştir.

Çalışmada kümeye üye yıldızların demir bolluklarının ortalamaları kümelerin metal bolluğu olarak kabul edilmiştir. İncelenen kümelerin üye yıldızlarının Bailer-Jones ve diğ. (2018) tarafından hesaplanan uzaklık verilerinin ortalama değerleri de kümelerin uzaklıkları olarak alınmış ve bu değerler Galaksi merkezine uzaklıklara dönüştürülmüştür. Ayrıca kümelerin yaşları Kharcherko ve diğ.'nin (2013) kataloğundan alınmıştır. Modelde verilen yaş aralıklarına göre sınıflanan kümeler Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Yaşları $t \leq 1$ ve $1 < t \leq 2$ Gyıl aralıklarında yer alan açık kümelerin Minchev ve diğ.'nin (2013; 2014) kimyasal evrim modeliyle uyumlu olduğu görülmüştür. Yaşları $2 < t \leq 4$ Gyıl aralığındaki dört açık kümenin genel olarak modelin radyal metal bolluğu profilinin eğimine uyumlu fakat metalce daha zengin bir bölgede yer aldığı tespit edilmiştir. En yaşlı grupta ($4 < t \leq 6$ Gyıl) bulunan iki açık kümenin modelin metal bolluğu profiliyle uyumsuz olduğu ve metalce daha zengin bir bölgede yer aldığı görülmüştür.

Tez çalışmasında Minchev ve diğ.'nin (2013, 2014) kimyasal evrim modeliyle incelenen bir başka çalışma Magrini ve diğ. (2009) ile Magrini ve Randich'e (2015) aittir. Magrini ve diğ. (2009) Galaksi merkezinden $7 < R_{gc} \leq 22$ kpc uzaklık aralığında ve 30 Myıl $\leq t \leq 11$ Gyıl yaş aralığında bulunan, tayfsal çalışmalar ile incelenmiş 45 açık kümeyi literatürden derleyerek katalog hazırlamışlardır. Çalışmada kümelere üye, S/N değeri 20 ile 200 arasında ve tayfsal çözümleme gücü 20,000 ile 100,000 aralığında bulunan 143 anakol ve 165 dev yıldız incelenerek kümeler için ortalama metal bolluğu değerleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışma grubu içindeki iki araştırmacının (Magrini ve Randich, 2015) *Gaia*-ESO tayfsal tarama verilerini derleyerek ikincil bir küme listesi oluşturmuşlardır. Bu listedeki 13 küme $5 < R_{gc} \leq 17$ kpc uzaklık, $-0.43 \leq$ [Fe/H] ≤ 0.23 dex metal bolluğu ve $0 < t \leq 4.7$ Gyıl yaş aralığında bulunmaktadır. Kimyasal evrim modelinde verilen yaş aralıklarına göre sınıflanan kümeler Şekil 5.11'in üçüncü sütununda araştırma gruplarına göre iki farklı sembol ile gösterilmiştir. Araştırmacıların genç küme örnekleri ($t \leq 1$ Gyıl) için oluşturulan ilk panelde Magrini ve diğ.'nin (2009) örneklerinin Magrini ve Randich'e (2015) göre model metal bolluğu profiliyle daha uyumlu olduğu, Magrini ve Randich'in (2015) örneklerinin ise sistematik olarak model metal bolluğu profilinin metalce fakir tarafında yer aldığı görülmüştür. Yaşları $1 < t \leq 2$ ve $2 < t \leq 4$ Gyıl aralığında olan kümelerin modeller ile uyumlu ve model metal bolluğu profillerini iyi temsil ettiği, Şekil 5.11'in üçüncü sütununun üstten ikinci ve üçüncü panellerinde görülmektedir. Yaşları $4 < t \leq 6$ Gyıl aralığında bulunan sekiz açık kümenin model radyal metal bolluğu profiliyle uyumlu olmadığı ve saçılmalarının büyük olduğu belirlenmiştir.

Tez'de dikkate alınan bir diğer çalışma Genovali ve diğ.'ne (2014) aittir. Genovali ve diğ. (2014), tayfsal yöntemler kullanarak kümelere üye farklı ışıma gücü sınıfından yıldızları incelemiş, uzaklıkları $5.9 \leq R_{gc} \leq 20.1$ kpc, metal bollukları $-0.60 \leq$ [Fe/H] ≤ 0.42 dex ve yaşları $0.1 < t \leq 10.06$ Gyıl aralığında bulunan 67 açık kümeyi literatürden derlemiştir. İncelenen çalışmalar geniş bir zaman aralığında yer aldığından ve bu çalışmalarda Güneş'in metal bolluğu farklı değerlerde kabul edildiğinden, Genovali ve diğ. (2014) kümelerin metal bolluklarını güncel Güneş bolluğu değerlerine homojenize etmişlerdir. Kimyasal evrim modelinde verilen yaş aralıklarına göre sınıflanan kümeler Şekil 5.11'in dördüncü sütununda gösterilmiştir. Yaşları $t \leq 1$ Gyıl aralığında bulunan açık kümelerin genel olarak model radyal metal bolluğu profilinin eğimiyle uyumlu olduğu, fakat Galaksi merkezine uzaklıkları $R_{gc} \leq 10$ kpc olan kümelerin modele göre metalce daha fakir bölgede yer aldıkları tespit edilmiştir. Yaşları $1 < t \leq 2$ Gyıl aralığında olan kümelerin modeller ile uyumlu ve model metal bolluğu profillerini iyi temsil ettiği, Şekil 5.11'in dördüncü sütununun üstten ikinci panelinden görülmektedir. Sadece bu yaş aralığında Galaksi merkezine 6 ile 10 kpc uzaklıkta bulunan ve metal bollukları yaklaşık -0.20 dex'ten daha fakir üç kümenin bu uyumu bozduğu tespit edilmiştir. Yaşları $2 < t \leq 4$ ve $4 < t \leq 6$ Gyıl aralığında bulunan kümelerin model radyal metal bolluğu profiliyle hemen hemen uyumlu, fakat saçılmalarının büyük olduğu belirlenmiştir.

Tez çalışması ve dört farklı araştırma grubunun $t \leq 1$ Gyıl yaş aralığındaki kümeler bir arada incelendiğinde, tez çalışması ile Magrini ve Randich (2015) ve Genovali ve diğ.'de (2014) Galaksi merkezinden $R_{gc} \leq 10$ kpc uzaklıklarda incelenen kümelerin model radyal metal bolluğu profilleriyle sistematik olarak metalce fakir bölgede bulundukları ve model ile uyumlu olmadıkları görülmektedir. Bununla birlikte Donor ve diğ. (2018) ile Magrini ve diğ.'nin (2009) kümelerinin ise model eğrileriyle oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu problemin nedenini ortaya çıkartabilmek için araştırma gruplarındaki kümeler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Tez çalışmasında incelenen kümelerin metal bollukları F ve G tayf türünden anakol yıldızların analizleriyle belirlenmiştir. Kümeye üye yıldızların *Gaia*-ESO tayfsal verilerini analiz eden Magrini ve Randich (2015) çalışmalarında çoğunlukla anakol veya anakola gelmekte olan yıldızları dikkate alırken, Genovali ve diğ. (2014) anakol yıldızlarını kullanmışlardır. Kimyasal evrim modelleriyle uyumlu olan Donor ve diğ. (2018) ve Magrini ve diğ.'nin (2009) açık kümeleri kümeye üye evrimleşmiş yıldızlar kullanılarak analiz edilmiştir. Bu da bazı araştırma gruplarından alınan açık kümelerin kimyasal evrim modeliyle

uyumsuzluğunu açıklayabilir. Bilindiği gibi F ve G tayf türündeki yıldızların iç yapılarında küçük bir konveksiyon bölgesinin bulunması, yıldızların iç tabakalarındaki ağır elementlerin yıldız atmosferine karışımını engellemektedir. Çekirdeğinde hidrojen yakma aşamasını tamamlayan yıldızların HR diyagramında kırmızı dev koluna doğru hareketleriyle konveksiyon katmanlarının derinleşmesi ve bu nedenle yıldızların iç kısımlarındaki ağır elementlerin yıldız atmosferine taşınması söz konusudur. Bu tür derin konvektif hareketler yıldızların ağır element bolluklarında 0.10 – 0.15 dex civarında bir artışa neden olur. Bu durum, araştırma gruplarının farklı ışıma gücü sınıfındaki küme yıldızlarını analiz etmeleri sonucunda belirledikleri ağır element bolluklarının model metal bolluğu profiline göre metalce zengin veya fakir olmasını açıklar. Ayrıca Minchev ve diğ. (2013; 2014) kimyasal evrim modellerinde radyal göç mekanizmasını da dikkate aldıklarını söylemektedirler. İncelenen ilk grup açık kümeler genel olarak genç olduklarından ($t \leq 1$ Gyıl) bu kümelerin radyal göçe maruz kalmaları söz konusu değildir (Spina ve diğ., 2017; Jacobson ve diğ., 2016). Bu nedenle, kimyasal evrim modellerinin üretilmesinde özellikle uygun nesne türünün ve modeldeki radyal göç mekanizmasının nesne yaşına göre dikkate alınması gerekliliği bu tez çalışmasında açık kümeler incelenerek ortaya konmuştur. Diğer yaş aralıkları için üretilen model radyal metal bolluğu profilleri, farklı araştırma gruplarının gözlemsel sonuçlarıyla genel olarak uyum içindedir. Beklenildiği gibi, modellerin radyal metal bolluğu dağılımları artan yaşlar ile birlikte genişlemektedir. Bu da gözlem verilerindeki saçılmaların doğal olduğunu göstermektedir.

Bu doktora tez çalışmasında aşağıda maddeler halinde verilen bazı önemli sonuçlara ulaşılmıştır:

- TUG T100 teleskobuyla literatürde az çalışılmış veya açık küme olduğundan şüphe duyulan bazı kümelerin CCD *UBV* ve *Gaia* DR2 verileri bir arada incelenerek hem küme yapısı gösterdikleri belirlenmiş hem de astrofizik parametreleri literatüre kazandırılmıştır.
- TUG T100 teleskobuyla yapılan standart yıldız alanlarından hesaplanan sönümleme ve dönüşüm katsayılarıyla TUG'un uzun dönemli ortalama fotometrik gözlem kalitesi belirlenmiştir. Kümelerin analizlerinde astrofiziksel parametreler bağımsız yöntemler ile tayin edilmiştir. Böylece parametre dejenerasyonunun önüne geçilmiştir.
- Çalışmada Galaksi'nin I. ve II. çeyreğindeki açık kümeler seçilerek radyal metal bolluğu gradyenti özel bir doğrultu için incelenmiştir.

- Çalışmada hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentinin Galaksi diskinin iç bölgeleri için daha dik, dış bölgeleri için ise zayıf bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Tezde elde edilen bu bulgunun literatürde açık küme çalışmalarından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleriyle uyumlu olmakla birlikte, Galaksi'nin ikili çökme senaryosunu desteklediği görülmüştür.
- Galaksi oluşum ve evrimini içeren kemo-dinamik modellerin üretilmesinde, incelenen nesnelere bağlı girdi parametrelerinin verilmesi ve modeldeki radyal göç mekanizmasının nesne yaşına göre kullanılması gerekliliği ortaya konmuştur.

5.5. GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Teknolojideki hızlı ilerlemeler astronomi ve astrofizik çalışmalarında kullanılan dedektörlerin duyarlılıklarını arttırmıştır. Orta/büyük boyutlu teleskopların odak düzlemi aletlerindeki hassasiyetin gelişmesi, sistematik gökyüzü tarama programlarının devreye girmesini sağlamıştır. Önceleri elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde fotometrik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen GALEX, SDSS, 2MASS ve WISE gibi gökyüzü tarama programları, yerini RAVE, SEGUE, APOGEE, GALAH, *Gaia*-ESO gibi geniş ölçekli tayfsal gökyüzü tarama programlarına bırakmıştır. Bu gökyüzü tarama programlarına paralel olarak uzay tabanlı *Gaia* uydusunun devreye girmesiyle hassas fotometrik, tayfsal ve astrometrik gözlemler yapılmaya başlanmış ve ilk sonuçlar araştırmacıların kullanıma açılmıştır. Önümüzdeki 10 yıl içinde *Gaia* uydusunun görevini tamamlamasıyla birlikte 1.7 milyar nesnenin hassas astrometrik verilerinin belirlenmesi sağlanacaktır.

Sistematik gökyüzü tarama programları sayesinde açık kümelere üye yıldızların belirlenmesi ve üye yıldızların model atmosfer parametrelerinin hesaplanması, kümelere ait astrofiziksel parametrelerin daha duyarlı şekilde tayin edilmesine fırsat verecektir. Bu veriler de özellikle Galaksimizin disk yapısının oluşum ve evriminin anlaşılması için üretilen kemodinamik modellerin gözlemsel olarak sınanmasına fırsat verecektir.

KAYNAKLAR

Adams, F. C., Myers P. C., 2001, Modes of Multiple Star Formation, *The Astrophysical Journal*, 553, 744-753.

Akkaya, I., Schuster, W. J., Michel, R., Chavarría-K, C., Moitinho, A., Vázquez, R., Karataş, Y., 2010, CCD UBVRI Photometry of the Galactic Open Clusters: Be 89, Ru 135, and Be 10, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 46, 385-430.

Allende Prieto, C., Beers, T. C., Wilhelm, R., Newberg, H. J., Rockosi, C. M., Yanny, B., Lee, Y. S., 2006, A Spectroscopic Study of the Ancient Milky Way: F- and G-Type Stars in the Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astrophysical Journal*, 636, 804-820.

Allende Prieto, C., Majewski, S. R., Schiavon, R., ve diğ., 2008, APOGEE: The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment, *Astronomische Nachrichten*, 329, 1018.

Alter, G., Ruprecht, J., Vanýsek, V., 1958, Catalogue of Star Clusters and Associations, *Prague, Pub. House of the Czechoslavak Academy of Sciences*.

Alter, G., Balazs, B., Ruprecht, J., Vanysek, J., 1970, Catalogue of Star Clusters and Associations, *Budapest: Akademiai Kiado*, 2nd ed., edited by G. Alter, B. Balazs, J. Ruprecht.

Amôres, E. B., Lépine, J. R. D., Mishurov, Y. N., 2009, The Corotation Gap in the Galactic HI Distribution, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 400, 1768-1774.

Ananjevskaja, Y. K., Frolov, V. N., Polyakov, E. V., 2015, Investigation of the Open Star Cluster NGC 6800, *Astronomy Letters*, 41, 334-342.

Anders, F., Chiappini, C., Rodrigues, T. S., ve diğ., 2016, Galactic Archaeology with CoRoT and APOGEE: Creating Mock Observations from a Chemodynamical Model, *Astronomische Nachrichten*, 337, 926.

Andreuzzi, G., Bragaglia, A., Tosi, M., Marconi, G., 2011, Old Open Clusters and the Galactic Metallicity Gradient: Berkeley 20, Berkeley 66 and Tombaugh 2, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1265-1282.

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

Andrievsky, S. M., Luck, R. E., Martin, P., Lépine, J. R. D., 2004, The Galactic Abundance Gradient from Cepheids. V. Transition zone between 10 and 11 kpc, *Astronomy and Astrophysics*, 413, 159-172.

Ann, H. B., Lee, S. H., Sung, H., Lee, M. G., Kim, S. -L., Chun, M. -Y., Jeon, Y. -B., Park, B. -G., Yuk, I. -S., 2002, BOAO Photometric Survey of Galactic Open Clusters. II. Physical Parameters of 12 Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 123, 905-914.

Anthony-Twarog, B. J., Twarog, B. A., 2006, Extended Strömgren Photoelectric Photometry in NGC 752, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118, 358-363.

Anthony-Twarog, B. J., Deliyannis, C. P., Twarog, B. A., 2016, WIYN Open Cluster Study. LXXII. A uvbyCaHβ CCD Analysis of the Metal-deficient Open Cluster NGC 2506, *The Astronomical Journal*, 152, article id. 192, 10.

Archinal, B. A., Hynes, S. J., 2006, Star Clusters, Foreword by David H. Levy. Richmond, VA: Willmann-Bell, 2003

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.

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

Balser, D. S., Rood, R. T., Bania, T. M., Anderson, L. D., 2011, HII Region Metallicity Distribution in the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal*, 738, 22.

Baratella, M., Carraro, G., D'Orazi, V., Semenko, E. A., 2018, Radial Velocity and Chemical Composition of Evolved Stars in the Open Clusters NGC 6940 and Tombaugh 5, *The Astronomical Journal*, 156, 9.

Barba, R. H., Roman-Lopes, A., Nilo Castellón, J. L., Firpo, V., Minniti, D., Lucas, P., Emerson, J. P., Hempel, M., Soto, M., Saito, R. K., 2015, Hundreds of New Cluster Candidates in the VISTA Variables in the Vía Láctea Survey DR1, *Astronomy and Astrophysics*, 581, A120.

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

Bastian, N., 2011, Cluster Disruption: From Infant Mortality to Long Term Survival, *Stellar Clusters & Associations: A RIA Workshop on Gaia*, 85-97.

Bastian, N., Goodwin, S. P., 2006, Evidence for the Strong Effect of Gas Removal on the Internal Dynamics of Young Stellar Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 369, L9-L13.

Baume, G., Villanova, S., Carraro, G., 2003, A Study of the Two Northern Open Clusters NGC 1582 and NGC 1663, *Astronomy and Astrophysics*, 407, 527-539.

Baumgardt, H., Kroupa P., 2007, A Comprehensive Set of Simulations Studying the Influence of Gas Expulsion on Star Cluster Evolution, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 380, 1589-1598.

Beaver, J., Kaltcheva, N., Briley, M., Piehl, D., 2013, Strömgren-Hβ Photometry of the Rich Open Cluster NGC 6705 (M 11), *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125, 1412.

Becker, W., Fenkart, R., 1971, A Catalogue of Galactic Star Clusters Observed in Three Colours, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 4, 241.

Bedin, L. R., Piotto, G., Carraro, G., King, I. R., Anderson, J., 2006, The Absolute Motion of the Peculiar Cluster NGC 6791, *Astronomy and Astrophysics*, 460, L27-L30.

Bellazzini, M., Ibata, R., Martin, N., Lewis, G. F., Conn, B., Irwin, M. J., 2006, The Core of the Canis Major Galaxy as Traced by Red Clump Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 865-883.

Belokurov, V., 2013, Galactic Archaeology: The Dwarfs that Survived and Perished, *New Astronomy Reviews*, 57, 100-121.

Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, Elemental Abundance Trends in the Galactic Thin and Thick Disks as Traced by Nearby F and G Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 410, 527-551.

Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I., 2005, α-, r-, and s-process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 185.

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., 2011, Automated Morphometry with SExtractor and PSFEx, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XX. ASP Conference Proceedings*, 442, 435.

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

Bhattacharya, S., Mishra, I., Vaidya, K., Chen, W. P., 2017, Disintegration of the Aged Open Cluster Berkeley 17, *The Astrophysical Journal*, 847, article id. 138, 7.

Bica, E., Dutra C. M., Soares J., Barbuy B., 2003, New Infrared Star Clusters in the Northern and Equatorial Milky Way with 2MASS, *Astronomy and Astrophysics*, 404, 223-232.

Bica, E., Bonatto, C., Camargo, D., 2008, Probing FSR Star Cluster Candidates in Bulge/disc Directions with 2MASS Colour-magnitude Diagrams, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 385, 349-360.

Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006a, Investigation of the ELAIS Field by Vega Photometry: Absolute Magnitude-dependent Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1295-1309.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., 2006b, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 234-245

Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2008, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with SDSS, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25, 69-84.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Dağtekin, N. D., Yontan, T., Gilmore, G., Seabroke, G.M., 2012, Local Stellar Kinematics from RAVE Data - III. Radial and Vertical Metallicity Gradients Based on Red Clump Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 3362-3374.

Bilir, S., Bostancı, Z. F., Yontan, T., Güver, T., Bakış, V., Ak, T., Ak, S., Paunzen, E., Eker, Z., 2016, CCD UBV Photometry and Kinematics of the Open Cluster NGC 225, *Advances in Space Research*, 58, 1900-1914.

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

Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., ve diğ., 2013, Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. I. Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 559, 12.

Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., ve diğ., 2014, Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. II. Giant Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 568, 13.

Bok, B. J., 1934, The Stability of Moving Clusters, *Harvard College Observatory Circular*, 384, 1.

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

Bonatto, C., Bica, E., 2007, Old Open Clusters in the Inner Galaxy: FSR1744, FSR89 and FSR31, *Astronomy and Astrophysics*, 473, 445-455.

Borissova, J., Bonatto, C., Kurtev, R., ve diğ., 2011, New Galactic Star Clusters Discovered in the VVV Survey, *Astronomy and Astrophysics*, 532, A131.

Bossini, D., Vallenari, A., Bragaglia, A., ve diğ., 2019, Age Determination for 269 Gaia DR2 Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 623, A108, 11.

Bostancı, Z. F., Yontan, T., Bilir, S., ve diğ., 2018, CCD UBV Photometric Study of Five Open Clusters-Dolidze 36, NGC 6728, NGC 6800, NGC 7209, and Platais 1, *Astrophysics and Space Science*, 363, 143, 15.

Bovy, J., Rix, H. W., Hogg, D. W., 2012, The Milky Way Has No Distinct Thick Disk, *Astrophysical Journal*, 751, 131.

Bragaglia, A., Tosi, M., 2006, The Bologna Open Cluster Chemical Evolution Project: Midterm Results from the Photometric Sample, *The Astronomical Journal*, 131, 1544-1558.

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

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

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.

Briggs, F. H., 1990, Rules of Behavior for Galactic WARPS, *Astrophysical Journal*, 352, 15-29.

Brinkmann, Nina; Banerjee, Sambaran; Motwani, Bhawna; Kroupa, Pavel, 2017, The Bound Fraction of Young Star Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 600, id.A49, 12.

Buckner, A. S. M., Froebrich, D., 2013, Properties of Star Clusters - I. Automatic Distance and Extinction Estimates, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436,1465-1478.

Buckner, A. S. M., Froebrich, D., 2014, Properties of Star Clusters-II. Scaleheight Evolution of Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444, 290-302.

Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, William A., Hoyle, F., 1957, Synthesis of the Elements in Stars, *Reviews of Modern Physics*, 29, 547-650.

Burke, B. F., 1957, Systematic Distortion of the Outer Regions of the Galaxy, *Astronomical Journal*, 62, 90.

Burstein, D., 1979, Structure and Origin of S0 Galaxies. II Disk-to-Bulge Ratios, *The Astrophysical Journal*, 234, 435-447.

Cabrera-Lavers, A., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2007, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with 2MASS, *Astronomy and Astrophysics*, 464, 565-571.

Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2009, Astrophysical Parameters of 14 Open Clusters Projected Close to the Galactic Plane, *Astronomy and Astrophysics*, 508, 211-220.

Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2012, Towards a Census of the Galactic Anticentre Star Clusters – II. Exploring Lower Overdensities, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 423, 1940-1954.

Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2013, Towards a Census of the Galactic Anticentre Star Clusters – III. Tracing the Spiral Structure in the Outer Disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432, 3349-3360.

Cameron, L. M., 1985, Metallicities and Distances of Galactic Clusters as Determined from UBV-Data. I- The effects of Metallicity and Reddening on the Colors of Main-sequence Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 146, 59-66.

Cantat-Gaudin, T., Vallenari, A., Zaggia, S., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: Stellar Content and Elemental Abundances in the Massive Cluster NGC 6705, *Astronomy and Astrophysics*, 569, 18.

Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., ve diğ., 2018, A *Gaia* DR2 View of the Open Cluster Population in the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 618, A93.

Canuto, V. M., Dubovikov, M., 1997, Overshooting: Mixing Length Yields Divergent Results, *The Astrophysical Journal*, 484, L161-L163.

Caputo, F., Chieffi, A., Castellani, V., Collados, M., Marinez Roger, C., Paez, E., 1990, CCD Photometry of Stars in the Old Open Cluster NGC 188, *Astronomical Journal*, 99, 261-272.

Caputo, F., Marconi, M., Musella, I., Pont, F., 2001, Pulsational Constraints to the Metallicity Gradient in the Galactic Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 372, 544-550.

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

Carney, B. W., 1979, Subdwarf Ultraviolet Excesses and Metal Abundances, *Astrophysical Journal*, 233, 211-225.

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., Chiosi, C., 1994, The Galactic System of Old Open Clusters: Age Calibration and Age-Metallicity Relation, *Astronomy and Astrophysics*, 287, 761-768.

Carraro, G., Ng, Y. K., Portinari, L., 1998, On the Galactic Disc Age-Metallicity Relation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296, 1045-1056.

Carraro, G., Girardi, Léo; Chiosi, Cesare, 1999, Is the Galactic Disc Older Than the Halo?, *Monthly Notices*, 309, 430-442.

Carraro, G., 2002, Photometry of Dissolving Star Cluster Candidates. The Cases of NGC 7036 and NGC 7772, *Astronomy and Astrophysics*, 385, 471-478.

Carraro, G., Bresolin, F., Villanova, S., Matteucci, F., Patat, F., Romaniello, M., 2004, Metal Abundances in Extremely Distant Galactic Old Open Clusters. I. Berkeley 29 and Saurer 1, *The Astronomical Journal*, 128, 1676-1683.

Carraro, G., Méndez, R. A., May, J., Mardones, D., 2005, The Open Cluster NGC 6520 and the Nearby Dark Molecular Cloud Barnard 86, *The Astronomical Journal*, 130, 635-642.

Carraro, G., Geisler, D., Villanova, S., Frinchaboy, P. M., Majewski, S. R., 2007, Old Open Clusters in the Outer Galactic Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 476, 217-227

Carraro, G., Bensby, T., 2009, Old Open Clusters in the Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy Tidal Stream - Kith or Kin?, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 397, L106-L109.

Carrera, R., Pancino, E., 2011, Chemical Abundance Analysis of the Open Clusters Berkeley 32, NGC 752, Hyades, and Praesepe, *Astronomy and Astrophysics*, 535, A30, 21.

Carrera, R., Casamiquela, L., Ospina, N., Balaguer-Núñez, L., Jordi, C., Monteagudo, L., 2015, Radial Velocities and Metallicities from Infrared Ca II Triplet Spectroscopy of Open Clusters. II. Berkeley 23, King 1, NGC 559, NGC 6603, and NGC 7245, *Astronomy and Astrophysics*, 578, 9.

Carrera, R., Rodríguez, E. L., Casamiquela, L., Balaguer, N. L., Jordi, C., Allende, P. C., Stetson, P., B., 2017, The Open Cluster King 1 in the Second Quadrant, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470, 4285-4297.

Carrera, R., Bragaglia, A., Cantat-Gaudin, T., ve diğ., 2019, Open Clusters in APOGEE and GALAH. Combining Gaia and Ground-based Spectroscopic Surveys, *Astronomy and Astrophysics*, 623, A80, 21.

Carretta, E., Bragaglia, A., Gratton, R. G., Recio-Blanco, A., Lucatello, S., D'Orazi, V., Cassisi, S., 2010, Properties of Stellar Generations in Globular Clusters and Relations with Global Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 516, A55.

Casamiquela, L., Carrera, R., Jordi, C., 2016, The OCCASO Survey: Presentation and Radial Velocities of 12 Milky Way Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 458, 3150-3167.

Casamiquela, L., Carrera, R., Blanco-Cuaresma, S., ve diğ., 2017, OCCASO - II. Physical Parameters and Fe Abundances of Red Clump Stars in 18 Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470, 4363-4381.

Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Julbe, F., Morvan, M., Balaguer-Núñez, L., Cantat-Gaudin, T., 2018, A New Method for Unveiling Open Clusters in Gaia. New Nearby Open Clusters Confirmed by DR2, *Astronomy and Astrophysics*, 618, A59, 18.

Chaboyer, B., Green, E. M., Liebert, J., 1999, The Age, Extınctıon, And Dıstance of the Old, Metal-Rich Open Cluster NGC 6791, *The Astronomical Journal*, 117, 1360-1374.

Chaboyer, B., Fenton, W. H., Nelan, J. E., Patnaude, D. J., Simon, F. E., 2001, Heavy-Element Diffusion in Metal-Poor Stars, *The Astronomıcal Journal*, 562, 521-527.

Chen, B., Stoughton, C., Smith, J. A., ve diğ., 2001, Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 553, 184-197.

Chen, L., Hou, J. L., Wang, J. J., 2003, On the Galactic Disk Metallicity Distribution from Open Clusters. I. New Catalogs and Abundance Gradient, *The Astronomical Journal*, 125, 1397-1406.

Chen, X., Wang, S., Deng, L., de Grijs, R., Liu, C., Tian, H., 2019, An Intuitive 3D Map of the Galactic Warp's Precession Traced by Classical Cepheids, *Nature Astronomy*, 3, 320-325.

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

Chiappini, C., 2009, The Chemical Evolution of the Galactic Thick and Thin Disks, *The Galaxy Disk in Cosmological Context, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 254.191-196.

Chiappini, C., Matteucci, F., Gratton, R., 1997, The Chemical Evolution of the Galaxy: The Two-Infall Model, *The Astrophysical Journal*, 477, 765-780.

Chiappini, C., Matteucci, F., Romano, D., 2001, Abundance Gradients and the Formation of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 554, 1044-1058.

Chiba, M., Beers, T. C., 2000, Kinematics of Metal-poor Stars in the Galaxy. III. Formation of the Stellar Halo and Thick Disk as Revealed from a Large Sample of Nonkinematically Selected Stars, *The Astronomical Journal*, 119, 2843-2865.

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.

Chun, M.-Y., Lee, S.-W., 1996, UBV CCD Photometry of the Intermediate Age Open Cluster NGC 6716, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 29, 137-156.

Claria, J. J., Piatti, A. E., Osborn, W., 1996, DDO Metal Abundances of High-Luminosity Late-Type Stars in Galactic Open Clusters, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 108, 672-701.

Clarke, C. J., Bonnell, I. A., Hillenbrand, L. A., 2000, The Formation of Stellar Clusters, *Protostars and Planets IV (Book - Tucson: University of Arizona Press; eds Mannings, V., Boss, A.P., Russell, S. S.)*, 151

Conn, B. C.; Lewis, G. F., Irwin, M. J., Ibata, R. A., Ferguson, A. M. N., Tanvir, N., Irwin, J. M., 2005, The Isaac Newton Telescope Wide Field Camera Survey of the Monoceros Ring: Accretion Origin or Galactic Anomaly?, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 362, 475-488.

Conrad, C., Scholz, R.-D., Kharchenko, N. V., ve diğ., 2014, A RAVE Investigation on Galactic Open Clusters. I. Radial Velocities and Metallicities, *Astronomy and Astrophysics*, 562, A54, 16.

Conrad, C., Scholz, R.-D., Kharchenko, N. V., ve diğ., 2017, A RAVE Investigation on Galactic Open Clusters . II. Open Cluster Pairs, Groups and Complexes, *Astronomy and Astrophysics*, 600, A106, 15.

Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., ve diğ., 2012, Local Stellar Kinematics from RAVE Data - II. Radial Metallicity Gradient, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 2844.

Cox, A. L., Sparke, L. S., van Moorsel, G., Shaw, M., 1996, Optical and 21 cm Observations of the Warped, Edge-On Galaxy UGC 7170, *Astronomical Journal*, 111, 1505.

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.

Crane, J. D., Majewski, S. R., Rocha-Pinto, H. J., Frinchaboy, P. M., Skrutskie, M. F., Law, D. R., 2003, Exploring Halo Substructure with Giant Stars: Spectroscopy of Stars in the Galactic Anticenter Stellar Structure, *The Astrophysical Journal*, 594, L119-L122.

Cunha, K., Frinchaboy, P. M., Souto, D., Thompson, B., ve diğ., 2016, Chemical Abundance Gradients from Open Clusters in the Milky Way Disk: Results from the APOGEE Survey, *Astronomische Nachrichten*, 337, 922.

Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., ve diğ., 2003, 2MASS All Sky Catalog of Point Sources, *The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive*.

Da Silva, R., Lemasle, B., Bono, G., ve diğ., 2016, Neutron-Capture Elements Across the Galactic Thin Disk using Cepheids, *Astronomy and Astrophysics*, A125, 586.

Daflon, S.,Cunha, K., 2004, Galactic Metallicity Gradients Derived from a Sample of OB Stars, *The Astrophysical Journal*, 617, 1115-1126.

Davies, B., Figer, D. F., Kudritzki, R. -P., MacKenty, J., Najarro, F., Herrero, A., 2007, A Massive Cluster of Red Supergiants at the Base of the Scutum-Crux Arm, *The Astrophysical Journal*, 671,781-801.

Davies, B., Origlia, L., Kudritzki, Rolf-P., Figer, D. F.; Rich, R. M., Najarro, F., Negueruela, I., Clark, J. S., 2009, Chemical Abundance Patterns in the Inner Galaxy: The Scutum Red Supergiant Clusters, *The Astrophysical Journal*, 696, 2014-2025

De Meulenaer, P., Narbutis, D., Mineikis, T., Vansevičius, V., 2013, Deriving Physical Parameters of Unresolved Star Clusters. I. Age, Mass, and Extinction Degeneracies, *Astronomy ve Astrophysics*, 550, A20, 10.

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.

De Silva, G. M., Freeman, K. C., Bland-Hawthorn, J., ve diğ., 2015, The GALAH Survey: Scientific Motivation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449, 3, 2604-2617.

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

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

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

Dias, W. S., Monteiro, H., Caetano, T. C., Oliveira, A. F., 2012, Fitting Isochrones to Open Cluster Photometric Data, II. Nonparametric Open Cluster Membership Likelihood Estimation and its Application in Optical and 2MASS Near-IR data, *Astronomy and Astrophysics*, 539, A125.

Dias, W. S., Alessi, B. S., Moitinho, A., Lepine, J. R. D., 2012, VizieR Online Data Catalog: Optically Visible Open Clusters and Candidates (Dias+ 2002-2013), *VizieR On-line Data Catalog: B/ocl.*

Dickey, J. M., Lockman, F. J., 1990, HI in the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 28, 215-261.

Donati, P., Cocozza, G., Bragaglia, A., Pancino, E., Cantat-Gaudin, T., Carrera, R., Tosi, M., 2015, The Old, Metal-Poor, Anticentre Open Cluster Trumpler 5, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 1411-1423.

Donor, J., Frinchaboy, P. M., Cunha, K., ve diğ., 2018, The Open Cluster Chemical Abundances and Mapping Survey. II. Precision Cluster Abundances for APOGEE using SDSS DR14, *The Astronomical Journal*, 156, 4, 14.

Dreyer, J. L. E., 1888, A New General Catalogue of Nebulæ and Clusters of Stars, Being the Catalogue of the Late Sir John F. W. Herschel Bart Revised Corrected and Enlarged, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 49, 1.

Dreyer, J. L. E., 1895, Index Catalogue of Nebulæ Found in the Years 1888 to 1894, with Notes and Corrections to the New General Catalogue, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 51, 185.

Dreyer, J. L. E., 1910, Second Index Catalogue of Nebulæ and Clusters of Stars, Containing Objects Found in the Years 1895 to 1907; with Notes and Corrections to the New General Catalogue and to the Index Catalogue for 1888-94, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 59, 105.

Drimmel, R., 2000, Evidence for a Two-armed Spiral in the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 358, L13-L16.

Durgapal, A. K., Pandey, A. K., Mohan, V., 1997, CCD Photometry of Galactic Open Star Clusters - V. King 7, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 25, 489.

Durgapal, A. K., Pandey, A. K., Mohan, V., 2001, Multicolour CCD Photometry of Old Open Clusters: King 5 and Be 20⋆, *Astronomy and Astrophysics*, 372, 71-84.

Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E., Tomkin, J., 1993, The Chemical Evolution of the Galactic Disk. I. Analysis and Results, *Astronomy and Astrophysics*, 500, 391-442.

Eggen, O. J., Lynden-Bell, D., Sandage, A. R., 1962, Evidence from the Motions of Old Stars That the Galaxy Collapsed, *Astrophysical Journal*, 136, 748-766.

Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P., Meynet, G., ve diğ., 2012, Grids of Stellar Models with Rotation. I. Models from 0.8 to 120 $M_{\odot}$ at Solar Metallicity (Z = 0.014), *Astronomy and Astrophysics*, 537, 18.

Elmegreen, B. G., 2011, On the Initial Conditions for Star Formation and the Initial Mass Function, *The Astrophysical Journal*, 731, article id. 61, 8.

ESA, 1997, The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission, *Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, Series: ESA SP Series*, 1200, ISBN: 9290923997.

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

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

Fang, C., 1970, The Estimates of the Galactic Clusters NGC 1664 and NGC 1605, *Astronomy and Astrophysics*, 4, 75-77.

Feltzing, S., Holmberg, J., Hurley, J. R., 2001, The Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation - Does It Exist?, *Astronomy and Astrophysics*, 377, 911-924.

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

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

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.

Freeman, K., Bland-Hawthorn, J., 2002, The New Galaxy: Signatures of Its Formation, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 487-537.

Friel, E. D., Janes, K. A., 1993, Metallicities and Radial Velocities of Old Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 267, 75-91.

Friel, E. D., 1995, The Old Open Clusters Of The Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 33, 381-414.

Friel, E. D., Janes, K. A., Hong, L., Lotz, J., Tavarez, M., 1995, New Results for the Oldest Open Clusters: Kinematics and Metallicities of the Old Disk, *IAA-IAC-University of Pisa Workshop: The formation of the Milky Way*, 189 – 190.

Friel, E. D., Janes, K. A., Tavarez, M., Scott, J., Katsanis, R., Lotz, J., Hong, L., Miller, N., 2002, Metallicities of Old Open Clusters, *The Astronomıcal Journal*, 124, 2693-2720.

Friel, E. D., Jacobson, H. R., Pilachowski, C. A., 2005, Abundances of Red Giants in Old Open Clusters. II. Berkeley 17, *The Astronomical Journal*, 129, 2725-2730.

Friel, E. D., Jacobson, H. R., Pilachowski, C. A., 2010, Abundances of Red Giants in Old Open Clusters. V. Be 31, Be 32, Be 39, M 67, NGC 188, and NGC 1193, *The Astronomical Journal*, 139, 5, 1942-1967.

Frinchaboy, P., Munoz, R., Majewski, S., Friel, E., Phelps, R., Kunkel, W., 2004, The Galactic Anticenter Stellar Structure and Outer Old Open Cluster Origins, *Bulletin of the American Astronomical Society,* American Astronomical Society Meeting 205, id.175.01, 37, 379.

Frinchaboy, P., Zasowski, G., Jackson, K., Johnson, J. A., Majewski, S. R., Shetrone, M., Rocha, A., SDSS-III Collaboration, 2010, SDSS-III/APOGEE: Detailed Abundances of Galactic Star Clusters, JENAM 2010, *Joint European and National Astronomy Meeting* held 6-10 September, 2010 in Lisbon Portugal., id.136

Frinchaboy, P. M., Thompson, B., Jackson, K. M., O'Connell, J., Meyer, B., Zasowski, G., Majewski, S. R., Chojnowksi, S. D., 2013, The Open Cluster Chemical Analysis and Mapping Survey: *Local Galactic Metallicity Gradient with APOGEE Using SDSS DR10, The Astrophysical Journal Letters*, 777, 7.

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

Froebrich, D., Schmeja, S., Samuel, D., Lucas, P. W., 2010, Old Star Clusters in the FSR Catalogue, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 409, 1281-1288.

Fujii, M. S., Baba, J., 2012, Destruction of Star Clusters due to the Radial Migration in Spiral Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 427, L16-L20.

Gaia işbirliği, 2016, The Gaia Mission, *Astronomy and Astrophysics*, 595, A1.

Gaia işbirliği, 2018, Gaia Data Release 2 Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, A1.

Galadi-Enriquez, D., Jordi, C., Trullols, E., Ribas, I., 1998, The Overlapping Open Clusters NGC 1750 and NGC 1758. I. UBVRI-CCD Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 333, 471-478.

Gamow, G., 1946, Expanding Universe and the Origin of Elements, *Physical Review*, 70572-573.

García-Ruiz, I., Kuijken, K., Dubinski, J., 2002a, The Warp of the Galaxy and the Large Magellanic Cloud, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 337, 459-469

García-Ruiz, I., Sancisi, R., Kuijken, K., 2002b, Neutral Hydrogen and Optical Observations of Edge-on Galaxies: Hunting for Warps, *Astronomy and Astrophysics*, 394, 769-789.

Genovali, K., Lemasle, B., Bono, G., ve diğ., 2013, On the Metallicity Distribution of Classical Cepheids in the Galactic Inner Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 554, id.A132, 9.

Genovali, K., Lemasle, B., Bono, G., ve diğ., 2014, On the Fine Structure of the Cepheid Metallicity Gradient in the Galactic Thin Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 566, id.A37, 30.

Gieles, M., Portegies, Z. S. F., Baumgardt, H., Athanassoula, E., Lamers, H. J. G. L. M., Sipior, M., Leenaarts, J., 2006, Star Cluster Disruption by Giant Molecular Clouds, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 371, 793-804.

Gilmore, G., Reid, N., 1983, New Light on Faint Stars. III - Galactic Structure Towards the South Pole and the Galactic Thick Disc, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 202, 1025-1047.

Gilmore, G., 2005, An Outside View of Radio Astronomy, *EAS Publications Series*, 15, 347-352.

Gilmore, G., Randich, S., Asplund, M., Binney, J., Bonifacio, P., Drew, J., Feltzing, S., Ferguson, A., 2012, The Gaia-ESO Public Spectroscopic Survey, *The Messenger*, 147, 25-31.

Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 2000, Evolutionary Tracks and Isochrones for low-and Intermediate-Mass Stars: From 0.15 to 7 $M_{\odot}$, and from Z = 0.0004 to 0.03, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 141, 371-383.

Girardi, L., Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Groenewegen, M. A. T., Marigo, P., Salasnich, B., Weiss, A., 2002, Theoretical Isochrones in Several Photometric Systems. I. Johnson-Cousins-Glass, HST/WFPC2, HST/NICMOS, Washington, and ESO Imaging Survey Filter Sets, *Astronomy and Astrophysics*, 391, 195-212.

Girardi, L., Williams, B. F., Gilbert, K. M., ve diğ., 2010, The ACS Nearby Galaxy Survey Treasury. IX. Constraining Asymptotic Giant Branch Evolution with Old Metal-Poor Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 724, 1030–1043.

Gliese, W., Jahreiss, H., 1991, Preliminary Version of the Third Catalogue of Nearby Stars, On: The Astronomical Data Center CD-ROM: Selected Astronomical Catalogs, Vol. I; L.E. Brotzmann, S.E. Gesser (eds.), NASA/Astronomical Data Center, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.

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

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

Gonzalez, G., Wallerstein, G., 2000, Elemental Abundances in the Inner Galaxy Open Cluster M11, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 112, 1081-1088.

Grand, R. J. J., Kawata, D., Cropper, M., 2015, Impact of Radial Migration on Stellar and Gas Radial Metallicity Distribution, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 447, 4018-4027.

Gratton, R. G., Carretta, E., Matteucci, F., Sneden, C., 2000, Abundances of Light Elements in Metal-poor Stars IV. [Fe/O] and [Fe/Mg] Ratios and the History of Star Formation in the Solar Neighborhood, *Astronomy and Astrophysics*, 358, 671-681.

Grenon, M., 1972, On Metal Rich and SMR Stars, *Age des Etoiles, Proceedings of IAU Colloq. 17, held in Paris, France, 18-22 September*, 55.

Grenon, M., 1999, The Kinematics and Origin of smr Stars, *Astrophysics and Space Science*, 265, 331-336.

Groenewegen, M. A. T., 2013, Baade-Wesselink Distances to Galactic and Magellanic Cloud Cepheids and the Effect of Metallicity, *Astronomy and Astrophysics*, 550, id.A70, 25.

Guetter, H. H., Vrba, F. J., 1989, Reddening and Polarimetric Studies toward IC 1805, *Astronomical Journal*, 98, 611-625.

Gummersbach, C. A., Kaufer, A., Schaefer, D. R., Szeifert, T., Wolf, B., 1998, B Stars and the Chemical Evolution of the Galactic Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 338, 881-896

Gutermuth, R. A., Myers, P. C., Megeath, S. T., ve diğ., 2008, Spitzer Observations of NGC 1333: A Study of Structure and Evolution in a Nearby Embedded Cluster, *The Astronomical Journal*, 674, 336-356.

Hasegawa, T., Sakamoto, T., Malasan, H. L., 2008, New Photometric Data of Old Open Clusters II. A Dataset for 36 Clusters, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 60, 1267-1284.

Hassan, S. M., 1967, Three-Color Photometry of NGC 7086, *Zeitschrift für Astrophysik*, 66, 6.

Hassan, S. M., 1973, Three Colour Photometry of the Five Open Clusters NGC 7039, NGC 7062, NGC 7067, NGC 7082, IC 1369, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 9, 261.

Haywood, M., Di Matteo, P., Lehnert, M. D., Katz, D., Gómez, A., 2013, The Age Structure of Stellar Populations in the Solar Vicinity. Clues of a Two-Phase Formation History of the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 560, id.A109, 18.

Heiter, U., Soubiran, C., Netopil, M., Paunzen, E., 2014, VizieR Online Data Catalog: On the Metallicity of Open Clusters. II, *VizieR On-line Data Catalog: J/A+A/561/A93*.

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

Henry, R. B. C., Kwitter, K. B., Jaskot, A. E., Balick, B., Morrison, M. A., Milingo, J. B., 2010, Abundances of Galactic Anticenter Planetary Nebulae and the Oxygen Abundance Gradient in the Galactic Disk, *The Astrophysical Journal*, 724, 748.

Hills, J. G., 1980, The Effect of Mass Loss On The Dynamical Evolution of a Stellar System: Analytıc Approximations, *The Astrophysical Journal*, 225, 986-991.

Hoag, A. A., Johnson, H. L., Iriarte, B., Mitchell, R. I., Hallam, K. L., Sharpless, S., 1961, Photometry of Stars in Galactic Cluster Fields, *Publications of the U.S. Naval Observatory. 2d ser.*, 17, 344-542

Hobbs, L. M., Thorburn, J. A., Rodriguez-Bell, T., 1990, On the Metallicity and Turnoff Age of NGC 188, *Astronomical Journal*, 100, 710.

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

Hou, J. L., Prantzos, N., Boissier, S., 2000, Abundance Gradients and their Evolution in the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 362, 921-936.

Hou, J., Chang, R., Chen, L., 2002, Abundance Gradient from Open Clusters and Implications for the Galactic Disk Evolution, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2, 17-32.

Hubble, E. P., 1926, Extragalactic Nebulae, *Astronomical Journal*, 64, 321-369.

Hunt, J. A. S., Bovy, J., Carlberg, R. G., 2016, Detection of a Dearth of Stars with Zero Angular Momentum in the Solar Neighborhood, *The Astrophysical Journal Letters*, 832, article id. L25, 5.

Hunter, D. A., Elmegreen, B. G., Gehret, E., 2016, Young Star Clusters in the Outer Disks of Little Things Dwarf Irregular Galaxies, *The Astronomical Journal*, 151, article id. 136, 12.

Hur, H., Sung, H., Bessell, M. S., 2012, Distance and the Initial Mass Function of Young Open Clusters in the η Carina Nebula: Tr 14 and Tr 16, *The Astronomical Journal*, 143, 10.

Jacobson, H. R., Friel, E. D., Pilachowski, C. A., 2009, Abundances of Red Giants in Old Open Clusters. IV. NGC 1817, NGC 1883, NGC 2141, and NGC 2158, *The Astronomical Journal*, 137, 4753.

Jacobson, H. R., Pilachowski, C. A., Friel, E. D., 2011, A Chemical Abundance Study of 10 Open Clusters Based on WIYN-Hydra Spectroscopy, *The Astronomical Journal*, 142, 2, 31.

Jacobson, H. R., Friel, E. D., Jílková, L., ve diğ., 2016, The Gaia-ESO Survey: Probes of the Inner Disk Abundance Gradient, *Astronomy and Astrophysics*, 591, id.A37, 8.

Janes, K. A., 1979, Evidence for an Abundance Gradient in the Galactic Disk, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 39, 135.

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

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

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, article id. 139, 5.

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

Johnson, H. L., Hoag, A. A., Iriarte, B., Mitchell, R. I., Hallam, K. L., 1961, Galactic Clusters as Indicators of Stellar Evolution and Galactic Structure, *Bulletin/Lowell Observatory*, 113, 133-147.

Johnson, H. L., Borgman, J., 1963, The Law of Interstellar Extinction, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 17, 115-126.

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

Joshi, Y. C., Dambis, A. K., Pandey, A. K., Joshi, S., 2016, Study of Open Clusters within 1.8 kpc and Understanding the Galactic Structure, *Astronomy and Astrophysics*, 593, id.A116, 13.

Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution, *The Astrophysical Journal*, 673, 864-914.

Kaluzny, J., 1994, Photometric Study of the Extremely Old Open Cluster Berkeley 17, *Acta Astronomica*, 44, 247-256.

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

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

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

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

Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E. Yaz, Plevne, O., 2019, Analysis of the Disc Components of Our Galaxy via Kinematic and Spectroscopic Procedures, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 36, id. e040, 17.

Karataş, Y., Schuster, W. J., 2006, Metallicity and Absolute Magnitude Calibrations for UBV Photometry, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 371, 1793-1812.

Kennicutt, Jr., R. C., 1981, The Shapes of Spiral Arms along the Hubble Sequence, *The Astronomical Journal*, 86, 1847-1858.

Kerr, F. J., 1957, A Magellanic Effect on the Galaxy, *Astronomical Journal*, 62, 93-93.

Kerr, F. J., 1969, The Large-Scale Distribution of Hydrogen in the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 7, 39.

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., Schilbach, E., Roeser, S., Scholz, R. -D., 2012, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. I. The Pipeline and Fundamental Parameters in the Second Quadrant, *Astronomy and Astrophysics*, 543, 13.

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.

Kiszkurno, E., Kolos, R., Krelowski, J., Strobel, A., 1984, The Distribution of the Extinction in the Galactic Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 135, 337-340.

Kjeldsen, H., Frandsen, S., 1991, Stellar Photometric Stability. II. Ages and Distances for 13 Open Clusters with Time Series Observations, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 87, 119.

Kopchev, V. S., Petrov, G. T., 2008, BV Photometry of a Possible Open Star Cluster Pair NGC 7031/NGC 7086, *Astronomische Nachrichten*, 329, 845-848.

Kordopatis, G., Binney, J., Gilmore, G., Wyse, R. F. G., ve diğ., 2015, The Rich are Different: Evidence from the RAVE Survey for Stellar Radial Migration, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 447, 3526.

Kos, J., de Silva, G., Buder, S., ve diğ., 2018, The GALAH Survey and Gaia DR2: (non-) Existence of Five Sparse High-Latitude Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 480, 5242-5259.

Krełowaski, J., Strobel, A., 1983, A Comparison of UV Extinction in SCO OB2 and Per OB1 Associations, *Astronomy and Astrophysics*, 127, 271-276.

Krone-Martins, A., Moitinho, A., 2014, UPMASK: Unsupervised Photometric Membership Assignment in STellar Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 561, 12.

Krusberg, Z. A. C., Chaboyer, B., 2006, UBVI CCD Photometry of the Old Open Cluster Berkeley 17, *The Astronomical Journal*, 131, 1565-1573.

Kunder, A., Rich, R. M., Koch, A., ve diğ., 2016, Before the Bar: Kinematic Detection of a Spheroidal Metal-Poor Bulge Component, *The Astrophysical Journal Letters*, 821, L25.

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, *Astronomical Journal*, 137, 4186-4269.

Lata, S., Mohan, V., Sagar, R., 2004a, CCD Photometry of the Unstudied Galactic Star Clusters Be 10, Be 67 and To 5, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 32, 59-74.

Lata, S., Mohan, V., Sagar, R., 2004b, CCD Photometry of the Galactic Star Clusters Be 15, Be 71 and King 1, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 32, 371-383.

Lattanzi, M. G., Massone, G., Munari, U., 1991, Membership and CM Diagram of Young Open Clusters. I. NGC 225, *Astronomical Journal*, 102, 177.

Launhardt, R., Zylka, R., Mezger, P. G., 2002, The Nuclear Bulge of the Galaxy, III. Large-scale Physical Characteristics of Stars and Interstellar Matter, *Astronomy and Astrophysics*, 384, 12-139.

Leavitt, H., S., Pickering, E. C., 1912, Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud, *Harvard College Observatory Circular*, 173, 1-3.

Lee, J. W., 2010, Variations in the Na-O Anticorrelation in Globular Clusters: Evidence for a Deep Mixing Episode in Red Giant Branch Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 405, L36-L40.

Lee, O. J., 1926, Motions of Stars in the Scattered Cluster NGC 225, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 86, 645.

Lee, S. –W., Sung, H., 1995, The Luminosity Function and Initial Mass Function for the Pleiades Cluster, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 28, 45-59.

Lemasle, B., François, P., Bono, G., Mottini, M., Primas, F., Romaniello, M., 2007, Detailed Chemical Composition of Galactic Cepheids. A Determination of the Galactic Abundance Gradient in the 8-12 kpc Region, *Astronomy and Astrophysics*, 467, 283-294.

Lemasle, B., François, P., Piersimoni, A., Pedicelli, S., Bono, G., Laney, C. D., Primas, F., Romaniello, M., 2008, Galactic Abundance Gradients from Cepheids. On the Iron Abundance Gradient Around 10-12 kpc, *Astronomy and Astrophysics,* 490, 613-623.

Lépine, J. R. D., Mishurov, Y., Acharova, I. A., 2003, Effects of the Spiral arm Structure on the Metallicity Gradients in the Galactic disk, *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira* , 23, 28-28.

Lépine, J. R. D., Cruz, P., Scarano, S. J., Barros, D. A., Dias, W. S., Pompéia, L., Andrievsky, S. M., Carraro, G., Famaey, B., 2011, Overlapping Abundance Gradients and Azimuthal Gradients Related to the Spiral Structure of the Galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 698-708.

Lépine, J. R. D., Andrievky, S., Barros, D., A., Junqueira, T. C., Scarano, S., 2014a, Bimodal Chemical Evolution of the Galactic Disk and the Barium Abundance of Cepheids, *Setting the scene for Gaia and LAMOST, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 298, 86-91.

Lépine, J. R. D., Scarano, S., Jr., Barros, D. A., Junqueira, T. C., Dias, W. S., Andrievsky, S., 2014b, *XIV Latin American Regional IAU Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica* 44, 180-180.

Levine, E. S., Blitz, L., Heiles, C., 2006, The Spiral Structure of the Outer Milky Way in Hydrogen, *Science*, 312, 1773-1777.

Lindoff, U., 1968, The Ages of Open Clusters, *Arkiv för Astronomii*, 5, 1-21.

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

Loktin, A. V., 1998, The Properties of Red Giant Stars in the Solar Vicinity. I. Determination of Colour Excesses, *Astronomical and Astrophysical Transactions,*15, 59-70.

Luck, R. E., Andrievsky, S. M., Kovtyukh, V. V., Gieren, W., Graczyk, D. 2011. "The Distribution of the Elements in the Galactic Disk. II. Azimuthal and Radial Variation in Abundances from Cepheids", *The Astronomical Journal*, 142, 12.

Luck, R. E., Kovtyukh, V. V., Andrievsky, S. M., 2006, The Distribution of the Elements in the Galactic Disk, *The Astronomical Journal*, 132, 902.

Luck, R. E., Lambert, D. L., 2011, The Distribution of the Elements in the Galactic Disk. III. A Reconsideration of Cepheids from l = 30° to 250°, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 136, 16.

Lundby, Arne, 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 & Wiksell, 1946., 62 p. : ill. ; 28 cm.*

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.

Maciel, W. J., Costa, R. D. D., Idiart, T. E. P., 2009, Planetary Nebulae and the Chemical Evolution of the Magellanic Clouds, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 45, 127-137.

Maeder, A., Meynet, G., 1988, Tables of Evolutionary Star Models from 0.85 to 120 Solar Masses with Overshooting and Mass Loss, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*,76, 411-425.

Maeder, A., Meynet, G., 1989, Grids of Evolutionary Models from 0.85 to 120 Solar Masses - Observational Tests and the Mass Limits, *Astronomy and Astrophysics*, 210, 155-173.

Maeder, A., 1990, Tables for Massive Star Evolution at Various Metallicities, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 84, 139-177.

Maeder, A., Meynet, G., 1991, Tables of Isochrones Computed from Stellar Models with Mass Loss and Overshooting, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 89, 451-467.

Magrini, L., Sestito, P., Randich, S., Galli, D., 2009, The Evolution of the Galactic Metallicity Gradient from High-resolution Spectroscopy of Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 494, 95-108.

Magrini, L., Randich, S., Zoccali, M., Jilkova, L., Carraro, G., Galli, D., Maiorca, E., Busso, M., 2010, Open Clusters Towards the Galactic Centre: Chemistry and Dynamics. A VLT Spectroscopic Study of NGC 6192, NGC 6404, NGC 6583, *Astronomy and Astrophysics*, 523, id.A11, 16.

Magrini, L., Randich, S., 2015, Open clusters in the Gaia-ESO Survey tracing the chemical history of the Milky Way, *Invited talk at the Conference "The Milky Way Unraveled by Gaia", Barcelona 1-5 Dec 2014, 2015arXiv150508027M.*

Magrini, L., Randich, S., Donati, P., Bragaglia, A., Adibekyan, V., Romano, D., Smiljanic, R., Blanco-Cuaresma, S., ve diğ., 2015, The Gaia-ESO Survey: Insights Into the İnner-Disc Evolution from Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 580, 15.

Majaess, D. J., Turner, D. G., Lane, D. J., 2008, Assessing Potential Cluster Cepheids from a New Distance and Reddening Parametrization and Two Micron All Sky Survey Photometry, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 390, 1539-1548.

Majewski, S. R., 1993, Galactic Structure Surveys and the Evolution of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 575-638.

Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M., ve diğ., 2017, The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE), *The Astronomical Journal*, 154, 46.

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

Martínez-García, E. E., Puerari, I., 2014, The Shock-Induced Star Formation Sequence Resulting from a Constant Spiral Pattern Speed, *The Astrophysical Journal*, 790, 118.

Martinez-Medina, L. A., Gieles, M., Pichardo, B., Peimbert, A., 2018, New Insights into the Origin and Evolution of the Old, Metal-rich Open Cluster NGC 6791, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 474, 32-44.

McNamara, B. J., Pratt, N. M., Sanders, W. L., 1977, Membership in the Open Cluster M11, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 27, 117-143.

Melbourne, W. G., 1959, Line Blanketing Effects on Middle-Type Main-Sequence and Sub-Dwarf Stars, *Thesis (Ph.D.) -- California Institute of Technology, 1959. Advisor(s): Code, Arthur D.*

Melbourne, W. G., 1960, Line-Blanketing Effects on A-G Dwarfs, *Astrophysical Journal*, 132, 101.

Melotte, P., J., 1915, A Catalogue of Star Clusters Shown on Franklin-Adams Chart Plates, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 60, 175.

Mermilliod, J. C., 1981, Comparative Studies of Young Open clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 97, 235-244.

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

Mermilliod, J. C., 1995, The Database for Galactic Open Clusters (BDA), *Information and On-Line Data in Astronomy, Astrophysics and Space Science Library*, 203, 127-138.

Mermilliod, J. -C., 1996, The Open Cluster DataBase, *The origins, evolution, and destinies of binary stars in clusters, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Volume 90, An international symposium held at the University of Calgary, 18-23 June 1995, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP), |c1996, xxvi, 508 p., edited by E. F. Milone and J.-C. Mermilliod, p.475.

Meynet, G., Mermilliod, J., C., Maeder, A., 1993, New Dating of Galactic Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 98, 477-504.

Michaud, G., Richard, O., Richer, J., VandenBerg, D. A., 2004, Models for Solar Abundance Stars with Gravitational Settling and Radiative Accelerations: Application to M67 and NGC 188, *The Astrophysical Journal*, 606, 452-465.

Minchev, I., Famaey, B., Combes, F., Di Matteo, P., Mouhcine, M., Wozniak, H., 2011, Radial Migration in Galactic Disks Caused by Resonance Overlap of Multiple Patterns: Self-Consistent Simulations, *Astronomy and Astrophysics*, 527, A147, 5.

Minchev, I., Famaey, B., Quillen, A. C., Di Matteo, P., ve diğ., 2012, Evolution of Galactic Discs: Multiple Patterns, Radial Migration, and Disc Outskirts, *Astronomy and Astrophysics*, 548, 24.

Minchev, I., Chiappini, C., Martig, M., 2013, Chemodynamical Evolution of the Milky Way Disk I. The Solar Vicinity, *Astronomy and Astrophysics*, 558, A9.

Minchev, I., Chiappini, C., Martig, M., ve diğ., 2014, A New Stellar Chemo-Kinematic Relation Reveals the Merger History of the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal Letters*, 781, article id. L20, 6.

Minniti, D., Lucas, P. W., Emerson, J. P., ve diğ., 2010, VISTA Variables in the Via Lactea (VVV): The Public ESO Near-IR Variability Survey of the Milky Way, *New Astronomy*, 15, 433-443.

Moeckel, N. B., Matthew R., 2010, On the Evolution of a Star Cluster and its Multiple Stellar Systems Following Gas Dispersal, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 404, 721-737.

Moitinho, A., 2010, Observational Properties of the Open Cluster System of the Milky Way and What They Tell us about our Galaxy, *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S266), 106-116.

Mollá, M., Ferrini, F., Díaz, A., 1997, Evolution of Spiral Galaxies. VII. Time Evolution of the Radial Distributions of Abundances, *The Astrophysical Journal*, 475, 519-533.

Moni Bidin, C., de la Fuente Marcos, R., de la Fuente Marcos, C., Carraro, G., 2010, Not an Open Cluster After All: the NGC 6863 Asterism in Aquila, *Astronomy and Astrophysics*, 510, A44.

Morgan, W. W., Sharpless, S., Osterbrock, D., 1952, Some Features of Galactic Structure in The Neighborhood of the Sun, *Astronomical Journal*, 57, 3-3.

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*, ISBN 978-3-642-22112-5. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 53

Netopil, M., Paunzen, E., Carraro, G., 2015, A Comparative Study on the Reliability of Open Cluster Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 582, 15.

Netopil, M., Paunzen, E., Heiter, U., Soubiran, C., 2016, On the Metallicity of Open Clusters. III. Homogenised Sample, *Astronomy and Astrophysics*, 585, A150, 17.

Nordström, B., Mayor, M., Andersen, J., ve diğ., 2004, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood. Ages, metallicities, and Kinematic Properties of 14 000 F and G dwarfs, *Astronomy and Astrophysics*, 418, 989-1019.

Ortolani, S., Carraro, G., Covino, S., Bica, E., Barbuy, B., 2002, A Photometric Study of the Young Open Cluster NGC 1220, *Astronomy and Astrophysics*, 391, 179-185.

Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G. M., Karaali, S., ve diğ., 2016, Local Stellar Kinematics from RAVE data - VII. Metallicity Gradients from Red Clump Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 33, 20.

Panagia, N., Tosi, M., 1981, Galactic Metal Abundance Gradient in Young Stellar Population, *Astronomy and Astrophysics*, 96, 306-309.

Pandey, A. K., Bhatt, B. C., Mohan, V., Paliwal, D. C., Mahra, H. S., 1994, CCD Photometry of Galactic Open Star Clusters IV. NGC 366, *Bulletin of the Astronomical Society of India* 22, 369-380.

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, Ogura, K., Sagar, R., Tarusawa, K., 2001, NGC 7654: An Interesting Cluster to Study Star Formation History, *Astronomy and Astrophysics*, 374, 504-522.

Park, H. S., Lee, M. G., 1999, UBVI Charge-coupled Device Photometry of Two Old Open Clusters NGC 1798 and NGC 2192, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 304, 883-892.

Pasquali, A., Perinotto, M., 1993, Chemical Behaviour of Planetary Nebulae and Galactic Abundance Gradients, *Astronomy and Astrophysics*, 280, 581-591.

Paunzen, E., Netopil, M., 2006, On the Current Status of Open-cluster Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 371, 1641-1647.

Pedicelli, S., Bono, G., Lemasle, B., ve diğ., 2009, On the Metallicity Gradient of the Galactic Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 504, 81-86.

Perryman, M. A. C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., ve diğ., 1997, The HIPPARCOS Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, 323, L49-L52.

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., 1997, BERKELEY 17: The Oldest Open Cluster?, *The Astrophysical Journal*, 483, 826-836.

Phelps, R. L., Janes, K. A., Montgomery, K. A., 1994, Development of the Galactic Disk: A Search for the Oldest Open Clusters, *Astronomical Journal*, 107, 1079-1096.

Piatti, Andres E., Claria, J. J., Abadi, M. G., 1995, Chemical Evolution of the Galactic Disk: Evidence for a Gradient Perpendicular to the Galactic Plane, *Astronomical Journal*, 110, 2813.

Piskunov, A. E., Just, A., Kharchenko, N. V., Berczik, P., Scholz, R. -D., Reffert, S., Yen, S. X., 2018, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. VI. Age Distribution and Cluster Formation History, *Astronomy and Astrophysics*, 614, id.A22, 11.

Platais, I., Kozhurina-Platais, V., Mathieu, R. D., Girard, T. M., van Altena, W. F., 2003, WIYN Open Cluster Study. XVII. Astrometry and Membership to $V = 21$ in NGC 188, *The Astrophysical Journal*, 126, 2922-2935.

Plevne, O., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Bostancı, Z. F., 2015, Local Stellar Kinematics from RAVE Data - VI. Metallicity Gradients Based on the F-G Main-Sequence Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, 17.

Poincot, P., Lesteven, S., Murtagh, F., 1998, A Spatial User Interface to the Astronomical Literature, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 130, 183-191.

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

Portinari, L., Chiosi, C., 1999, On Star Formation and Chemical Evolution in the Galactic Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 350, 827-839.

Randich, S., Gilmore, G., Gaia-ESO Consortium, 2013, The Gaia-ESO Large Public Spectroscopic Survey, *The Messenger*, 154, 47-49.

Recio-Blanco, A., de Laverny, P., Kordopatis, G., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: The Galactic Thick to Thin Disc Transition, *Astronomy and Astrophysics*, 567, 21.

Reddy, B. E., Tomkin, J., Lambert, D. L., Allende Prieto, C., 2003, The Chemical Compositions of Galactic Disc F and G Dwarfs, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 340, 304-340.

Reddy, A. B. S., Lambert, D. L., Giridhar, S., 2016, The Evolution of the Milky Way: New Insights from Open Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 463, 4366.

Roberts, W. W., 1969, Large-Scale Shock Formation in Spiral Galaxies and its Implications on Star Formation, *Astrophysical Journal*, 158, 123.

Robin, A. C., Reylé, C., Derrière, S., Picaud, S., 2003, A Synthetic View on Structure and Evolution of the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 409, 523-540.

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.

Roman, N., G., 1955, A Catalogue of High-Velocity Stars, *Astrophysical Journal Supplement*, 2, 195.

Romaniello, M., Primas, F., Mottini, M., ve diğ., 2008, The Influence of Chemical Composition on the Properties of Cepheid Stars. II. The Iron Content, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 731-747.

Romano, D., Karakas, A. I., Tosi, M., Matteucci, F., 2010, Quantifying the Uncertainties of Chemical Evolution Studies. II. Stellar Yields, *Astronomy and Astrophysics*, 522, id.A32, 27.

Rood, R. T., Quireza, C., Bania, T. M., Balser, D. S., Maciel, W. J., 2007, The Abundance Gradient in Galactic H II Regions, From Stars to Galaxies: Building the Pieces to Build Up the Universe. *ASP Conference Series, 374, proceedings of the conference held 16-20 October 2006 at Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venice, Italy. Edited by Antonella Vallenari, Rosaria Tantalo, Laura Portinari, and Alessia Moretti.*, 169.

Roškar, R., Debattista, V. P., Quinn, T. R., Stinson, G. S., Wadsley, J., 2008, Riding the Spiral Waves: Implications of Stellar Migration for the Properties of Galactic Disks, *The Astrophysical Journal Letters*, 684, L79.

Roskar, R., Debattista, V. P., Quinn, T. R., Wadsley, J., 2012, Radial Migration in Disc Galaxies - I. Transient Spiral Structure and Dynamics, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 426, 2089-2106.

Rosvick, J. M., Robb, R., 2006, A Photometric Search for Planets in the Open Cluster NGC 7086, *The Astronomical Journal*, 132, 2309-2317.

Röser, S., Schilbach, E., Goldman, B., 2016, Nine New Open Clusters within 500 pc from the Sun, *Astronomy and Astrophysics*, 595, A22.

Rudolph, A. L., Fich, M., Bell, G. R., Norsen, T., vd. 2006. "Abundance Gradients in the Galaxy", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 162, 346.

Ruprecht, J., Balázs, B., White, R. E., 1981, Catalogue of Star Clusters and Associations. Supplement 1, *Akadémiai Kiadó, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences,*732.

Ryu, J., Lee, M. G., 2018, A WISE Survey of New Star Clusters in the Central Plane Region of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 856, 152.

Salaris, M., Weiss, A., Percival, S. M., 2004, The Age of the Oldest Open Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 414, 163-174

Sampedro, L., Dias, W. S., Alfaro, E. J., Monteiro, H., Molino, A., 2017, A Multimembership Catalogue for 1876 Open Clusters Using UCAC4 Data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470, 3937-3945

Samus, N. N., Kazarovets, E. V., Pastukhova, E. N., Tsvetkova, T. M., Durlevich, O. V., 2009, A Catalog of Accurate Equatorial Coordinates for Variable Stars in Globular Clusters, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 121, 1378.

Sánchez-Blázquez, P., Courty, S., Gibson, B. K., Brook, C. B., 2009, The Origin of the Light Distribution in Spiral Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 398, 591-606.

Sandage, A. R., Eggen, O. J., 1959, On the Existence of Subdwarfs in the (MBol, log Te) Diagram, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 119, 278.

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

Sandage, A., 1962, Photometric Data for the Old Galactic Cluster NGC 188, *Astrophysical Journal*, 135, 333.

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

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

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

Santos, N. C., Lovis, C., Melendez, J., Montalto, M., Naef, D., Pace, G., 2005, Metallicities for Six Nearby Open Clusters from High-resolution Spectra of Giant Stars. [Fe/H] Values for a Planet Search Sample, *Astronomy and Astrophysics*, 538, 6.

Sarajedini, A., 1999, WIYN Open Cluster Study. III. The Observed Variation of the Red Clump Luminosity and Color with Metallicity and Age, *The Astronomical Journal*, 118, 2321-2326.

Sarajedini, A., von Hippel, T., Kozhurina-Platais, V., Demarque, P., 1999, WIYN Open Cluster Study. II. *UBVRI* CCD Photometry of the Open Cluster NGC 188, *The Astrophysical Journal*, 118, 2894-2907.

Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G., Maeder, A., 1992, New Grids of Stellar Models from 0.8 to 120 Solar Masses at Z = 0.020 and Z = 0.001, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 96, 269-331.

Schmeja, S., Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., Froebrich, D., Scholz, R.-D., 2014, Global Survey of Star Clusters in the Milky Way, III. 139 New Open Clusters at High Galactic Latitudes, *Astronomy and Astrophysics*, 568, A51.

Schmidt, E. G., 1977, Four-color and Hbeta 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: Numarical Data and Functional Relationships in Science and Techology*, 2b, eds Schaifers, K., Voigt, H. H., Springer: Berlin.

Schönrich, R., Binney, J., 2009, Origin and Structure of the Galactic Disc(s), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 1145-1156.

Schwarzschild, M., Searle, L., Howard, R., 1955, On the Colors of Subdwarfs, *Astrophysical Journal*, 122, 353.

Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *Astrophysical Journal*, 225, 357-379.

Sellwood, J. A., Binney, J. J., 2002, Radial Mixing in Galactic Discs, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 336, 785-796.

Sestito, P., Bragaglia, A., Randich, S., Pallavicini, R., Andrievsky, S. M., Korotin, S. A., 2008, Open clusters as Key Tracers of Galactic Chemical Evolution. III. Element Abundances in Berkeley 20, Berkeley 29, Collinder 261 and Melotte 66, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 943-958

Setteducati, A. F., Waever, M. F., 1962, *Newly Found Stellar Clusters* (Berkeley: Radio Astronomy Laboratory, University of California, Berkeley).

Shapley, H., 1918, Globular Clusters and the Structure of the Galactic System, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 30, 42-54.

Shapley, H., 1930, Star Clusters, *New York: Published for the Observatory by the McGraw-Hill Book Co.*

Sharma, S., Pandey, A. K., Ogura, K., Mito, H., Tarusawa, K., Sagar, R., 2006, Wide-Field CCD Photometry around Nine Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 132, 1669-1691.

Shaver, P. A., McGee, R. X.; Newton, L. M.; Danks, A. C.; Pottasch, S. R, 1983, The galactic abundance gradient, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 204, 53-112.

Simpson, J., P., Colgan, S., W. J., Rubin, R., H., Erickson, E., F., Haas, M., R., 1995, Far-Infrared Lines from H II Regions: Abundance Variations in the Galaxy, *Astrophysical Journal*, 444, 721.

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

Smartt, S. J., Rolleston, W. R. J., 1997, The Galactic Oxygen Abundance Gradient, *The Astrophysical Journal*, 481, L47.

Spina, L., Randich, S., Magrini, L., ve diğ., 2017, The Gaia-ESO Survey: the Present-Day Radial Metallicity Distribution of the Galactic Disc Probed by Pre-main-sequence Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 601, id.A70, 13.

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

Spitzer, Jr., L., Savedoff, M. P., 1950, The Temperature of Interstellar Matter. III, *Astrophysical Journal*, 111 593.

Stanghellini, L., Haywood, M., 2010, The Galactic Structure and Chemical Evolution Traced by the Population of Planetary Nebulae, *The Astrophysical Journal*, 714, 1096-1107.

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, *Astrophysical Journal*, 98, 20.

Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., ve diğ., 2006, The Radial Velocity Experiment (RAVE): First Data Release, *The Astronomical Journal*, 132, 1645-1668.

Stetson, P. B., 1980, The Dwarf Spheroidal Galaxy in Draco. III - Proper Motion Membership Probabilities, *Astronomical Journal*, 85, 387-397.

Stetson, P. B., McClure, R. D., VandenBerg, D. A., 2004, A Star Catalog for the Open Cluster NGC 188, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116, 1012.

Straizys, V., Cernis, K., Maistas, E., 1992, Probable Open Clusters NGC 1750 and NGC 1758 Behind the Taurus Dark Clouds, *Baltic Astronomy*, 1, 125-141.

Subramaniam, A., Mathew, B., Kartha, S. S., 2006, Star Formation in the Region of Young Open Cluster - NGC 225, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 34,315.

Sujatha, S., Babu, G. S. D., 2003, Study of Old Open Clusters NGC 1605, Czernik 18, NGC 2509, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 31, 379-382.

Sujatha, S., Babu, G. S. D., Ananthamurthy, S., 2004, UBVRI CCD Photometric Studies of Open Clusters Berkeley 15, Czernik 18 and NGC 2401, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 32, 295-309.

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

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

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

Svolopoulos, S. N., 1962, Spectral Classification in Nine Open Clusters, *Astrophysical Journal*, 136, 788.

Sziládi, K., Vinkó, J., Poretti, E., Szabados, L., Kun, M., 2007, New Homogeneous Iron Abundances of Double-Mode Cepheids from High-Resolution Echelle Spectroscopy, *Astronomy and Astrophysics*, 473, 579-587.

Tadross, A. L., 2001, Morphological Analysis of Open Clusters' Properties. I. Properties Estimations, *New Astronomy*, 6, 293-306.

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

Tapia, M. T., Schuster, W. J., Michel, R., C. Chavarría-K., Dias, W. S., Vázquez, R., Moitinho, A., 2010, UBV(RI)C Photometry of the Open Clusters Be 15, Be 80 and NGC 2192, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401, 621-632.

Tautvaišienė, G., Drazdauskas, A., Mikolaitis, Š., Barisevičius, G., Puzeras, E., Stonkutė, E., Chorniy, Y., Magrini, L., Romano, D. ve diğ., 2015, The Gaia-ESO Survey: CNO abundances in the Open Clusters Trumpler 20, NGC 4815, and NGC 6705, *Astronomy and Astrophysics*, 573, 13.

Torrealba, G., Belokurov, V., Koposov, S. E., 2019, Nine Tiny Star Clusters in *Gaia* DR1, PS1, and DES, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484, 2181-2197.

Tosi, M., 1988a, The Effect of Metal-Rich Infall on Galactic Chemical Evolution, *Astronomy and Astrophysics*, 197, 47-51.

Tosi, M., 1988b, Models of Galactic Chemical Evolution - The Problem of Uniqueness, *Astronomy and Astrophysics*, 197, 33-46.

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

Trumpler, R. J., 1930, Preliminary Results on the Distances, Dimensions and Space Distribution of Open Star Clusters, *University of California Publications Astronomy, Lick Observatory bulletin*, 420, 154-188.

Tsikoudi, V., 1979, Photometry and Structure of Lenticular Galaxies. I- NGC 3115, *Astrophysical Journal*, 234, 842-853.

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, article id.186, 18.

Turner, D. G., Mandushev, G. I., Forbes, D., 1994, Galactic Clusters with Associated Cepheid Variables. IV. C2128+488 (ANON. PLATAIS) and V1726 Cygni, *Astronomical Journal*, 107, 1796-1805.

Twarog, B. A., Anthony-Twarog, B. J., 1989, NGC 188, the Age of the Galactic Disk, and the Evolution of the Li Abundance, *Astronomical Journal*, 97, 759-770.

Twarog, B. A., Anthony-Twarog, B. J., 1994, DDO Metallicity Calibration for Metal-deficient Red Giants and the Disk-halo Transition, *The Astronomical Journal*, 107, 1371-1380.

Twarog, B. A., Ashman, K. M., Anthony-Twarog, B. J., 1997, Some Revised Observational Constraints on the Formation and Evolution of the Galactic Disk, *Astronomical Journal*, 114, 2556-2585.

Vallée, J. P., 2002, Metastudy of the Spiral Structure of Our Home Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 566, 261-266.

Vallée, Jacques P., 2005, The Spiral Arms and Interarm Separation of the Milky Way: An Updated Statistical Study, *The Astronomical Journal*, 130, 569-575.

Van den Bergh S., 1958, Old Galactic Clusters. *Zeitschrift für Astrophysik*, 46, 176.

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

VandenBerg, D. A., 1985, Evolution of 0.7-3.0 Solar Masses Stars Having Fe/H between -1.0 and 0.0, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 58, 711-769.

VandenBerg, D. A., Poll, H. E., 1989, On Precise ZAMSs, the Solar Color, and Pre-Main-Sequence Lithium Depletion, *Astronomical Journal*, 98, 1451-1471

VandenBerg, D. A., Stetson, P. B., 2004, On the Old Open Clusters M67 and NGC 188: Convective Core Overshooting, Color-Temperature Relations, Distances, and Ages, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116, 997-1011.

Vansevicius, V., Platais, I., Paupers, O., Abolins, E., 1997, A Study of the Open Cluster NGC 7209 in the Vilnius Photometric System, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 285, 871-878.

Vasilevskis, S., Klemola, A., Preston, G., 1958, Relative Proper Motions of Stars in the Region of the Open Cluster NGC 6633, *Astronomical Journal*, 63, 387-395.

Villanova, S., Baume, G., Carraro, G., Geminale, A., 2004, Optical Photometry and Spectral Classification in the Field of the Open Cluster NGC 6996 in the North America Nebula, *Astronomy and Astrophysics*, 419, 149-159.

Villanova, S., Randich, S., Geisler, D., Carraro, G., Costa, E., 2010, The Metallicity of the Open Cluster Tombaugh 2, *Astronomy and Astrophysics*, 509, id.A102, 10.

von Hippel, T., Sarajedini, A., 1998, WIYN Open Cluster Study. I. Deep Photometry of NGC 188, *The Astronomical Journal*, 116, 1789-1800.

Walker, A. R., 1985, The Distance to the LMC from ZAMS Fitting to the Young Cluster NGC 1866, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 217, 13-15.

Wallerstein, G., 1962, Abundances in G. Dwarfs. VI. A Survey of Field Stars, *Astrophysical Journal Supplement*, 6, 407.

Wang, J., Ma, J., Wu, Z., Wang, S., Zhou, X., 2015, BATC 15 Band Photometry of the Open Cluster NGC 188, *The Astronomical Journal*, 150, article id. 61, 8.

Weinberg, M. D., Blitz, L., 2006, A Magellanic Origin for the Warp of the Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 641, L33-L36.

Westerhout, G., 1957, The Distribution of Atomic Hydrogen in the Outer Parts of the Galactic System, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 13, 201.

Whittet, D. C. B., 1977, The Dependence of the Extinction Ratio on Galactic Longitude, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 180, 29-35.

Wildey, R. L., Burbidge, E. M., Sandage, A. R., Burbidge, G. R., 1962, On the Effect of Fraunhofer Lines on u, b, V Measurements, *Astrophysical Journal*, 135, 94.

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

Xu, Y., Reid, M., Dame, T., Menten, K., Sakai, N., Li, J., Brunthaler, A., Moscadelli, L., Zhang, B., Zheng, X., 2016, The Local Spiral Structure of the Milky Way, *Science Advances*, 2, e1600878.

Xu, Y., Voronkov, M. A., Pandian, J. D., Li, J. J., Sobolev, A. M., Brunthaler, A., Ritter, B., Menten, K. M., 2009, Absolute Positions of 6.7-GHz Methanol Masers, *Astronomy and Astrophysics*, 507, 1117-1139

Yadav, R. K. S., Sariya, D. P., Sagar, R., 2013, Proper Motions and Membership Probabilities of Stars in the Region of Open Cluster NGC 3766, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 430, 3350-3358.

Yanny, B., Newberg, H. J., Grebel, E. K., ve diğ., 2003, A Low-Latitude Halo Stream around the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 588, 824-841.

Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H. J., ve diğ., 2009, SEGUE: A Spectroscopic Survey of 240,000 Stars with g = 14-20, *The Astronomical Journal*, 137, 4377-4399.

Yaz, E., Karaali, S., 2010, Estimation of Galactic Model Parameters and Metalicity Distribution in Intermediate Latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 15, 234.

Yen, S. X., Reffert, S., Schilbach, E., Röser, S., Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., 2018, Reanalysis of Nearby Open Clusters Using Gaia DR1/TGAS and HSOY, *Astronomy and Astrophysics*, 615, id.A12, 21.

Yong, D., Carney, B. W., de Almeida, L., 2005, Elemental Abundance Ratios in Stars of the Outer Galactic Disk. I. Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 130, 597-625

Yong, D., Carney, B. W., Friel, E. D., 2012, Elemental Abundance Ratios in Stars of the Outer Galactic Disk. IV. A New Sample of Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 144, article id. 95.

Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z. F., ve diğ., 2015, CCD UBVRI Photometry of NGC 6811, *Astrophysics and Space Science*, 355, 267-281.

Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z. F., ve diğ., 2019, CCD UBV Photometric and Gaia Astrometric Study of Eight Open Clusters ASCC 115, Collinder 421, NGC 6793, NGC 7031, NGC 7039, NGC 7086, Roslund 1 and Stock 21, *Astrophysics and Space Science*, 364, 9, 152.

York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., ve diğ., 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *The Astrophysical Journal*, 120, 1579-1587.

Yun, J. L., Elia, D., Palmeirim, P. M., Gomes, J. I., Martins, A. M., 2009, Molecular Gas and a New Young Stellar Cluster in the Far Outer Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 500, 833-843.

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

Zaritsky, D., 1999, The Third Stromlo Symposium: The Galactic Halo, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 165, 34

Zdanavičius, J., Vrba, F. J., Zdanavičius, K., Straižys, V., Boyle, R. P., 2011, CCD Photometry of the Open Cluster Tombaugh 5 in the Vilnius System, *Baltic Astronomy*, 20, 1-25.

Zelwanowa, E., Schöneich, W., 1972, Pekuliare A-Sterne in Offenen Sternhaufen. I. Photoelektrische UBV-Photometrie und MK-Klassifikation von Sternen im Gebiet von NGC 7039, *Astronomische Nachrichten*, 293, 155.

Zhao, G., Zhao, Y., Chu, Y., Jing, Y., Deng, L., 2012, LAMOST Spectral Survey - An Overview, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 723-734.

Zhao, J. L., He, Y. P., 1990, An Improved Method for Membership Determination of Stellar Clusters with Proper Motions with Different Accuracies, *Astronomy and Astrophysics*, 237, 54.

Zhao, J. L., Shao, Z. Y., 1994, Statistical Deformation of Line-of-sight Velocity Membership of Galaxy Clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 288, 89-96.

Zhong, J., Chen, L., Zhang, C., Shao, Z., Hou, J., 2018, Open Cluster Study in LAMOST DR3, Rediscovering our Galaxy, *Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 334, 391-393.

Zucker, D. B., De Silva, G., Freeman, K. C., Bland-Hawthorn, J., HERMES Team, 2013, GALAH Takes Flight, *American Astronomical Society*, AAS Meeting #221, id.234.06.

Zwart, S. F., McMillan, S. L. W., Gieles, M., 2010, Young Massive Star Clusters, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 48, 431-493.

EKLER

Tablo EK 1: Kümelerin görünen parlaklığının bir foksiyonu olarak ortalama fotometrik hatalar.

Stock 21				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	7	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	61	0.001	0.003	0.002
$14 < V \leq 16$	221	0.002	0.008	0.003
$16 < V \leq 18$	752	0.005	0.029	0.008
$18 < V \leq 20$	1619	0.019	0.117	0.032
$20 < V \leq 22$	599	0.060	0.221	0.108
$22 < V \leq 24$	5	0.332	0.311	0.431

NGC 225				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	2	0.001	0.003	0.002
$10 < V \leq 12$	19	0.002	0.003	0.003
$12 < V \leq 14$	39	0.002	0.004	0.003
$14 < V \leq 16$	116	0.006	0.019	0.009
$16 < V \leq 18$	390	0.019	0.092	0.036
$18 < V \leq 20$	777	0.071	0.236	0.156
$20 < V \leq 22$	39	0.192	0.411	0.352
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

NGC 1605				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	---	---	---	---
$12 < V \leq 14$	23	0.001	0.002	0.001
$14 < V \leq 16$	160	0.002	0.002	0.002
$16 < V \leq 18$	277	0.005	0.030	0.008
$18 < V \leq 20$	1351	0.020	0.092	0.035
$20 < V \leq 22$	529	0.054	0.215	0.103
$22 < V \leq 24$	3	0.494	---	0.596

NGC 6728				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	1	0.002	0.002	0.002
$10 < V \leq 12$	24	0.007	0.022	0.009
$12 < V \leq 14$	133	0.013	0.050	0.016
$14 < V \leq 16$	735	0.006	0.029	0.008
$16 < V \leq 18$	3048	0.021	0.093	0.026
$18 < V \leq 20$	4155	0.054	0.192	0.067
$20 < V \leq 22$	3	0.186	0.184	0.202
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

NGC 6793				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	24	0.001	0.003	0.002
$12 < V \leq 14$	53	0.001	0.004	0.002
$14 < V \leq 16$	215	0.002	0.017	0.004
$16 < V \leq 18$	1280	0.005	0.064	0.013
$18 < V \leq 20$	5563	0.020	0.128	0.066
$20 < V \leq 22$	2874	0.051	0.242	0.177
$22 < V \leq 24$	1	0.650	---	0.694

NGC 6800				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	19	0.002	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	72	0.004	0.011	0.007
$14 < V \leq 16$	409	0.004	0.014	0.006
$16 < V \leq 18$	2157	0.014	0.045	0.020
$18 < V \leq 20$	5153	0.048	0.122	0.074
$20 < V \leq 22$	268	0.117	0.224	0.181
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

NGC 6811				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	2	0.001	0.002	0.001
$10 < V \leq 12$	27	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	112	0.002	0.004	0.003
$14 < V \leq 16$	246	0.002	0.007	0.004
$16 < V \leq 18$	683	0.007	0.026	0.011
$18 < V \leq 20$	532	0.018	0.077	0.030
$20 < V \leq 22$	3	0.038	0.098	0.057
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

Roslund 1				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	2	0.001	0.002	0.001
$10 < V \leq 12$	27	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	112	0.002	0.004	0.003
$14 < V \leq 16$	246	0.002	0.007	0.004
$16 < V \leq 18$	683	0.007	0.026	0.011
$18 < V \leq 20$	532	0.018	0.077	0.030
$20 < V \leq 22$	3	0.038	0.098	0.057
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

Tablo EK 1 (Devam):

Dolidze 36				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	7	0.001	0.002	0.001
$10 < V \leq 12$	21	0.002	0.003	0.002
$12 < V \leq 14$	78	0.004	0.014	0.008
$14 < V \leq 16$	377	0.003	0.010	0.005
$16 < V \leq 18$	1351	0.009	0.039	0.016
$18 < V \leq 20$	1895	0.029	0.108	0.054
$20 < V \leq 22$	5	0.076	---	0.152
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

Colinder 421				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	1	0.000	0.001	0.001
$10 < V \leq 12$	18	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	67	0.001	0.006	0.002
$14 < V \leq 16$	111	0.002	0.023	0.004
$16 < V \leq 18$	180	0.007	0.110	0.015
$18 < V \leq 20$	277	0.024	--	0.082
$20 < V \leq 22$	66	0.072	--	0.226
$22 < V \leq 24$	2	0.278	---	0.462

NGC 7031				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	6	0.001	0.003	0.001
$12 < V \leq 14$	35	0.002	0.008	0.003
$14 < V \leq 16$	126	0.003	0.032	0.004
$16 < V \leq 18$	377	0.003	0.058	0.009
$18 < V \leq 20$	1196	0.013	0.077	0.049
$20 < V \leq 22$	958	0.039	---	0.150
$22 < V \leq 24$	10	0.296	---	0.425

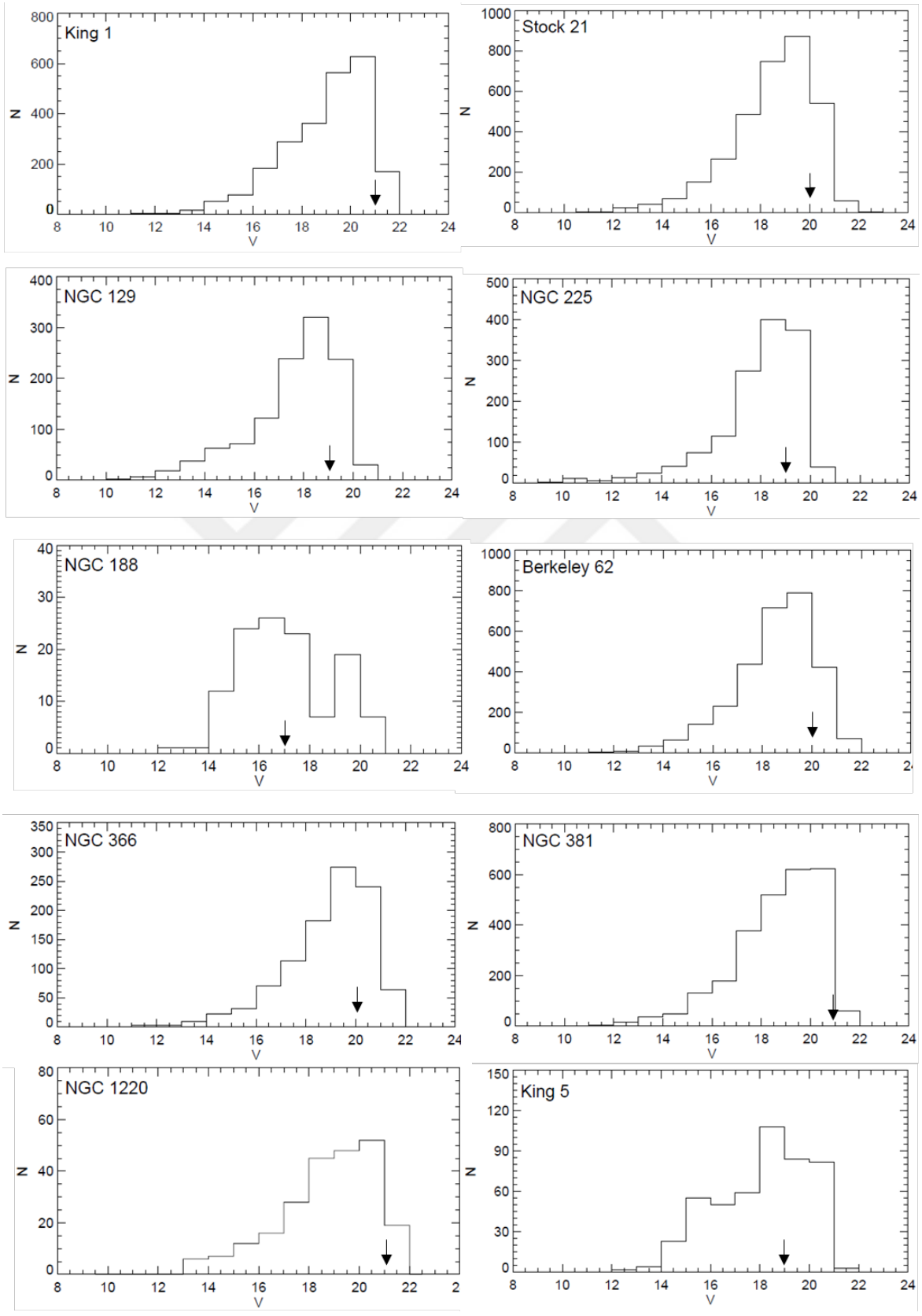
NGC 7039				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	3	0.001	0.001	0.001
$10 < V \leq 12$	24	0.002	0.004	0.003
$12 < V \leq 14$	90	0.002	0.003	0.002
$14 < V \leq 16$	473	0.003	0.007	0.004
$16 < V \leq 18$	1829	0.008	0.025	0.011
$18 < V \leq 20$	5012	0.031	0.100	0.048
$20 < V \leq 22$	2611	0.084	0.187	0.142
$22 < V \leq 24$	4	0.511	---	0.618

Platais 1				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	11	0.002	0.003	0.002
$12 < V \leq 14$	74	0.006	0.018	0.010
$14 < V \leq 16$	404	0.014	0.036	0.024
$16 < V \leq 18$	837	0.043	0.097	0.090
$18 < V \leq 20$	18	0.107	0.210	0.221
$20 < V \leq 22$	---	---	---	---
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

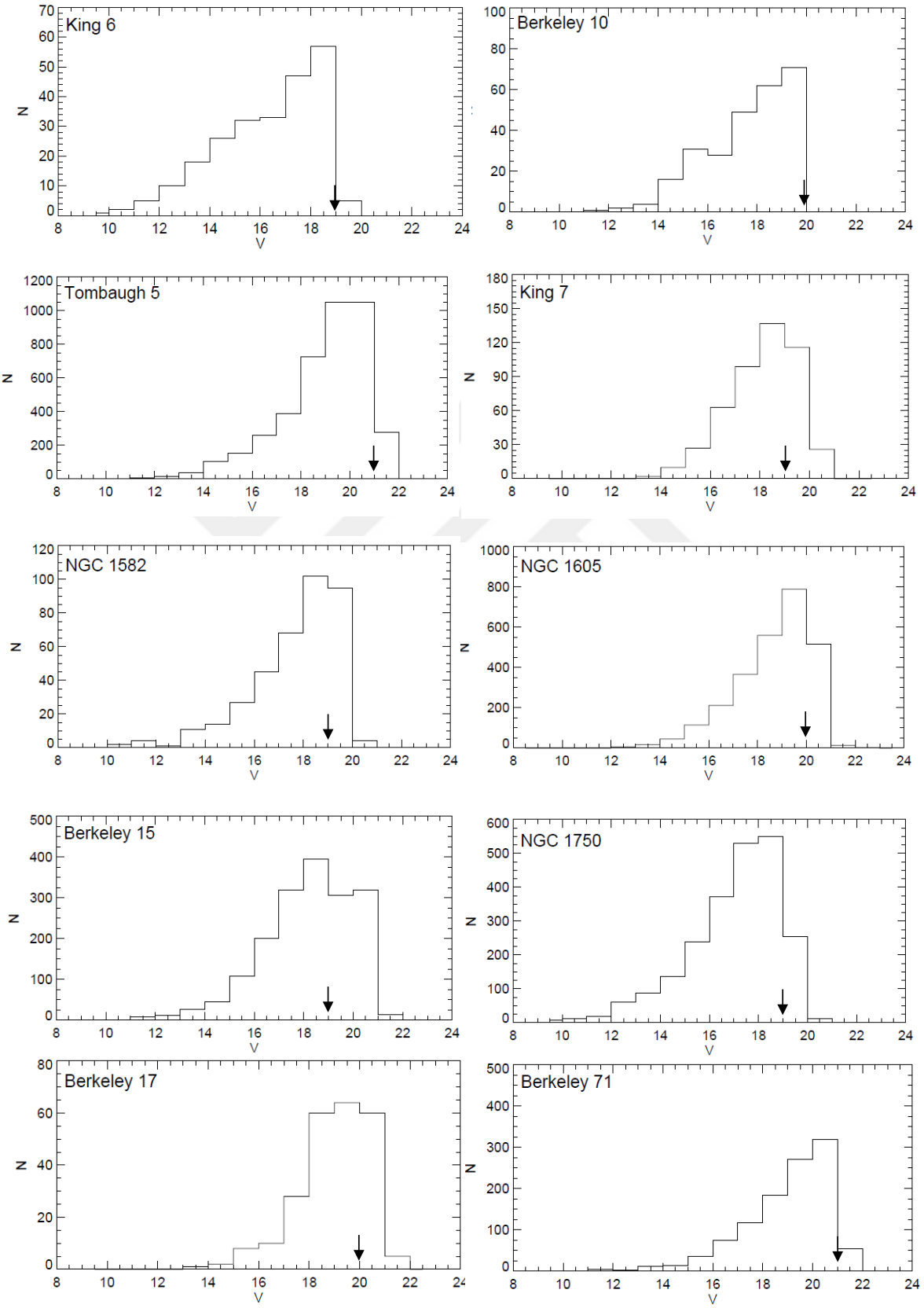
NGC 7086				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	---	---	---	---
$10 < V \leq 12$	16	0.001	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	81	0.001	0.002	0.001
$14 < V \leq 16$	316	0.002	0.009	0.004
$16 < V \leq 18$	741	0.007	0.046	0.014
$18 < V \leq 20$	1217	0.027	0.139	0.064
$20 < V \leq 22$	67	0.072	0.191	0.157
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

NGC 7209				
V parlaklığı	N	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}
$8 < V \leq 10$	3	0.001	0.002	0.001
$10 < V \leq 12$	47	0.002	0.002	0.002
$12 < V \leq 14$	110	0.004	0.007	0.005
$14 < V \leq 16$	348	0.004	0.007	0.005
$16 < V \leq 18$	1208	0.012	0.023	0.016
$18 < V \leq 20$	1539	0.036	0.075	0.049
$20 < V \leq 22$	20	0.095	0.289	0.144
$22 < V \leq 24$	---	---	---	---

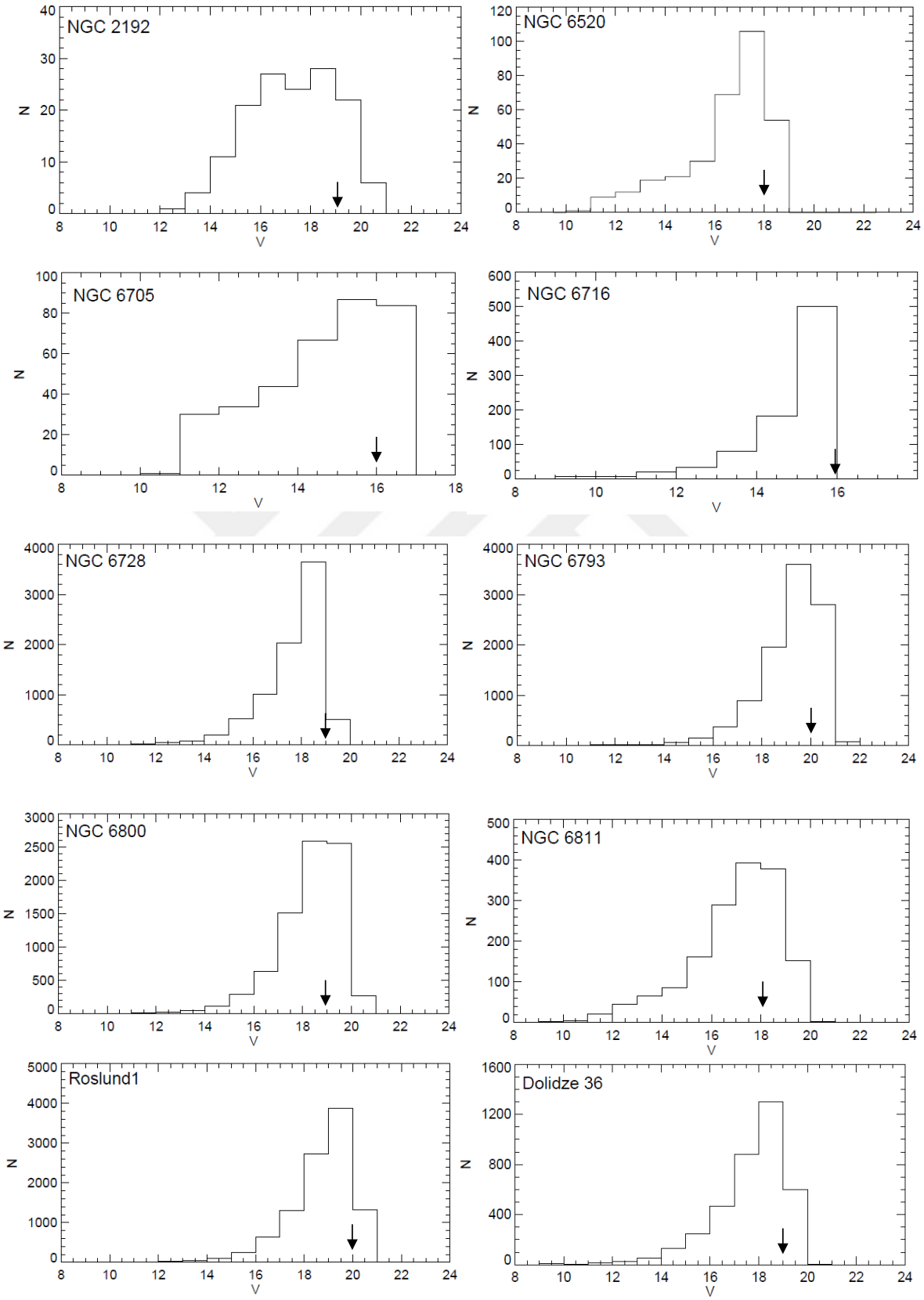
Şekil EK 1: Kümelerin fotometrik tamlık sınırları şekil üzerinde ok ile gösterilmiştir.



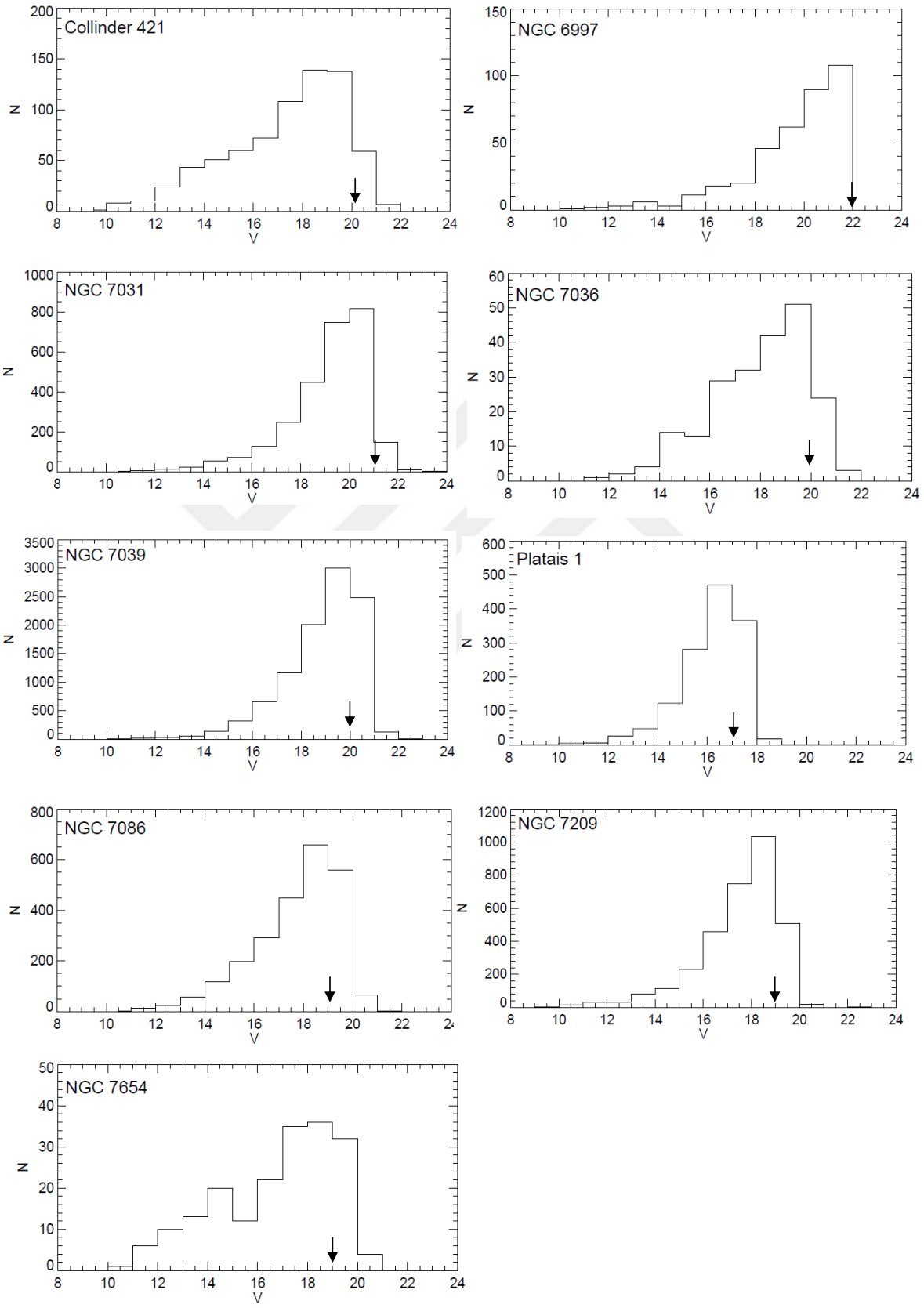
Şekil EK 1 (Devam):



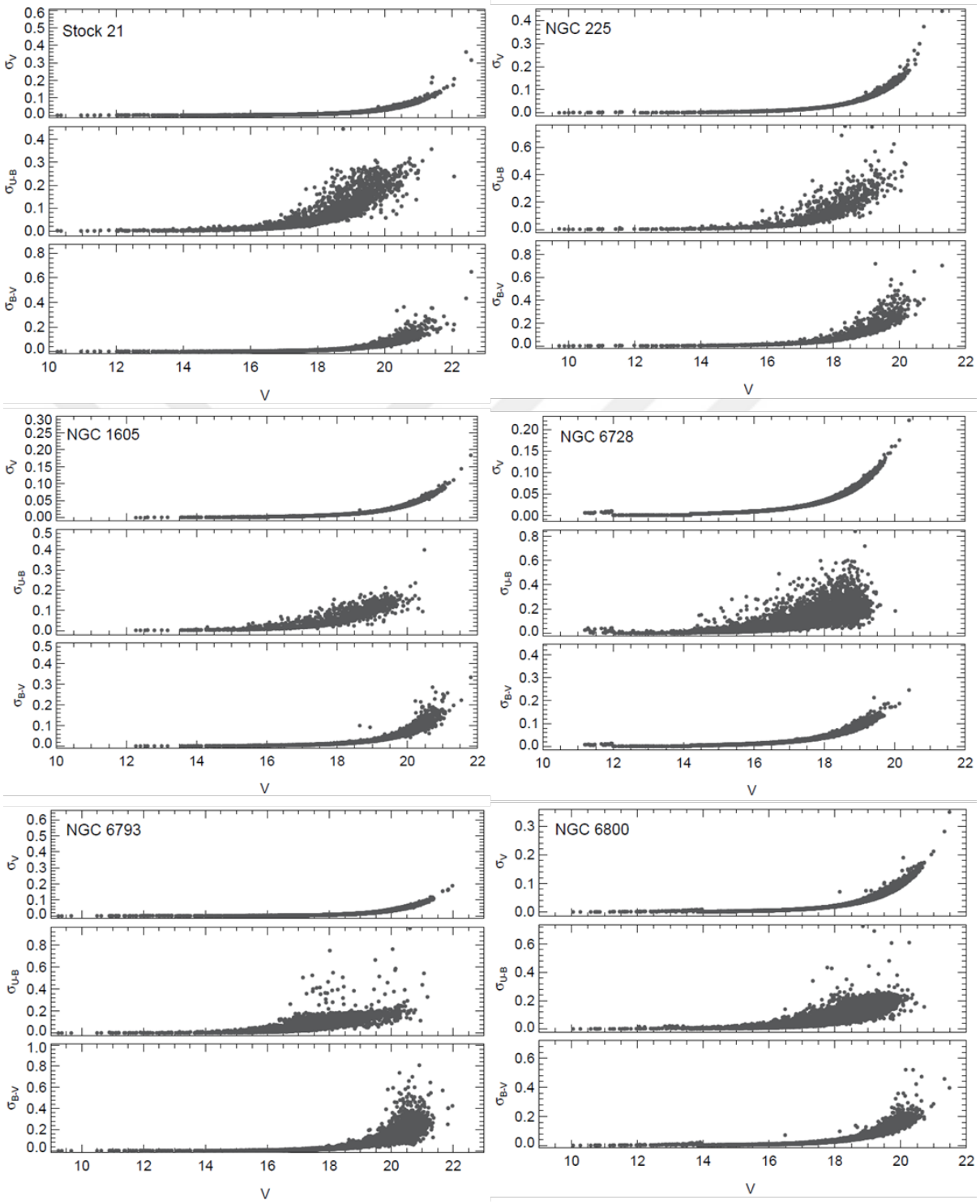
Şekil EK 1 (Devam):



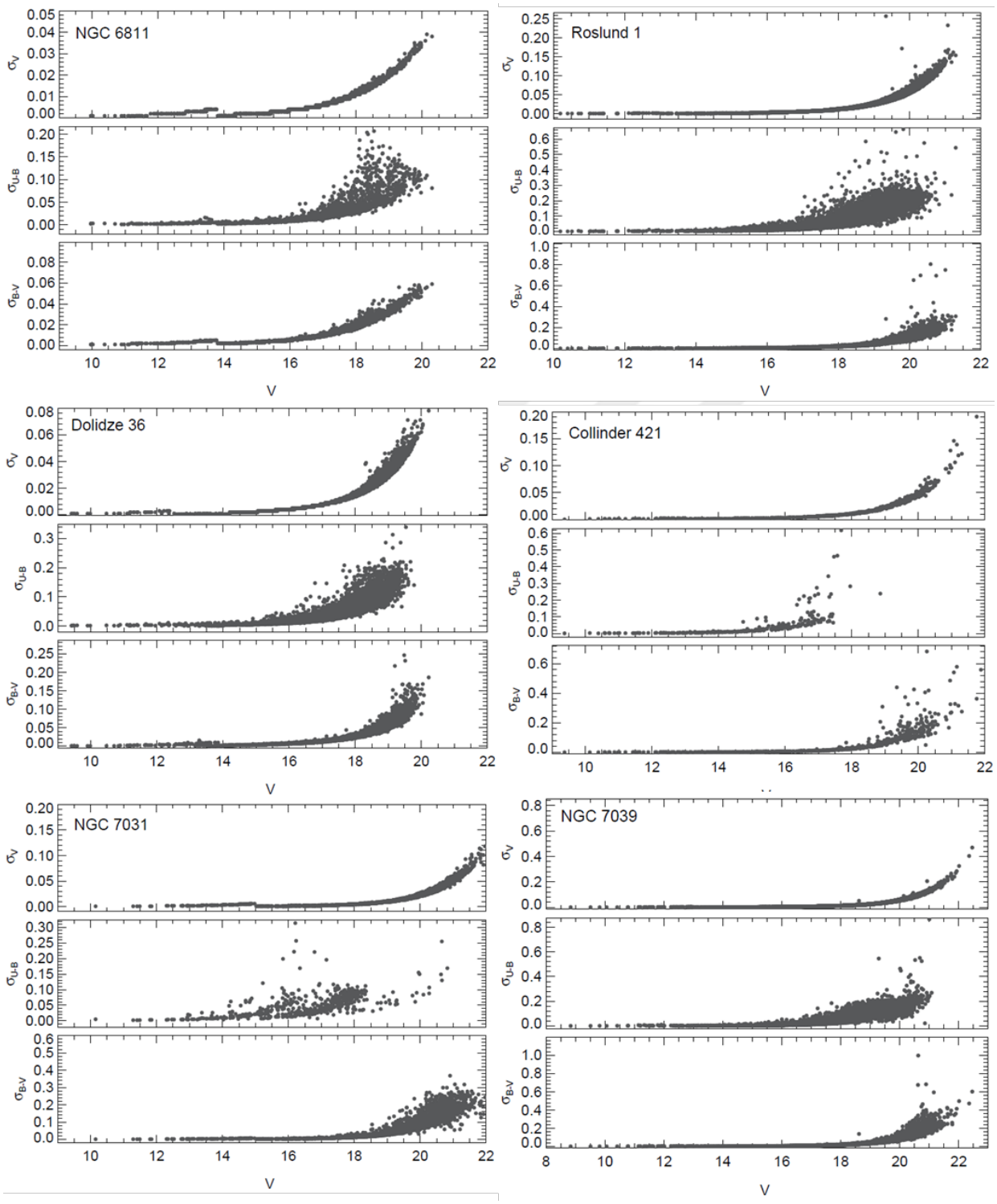
Şekil EK 1 (Devam):



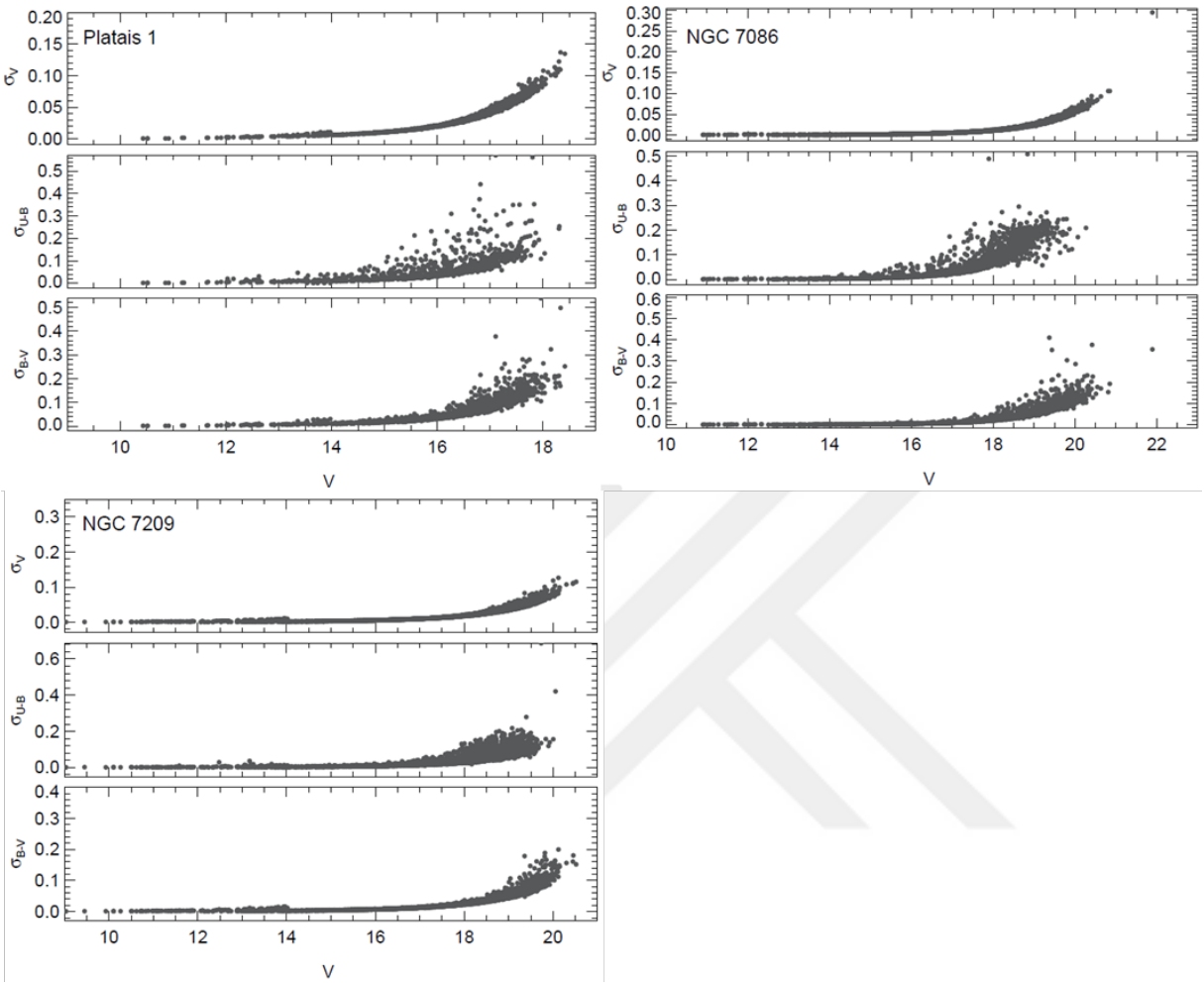
Şekil EK 2: Kümelerin fotometrik parlaklık ve renk hata diyagramları.



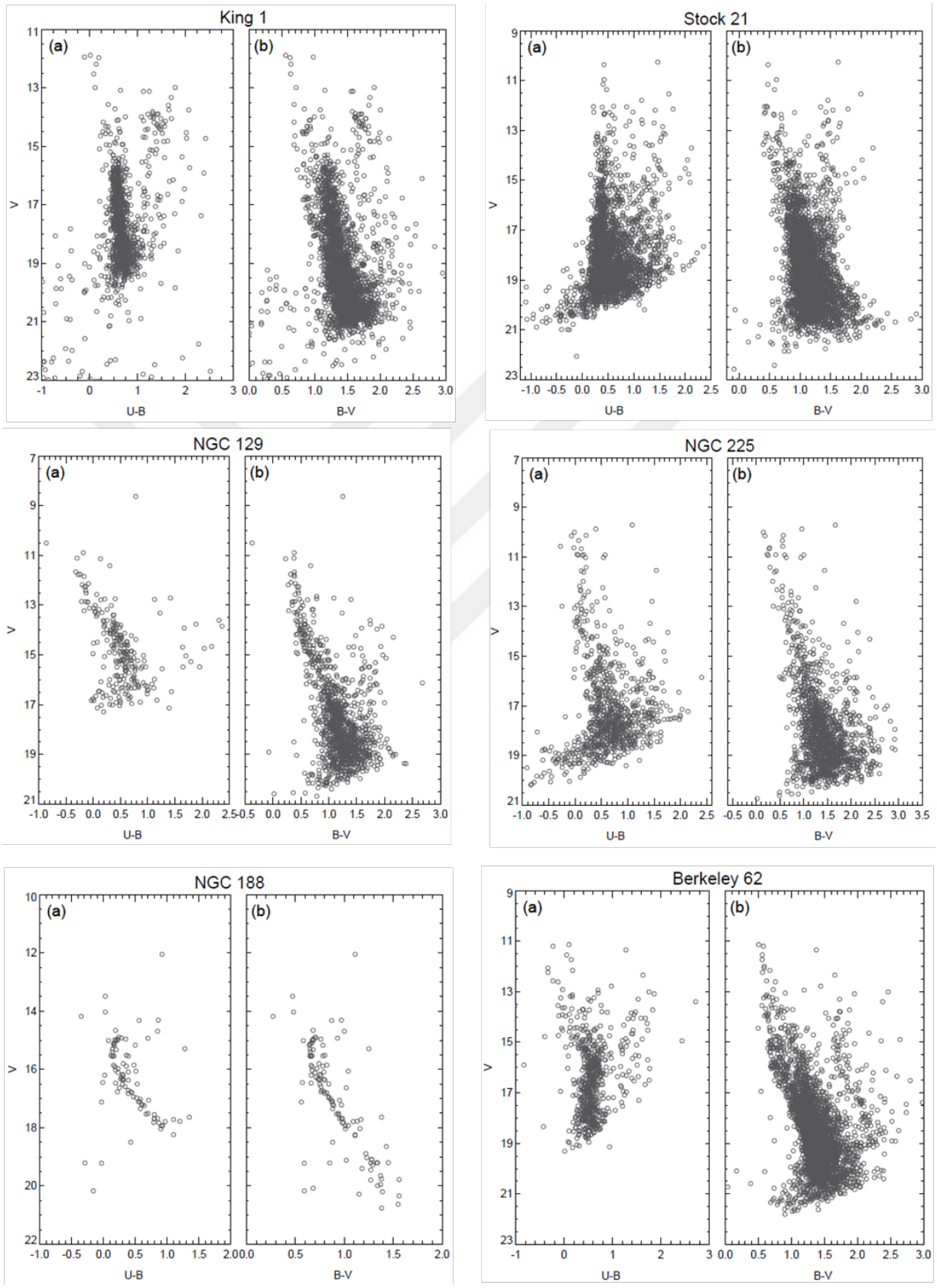
Şekil EK 2 (Devam):



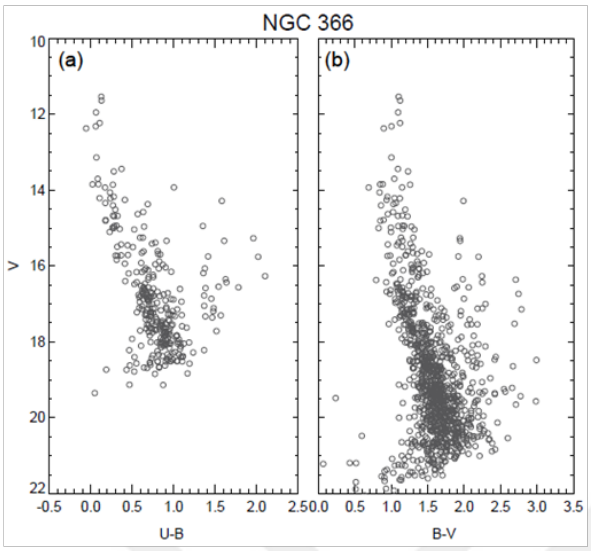
Şekil EK 2 (Devam):

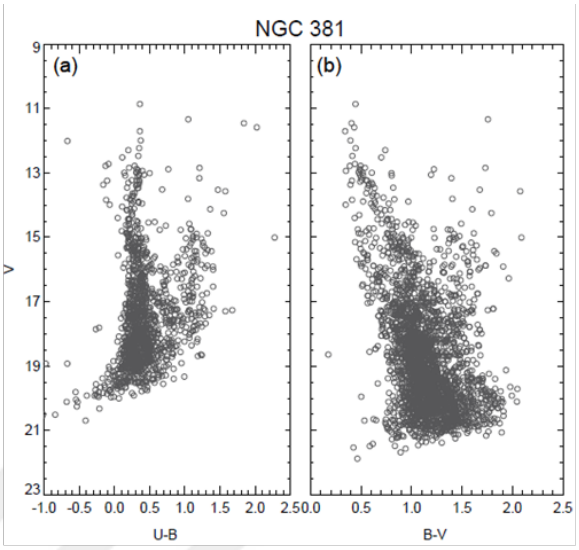


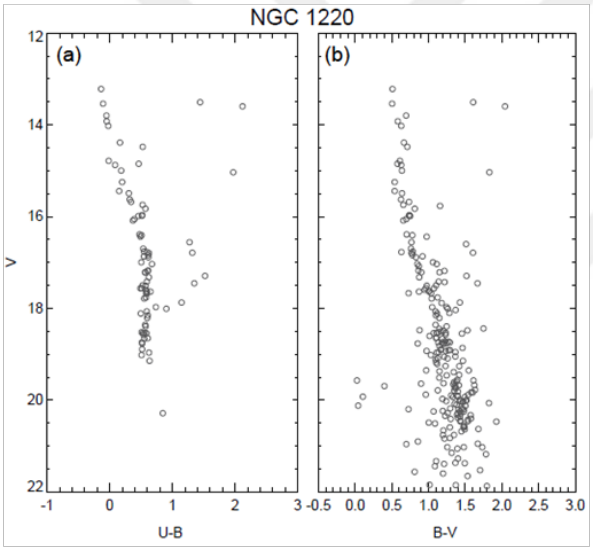
Şekil EK 3: Kümelerin renk-parlaklık diyagramları.

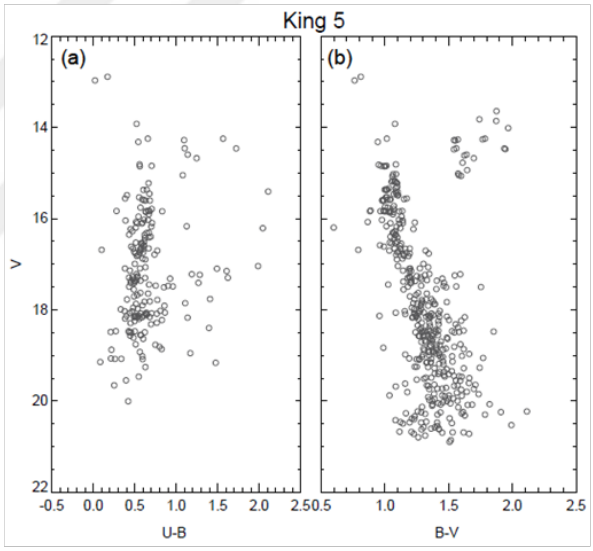


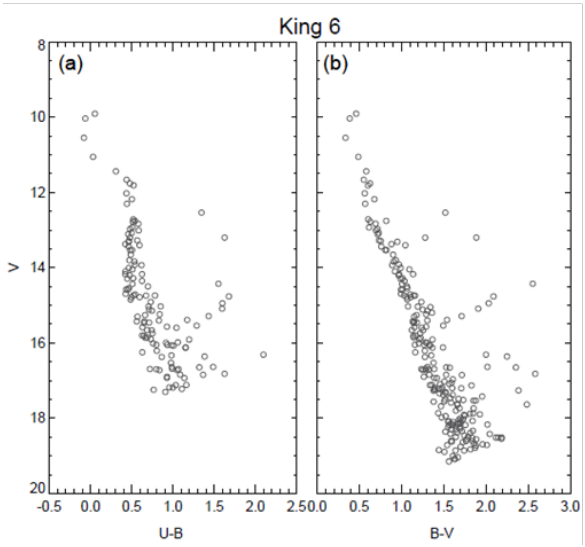
Şekil EK 3 (Devam):

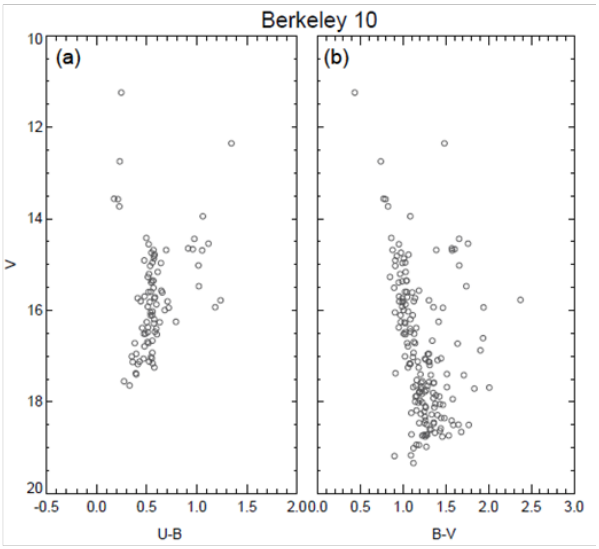




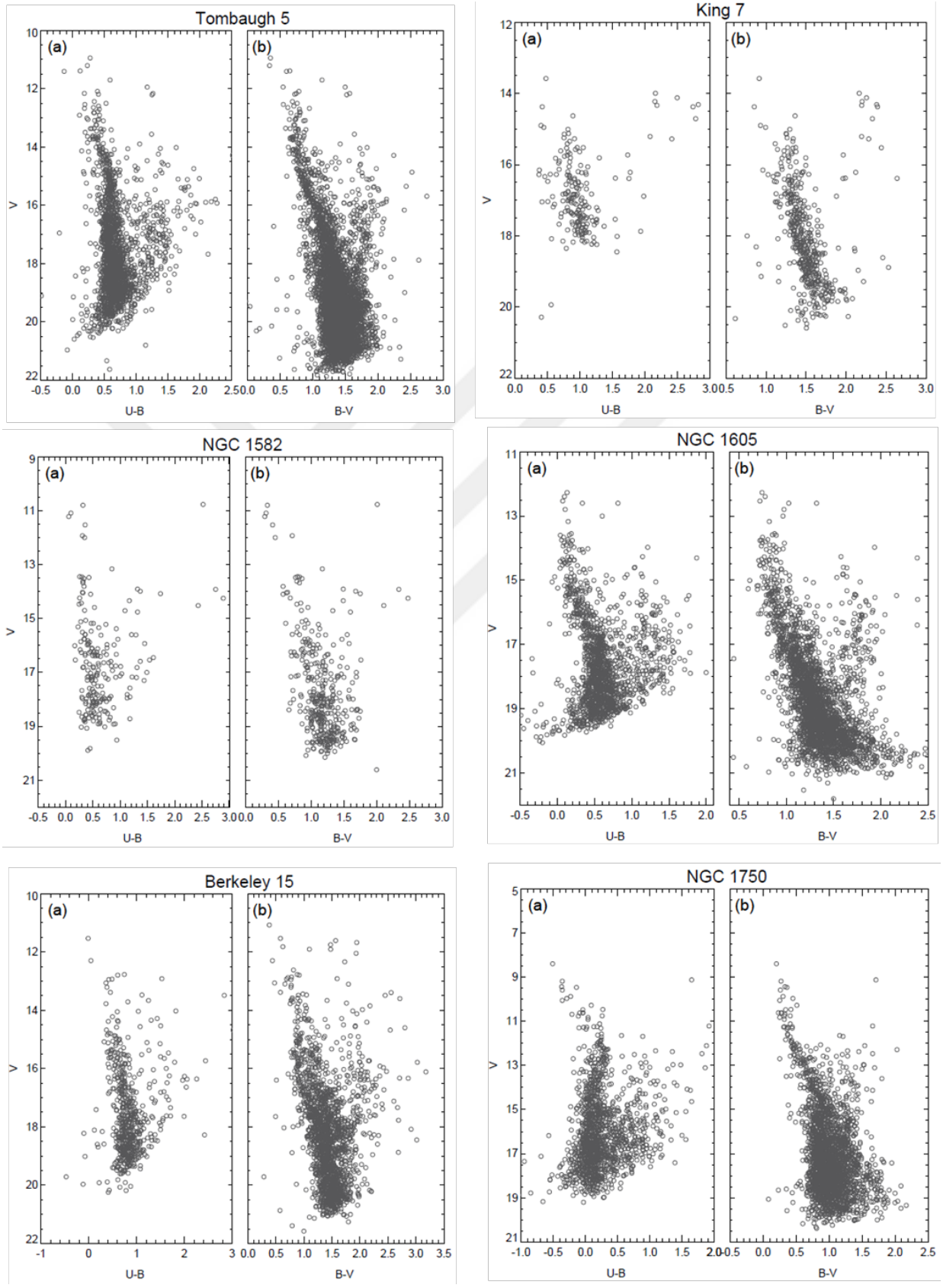




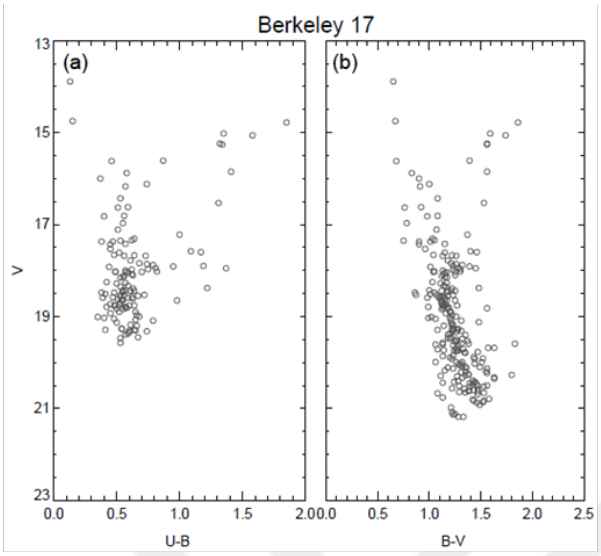


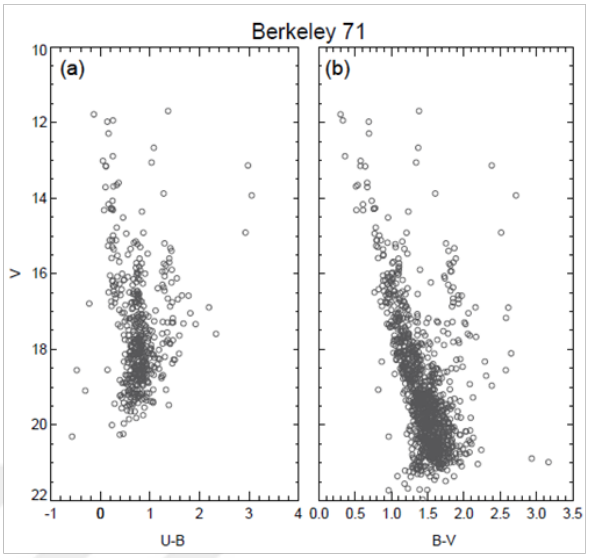


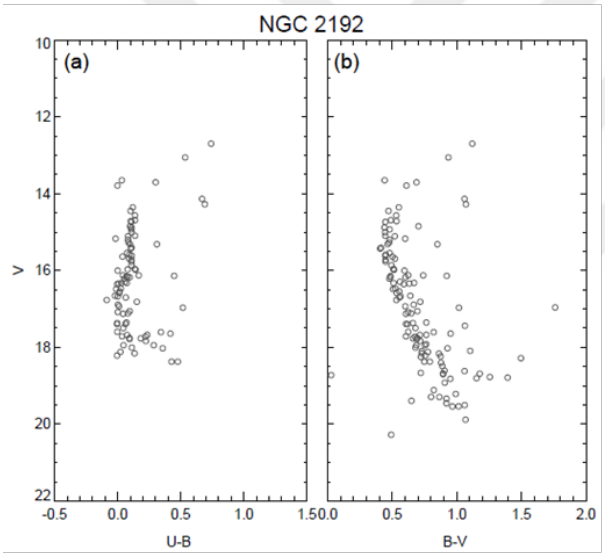
Şekil EK 3 (Devam):

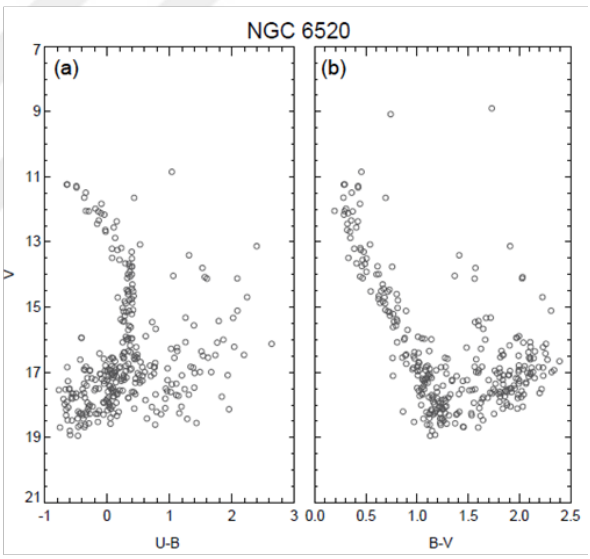


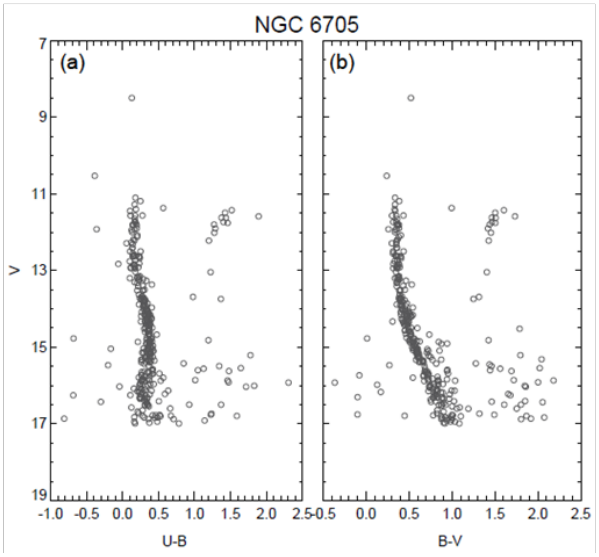
Şekil EK 3 (Devam):

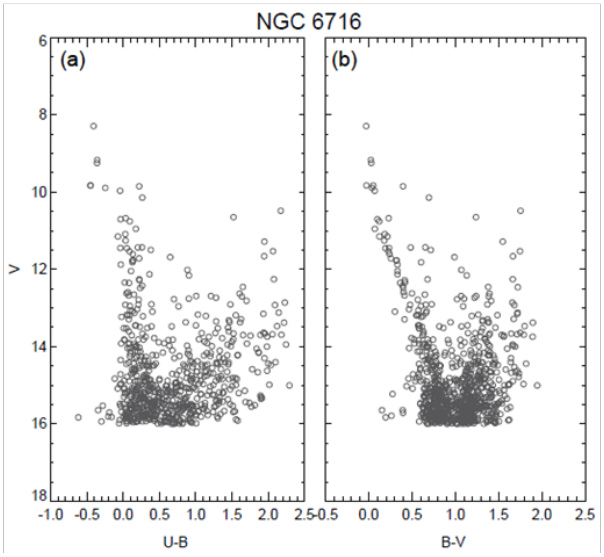




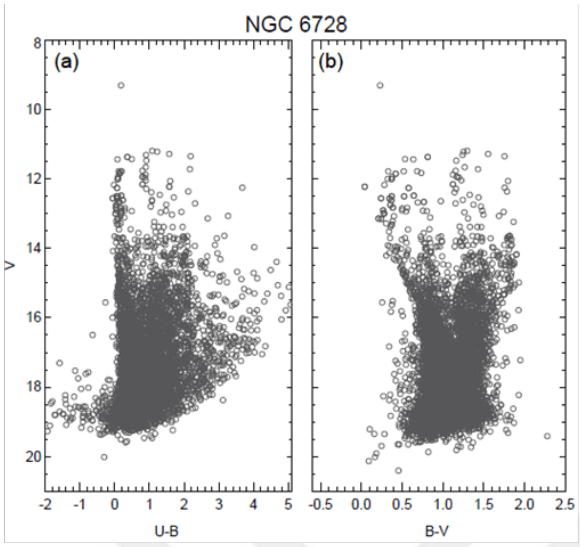


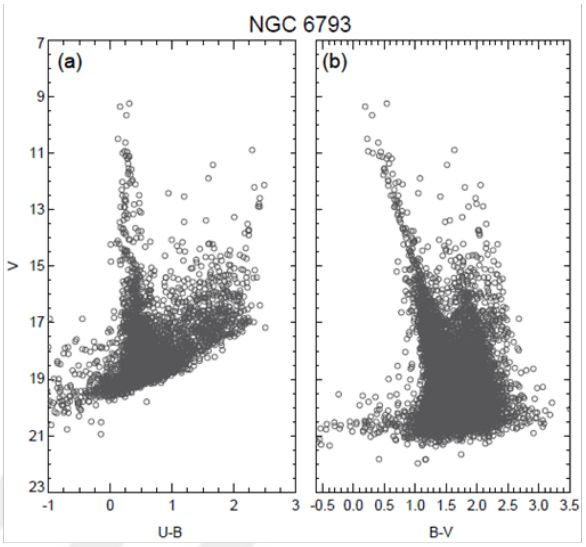


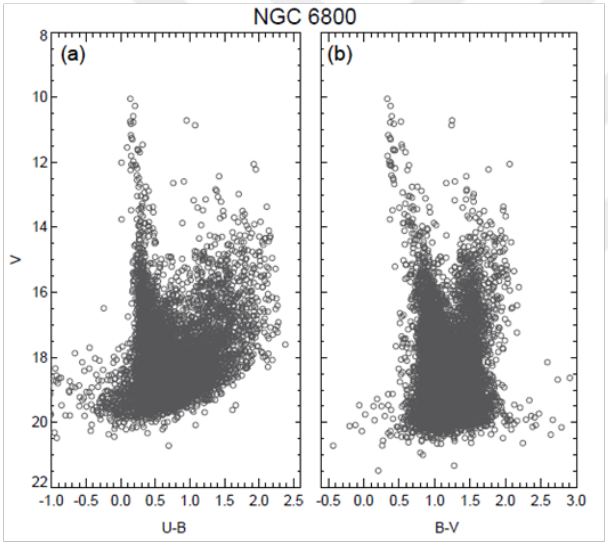


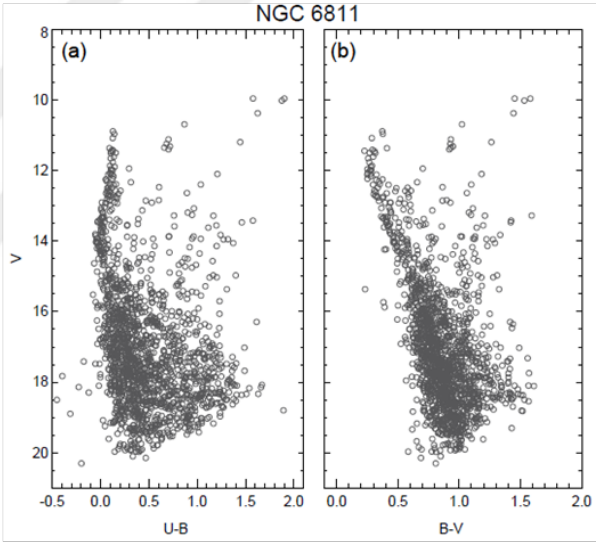


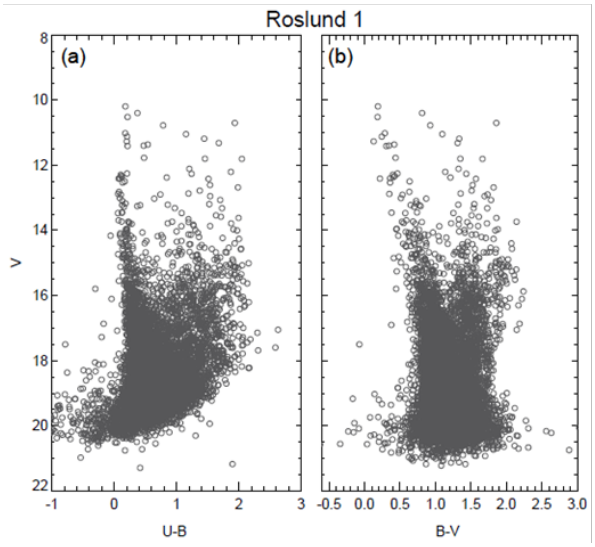
Şekil EK 3 (Devam):

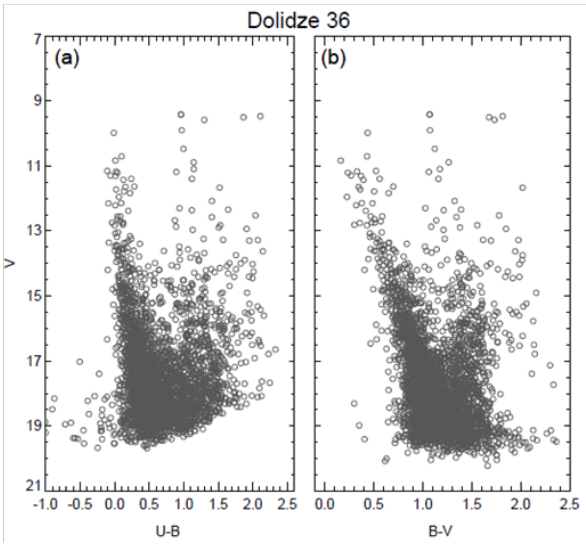




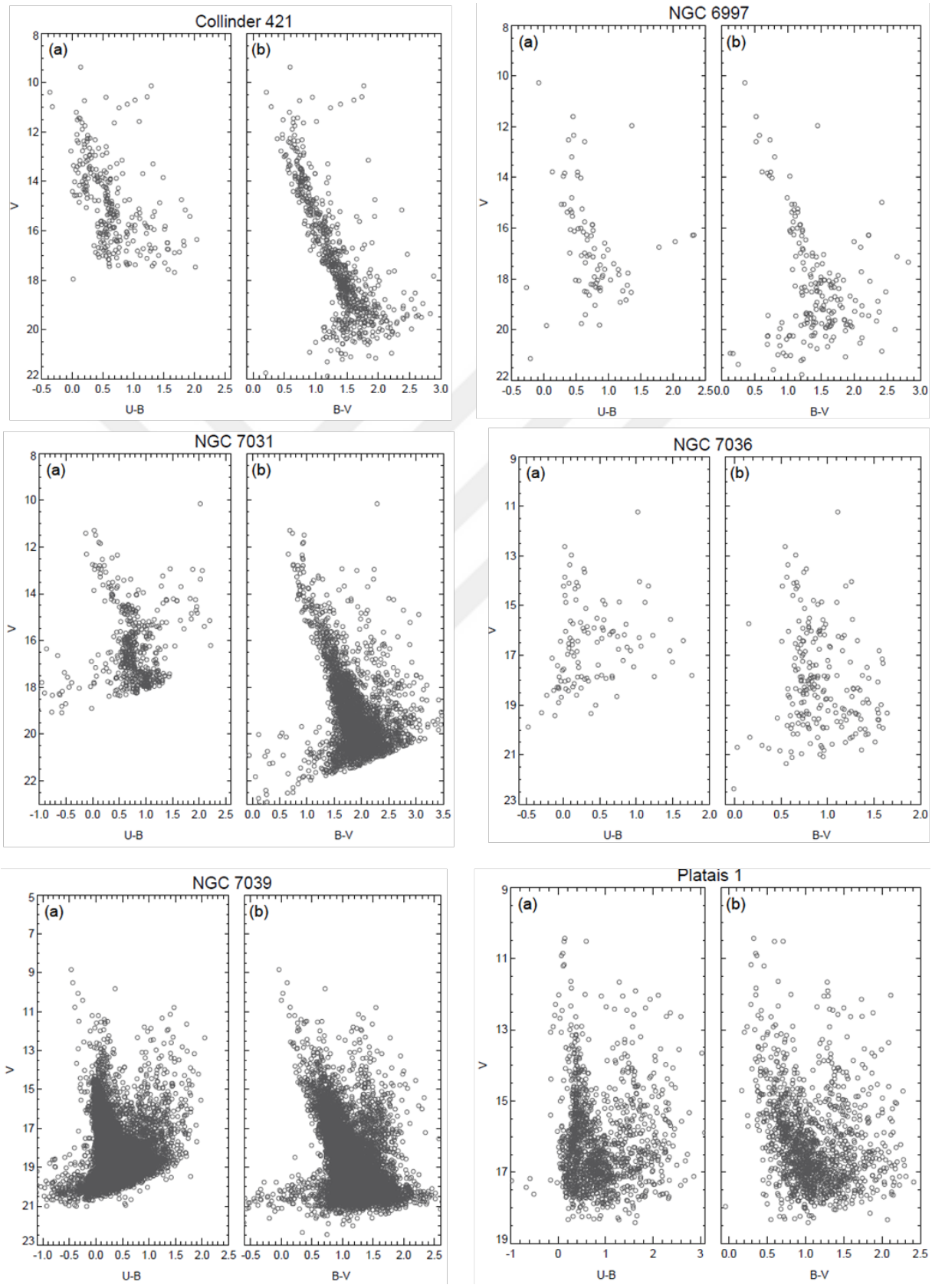




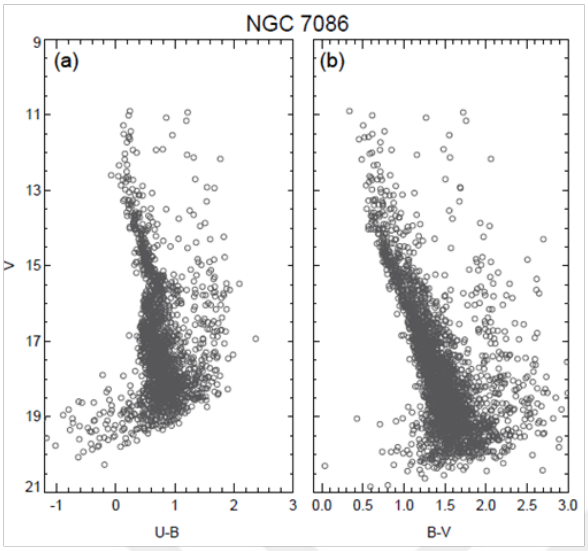


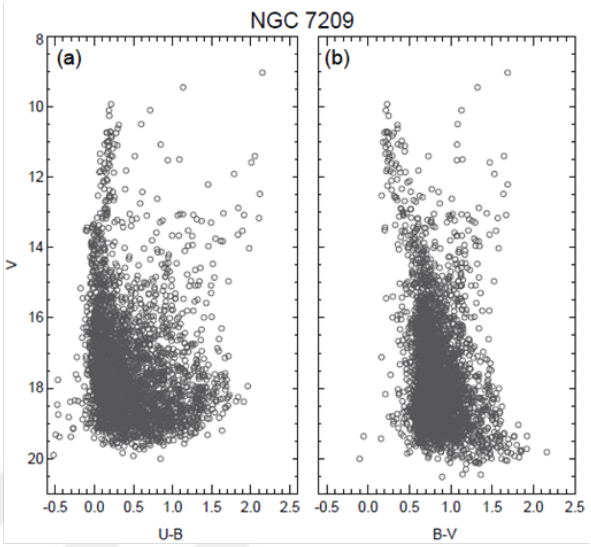


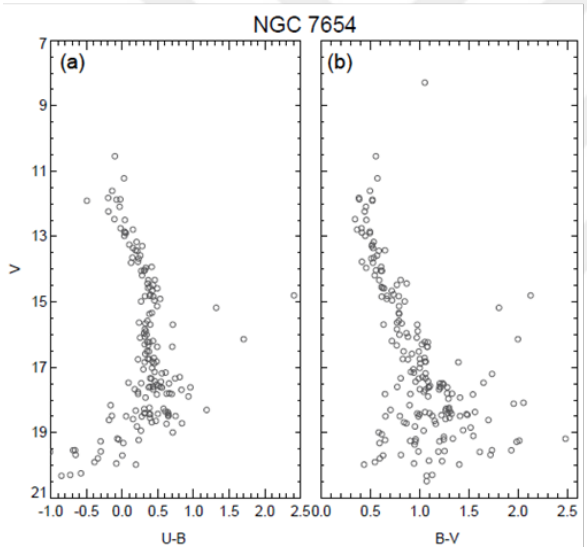
Şekil EK 3 (Devam):



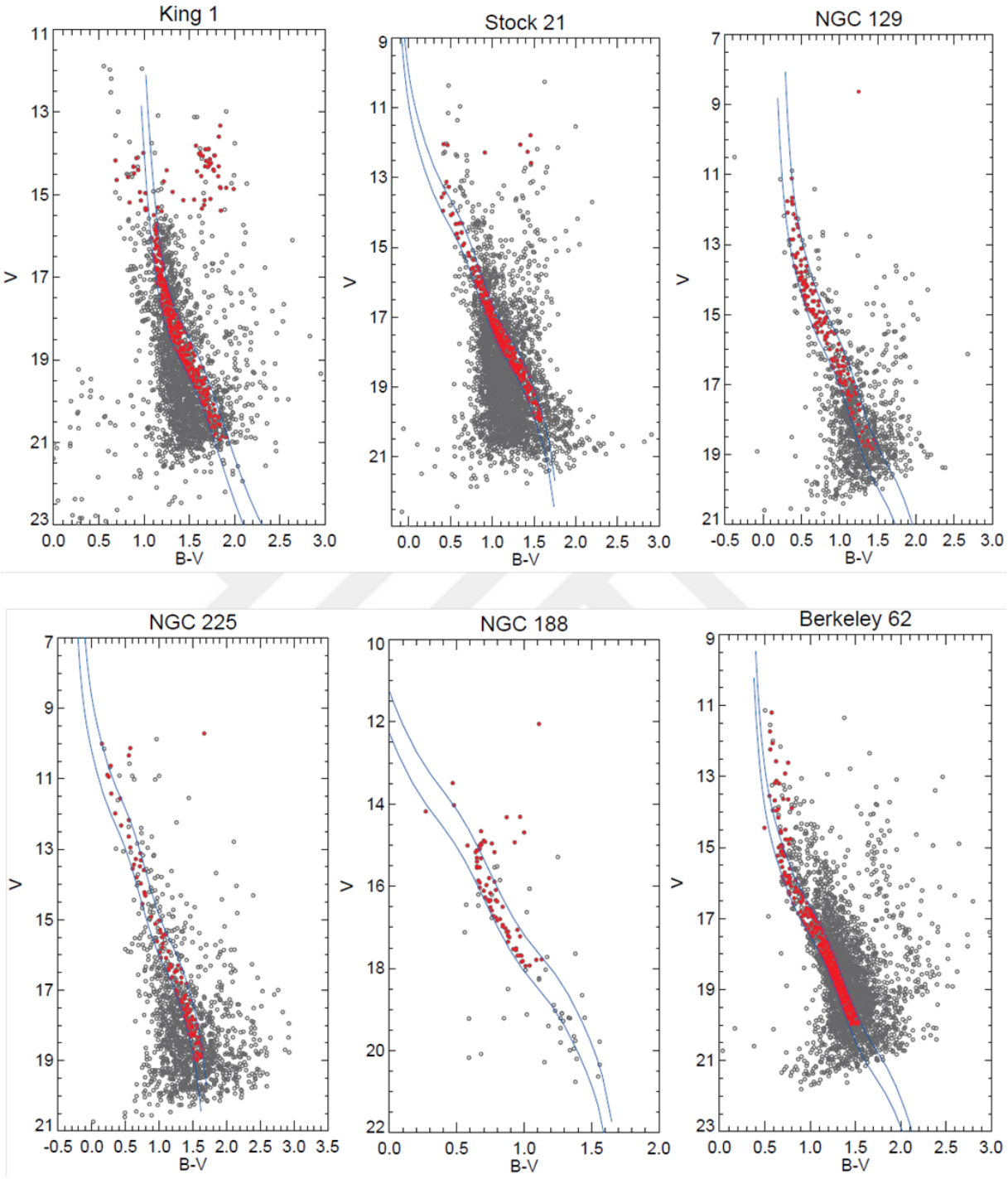
Şekil EK 3 (Devam):



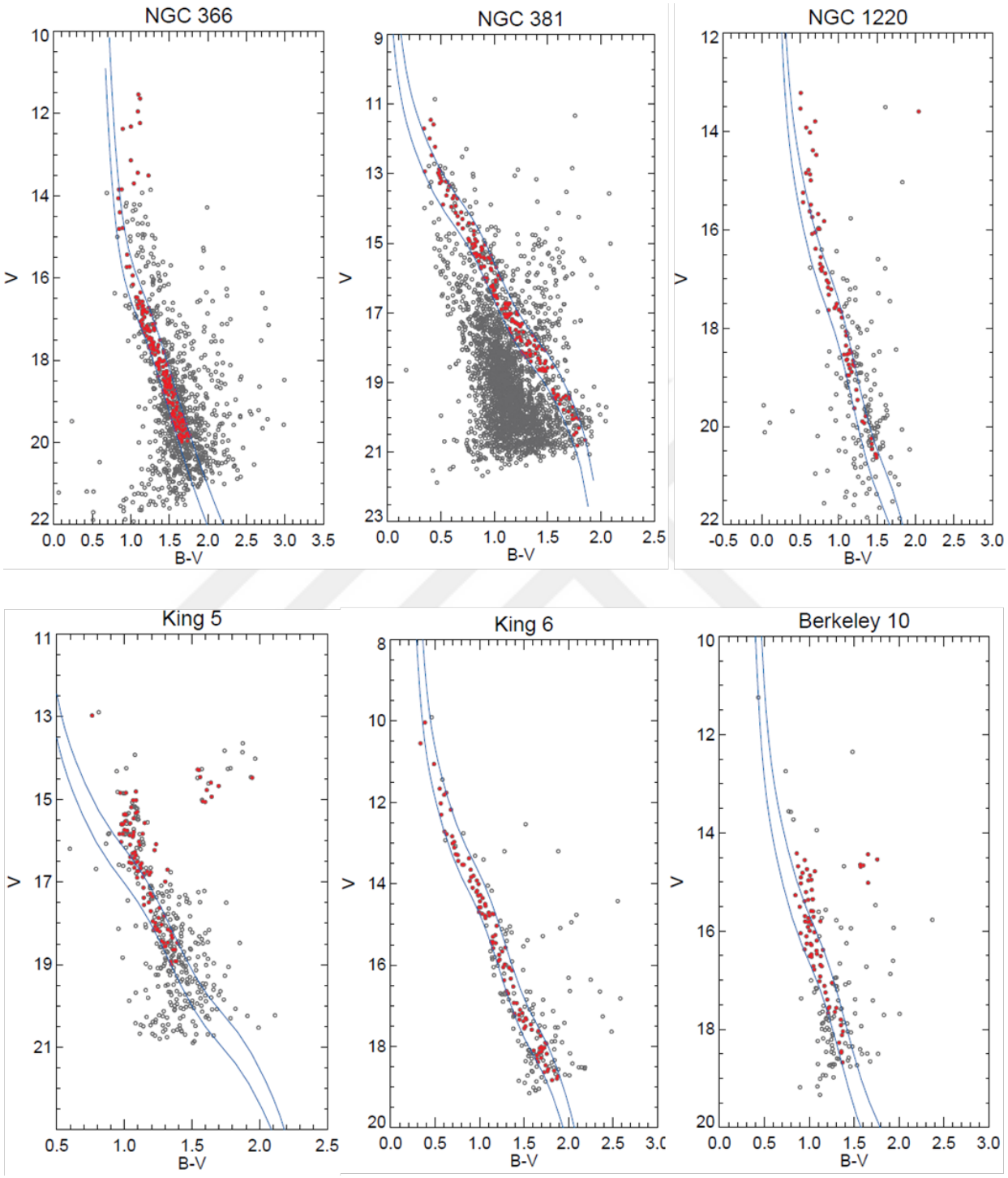




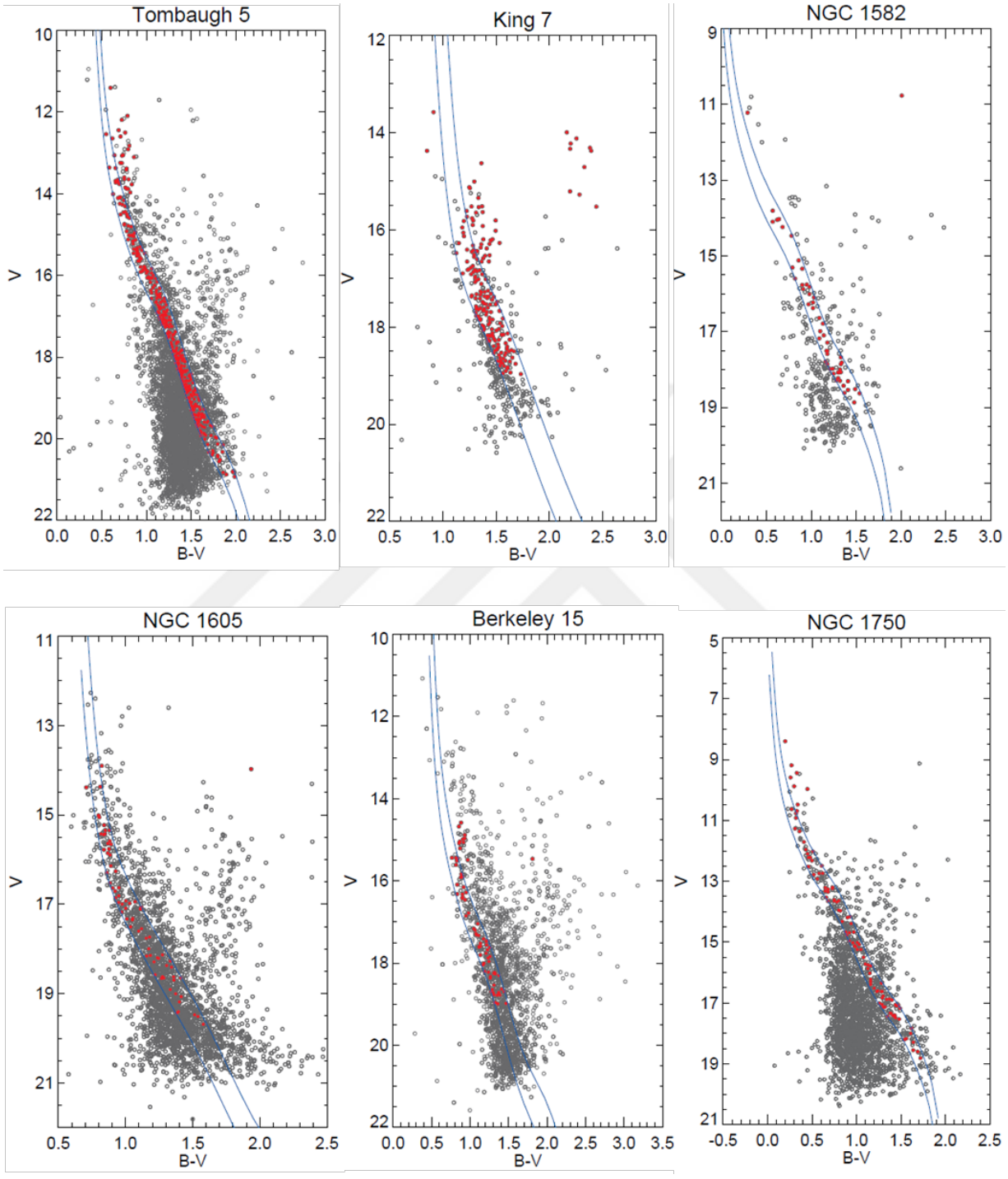
Şekil EK 4: Küme üyelerinin seçiminde kullanılan renk-parlaklık diyagramları.



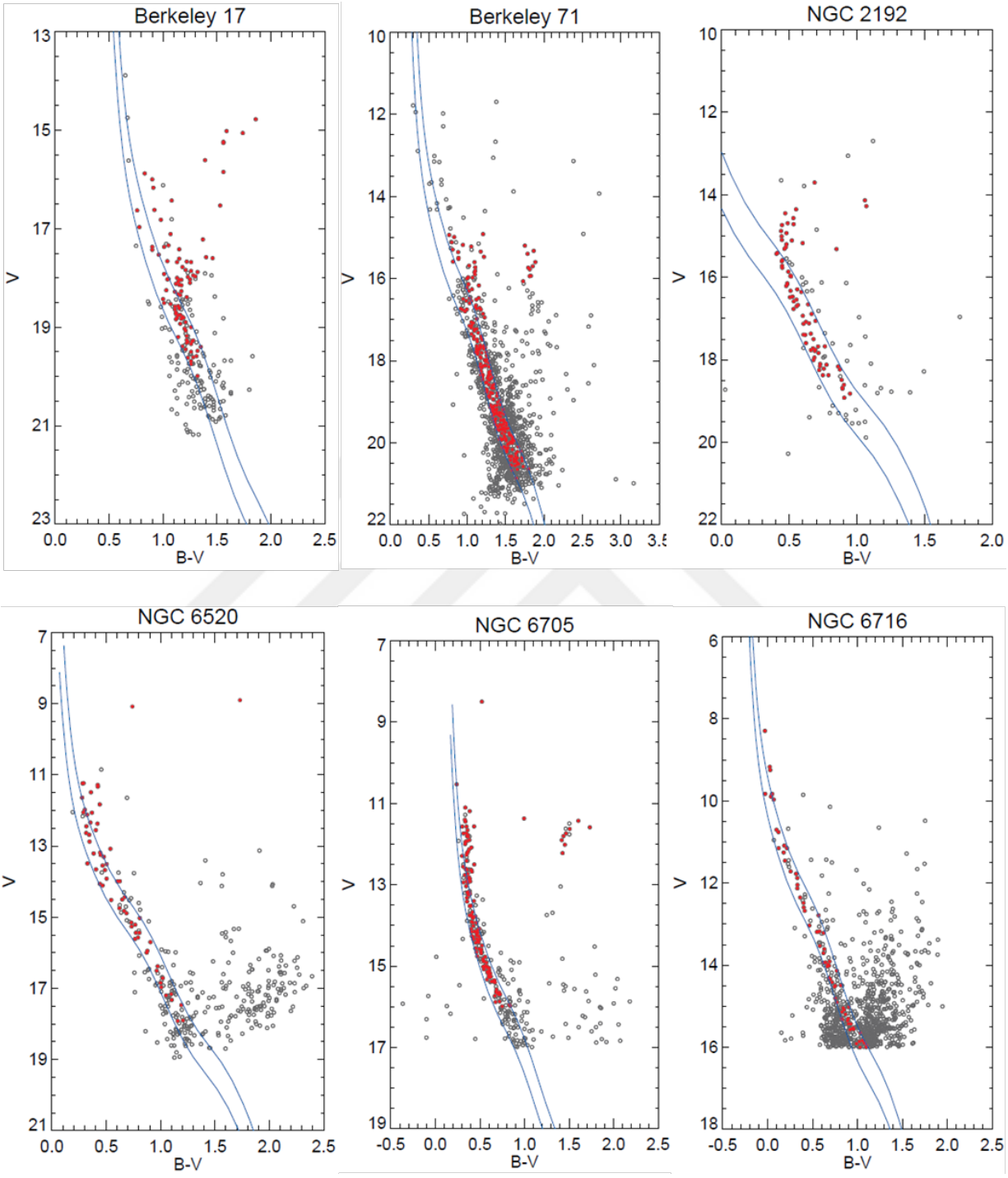
Şekil EK 4 (Devam):



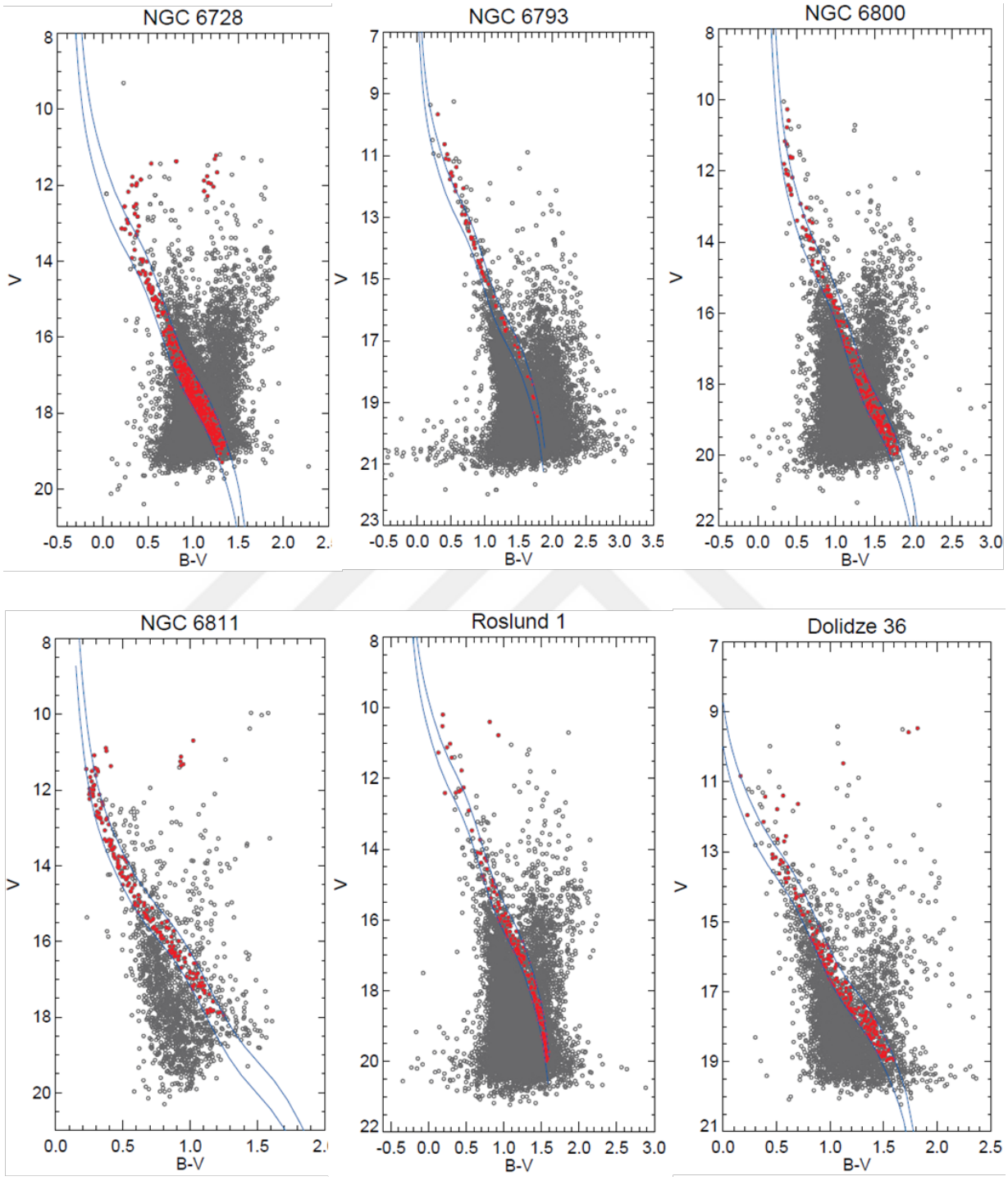
Şekil EK 4 (Devam):



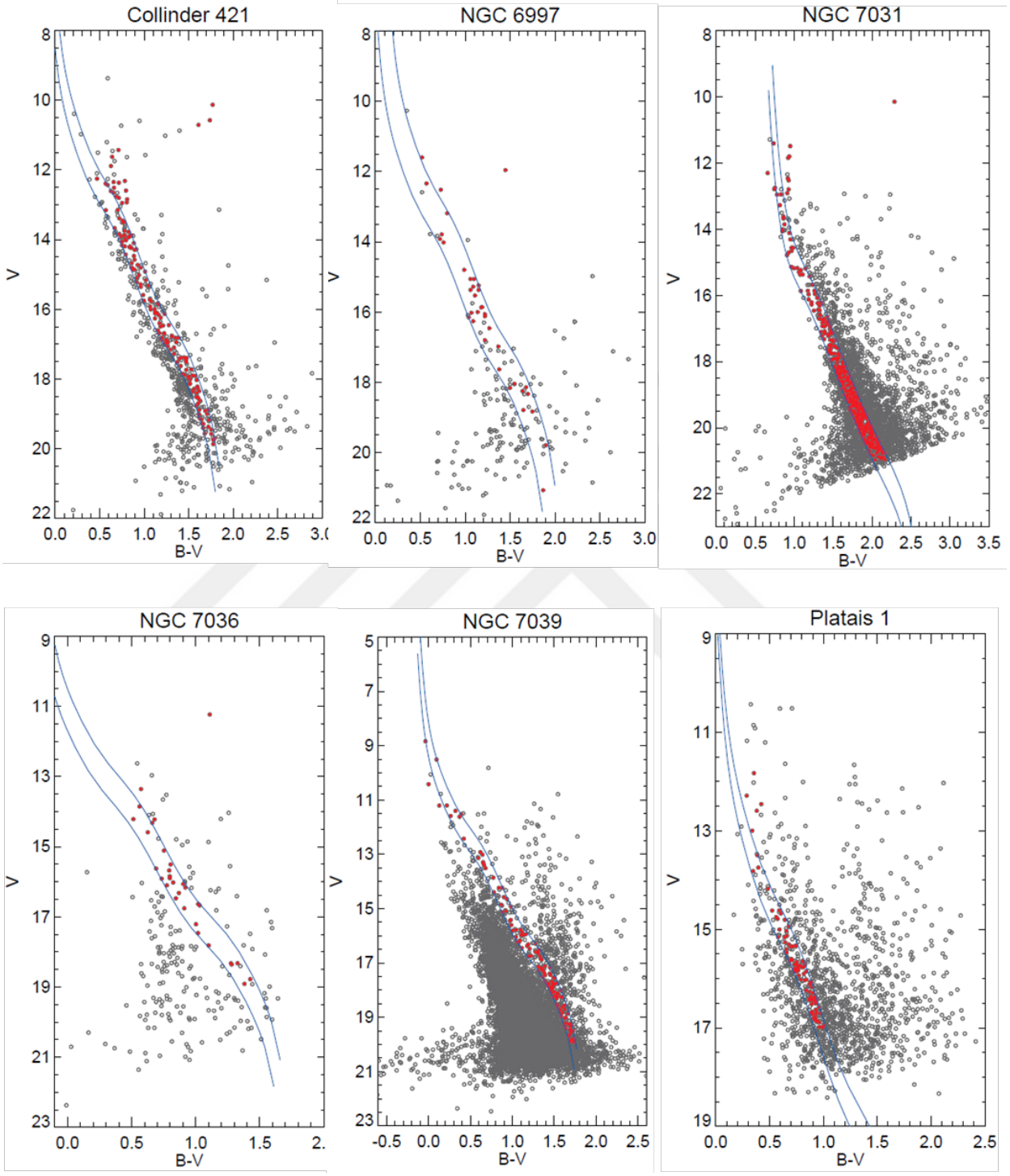
Şekil EK 4 (Devam):



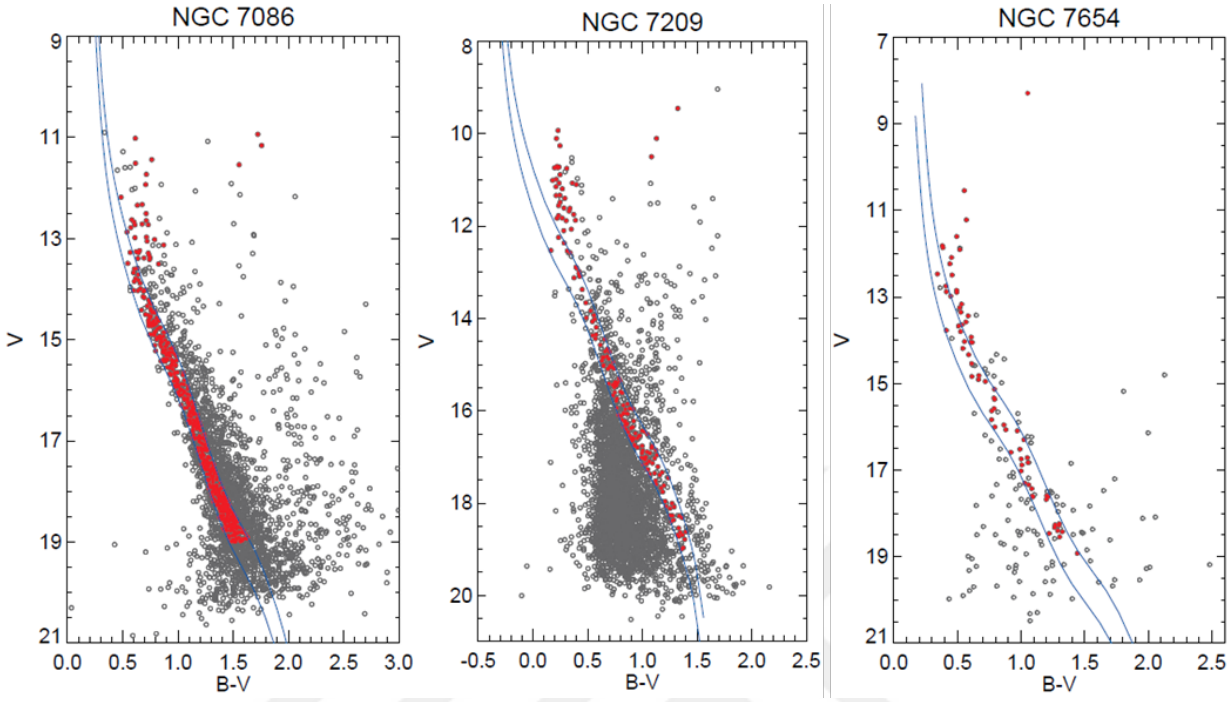
Şekil EK 4 (Devam):



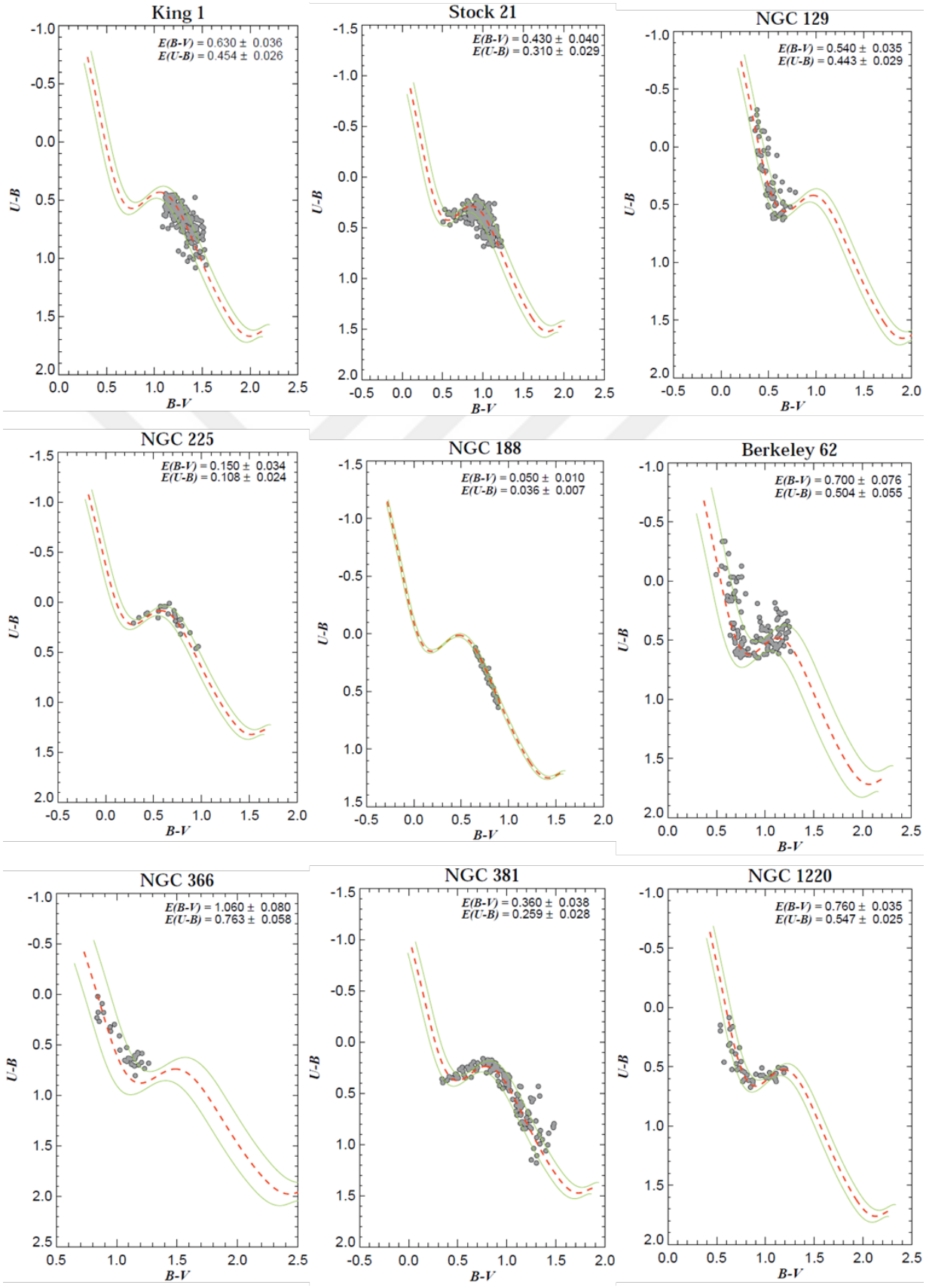
Şekil EK 4 (Devam):



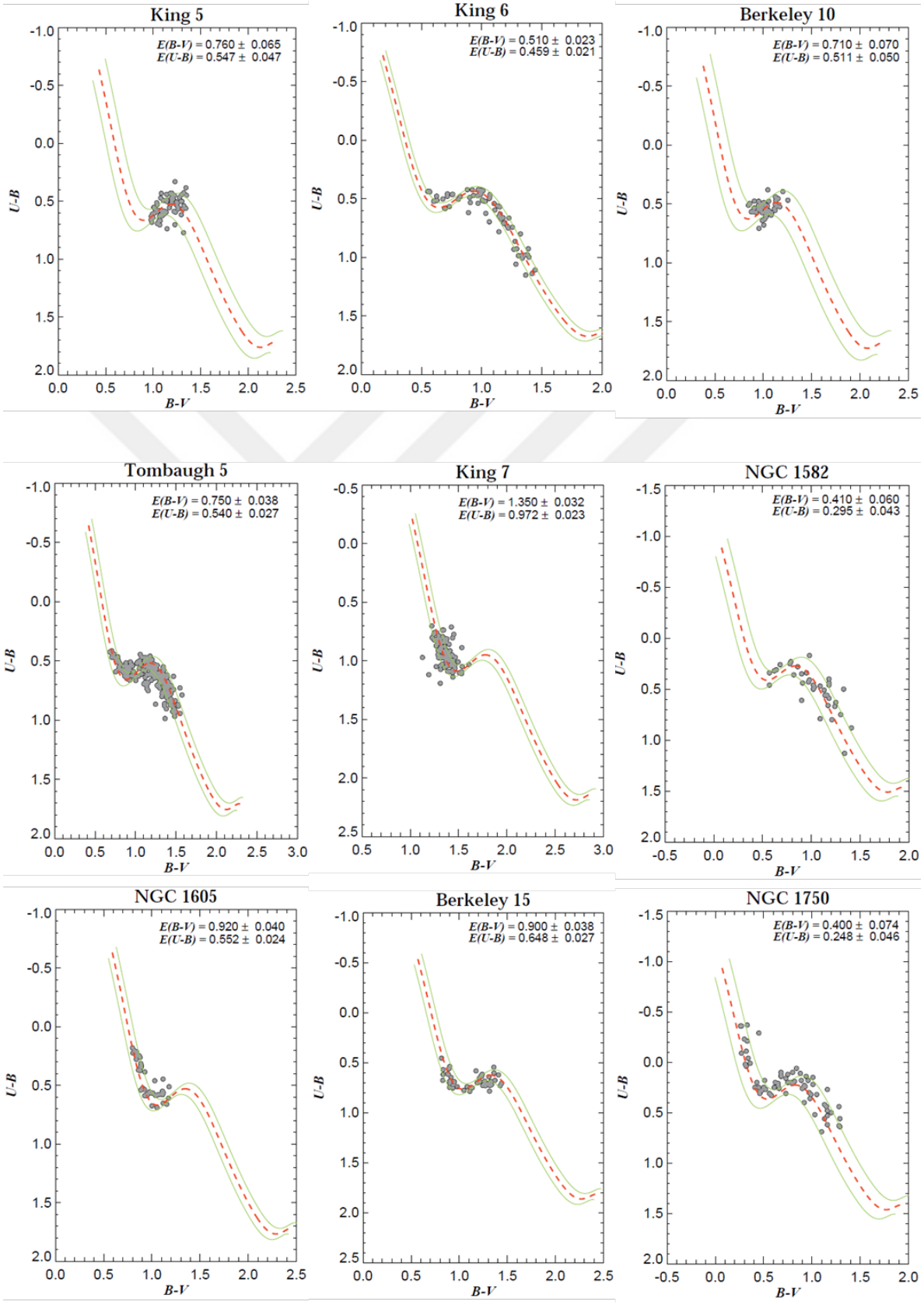
Şekil EK 4 (Devam):



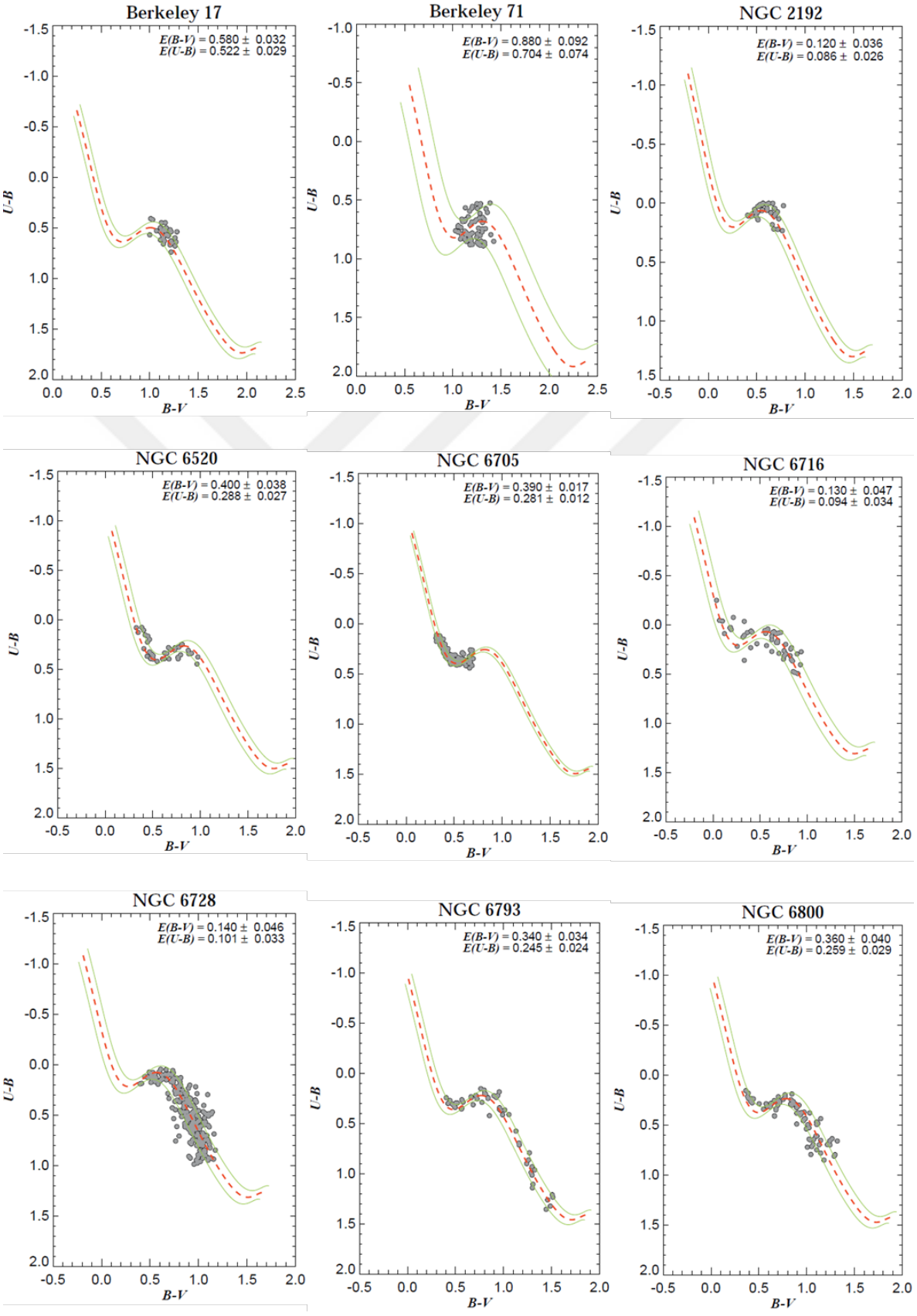
Şekil EK 5: Kümelerin iki-renk diyagramları ve renk artıkları.



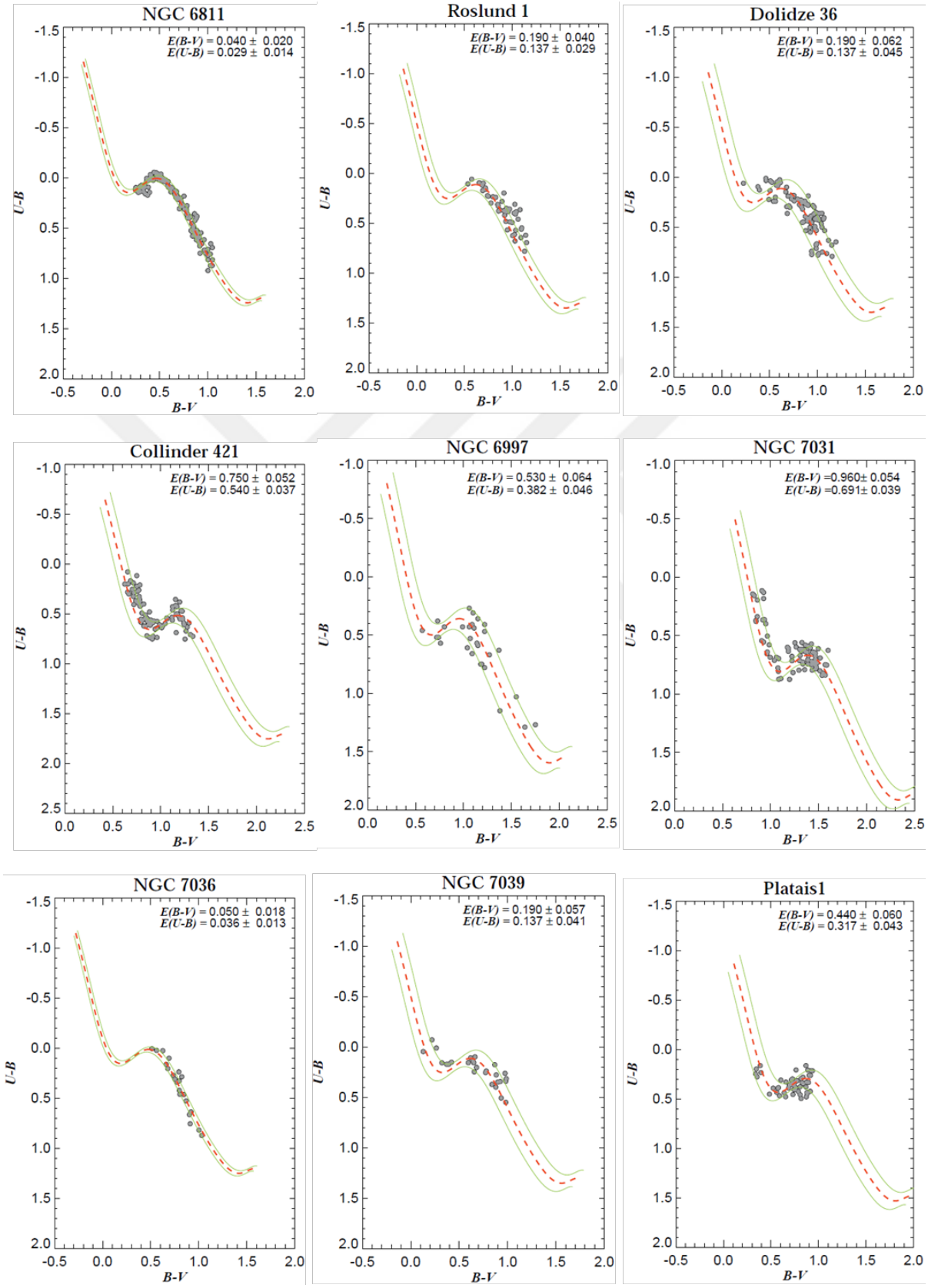
Şekil EK 5 (Devam):



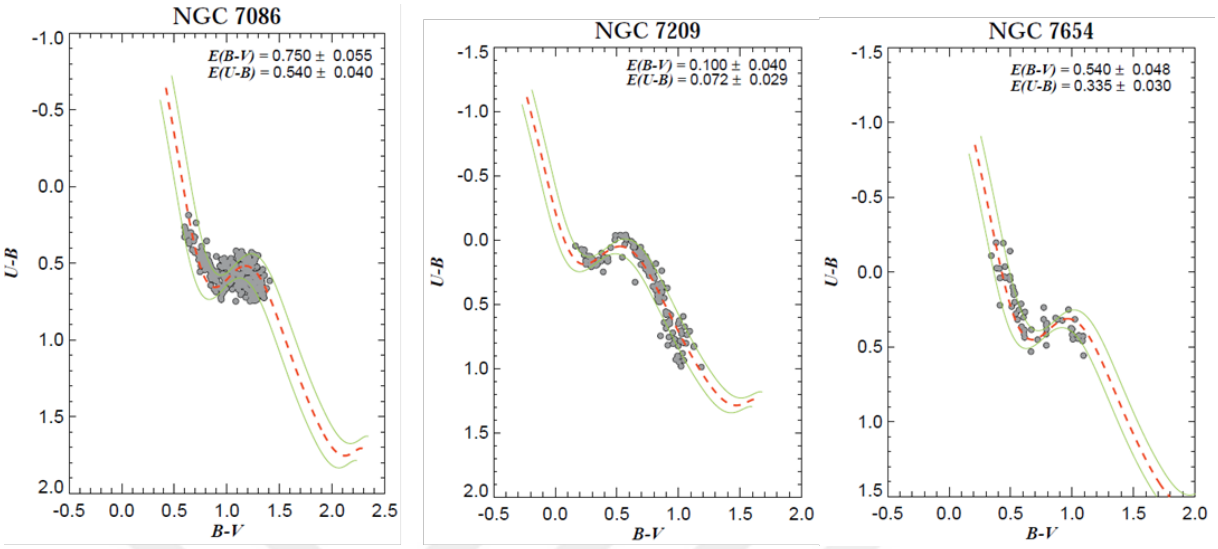
Şekil EK 5 (Devam):



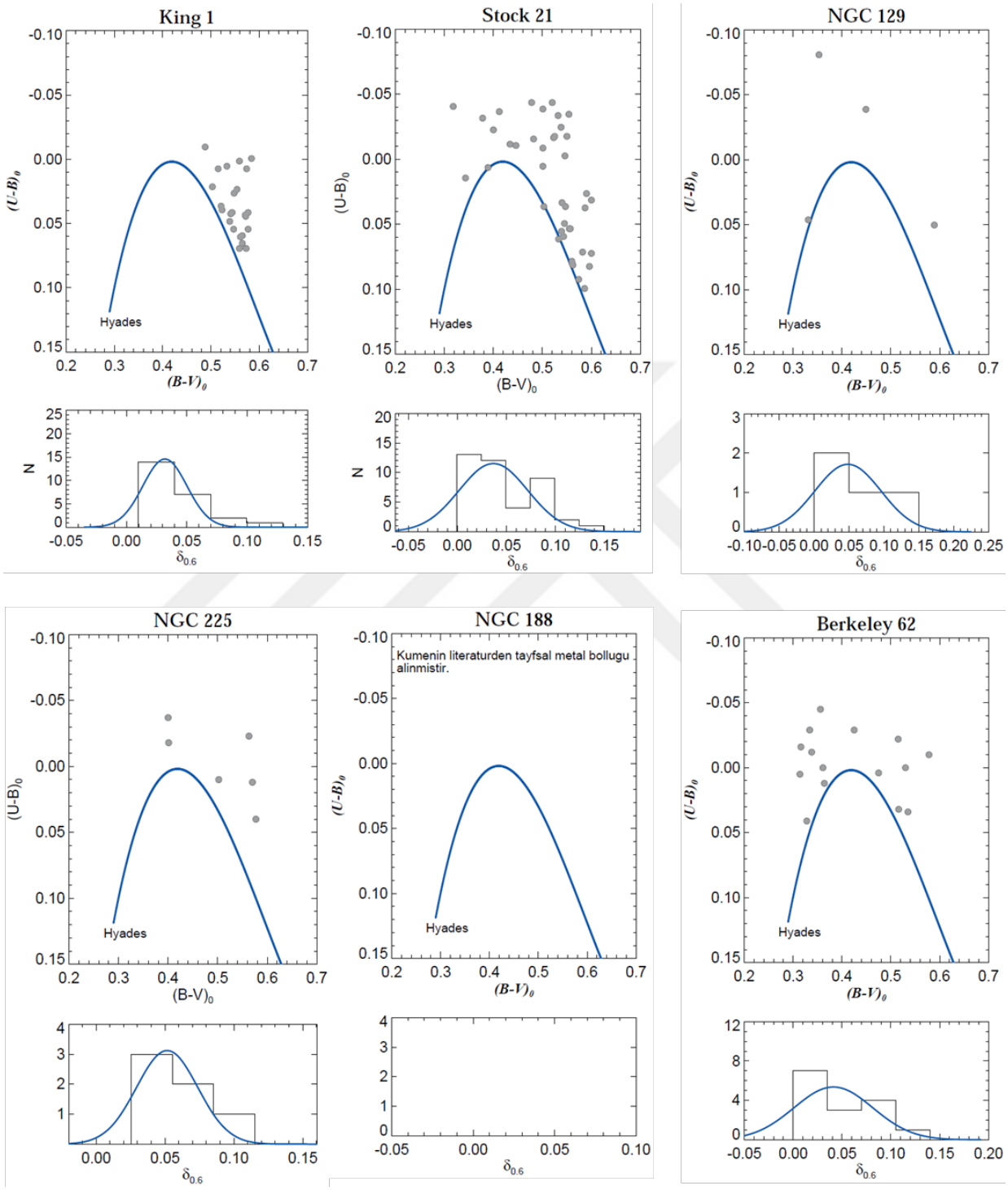
Şekil EK 5 (Devam):



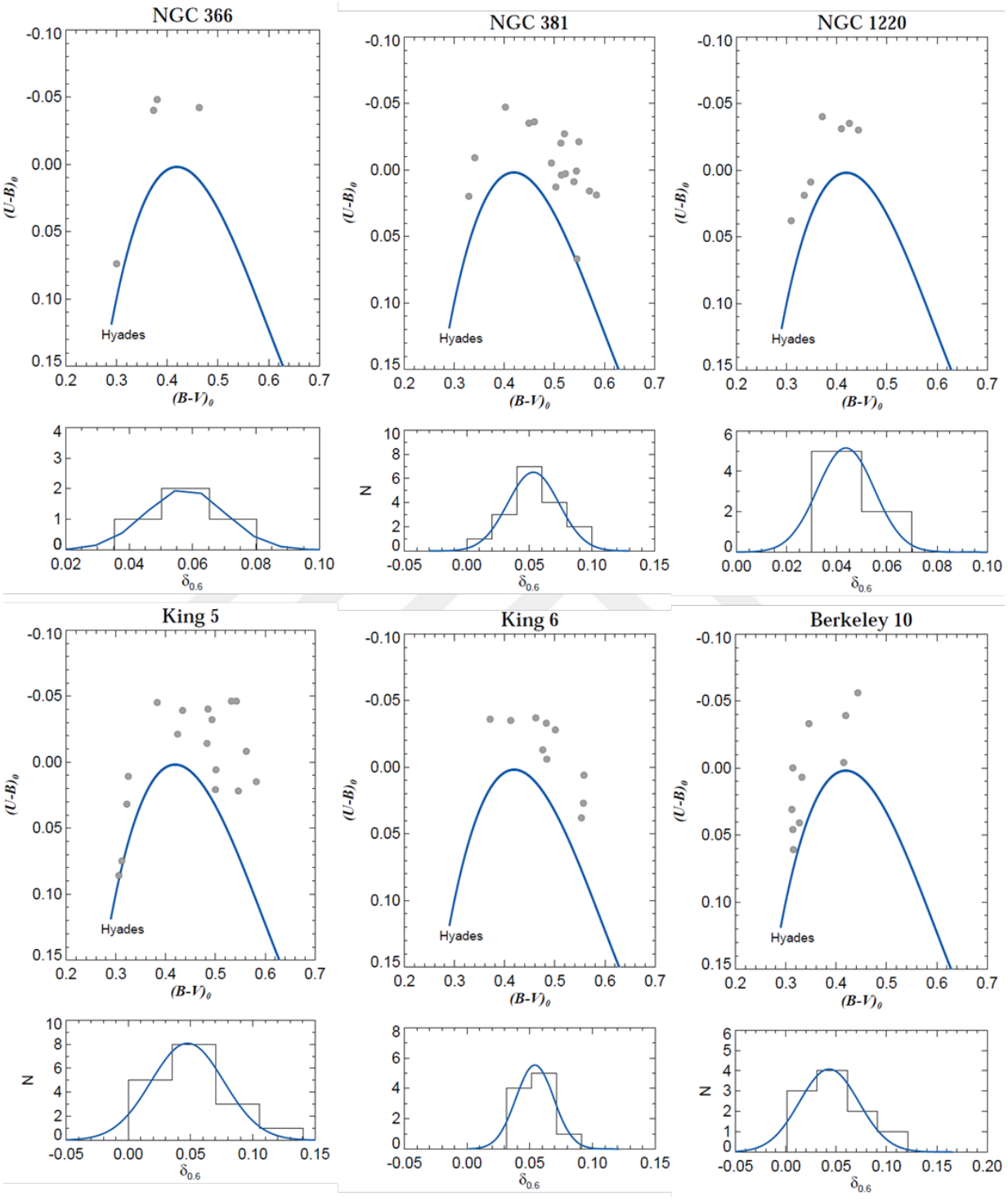
Şekil EK 5 (Devam):



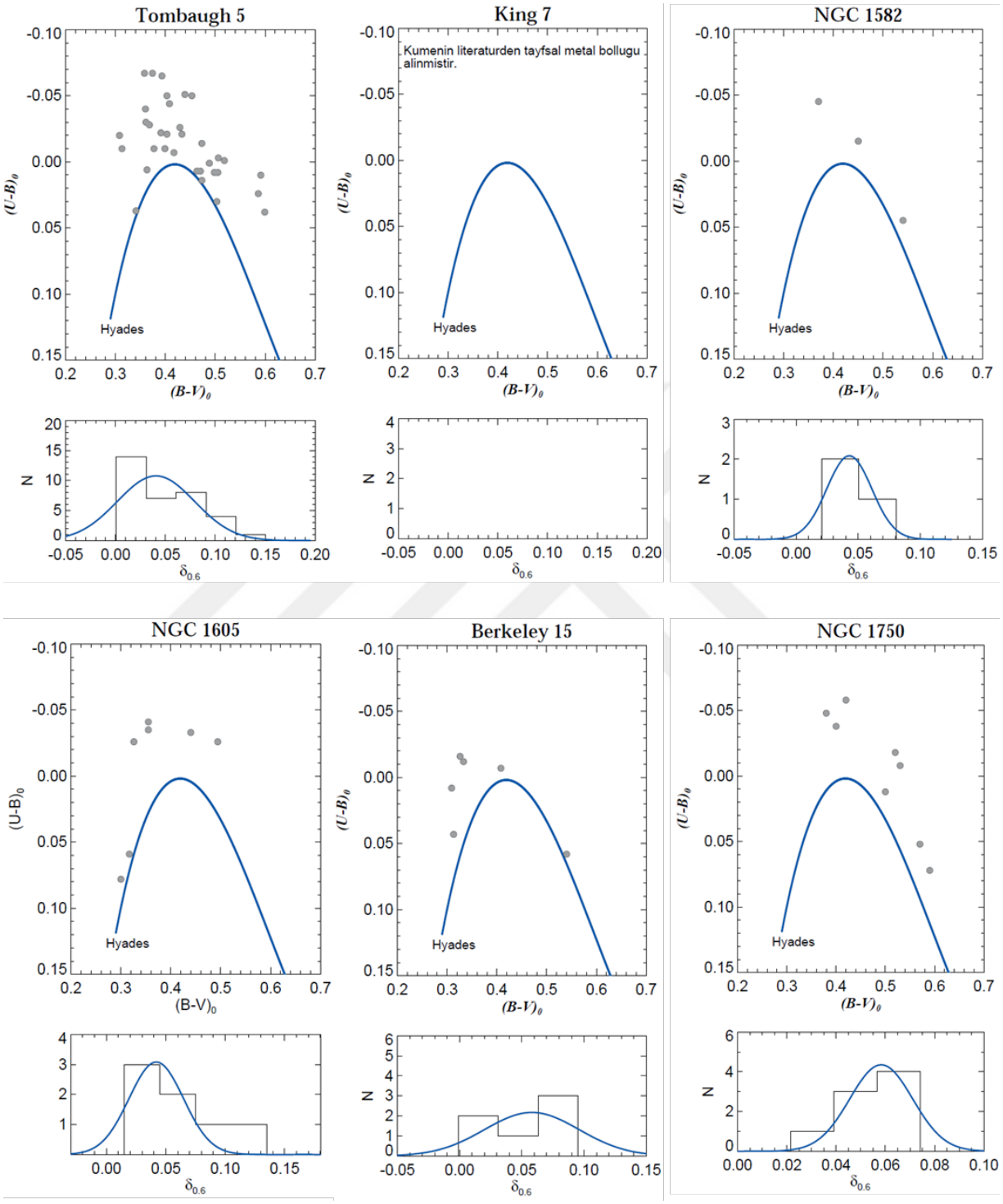
Şekil EK 6: Kümelerin metal bolluğu tayininde kullanılan iki-renk diyagramları ve mor-ötesi artıkların frekans dağılımları.



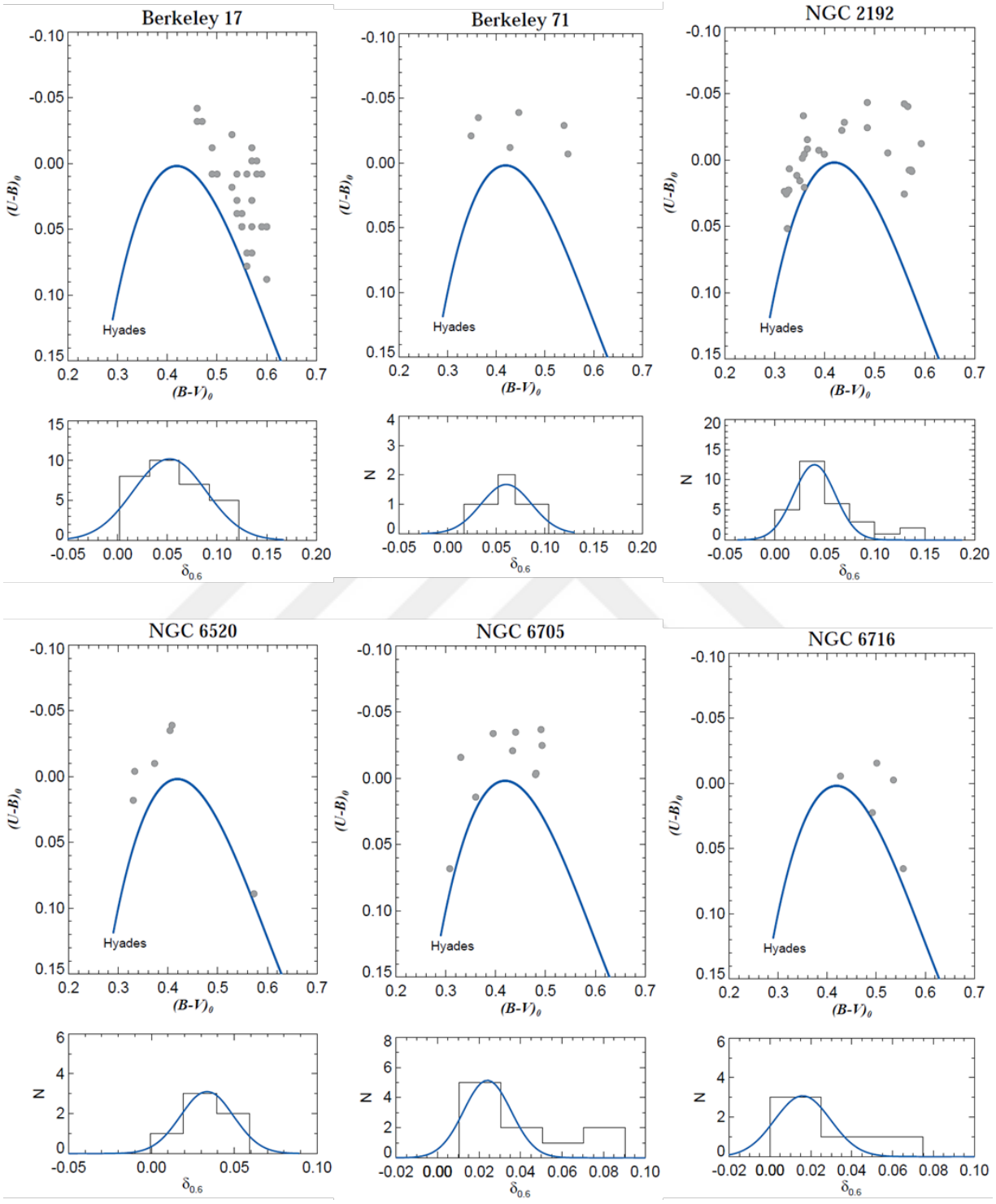
Şekil EK 6 (Devam):



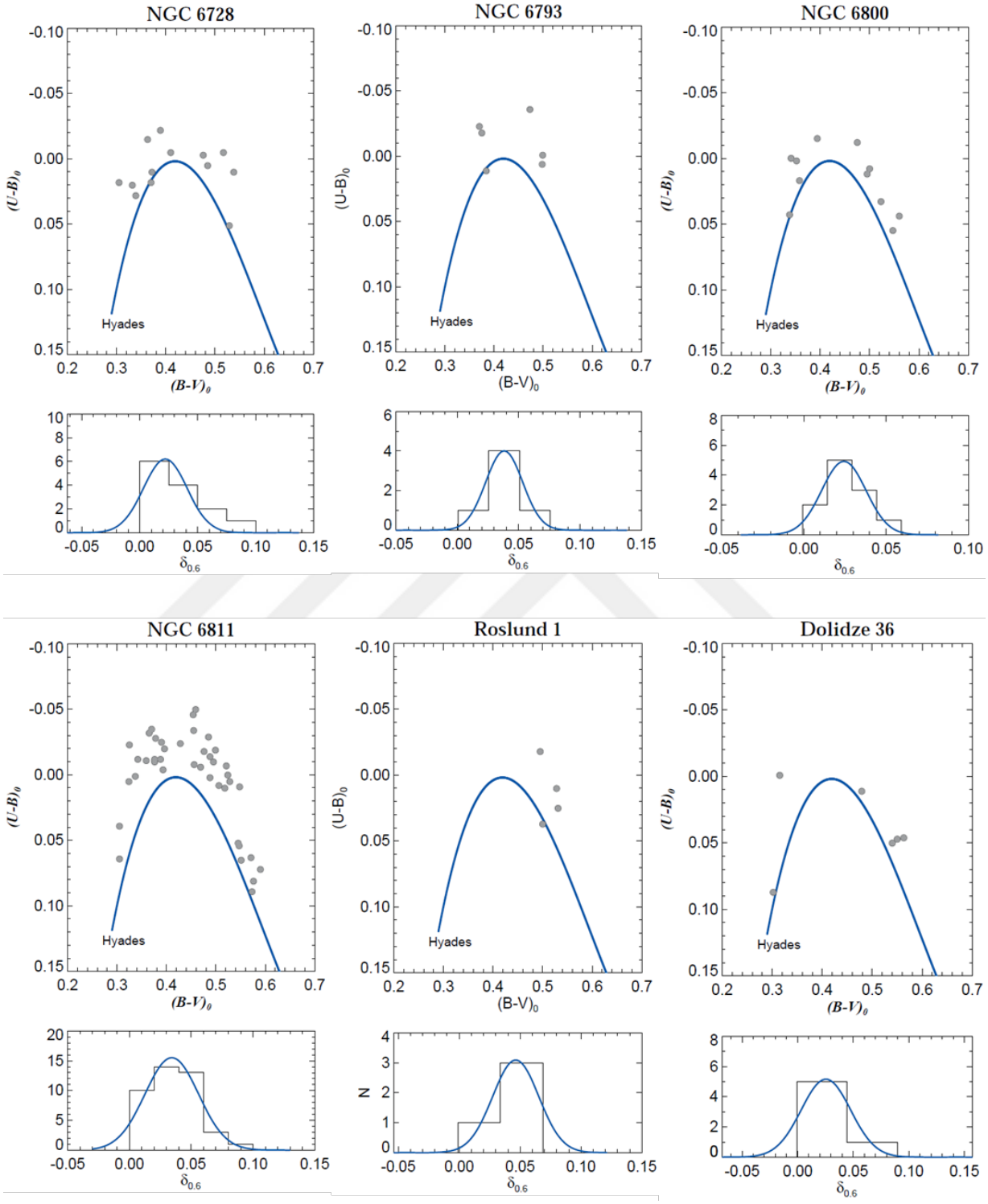
Şekil EK 6 (Devam):



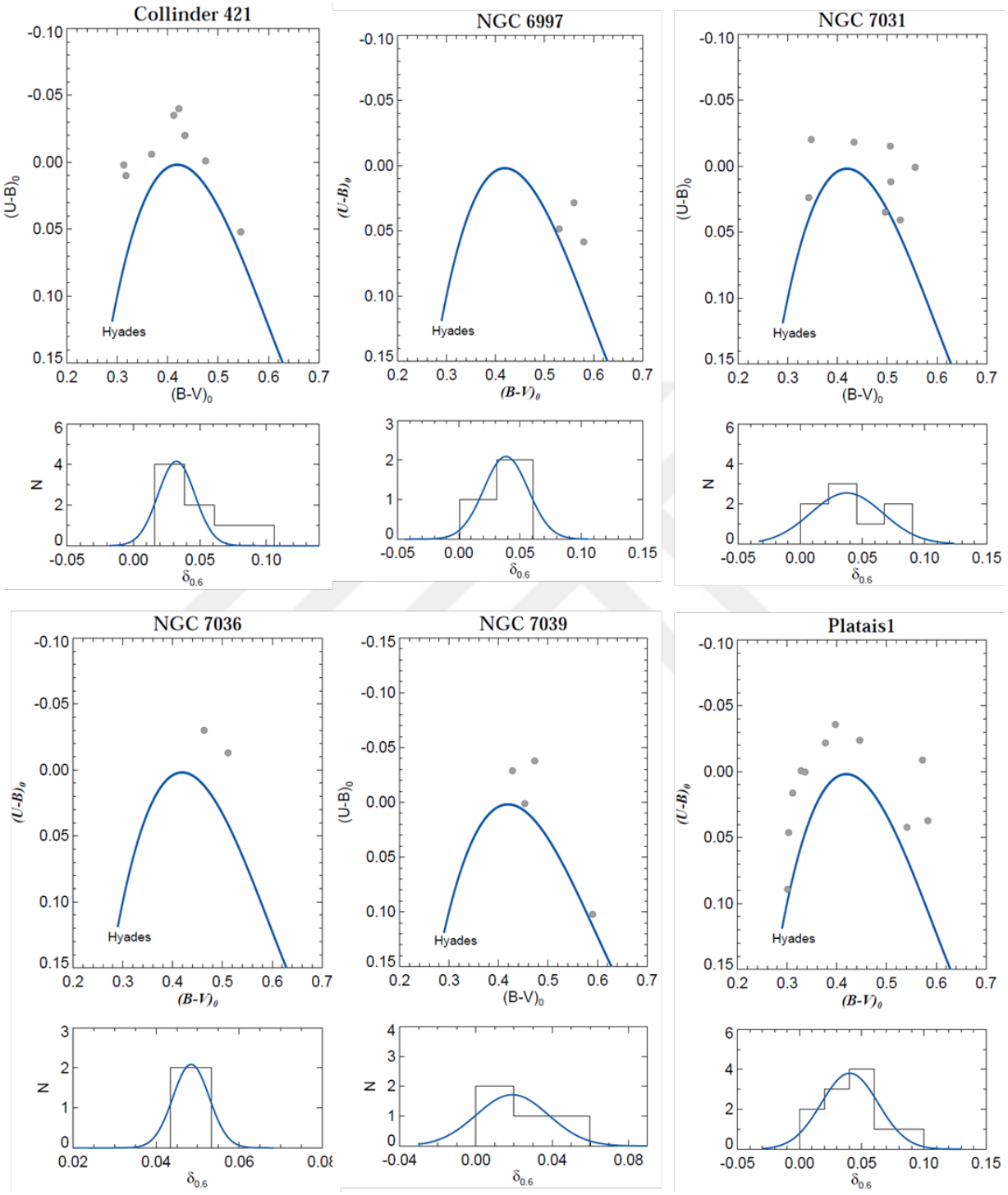
Şekil EK 6 (Devam):



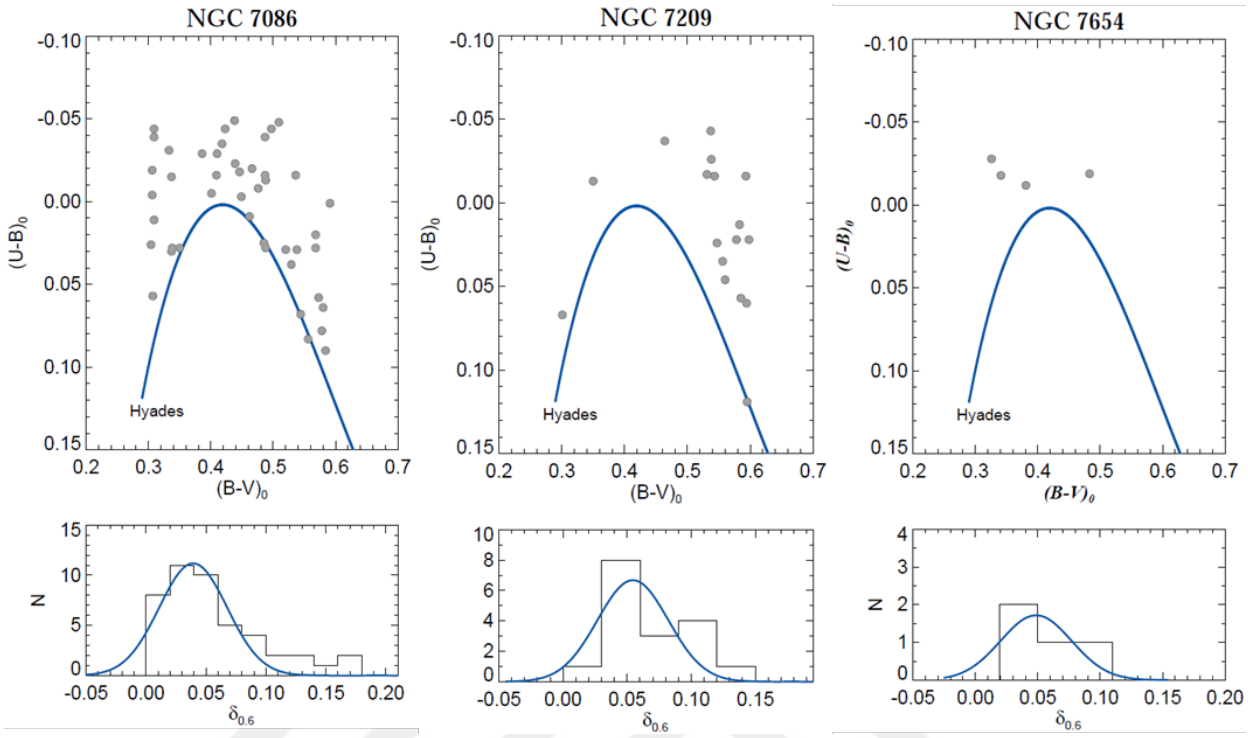
Şekil EK 6 (Devam):



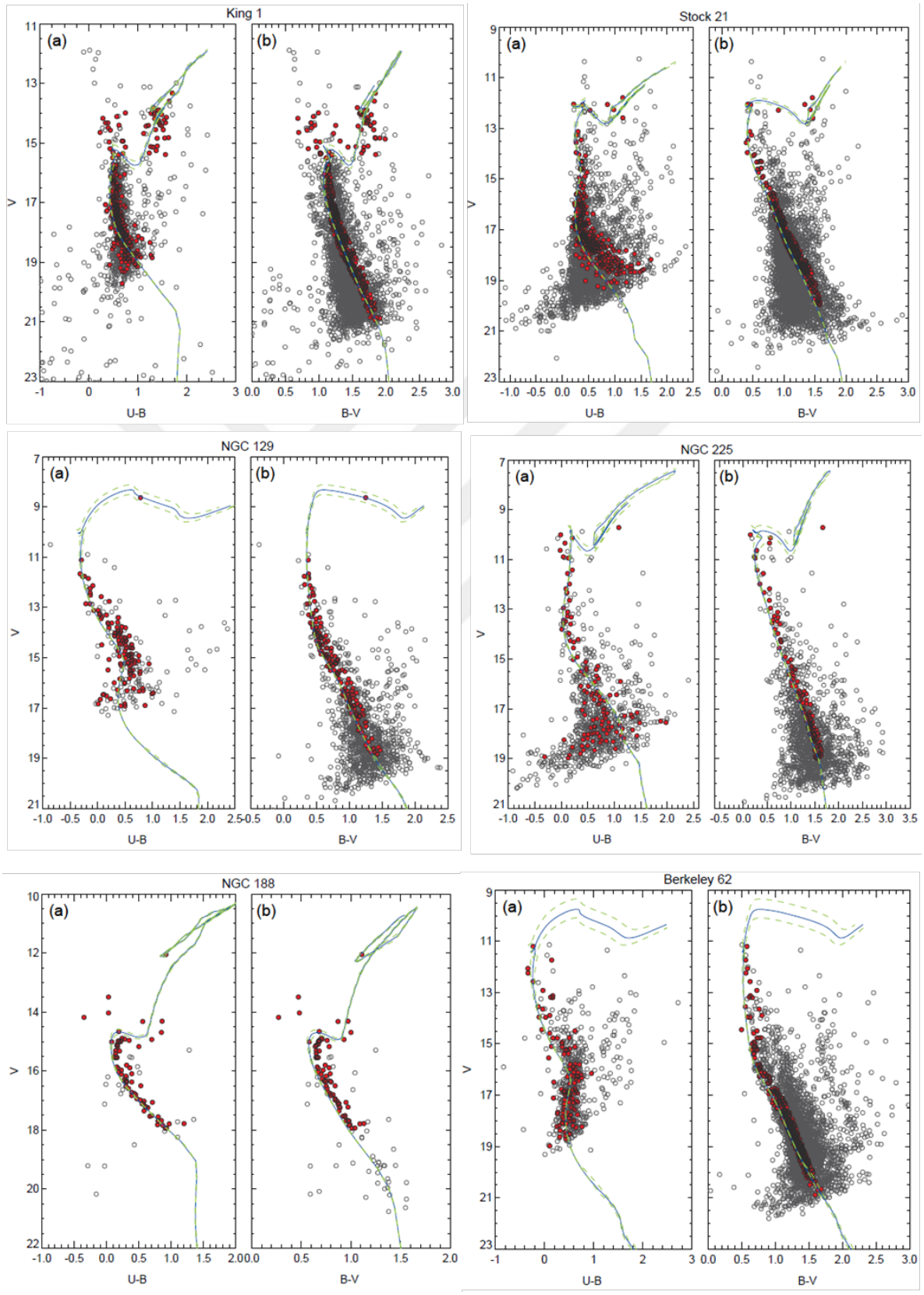
Şekil EK 6 (Devam):



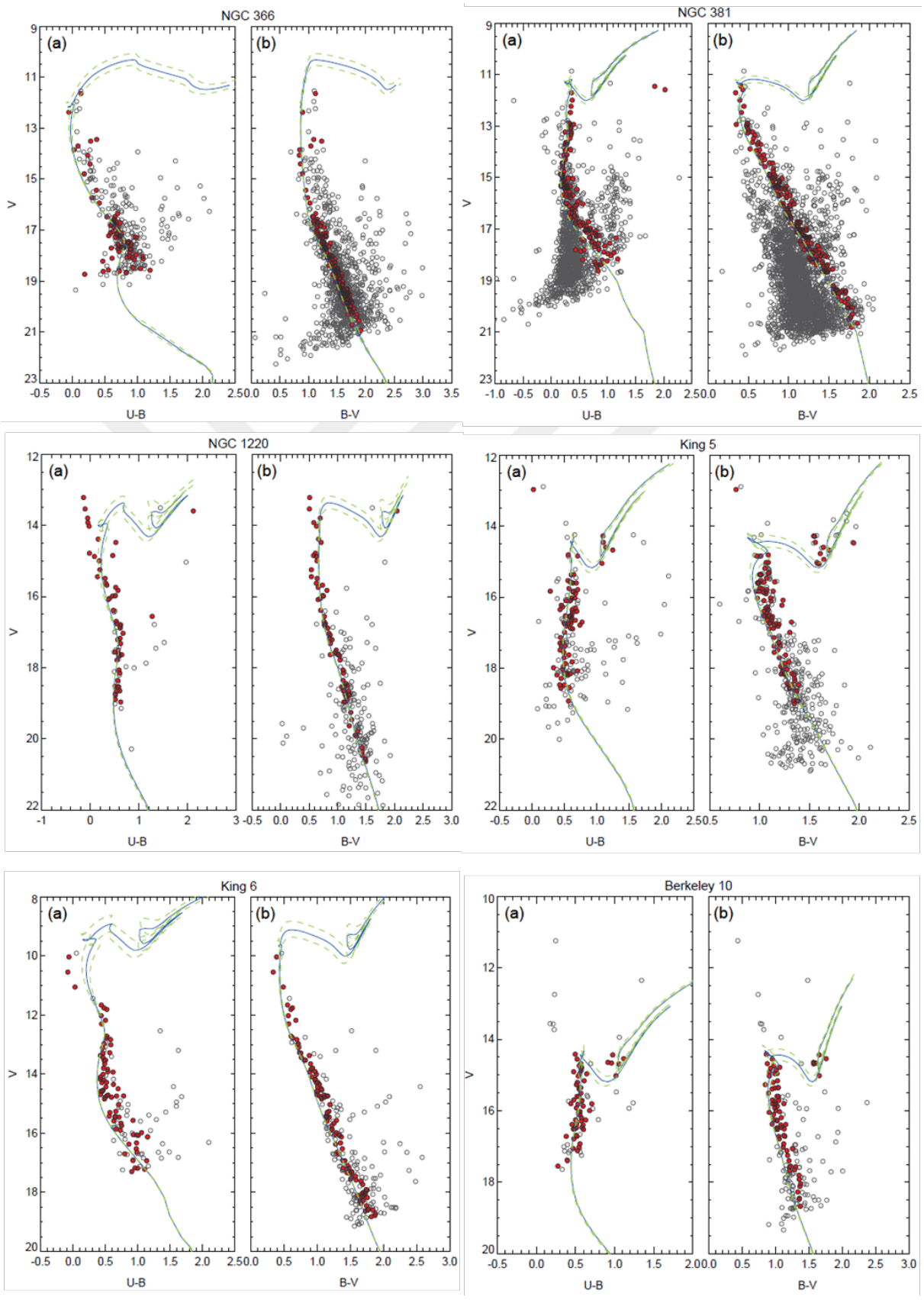
Şekil EK 6 (Devam):



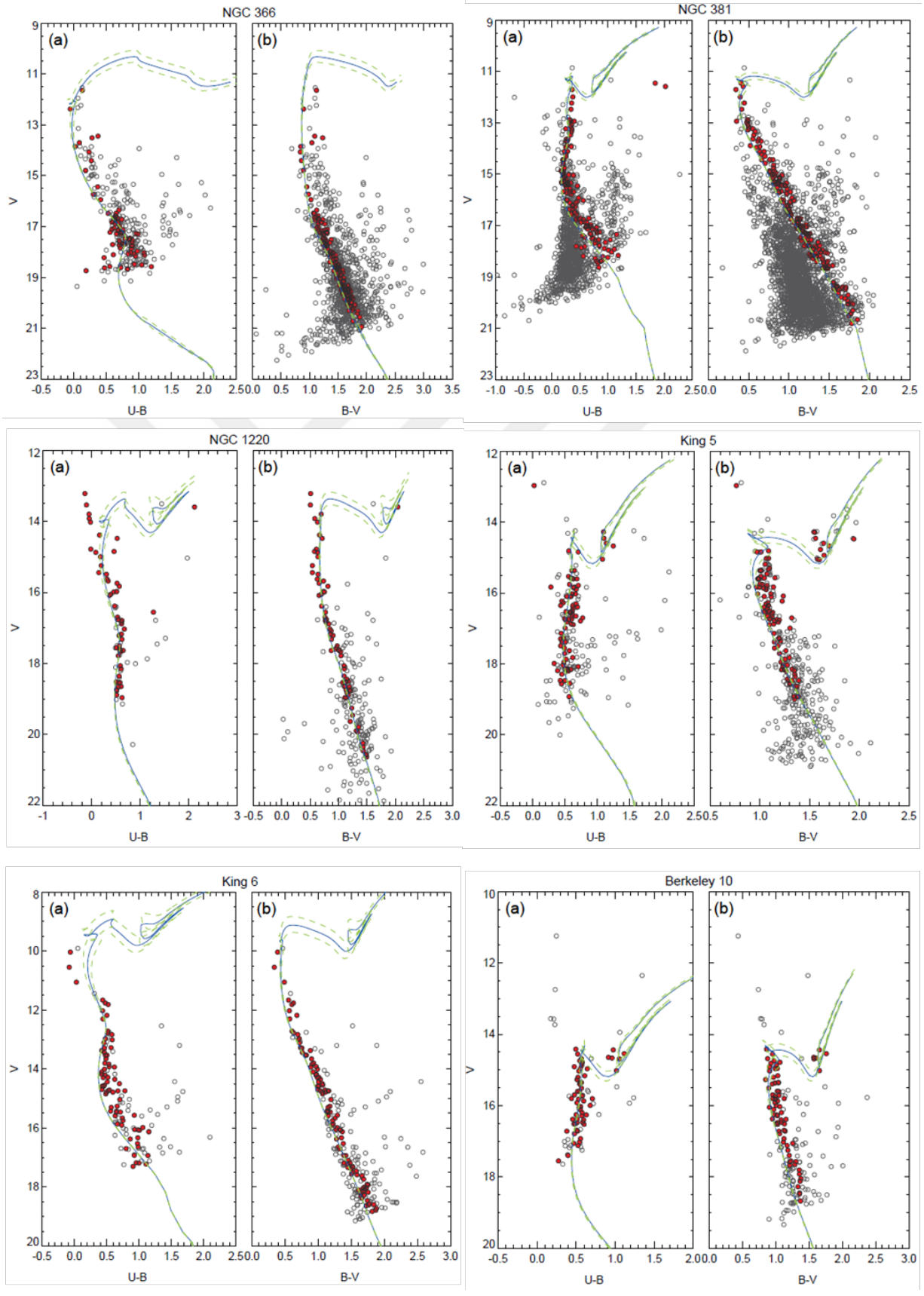
Şekil EK 7: Kümelerin renk-parlaklık diyagramları ve küme üyesi yıldızlara fit edilen PARSEC yaş eğrileri.



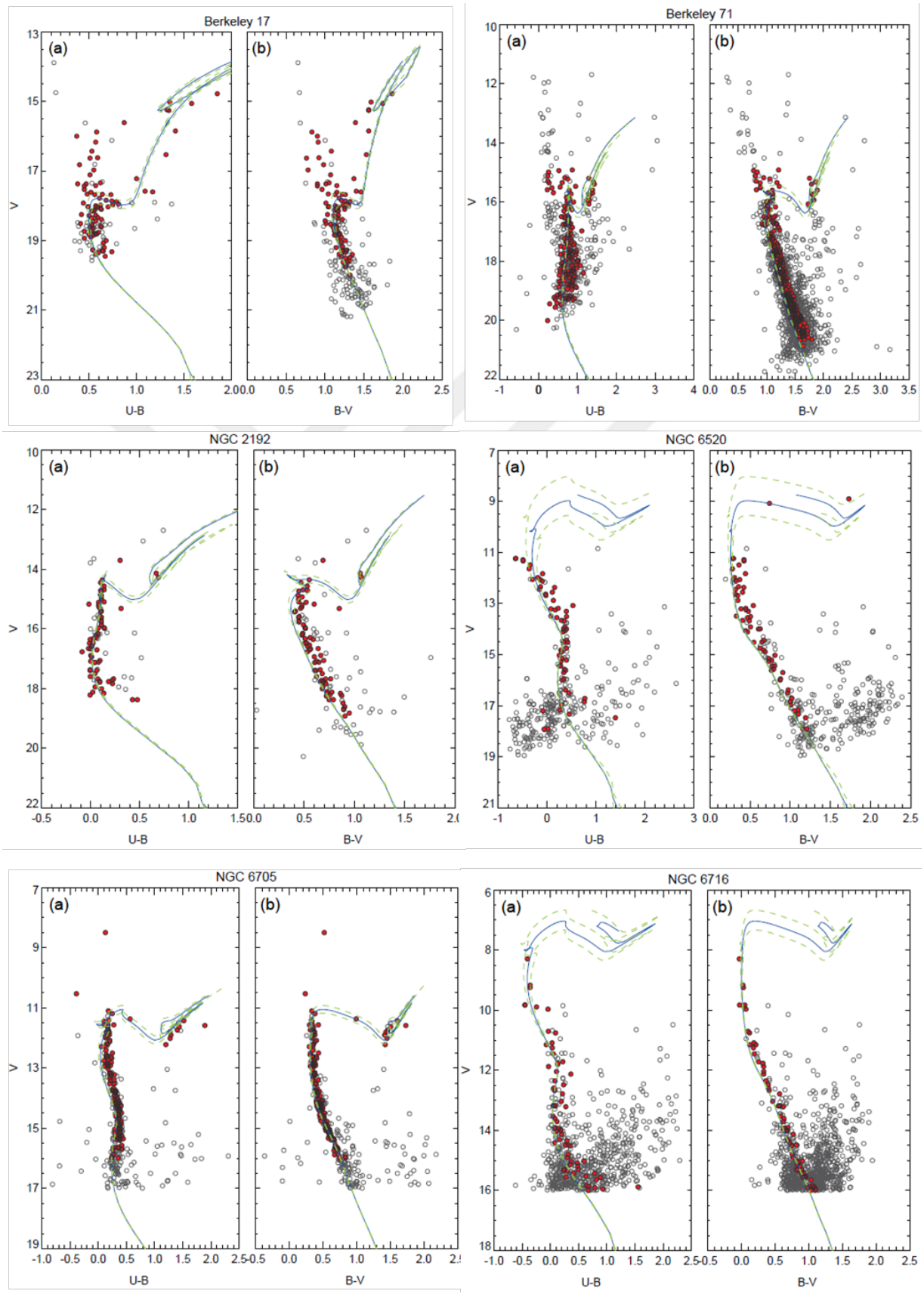
Şekil EK 7 (Devam):



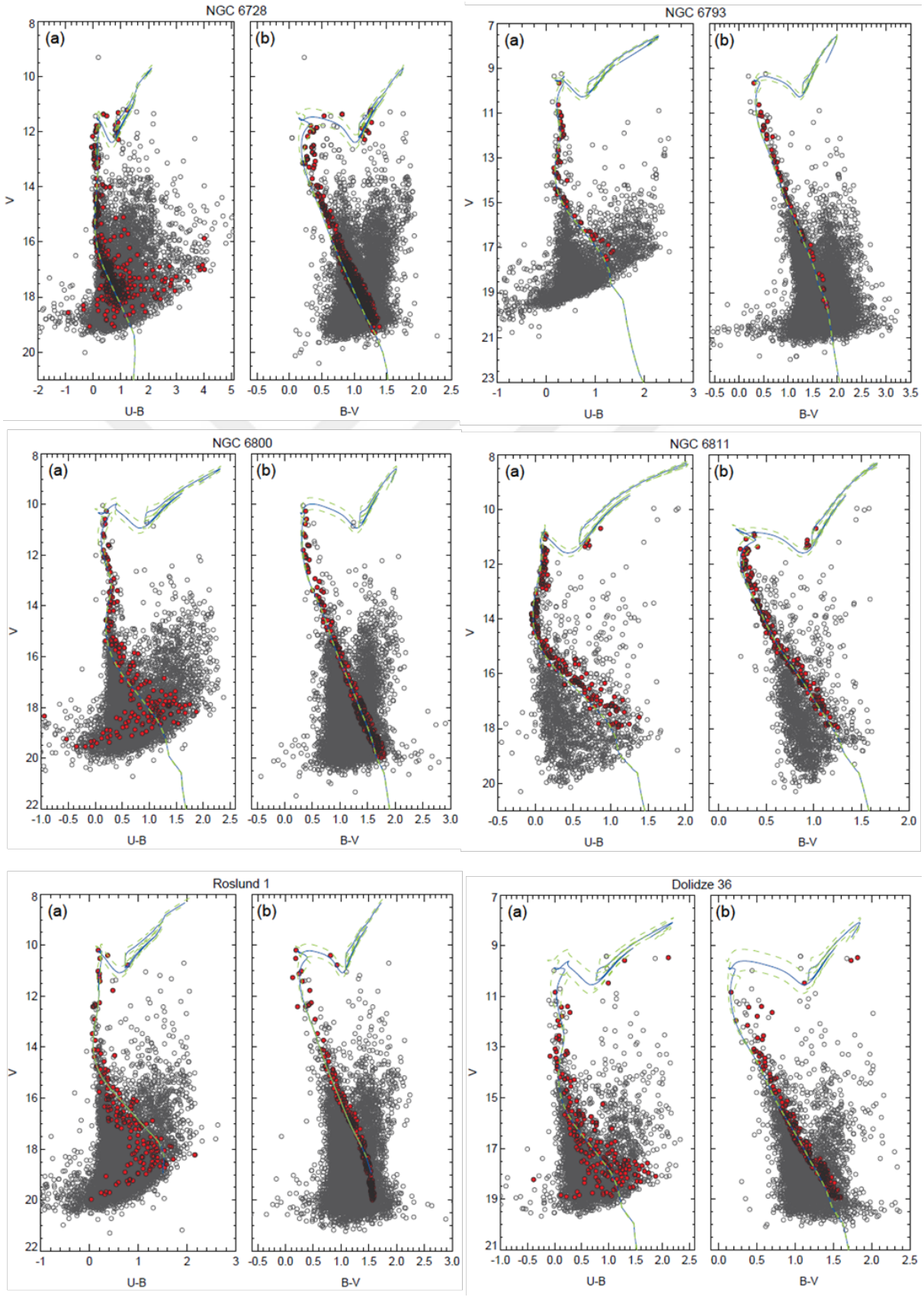
Şekil EK 7 (Devam):



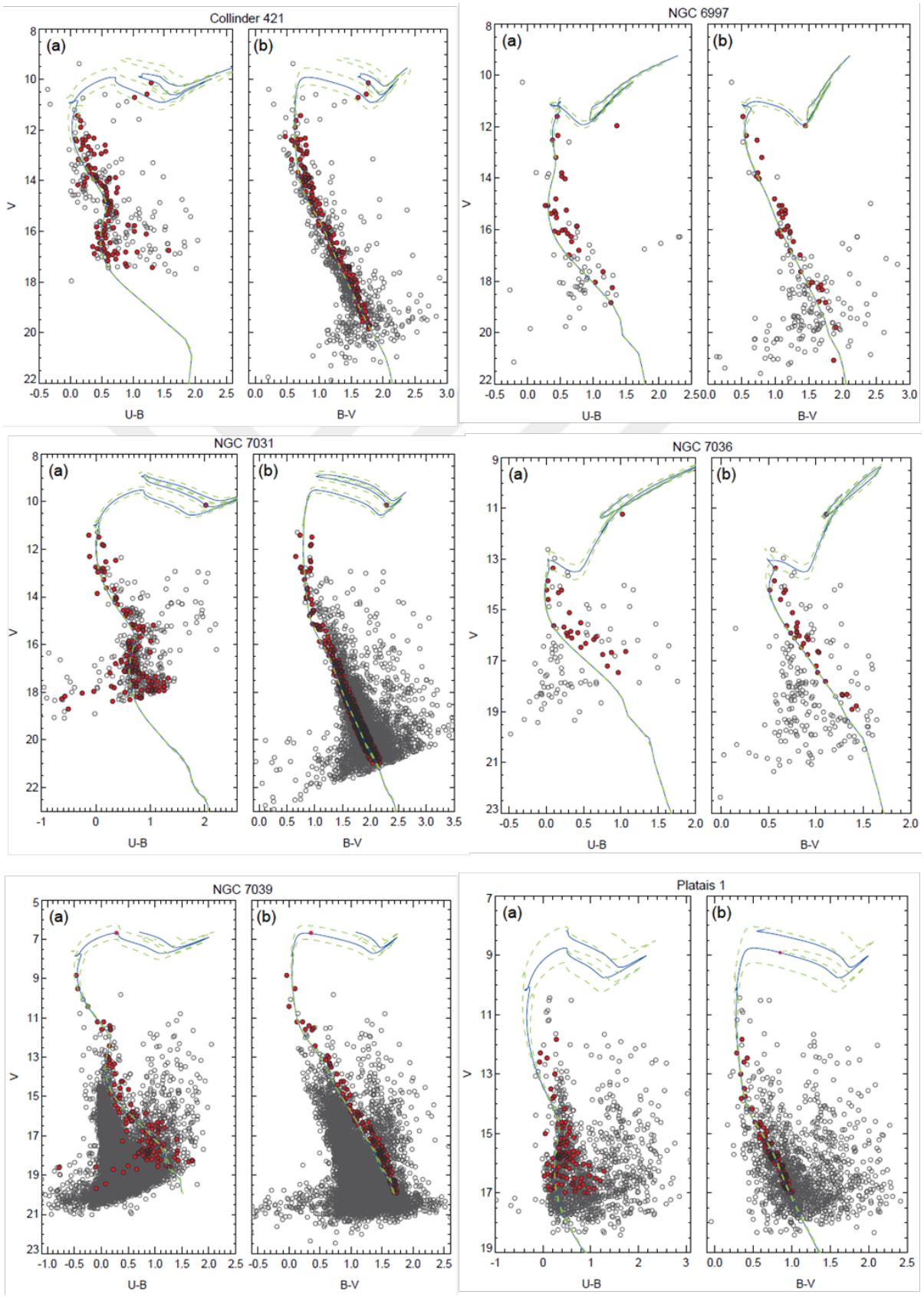
Şekil EK 7 (Devam):



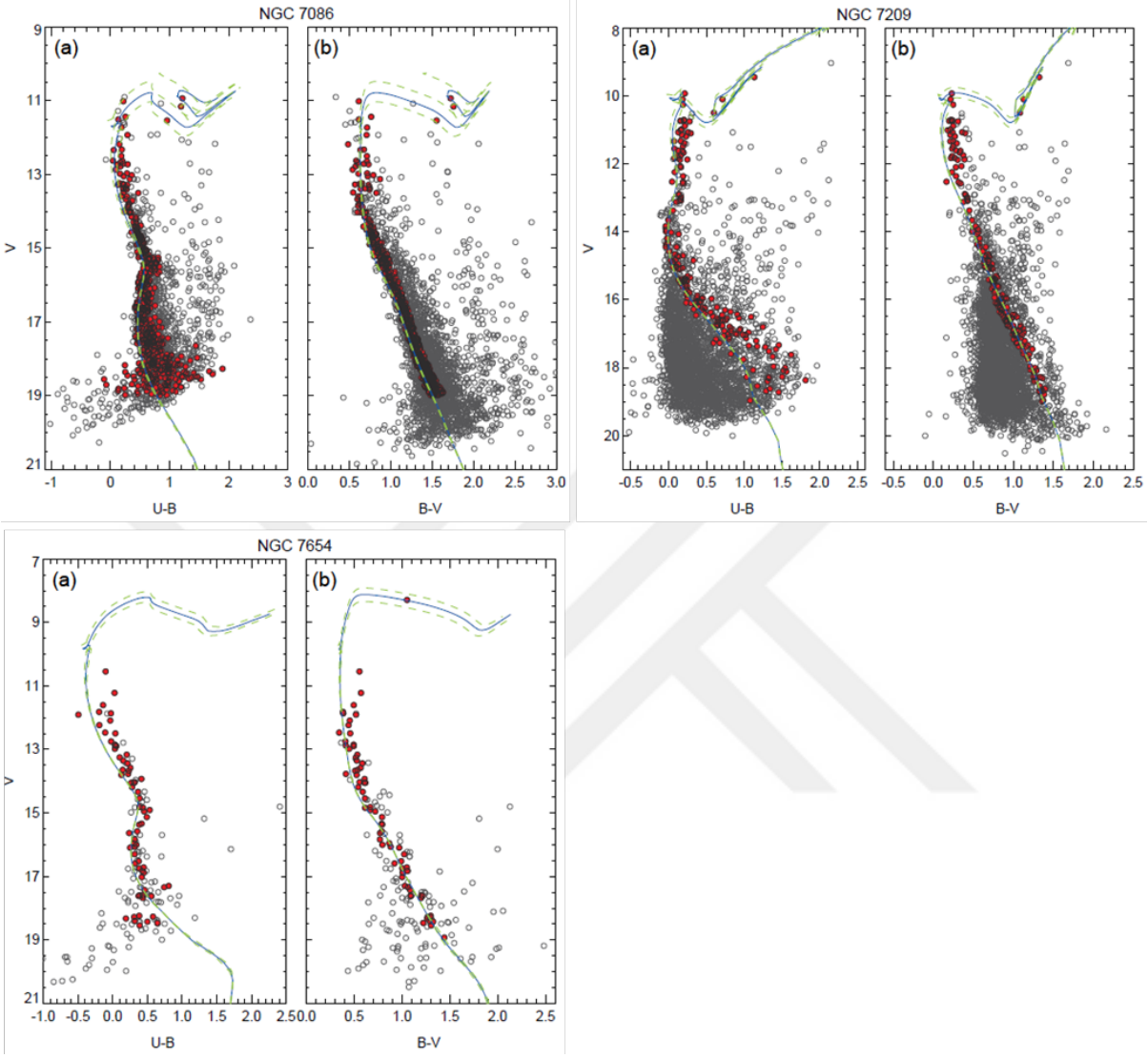
Şekil EK 7 (Devam):



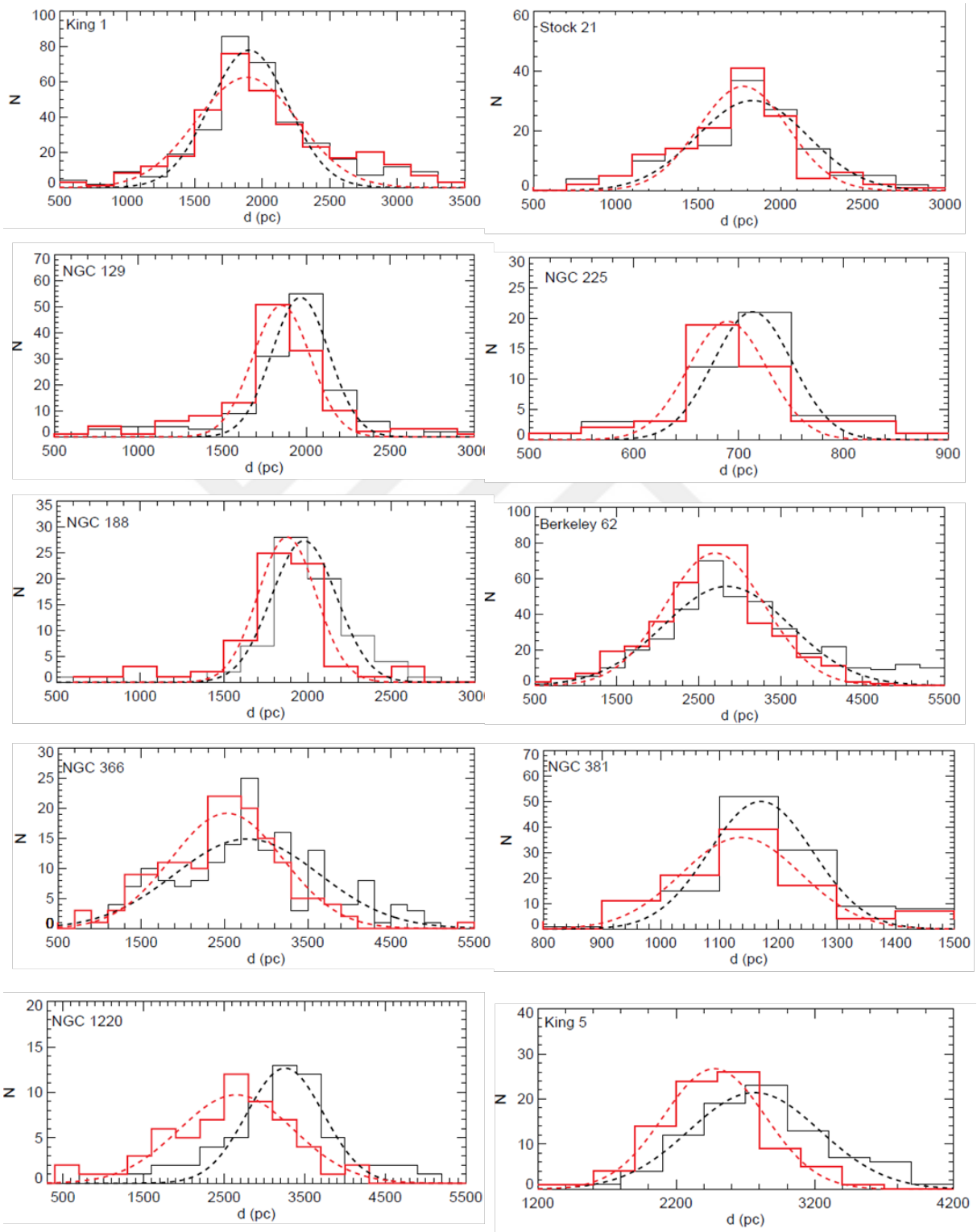
Şekil EK 7 (Devam):



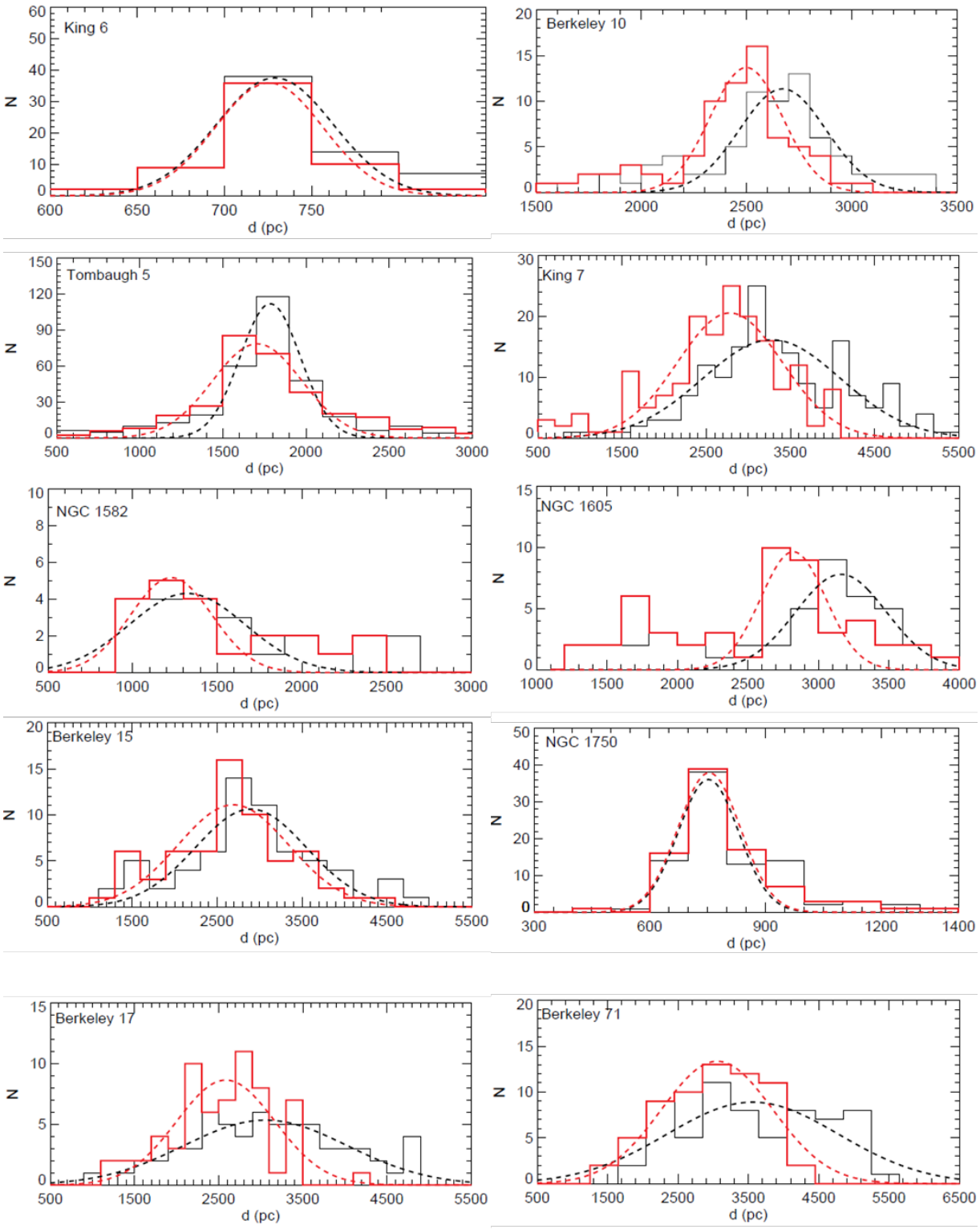
Şekil EK 7 (Devam):



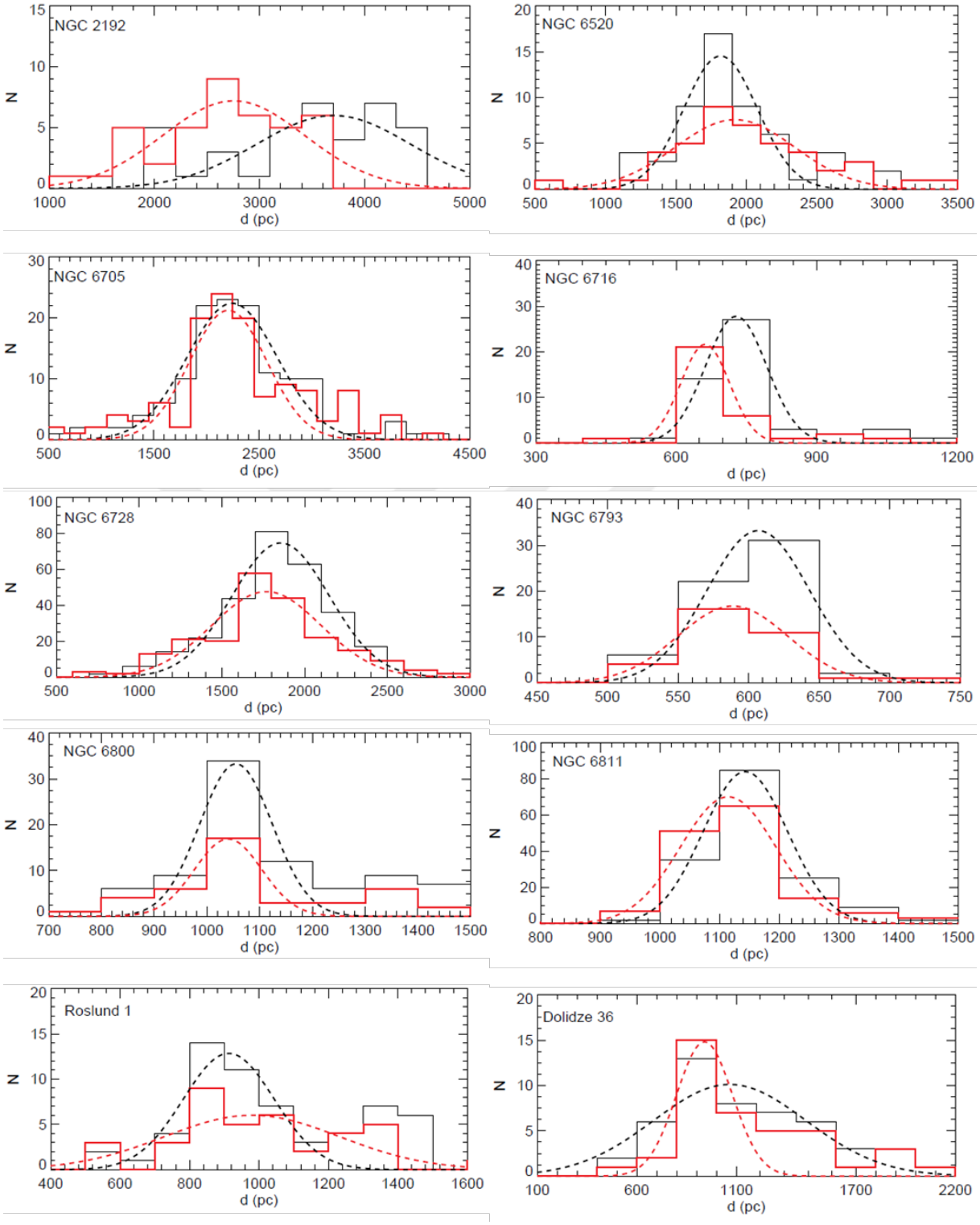
Şekil EK 8: İki farklı yöntem (Bailer-Jones ve diğ., 2018 ve Gaia işbirliği, 2018) ile hesaplanan küme üyesi yıldızların uzaklık histaogramları ve bu histogramlara fit edilen Gauss eğrileri.



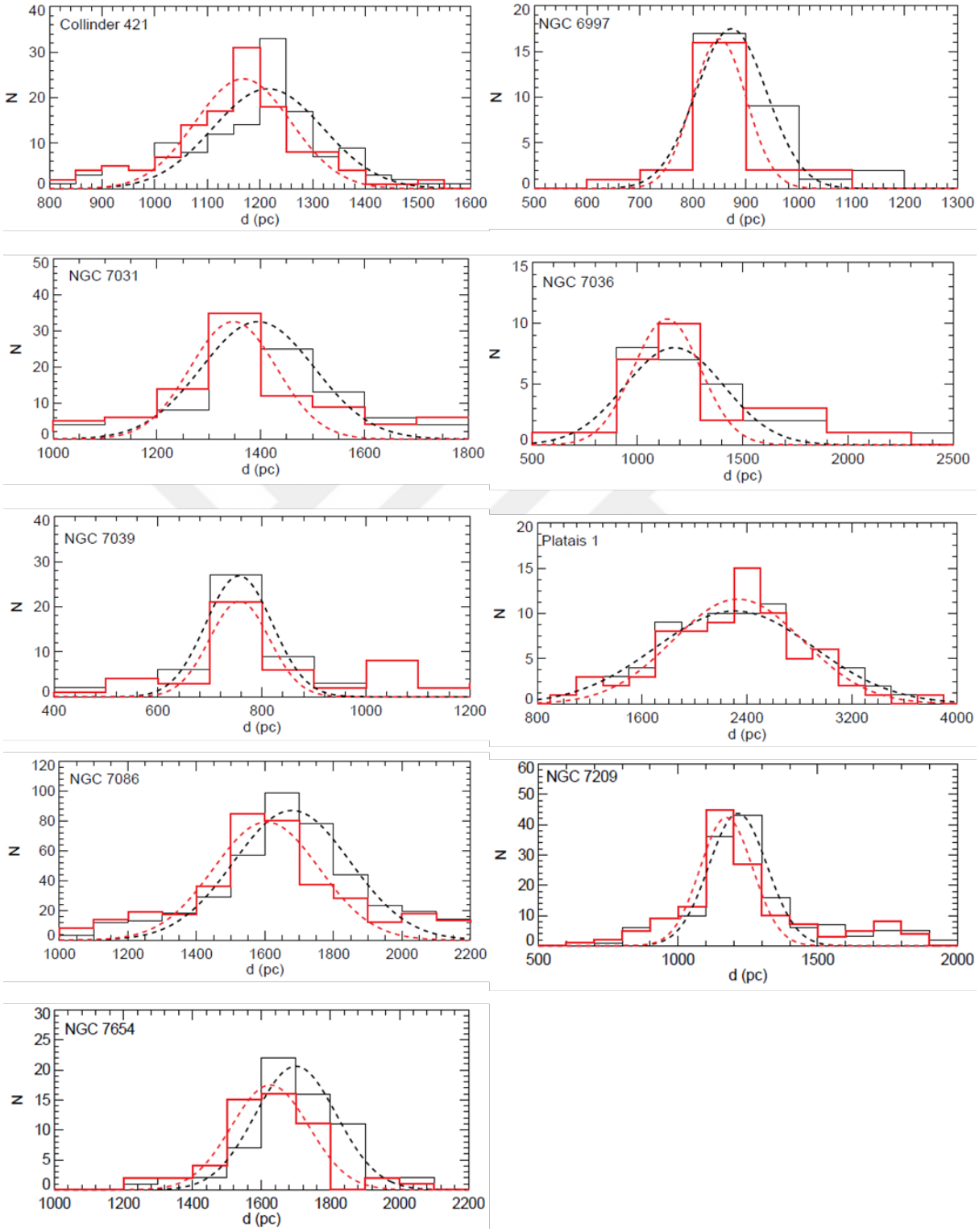
Şekil EK 8 (Devam):



Şekil EK 8 (Devam):



Şekil EK 8 (Devam):



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Talar YONTAN
Doğum Yeri	Mardin
Doğum Tarihi	05.07.1988
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0212 440 00 00 - 10297
E-Posta Adresi	talar.yontan@istanbul.edu.tr
Web Adresi	http://aves.istanbul.edu.tr/42410/

Eğitim Bilgileri Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	23.06.2011

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

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

Makale ve Bildiriler

SCI, SSCI, AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler

Banks, T., Yontan, T., Bilir, S., Canbay, R., 2020, "Vilnius Photometry and Gaia Astrometry of Melotte 105", *Journal of Astronomy and Astrophysics*, 41, article id. 6.

Çelebi, M., Bilir, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., Yontan, T., 2019, "Metallicity and Absolute Magnitude Calibrations for F-G Type Main-sequence Stars in the Gaia Era", *Astrophysics and Space Science*, 364, article id. 172, 12.

Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z.F., Ak, T., Ak, S., Güver, T., ve diğ., 2019, "CCD UBV Photometric and Gaia Astrometric Study of Eight Open Clusters - ASCC 115, Collinder 421, NGC 6793, NGC 7031, NGC 7039, NGC 7086, Roslund 1 and Stock 21", *Astrophysics and Space Science*, 364, article id. 152, 20.

Hoyman, B., Özdarcan, O., Dervişoğlu, A., Yontan, T., Çakırlı, Ö., 2019, "Analysis of a Detached Eclipsing Binary at Near the Turnoff Point of the Open Cluster NGC 6791 in Kepler Field", *New Astronomy*, 68, 10-19.

Bostancı, Z.F., Yontan, T., Bilir, S., Ak, T., Güver, T., Ak, S., ve diğ., 2018, "CCD UBV Photometric Study of Five Open Clusters-Dolidze 36, NGC 6728, NGC 6800, NGC 7209, and Platais 1", *Astrophysics and Space Science*, 363, article id. 143, 15.

Bilir, S., Bostancı, Z.F., Yontan, T., Güver, T., Bakış, V., Ak, T., ve diğ., 2016, "CCD UBV Photometry and Kinematics of the Open Cluster NGC 225", *Advances in Space Research*, 59, 1-34.

Ak, T., Bostancı, Z.F., Yontan, T., Bilir, S., Güver, T., Ak, S., ve diğ., 2016, "CCD UBV Photometry of the Open Cluster NGC 6819", *Astrophysics and Space Science*, 362, article id.126, 14.

Bilir S., Göğüş E., Önal Taş Ö., Yontan T., 2015, "A New Ranking Scheme for the Institutional Scientific Performance", *Journal of Scientometric Research*, 4, 70-76.

Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z.F., Ak, T., Karaali, S., Güver, T., ve diğ., 2015, "CCD UBVRI Photometry of NGC 6811", *Astrophysics and Space Science*, 355, 267-281.

Bostancı, Z.F., Ak, T., Yontan, T., Bilir, S., Güver, T., Ak, S., ve diğ., 2015, "A Comprehensive Study of the Open Cluster NGC 6866", 2015, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 453, 1095-1107.

Ak, S., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Güçtekin, S.T., Önal Taş, Ö., Öztürkmen, N.D., Duran, Ş., Coşkunoğlu, B., Yontan, T., Yaz Gökçe, E., Eker, Z., 2014, "Colour Transformations between BVR_C and g'r'i' Photometric Systems for Giant Stars", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, id.e014, 12.

Tüysüz, M., Soydugan, F., Bilir, S., Soydugan, E., Şenyüz, T., Yontan, T., 2014, "The Early-Type Near-Contact Binary System V337 Aql Revisited", *New Astronomy*, 28, 44-48.

Bilir, S., Göğüş, E., Önal Taş, Ö., Öztürkmen, N.D., Yontan, T., 2013, "Research Performance of Turkish Astronomers in the Period of 1980-2010", *Scientometrics*, 97, 477-489.

Bilir, S., Ak, T., Ak, S., Yontan, T., Bostancı, Z. F., 2013, "A New Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars", *New Astronomy*, 23-24, 88-97.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Dağtekin, N.D., Yontan, T., Gilmore, G., Seabroke, G. M., 2012, "Local Stellar Kinematics from RAVE Data - III. Radial and Vertical Metallicity Gradients Based on Red Clump Stars", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 3362-3374.

Hakemli Kongre / Sempozyumların Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

Alan, N., Bilir, S., Güçtekin Tunçel, S., Çelebi, M., Yontan, T., Plevne, O., Ak, S., Ak, T., Karaali, S., 2019, "Transformation Equations between GALEX and UBV Photometric Systems", AIP Conference Proceedings, 2178, id.030022

Yontan, T., Bilir, S, Bostancı, Z.F., Ak, T., Ak, S., Güver, T., Paunzen, E., Ürgüp, H., Çelebi, M., Akti, B.A., Gökmen, S., "Sekiz Açık Kümenin Fotometrik ve Gaia Astrometrik Çalışması – ASCC 115, COLLINDER 421, NGC 6793, NGC 7031, NGC 7039, NGC 7086, ROSLUND 1 ve STOCK 21", Galaktik Astronomi Kongresi, İstanbul, Türkiye, 12-13 Eylül 2019.

Akti, B. A., Bostancı, Z.F., Yontan, T., Bilir, S, Ak, T., Ak, S., Güver, T., Paunzen, E., Çelebi, M., Ürgüp, H., "Güneysel Dört Açık Kümenin Fotometrik ve Astrometrik Analizleri: NGC3293, NGC3766, NGC4755, NGC6231", Galaktik Astronomi Kongresi, İstanbul, Türkiye, 12-13 Eylül 2019.

Çelebi, M., Bilir, S, Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., Yontan, T., "F-G Tayf Türü Anakol Yıldızları için Yeni Fotometrik Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu", Galaktik Astronomi Kongresi, İstanbul, Türkiye, 12-13 Eylül 2019.

Alan, N., Bilir, S., Tunçel Güçtekin, S., Çelebi, M., Yontan, T., Plevne, O., Ak, S., Ak, T., Karaali, S., "GALEX ve UBV Fotometrik Sistemleri Arasındaki Dönüşüm Denklemleri", Galaktik Astronomi Kongresi, İstanbul, Türkiye, 12-13 Eylül 2019.

Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z.F., Ak, T., Güver, T., Ak, S., Paunzen, E., "Astrophysical Parameters of NGC 7086", 34. Türk Fizik Derneği Uluslararası Fizik Kongresi, Muğla, Türkiye, Eylül 2018.

Bostancı, Z. F., Yontan, T., Bilir, S., Ak, T., Güver, T., Ak, S., Paunzen, E., "Astrophysical Parameters of Open Cluster NGC 6793", 34. Türk Fizik Derneği Uluslararası Fizik Kongresi, Muğla, Türkiye, Eylül 2018.

Yontan, T., Bilir S., Bostancı, Z.F., Ak, T., Karaali, S., Güver, T., ve diğ., "NGC 6811 Açık Kümesinin Fotometrik Çalışması", 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015, 31-40.

Bostancı, Z.F., Ak, T., Yontan, T., Bilir, S., Çakırlı, Ö., Güver, T., ve diğ., "NGC 6866 Açık Kumesinin Ayrıntılı İncelenmesi", 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015, 51-60.

Bilir, S., Göğüş, E., Önal Taş, Ö., Yontan, T., "Türkiye'deki Astronomi Çalışmalarına Genel Bakış ve Kurumların Bilimsel Performans Değerlendirmesinde Yeni Bir Yaklaşım", 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015, 81-90.

Soydugan, F., Bilir, S., Soydugan, E., Demircan, O., Eker, Z., Tüysüz, M., ve diğ., "Çift Yıldızların Kinematik ve Dinamik Özellikleri: Açısal Momentum ve Yörünge Dönemi Evrimi", 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015, 1-10.

Bostancı, Z.F., Ak, T., Güver, T., Bilir, S., Ak, S., Yontan, T., Eker, Z., "NGC 225 Kümesinin CCD UBVRI Fotometrik Gözlemler", Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 14-15 Mayıs 2012, 192-196.

Bilir, S., Göğüş, E., Önal Taş, Ö., Öztürkmen, N.D., Yontan, T., "1980 – 2010 Yılları Arası Türkiye'de Yapılan Astronomi Çalışmaları", Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 14-15 Mayıs 2012, 148-160.

Projeler

TÜBİTAK 1001 Projesi, 111T224, 240,000 TL, Bursiyer, Çift Yıldızlarda Açısal Momentum ve Yörünge Evrimi, Aralık 2011- Aralık 2014, Yürütücü: Faruk SOYDUGAN.

TÜBİTAK 1001 Projesi, 113F270, 300,485 TL, Bursiyer, Galaktik Diskin Evriminin Açık Kümelerle İncelenmesi, Mart 2014 - Mart 2017, Yürütücü: Tansel AK.

TÜBİTAK 1001 Projesi, 114F347, 237,500 TL, Bursiyer, Samanyolu Galaksisinin Metal Bolluğu Haritası, Aralık 2015- Aralık 2018, Yürütücü: Serap AK

TÜBİTAK 1002 Projesi, 119F014, 45,000 TL, Bursiyer, Czernik 2, Frolov 1, NGC 7510 ve NGC 7654 Açık Kümelerinin CCD UBV ve Gaia Astrometrik Analizi, Ağustos 2019-Devam, Yürütücü: Selçuk BİLİR

BAP Projesi, 39742, 75,000 TL, Araştırmacı, Ötegezegenlerin Fotometrik Gözlemleri, Aralık 2014- Aralık 2016, Yürütücü: Tansel AK

BAP Projesi, 39582, 75,000 TL, Araştırmacı, NGC 225 Açık Kümesinin Fotometrik Analizi, Aralık 2014- Aralık 2016, Yürütücü: Selçuk BİLİR

BAP Projesi, 22543, 14,966 TL, Araştırmacı, Galaksimizdeki Radyal Metal Bolluğu Gradyentinin Açık Kümeler Yoluyla İncelenmesi, Ağustos 2016- Devam, Yürütücü: Z. Funda BOSTANCI GÜVER

BAP Projesi, 23607, 19,287 TL, Araştırmacı, Güneş Civarında Yaş-Metal Bolluğu İlişkisinin SDSS Verileriyle Araştırılması, Ocak 2017- Ocak 2018, Yürütücü: Z. Funda BOSTANCI GÜVER

Etkinlik ve Organizasyonlar

Galaktik Astronomi Kongresi, Kısa bildiri, İstanbul, Türkiye, 12-13 Eylül 2019.

34. Türk Fizik Derneği Uluslararası Fizik Kongresi, Sözlü sunum, Muğla, Eylül 2018.

UAK2015-19.Ulusal Astronomi Kongresi ve 8.Ulusal Astronomi Öğrenci Kongresi, Sözlü sunum, ODTÜ/Ankara.

Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, Dinleyici, İstanbul, Mayıs 2012.

UAK2010-17. Ulusal Astronomi Kongresi, Dinleyici, Adana, Ağustos 2010.

Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu, Dinleyici, İstanbul, Haziran 2010.