

BELİRLENMİŞ GALAKTİK DİSK AÇIK YILDIZ KÜMELERİNİN TEMEL VE YAPISAL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Özgün ARSLAN¹, İbrahim KÜÇÜK¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039 Kayseri - TÜRKİYE
eposta:ozgunadige67@gmail.com - kucuk@erciyes.edu.tr

Özet: Açık kümelerin temel fiziksel parametrelerinin doğru belirlenmesi galaktik diskin kimyasal ve dinamik evrimini anlamak için önemlidir. Galaktik diskte bulunan açık yıldız kümelerinin uzaklıklarının, yaş, metal bolluğu ve kızarma değerlerinin doğru olarak belirlenmesi yıldız oluşum ve evrimini için daha gerçekçi modeller elde edilmesini sağlar. Yaptığımız bu çalışmada bazı Galaktik açık yıldız kümelerinin temel parametreleri elde edildi. Çalışmada incelenen Tr 32 için 2 Gyr, NGC6802 için 1.1 Gyr, NGC6811 için 1.8 Gyr, Be89 için 2.5 Gyr ve [KGZ2008]53 için 1.3 Gyr yaş değerleri belirlendi. Ayrıca bu kümelerin yapısal parametreleri de incelenerek çekirdek yarıçapı, üye yıldızların merkezi yoğunluğu ve alan yıldız yoğunluğu belirlendi. 0.2 kadirde küçük hatalar ile J, H, K_s 2MASS fotometrisi renk-parlaklık diyagramları, radyal yoğunluk profilleri oluşturmak için kullanıldı. Oluşturulan renk-parlaklık filtreleriyle olası küme üyesi yıldızları izole etmek için kullanıldı. Ayrıca alan yıldız temizlemesi işlemi adı geçen beş açık kümeye uygulandı.

Anahtar Kelimeler: Açık Küme Renk-Parlaklık Diyagramları, Padova Eş Yaş Çizgileri, Radyal Yoğunluk Profilleri, Galaktik Disk, 2MASS Fotometresi.

1. Giriş

Açık yıldız kümelerinin temel fiziksel parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, galaktik diskin oluşumu evriminin anlaşılabilmesi oldukça büyük öneme sahiptir. Galaktik diskte bulunan açık yıldız kümelerinin üye sayısı, uzaklık, yaş, metal bolluğu, kızarma miktarı, radyal ve uzay hız dağılımı gibi parametrelerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi daha gerçekçi yıldız oluşum ve evrim modelleri yapılmasını sağlar. Açık yıldız kümeleri, Galaksimizin evrimsel ve dinamik özelliklerinin anlaşılması açısından büyük öneme sahip olmalarına rağmen, açık kümelerle ilgili yapılan gözlemler Galaksimize ait bu özelliklerin açığa çıkarılması için henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır. Fotometrik ve dinamik sınırlamalar nedeniyle pek çok açık küme gözlemi düşük çözünürlüklü hızlı alan taraması yöntemiyle yapılmıştır. Düşük çözünürlükler ve poz sürelerindeki yetersizlikler bu tür gözlem verilerinden elde edilen kümelere ait temel ve yapısal parametrelerin doğruluklarını sınırlandırır. Düşük çözünürlüklü hızlı alan taramalarıyla elde edilen gözlemsel verilerin birçoğu, kümelerin nükleer ve dinamik evrim durumlarını yansıtan kütle ve ışınma gücü fonksiyonlarının belirlenmesi için de uygun değildir. Bu nedenle farklı filtre sistemlerini kapsayan geniş uzaysal çözünürlüğe sahip detaylı gözlemler, galaktik diskteki açık kümelerin astrofiziksel parametrelerinin, kütle ve ışınma gücü fonksiyonlarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

2. Açık Yıldız Kümelerinin Temel ve Yapısal Parametrelerinin Elde Edilmesinde İzlenen Yöntem

Açık kümeler, moleküler bulut parçalanması, yıldız oluşumu, yıldız evrimi ve dinamik evrim modellerin test edilmesinde kullanılabilir. Bu tür kümeler, galaktik disk yapısının incelenmesi için mükemmel kaynaklardır [1]. Pek çok açık yıldız kümesinin renk-parlaklık diyagramları, kümelerin kırmızılaşma miktarını, yaşını ve güneşten olan uzaklığını elde etmek için temel veriler sağlayan, ana-kol, dönüm noktası ve dev kolu gibi yaşa bağımlı bölgeler içerir. Bu nedenle açık yıldız kümeleri, galaktik disk özelliklerinin incelenmesinde kullanılabilirler. Ancak, açık kümelerin çekirdek ve limit yarıçapı gibi parametrelerinin teorik modellerle sınırlandırılması gerekir. Parlak kümeler için yaş ve uzaklık tahmini yapmak görece olarak daha kolay olsa da, birçok açık kümenin galaktik diske yakın konumlarda bulunması, kümelerin kırmızılaşma ve alan yıldızı kirlenmesinden daha çok etkilenmesine yol açar. Yeterli bir gözlemsel çözünürlüğe sahip olunmadığında, kırmızılaşma ve alan yıldızı kirlenmesi gibi olumsuz etkiler analizlerin, yoğun popülasyonlu veya güneşten birkaç parsek uzaklıkta bulunan açık kümelerle sınırlandırılmasına neden olur.

2.1 2MASS Fotometrisi

Yakın kırmızı öte fotometrisiyle açık kümelerinin temel ve yapısal parametrelerini belirlemek için bu tez çalışmasında kullanılan yöntem, renk-parlaklık diyagramındaki alan yıldızı kirlenmesini en düşük seviyeye indirmek için geliştirilmiş bir analitik prosedür serisinden oluşur. Kullanılan yöntem, geniş parlaklık aralığına sahip açık kümelerin parametrelerinin etkin bir şekilde belirlenmesine olanak sağlar. Yöntemde, uzaysal ve fotometrik homojenliğin sağlanması için J, H ve K_S 2MASS fotometrisi kullanılmaktadır. 2MASS (The Two Micron All Sky Survey) nokta kaynak kataloğu, neredeyse tüm gökyüzünü kaplayan görece olarak sönük parlaklıklara homojen bir şekilde ulaşma imkanı verir. Bu imkan sayesinde, geniş açışal boyutlu kümeler için daha net bir arka alan tanımlanması yapılabilir [2]. İstatistiksel alan yıldızı temizleme yönteminin ve renk-parlaklık filtrelerinin kullanılması, küme parametrelerinin daha doğru bir şekilde elde edilmesini sağlar. Çalışmamızda incelenen kümelerinin J, H ve K_S filtrelerindeki fotometrik verilerine ulaşmak için *VizieR* veritabanı kullanılmıştır. Kümelerinin fotometrik verileri ve sağ açıklık, dik açıklık, galaktik enlem ve boylam gibi parametreleri yaklaşık olarak R=60' yarıçaplı dairesel bölgeler göz önüne alınarak indirilmiştir. Fotometrik verilerin J, H, K_S filtrelerindeki hata aralığıysa 0.2 kadir olarak seçilmiştir.

2.2. Kümelerin Renk-Parlaklık Diyagramlarından Alan Yıldızlarının Temizlenmesi

Galaktik diskte bulunan alçak galaktik enlemlerdeki kümelerin renk-parlaklık diyagramlarında önemli derecede alan yıldızı kirlenmesi vardır. Alan yıldızı kirlenmesi kümelerin merkezlerine doğru gidildikçe genellikle arttığı için, küme merkezlerinin belirlenmesini oldukça zorlaştırır [2]. Alan yıldızlarının temizlenmesi, kümelerin temel ve yapısal parametrelerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Özellikle yoğun alan bölgeleri ve fakir popülasyonlu kümeler göz önüne alındığında, alan yıldızlarını temizlemek zorlaşır. Çalışmamızdaki kümelerin gerçek renk-parlaklık şekillerini ortaya çıkarmak için, küme bölgesi ve mukayese alanındaki yıldızların görece sayı yoğunlarını hesaplayan istatistiksel bir algoritma kullanılmıştır. Algoritma 2MASS filtrelerindeki belirsizlikleri

hassas bir şekilde göz önüne alarak, J parlaklığı, (J-H) ve (J-K) renkleri olmak üzere üç boyutta çalışır. Temelde algoritma:

- i) Analiz edilen renk-parlaklık diyagramının parlaklık ve renk serilerini, eksenleri J, (J-H) ve (J-K) doğrultusunda olan kübik hücrelerden oluşan üç boyutlu aralıklara böler.
- ii) Hücreninkiyile kıyaslanabilir parlaklık ve renklere sahip mukayese alan yıldızların sayısını temel alarak her bir hücredeki alan yıldızı sayı yoğunluğunu(beklenen değeri) hesaplar.
- iii) Her bir hücreden beklenen alan yıldız sayısını rastgele çıkarır.

2.3. Alan Yıldızlarından Temizlenmiş Renk-Parlaklık Diyagramları

Alan yıldızı temizleme algoritması renk-parlaklık hücrelerindeki beklenen alan yıldızı sayısını hesaplar, yıldızların sadece parlaklık ve renk özelliklerini göz önüne aldığı için hücrelerdeki benzer parlaklık ve renge sahip küme üyesi ve alan yıldızlarını aynı silinme olasılığına sahiptir. Dolayısıyla da hücrelerden rastgele yıldız çıkarma işlemi, kümelerdeki yıldızların gerçek radyal dağılım istatistiklerinde yapay bir değişime neden olur. Bu nedenle, yıldızlarından temizlenmiş fotometriden yıldızların radyal dağılım özellikleri değil, yalnızca renk-parlaklık bilgileri elde edilebilir [3]. Yani alan yıldızı temizleme algoritması yalnızca, renk-parlaklık diyagramlarının gerçek şekillerinin elde edilmesinde kullanılır.

2.4. Renk-Parlaklık Filtreleri

Çalışmamızda arka alan alanıyla mukayese edilebilir renklerdeki yıldızları temizlemek için, renk-parlaklık filtreleri kullanılmıştır. Oluşturulan filtreler sayesinde küme üyesi yıldızları uzaysal dağılımları daha doğru bir şekilde belirlenmiştir. Kullanılan filtreler, anakol ve evrimleşmiş yıldızların renk dağılımlarını hatalarıyla birlikte alacak kadar geniş bir yapıda seçilmiştir. İstatistiksel olarak alan yıldızlarından temizlenmiş renk-parlaklık diyagramlarının aksine, kümelerle benzer parlaklıklara sahip artık alan yıldızlarının renk-parlaklık filtrelerinden geçmesi beklenir. Bu durum, kümelerin radyal yoğunluk profillerinde görülen alan yıldızı temizlemesine bağlı yapay değişimlerin ortadan kalkmasını sağlar. Ayrıca renk-parlaklık filtreleri, kümelerin merkezine doğru çift sistemlerinin oranlarının artması gibi dinamik evrimle ilişkili etkileri göz önüne kadar da geniş yapıdadır. Çünkü çift veya çoklu sistemler, kümelerin anakol bandını genişletme eğilimindedir [3].

3. Kümelerin Radyal Yoğunluk Profilleri

Yıldız kümelerin radyal yoğunluk profilleri, küme üyesi yıldızların uzaysal dağılımlarının temsil ederler. Radyal yoğunluk profili, belirli bir uzaysal bölge içindeki yıldız yoğunluğunu tanımlar. Küme üyesi yıldızların uzaysal dağılımları belirlenirken yoğunluk profillerinin kullanılmasının nedeni, küme merkezleri yakınlarındaki veri yığılmasının ve merkezden uzak bölgelerdeki veri azlığının önüne geçmektir. Çalışmamızdaki yoğunluk profilleri elde edilirken, küme merkezinden uzaklaştıkça genişliği artan dairesel bölgeler içindeki yıldızların sayı yoğunluğunu veren bir algoritma kullanılmıştır. Yarıçap birimleri parsek veya açı dakikası olan dairesel bölgelerin sayıları ve genişlikleri kümelerin üye yoğunluklarına ve galaktik konumlarına göre farklılık gösterebilir. Dairesel bölgelerin sayıları ve genişliklerini değiştirerek, küçük Poisson hatalarına sahip yüksek uzaysal

çözünürlüklü radyal yoğunluk profilleri elde edilebilir. Her radyal yoğunluk profilinin artık arka alan kirlenme seviyesi, mukayese alanında ölçülen filtrenmiş yıldızların ortalama sayısına karşılık gelir. Kümelerinin limit yarıçapları ve yarıçaplardaki belirsizler, arka alan yoğunluk dağılımlarıyla radyal yoğunluk dağılımı seviyelerinin görsel olarak mukayese edilmesiyle tahmin edilir. Limit yarıçap tahminleri radyal yoğunluk dağılımlarındaki değişimler göz önüne alınarak yapılır. Kümelerin radyal yoğunluk profillerinin arka alan bölgelerinden görsel olarak ayırt edilemediği yarıçap değeri limit yarıçap değeri olarak tanımlanır [2].

3.1. Üç Parametrelili King Profil Fiti

İncelediğimiz kümelerinin yapısal parametreleri küme üyesi yıldızların radyal sayı yoğunlarını modelleyen üç parametrelili King profil fitiyle belirlenmiştir. King profil fiti:

$$\sigma(R) = \sigma_{bg} + \sigma_{ok} / (1 + (R/R_{core})^2) \quad (3.1)$$

eşitliğiyle tanımlanır [4]. Eşitlikteki σ_{bg} , σ_{ok} ve R_{core} parametreleri sırasıyla arka alan yıldız sayı yoğunluğunu, kümenin merkezi yüzey sayı yoğunluğunu ve kümenin çekirdek yarıçapını tanımlar.

4. Analiz Sonuçları

4.1. Kümelerin Merkezi Koordinatları

Açık yıldız kümelerinin temel ve yapısal parametreleri belirlenmeden önce yapılması gereken ilk iş, kümelerin merkezi koordinatlarının olabildiğince doğru bir şekilde belirlenmesidir. Küme merkezlerinin sağ açıklık ve dik açıklık değerlerinin doğruluk derecesi analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkiler. Tez çalışmasındaki kümelerin belirlenen merkezi koordinatların doğruluk dereceleri, yıldız yüzey sayı yoğunluğunu σ (yıldız/açı-dk⁻²) veren üç boyutlu grafiklerden ve iki boyutlu isopleth (eş alan) yüzeylerinden belirlenmiştir.

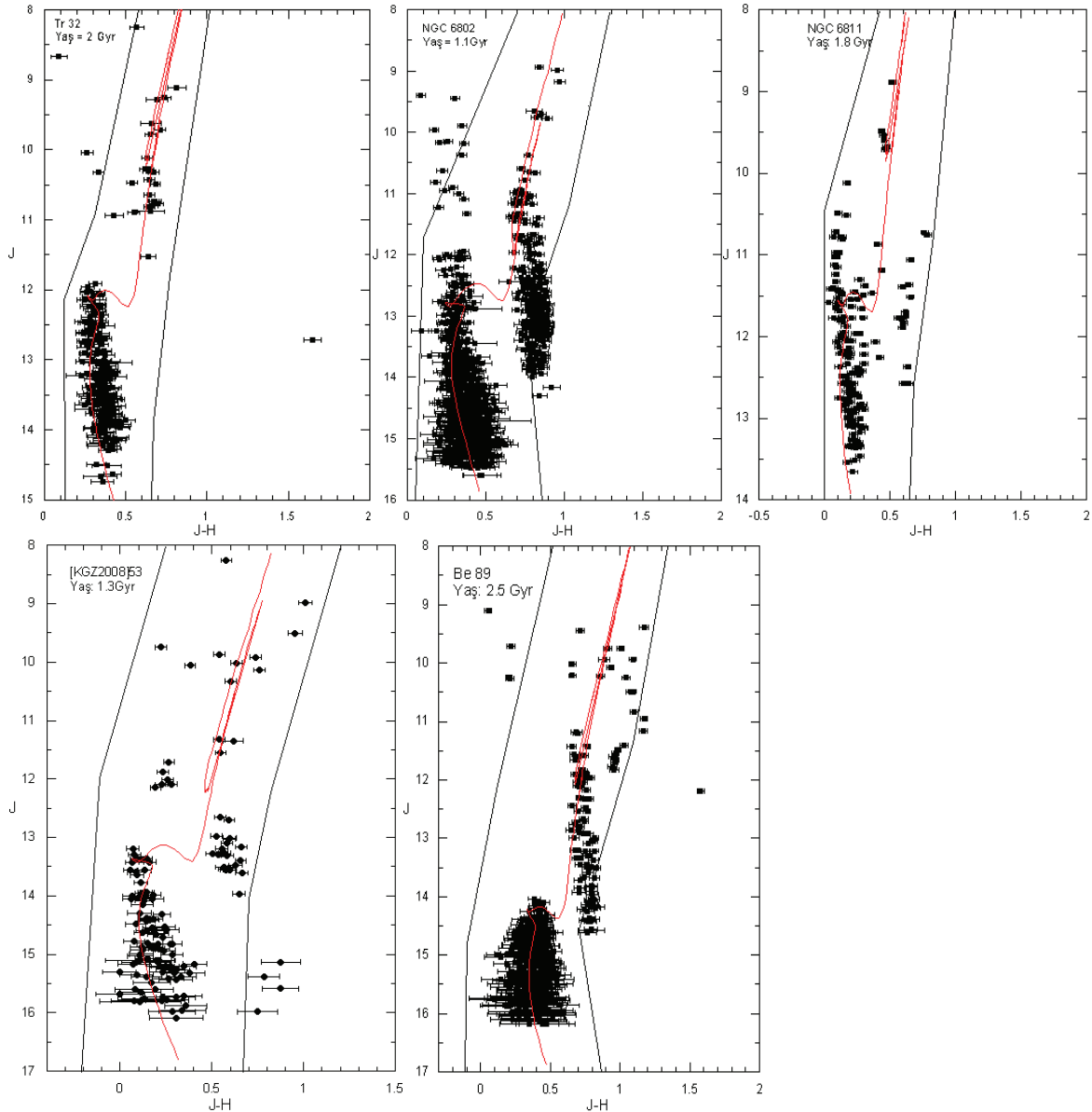
4.2. Kümelerin Temel Parametreleri

İncelenen kümelerin yaşları, 2MASS J, H, Ks filtreleri için oluşturulan ortalama güneş metal bolluğuna sahip Padova Eş Yaş Çizgileri kullanılarak elde edilmiştir. Kümelerin yaş çizgisi fitlerinden elde edilen parametreleri ise, alan yıldız kirlenmesinden ve diferansiyel kırmızıla madan önemli ölçüde etkilenen, uzaklık modülleri ve renk artıklarıdır. Kümelerin alan yıldızlarından temizlenmiş renk-parlaklık diyagramları, yaşlarının güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlayacak kadar çok veriye sahiptirler. Padova eş yaş çizgilerinden elde edilen küme yaşları sırasıyla TR32: **2 Gyr**, NGC6802: **1.1 Gyr**, NGC6802: **1.8 Gyr**, [KGZ2008] 53: **1.3 Gyr** ve Be89: **2.5 Gyr** değerlerindedir.

[2] tarafından güncellenen küresel küme parametrelerini temel alınarak elde edilen verilere göre, Güneş ile galaksi merkezi arasındaki uzaklık 7.2 kpc kadardır. Bu hesaplama göre çalışmada incelenen kümelerin güneşten olan uzaklıkları, TR32: **1.49 kpc**, NGC6802: **2.04 kpc**, NGC6802: **1.28 kpc**, [KGZ2008] 53: **3.54 kpc** ve Be89: **3.34 kpc** değerlerindedir. İncelenen kümelerin uzaklık değerlerini ve renk-parlaklık diyagramlarındaki renk dağılımlarını önemli ölçüde etkileyen diferansiyel kırmızılaşma için kullanılan lineer dönüşüm eşitliği ise:

$$E(J - H) \approx 0.3 \times E(B - V) \quad (4.1)$$

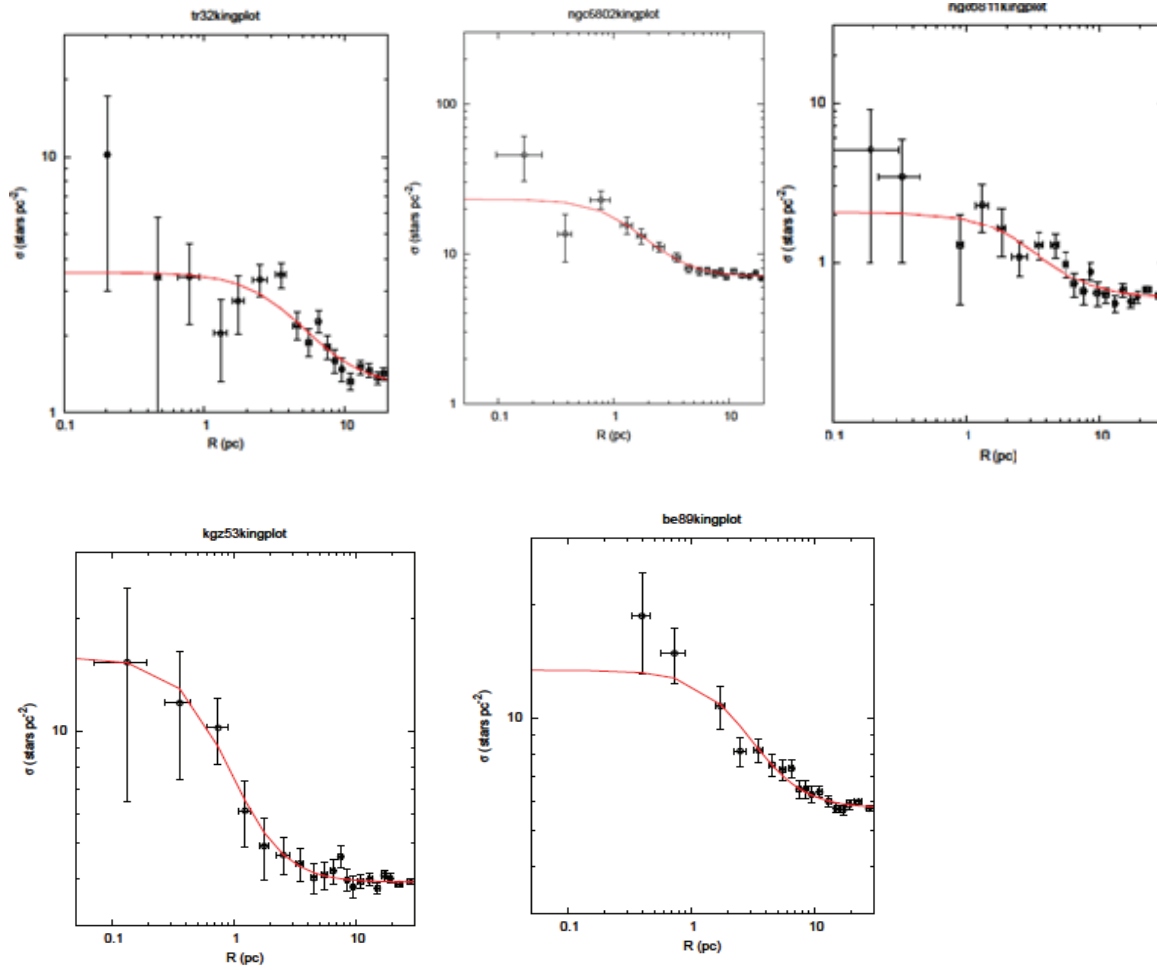
şeklinde ifade edilir [3]. Yakın kırmızı ötedeki diferansiyel kırmızılaşma optik bölgeden daha küçüktür. Bu nedenle J, H, K_s filtreleriyle yapılan gözlemler kümelerin temel parametrelerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça kullanışlıdır. Kümelerin yakın kırmızı öte ve optik bölgede farklı miktarlarda sönmülemeye maruz kalmaları ve alan yıldızlarının istatistiksel sayısını veren mukayese bölgelerindeki diferansiyel kırmızılaşma hesaplanan E(B-V) değerlerindeki hataları artırabilir. Yaptığımız çalışmamızda bu etkinin önüne geçmek için, küme üyesi olma olasılığı yüksek yıldızların renklerindeki hataların büyük bir kısmını içine alacak kadar geniş renk-parlaklık filtreleri kullanılmıştır.



Şekil 1: Tr 32, NGC 6802, NGC 6811, [KGZ]53 ve Be 89 açık yıldız kümelerinin alan yıldızı eliminasyonu ve renk-parlaklık filtrelemesi yapılmış renk-parlaklık diyagramları. Diyagramlara, 2MASS fotometrisi için oluşturulan ortalama güneş metal bolluğuna sahip Padova eş yaş çizgisi fitleri uygulanmıştır

4.3. Kümelerin Yapısal Parametreleri

Yapısal parametreler, kümelerinin orta ve merkezi bölgelerini tanımlayan iki King profil parametresiyle, filtrelenmiş radyal yoğunluk profillerinin fit edilmesiyle elde edilir [5]. Fitler, hataları ağırlık olarak kullanan lineer olmayan en küçük kareler yaklaşımı ile çizilir. Fitlerdeki serbestlik derecesini minimuma indirmek için, mukayese alanında ölçülen artık yıldız değerlerine karşılık gelen arka alan kirlenme seviyesi sabit alınabilir. King fit parametreleri, yıldızların merkezi yıldız yoğunluğu ve çekirdek yarıçapıdır.



Şekil 2: Siyah daireler; Tr 32, NGC 6802, NGC 6811, [KGZ]53 ve Be 89 açık yıldız kümelerinin renk-parlaklık filtresi yapılarak elde edilen radyal yoğunluk profillerini temsil ederken, düz çizgiler; Bu yoğunluk profillerinden geçen en iyi King profillerini temsil eder. Grafiklerdeki yatay ve düşey eksenler sırasıyla, küme merkezlerinden olan uzaklıkları [R(pc)] ve bir parsek karelik alan içinde kalan yıldız sayı yoğunluklarını [σ (stars pc⁻²)] göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Galaktik disk açık yıldız kümelerinin merkezi yüzey yıldız sayı yoğunluğu, limit ve çekirdek yarıçapı gibi yapısal parametrelerinin belirlenmesiyle açık kümelerin ve galaksimizin dinamik yapısı ve evrimin daha iyi anlaşılması açısından son derecede yararlı bilgiler sağlar. Çalışmamız kapsamında incelenen Tr32, NGC6802, NGC6811, KGZ[2008]53 açık yıldız kümelerinin elde edilen temel ve yapısal parametrelerden yararlanılarak ulaşılabilecek hedefler şöyle sıralanabilir:

- 1) Küme temel ve yapısal parametrelerinin farklı fotometrik teknikler kullanılarak yüksek bir doğruluk derecesinde belirlenmeleri ve literatüre olabildiğince çok referans verisi kazandırılması,
- 2) Farklı fotometrik tekniklerle elde edilen parametrelerinin karşılaştırılması,
- 3) Kümelerin kütle ve ışınım gücü fonksiyonlarının belirlenmesi,
- 4) Sonuçların bilimsel olarak yorumlanıp, Galaksimizin nükleer ve dinamik yapısı hakkında daha kapsamlı bilgiler elde etmek.

6. Kaynaklar

- [1] C. Bonatto and E. Bica, 2006. methods for improving open cluster fundamental parameters applied to M52 and NGC 3940. **Astronomy and Astrophysics**, **455(3)**: 931-942.
- [2] C. Bonatto and E. Bica, 2006. structure and stellar content analysis of the open cluster M 11 with 2MASS photometry. **Astronomy and Astrophysics**, **455(1)**: 201-209
- [3] C. Bonatto and E. Bica, 2007. open clusters in dense fields: the importance of field-stsr decontamination for NGC 5715, Lynga 4, Lynga 9, Trumpler 23, Trumpler 26 and Czernik 37. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, **377(3)**:1301-1323.
- [4] C. Bonatto and E. Bica, 2009. astrophysical parameters of 14 open clusters projected close to the galactic plane. **Astronomy and Astrophysics**, **508(1)**: 211-220
- [5] King. I. R, 1966. cluster models and the escape of stars, 25. 1966, Astronomical Union. Symposium, 51-56.

