






Galaksi Kümelerindeki Kırmızı-Kol Galaksilerinin Evrimi

E. Kaan Ülgen^{1,2} *, Sinan Aliş^{3,4} , Oğuzhan Çakır^{5,6,7} , F. Korhan Yelkenci³ ,
Süleyman Fişek^{3,4} 

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, 34116, İstanbul, Türkiye

² Huawei Türkiye Ar-Ge Merkezi, 34768, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34116, İstanbul, Türkiye

⁴ İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34116, İstanbul, Türkiye

⁵ School of Mathematical and Physical Sciences, Macquarie University, NSW 2109, Australia

⁶ Astronomy, Astrophysics and Astrophotonics Research Centre, Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia

⁷ ARC Centre of Excellence for All Sky Astrophysics in 3 Dimensions (ASTRO 3D), Australia

Accepted: December 17, 2022. Revised: December 17, 2022. Received: November 14, 2022.

Özet

Bu çalışmada galaksi kümelerinin renk-parlaklık diyagramlarından belirlenen kırmızı kol galaksileri, hem küme merkezinde hem de kümenin dış kısımlarında incelenmiştir. Kırmızı kol galaksilerinden itibaren belirlenen sönük/parlak galaksi sayı oranlarının hem ortam yoğunluğuna hem de kırmızıya kaymaya bağlı değişimi araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı yöntemle, iki ayrı veri setinden belirlenmiş galaksi kümeleri kullanılmıştır. CFHTLS-W1 alanında galaksi yoğunluğunu esas alan WaZP algoritması ile Subaru HSC-SSP taramasında renk-parlaklık diyagramlarını kullanan CAMIRA algoritmalarının belirlediği kümeler incelenmiştir. Galaksilerin küme içindeki konumlarından bağımsız olarak, düşük kırmızıya kaymalardaki sönük/parlak galaksi oranının yüksek kırmızıya kaymalara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Abstract

In this study, the populations of the red sequence galaxies which are determined from the color-magnitude diagrams of the galaxy clusters are investigated both in cluster center and in the outer parts of the cluster. The variation of faint/lum(F/L) galaxy ratios which is determined from red sequence galaxies was investigated depends on both the density of environment and the redshift. In the study we used the galaxy clusters which are determined from two different datasets with two different methods. The Clusters determined by WaZP algorithm based on galaxy density in the CFHTLS-W1 field and CAMIRA algorithms using color-magnitude diagrams in Subaru HSC-SSP survey were examined. Regardless of the position of the galaxies in the cluster, we found that the ratio of faint/lum galaxies is higher at smaller redshifts when compared with their counterparts at higher redshifts.

Anahtar Kelimeler: galaxies: clusters – galaxies: evolution – galaxies: elliptical and lenticular, cD – galaxies: photometry

1 Giriş

Galaksi kümeleri evrendeki en büyük ve en kütleli yapılarıdır. Bu özellikleri onların büyük uzaklıklardan tespit edilebilmesine olanak tanır ve bu sayede evrendeki madde dağılımının belirlenmesinde kullanılır. Kümeler tipik olarak 1.5-2 Mpc büyüklüğündedir ve yüzlerce bazen binlerce galaksiden oluşabilmektedir (Bahcall 1999). Galaksi yoğunluğunun fazla olması, kümeleri galaksi evrimi için önemli bir laboratuvar haline getirmektedir (Conselice 2014).

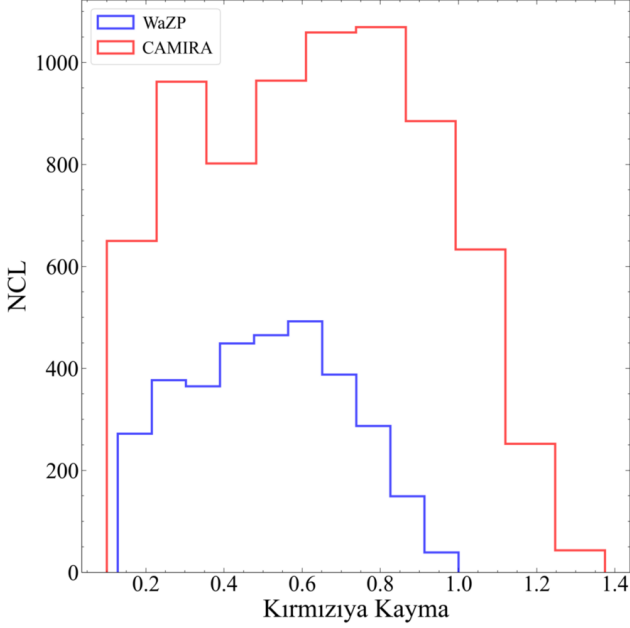
Küme üyesi galaksiler renk-parlaklık diyagramında belirgin bir doğrusal yapı gösterirler. Bu yapı literatürde kırmızı kol (ing. red-sequence) olarak isimlendirilmektedir. Küme üyesi galaksilerin önemli bir bölümünün renk-parlaklık grafiklerinde aynı yerde toplanmasının nedeni, kümelerde baskın olarak erken-tip galaksilerin bulunmasıdır (Bahcall 1999). Erken tip galaksiler, görece daha kırmızı renklindedir, yıldız oluşumları neredeyse durmuş ve yaşlı yıldızlardan oluşmaktadır. Aynı kırmızıya kayma aralığındaki farklı kümelerin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde kırmızı kol yapıları

benzerlik göstermektedir. Küme üyesi galaksilerin dar bir renk aralığında kümelendikleri görülmektedir (Gladders & Yee 2000). Bu durum, küme içerisindeki galaksilerin pasif evrim geçirdiklerine ve benzer zamanlarda oluştuklarına kanıt olarak yorumlanmaktadır (Bower ve diğ. 1992).

Ağırlıklı olarak kırmızı, parlak ve pasif evrimleşen kırmızı kol galaksileri (Visvanathan & Sandage 1977; Annis ve diğ. 1999) $z \sim 1.4$ 'lere kadar kümelerin merkezlerinde tespit edilebilmiştir (Bower ve diğ. 1992; Smail ve diğ. 1998; van Dokkum ve diğ. 1998; Barrientos 1999; Blakeslee ve diğ. 2003; Mullis ve diğ. 2005; Eisenhardt ve diğ. 2005; De Lucia ve diğ. 2007; Hao ve diğ. 2009). Kırmızı kol galaksileri kümenin ışınım-gücü fonksiyonunun parlak ucunda yer alırlar (Sandage ve diğ. 1985; Barger ve diğ. 1998). Kırmızı kolun doğasının belirlenmesi, galaksi oluşumu ve evrimini yönlendiren karmaşık fiziksel süreçleri anlamada önemli bir adım olmaktadır (Hao ve diğ. 2009). Doğrusal bir modelle temsil edilebilen kırmızı kolun eğimi kırmızıya kayma ile değişir (Kodama ve diğ. 1998). Bu durum, renk-parlaklık diyagramlarının galaksi kümelerini belirlemek için kullanılabilmesini sağlamıştır (Gladders & Yee 2000).

Kümelerdeki galaksi evriminin bir sonucu olarak, kırmızı

* k.ulgen90@gmail.com



Şekil 1. WaZP (CFHTLS-W1) ve CAMIRA (Subaru HSC-SSP Wide) algoritmaları ile belirlenen galaksi kümelerinin kırmızıya kayma dağılımları.

kol üzerindeki sönük/parlak (F/L) galaksi oranının kozmik zamanla değiştiği görülmüştür (De Lucia ve diğ. 2007; Stott ve diğ. 2007). Kırmızıya kayma ve çevrenin bir fonksiyonu olarak kırmızı kol galaksilerinin F/L oranlarının incelenmesi, kümedeki galaksilerin evrim durumlarının belirlenmesi için etkili bir araçtır.

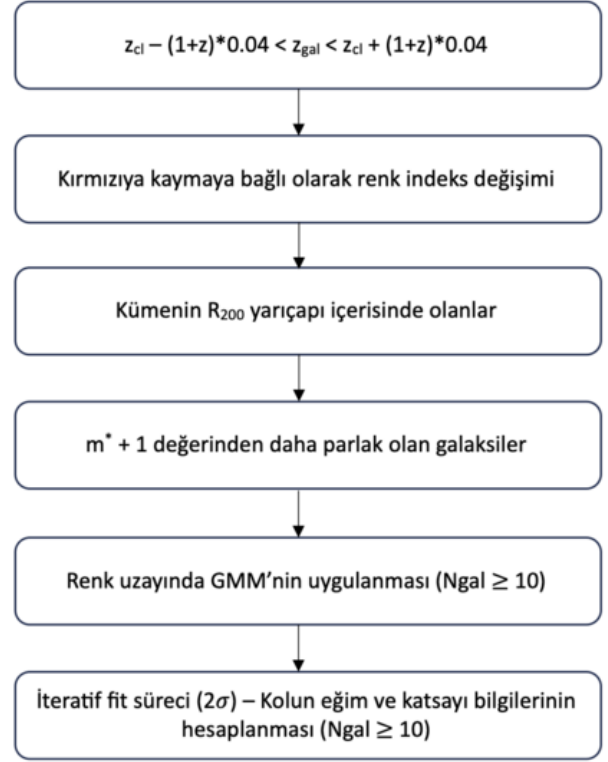
Bu çalışmada iki ayrı gökyüzü taramasından elde edilen galaksi kümeleri kullanılarak kırmızı kol galaksileri belirlenmiş ve F/L oranlarının kırmızıya kaymayla değişimi incelenmiştir. Ş2'de çalışmada kullanılan veri setleri ve uygulanan yöntem, Ş3'de ise elde edilen sonuçlar verilmektedir.

2 Veriler ve Yöntem

2.1 Galaksi Kümeleri ve Galaksi Katalogları

Bu çalışmada CFHTLS ve SUBARU HSC-SSP gökyüzü taramalarından belirlenen galaksi kümeleri kullanılmıştır.

CFHTLS gökyüzü taraması toplam dört geniş (W1, W2, W3, W4) ve dört derin (D1, D2, D3, D4) alan olmak üzere beş bantta alınan (u^* , g' , r' , i'/y' , z') görüntüler, galaksi katalogları ve fotometrik kırmızıya kayma kataloglarından oluşmaktadır (Hudelot ve diğ. 2012). Çalışmamızda 72 derecekarelik alanıyla en büyük bölge olan CFHTLS-W1 alanına ait nihai veri sürümü olan T0007 verileri kullanıldı. W1 alanında incelediğimiz kümeler, WaZP küme bulma algoritması ile belirlenmiştir. WaZP algoritması galaksi konumları ve fotometrik kırmızıya kaymalarına ihtiyaç duyan 2+1 boyutlu bir algoritmadır (Benoist 2014; Euclid Collaboration ve diğ. 2019; Agüena ve diğ. 2021). W1 alanında $S/N > 3$ olan 3325 galaksi kümesi belirlenmiş, bu kümelerin görsel incelemeleri sonucunda belirgin bir galaksi yoğunlaşması göstermeyen, yayık kaynaklar çıkarılmıştır. Geriye kalan 3284 kümenin renk-parlaklık grafikleri incelenmiştir. Bu kümeler $0.1 < z < 1.4$ kırmızıya kayma aralığında dağılmaktadır.



Şekil 2. Kırmızı kolun ve kol üzerindeki galaksilerin belirlenme adımları.

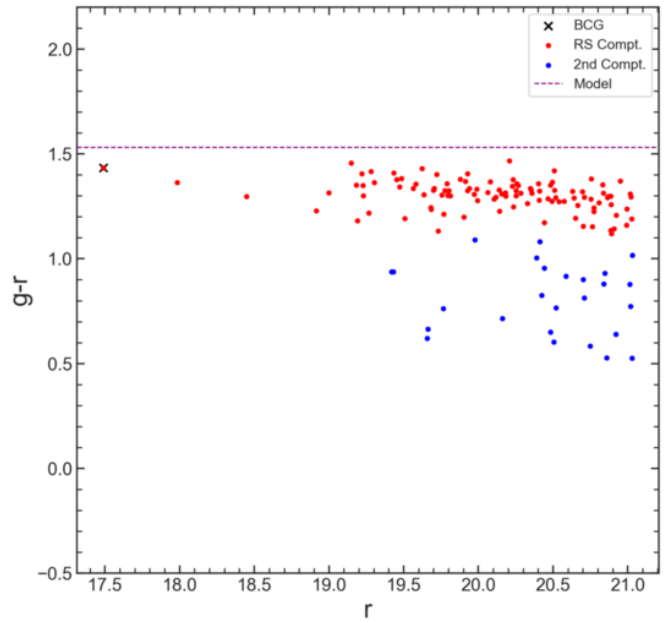
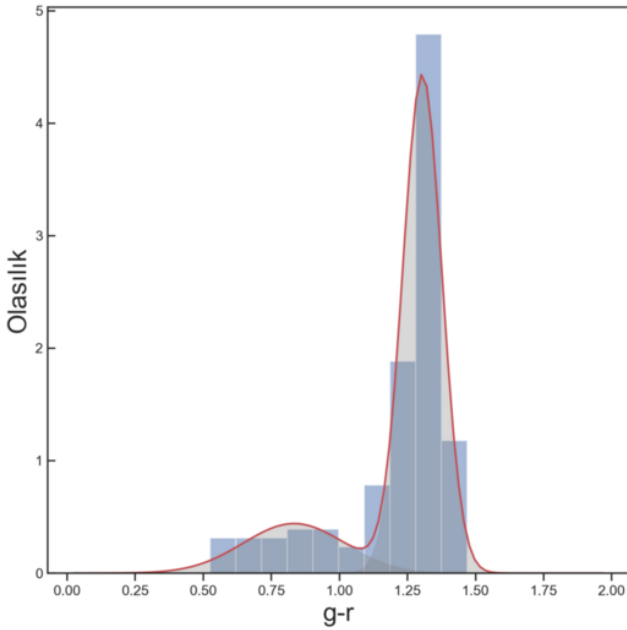
Subaru HSC-SSP (Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program), 8.2m'lik Subaru teleskobuyla Geniş, Derin ve Ultra-Derin alanlar olmak üzere beş bantta (g , r , i , z , y) görüntüleme amaçlanan bir gökyüzü taramasıdır. Subaru HSC-SSP verilerinde galaksi kümeleri CAMIRA algoritması ile belirlenmiştir (Oguri 2014; Oguri ve diğ. 2018).

Çalışmamızda CAMIRA algoritması ile belirlenmiş küme listesi ile Subaru HSC-SSP'nin en güncel sürümü olan PDR3 verileri kullanılmıştır (Aihara ve diğ. 2022). PDR3 sürümü, 278 gözlem gecesinden elde edilen verileri içerir ve Geniş alanda yaklaşık 670 derecekareyi kapsar. Bu alanda CAMIRA algoritmasıyla belirlenmiş toplam 7319 galaksi kümesi bulunmaktadır. Subaru teleskobunun CFHT'den daha büyük olması ve taramada y filtresinin de kullanılmasının bir sonucu olarak bu veri setindeki galaksi kümeleri $0.1 < z < 1.4$ kırmızıya kayma aralığında dağılmaktadır.

CFHTLS-W1 ve Subaru HSC-SSP Wide alanlarından belirlenen bu galaksi kümelerinin kırmızıya kayma dağılımları Şekil 1'de verilmektedir.

2.2 Kırmızı Kolun Belirlenmesi

F/L galaksi oranındaki değişimi belirlemeden önce hem WaZP hem de CAMIRA kümelerinin renk-parlaklık grafiklerinde kırmızı kol ve bu kolda bulunan galaksilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler için izlenen adımlar Şekil 2'de sıralı olarak verilmektedir. İlk olarak küme merkez koordinatları temel alınarak, küme üyesi olası galaksiler belirlenmiştir (1. adım). Olası küme galaksileri belirlenirken galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymaları (z_p) ve bunun hatası dikkate



Şekil 3. CFHTLS-W1 alanında bulunan ID-7938 kümesinin kırmızı kolunu belirlemek için uygulanan GMM analizi. Sol taraftaki grafikte GMM analizi sonucunda elde edilen 2 bileşen, sağ taraftaki grafikte ise bu bileşenlere ait galaksilerin renk-parlaklık diyagramı üzerindeki yeri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Kırmızıya kayma aralıkları için kullanılan renk indisleri.

Renk İndeksi	Kırmızıya Kayma Aralığı
g-r	$z \leq 0.4$
r-i	$0.4 < z \leq 0.75$
i-z	$0.75 < z \leq 1.1$

alınmıştır. CFHTLS galaksi kataloglarıyla birlikte verilen zp'lerin doğruluğu ve karakteristik hatası [Ilbert ve diğ. \(2006\)](#) ve [Coupon ve diğ. \(2009\)](#) çalışmalarında verilmiştir.

Çalışma geniş bir kırmızıya kayma aralığında dağılan kümeler ve onların üye galaksileri kullanıldığından, farklı kırmızıya kayma aralıkları için renk-parlaklık grafikleri farklı renk indisleri kullanılarak oluşturulmuştur. [Hao ve diğ. \(2009\)](#)'da verilene benzer bir şekilde kümenin kırmızıya kaymasına bağlı olarak (g-r), (r-i) veya (i-z) renk indisleri kullanılmıştır. Kırmızıya kayma aralıkları için kullanılan renk indisleri [Çizelge 1](#)'de verilmektedir.

Galaksi kümelerinin renk-parlaklık grafiklerinde kırmızı kol belirgin olsa da, sönük parlaklıklara gidildikçe alandaki galaksilerin karışımı artar. Ön veya arka plandaki galaksilerin karışmasının kırmızı kolun belirlenmesini yanıltmaması için, kümelerin ışınımgücü fonksiyonundaki karakteristik parlaklık (m^*) kullanılarak bir limit uygulanmıştır. Buna göre kırmızı kol, [Çizelge 1](#)'de verilen renk indislerine uygun olarak (r^* , i^* veya z^*) kullanılarak m^*+1 'den parlak galaksiler ile belirlenmiştir.

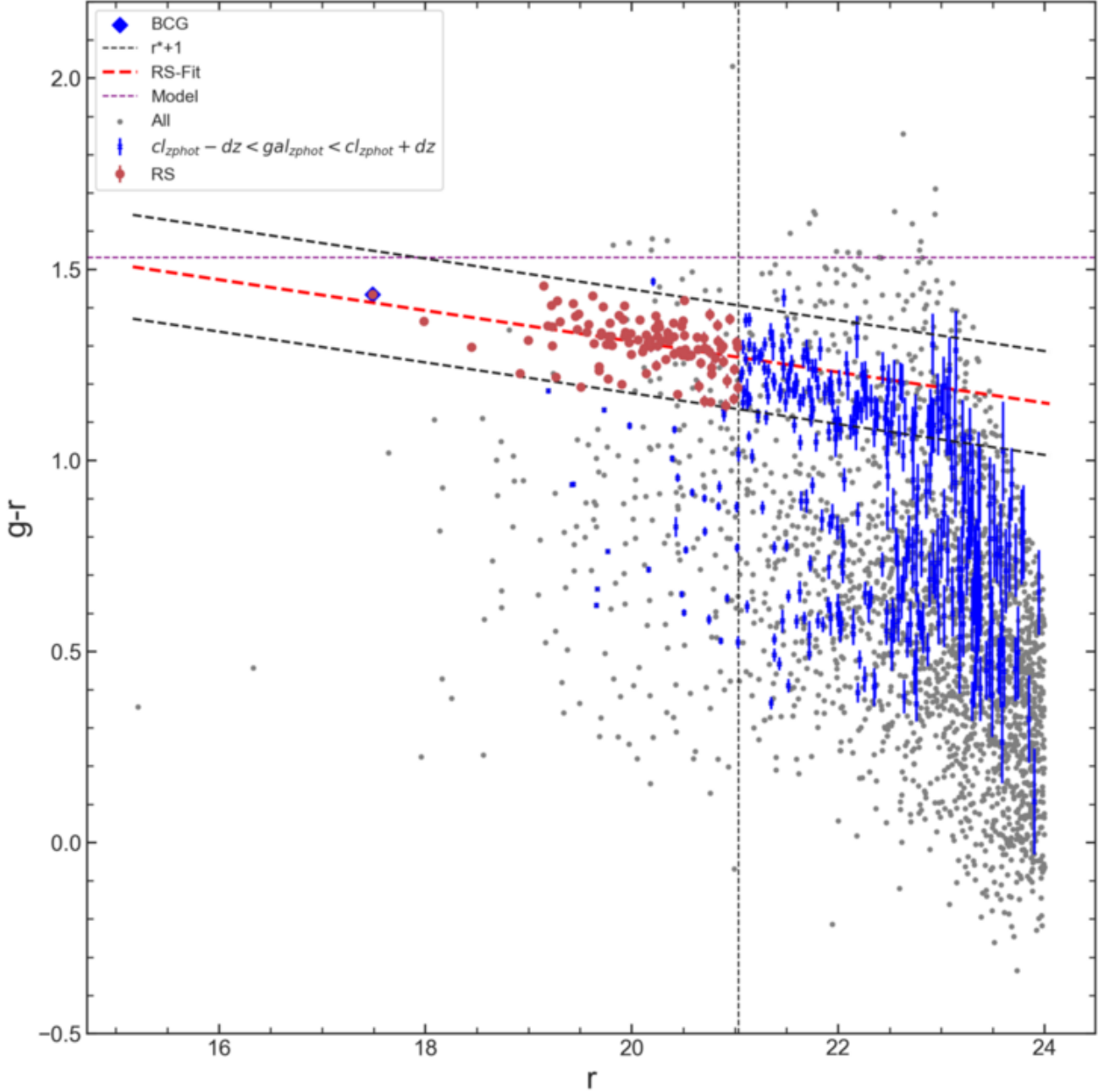
Bu aşamadan sonra galaksilerin kümenin dinamik dengeye ulaştığı R_{200} yarıçapı içerisinde olması koşulu uygulanmıştır. Bu koşulun uygulanmasının nedeni, farklı kırmızıya kaymalarda aynı küme büyüklüklerinin kapsanmasının sağlanmasıdır. Böylece, kümenin kütlesine uygun olarak bir yarıçap kullanılmış olmaktadır.

Buraya kadar belirtilen aşamalar uygulandıktan sonra geriye kalan galaksiler, renk indislerine göre GMM analizine tabi tutulmuştur. Bu sayede kırmızı kolun olası yeri tespit edilmiştir. Bu işlem sırasında Bayesian Bilgi Kriterinden (BIC) yararlanılmıştır. Ek bir kontrol olarak, kırmızı kolun GMM yöntemiyle tespiti sırasında, kümenin merkezi en parlak galaksisinin (ing. brightest cluster galaxy, BCG) rengi dikkate alınmıştır.

Çalışmada incelenen ve kırmızıya kayma dağılımları [Şekil 1](#)'de verilen kümelerin GMM analizine alınabilmeleri için, yukarıdaki koşullardan sonra geriye kalan galaksi sayısının en az 10 olması istenmiştir. Bu koşul ile rastlantısal olarak aynı renklere sahip az sayıda galaksinin kırmızı kolun yanlış belirlenmesi önlenmiş olmaktadır. Küme üyesi galaksilerin renk indislerine uygulanan GMM analizi sonucunda belirlenen kümeleşmeler ve bu kümeleşmelerin renk-parlaklık grafiğindeki karşılığı örnek olarak [Şekil 3](#)'de gösterilmektedir.

Böylece [Şekil 2](#)'deki 5. adımın uygulanması ile ön ve arka plandaki galaksilerden arındırılmış, en yüksek olasılıkla küme üyesi olan parlak galaksiler belirlenmiş olmaktadır. Bu adımda yine geriye en az 10 galaksi kalması durumunda, kırmızı kolu oluşturan galaksilere doğrusal fit uygulanmıştır. Tüm bu süreçler Python programlama dilinin NumPy, Pandas, Matplotlib, SciPy ve Scikit-Learn kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrusal fit ile elde edilen, kırmızı kolun eğimi ve saçılması (standart sapma, 2σ) kullanılarak dışarılayan galaksiler elenerek, iteratif bir şekilde fit uygulama adımları devam etmiştir. İterasyonda elde edilen doğru denklemi kullanılarak ilgili galaksilerin renkleri belirlenmiş ve gerçek renklerle karşılaştırılarak artıklar (residual) elde edilmiştir. Artık dağılımının 2σ dışında kalan galaksiler elenmiş ve geriye kalanlar için yeniden fit uygulanmıştır.

İterasyonlar sırasında, eğim (slope) ve sıfır noktasındaki (intercept) değişim miktarı bu değerlerin hatalarından küçük



Şekil 4. CFHTLS-W1 alanında bulunan ID-7938 kümesinin kırmızı koluna ait sonuçlar.

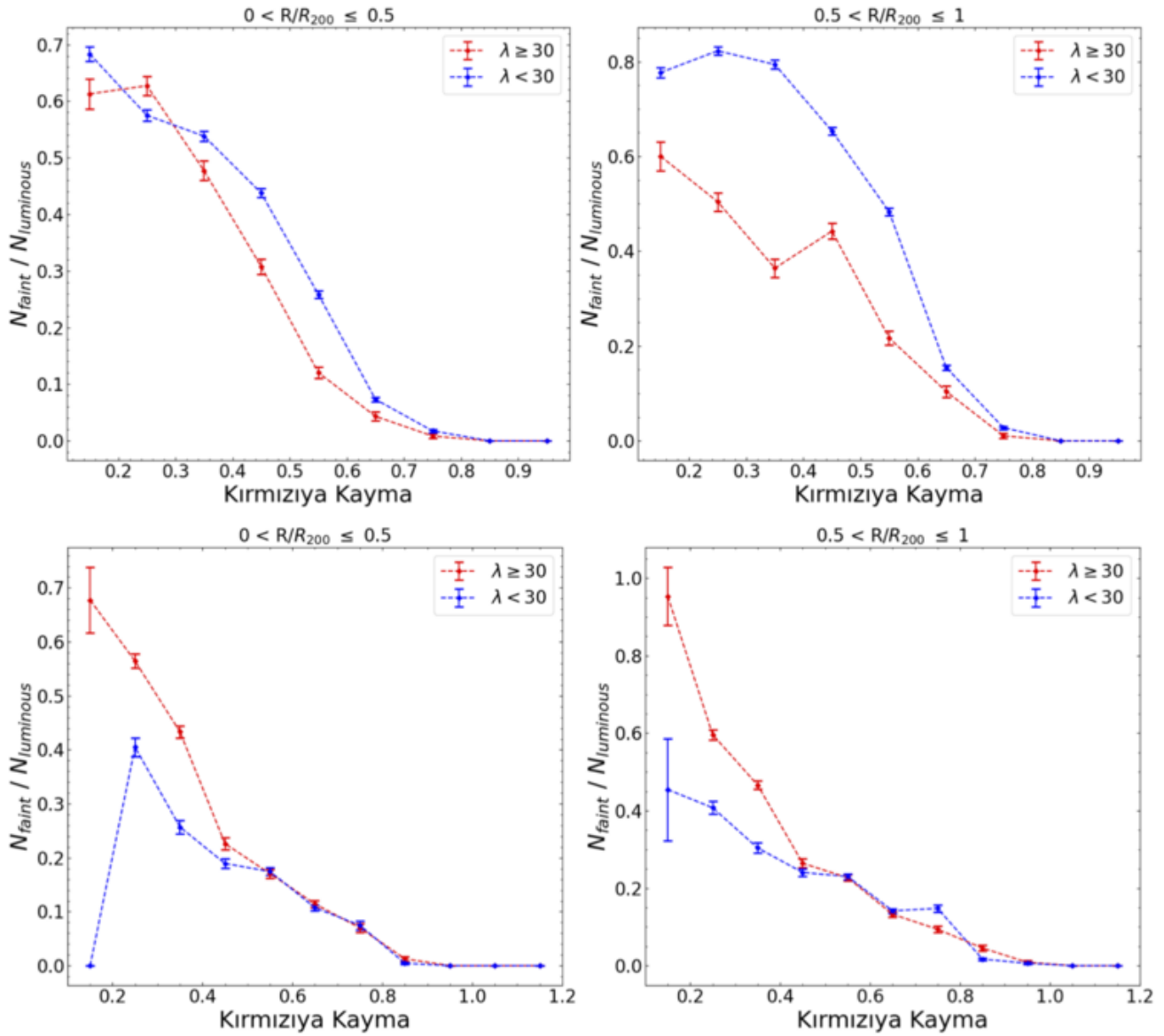
kalınca iterasyona son verilmiştir. Son iterasyondaki doğru denklemi, kümenin kırmızı koluna ait parametreler olarak kullanılır. Şekil 4'te CFHTLS-W1 alanından ID-7938 kümesinin renk-parlaklık grafiği ve grafik üzerinde kırmızı kola ait sonuçlar gösterilmektedir.

Kırmızı kolun eğimi ve sıfır noktası belirlendiği için, renk-parlaklık grafiğinde daha sönük galaksileri de içerecek şekilde kol uzatılabilir. Şekil 4'te parlaklık ekseninde bu şekilde uzatılmış kırmızı kol görülmektedir. Kırmızı ile işaretlenen galaksiler kolun belirlenmesi için kullanılanları belirtmektedir.

Mavi noktalar ise küme ile aynı kırmızıya kayma uzayında olan galaksilerdir.

Kırmızı kol üzerindeki galaksilerin tamamı kullanılarak F/L oranları belirlenmiştir. Bu belirleme sırasında, kırmızı kol 2σ genişliğinde alınmıştır. Sönük ve parlak galaksilerin tanımı için De Lucia ve diğ. (2007) ve Stott ve diğ. (2007) tarafından verilen sınırlar kullanılmıştır. Buna göre; $M_r < -20.34$ olan galaksiler parlak ve $-20.32 < M_r < -28.52$ aralığındaki galaksiler ise sönük olarak belirlenmiştir.

Şekil 2'de verilen tüm adımlar uygulandığında, büyük olasılıkla küme üyesi olan galaksiler elde edilmiştir. Her bir



Şekil 5. Üst Panel: WAZP kümelerine ait F/L değişimini göstermektedir. Kırmızı çizgiler zengin kümeleri, mavi çizgiler ise fakir kümeleri temsil etmektedir. Grafiğin sol tarafı kümelerin merkezi kısmını, sağ tarafı ise dış kısımlarını göstermektedir. Alt Panel: CAMIRA kümeleri (çizgilerin anlamı üst panel ile aynı).

kümede kırmızı kolun 2σ etrafındaki galaksilerin sayısı çok fazla değildir. Yanlılık oluşmaması ve istatistik olarak daha anlamlı sonuçlar elde edebilmek için, benzer kırmızıya kaymadaki kümelerin verileri birleştirilmiştir. Bu işlemi yaparken, Şekil 1'de verilen kırmızıya kayma aralıkları 0.1'lik adımlarla gruplandırılmıştır. Böylece elde edilen F/L sayı oranları ve bu oranların kırmızıya kayma ile değişimi Şekil 5'te verilmektedir.

Şekil 5'te hem CFHTLS-W1 hem de SUBARU HSC-SSP kümeleri için verilen F/L sayı oranları, kümelerin merkezi ($R < 0.5 \times R_{200}$) ve dış kısımları ($0.5 \times R_{200} < R < R_{200}$) için ayrı ayrı gösterilmektedir. Şekildeki her bir grafikte kümeler ayrıca zenginliklerine göre ikiye ayrılarak gösterilmiştir.

3 Tartışma ve Sonuçlar

Bir önceki bölümde belirtilen adımları uyguladıktan sonra CFHTLS-W1 kümelerinden 1664'ü için, Subaru HSC-SSP kümelerinden 1989'u için kırmızı kol galaksileri ve F/L oranları belirlenebilmiştir.

Şekil 5'te verilen sonuçlara göre, galaksilerin küme içerisindeki konularından bağımsız olarak düşük kırmızıya kaymalarda daha büyük F/L oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Yani sönük galaksiler, düşük kırmızıya kaymalarda daha önemli hale gelmektedir. Bu eğilim, LCDM kozmolojik modelleri ile uyumludur. Kümeler hiyerarşik yapı oluşumunun son noktaları oldukları için, kozmik zamanla geniş ölçekli yapıdan kümelere madde (galaksi) akmaya devam etmektedir.

Bu sonuç, literatürdeki birçok çalışmayla uyumludur (De Lucia ve diğ. 2007; Stott ve diğ. 2007; Gilbank ve diğ.

2008; Rudnick ve diğ. 2009; Capozzi ve diğ. 2010; de Filippis ve diğ. 2011; Martinet ve diğ. 2015). Bununla birlikte zengin ve fakir kümeler için F/L oranlarındaki değişim incelendiğinde CAMIRA kümelerinde $z \approx 1.1$ 'den $z \approx 0.45$ 'e kadar galaksilerin konumlarından bağımsız olarak hemen hemen aynı eğilime sahip oldukları, $z \approx 0.45$ 'den $z \approx 0$ 'a kadar ise zengin kümelerde sönük galaksilerin daha fazla olduğu görülmektedir. WaZP kümelerinde ise kümelerin merkezi bölgesinde ($0 < R/R_{200} \leq 0.5$) benzer bir eğilim mevcuttur, daha dış kısımlarındaki ($0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$) fakir kümelerde sönük galaksilerin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Zengin ve fakir kümelerdeki eğilimler WaZP ve CAMIRA algoritmalarına göre belirlenen kümelerde birbirlerinin tersi görünmektedir. Aradaki fark küçük olmakla birlikte, bu durum algoritmaların doğasındaki ve zenginlik tanımlarındaki farklılıklardan dolayı olabilir. Daha ayrıntılı incelemelerle, bu durumun bir sistematik olup olmadığı anlaşılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı (ARDEB-1001) çerçevesinde 117F311 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Aguena M., ve diğ., 2021, *MNRAS*, 502, 4435
 Aihara H., ve diğ., 2022, *PASJ*, 74, 247
 Annis J., ve diğ., 1999, in American Astronomical Society Meeting Abstracts. p. 12.02
 Bahcall N. A., 1999, in Dekel A., Ostriker J. P., eds, Formation of Structure in the Universe. p. 135
 Barger A. J., ve diğ., 1998, *ApJ*, 501, 522
 Barrientos L. F., 1999, PhD thesis, University of Toronto, Canada
 Benoist C., 2014, in Building the Euclid Cluster Survey - Scientific Program. p. 8
 Blakeslee J. P., ve diğ., 2003, *ApJ*, 596, L143
 Bower R. G., Lucey J. R., Ellis R. S., 1992, *MNRAS*, 254, 601
 Capozzi D., Collins C. A., Stott J. P., 2010, *MNRAS*, 403, 1274
 Conselice C. J., 2014, *ARA&A*, 52, 291
 Coupon J., ve diğ., 2009, *A&A*, 500, 981
 De Lucia G., ve diğ., 2007, *MNRAS*, 374, 809
 Eisenhardt P. R., ve diğ., 2005, in American Astronomical Society Meeting Abstracts. p. 112.05
 Euclid Collaboration ve diğ., 2019, *A&A*, 627, A23
 Gilbank D. G., Yee H. K. C., Ellingson E., Gladders M. D., Loh Y. S., Barrientos L. F., Barkhouse W. A., 2008, *ApJ*, 673, 742
 Gladders M. D., Yee H. K. C., 2000, *AJ*, 120, 2148
 Hao J., ve diğ., 2009, *ApJ*, 702, 745
 Hudelot P., ve diğ., 2012, VizieR Online Data Catalog, p. II/317, [ADS](#)
 Ilbert O., ve diğ., 2006, *A&A*, 457, 841
 Kodama T., Arimoto N., Barger A. J., Arag'on-Salamanca A., 1998, *A&A*, 334, 99, [ADS](#)
 Martinet N., ve diğ., 2015, *A&A*, 575, A116
 Mullis C. R., Rosati P., Lamer G., Böhringer H., Schwobe A., Schuecker P., Fassbender R., 2005, *ApJ*, 623, L85
 Oguri M., 2014, *MNRAS*, 444, 147
 Oguri M., ve diğ., 2018, *PASJ*, 70, S20
 Rudnick G., ve diğ., 2009, *ApJ*, 700, 1559
 Sandage A., Binggeli B., Tammann G. A., 1985, *AJ*, 90, 1759
 Smail I., Edge A. C., Ellis R. S., Blandford R. D., 1998, *MNRAS*, 293, 124
 Stott J. P., Smail I., Edge A. C., Ebeling H., Smith G. P., Kneib J. P., Pimbblet K. A., 2007, *ApJ*, 661, 95
 Visvanathan N., Sandage A., 1977, *ApJ*, 216, 214

- de Filippis E., Paolillo M., Longo G., La Barbera F., de Carvalho R. R., Gal R., 2011, *MNRAS*, 414, 2771
 van Dokkum P. G., Franx M., Kelson D. D., Illingworth G. D., Fisher D., Fabricant D., 1998, *ApJ*, 500, 714

Access:

M23-0392: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)