



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



DOKTORA TEZİ

**GALAKSİ KÜMELERİNDEKİ PARLAK GALAKSİLERİN
ÖZELLİKLERİNİN ORTAMLA İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

Eyüp Kaan ÜLGEN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ**

Aralık, 2022

İSTANBUL

Bu çalışma 29.12.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat HÜDAVERDİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ahmet Talat SAYGAÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegöl YELKENCİ
İstanbul Kültür Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

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

- **Proje Destekleri**

Bu tez, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun 1001 – Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı çerçevesinde 117F311 numaralı proje ile desteklenmiştir.

- **Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri**



ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden beri bana her türlü desteği sağlayan, sahip olduğu bilgi birikimi aktaran, iyi bir araştırmacı olmam için elinden geleni yapan, tez çalışması kapsamında benden kaynaklanan her türlü problemi, gecikmeyi hoşgörüyüyle karşılayan, değerli danışmanım Dr. Sinan ALİŞ'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Lisans eğitimimden beri sahip olduğu bilgi birikimi aktaran, moral verici konuşmalarıyla destek olan Dr. F. Korhan YELKENCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden beri her türlü bilimsel desteği veren Nice Gözlemevi'nden Doç. Dr. Christophe Benoist'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen takım arkadaşlarım Süleyman FİŞEK ve Oğuzhan ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Tanıştığımız andan itibaren her zaman desteğini hissettiğim sevgili eşim Burcu ÜLGEN'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, en umutsuz anlarda beni cesaretlendiren sevgili annem Z. Hülya ÜLGEN, babam Arafat ÜLGEN, kardeşim Tuğbanur MERİÇ'e şükranlarımı sunarım.

Aralık, 2022

Eyüp Kaan ÜLGEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. GALAKSİLER VE GALAKSİ KÜMELERİ	3
2.1.1. Galaksi Kümeleri	5
2.2. ORTAMIN GALAKSİ EVRİMİ ÜZERİNE ETKİSİ	10
2.2.1. Morfoloji-Yoğunluk İlişkisi	10
2.2.2. Morfoloji-Renk İlişkisi	12
2.3. KIRMIZI KOL GALAKSİLERİ	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	22
3.1. CFHTLS GÖKYÜZÜ TARAMASI	22
3.1.1. WaZP Galaksi Kümeleri	24
3.1.2. Merkezi Parlak Galaksiler (BCG)	26
3.2. HSC-SSP GÖKYÜZÜ TARAMASI	28
3.2.1. CAMIRA Galaksi Kümeleri	30
3.3. KIRMIZI KOLUN BELİRLENMESİ	34
3.3.1. Gauss Karışım Modeli (GMM)	37
4. BULGULAR	40
4.1. PARLAK KÜME GALAKSİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	40
4.2. KIRMIZI KOL GALAKSİLERİNİN İSTATİSTİK ÖZELLİKLERİ	46

4.3. SÖNÜK/PARLAK GALAKSİ ORANININ EVRİMİ	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	60
KAYNAKLAR	67
EKLER	75
EK 1. UAK-2022’de sunulmuş ve Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics (TJAA) dergisinde yayın aşamasında olan çalışmanın ilk sayfası.	75
EK 2. EAS-2021’de sunulan "Dwarf-to-giant of red-sequence galaxies in clusters" başlıklı poster bildirisi.	76
ÖZGEÇMİŞ	77



ŞEKİL LİSTESİ

	Page No
Şekil 1.1 Abell 1689 galaksi kümesinin görüntüsü. Eliptik ve S0 galaksileri, kümenin galaksi popülasyonuna hakim. (©NASA/ ESA/ JHU (L. Bradley, H. Ford)/ UCSC (R. Bouwens, G. Illingworth))	1
Şekil 2.1 Galaxy Zoo görüntüleri ile oluşturulmuş Hubble Çatal Diyagramı (©Masters 2011, SDSS).	3
Şekil 2.2 SDSS gökyüzü taramasından elde edilen galaksilerin geniş ölçekte dağılımı. Şekilde yaklaşık 700.000 galaksi bulunmaktadır (Zehavi ve diğ., 2011).	6
Şekil 2.3 SDSS gökyüzü taramasından elde edilen galaksilerin geniş ölçekte dağılımının galaksi rengine (g-r) göre gösterilmesi (Zehavi ve diğ., 2011).	7
Şekil 2.4 Abell 370 galaksi kümesinin Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilmiş görüntüsü (©NASA/ESA/HST).	8
Şekil 2.5 Abell 1063 galaksi kümesinin Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilmiş görüntüsü. Kümenin merkezinde dev bir eliptik galaksi (cD / BCG) görülmektedir (©NASA/ESA/HST).	9
Şekil 2.6 Abell galaksi kümelerinden elde edilen morfoloji-yoğunluk ilişkisi. İçi boş ve dolu daireler sırasıyla eliptik ve S0 galaksilerini, çarpılar ise spiral galaksileri göstermektedir. Yoğunluk alan (izdüşümsel) yoğunluk biriminde verilmiştir (Dressler, 1980).	11
Şekil 2.7 CfA galaksi taramasındaki 2390 galaksi üzerinden elde edilen morfoloji-yoğunluk ilişkisi. Üst panel spiral galaksilerin sayı oranlarını, alt panel ise eliptik ve S0 galaksileri göstermektedir (Postman ve Geller, 1984).	12
Şekil 2.8 Galaksi kümelerinin morfoloji-yoğunluk (solda) ve morfoloji-yarıçap (sağda) ilişkileri. Her galaksi türünün oranları, yerel galaksi yoğunluğuna (solda) ve küme merkezli yarıçapa (sağda) göre çizilmiştir. Kısa kesikli, düz, noktalı ve uzun kesikli çizgiler sırasıyla erken tip, orta tip, erken disk ve geç disk galaksileri temsil etmektedir (Goto ve diğ., 2003).	13
Şekil 2.9 Galaksilerin renk-parlaklık diyagramlarında (CMD) görülen iki kutuplu (ing. bimodal) yapı. Konturlar galaksi sayı yoğunluğunu göstermektedir. Erken-tip galaksiler "kırmızı kol" denilen (red-sequence) bir düzlemde toplanırken, geç-tip galaksiler daha dağınık (blue cloud) bulunmaktadır (Baldry ve diğ., 2004).	14
Şekil 2.10 Galaksilerin (u-r) renklerinin farklı ortam yoğunluklarına göre dağılımları (Balogh ve diğ., 2004).	15
Şekil 2.11 Galaksilerin fotometrik ve yapısal parametreleri arasındaki ilişkiler (Blanton ve Moustakas, 2009).	16

Şekil 2.12 Kırmızı kol galaksilerinin oluşumunun şematik gösterimi. Gazca zengin galaksiler mavi buluttan, çeşitli fiziksel süreçlerle kırmızı kola geçerler (Faber ve diğ., 2007).	17
Şekil 2.13 Eliptik ve spiral galaksiler için şematik oluşum senaryoları ve bu senaryolara bağlı olarak yıldız oluşum hızının zamanla değişimi. (R. Guzman, University of Florida).....	18
Şekil 2.14 Kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kayma ile değişimi (Stott ve diğ., 2009).	19
Şekil 2.15 Kırmızı kolun galaksi kümesi belirleme çalışmalarında etkin olarak kullanımına bir örnek. Kırmızı karolar küme üyesi galaksileri, maviler ise alan galaksilerini göstermektedir. En parlak kısımda görülen kırmızı artı kümenin merkezi parlak galaksisini (BCG) belirtmektedir. Grafikteki tüm galaksiler BCG'den R_{200} uzaklığına kadar dağılmakta ve m^* 'dan daha parlaktır. Yeşil çizgi ise kırmızı galaksileri en iyi temsil eden doğrusal uyumlamayı göstermektedir (Hao ve diğ., 2009).	20
Şekil 3.1 CFHTLS (soluk renkli çizgiler) ve SDSS (koyu renkli çizgiler) gökyüzü taramalarında kullanılan filtrelerin geçirgenlik eğrileri.	23
Şekil 3.2 WaZP küme bulma algoritmasına ait şematik bir görüntü (Aguena ve diğ., 2021).	24
Şekil 3.3 CFHTLS-W1 alanında, WaZP algoritması ile tespit edilen bir galaksi kümesine (ID = 7938, (RA, DEC) = (30.86963, -9.81664), $z_{phot} = 0.34$) ait g' , r' ve i' bantlarıyla oluşturulan renkli görüntü. Yeşil artı sembolü küme merkezini, mavi çember ise kümeye ait R_{200} yarıçapını temsil etmektedir.	25
Şekil 3.4 CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 3284 kümeye ait zenginlik (solda) ve farklı zenginlik aralıklarına göre çizdirilmiş kırmızıya kayma dağılımları (sağda).	26
Şekil 3.5 CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 7942 numaralı kümenin merkezi kısmı (0.5 Mpc) ve merkezi parlak galaksisi. Görüntü g' , r' ve i' filtrelerindeki görüntülerin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. BCG görüntünün merkezindeki en parlak galaksidir ($z = 0.29$).	27
Şekil 3.6 CFHTLS-W1 alanında belirlenen BCG'lerin i bandı mutlak parlaklık ve fotometrik kırmızıya kayma dağılımları.	27
Şekil 3.7 CFHTLS-W1 alanında belirlenen BCG'lerin $r-z$ renklerinin evrimi. Düz çizgiler farklı yaşlar için Bruzual ve Charlot (2003) model renklerini göstermektedir.	28
Şekil 3.8 Subaru HSC-SSP tarama alanlarının bazı önemli tarama projeleri ile birlikte gösterimi (NAOJ).	29
Şekil 3.9 Subaru HSC SSP gökyüzü taramasında kullanılan filtrelerin geçirgenlik eğrileri.	29
Şekil 3.10 S16A (mavi noktalar) ve PDR3 (kırmızı noktalar) verileriyle belirlenen CAMIRA galaksi kümelerinin ekvatorial koordinatlara göre uzaysal dağılımları.	30
Şekil 3.11 CAMIRA kümelerinin belirlenmesinde kullanılan galaksilerin renklerinin kırmızıya kayma ile değişimi. Düz mavi çizgiler kırmızı galaksilerin belirlenmesinde kullanılan limitleri belirtmektedir. Okunabilirliğin korunabilmesi için burada tüm galaksi kataloğunun yalnızca %5'i gösterilmiştir. (Oguri ve diğ., 2018).	31

Şekil 3.12 CAMIRA ile belirlenen kümelerin üye galaksilerinin renk evrimi. Kırmızı noktalar üye galaksileri, içi dolu büyük daireler medyan değerleri, ince çizgiler medyan renkler etrafında 1σ 'lık genişliği ve kalın çizgi ise BC03 modelini göstermektedir (Oguri ve diğ., 2018).....	32
Şekil 3.13 CAMIRA algoritmasının simülasyon verileri ile elde edilen küme zenginliği ve kütle ilişkisi. Küme kataloğunda olup simülasyon kataloğunda olmayan kümelerin zenginliği $N_{\text{mem}} = 12$ olarak, simülasyonda olup algoritma tarafından belirlenememiş kümeler ise $M_{200} = 1.5 \times 10^{13} h^{-1} M_{\odot}$ kütle değeriyle belirtilmiştir (yatay ve dikey eksenlerdeki yapay dağılımlar) (Oguri ve diğ., 2018).....	33
Şekil 3.14 CAMIRA ile belirlenen zengin galaksi kümelerine örnekler (Oguri ve diğ., 2018).....	34
Şekil 3.15 Kırmızı kol belirlenirken uygulanan adımlar.	35
Şekil 3.16 CFHTLS-W1 kümelerine uygulanan GMM analizi.	38
Şekil 4.1 Sabit etkin yarıçap değerleri için farklı Sérsic indekslerine ait yüzey parlaklık profilleri (Peng ve diğ., 2010).	41
Şekil 4.2 GALFIT ile çözüm elde edilebilen galaksilerin ait oldukları kümelerin kırmızıya kayma dağılımı.	42
Şekil 4.3 GALFIT çalıştırılırken kullanılan maskelere örnek. En solda yıldızlar, ortada galaksiler ve en sağda da iki maskenin birleşimi olan sonuç maskesi görülmektedir.	42
Şekil 4.4 GALFIT ile örnek bir çözüm sonuçları. Analize giren görüntü (en sol), model görüntüsü (orta) ve artıkların görüntüsü (en sağ).	43
Şekil 4.5 En parlak üç galaksinin GALFIT ile elde edilen Sérsic indeksi ve etkin yarıçap dağılımları. Her grafikte BCG, 2. parlak ve 3. parlak galaksiler sırasıyla kırmızı, mavi ve siyah histogramlarla gösterilmektedir. En üst sıra $0.1 < z < 0.4$; orta sıra $0.4 < z < 0.7$ ve en alt sıra $0.7 < z < 1.1$ aralığına ait sonuçları göstermektedir.	44
Şekil 4.6 En parlak üç galaksinin GALFIT ile elde edilen b/a oranı ve Θ açılarının dağılımları. Her grafikte BCG, 2. parlak ve 3. parlak galaksiler sırasıyla kırmızı, mavi ve siyah histogramlarla gösterilmektedir. En üst sıra $0.1 < z < 0.4$; orta sıra $0.4 < z < 0.7$ ve en alt sıra $0.7 < z < 1.1$ aralığına ait sonuçları göstermektedir.	45
Şekil 4.7 CFHTLS-W1 alanında bulunan ID : 7938 kümesinin renk-parlaklık grafiği. Kırmızı noktalar kırmızı kolun elde edildiği galaksileri, mavi noktalar kümeyle aynı kırmızıya kayma aralığındaki galaksileri ve gri noktalar ise kümenin alanındaki diğer galaksileri göstermektedir. Kırmızı kesikli çizgi elde edilen doğrusal ilişkiyi, siyah yatay kesikli çizgiler ise kırmızı kolun etrafında 2σ genişliği belirtmektedir. Ayrıca, dikey kesikli çizgi ($m^* + 1$) değerini, yatay kesikli çizgi ise model galaksi rengini göstermektedir. Kırmızı kolun denklemi ve kümenin kırmızıya kayması grafiğin üst kısmında verilmiştir.....	47
Şekil 4.8 WaZP (CFHTLS-W1) ve CAMIRA (Subaru HSC-SSP Wide) algoritmaları ile belirlenen galaksi kümelerinin kırmızıya kayma dağılımları (solda). WaZP ve CAMIRA kümelerinden kırmızı kolu belirlenen kümelerin kırmızıya kayma dağılımları (sağda).....	47
Şekil 4.9 CFHTLS kümeleri için elde edilen renk-parlaklık diyagramlarına örnekler. Grafiklerin açıklamaları Şekil 4.7 'deki gibidir.	49

Şekil 4.10 CFHTLS kümeleri için elde edilen renk-parlaklık diyagramlarına örnekler (devam). Grafiklerin açıklamaları Şekil 4.7 'deki gibidir.	50
Şekil 4.11 CFHTLS-W1 kümelerine ait kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin eğimine karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.	52
Şekil 4.12 CFHTLS-W1 kümelerine ait kırmızı kolun saçılma parametresinin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.	53
Şekil 4.13 Subaru HSC SSP kümelerine ait kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.	54
Şekil 4.14 Subaru HSC SSP kümelerine ait kırmızı kolun saçılma parametresinin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.	55
Şekil 4.15 Üst Panel: WaZP kümelerine ait F/L oranı değişimini göstermektedir. Kırmızı çizgiler zengin kümeleri, mavi çizgiler ise fakir kümeleri temsil etmektedir. Grafiğin sol tarafı kümelerin merkezi kısmını ($R < 0.5 \times R_{200}$), sağ tarafı ise dış kısımlarını ($0.5 \times R_{200} < R < R_{200}$) göstermektedir. Alt Panel: CAMIRA kümeleri (çizgilerin anlamı üst panel ile aynıdır).	58
Şekil 5.1 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan kümelerden ikisine ait renk-parlaklık diyagramları.	63
Şekil 5.2 Bu çalışmada WaZP (sol) ve CAMIRA (sağ) kümeleri için elde edilen L/F galaksi sayı oranlarının literatürle karşılaştırılması (de Lucia ve diğ.(2007), Gilbank ve diğ.(2008), Rudnick ve diğ.(2009), Capozzi ve diğ.(2010).	66

TABLO LİSTESİ

Page No

Tablo 3.1 Kırmızı kolun belirlenmesinde kullanılan renk indeksleri ve ilgili kırmızıya kayma aralıkları.	36
Tablo 4.1 GALFIT ile çözüm elde edilebilen galaksilerin kırmızıya kayma aralıklarına göre sayı dağılımları. NCL küme sayısını, NGAL ise galaksi sayısını temsil etmektedir.	41
Tablo 4.2 $0.1 < z < 0.4$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.	43
Tablo 4.3 $0.4 < z < 0.7$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.	43
Tablo 4.4 $0.7 < z < 1.1$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.	46
Tablo 4.5 CFHTLS kümelerine ait kırmızı kol analizlerinin sonuçları.	48
Tablo 4.6 Subaru HSC-SSP kümelerine ait kırmızı kol analizlerinin sonuçları.	51
Tablo 4.7 CFHTLS-W1 F/L Sayı Oranları	56
Tablo 4.8 Subaru HSC-SSP F/L Sayı Oranları	57
Tablo 5.1 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan galaksi kümelerinin algoritmalar tarafından belirlenen kırmızıya kayma ve zenginlik değerleri. WaZP kümeleri için R_{200} değerleri algoritma tarafından, CAMIRA için ise Bölüm 3.1.2’de verildiği gibi bu tez çalışmasında hesaplanmıştır.	62
Tablo 5.2 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan 24 galaksi kümesinin, CFHTLS ve Subaru HSC-SSP verileri ile elde edilmiş kırmızı kol parametrelerinin karşılaştırması.	64

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
z_{phot}	: Fotometrik Kırmızıya Kayma
M	: Kütle
$M_{\odot}$	: Güneş Kütle
$L_{\odot}$	: Güneş'in ışıyım gücü
N	: Galaksi Sayısı
e	: Galaksi Basıklığı
λ	: Galaksi kümesine ait zenginlik parametresi
R_{200}	: Galaksi kümesindeki yoğunluğun kritik kütle yoğunluğunun 200 katına eşit olduğu yarıçap
α	: Sağ Açıklık
δ	: Dik Açıklık
Δz	: Kırmızıya kayma adımı, aralığı
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı
$\text{\AA}$	: Angström
G	: Evrensel kütleçekim sabiti
H_0	: Hubble sabiti ($z = 0$ için)
h	: İndirgenmiş Hubble sabiti ($H_0/100$)
K	: Kelvin
Mpc	: Megaparsek
k	: Eğrilik parametresi
Ω_m	: Evrendeki madde yoğunluğu
Ω_{Λ}	: Evrendeki karanlık enerji yoğunluğu
ρ_{cr}	: Kritik kütle yoğunluğu
R_A	: Abell yarıçapı
σ	: Standart sapma
u^*	: Görünen parlaklık (u^* bandı)
g'	: Görünen parlaklık (g' bandı)
r'	: Görünen parlaklık (r' bandı)
i'	: Görünen parlaklık (i' bandı)

z'	: Görünen parlaklık (z' bandı)
M_u	: Mutlak parlaklık (u^* bandı)
M_r	: Mutlak parlaklık (r' bandı)
m_i^*	: Işınım gücü fonksiyonuna ait karakteristik i' bandı parlaklığı
$NGAL$	: Galaksi sayısı
$Pmem$	: Üyelik olasılığı
NCL	: Küme sayısı

Kısaltmalar

Açıklama

Λ CDM	: Lambda Cold Dark Matter
BCG	: Parlak küme galaksisi (ing. Brightest cluster galaxy)
CAMIRA	: Cluster finding algorithm based on Multi-band Identification of Red sequence galaxies
CCD	: Charged Coupled Device
CFHTLS	: Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey
CMD	: Renk - Kadir Diyagramı (ing. Color - Magnitude Diagram)
Dec	: Dik açıklık
DES	: Dark Energy Survey
E	: Eliptik galaksiler
EIS	: ESO Imaging Survey
ESA	: European Space Agency
ESO	: European Southern Observatory
ETG	: Erken-tip galaksi (ing. Early-type galaxy)
FITS	: Flexible Image Transfer System
GMM	: Gaussian Karışım Modeli (ing. Gaussian Mixture Model)
HSC-SSP	: Hyper Suprime Cam-Strategic Survey Program
HST	: Hubble Space Telescope
IAP	: Institut d'Astrophysique de Paris
ICM	: Küme içi ortam (ing. Intracluster medium)
Im/IBm	: Düzensiz galaksiler (normal/çubuklu, ing. Irregular)
kpc	: Kiloparsek
LSST	: Vera C. Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time
LTG	: Geç-tip galaksi (ing. Late-type galaxy)
Mpc	: Megaparsek
Myr	: Milyon yıl

<i>Gyr</i>	: Milyar yıl
<i>NASA</i>	: The National Aeronautics and Space Administration
<i>RA</i>	: Sağ açıklık
<i>RS</i>	: Kırmızı Kol (ing. Red Sequence)
<i>S0/SB0</i>	: Merceksi galaksiler (normal/çubuklu)
<i>Sa/Sbc/Scd</i>	: Spiral galaksiler (normal)
<i>SB</i>	: Starburst galaksiler
<i>SBa/SBb/SBc</i>	: Spiral galaksiler (çubuklu)
<i>SDSS</i>	: Sloan Digital Sky Survey
<i>SE</i>	: Standart hata (ing. Standart error)
<i>SED</i>	: Tayfsal Enerji Dağılımı (ing. Spectral energy distribution)
<i>SFR</i>	: Yıldız oluşum oranı (ing. Star formation rate)
<i>SZ</i>	: Sunyaev-Zel'dovich
<i>TÜBİTAK</i>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<i>WaZP</i>	: Wavelet Z Photometric

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GALAKSİ KÜMELERİNDEKİ PARLAK GALAKSİLERİN ÖZELLİKLERİNİN ORTAMLA İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Eyüp Kaan ÜLGEN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ

Bu tez çalışmasında galaksi kümelerinin renk-parlaklık diyagramlarından belirlenen kırmızı kol galaksileri, hem küme merkezinde hem de kümenin dış kısımlarında incelenmiştir. İki farklı küme bulma algoritmasıyla (WaZP ve CAMIRA) ve iki ayrı gökyüzü tarama projesinde (CFHTLS ve Subaru HSC-SSP) belirlenen kümelerdeki kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olmadığı görülmüştür. Ayrıca, eğimin ortamdan bağımsız olduğu zengin ve fakir kümelerde çok yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Kırmızı koldaki sönük/parlak galaksi sayı oranlarının hem ortam yoğunluğuna hem de kırmızıya kaymaya bağlı değişimi araştırılmıştır. Galaksilerin küme içindeki konumlarından bağımsız olarak, düşük kırmızıya kaymalardaki sönük/parlak galaksi oranının yüksek kırmızıya kaymalara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kümelerin en parlak üç galaksisinin yapısal parametrelerinin karşılaştırılması, BCG'lerin diğer parlak galaksilerden etkin yarıçap ve Sérsic indeksi bakımından farklı olduğunu önermektedir.

Aralık 2022, 95 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksiler, Galaksi Kümeleri, Galaksi Evrimi

SUMMARY

Ph.D. THESIS

PROPERTIES OF BRIGHT GALAXIES IN GALAXY CLUSTERS AND THEIR DEPENDENCY ON THE ENVIRONMENT

Eyüp Kaan ÜLGEN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Astronomy and Space Sciences Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sinan ALİŞ

In this thesis, red-sequence galaxies determined from the color-magnitude diagrams of galaxy clusters were investigated both in the cluster centers and in the outer parts. It has been observed that the slope of the red-sequence in clusters determined by two different cluster detection algorithms (WaZP and CAMIRA) and two different surveys (CFHTLS and Subaru HSC-SSP) is not a function of redshift. In addition, it has been determined that the slope is very similar in rich and poor clusters suggesting that the slope is independent of the environment. The change of the faint/luminous galaxy number ratios in the red-sequence was investigated as a function of both the richness and the redshift. It has been shown that, regardless of the position of galaxies in the cluster, the ratio of faint/luminous galaxies at low redshifts is higher than the ratio at high redshifts. Finally, comparing structural parameters of the three brightest galaxies in clusters suggests that BCGs constitute an unique galaxy population in terms of their effective radius and Sérsic index.

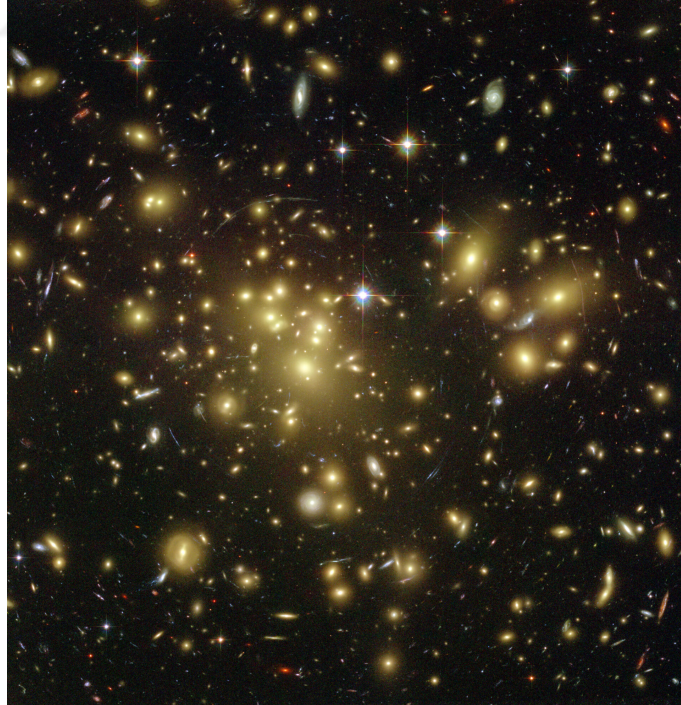
December 2022, 95 pages.

Keywords: Galaxies, Galaxy Clusters, Galaxy Evolution

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca evrenin oluşumu ve evrimi hep merak konusu olmuştur. Özellikle son yüzyılda meydana gelen teknolojik atılımlarla bu meraka daha da artmıştır. Evrenin geniş ölçekli yapısını inceledikçe, galaksi ve galaksi kümelerinin evrenin yapıtaşlarını oluşturan bileşenler olduğu anlaşılmıştır.

Dressler'in 1980 yılındaki önemli çalışmasından beri galaksilerin bulundukları ortamın evrimleri üzerinde etkili olduğu biliniyor. Galaksi kümeleri, barındırdıkları galaksi sayısı nedeniyle evrendeki en yoğun ortamların başında geliyor. Bu özellikleri, galaksi kümelerini galaksi evrimi için uygun bir laboratuvara dönüştürüyor. Tıpkı yıldız evriminde olduğu gibi, bir kümedeki galaksilerin evrimleşmelerini insan ömrü içerisinde izleyemesek de, birçok farklı galaksi kümesinin incelenmesiyle galaksilerin evrimsel süreçleri hakkında önemli bilgiler edinebiliyoruz.



Şekil 1.1 Abell 1689 galaksi kümesinin görüntüsü. Eliptik ve S0 galaksileri, kümenin galaksi popülasyonuna hakim. (©NASA/ ESA/ JHU (L. Bradley, H. Ford)/ UCSC (R. Bouwens, G. Illingworth))

Yoğun ortamdaki çeşitli fiziksel süreçler galaksi evrimini etkiliyor. Ancak bu süreçlerin neredeyse çoğunda galaksinin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi ortak. Galaksiler sahip oldukları gazı yitiriyorlar ve buna bağlı olarak da yıldız oluşumu ya duruyor ya da çok düşük seviyelere iniyor.

Yıldız oluşumu durmuş, pasif olarak evrimini devam ettiren galaksiler kümelerde benzer renklerde görünüyorlar. Bu tür galaksilere "kırmızı kol" (ing. red-sequence) galaksileri deniyor. Bir galaksi kümesinin renk-parlaklık grafiğinde ağırlıklı olarak bu tür galaksiler bulunuyor.

Bu tez çalışmasında, kırmızı kol galaksilerinin evrimlerinin anlaşılmasına katkı sunabilmek için iki farklı gökyüzü tarama projesi (CFHTLS¹ ve Subaru HSC-SSP²) kapsamında belirlenen galaksi kümelerinin (WaZP ve CAMIRA) kırmızı kol galaksileri belirlenerek, hem bu galaksilerin istatistik özellikleri hem de kümelerdeki kırmızı kolun karakterizasyonu yapılmıştır.

Kırmızı kola ait parametrelerin ortamla ilişkisini araştırmak amacıyla kümeler, zenginliklerine göre iki gruba ayrılmıştır. Kırmızı kol galaksilerinden itibaren belirlenen sönük/parlak (ing. faint to luminous, F/L) galaksi oranlarının da ortama bağlılığını inceleyebilmek için analizler hem kümenin iç kısımlarında ($R \leq 0.5 \times R_{200}$) hem de dış kısımlarında ($0.5 \times R_{200} \leq R \leq R_{200}$) yapılmıştır. Elde edilen F/L oranlarının hem ortam yoğunluğuna hem de kırmızıya kaymaya bağlı değişimi tartışılmıştır.

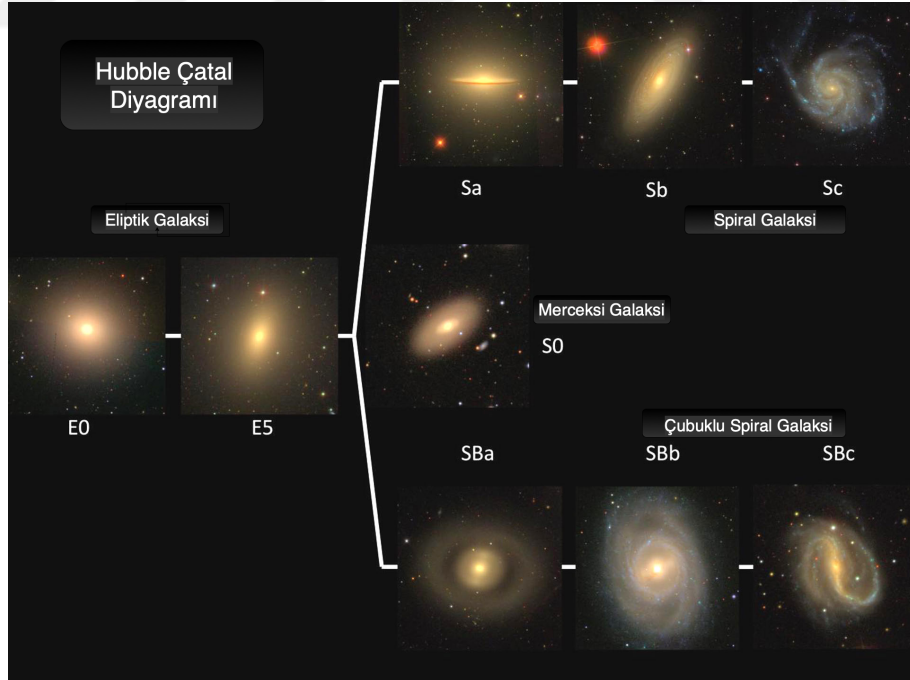
¹ <https://www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHLS/>

² <https://hsc-release.mtk.nao.ac.jp/doc/>

2. GENEL KISIMLAR

2.1. GALAKSİLER VE GALAKSİ KÜMELERİ

Galaksilerin anlaşılmasına yönelik adımlar 1920'lerde Edwin Hubble'ın öncü çalışmaları ile başlamıştır (Hubble 1926). Yapılan gözlemler sonucunda galaksilerin farklı şekil, parlaklık, renk gibi özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Galaksilerin sınıflandırılması, gözlemlerde belirlenen bu fiziksel özelliklere göre yapılmaktadır. Bu da ilgili galaksinin geleneksel olarak iyi tanımlanmış örnekler ile karşılaştırılması ile mümkün olmaktadır. Hubble tarafından geliştirilen, "çatal diyagramı" olarak da bilinen morfolojik sınıflandırma (Hubble, 1936) günümüzde hâlâ en yaygın olarak kullanılmaktadır. Hubble sınıflandırmasında dört ana galaksi türü bulunmaktadır: eliptik, merceksi, spiral ve düzensiz. Ayrıca Hubble sınıflamasındaki eliptik ve merceksi galaksilere "erken tip", spiral ve düzensiz galaksilere de "geç tip" galaksi denilmektedir.



Şekil 2.1 Galaxy Zoo görüntüleri ile oluşturulmuş Hubble Çatal Diyagramı (©Masters 2011, SDSS).

Eliptik galaksiler, genellikle düzgün biçimli yapılardır. Spiral galaksilerde mevcut olan spiral kollar, çubuk yapı bulunmamaktadır. Bünyelerinde az miktarda gaz mevcuttur. Ağırlıklı

olarak yıldız oluşumunu tamamlamış, kırmızı renkli ve yaşlı yıldız popülasyonlarına sahiptirler. Morfoloji yoğunluk ilişkisinden bilindiği üzere genellikle galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda bulunmaktadır. Yapılan gözlemlerde Eliptik galaksilerin bazıları tam olarak yuvarlık bir yapıya sahipken bazıları ise farklı derecelerde basıklığa (ellipticity) sahiptirler. Basıklık derecesi, $(1 - b/a)$ ile belirlenir ve $0 < e < 0.7$ arasında değişmektedir. Bu formülde a yarıbüyük eksen, b ise yarıküçük eksen temsil etmektedir. Eliptik galaksiler bu şekilde kendi içerisinde alt gruplara ayrılmaktadır ve E_n ile belirtilmektedir. Burada n indisi $n = 10 * e$ değerine eşittir. En az basıklığa ve düzgün bir küresel yapıya sahip olan eliptik galaksiler E_0 ile, en yassı şekle sahip olanlar ise E_7 ile ifade edilmektedir.

Spiral galaksiler, spiral kollar, disk ve merkezi bir şişkin (bulge) bölgeden oluşmaktadır. Galaksinin merkezi kısmında bir çubuk yapının olup (SB) olmamasına (S) göre iki alt sınıfa ayrılırlar. Bu alt sınıflar ayrıca şişkin bölge ve disk yapısının parlaklık oranlarına göre de alt sınıflara ayrılmaktadır. Bu alt sınıflar, a , ab , b , bc , c , cd , d harfleri ile temsil edilmektedir. Ayrıca bu harfler spiral galaksileri kendi içerisinde erken ve geç tip olarak ifade etmek içinde kullanılır. Örneğin; erken tip spiral galaksiler a ile gösterilirken, geç tip spiral galaksiler d ile ifade edilmektedir. Sa türünden spiral galaksiler belirgin bir şişkin bölge ile nispeten soluk HII bölgelerine sahip sıkıca sarılmış spiral kollara sahiptir. Bununla birlikte Sc türünden geç tip spiral galaksiler, zayıf veya hiç şişkin bölgeye sahip olmayan genellikle açık kollara ve parlak HII bölgelerine sahiptirler. Spiral galaksilerde bol miktarda gaz ve toz bulunduğu için yıldız oluşumu aktivitesi devam etmektedir. Genel olarak O ve B tayf türünden sıcak, parlak yıldızlara sahiptirler. Evrenin büyük ölçekli yapısı incelendiğinde spiral galaksilerin genellikle düşük yoğunluklu bölgelerde bulundukları görülmüştür. Ayrıca küme gibi yoğun ortamlar incelendiğinde spiral galaksilerin sayı yoğunluklarının merkezden dışarı doğru gidildikçe artmakta olduğu görülmüştür.

Merceksi Galaksiler, belirgin bir şişkin bölgeye ve diske sahip olan galaksilerdir. Eliptik ve spiral galaksileri arasında yer alan bir galaksi türüdür. S_0 olarak sınıflandırılırlar. Bu galaksiler disk bileşenine sahip olsa da spiral galaksilerde olduğu gibi kollara sahip değildirler. Çubuklu (SB_0) ve Normal (S_0) şeklinde iki alt sınıfı mevcuttur. Merceksi galaksiler, gaz ve toz bakımından fakir oldukları için yaşlı yıldız popülasyonları içerirler ve renkleri kırmızıdır. Bu galaksilerin kökeni hakkında hâlâ tartışmalar devam ediyor olsa da spiral galaksilerin çarpışmaları sonucunda içerdikleri gazı kaybeden galaksiler oldukları düşünülmektedir (Spitzer ve Baade (1951)). Galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda bulunan

S0 galaksileri, eliptiklerle beraber erken-tip galaksiler olarak adlandırılmaktadırlar.

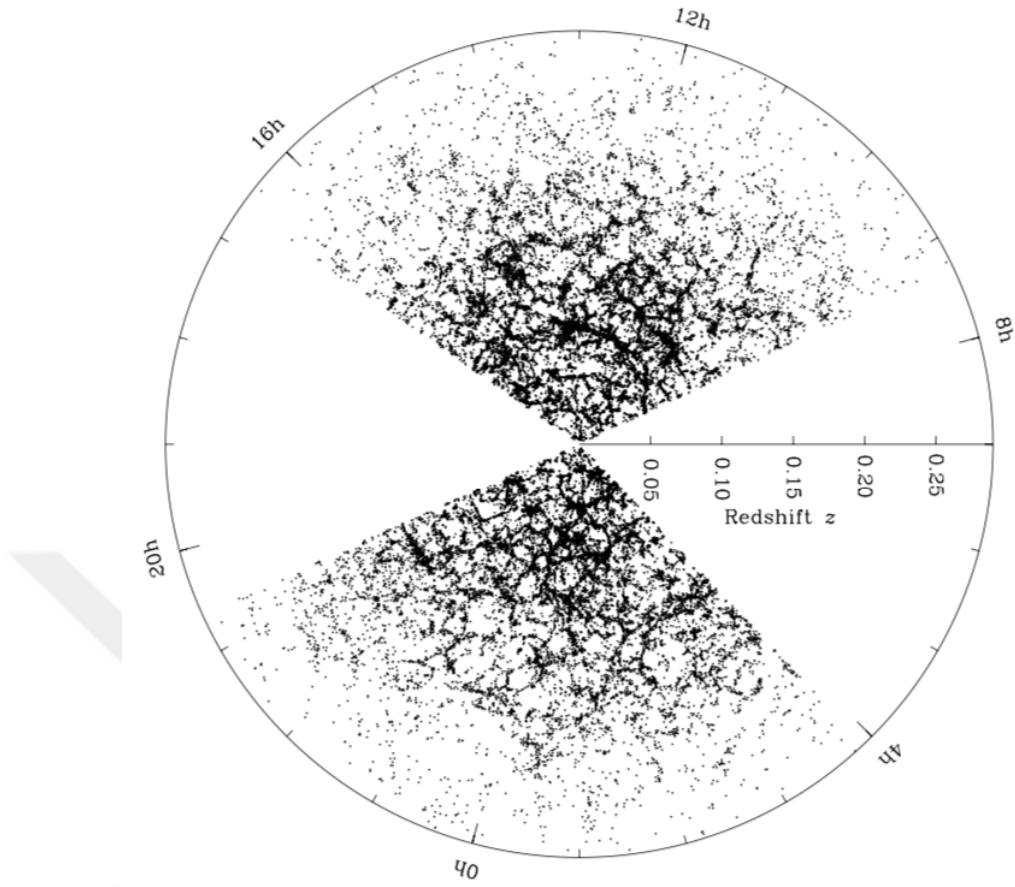
Düzensiz galaksiler, belirgin bir şekle sahip olmayan mavi galaksilerdir. Gaz ve toz bakımından zengin olan bu galaksilerde yıldız oluşumu aktiveleri görülmektedir. Bol miktarda genç yıldızlara sahiptirler. Düzensiz galaksilerin düzgün bir yapıya sahip olmamalarının sebebi zaman içerisinde yaşadıkları kütleçekimsel kararsızlıklardır. 2 alt sınıfa ayrılırlar. Bir miktar şekilsel yapıya sahip olan IrrI ve komple düzensiz forma sahip olan IrrII'ler.

2.1.1. Galaksi Kümeleri

Galaksiler evrende, rastgele bir yapıda dağılmamışlardır. Galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlar içerisinde bir araya gelme eğilimi gösterirler. 1980'lerde Harvard Gözlemevinde yürütülen Center for Astrophysics (CfA) taramasından beri, galaksilerin tayfsal kırmızıya kaymaları elde edilerek evrenin geniş ölçekteki yapısı araştırılmıştır. **Şekil 2.2**'de 2000'lerde başlayan Sloan Digital Sky Survey (SDSS) projesinde kırmızıya kayması belirlenen yaklaşık 700.000 galaksinin dağılımı gösterilmektedir. Günümüzde geniş ölçekte evrene ait bu klasik görüntüde üç temel yapı belirlenmektedir. Bunlar ağ yapı veya filamentler, boşluklar ve galaksi kümeleridir (Coil, 2013). Geniş ölçekte evrene dair bu gözlemsel bulgu ayrıca yarı-analitik galaksi simülasyonları ile de desteklenmiştir (Springer, Frenk ve White, 2006). Galaksi kümeleri bu geniş ölçekli yapıda filamentlerin kesişim noktalarında, galaksi yoğunlaşması olan yerlerde bulunmaktadır. Kümelerin bulunduğu yerler **Şekil 2.3**'de galaksilerin renklerine göre çizdirilmiş dağılımdan daha iyi anlaşılabilir. Kırmızı galaksilerin kümeleşmesi daha belirgin görülmektedir (Zehavi ve diğ., 2011).

Galaksi kümeleri, en büyük ve en kütleli yapılar olmaları sebebiyle evrendeki madde miktarının belirlenmesinde ve bu maddenin dağılımın ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadırlar (Borgani ve diğ., 2001; Vikhlinin ve diğ., 2009; Mantz ve diğ., 2010; Rozo ve diğ., 2010; Pierre ve diğ., 2011).

Tarihsel olarak, galaksi kümeleri ve gruplar arasındaki ayrım üye galaksilerin sayısına göre yapılmıştır. Kabaca $D \leq 1.5 h^{-1} \text{ Mpc}$ çapındaki bir küre içinde $N \leq 50$ üyeden oluşan bir galaksi topluluğuna grup olarak adlandırılırken, kümeler ise $D \geq 1.5 h^{-1} \text{ Mpc}$ içerisinde $N \geq 50$ üyeden oluşan yapılara ise galaksi kümeleri olarak adlandırılmaktadır. Galaksi kümelerinin ortalama kütleleri, $M \gtrsim 3 \times 10^{14} M_{\odot}$ iken, gruplar için bu eğer $M \sim 3 \times 10^{13}$

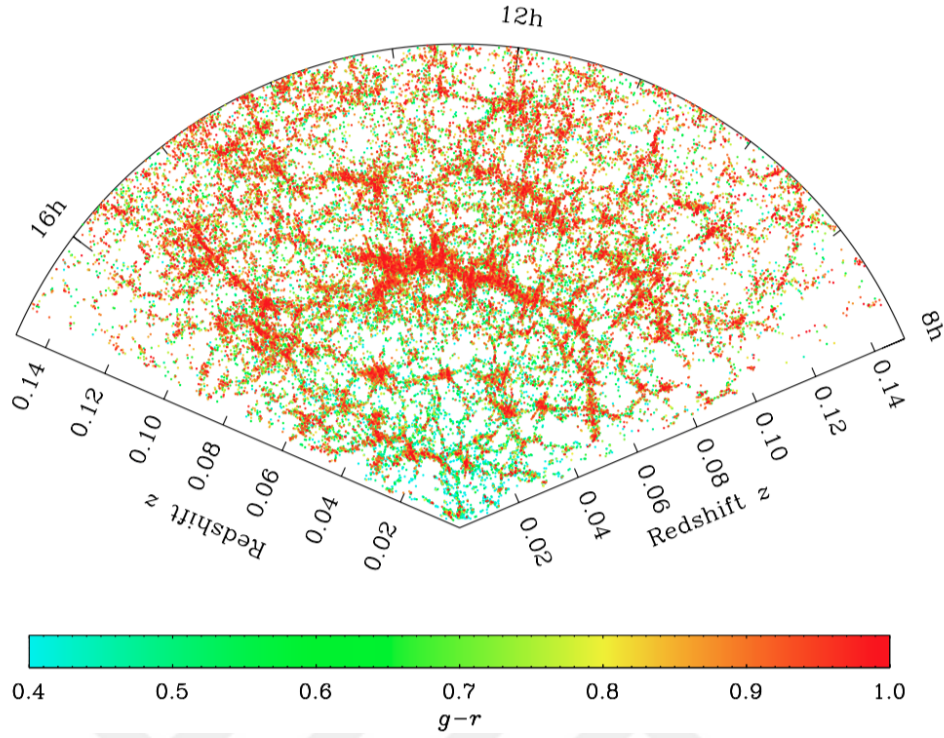


Şekil 2.2 SDSS gökyüzü taramasından elde edilen galaksilerin geniş ölçekte dağılımı. Şekilde yaklaşık 700.000 galaksi bulunmaktadır (Zehavi ve diğ., 2011).

$M_{\odot}$ 'dir. Grupların ve kümelerin toplam kütle aralığı $10^{12} M_{\odot} < M < 10^{15} M_{\odot}$ 'dir.

Galaksi kümelerinin morfolojik sınıflandırması, küme içindeki galaksilerin dağılımına dayanır. Literatürde çeşitli sınıflandırmalar mevcuttur. Bu tarz sınıflandırmalar, galaksi dağılımının görsel izleniminin bir yansıması olmasına karşılık bir kümenin durumu hakkında bizlere bilgi verebilmektedir. Örneğin ilgili kümenin şu anda dinamik dengede olup olmadığı veya başka bir kümeyle etkileşimi sonucunda dağılıp dağılmadığı hakkında fikir verebilir. Bu nedenle, özellikle düzenli ve düzensiz kümeler ile ara kümeler arasında ayırım yapılır; sınıflar arası geçiş elbette süreklidir. Düzenli kümeler "kompakt" iken, düzensiz kümeler "açıktır" (Zwicky'nin sınıflandırma kriterleri) olarak belirtilmiştir.

Galaksi kümelerinin morfolojisi ve diğer özellikleri arasındaki korelasyonların gösterdiği gibi, bu morfolojik sınıflandırmalar kümeler arasındaki fiziksel farklılıklara işaret ediyor. Örneğin, düzenli kümelerde erken tip galaksiler hâkimken, düzensiz kümelerde geç tip galaksilerin hâkim olduğu görülmektedir. Çoğu zaman, düzenli kümelerin merkezinde bir

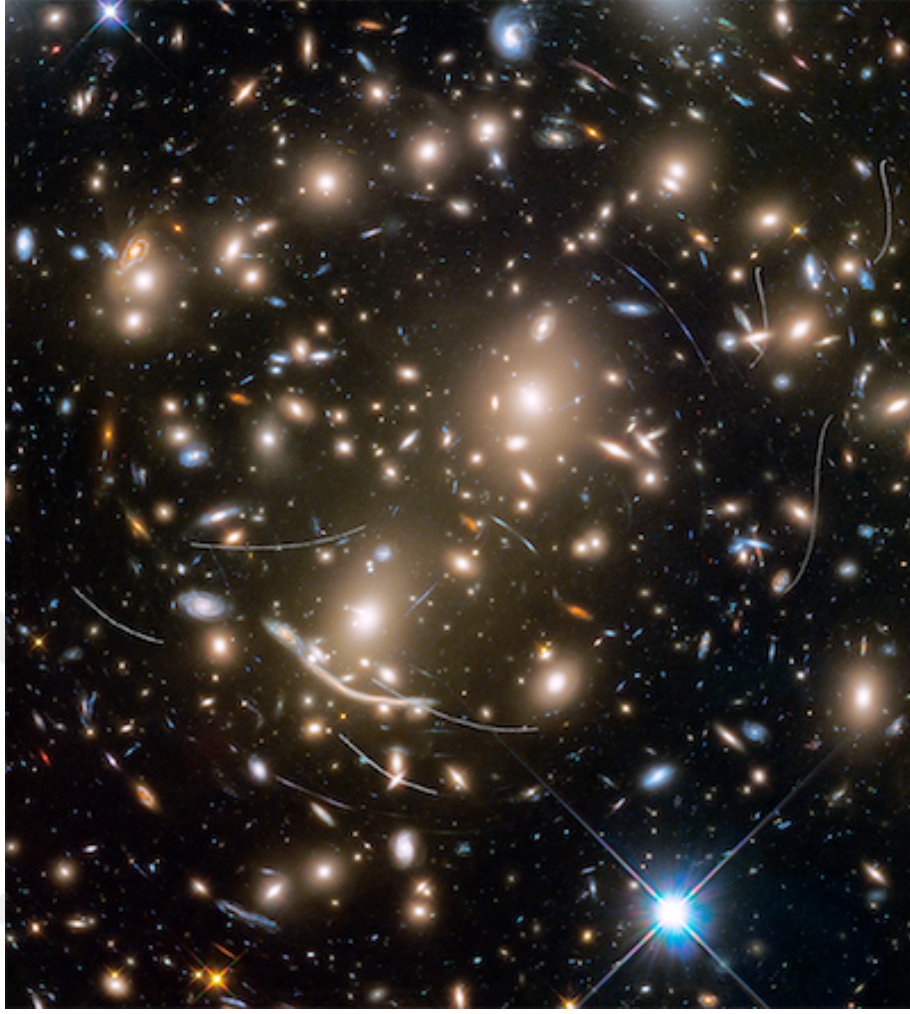


Şekil 2.3 SDSS gökyüzü taramasından elde edilen galaksilerin geniş ölçekte dağılımının galaksi rengine ($g-r$) göre gösterilmesi (Zehavi ve diğ., 2011).

cD galaksisi bulunmaktadır (**Şekil 2.5**) ve bu kümelerin merkezi galaksi yoğunluğu çok yüksektir. Buna karşılık, düzensiz kümelerin merkezi bölgeleri daha az yoğunudur. Özetlemek gerekirse, düzenli kümeler denge (ing. relaxed) durumda iken düzensiz kümelerde evrim sürecinin hâlâ devam ettiği söylenebilir.

Galaksiler bir kümenin optik görünümünü belirleyen temel unsurlar olmalarına rağmen, toplam küme kütlesinin ufak bir kısmına karşılık gelmektedirler ($\sim \% 5$). Bununka birlikte X-ışını ve radyo gözlemleriyle (Reiprich ve Bohringer, 2002; Reichert ve diğ., 2011; Planck Collaboration ve diğ., 2013) incelenebilen küme içi sıcak gaz toplam kütlenin $\sim \% 15$ 'ini, karanlık madde ise $\sim \% 80$ 'ini oluşturmaktadır (Clowe ve diğ., 2006, Jee ve diğ., 2011). Galaksiler arasındaki sıcak gaz ($T \sim 3 \times 10^7$ K) tarafından salınan radyasyon sayesinde galaksi kümelerinin yoğun X-ışın kaynakları olduğu keşfedilmiştir. Bu sıcak gazın oluşmasına küme içi ortamdaki etkileşimler neden olmaktadır. 10^7 K sıcaklığına ulaşan gaz iyolaşır ve atom çekirdeklerinin yanından geçerken ışıınım yaparak enerji kaybederler. Bu sayede “bremsstrahlung” ışıması ortaya çıkar.

Galaksi kümeleri genel olarak iki bölgeye ayrılır: yoğun ve viryalize olmuş merkezi bölge ile daha seyrek kenar bölge. Bu iki bölge, $2.65 \times 10^{15} M_{\odot}$ kütlesine sahip Coma gibi büyük



Şekil 2.4 Abell 370 galaksi kümesinin Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilmiş görüntüsü (©NASA/ESA/HST).

kütleli kümelerde belirgin bir şekilde görülürken, daha düşük kütleli kütemelerde daha az belirgindir.

Kümeler yakınlarında bulunan yapılarla etkileşime girebilirler (Lemaux ve diğ., 2012; Fogarty ve diğ., 2014). Diğer kümelerle birleşmeler yaşandığında merkez-kenar bölge ayrımı bozulur ve ilk oluşan ata kümelere göre daha farklı dinamik ve fiziksel özelliklere sahip yapılara dönüşürler (Roettiger ve diğ., 1997).

Galaksi kümelerinin gelişen dinamik durumları, üye galaksilerin özelliklerine yansır. $z \sim 1.5$ 'e kadar zengin ve dinamik olarak gevşek kümelerde, galaksi morfolojisi ile yerel yoğunluk arasında bir korelasyon gözlemlenir; yüksek yoğunluklu bölgelerde eliptik ve S0 gibi erken tip galaksiler daha sık görülürken (Dressler, 1980; Postman ve diğ., 2005; Hilton ve diğ., 2010; Mei ve diğ., 2012) geç-tip galaksiler kümelerin kenar bölgelerinde



Şekil 2.5 Abell 1063 galaksi kümesinin Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilmiş görüntüsü. Kümenin merkezinde dev bir eliptik galaksi (cD / BCG) görülmektedir (©NASA/ESA/HST).

görülmektedir. Çoğu durumda, kümelerin yoğun bölgelerinde $10^{12} M_{\odot}$ kütlesine sahip bir veya iki dev eliptik galaksi bulunur. Bununla birlikte, daha az gevşek kümeler, düzensiz ve asimetrik bir madde dağılımı sunarlar. Bu kümelerde merkez ile kenar bölgeler arasındaki ayırım daha az keskinleşir veya yok denecek kadar azdır (Longair, 2008). Bu gibi durumlarda, Herkül kümesinde gözlemlendiği gibi kümenin merkezinde spiral ve düzensiz galaksilerde bulunabilir.

Galaksilerin yoğun kütleçekimsel etkilere maruz kaldığı küme gibi yoğun ortamlar, yıldız oluşumu aktivitesini teşvik eden veya söndüren süreçlere sahiptir. Bir galaksi kümeye doğru düşerken, küme için ortamda birleşme, galaksi etkileşimi veya çarpma basıncı soyulması gibi fiziksel etkilere maruz kalabilir. Bekki ve Couch (2011) yaptıkları çalışmada, komşu galaksilerle olan gelgit etkileşimlerinin, merkeze doğru akan gazın tetiklediği yıldız oluşumu nedeniyle spiral bir galaksinin şişkin bölgesinin büyümesine neden olabileceğini göstermişlerdir. Bu sayede galaksi tüm gazını tüketir ve merceksi galaksiye dönüşür.

Tüm bu fiziksel süreçler, galaksilerdeki soğuk gaz tüketiminin veya kaybının hızlanmasına yol açıyor olsa da, her bir mekanizmanın diğerine göre göreceli öneminin ne olduğu hâlâ araştırma konusudur. Yapılan çalışmalarda, galaksi kümelerindeki merkezi parlak galaksilerin kütlelerindeki artışın ve oluşumlarının ana kaynağı "dry merger"lar olarak belirtilirken (Oogi ve diğ., 2016; Burke ve Collins, 2013; Lidman ve diğ., 2012; Ruszkowski ve Springel, 2009; Scarlata ve diğ., 2007), düşük kütleli kümelerin üye galaksilerinin yıldız oluşumunu durduran ana mekanizmanın çarpma basıncı soyulması olduğu görülmüştür (Gavazzi ve diğ., 2013) Belirli mekanizmaların ilk olarak hangi dönemde devreye girdiği de tam olarak anlaşılamamıştır.

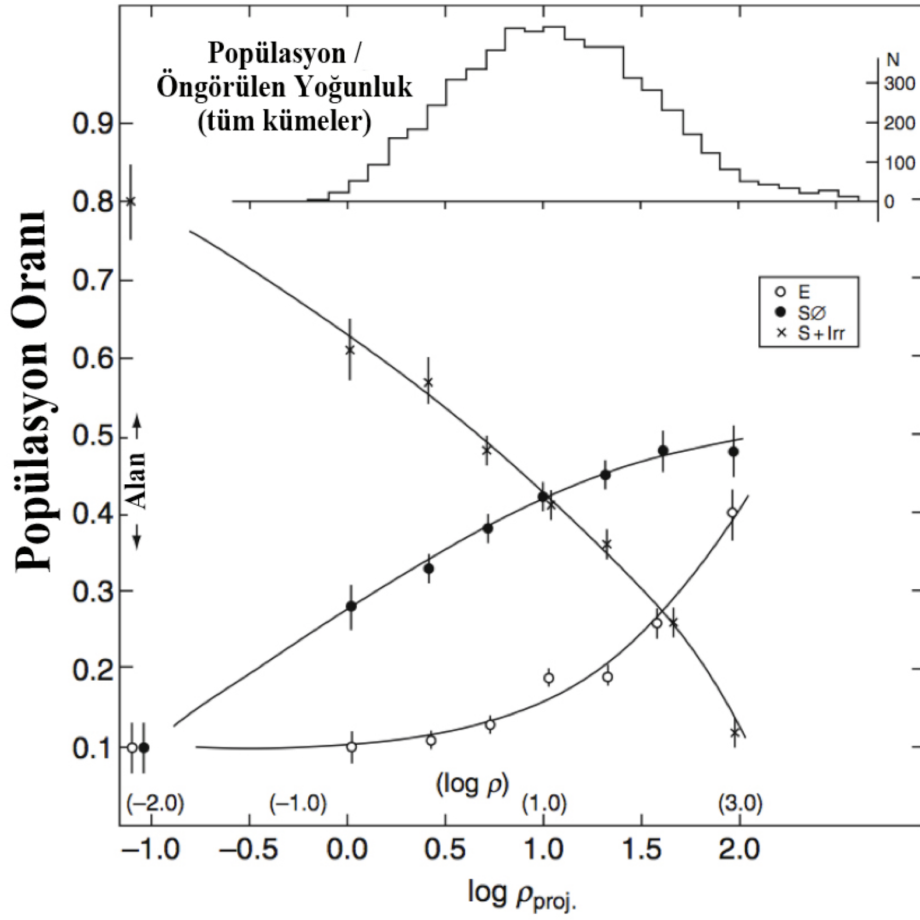
2.2. ORTAMIN GALAKSİ EVRİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

2.2.1. Morfoloji-Yoğunluk İlişkisi

Galaksi kümeleri, galaksi evriminin anlaşılması için önemli bir laboratuvar işlevi görmektedirler (Boselli ve Gavazzi, 2006; Mei ve diğ., 2012, De Lucia ve diğ., 2012; Strazzullo ve diğ., 2013). Dressler (1980)'de ortaya koyduğu morfoloji–yoğunluk ilişkisine göre zengin kümelerin merkezi bölgelerinde erken-tip (eliptik ve S0 sınıfı) galaksiler sayıca baskınken, geç-tip (spiral ve düzensiz) galaksilerin daha az olduğunu saptanmıştır.

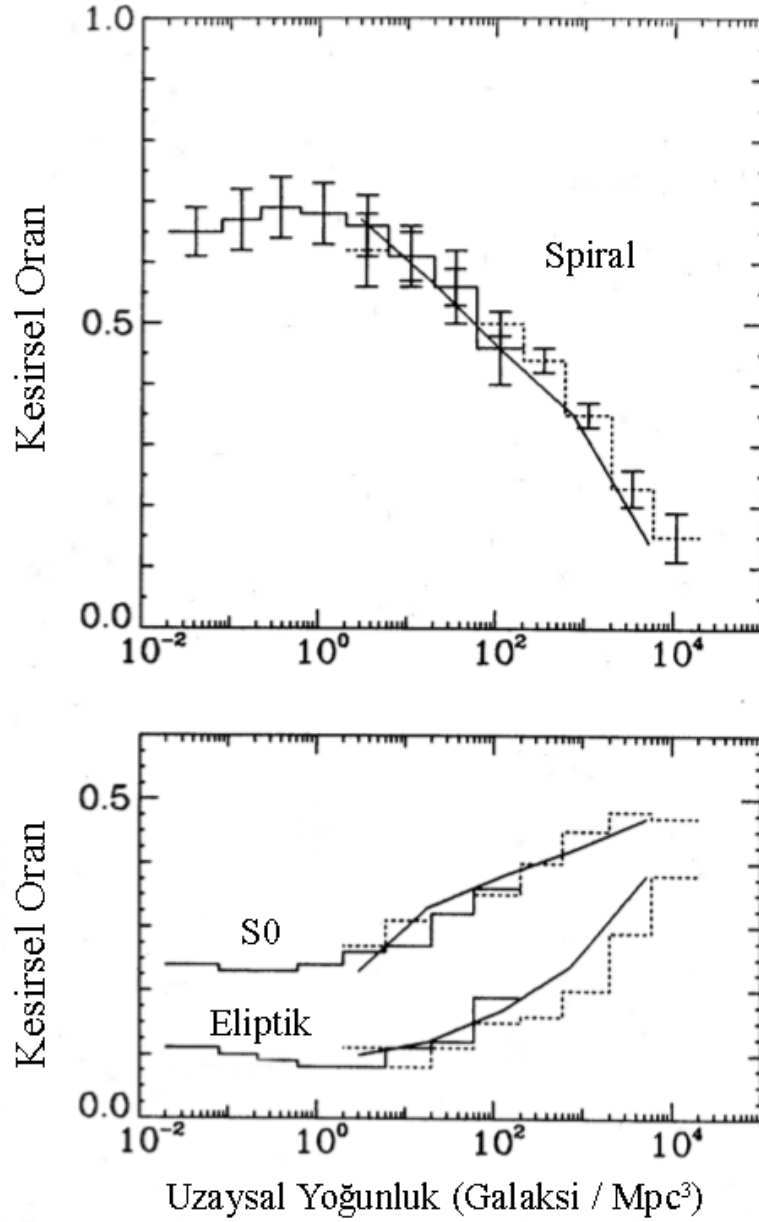
Morfoloji-yoğunluk ilişkisi, spiral galaksilerin kümeye düştükçe gaz kaybettiği ve eliptik galaksiler gibi erken tip sistemlere dönüştüğü modellerle uyumludur. Goto ve diğ., (2003), Sloan Dijital Gökyüzü Taraması (SDSS) verilerini kullanarak, geç-tip galaksi oranının kümenin yarıçapı arttıkça arttığına dair sonuçları göstermiştir. Küme içerisinde bulunan spiral galaksilerin oranı kenar bölgelere doğru artış gösteriyor olsa da alanda bulunan spirallere göre daha azdırlar. Galaksi morfolojisi ile yıldız kütlesi arasında güçlü bir ilişki olduğu da açıktır, öyle ki yoğun bölgelerde bulunan erken tip galaksilerin daha kırmızı renklerde ve çok daha düşük yıldız oluşum oranına sahip oldukları görülmüştür (Kauffmann ve diğ., 2004; Baldry ve diğ., 2006; Weinmann ve diğ., 2006).

Kümelerdeki galaksilerin evrim süreçlerinin, alan veya boşluk (void) galaksilerden farklı olması, galaksi evriminde çevrenin önemli bir etkisi olduğu fikrini doğurmuştur (Conselice, 2014). Galaksi evriminde bünyesel ve çevresel etkilerden hangisinin daha etkili olduğu hâlâ tartışmalı olsa da, yapılan çalışmalarla küme gibi yoğun ortamlarda çevresel etkilerin daha



Şekil 2.6 Abell galaksi kümelerinden elde edilen morfoloji-yoğunluk ilişkisi. İçi boş ve dolu daireler sırasıyla eliptik ve S0 galaksilerini, çarpılar ise spiral galaksileri göstermektedir. Yoğunluk alan (izdüşümsel) yoğunluk biriminde verilmiştir (Dressler, 1980).

etkin olduğu görülmüştür (Kauffmann ve diğ., 2004; Gallazzi ve Bell, 2009; Treu ve diğ., 2009; Muldrew ve diğ., 2012). Morfoloji-yoğunluk ilişkisi bu çevresel etkilerin sonucunda ortaya çıkmış olabilir. Bu etkiler, çarpışma basıncı soyulması, galaksi birleşmeleri, gelgit etkisi ve galaksi tacizi şeklinde olabilir. Çarpma basıncı soyulması, kümeye doğru düşen gaz bakımından zengin spiral bir galaksinin gazını, küme içi sıcak gaz (10^7 K) veya ortam (ing. Intracluster medium, ICM) sebebiyle yitirmesidir. Galaksier arasında yaşanan gelgit etkisi ve galaksi tacizi etkileşen galaksilerin gazlarını yitirmelerine ve morfolojilerinde değişmelere neden olmaktadır. Özellikle galaksi birleşmeleri erken tip galaksilerin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır; eliptik galaksi oluşum senaryolarından birisi iki spiral galaksinin birleşmesidir. Bütün bunlar gözönüne alındığında çevrenin galaksi evrimi üzerindeki etkisi kaçınılmazdır (Boselli ve Gavazzi, 2006). Literatürde etkileri doğrudan çevreden

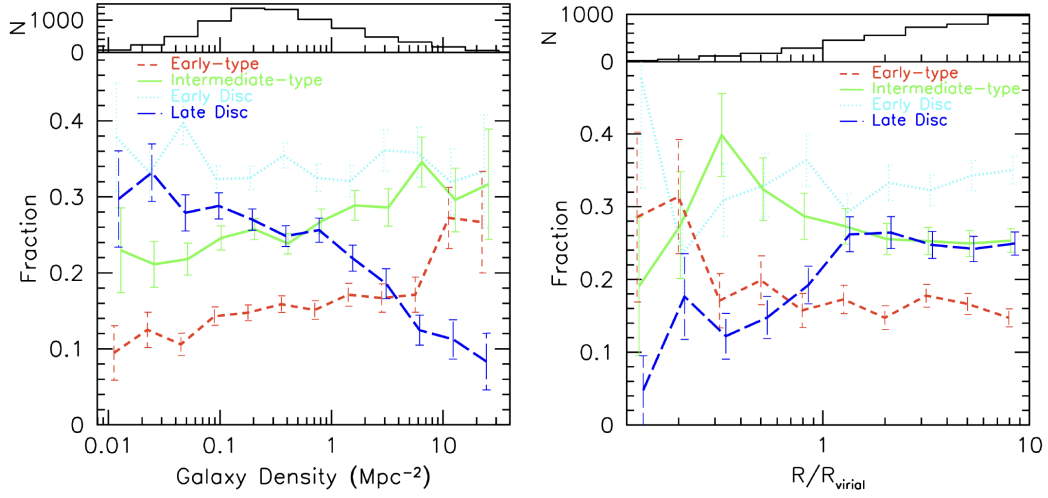


Şekil 2.7 CfA galaksi taramasındaki 2390 galaksi üzerinden elde edilen morfoloji-yoğunluk ilişkisi. Üst panel spiral galaksilerin sayı oranlarını, alt panel ise eliptik ve S0 galaksileri göstermektedir (Postman ve Geller, 1984).

kaynaklanan fiziksel mekanizmalar “nurture” olarak isimlendirilmektedir.

2.2.2. Morfoloji-Renk İlişkisi

Yerel evrende, galaksilerin, mavi ve kırmızı galaksiler arasında net bir ayrım, iki modlu renk dağılımları gösterdikleri bilinmektedir (Strateva ve diğ., 2001; Blanton ve diğ., 2003; Baldry ve diğ., 2004; Kauffmann ve diğ., 2003). Bu durum en az $z \sim 1$ 'e kadar



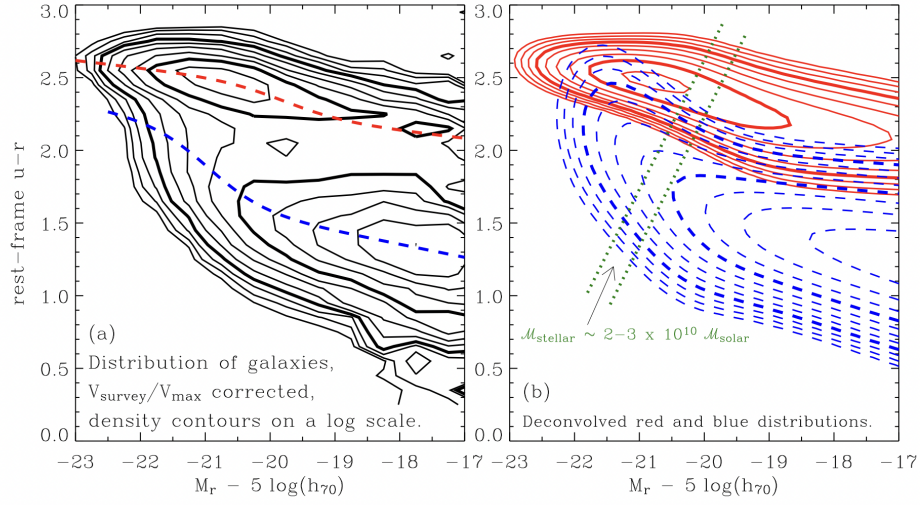
Şekil 2.8 Galaksi kümelerinin morfoloji-yoğunluk (solda) ve morfoloji-yarıçap (sağda) ilişkileri. Her galaksi türünün oranları, yerel galaksi yoğunluğuna (solda) ve küme merkezli yarıçapa (sağda) göre çizilmiştir. Kısa kesikli, düz, noktalı ve uzun kesikli çizgiler sırasıyla erken tip, orta tip, erken disk ve geç disk galaksileri temsil etmektedir (Goto ve diğ., 2003).

görülebilmektedir (Bell ve diğ., 2004; Willmer ve diğ., 2006; Cooper ve diğ., 2007).

Şekil 2.9'de gösterildiği gibi, galaksiler renk parlaklık diyagramında iki ana bölgede yoğunlaşmıştır; kırmızı kol ve mavi bulut. Kırmızı kol galaksileri, belirgin bir doğrusal yapı gösterirken, mavi buluttaki galaksiler daha dağınıktır. Bu durum, kırmızı koldaki galaksilerin benzer yaştaki yıldız popülasyonlarına, mavi buluttaki galaksilerin ise daha geniş yaş aralığındaki yıldız popülasyonlarına sahip olmasına işaret eder. Kırmızı kol galaksileri, yıldız oluşumu neredeyse durmuş ve yaşlı yıldız popülasyonlarına sahip erken-tip galaksilerdir. Mavi bulut galaksileri ise yıldız oluşumu aktivitesi devam eden, genç ve sıcak yıldız popülasyonu sahip geç-tip galaksilerdir.

Balogh ve diğ. (2004) çalışmalarında 24346 galaksinin (u-r) renklerinin ortam yoğunluğuna göre nasıl değiştiğini göstermiştir (**Şekil 2.10**). Morfoloji-yoğunluk ilişkisinin bir devamı olarak görülebilecek biçimde, artan yoğunlukla kırmızı galaksi popülasyonu baskın hale gelmektedir.

Galaksilerin morfolojilerinin parametrik veya parametrik olmayan yöntemlerle belirlenmesi SDSS gibi geniş alan görüntüleme taramalarıyla birlikte ivme kazanmıştır. Her ne kadar Galaxy Zoo gibi projelerle çok sayıda galaksi "halk bilim" projeleri kapsamında

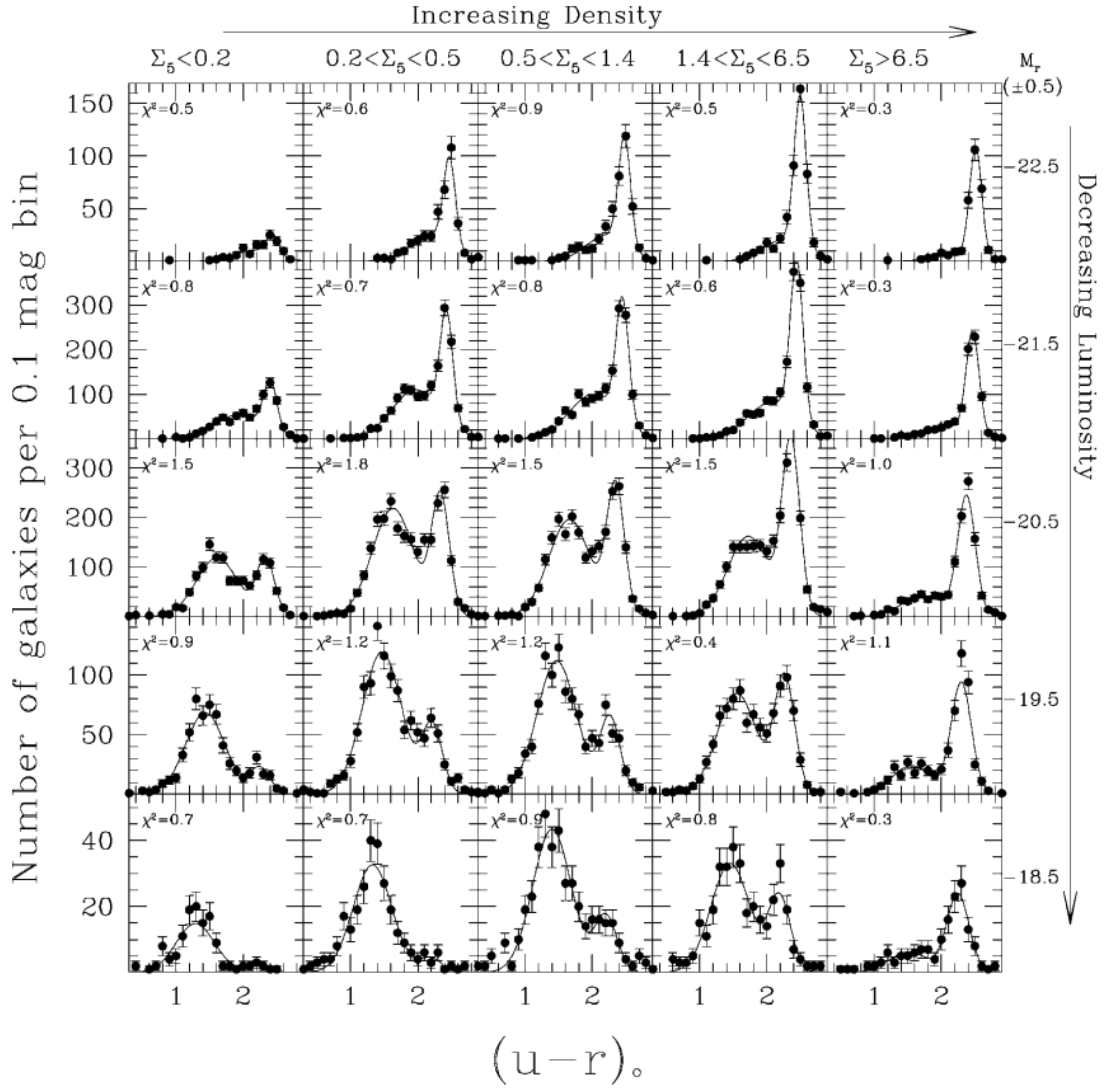


Şekil 2.9 Galaksilerin renk-parlaklık diyagramlarında (CMD) görülen iki kutuplu (ing. bimodal) yapı. Konturlar galaksi sayı yoğunluğunu göstermektedir. Erken-tip galaksiler "kırmızı kol" denilen (red-sequence) bir düzlemde toplanırken, geç-tip galaksiler daha dağınık (blue cloud) bulunmaktadır (Baldry ve diğ., 2004).

belirli kriterlere göre gözle sınıflandırılabilse de (Lintott ve diğ., 2011, Willett ve diğ., 2013), milyonlarca galaksinin klasik yöntemlerle sınıflandırılabilmesi mümkün değildir. Galaksilerin morfolojilerini temsil eden yapısal parametrelerin başında etkin yarıçap (R_e), Sérsic indeksi (n), yarı-küçük ve yarı-büyük eksen oranı (b/a) gibi parametreler gelmektedir. Blanton ve Moustakas (2009) SDSS'ten derlenmiş bir galaksi örnekleminde fotometrik ve yapısal parametreler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. **Şekil 2.11**'de verilen dağılımlarda Sérsic indeksi (n) ile galaksi rengi arasındaki ilişki erken-tip morfolojilere sahip galaksilerin ($n = 4$) daha çok kırmızı renklerde yoğunlaştığı görülmektedir.

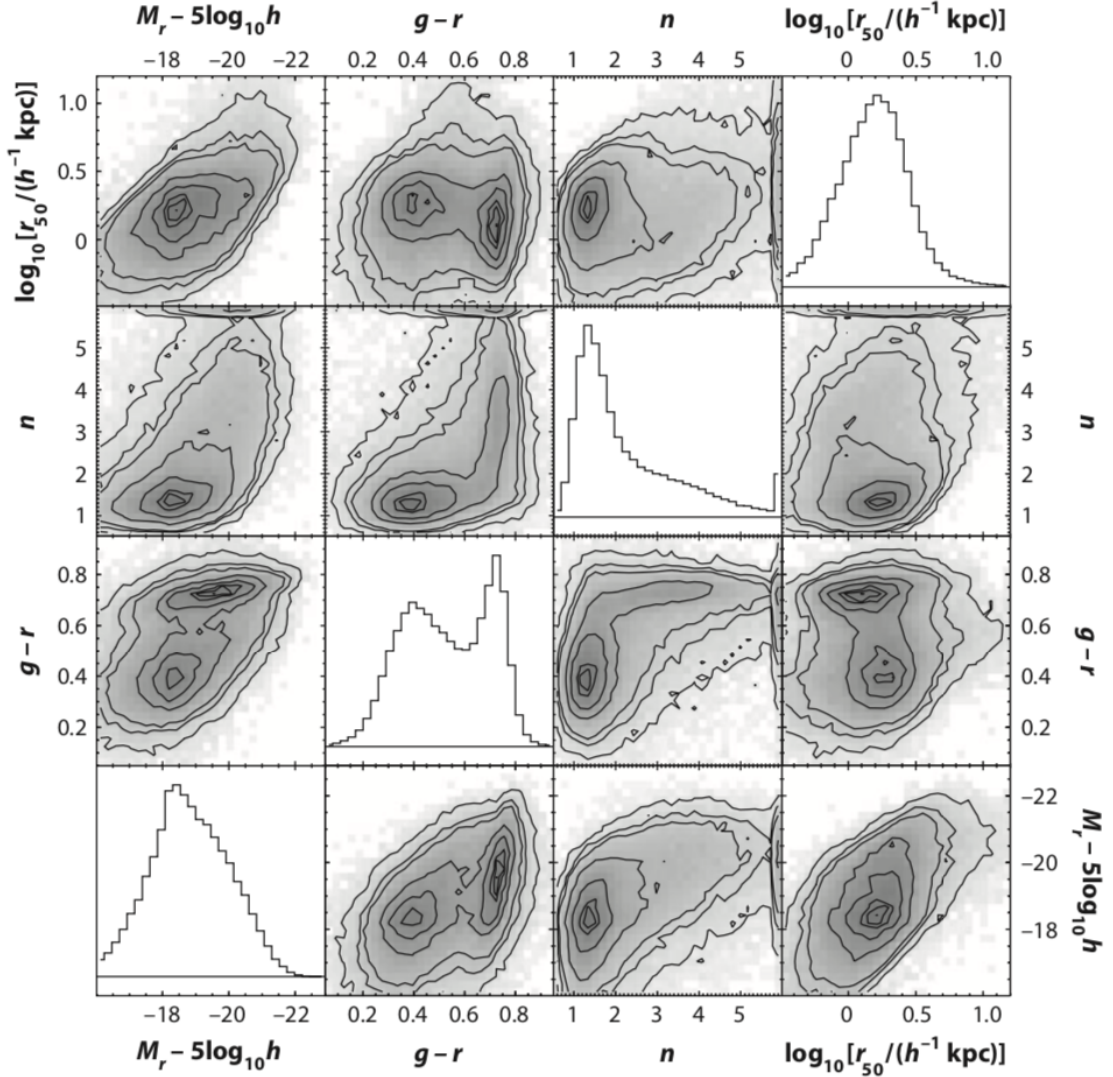
İki galaksi grubu, luminozite fonksiyonuyla da tanımlanabilir: luminozite fonksiyonunun sönük ucuna mavi bulut galaksileri hakimken, parlak ucuna pasif evrim geçiren kırmızı galaksiler hakimdir (Bell ve diğ., 2004). Yapılan gözlemler, kırmızı koldaki galaksilerin toplam yıldız kütle yoğunluğunun son 6 - 8 milyar yılda kabaca iki katına çıktığını, mavi galaksilerin ise neredeyse sabit kaldığını gösteriyor (Bell ve diğ., 2004; Faber ve diğ., 2007). Yeni yıldızların çoğunlukla mavi galaksilerde oluştuğunu varsayarsak, bu galaksilerin mavi buluttan kırmızı kola dönüştüğünü gösterir. Kırmızı kol ve mavi bulut arasındaki üçüncü bir bileşen ise yeşil vadi olarak tanımlanmıştır.

Faber ve diğ. (2007), DEEP2 ve COMBO-17 tarama projelerini kullanarak $z \sim 1$ 'e



Şekil 2.10 Galaksilerin $(u-r)$ renklerinin farklı ortam yoğunluklarına göre dağılımları (Balogh ve diğ., 2004).

kadar galaksilerin ışınımgücü fonksiyonlarını incelediler. Işınımgücü fonksiyonlarından elde ettikleri popülasyon ayrımları sonucunda kırmızı ve mavi galaksileri parlaklık ve kütlelerine göre dağılımları elde ettiler. Galaksilerin, mavi buluttan ayrılarak kırmızı kola geçişlerinde, düşük kütlelerde galaksi birleşmelerinin (merging), büyük kütlelerde ise gazın tükenmesinin etkin olduğunu önerdiler. **Şekil 2.12**'de renk-parlaklık grafiğinin bir benzeri olarak kütle-renk grafiği ve şematik olarak galaksilerin mavi buluttan kırmızı kola geçişleri gösterilmektedir (Faber ve diğ., 2007). Ayrıca, düşük kütlelerdeki disk galaksileri gazlarını küme içi gazın oluşturduğu çarpışma basıncı soyulması (ram pressure stripping) etkisiyle de kaybetmektedirler (Cortese ve diğ., 2021).



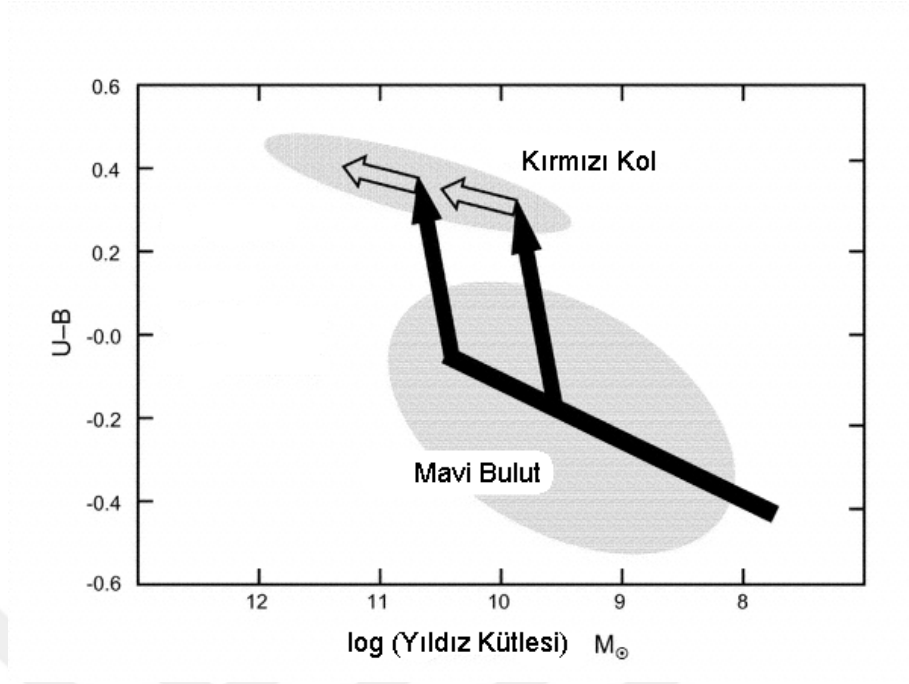
Şekil 2.11 Galaksilerin fotometrik ve yapısal parametreleri arasındaki ilişkiler (Blanton ve Moustakas, 2009).

2.3. KIRMIZI KOL GALAKSİLERİ

Galaksi kümelerindeki erken-tip galaksiler (eliptik ve merceksi galaksiler) renk-parlaklık grafiklerinde doğrusal olarak ifade edilebilen belirgin bir dağılım gösterirler. Bu dağılımı oluşturan galaksilere "kırmızı kol" (ing. red-sequence, RS) galaksileri denir.

Yerel evrendeki kümelerde ($z < 0.3$) bu dağılımın saçılması çok düşüktür (Bower ve diğ., 1992a,b). Ayrıca, Ellis ve diğ., (1997) Hubble Uzay Teleskobu kullanarak elde ettikleri verilerde, $z \sim 0.9$ 'lardaki kümelerde de "kırmızı kol"un belirlenebildiğini göstermiştir.

Küme galaksilerinin böyle bir renk-parlaklık ilişkisi göstermeleri, yaşı ve metal bolluğunun

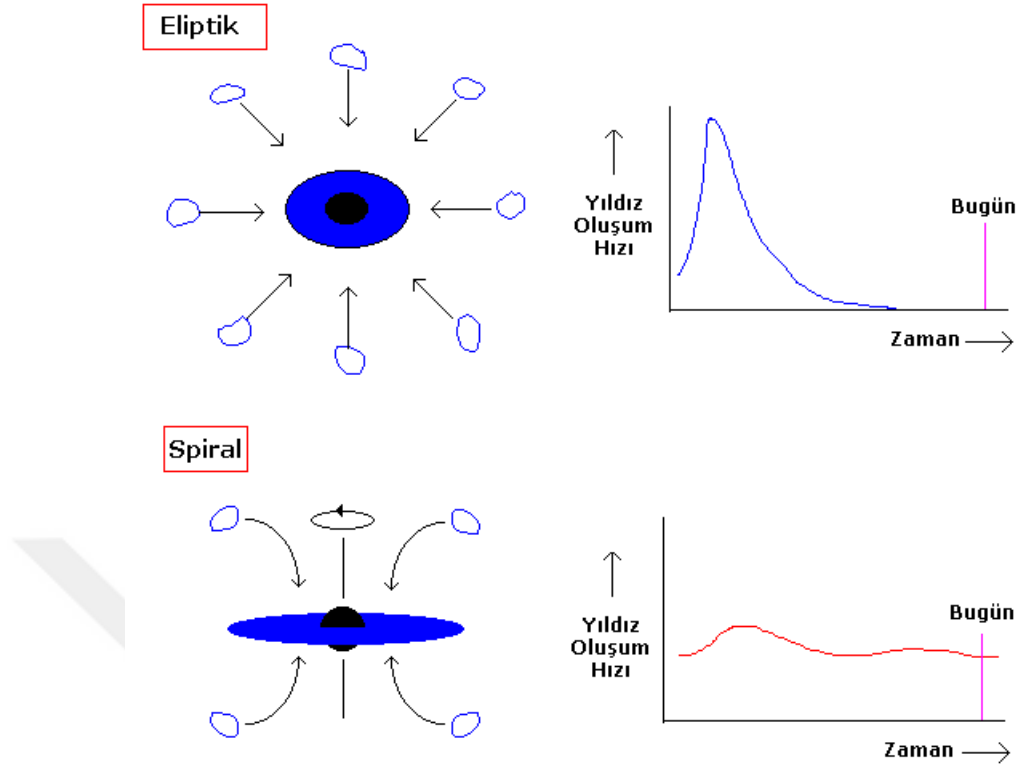


Şekil 2.12 Kırmızı kol galaksilerinin oluşumunun şematik gösterimi. Gazca zengin galaksiler mavi buluttan, çeşitli fiziksel süreçlerle kırmızı kola geçerler (Faber ve diğ., 2007).

bir etkisi olarak düşünülebilir. Ancak, $z > 0.3$ olan kümelerde de kırmızı kolun belirlenebilmesi, yani kümedeki galaksilerin önemli bir bölümünün benzer renklere sahip olması, bu ilişkinin yalnızca yaşla açıklanamayacağını gösterir. Kodama ve Arimoto (1997) ile Kauffmann ve Charlot (1998) çalışmaları kırmızı kolun oluşumunda asıl etkinin galaksilerin metalce zenginleşmesi olduğunu ortaya koymuştur.

Kümedeki erken-tip galaksilerin bu pasif evrimi, eliptik galaksilerin yekpare (ing. monolithic) çöküş modeli ile oluşmalarını ve ondan sonra pasif olarak evrimleştiklerini söyleyen modellerle uyumludur (Gladders ve diğ., 1998). **Şekil 2.13**'de şematik olarak eliptik ve spiral galaksilerin oluşum modelleri ve bu modellere eşlik eden yıldız oluşum hızlarının zamanla değişimi gösterilmektedir. Eliptik veya daha genel olarak erken-tip galaksiler, başlangıçta tek ve büyük bir yıldız oluşumu patlaması (ing. star-burst) geçirirler ve sonrasında bu yıldızların pasif olarak evrimleşmeleri görülür. Spiral veya geç-tip galaksilerde ise yıldız evrim döngüsünün kurulabilmiş olmasından dolayı, daha az ama sürekli bir yıldız oluşumu görülür.

Arimoto ve Yoshii (1987) başlangıçtaki çökme ile oluşan büyük yıldız oluşumu sırasında meydana gelen süpernovaların, galaksilerdeki yıldızlararası ortamı süpüren güçlü bir galaktik rüzgar oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu rüzgarın termal enerjisi, çekimsel

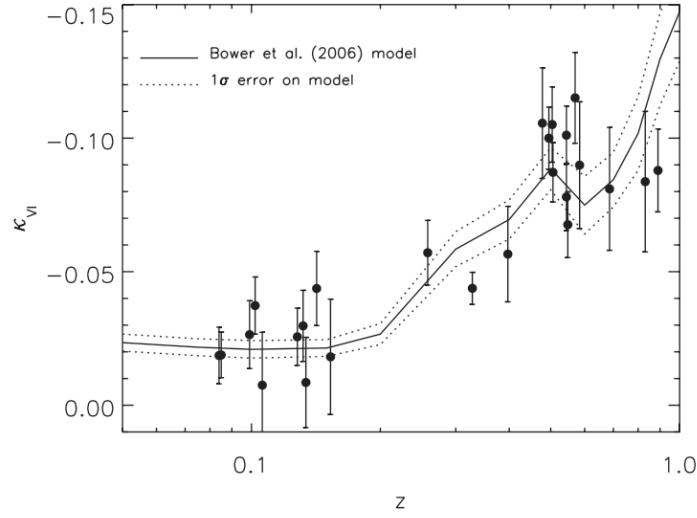


Şekil 2.13 Eliptik ve spiral galaksiler için şematik oluşum senaryoları ve bu senaryolara bağlı olarak yıldız oluşum hızının zamanla değişimi. (R. Guzman, University of Florida)

enerjiden büyük olduğunda galaksideki metalce zengin materyal dışarı atılabilir. Bu durum özellikle düşük kütleli galaksilerin metalce zengin materyali kaybetmesi için makul bir açıklamadır. Daha büyük kütleli galaksiler, süpernovalarla fırlatılan maddeyi tutarak **Şekil 2.13**'deki gibi daha uzun süren yıldız oluşum döngüleri gösterebilirler.

Metal bolluğunun bu kütleyle bağlı doğası (kütle-metal bolluğu ilişkisi), farklı kütledeki eliptik galaksiler için başlangıç koşullarında bir fark yaratmaktadır. Bu fark günümüzdeki ($z \sim 0$) galaksi kümelerinin kırmızı kollarında bir eğime neden olmaktadır (Gladders ve diğ., 1998). Bu eğim, $z \sim 0$ 'daki kümelerde neredeyse aynı değerdedir, yani kümeden kümeye değişmemektedir (Lopez-Cruz ve Yee, 1998).

Ancak farklı kırmızıya kaymalardaki kümelerde, yaş faktörü de etkili olmaya başlamakta ve kırmızı kolun eğiminde yaştan ileri gelen bir farklılık ortaya çıkmaktadır (Stott ve diğ., 2009). **Şekil 2.14**'de Stott ve diğ. (2009) tarafından $z \sim 0.5$ ve $z \sim 1$ civarında iki farklı küme örnekleminde elde ettikleri kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kayma ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.14 Kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kayma ile değişimi (Stott ve diğ., 2009).

Galaksi kümelerinin renk-parlaklık grafiklerindeki kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kayma ile değiştiği öne sürülmüş olsa da, birçok araştırmacı bu değişimi bulamadıklarını belirtmişlerdir (Blakeslee ve diğ., 2003; Mei ve diğ., 2006).

Kırmızı kolun eğimi için alternatif bir açıklama Kauffmann ve Charlot (1998) tarafından yapılmış ve eliptik galaksilerin hiyerarşik olarak disk sistemlerinin birleşmesi ile oluştuğunu söylemiştir. Aslında, eliptik galaksilerin oluşumu için kabul edilen senaryolardan biri olarak birleşme süreçleri ilk olarak Toomre ve Toomre (1972) tarafından ileri sürülmüştür. Disk galaksilerinin birleşmelerinin eliptik galaksileri oluşturduğu bugün genel kabul görse de, tüm eliptik galaksilerin bu yolla oluştuklarını söylemek güçtür. Herhangi bir birleşme etkisi göremediğimiz veya galaksi birleşmeleri için uygun olmayan az yoğun ortamlarda bulunan izole eliptik galaksilerin bulunduğu bilinmektedir (Ülgen ve diğ., 2022).

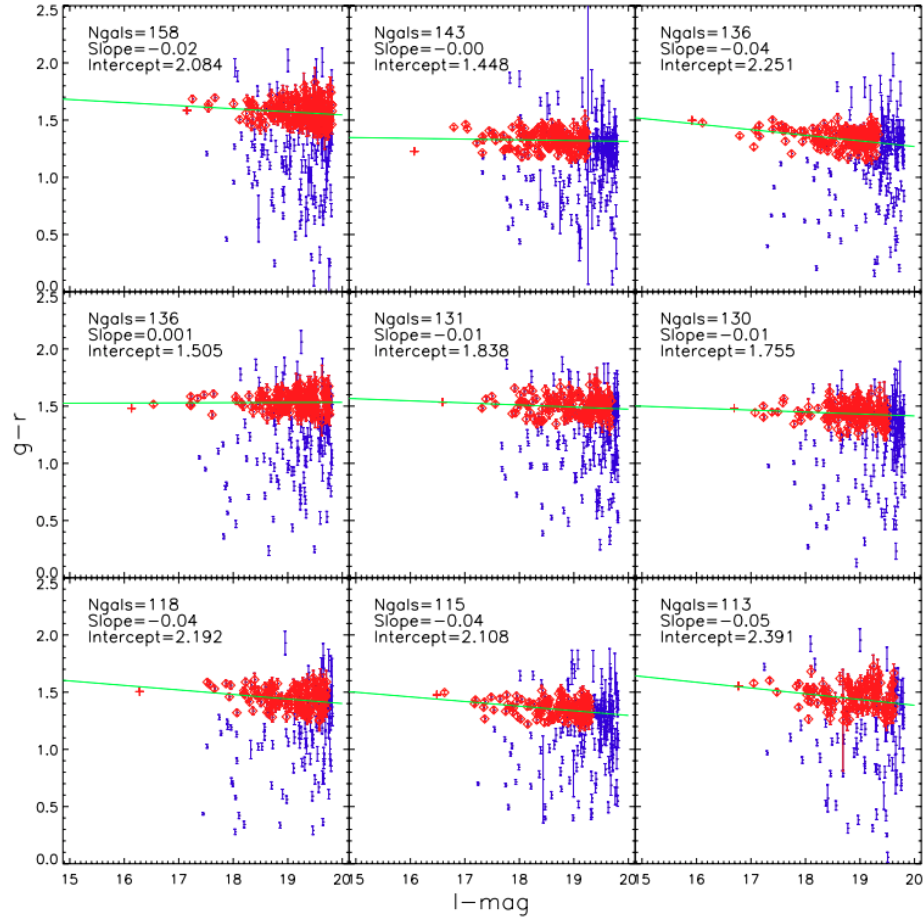
Küme eliptikleri ile izole eliptik galaksilerin oluşumlarına ilişkin farklı senaryolar bulunsa da, Ülgen ve diğ. (2022) farklı ortamlardaki eliptik galaksilerin benzer renklerde, dolayısıyla kırmızı kol üzerinde, bulunduklarını göstermiştir (Şekil 4, Ülgen ve diğ., 2022).

Birleşme modeli göz önüne alındığında, kırmızı kolun eğiminin yüksek kırmızıya kaymalarda sıfıra yakın olması (kolun düz olması) beklenir; bunun nedeni büyük kütleli eliptiklerde yıldız popülasyonlarının genel olarak daha genç ve dolayısıyla daha küçük kütleli olanlarınkine göre daha mavi olmalarıdır.

Teorik olarak, kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kayma ile değişimi, kümedeki eliptik

galaksilerin yıldız popülasyonlarının oluşum zamanı hakkında sınırlamalar getirebilir (Kodama ve Arimoto, 1997). Ayrıca kırmızı kolun eğimi, küme üyesi galaksilerin kolektif renklerinin bir sonucu olduğu için, fotometrik hatalar büyük olsa bile oldukça hassas bir şekilde belirlenebilir. Bununla birlikte, Blakeslee ve diğ. (2003) ve Mei ve diğ. (2006) çalışmalarında $z \sim 1.3$ 'lerdeki kümelerde belirlenen kırmızı kolların eğiminin Coma kümesi ($z = 0.023$) ile benzer olduğu gösterilmiştir.

Kırmızı kolun eğiminin, kümelerdeki galaksilerin oluşum zamanları için bir sınırlama olarak kullanılması hâlâ tartışmalı olsa da, kırmızı kolun varlığı geniş ve çok-bant görüntüleme taramalarında galaksi kümelerini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Gladders ve Yee, 2000).



Şekil 2.15 Kırmızı kolun galaksi kümesi belirleme çalışmalarında etkin olarak kullanımına bir örnek. Kırmızı karolar küme üyesi galaksileri, maviler ise alan galaksilerini göstermektedir. En parlak kısımda görülen kırmızı artı kümenin merkezi parlak galaksisini (BCG) belirtmektedir. Grafikteki tüm galaksiler BCG'den R_{200} uzaklığına kadar dağılmakta ve m^* 'dan daha parlaktır. Yeşil çizgi ise kırmızı galaksileri en iyi temsil eden doğrusal uyumlamayı göstermektedir (Hao ve diğ., 2009).

2000'lerin başında Sloan Digital Sky Survey (SDSS)'in devreye girmesiyle, çok büyük miktarda veri (galaksi katalogları) birikmeye başlamıştır. SDSS'in değişik veri sürümlerini kullanarak çok sayıda galaksi kümesi belirlenmiştir ve bunların önemli bir bölümünde yöntem, renk-parlaklık grafiklerindeki kırmızı kolun varlığına dayanmaktadır (Koester ve diğ., 2006; Hao ve diğ., 2010; Rykoff ve diğ., 2014; Oguri ve diğ., 2018). **Şekil 2.15'**de Hao ve diğ. (2009) tarafından geliştirilen Gauss Karışım Modeli (ing. Gaussian-Mixture Model, GMM) yöntemiyle SDSS verileriyle belirlenen galaksi kümelerinin örnek renk-parlaklık grafikleri sunulmaktadır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. CFHTLS GÖKYÜZÜ TARAMASI

2003-2009 yılları arasında Hawaii'deki 3.6 metrelik Canada-France-Hawaii Teleskobu ile gözlemleri gerçekleştirilen CFHTLS gökyüzü taramasının son veri sürümü (T0007) 2012 yılında yayınlanmıştır (Hudelot ve diğ., 2012). Gözlemlerde CFHT odak düzlemi aleti olarak MegaCam kamerası kullanılmıştır. MegaCam, 36 adet 2048×4612 piksellik CCD'den oluşan mozaik bir kameradır. Teleskobun odak düzlemindeki piksel ölçeği $0.186''/\text{piksel}$ dikkate alındığında, MegaCam'ın görüş alanı yaklaşık 1 derece kare bulunur (0.96×0.94 derece kare). CFHTLS taramasında bugün artık standart hale gelen "ugriz" filtreleri kullanılmıştır. **Şekil 3.1**'de CFHTLS filtrelerinin (u^* , g' , r' , i' , z') SDSS filtreleri (ugriz) ile karşılaştırması verilmektedir³. İki filtre seti arasındaki fark ihmal edilebilir olduğu için tez boyunca kolaylık olması açısından filtreler u, g, r, i ve z olarak kullanılacaktır.

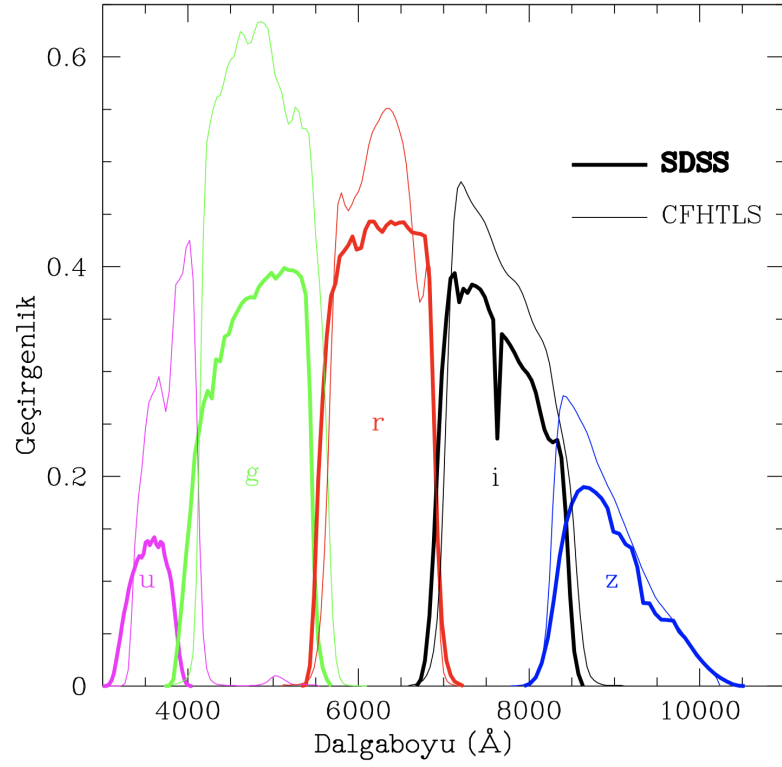
CFHTLS gökyüzü taramasına ait fotometrik katalog SEXTRACTOR⁴ (Source Extractor; Bertin, 1999) programı kullanılarak elde edilmiştir. SEXTRACTOR, astronomik bir görüntüdeki cisimleri tespit etmeye, onlara ait parlaklık ve biçim bilgilerini belirlemeye yarayan bir programdır. Cisimlere ait koordinat, yüzey parlaklığı, etkin yarıçap gibi birçok bilginin elde edilmesini sağlar. Buna ek olarak cisimlerin nokta kaynak (yıldız) ya da yaygın bir kaynak (galaksi) olmasına dair bir olasılık hesaplar. SEXTRACTOR, girdi dosyası olarak FITS (Flexible Image Transport System) görüntü dosyasını desteklemektedir ve büyük boyutlu görüntüleri çok hızlı işleyebildiği için bütün gökyüzü tarama projelerinde kullanılmaktadır.

Cisim kataloglarına ve görüntülere ek olarak fotometrik kırmızıya kaymalar ve spektral tipler, tayfsal enerji dağılımlarını modelleyen LEPHARE⁵ (Arnouts ve diğ., 1999, Ilbert ve diğ., 2006) programı ile hesaplanmış ve TERAPIX tarafından sunulmuştur. LEPHARE programı, temel olarak bir galaksinin gözlenen tayfsal enerji dağılımını referans alınan

³ <http://orca.phys.uvic.ca/~gwyn/cfhtls/photz/filters.html>

⁴ <http://www.astromatic.net/software/sextractor>

⁵ <https://www.cfht.hawaii.edu/~arnouts/LEPHARE/lephare.html>



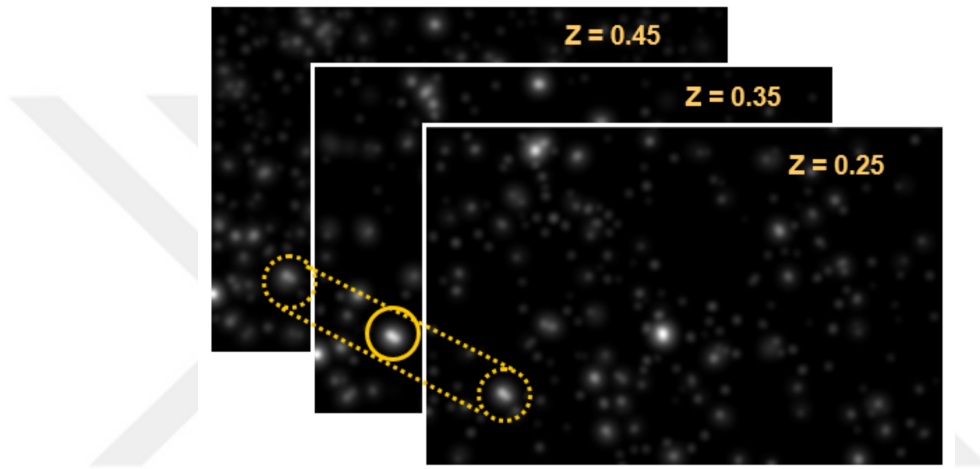
Şekil 3.1 CFHTLS (soluk renkli çizgiler) ve SDSS (koyu renkli çizgiler) gökyüzü taramalarında kullanılan filtrelerin geçirgenlik eğrileri.

tayflarla karşılaştırıp, fotometrik kırmızıya kaymasını ve tayfsal türünü (eliptik, spiral vb.) veren, Fortran dilinde yazılmış bir dizi programdan oluşmaktadır. Marsilya Astrofizik Laboratuvarı'ndan (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) Stéphan Arnouts ve Olivier Ilbert tarafından geliştirilmiştir. CFHTLS gökyüzü taramasında galaksiler için toplam 66 model tayfsal enerji dağılımı kullanılmıştır. Bu 66 model tayf, Coleman, Wu ve Weedman'ın (CWW, 1980) 4 galaksi türüne (E/S0, Sbc, Scd, Im) ait tayfsal enerji dağılımı ile Kinney ve diğ. (1996)'ne ait iki adet yoğun yıldız oluşumu gösteren galaksiye (ing. starburst) ait tayfsal enerji dağılımlarından oluşmaktadır.

Bu tez kapsamında galaksi kümelerindeki kırmızı kol galaksilerinin belirlenmesi için 72 derecekarelik W1 alanı kullanılmıştır. W1 alanı herbiri yaklaşık 1 derecekare olan 72 MegaCam yönlenmesinden oluşmaktadır. W1 alanına ait SEXTRACTOR kataloğu 4.6 milyon cisim barındırmakta (Yelkenci, 2015); yıldız ve sorunlu kısımlara ait maskelemekten sonra bu sayı 4104390'a ($i \lesssim 24^m$) düşmektedir.

3.1.1. WaZP Galaksi Kümeleri

Bu çalışmada kullanılan galaksi kümeleri WaZP (ing. Wavelet z-Photometric) küme bulma algoritması (Dietrich ve diğ., 2014; Euclid Collaboration ve diğ., 2019; Aguena ve diğ., 2021) ile CFHTLS-W1 alanından belirlenmiştir. Sinyal/gürültü oranı $S/N > 3$ olan 3284 kümenin kırmızıya kaymaları $0.1 < z < 1.0$ arasında değişmektedir ve dağılım **Şekil 3.4**'de verilmektedir.



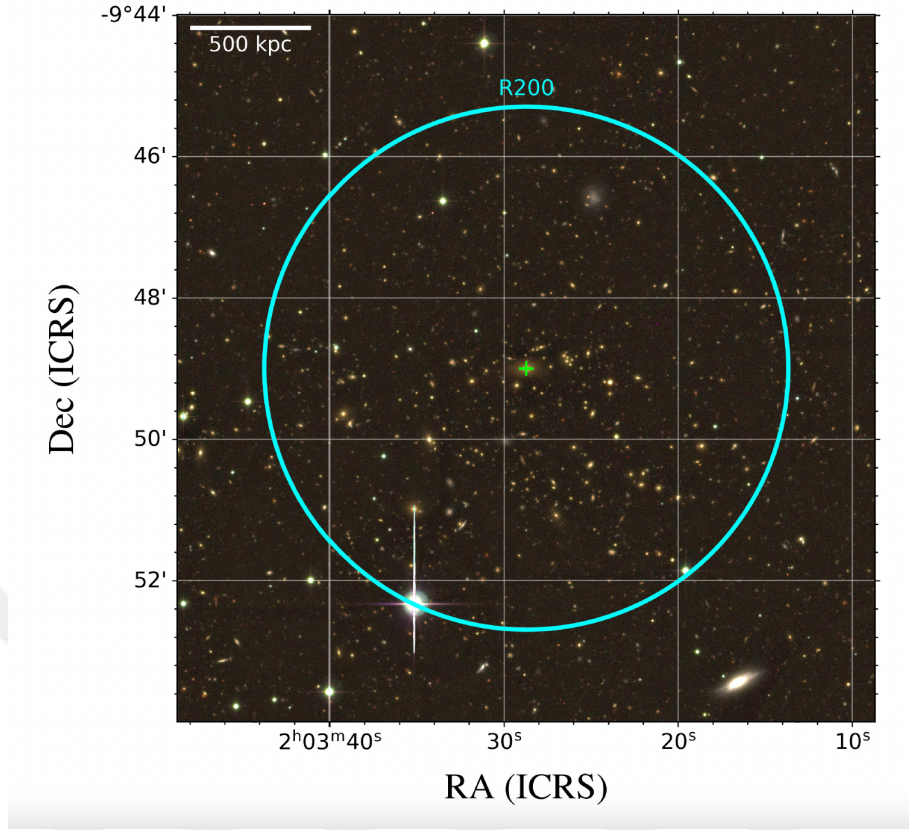
Şekil 3.2 WaZP küme bulma algoritmasına ait şematik bir görüntü (Aguena ve diğ., 2021).

Tespit edilen adaylar (galaksi yoğunlaşmaları) sinyal-gürültü oranına (S/N) göre sıralanırlar. Bu tez çalışması için WaZP ile CFHTLS-W1 alanı için toplam 7943 galaksi küme adayları tespit edilmiştir. Sinyal-gürültü oranı 3'ten büyük ($S/N > 3$) olan küme sayısı ise 3337'dir.

Araştırma grubumuzun 117F311 numaralı TÜBİTAK-1001 projesi kapsamında yaptığı incelemeler sonucu 3337 küme adayından bazılarının yeterince galaksi yoğunluğu içermediği, yanlış tespit olabileceği düşünülmüş ve bu sistemler küme listesinden çıkarılmıştır. Bu durumda tez çalışmasına dayanak oluşturan küme sayısı 3284'e düşmüştür. **Şekil 3.3**'de bu kümelerden birine ait g-r-i bantlarındaki görüntülerin STIFF⁶ programı ile birleştirilmiş hali verilmektedir. **Şekil 3.4**'de WaZP ile belirlenen kümelerin zenginlik ve kırmızıya kayma dağılımları verilmiştir.

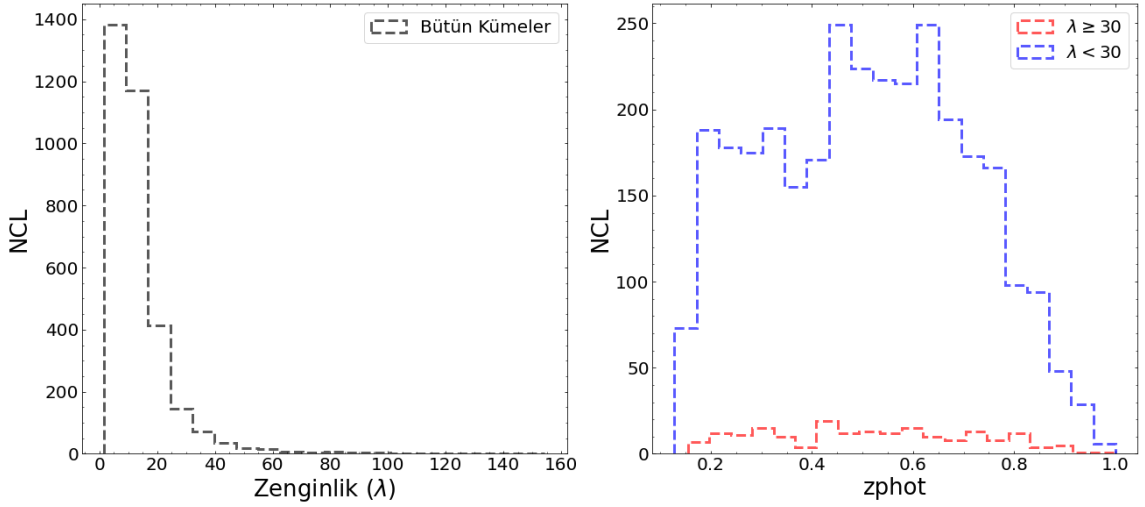
$$\text{Zenginlik } (\lambda) = \Sigma (P_{\text{mem}}) \quad (3.1)$$

⁶ <https://www.astromatic.net/2010/02/10/stiff-2-1-release/>



Şekil 3.3 CFHTLS-W1 alanında, WaZP algoritması ile tespit edilen bir galaksi kümesine (ID = 7938, (RA, DEC) = (30.86963, -9.81664), $z_{\text{phot}} = 0.34$) ait g' , r' ve i' bantlarıyla oluşturulan renkli görüntü. Yeşil artı sembolü küme merkezini, mavi çember ise kümeye ait R_{200} yarıçapını temsil etmektedir.

WaZP kümelerinde zenginlik, galaksilerin üye olma olasılıklarının toplamı olarak verilmektedir (Castignani ve Benoist, 2016). Üyelik olasılıkları (P_{mem}) belirlenirken galaksilerin fotometrik kırmızıya kayma değerleri, parlaklıkları ve küme merkezine olan uzaklıkları temel alınmıştır. Belirlenen olasılıklar kullanılarak her bir kümenin zenginliği, Denklem 3.1'de gösterildiği gibi olasılıkların toplamı olarak hesaplanmıştır. Burada küme zenginliği için üye galaksilerin sayısı yerine olasılıklarının toplamının alınmasının sebebi; üye galaksilerin sahip oldukları olasılıklar oranında kümeye katkıda bulunmasıdır. Üye galaksilerden bazıları birden fazla kümenin üyesi olabilmektedirler. Bu durum özellikle birbirlerine yakın kümelerde veya süperküme bölgelerinde görülebilir. Süperküme birden fazla galaksi kümesinin bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır (Bahcall, 1999). Böylesi süperküme CFHTLS W1 alanında da tespit edilmiştir (Pompei ve diğ., 2016; Guglielmo ve diğ., 2018). Sonuç olarak galaksiler, daha yüksek olasılıkla üyesi olduğu kümenin zenginliğine daha çok katkıda bulunacaktır.



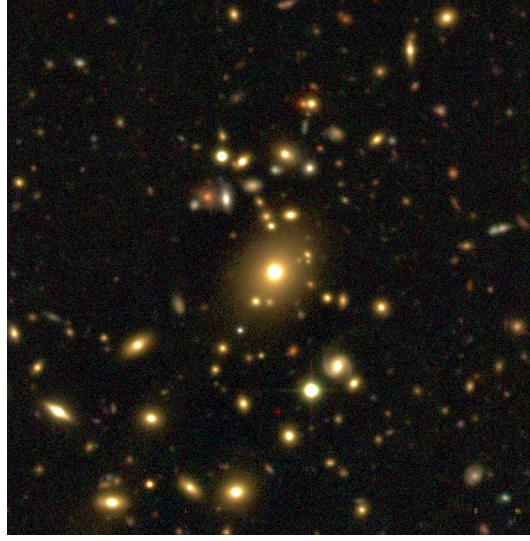
Şekil 3.4 CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 3284 kümeye ait zenginlik (solda) ve farklı zenginlik aralıklarına göre çizdirilmiş kırmızıya kayma dağılımları (sağda).

3.1.2. Merkezi Parlak Galaksiler (BCG)

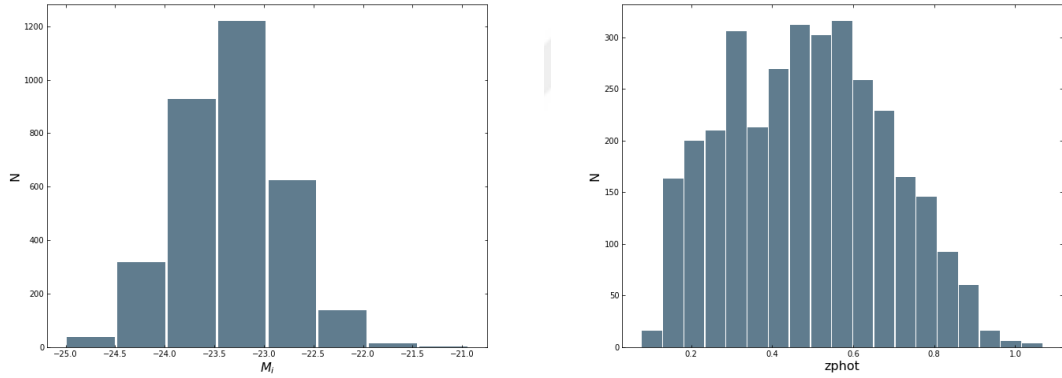
Tez çalışmasında kırmızı kol galaksilerinin evrimi incelenen galaksi kümelerinin merkezi parlak galaksileri (ing. Brightest Cluster Galaxies, BCG), danışman öğretim üyesinin yürütücülüğünde tamamlanan 117F311 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında belirlenmiş ve ayrıntılı incelenmiştir. **Şekil 3.5**'de örnek bir BCG (Küme ID=7942) verilmektedir. Tez kapsamındaki çalışmalar sözü edilen araştırma projenin de bir kısmını oluşturmuştur.

Şekil 3.6'de çalışmamızdaki kümelerin BCG'lerine ait mutlak parlaklık ve kırmızıya kayma dağılımları birlikte verilmektedir. **Şekil 3.4**'de verilen kümelere ait kırmızıya kayma dağılımı doğal olarak BCG'lere ait dağılıma çok benzerdir. Bölüm 3.2.1'de tanıtılan CAMIRA algoritması gibi kırmızı-kol galaksilerine ağırlık veren algoritmaların bir kısmı BCG'ye büyük ağırlık vermekte ve kümenin kırmızıya kaymasını belirlerken buna dikkat etmektedirler.

CFHTLS verileri için BCG'lerin hali hazırda belirlenmiş olması, Bölüm 3.3'te ayrıntıları verilen kırmızı kolun belirlenmesi aşamalarında bir sağlama olarak kullanılmıştır. CFHTLS kümelerinin renk-parlaklık grafiklerinde kırmızı kol belirlenirken, GMM analizi sonuçlarında BCG'nin dahil olduğu grup kırmızı kol olarak tercih edilmiştir.

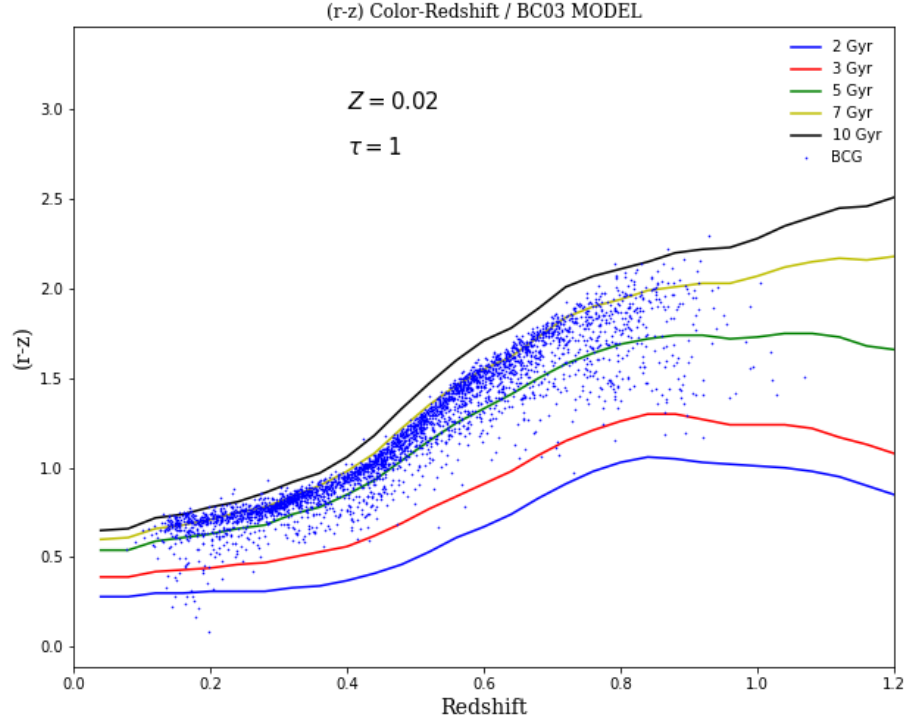


Şekil 3.5 CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 7942 numaralı kümenin merkezi kısmı (0.5 Mpc) ve merkezi parlak galaksisi. Görüntü g' , r' ve i' filtrelerindeki görüntülerin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. BCG görüntünün merkezindeki en parlak galaksidir ($z = 0.29$).



Şekil 3.6 CFHTLS-W1 alanında belirlenen BCG'lerin i bandı mutlak parlaklık ve fotometrik kırmızıya kayma dağılımları.

Oldukça homojen bir galaksi popülasyonu olan BCG'lerin parlaklıkları ve renkleri güvenilir bir biçimde karakterize edilebilmektedir. Ayrıca **Şekil 3.7**'de verilen renk evriminin, Bölüm 3.2.1'de CAMIRA algoritması için verilen kırmızı galaksilerin renkleri ile uyumlu olduğunu da belirtmek gerekir. Burada BCG'lerin parlaklık ve renklerine vurgu yapmış olsak da, CFHTLS verilerinin kullanıldığı WaZP algoritmasında herhangi bir galaksi popülasyonu veya özel bir galaksiye bir ağırlık verilmemiştir. WaZP algoritması yukarıda da belirtildiği gibi galaksilerin kolektif etkilerine, aynı kırmızıya kayma uzayında ve aynı alanda yarattıkları yoğunluğa dayanmaktadır.

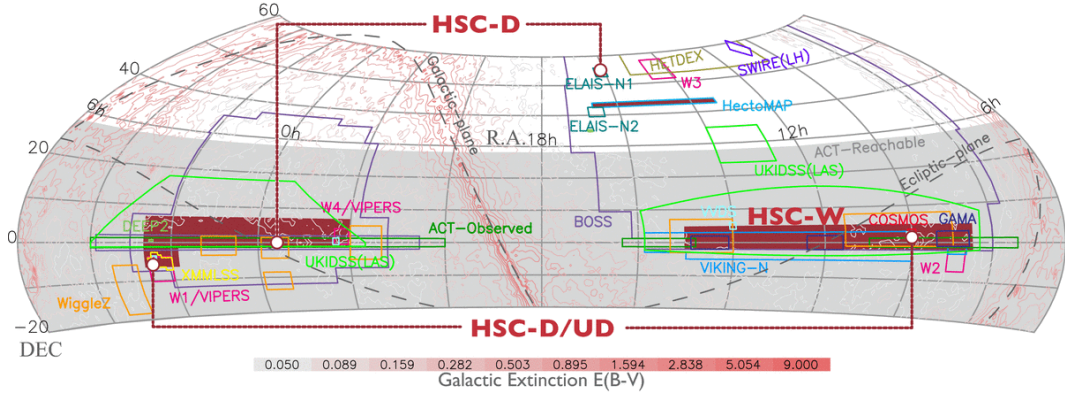


Şekil 3.7 CFHTLS-W1 alanında belirlenen BCG'lerin $r-z$ renklerinin evrimi. Düz çizgiler farklı yaşlar için Bruzual ve Charlot (2003) model renklerini göstermektedir.

3.2. HSC-SSP GÖKYÜZÜ TARAMASI

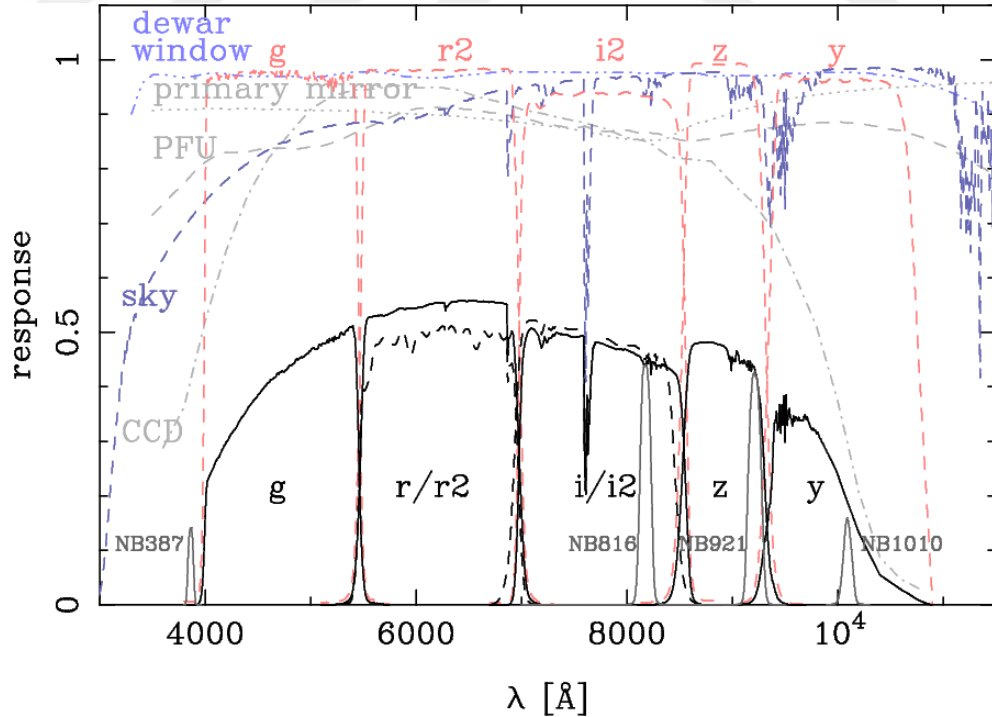
Subaru HSC-SSP (Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program), 8.2m'lik Subaru teleskobuyla Geniş, Derin ve Ultra-Derin alanlar olmak üzere çok bantta (g, r, i, z, y, NB387, NB816, NB921, NB1010) görüntüleme amaçlanan bir gökyüzü taramasıdır. Bu gökyüzü taraması, Japonya Ulusal Astronomi Gözlemevi (NAOJ) tarafından Subaru Teleskopu için geliştirilen Hyper Suprime-Cam (HSC) kamerası ile yürütülmüştür. HSC, 116 adet 2048x4096 piksellik Hamamatsu marka CCD'lerden oluşan mozaik bir kameradır. Teleskobun odak düzleminde kameranın yaklaşık görüş alanı ~ 1.8 derecekaredir. Toplam 870 Megapiksellik çözünürlüğe sahip olan kameranın piksel ölçeği 0.168"/piksel'dir. Subaru HSC-SSP kapsamında gözlenen Geniş, Derin ve Ultra-Derin alanlar arasındaki temel farklar hedef alınan araştırma konuları ve parlaklık limitleridir. HSC-SSP taraması 5 geniş ve 4 dar-bant filtreler ile tasarlanmış olsa da, Geniş alan gözlemleri yalnızca beş geniş bantta (g, r, i, z, y) gerçekleştirilmiştir ve toplamda ~ 1400 derecekareyi kapsamaktadır. Şekil **Şekil 3.8**'de HSC-SSP tarama alanları ile bazı önemli gökyüzü tarama projelerindeki alanlar

birlikte gösterilmektedir. HSC-SSP Geniş alanı 916 ayrı yönlenme ile taranabilmiştir.



Şekil 3.8 Subaru HSC-SSP tarama alanlarının bazı önemli tarama projeleri ile birlikte gösterimi (NAOJ).

HSC-SSP'nin en son veri sürümü Ağustos 2021'de genel erişime açılan PDR3'tür (Aihara ve diğ., 2021). PDR3, beş bantlı fotometri ile gökyüzü kapsamını PDR2'den iki kat daha fazla arttırmıştır. Geniş alandaki parlaklık limitleri (5σ) sırayla şöyledir: $g=26.5$, $r=26.5$, $i=26.2$, $z=25.2$ ve $y=24.4$ 'tür. PDR3 sürümü, 278 gözlem gecesinden elde edilen verileri içerir ve Geniş alanda yaklaşık 670 derecekareyi içerir.



Şekil 3.9 Subaru HSC SSP gökyüzü taramasında kullanılan filtrelerin geçirgenlik eğrileri.

HSC-SSP verileri, **Legacy Survey of Space and Time** yazılımının değiştirilmiş bir versiyonu olan *hscpipe* (Bosch ve diğ., 2018) kullanılarak işlenmiştir (Juric ve diğ., 2015;

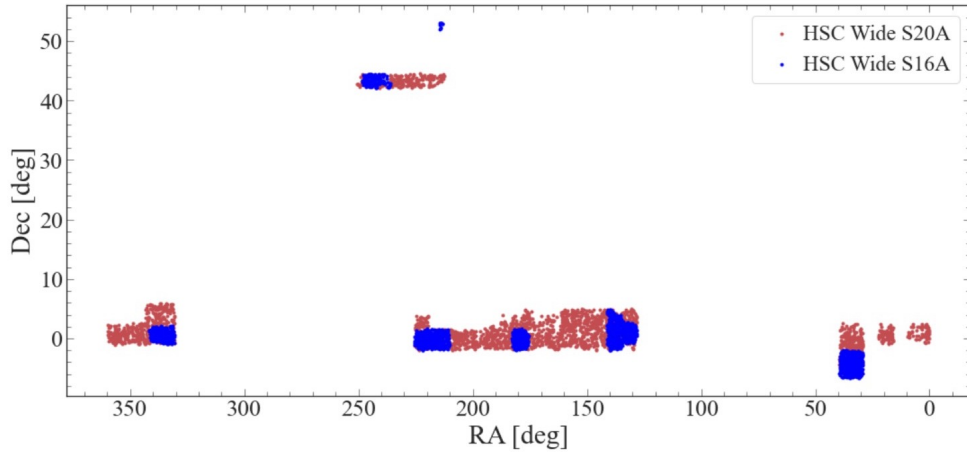
Axelrod ve diğ., 2010; Ivezic ve diğ., 2019).

Bu tez çalışmasında, beş banttaki fotometrik veriler için ortak nesne merkezlerinin ve şekil parametrelerinin kullanıldığı "*forced*" kataloğu kullanılmıştır. Galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymaları Tanaka (2015) algoritması ile üretilen "*mizuki*" tablosundan alınmıştır (Tanaka ve diğ., 2018).

3.2.1. CAMIRA Galaksi Kümeleri

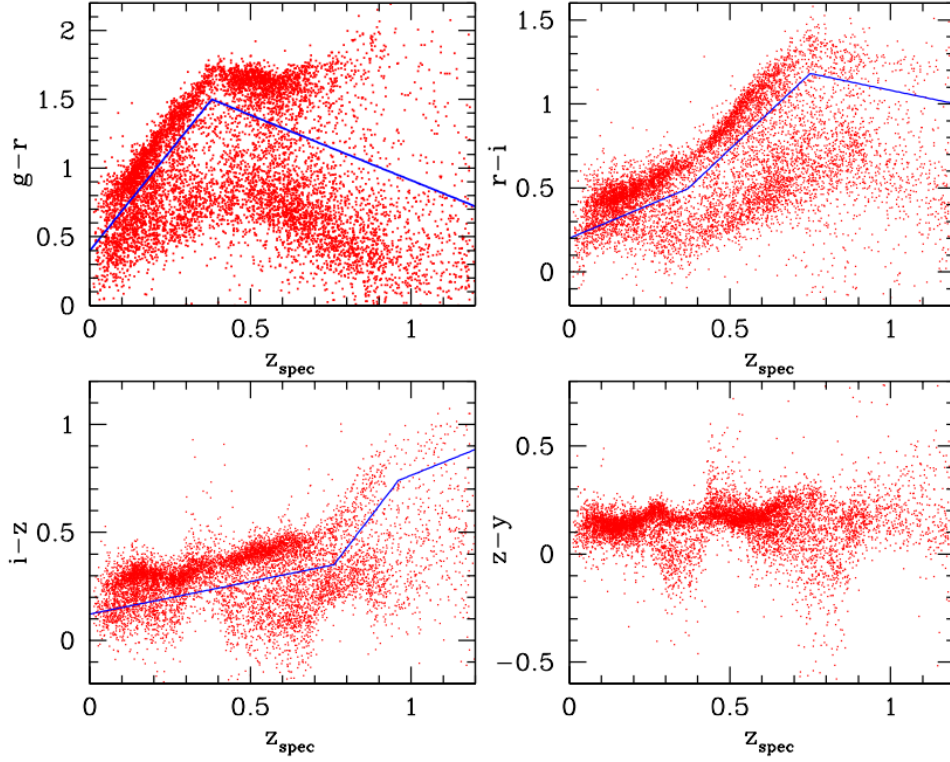
CAMIRA (ing. Cluster-finding Algorithm based on Multi-band Identification of Red-sequence gAlaxies), kırmızı kol galaksilerini temel alan bir küme bulma algoritmasıdır (Oguri, 2014).

Oguri ve diğ. (2018), HSC-SSP taramasının ilk veri sürümlerinden olan S16A verilerini kullanarak 1921 galaksi kümesini belirlemişlerdir. Kümeler $0.1 < z < 1.1$ kırmızıya kayma aralığındadır. Kümelerin minimum kütlesi $M_{200} \geq 10^{14} h^{-1} M_{\odot}$ ve zenginlikleri $N_{\text{mem}} > 15$ 'dir. 1921 kümenin bulunduğu S16A veri seti yaklaşık 232 derecekarelik bir alanı kaplamaktadır. Bununla birlikte, HSC-SSP'nin ileriki sürümlerinde (PDR2 ve PDR3) CAMIRA küme kataloğu da güncellenerek erişime sunulmuştur. **Şekil 3.10**'de bu çalışmada kullanılan CAMIRA galaksi kümelerinin (S16A ve PDR3 sürümleri) uzaysal dağılımları verilmektedir.



Şekil 3.10 S16A (mavi noktalar) ve PDR3 (kırmızı noktalar) verileriyle belirlenen CAMIRA galaksi kümelerinin ekvatorial koordinatlara göre uzaysal dağılımları.

Oguri ve diğ. (2018) CAMIRA algoritması ile galaksi kümelerini belirlemek için öncelikle S16A galaksi kataloğunu spektroskopik kataloglarla eşleştirerek galaksilerin spektroskopik

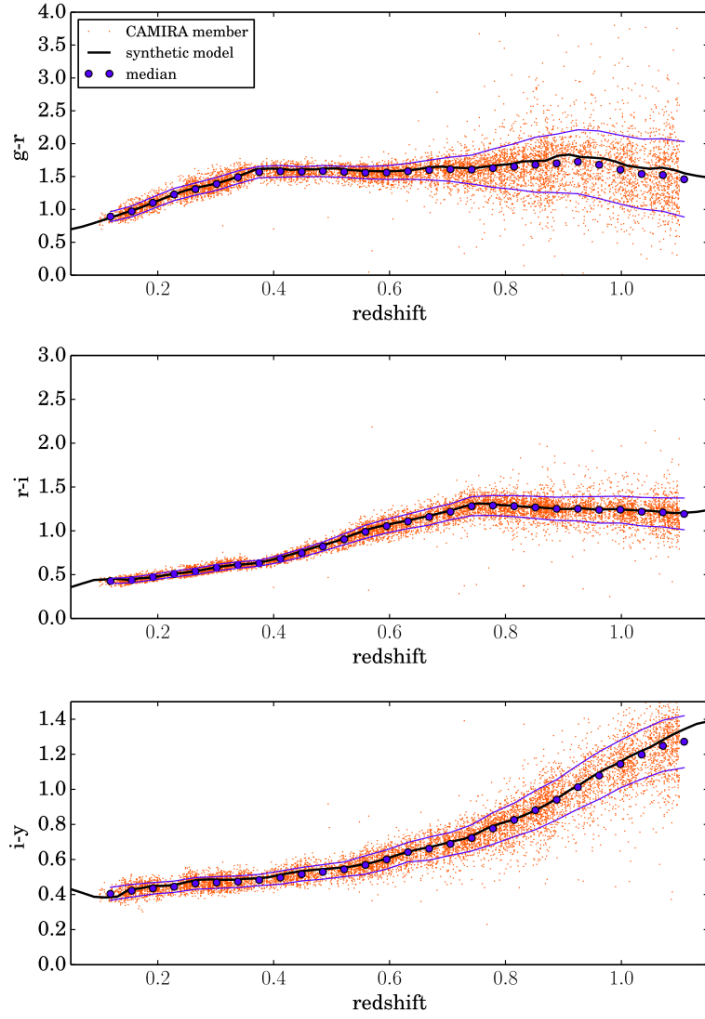


Şekil 3.11 CAMIRA kümelerinin belirlenmesinde kullanılan galaksilerin renklerinin kırmızıya kayma ile değişimi. Düz mavi çizgiler kırmızı galaksilerin belirlenmesinde kullanılan limitleri belirtmektedir. Okunabilirliğin korunabilmesi için burada tüm galaksi kataloğunun yalnızca %5'i gösterilmiştir. (Oguri ve diğ., 2018).

kırmızıya kaymalarını elde ettiler. Elde edilen katalog $0.1 < z < 1.4$ kırmızıya kayma aralığında 171255 galaksi içermekteydi. Algoritma kırmızı kol galaksilerinin varlığını temel aldığından, belirgin bir şekilde mavi olan galaksiler ilk olarak S16A galaksi kataloğundan ayıklandı. Bunun için bir dizi renk limitleri uygulandı (**Şekil 3.11**). Ayrıca, kümeler bulunurken kullanılacak galaksilerin $i > 17$ olması şartı uygulandı. Bu limitten daha parlak galaksiler HSC görüntülerinde doygunluğa ulaşmış olabileceğinden kümeler belirlenirken bu galaksiler dikkate alınmadı.

CAMIRA algoritması Bruzual ve Charlot'nun (2003) yıldız popülasyon sentezi modelini ve yukarıda belirtilen spektroskopik galaksilerle elde edilmiş renk kalibrasyonunu kullanarak bir galaksinin kırmızı kolda olma olasılığını kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak hesaplar. **Şekil 3.12**'de CAMIRA algoritması ile belirlenen kümelerin üye galaksilerinin, Bruzual ve Charlot (2003) model galaksi renkleri ile karşılaştırılması verilmektedir.

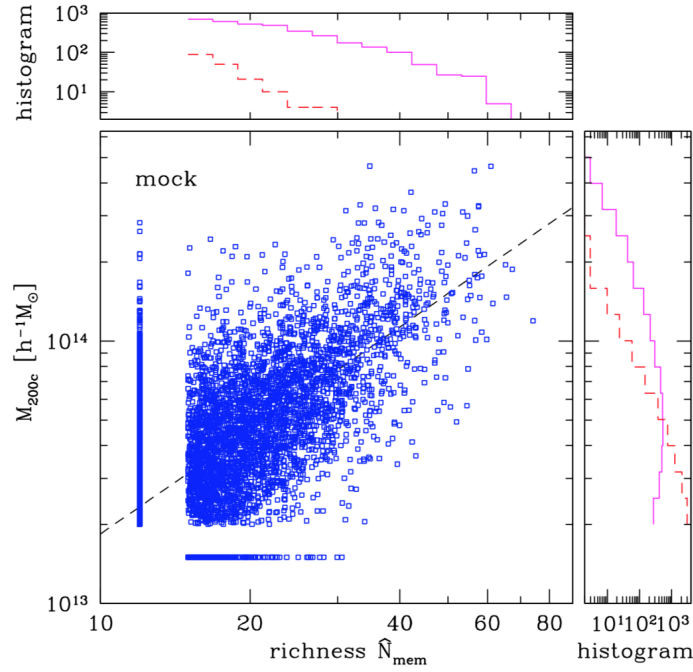
S16A veri seti ile belirlenen kümelerden zengin olanlarına ait bazı örnekler **Şekil 3.14**'de



Şekil 3.12 CAMIRA ile belirlenen kümelerin üye galaksilerinin renk evrimi. Kırmızı noktalar üye galaksileri, içi dolu büyük daireler medyan değerleri, ince çizgiler medyan renkler etrafında 1σ 'lık genişliği ve kalın çizgi ise BC03 modelini göstermektedir (Oguri ve diğ., 2018).

verilmektedir. Kümelerin üye galaksileri $z \sim 1.1$ 'lerde $L > 0.2L_{\odot}$ için tamdır. Halbuki, algoritmanın tanıtıldığı Oguri (2014) çalışmasında SDSS verileri kullanıldığından $L > 0.2L_{\odot}$ şartı ancak $z \sim 0.3$ 'lere kadar sağlanabilmiştir. Üye galaksilerin tamlığı HSC-SSP taramasında bir sorun yaratmadığı için zenginlik parametresine bir düzeltme uygulanmamıştır. Algoritmanın simülasyon galaksi kataloglarıyla yapılan testi sonucunda küme zenginliği ile kütle arasında bir ilişki elde edilmiştir. Şekil 3.13'de gösterilen bu ilişkinin bağıntısı aşağıda verilmektedir:

$$\log M = 1.31 \times \log \left(\frac{N_{\text{mem}}}{30} \right) + 13.89 \quad (3.2)$$



Şekil 3.13 CAMIRA algoritmasının simülasyon verileri ile elde edilen küme zenginliği ve kütle ilişkisi. Küme kataloğunda olup simülasyon kataloğunda olmayan kümelerin zenginliği $N_{\text{mem}} = 12$ olarak, simülasyonda olup algoritma tarafından belirlenememiş kümeler ise $M_{200} = 1.5 \times 10^{13} h^{-1} M_{\odot}$ kütle değeriyle belirtilmiştir (yatay ve dikey eksenlerdeki yapay dağılımlar) (Oguri ve diğ., 2018).

CAMIRA küme kataloğu kümelere ait yalnızca kümenin merkezi koordinatlarını, kırmızıya kaymalarını ve zenginliklerini vermektedir. Bölüm 3.3'te ayrıntıları verilen kırmızı kolun belirlenmesi işlemlerinde kümenin Virial yarıçapı (R_{200}) gerektiğinden R_{200} değerleri tarafımızdan hesaplanmıştır.

Her bir küme için, 3.2. bağıntısı kullanılarak zenginlik değerleri yardımıyla M_{200} kütleleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$M_{200} = \frac{4}{3} \pi \Delta_c \rho_c(z) R_{200}^3 \quad (3.3)$$

burada $\rho_c(z)$ kümenin kırmızıya kaymasındaki evrenin kritik kütle yoğunluğunu belirtmektedir ve değeri $\rho_c(z) = \frac{3H_z^2}{8\pi G}$ ile hesaplanabilir. Δ_c ise galaksi kümelerinin sahip olduğu yoğunluk katsayısı veya başka bir deyişle virialize olma koşulunun sağlandığı yoğunluk değeri olarak ifade edilebilir. Kümeler için bu değer evrenin kritik kütle yoğunluğunun yaklaşık 200 katı olduğu kabul edilmektedir (Maurogordato ve diğ.,

2008). Hubble sabitinin belirli bir kırmızıya kaymadaki değerinin hesaplanabilmesi için Python'daki *COLOSSUS* kozmoloji kütüphanesi kullanılmıştır (Diemer, 2018).

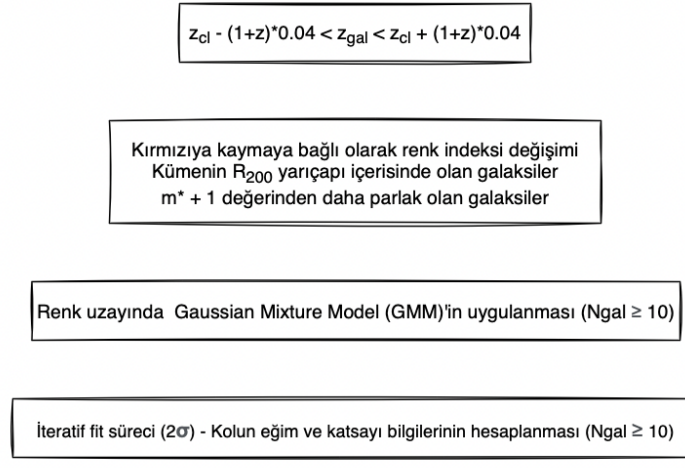


Şekil 3.14 CAMIRA ile belirlenen zengin galaksi kümelerine örnekler (Oguri ve diğ., 2018).

CAMIRA algoritması en son HSC-SSP S20A verilerine uygulanmış ve $0.1 < z < 1.4$ kırmızıya kayma aralığında 7939 küme belirlemiştir. Bu kümelerden parlak yıldızların maskelendiği alanlarda bulunanlar çıkarıldığında geriye 7319 galaksi kümesi kalmaktadır. Bu tez çalışmasında, Subaru HSC-SSP taramasına ait bu 7319 küme incelenmiştir.

3.3. KIRMIZI KOLUN BELİRLENMESİ

Bu tez çalışması kapsamında hem WaZP hem de CAMIRA kümelerinin renk-parlaklık grafiklerinde kırmızı kol ve bu kolda bulunan galaksiler belirlenmiştir. Bu işlemler için izlenen adımlar Şekil 3.15'te verilmektedir. İlk olarak küme merkez koordinatları temel alınarak, küme üyesi olası galaksiler belirlenmiştir. Olası küme galaksileri belirlenirken galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymaları (z_p) ve bunun hatası dikkate alınmıştır. CFHTLS galaksi kataloglarıyla birlikte verilen z_p 'lerin doğruluğu ve karakteristik hatası Ilbert ve diğ. (2006) ve Coupon ve diğ. (2009) çalışmalarında verilmiştir.



Şekil 3.15 Kırmızı kol belirlenirken uygulanan adımlar.

Çalışmada 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 Tablo 3.1'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, Tablo 3.1'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, WaZP kümelerinde kırmızı kolun GMM yöntemiyle tespiti sırasında,

Tablo 3.1 Kırmızı kolun belirlenmesinde kullanılan renk indeksleri ve ilgili kırmızıya kayma aralıkları.

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

kümenin merkezi en parlak galaksisinin (ing. brightest cluster galaxy, BCG) rengi dikkate alınmıştır. CAMIRA kümelerinde ise kümenin kırmızıya kayma değerine göre belirlediğimiz kümenin model rengi (± 0.3 kadar) referans olarak uygulanmıştır.

Çalışmada incelenen ve kırmızıya kayma dağılımları **Şekil 4.8** 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 3.16**'te gösterilmektedir.

Şekil 3.15'teki GMM adımının 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*, *Statsmodels* 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 kalınca iterasyona son verilmiştir. Son iterasyondaki doğru

denklemleri, kümenin kırmızı koluna ait parametreler olarak kullanılır.

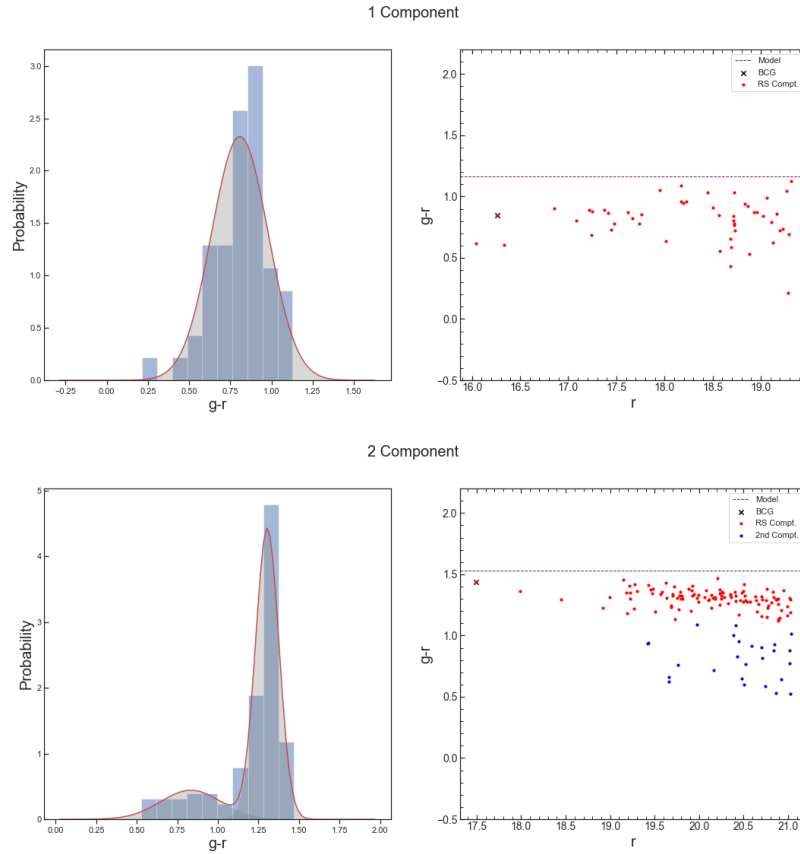
3.3.1. Gauss Karışım Modeli (GMM)

Gauss karışım modeli (ing. Gaussian-Mixture Model - GMM), genel bir popülasyon içindeki normal olarak dağılmış birçok alt popülasyonları temsil etmek için kullanılan olasılıksal bir modeldir. Karışım modelleri genel olarak, bir veri noktasının hangi alt popülasyona ait olduğunu bilmeyi gerektirmez, bu da modelin alt popülasyonları otomatik olarak öğrenmesine izin verir. Alt popülasyon ataması (etiketi) bilinmediğinden, denetimsiz öğrenme metodlarından bir tanesidir.

İncelenen veri seti çok modlu (birden fazla tepe) bir dağılım gösteriyorsa karışımın modeli kullanılabilir. Tek modlu (tepe) modeli, çok modlu bir dağılıma uygulamaya çalışmak genellikle zayıf bir uyum sağlar. Pek çok basit dağılım, tek modlu olduğundan, çok modlu bir dağılımı modellemenin yolu, bunun çok sayıda tek modlu dağılımlar tarafından üretildiğini varsaymak olacaktır. Gerçek dünyadaki tek modlu verilerin modellenmesinde en sık kullanılan dağılım Gauss dağılımıdır. Bu nedenle, çok modlu verileri birçok tek modlu Gauss dağılımının bir karışımı olarak modellemek sezgisel olarak anlamlıdır. Ayrıca, GMM'ler, Gauss modellerinin teorik ve hesaplamalı faydalarının birçoğunu koruyarak, onları çok büyük veri kümelerini verimli bir şekilde modellemek için pratik hale getirir.

Etiketlenmemiş verilerden Gauss karışım modellerini öğrenmenin ana zorluğu, kişinin hangi veri noktalarının hangi bileşenden geldiğini bilmemesidir. Beklenti maksimizasyonu, yinelemeli bir süreçle bu sorunu aşmak için iyi kurulmuş bir istatistiksel algoritmadır. Karışım modelleri için beklenti maksimizasyonu iki adımdan oluşur. İlki, küme parametrelerine ait ilk değerleri rasgele varsayar ve her nokta için modelin her bir bileşeni tarafından üretilme olasılığını hesaplar. İkincisi, bu atamalar verilen verilerin olasılığını en üst düzeye çıkarmak için parametrelere ince ayar yapılır. Bu işlemi tekrarlamak, her zaman yerel bir optimuma yakınsamayı garanti eder.

Bölüm 2.2.2'de belirttiği üzere galaksilerin, mavi ve kırmızı galaksiler arasında net bir ayrım, iki modlu renk dağılımları gösterdikleri bilinmektedir. Bu sebeple kümelerin kırmızı kolunu belirlemek için GMM analizi uygulanmıştır. GMM analizi sonucunda mavi ve arka planda bulunan galaksilerin elenmesi amaçlanmıştır. GMM analizini yapmak için Python programlama dilinde yazılmış olan Scikit-learn (Pedregosa ve



Şekil 3.16 CFHTLS-W1 kümelerine uygulanan GMM analizi.

diğ., 2011) kütüphanesinden yararlanılmıştır. Scikit-learn kütüphanesi günümüzde birçok makine öğrenmesi algoritmasını içeren ve yaygın bir şekilde kullanılan bir kütüphanedir. GMM analizi, tek boyutlu verilere uygulanabileceği gibi çok boyutlu verilere de uygulanabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ilgili kümenin kırmızıya kayma aralığına göre belirlenen renk indeksi kullanılarak tek boyutlu GMM analizi yapılmıştır. GMM analizi yapılırken bileşen sayısı yani verinin kaç modlu olduğu bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilginin elde edilmesi için Bayesian Bilgi Kriteri (ing. Bayesian Information Criteri - BIC) kullanılmıştır. BIC'e göre kümenin renk indeksi tek modlu ve galaksi sayısı 10'dan fazla ise iteratif fit işlemine geçilir. BIC'e göre kümenin renk indeksi 2 veya daha fazla modlu ise GMM analizi 2 bileşen için çalıştırılmıştır. Renk indeksi, 2 bileşene sahip olan WaZP kümelerinde kırmızı kolu belirlerken merkezi parlak galaksilerden yararlanılmıştır. Merkezi parlak galaksi hangi bileşene ait ise kümenin olası kırmızı kolunun yeri belirlenmiş olur. CAMIRA kümelerinde ise merkezi parlak galaksilere ait bilgilere sahip olmadığımız için farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. BIC, veride 2 modlu bir dağılım olduğunu söylüyorsa

GMM analizinde en fazla galaksiye sahip olan bileşen (mod) olası kırmızı kolun yeri olarak dikkate alınmıştır. Ek bir kontrol olarak, kümenin kırmızıya kayma değerine göre belirlediğimiz kümenin model rengi (± 0.3 kadar) referans olarak uygulanmıştır.



4. BULGULAR

4.1. PARLAK KÜME GALAKSİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 3.1.2’de verilen BCG’lerin özel bir galaksi sınıfını oluşturduğu bilinmektedir. Bu bölümde, kırmızı kolun en parlak ucunda bulunan bu galaksilerin kümenin diğer parlak galaksileriyle benzerlikleri incelenmiştir. Bu amaçla CFHTLS kümelerinin, kırmızı koldaki en parlak üç galaksisi seçilmiş ve yapısal parametreleri belirlenmiştir.

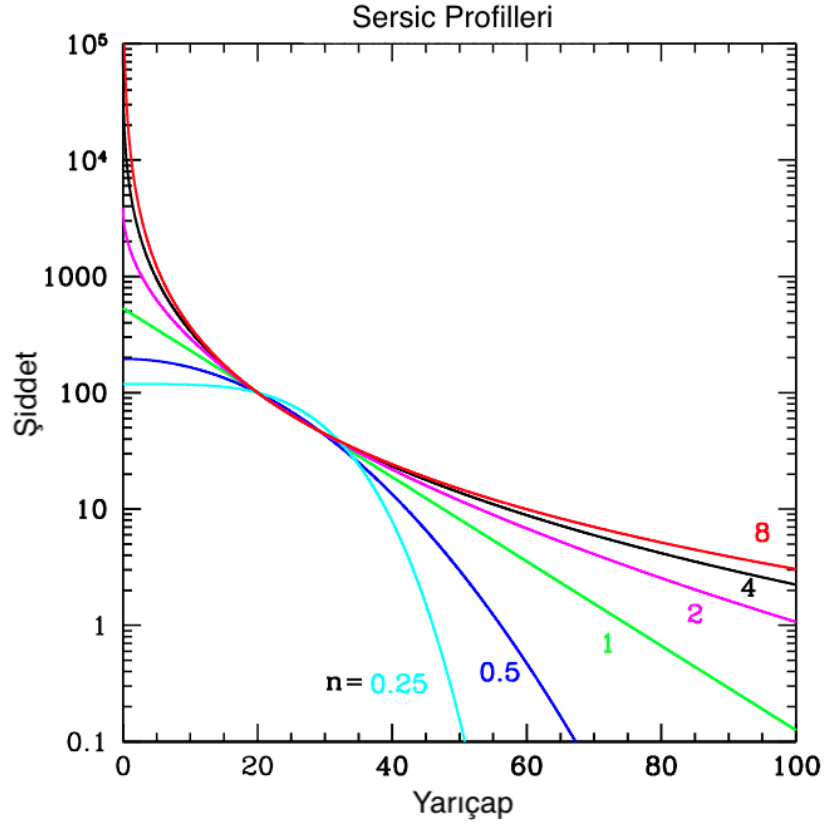
Yapısal parametreler belirlenirken, galaksi morfolojisi için kullanılan analiz yöntemlerinden parametrik yaklaşımla çalışan ve iki boyutlu galaksi görüntülerini analiz eden GALFIT programından (Peng ve diğ., 2002, 2010) yararlanılmıştır. Görüntü analizlerinde Peng ve diğ. (2002)’de sunulan GALFIT programının güncel GALFIT 3.0 (Peng ve diğ., 2010) kullanılmıştır.

GALFIT programı iki boyutlu görüntülerde galaksilerin yüzey parlaklık profillerini elde ederek bunu çeşitli yüzey parlaklık dağılım kanunlarına uydurmaya çalışır. Bu analizlerde literatürde en çok kullanılan profil Sérsic profilidir (Sérsic, 1968). Sérsic profili aslında birçok diğer yüzey parlaklık dağılımını temsil edebilen genelleştirilmiş bir fonksiyondur ve merkezden itibaren yarıçapın bir fonksiyonu olarak yüzey parlaklığının değişimi aşağıdaki bağıntıyla verilir:

$$I(R) = I_e \exp \left(-b(n) \left[\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \right) \quad (4.1)$$

burada I_e etkin yarıçaptaki (R_e) yüzey parlaklığıdır, $b(n)$ ise bir normalizasyon katsayısıdır. Bağıntıdaki n indeksi Sérsic indeksi olarak tanımlanır ve $n = 1$ olduğu durumlar disk galaksilerini temsil ederken, $n = 4$ olduğunda daha çok erken-tip galaksiler temsil edilir. **Şekil 4.1**’de sabit etkin yarıçap değerleri için Sérsic fonksiyonları verilmiştir.

Kümelerdeki parlak galaksileri GALFIT ile analiz etmek için CFHTLS W1 alanının yaklaşık 19000×19000 piksellik r-bandı görüntülerinden hedef galaksinin merkezlendiği



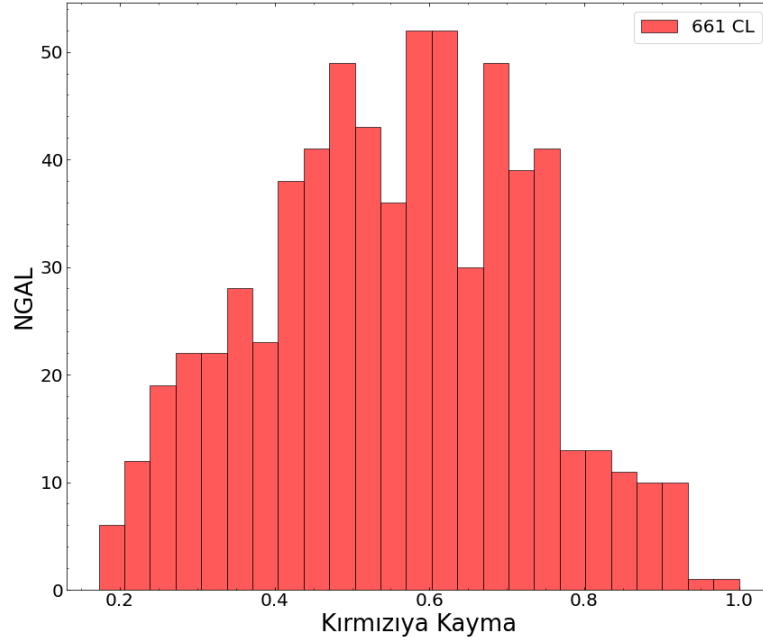
Şekil 4.1 Sabit etkin yarıçap değerleri için farklı Sérsic indekslerine ait yüzey parlaklık profilleri (Peng ve diğ., 2010).

300×300 piksellik küçük görüntüler üretilmiştir. Görüntüdeki parlak yıldız ve galaksilerin modellenecek ışık dağılımını etkilememesi için maskeler oluşturulmuş ve analizler bu şekilde yapılmıştır. **Şekil 4.3**'de galaksi ve yıldızlar için uygulanmış maske görüntüleri için bir örnek verilmektedir. Ayrıca, **Şekil 4.4**'de örnek bir GALFIT çıktısı verilmektedir. En soldaki görüntü programa giren, ortadaki program tarafından üretilen ve en sağdaki de artıkların gösterildiği görüntüdür.

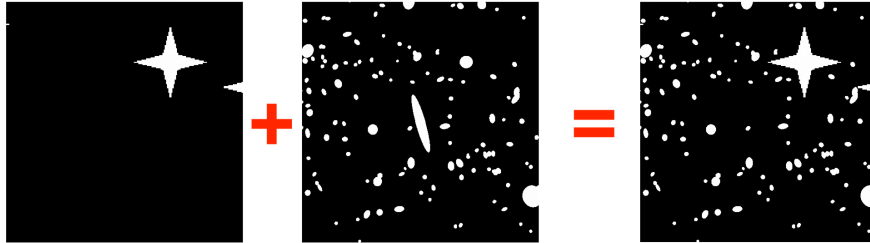
Tablo 4.1 GALFIT ile çözüm elde edilebilen galaksilerin kırmızıya kayma aralıklarına göre sayı dağılımları. NCL küme sayısını, NGAL ise galaksi sayısını temsil etmektedir.

Kırmızıya Kayma	NCL	NGAL
$0.1 < z < 0.4$	128	384
$0.4 < z < 0.7$	389	1167
$0.7 < z < 1.1$	144	432

CFHTLS kümelerinden 1663'ünün kırmızı kolu belirlenebilmiş ve bu kümelerdeki en parlak üç galaksiye ait görüntüler GALFIT analizi için hazırlanmıştır. Dolayısıyla 4989

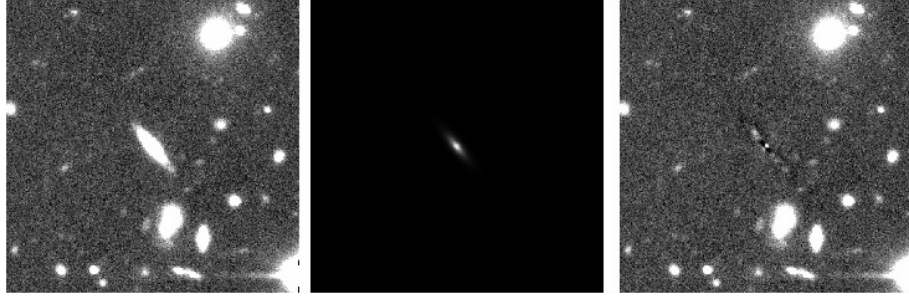


Şekil 4.2 GALFIT ile çözüm elde edilebilen galaksilerin ait oldukları kümelerin kırmızıya kayma dağılımı.



Şekil 4.3 GALFIT çalıştırılırken kullanılan maskelere örnek. En solda yıldızlar, ortada galaksiler ve en sağda da iki maskenin birleşimi olan sonuç maskesi görülmektedir.

galaksi ekibimizce hazırlanmış programlar ve scriptler aracılığıyla çok çekirdekli işlemciler tarafından analiz edilmiştir. GALFIT aşamasının sonunda bu galaksilerden 2529'una ait güvenilir çözümler elde edilebilmiştir. Çözüm elde edilebilen galaksiler, kümelerin en parlak üç galaksisi olması koşuluna göre elendiğinde geriye 661 galaksi kümesine ait 1983 galaksi kalmıştır. Bu bölümdeki analiz sonuçları verilirken galaksilerin kırmızıya kayma aralıklarına göre **Tablo 4.1**'de verildiği gibi gruplandırılmıştır. Çözüm elde edilen 661 kümenin kırmızıya kayma dağılımı **Şekil 4.2**'de sunulmaktadır.



Şekil 4.4 GALFIT ile örnek bir çözüm sonuçları. Analize giren görüntü (en sol), model görüntüsü (orta) ve artıkların görüntüsü (en sağ).

GALFIT analizleri sonucunda 1983 galaksiye ait etkin yarıçap (R_e), Sérsic indeksi (n), yarı-küçük ve yarı-büyük eksen oranı (b/a) ve durum açısı (Θ) elde edilmiştir. Aşağıda bu parametrelere ait sonuçlar her üç parlak galaksi için bir arada ve kırmızıya kayma aralıkları için ayrı ayrı verilmiştir.

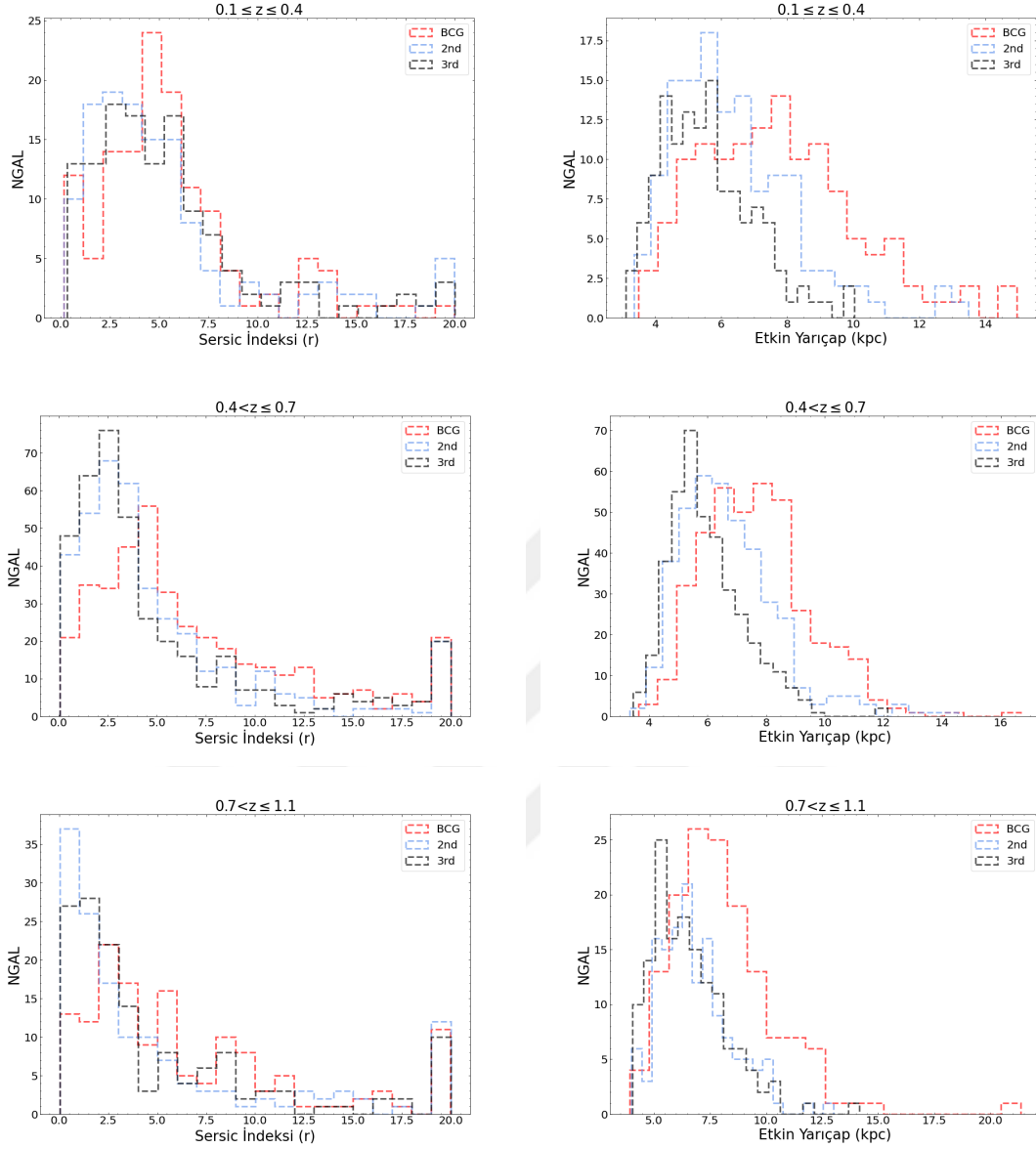
Bu parlak galaksilerin (BCG, ikinci parlak, üçüncü parlak) dört yapısal parametreye göre birbirleriyle benzerliklerini araştırmak amacıyla ikili gruplar halinde Kolmogorov-Smirnov (K-S) dağılım testi uygulandı. Her bir kırmızıya kayma aralığı için elde edilen sonuçlar **Tablo 4.2**, **Tablo 4.3** ve **Tablo 4.4**'de verilmiştir.

Tablo 4.2 $0.1 < z < 0.4$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.

Parametre	BCG-2.parlak	p-değeri	
		BCG-3.parlak	2.parlak-3.parlak
n	0.015	0.119	0.832
b/a	0.734	0.344	0.430
R_e	6.4e-6	1.2e-12	0.015
Θ	0.832	0.430	0.629

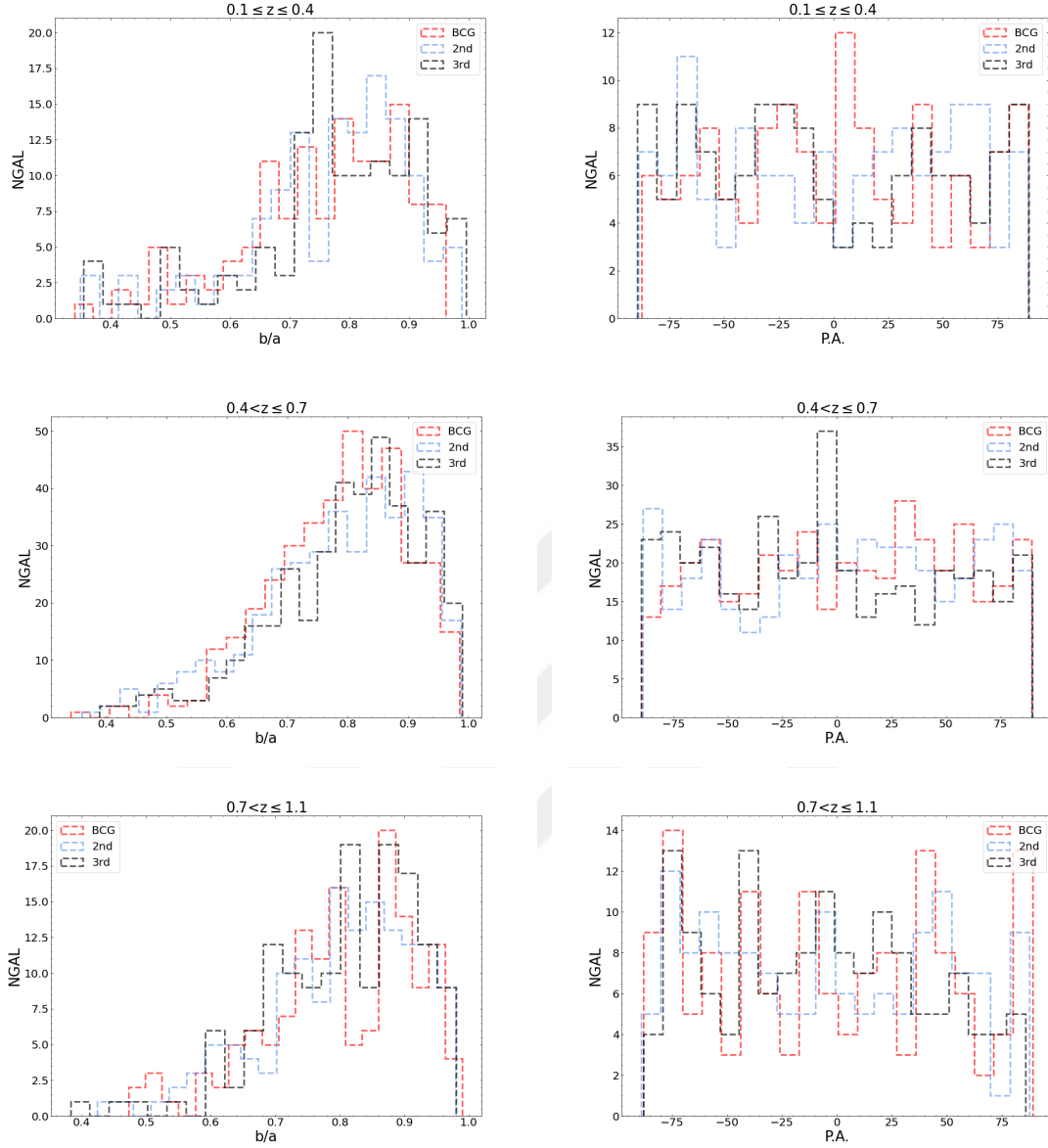
Tablo 4.3 $0.4 < z < 0.7$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.

Parametre	BCG-2.parlak	p-değeri	
		BCG-3.parlak	2.parlak-3.parlak
n	8.288e-11	2.342e-13	0.350
b/a	0.071	0.021	0.350
R_e	7.5e-14	1.4e-34	2.5e-9
Θ	0.935	0.033	0.033



Şekil 4.5 En parlak üç galaksinin GALFIT ile elde edilen Sérsic indeksi ve etkin yarıçap dağılımları. Her grafikte BCG, 2. parlak ve 3. parlak galaksiler sırasıyla kırmızı, mavi ve siyah histogramlarla gösterilmektedir. En üst sıra $0.1 < z < 0.4$; orta sıra $0.4 < z < 0.7$ ve en alt sıra $0.7 < z < 1.1$ aralığına ait sonuçları göstermektedir.

Bu analizler ve karşılaştırmalar yalnızca CFHTLS kümelerindeki en parlak üç galaksi için yapılmıştır. Subaru HSC-SSP taramasının çok daha geniş alan içermesi, görüntülerin yerel sunucuda depolanamayacak kadar büyük olması nedeniyle bu bölüm yalnızca CFHTLS W1 alanındaki kümeler ve parlak galaksileri için yapılabilmektedir. CFHTLS taramasına ait tüm görüntüler, galaksi katalogları, PSF modelleri ve gerekli olabilecek her şey çalışma grubunun yerel sunucusunda tutulmaktadır. Bu görüntülerin kimisi tarafımızdan geliştirilmiş kimisi de



Şekil 4.6 En parlak üç galaksinin GALFIT ile elde edilen b/a oranı ve Θ açılarının dağılımları. Her grafikte BCG, 2. parlak ve 3. parlak galaksiler sırasıyla kırmızı, mavi ve siyah histogramlarla gösterilmektedir. En üst sıra $0.1 < z < 0.4$; orta sıra $0.4 < z < 0.7$ ve en alt sıra $0.7 < z < 1.1$ aralığına ait sonuçları göstermektedir.

GALFIT gibi sunucuda hazır olan programlarla kullanılabilir.

Tablo 4.4 $0.7 < z < 1.1$ kırmızıya kayma aralığı için dört yapısal parametrenin K-S testi sonuçları.

Parametre	p-değeri		
	BCG-2.parlak	BCG-3.parlak	2.parlak-3.parlak
n	2.5e-6	0.002	0.269
b/a	0.880	0.797	0.880
R_e	8.1e-5	3.5e-7	0.094
Θ	0.880	0.211	0.417

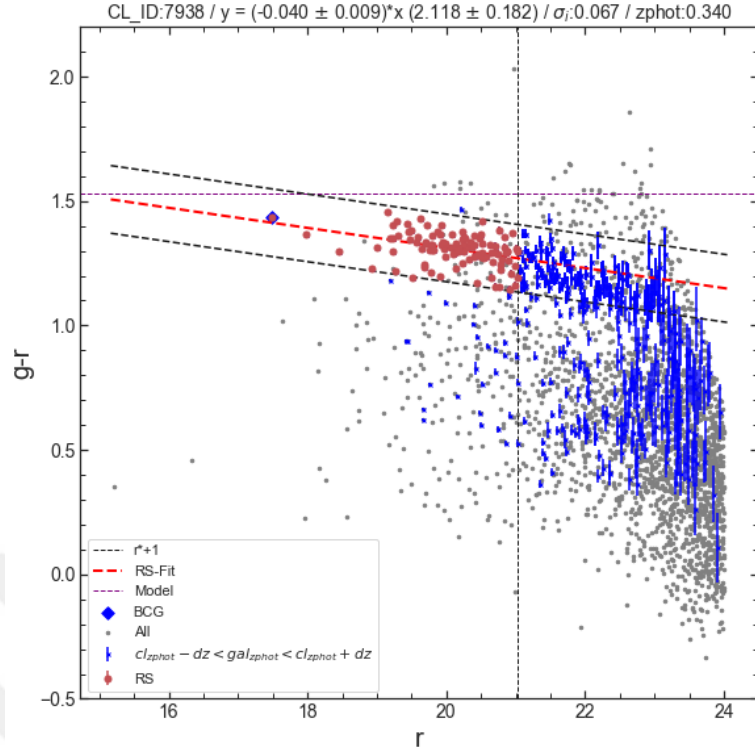
4.2. KIRMIZI KOL GALAKSİLERİNİN İSTATİSTİK ÖZELLİKLERİ

Kırmızı kolun belirlenmesi için uygulanan adımlardan sonra CFHTLS-W1 kümelerinden 1663'ü, Subaru HSC-SSP kümelerinden ise 1313'ü için kırmızı kol belirlenebilmiştir. Her iki küme kataloğu için de kırmızı kolu belirlenen kümelerin eğim, saçılma, kırmızı kol galaksilerin sayısı gibi bilgiler kayıt altına alınmıştır. **Şekil 4.7'**de CFHTLS-W1 alanında bulunan örnek bir küme için renk-parlaklık diyagramı verilmektedir. Kümenin kırmızıya kayma değeri 0.340 olduğu için $(g-r)$ renk indeksi kullanılmıştır.

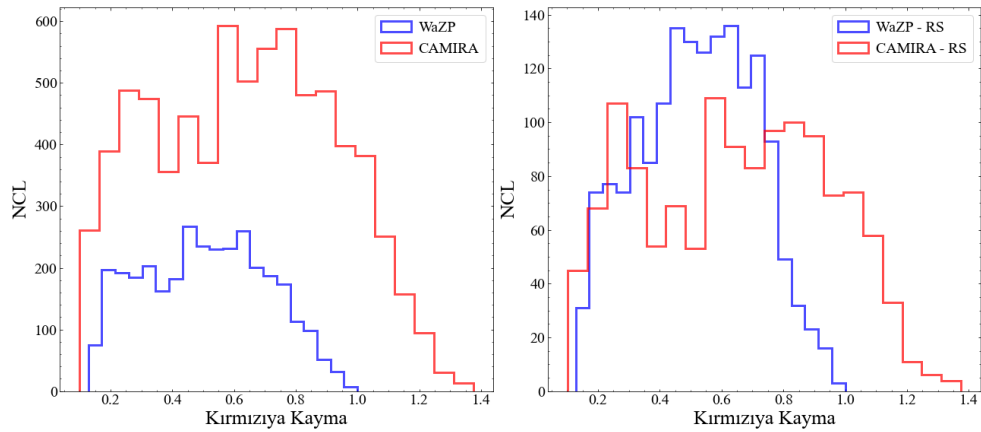
Şekil 4.8'de CFHTLS-W1 ve Subaru HSC-SSP Geniş alanlarında bulunan galaksi kümelerinin ve bunlardan kırmızı kolu belirlenen kümelerin kırmızıya kayma dağılımları verilmektedir.

Tablo 4.5 ve **Tablo 4.6'**de **Şekil 4.11**, **Şekil 4.12**, **Şekil 4.13** ve **Şekil 4.14'**te verilen eğim ve saçılma parametrelerinin her bir renk indeksi için medyan değerleri verilmektedir. CFHTLS-W1 kümelerine ait sonuçlar **Tablo 4.5'**de, Subaru HSC-SSP kümelerine ait sonuçlar ise **Tablo 4.6'**de verilmektedir. Her iki tabloda kırmızıya kaymaya bağlı olarak renk indeksi, her bir kırmızıya kayma aralığındaki küme sayısı, medyan eğim ve medyan saçılma değerleri ile bu parametrelerin standart hataları verilmektedir.

Kırmızın kolun evrimini incelemek için kümelerin eğim ve saçılma parametrelerinin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. İki veri setinde de, ortam yoğunluğunun kırmızı kol'un eğim ve saçılma parametreleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için küme örneklemelerimiz zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) olacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Kırmızı kolu belirlenmiş CFHTLS-W1 kümelerinde zengin olarak tanımlananların sayısı 189, fakir kümelerin sayısı ise 1474'dür. Subaru HSC-SSP kümelerinde kırmızı kolu belirlenmiş zengin kümelerin sayısı 614, fakir kümelerin sayısı



Şekil 4.7 CFHTLS-W1 alanında bulunan ID : 7938 kümesinin renk-parlaklık grafiği. Kırmızı noktalar kırmızı kolun elde edildiği galaksileri, mavi noktalar kümeyle aynı kırmızıya kayma aralığındaki galaksileri ve gri noktalar ise kümenin alanındaki diğer galaksileri göstermektedir. Kırmızı kesikli çizgi elde edilen doğrusal ilişkiyi, siyah yatay kesikli çizgiler ise kırmızı kolun etrafında 2σ genişliği belirtmektedir. Ayrıca, dikey kesikli çizgi ($m^* + 1$) değerini, yatay kesikli çizgi ise model galaksi rengini göstermektedir. Kırmızı kolun denklemi ve kümenin kırmızıya kayması grafiğin üst kısmında verilmiştir.



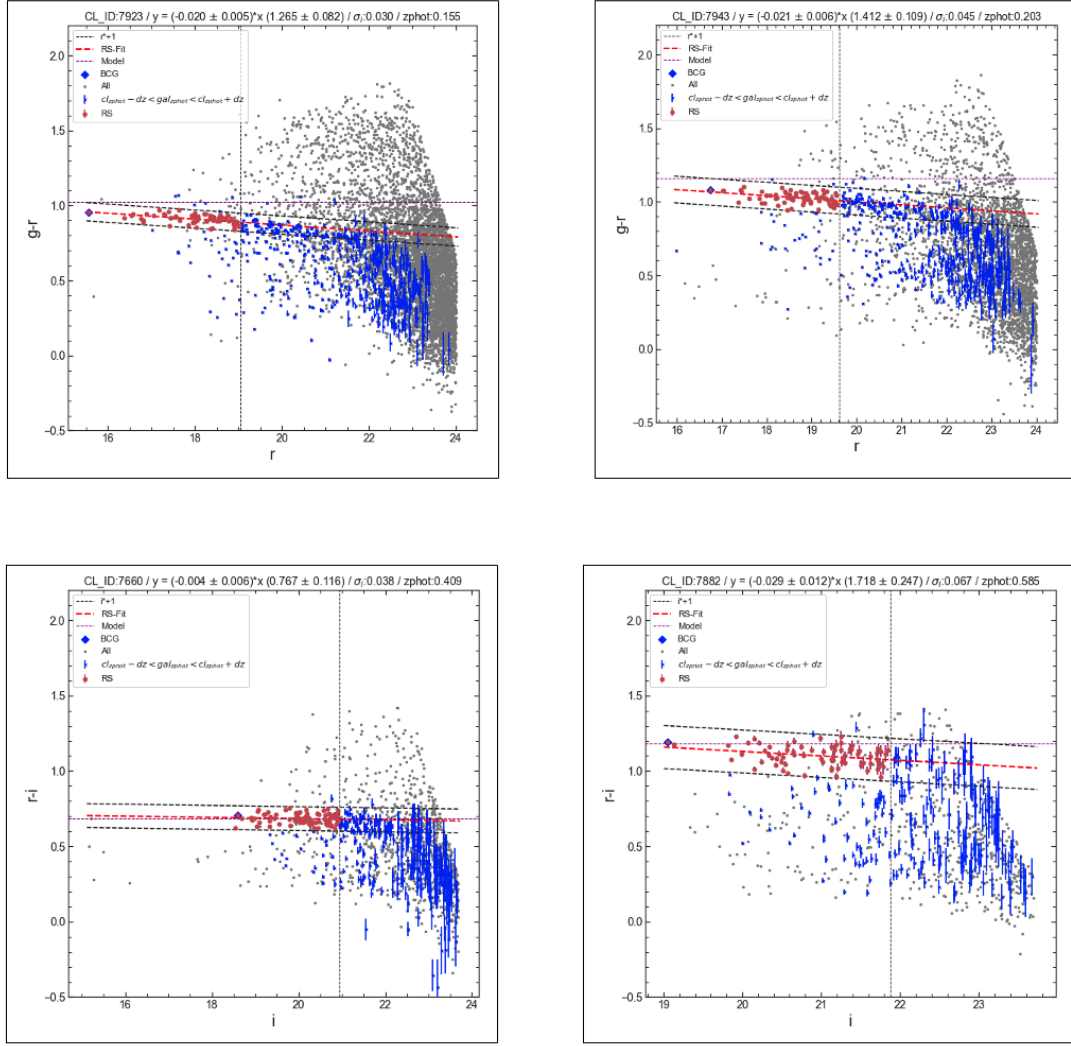
Şekil 4.8 WaZP (CFHTLS-W1) ve CAMIRA (Subaru HSC-SSP Wide) algoritmaları ile belirlenen galaksi kümelerinin kırmızıya kayma dağılımları (solda). WaZP ve CAMIRA kümelerinden kırmızı kolu belirlenen kümelerin kırmızıya kayma dağılımları (sağda)

Tablo 4.5 CFHTLS kümelerine ait kırmızı kol analizlerinin sonuçları.

Zenginlik	Renk İndeksi	zbin	Küme Sayısı	Eğim	Saçılma
$\lambda \geq 30$	g-r	0.175	8	-0.005 ± 0.005	0.047 ± 0.016
	g-r	0.225	15	-0.018 ± 0.006	0.058 ± 0.012
	g-r	0.275	11	-0.015 ± 0.004	0.069 ± 0.004
	g-r	0.325	16	-0.029 ± 0.005	0.062 ± 0.005
	g-r	0.375	9	-0.018 ± 0.006	0.054 ± 0.006
	r-i	0.425	19	-0.010 ± 0.003	0.051 ± 0.007
	r-i	0.475	13	-0.014 ± 0.014	0.059 ± 0.014
	r-i	0.525	16	-0.034 ± 0.010	0.081 ± 0.010
	r-i	0.575	16	-0.014 ± 0.006	0.072 ± 0.014
	r-i	0.625	13	-0.035 ± 0.015	0.097 ± 0.021
	r-i	0.675	11	-0.031 ± 0.018	0.084 ± 0.027
	r-i	0.725	13	-0.007 ± 0.008	0.119 ± 0.026
	i-z	0.775	10	-0.027 ± 0.013	0.144 ± 0.016
	i-z	0.825	10	-0.002 ± 0.011	0.088 ± 0.017
	i-z	0.875	5	-0.078 ± 0.020	0.099 ± 0.020
	i-z	0.925	3	-0.029 ± 0.038	0.060 ± 0.047
$\lambda < 30$	g-r	0.175	65	-0.008 ± 0.005	0.091 ± 0.008
	g-r	0.225	70	-0.022 ± 0.008	0.097 ± 0.009
	g-r	0.275	74	-0.032 ± 0.008	0.160 ± 0.008
	g-r	0.325	103	-0.033 ± 0.007	0.105 ± 0.008
	g-r	0.375	86	-0.065 ± 0.009	0.196 ± 0.009
	r-i	0.425	126	-0.016 ± 0.004	0.093 ± 0.005
	r-i	0.475	135	-0.033 ± 0.005	0.136 ± 0.005
	r-i	0.525	146	-0.035 ± 0.007	0.140 ± 0.006
	r-i	0.575	115	-0.045 ± 0.008	0.171 ± 0.007
	r-i	0.625	146	-0.049 ± 0.008	0.121 ± 0.007
	r-i	0.675	119	-0.054 ± 0.009	0.217 ± 0.008
	r-i	0.725	149	-0.062 ± 0.008	0.231 ± 0.007
	i-z	0.775	44	-0.014 ± 0.010	0.122 ± 0.006
	i-z	0.825	37	-0.041 ± 0.013	0.149 ± 0.008
	i-z	0.875	35	-0.046 ± 0.018	0.159 ± 0.010
	i-z	0.925	15	0.010 ± 0.021	0.144 ± 0.017
	i-z	0.975	2	0.008 ± 0.026	0.255 ± 0.036

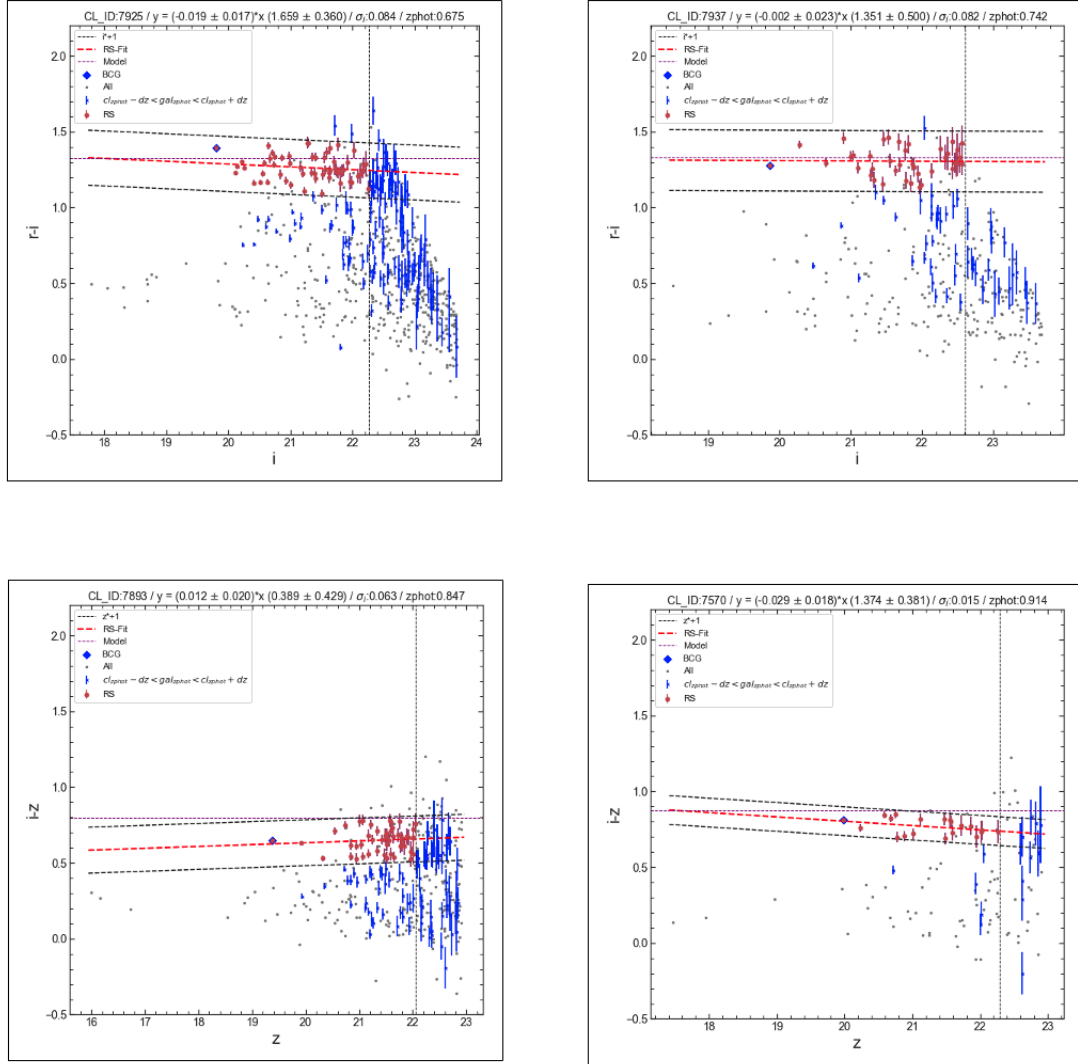
ise 699'dur.

Şekil 4.11, **Şekil 4.12**, **Şekil 4.13** ve **Şekil 4.14**'te zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümelerdeki kırmızı kol'un eğim ve saçılma parametrelerinin $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleri verilmektedir. **Şekil 4.11** ve **Şekil 4.12**'te CFHTLS-W1 kümelerine, **Şekil 4.13** ve **Şekil 4.14**'te ise Subaru HSC-SSP kümelerine ait sonuçlardır. **Şekil 4.11** ve **Şekil 4.13**'te iki ayrı küme kataloğundan elde edilmiş kırmızı kolun



Şekil 4.9 CFHTLS kümeleri için elde edilen renk-parlaklık diyagramlarına örnekler. Grafiklerin açıklamaları **Şekil 4.7**'deki gibidir.

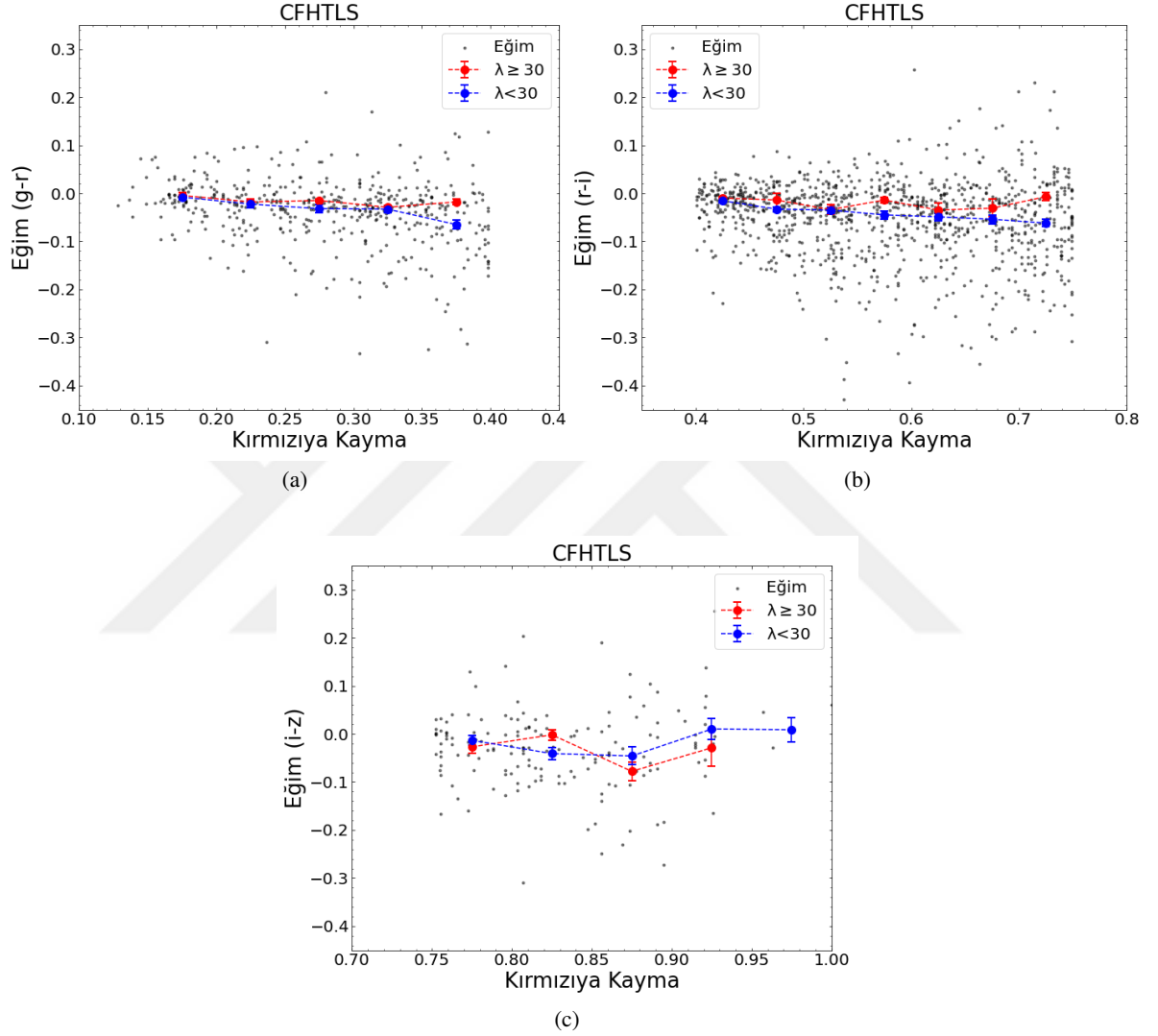
eğimi incelendiğinde hemen hemen sabit olduğu görülmüştür. **Şekil 4.12**'te CFHTLS-W1 kümelerine ait saçılma parametresinin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir. Fakir kümelerde saçılma parametresi için artan bir trend görülürken, zengin kümelerde ise $i-z$ renk indeksinde bir azalma görülmüştür. **Şekil 4.14**'te ise Subaru HSC-SSP kümelerine ait saçılma parametresinin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak değişimi verilmiştir. Hem fakir hem de zengin kümelerde saçılma parametresi kırmızıya kaymanın fonksiyonu olarak artan bir trend göstermektedir.



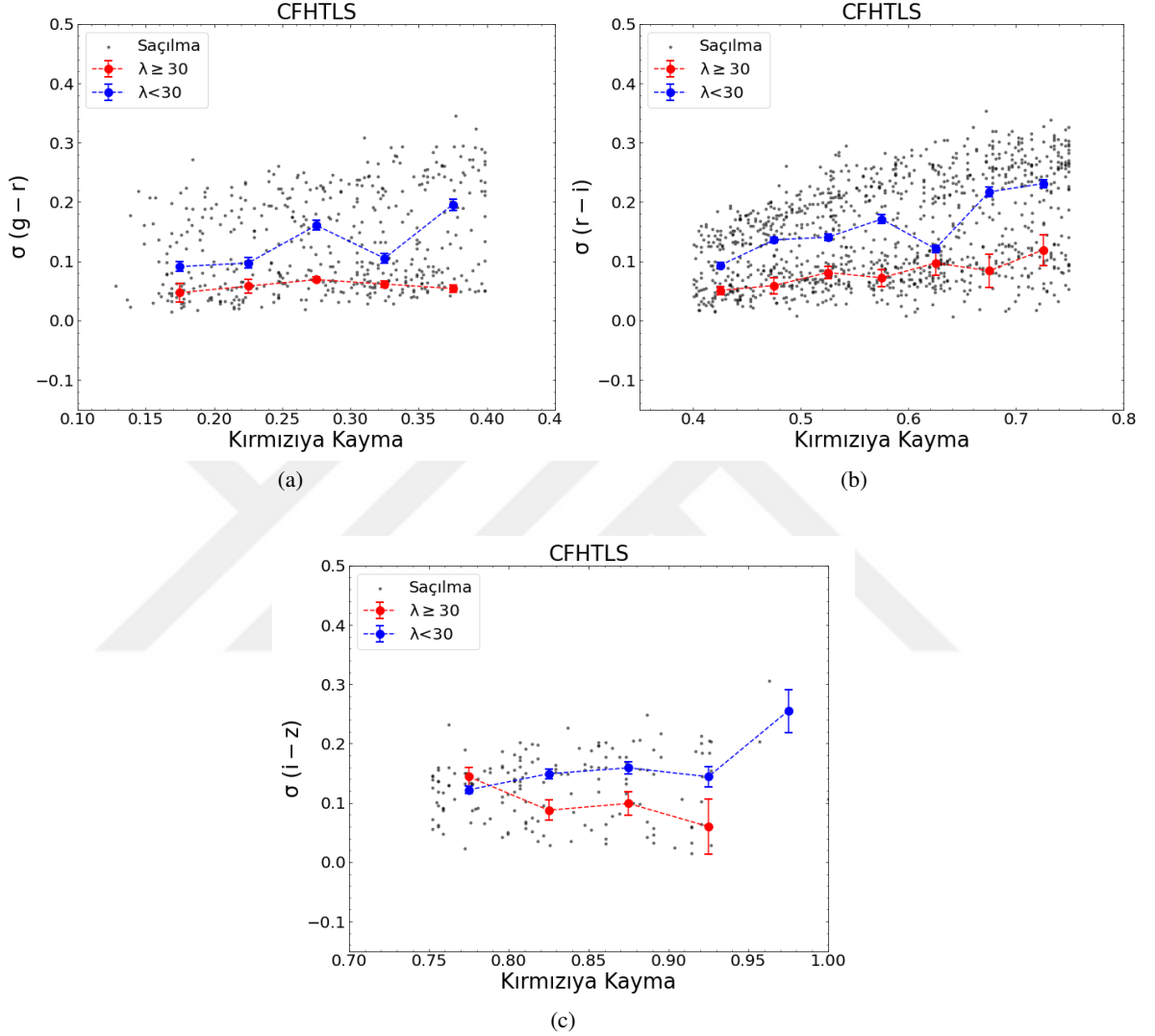
Şekil 4.10 CFHTLS kümeleri için elde edilen renk-parlaklık diyagramlarına örnekler (devam). Grafiklerin açıklamaları **Şekil 4.7**'deki gibidir.

Tablo 4.6 Subaru HSC-SSP kümelerine ait kırmızı kol analizlerinin sonuçları.

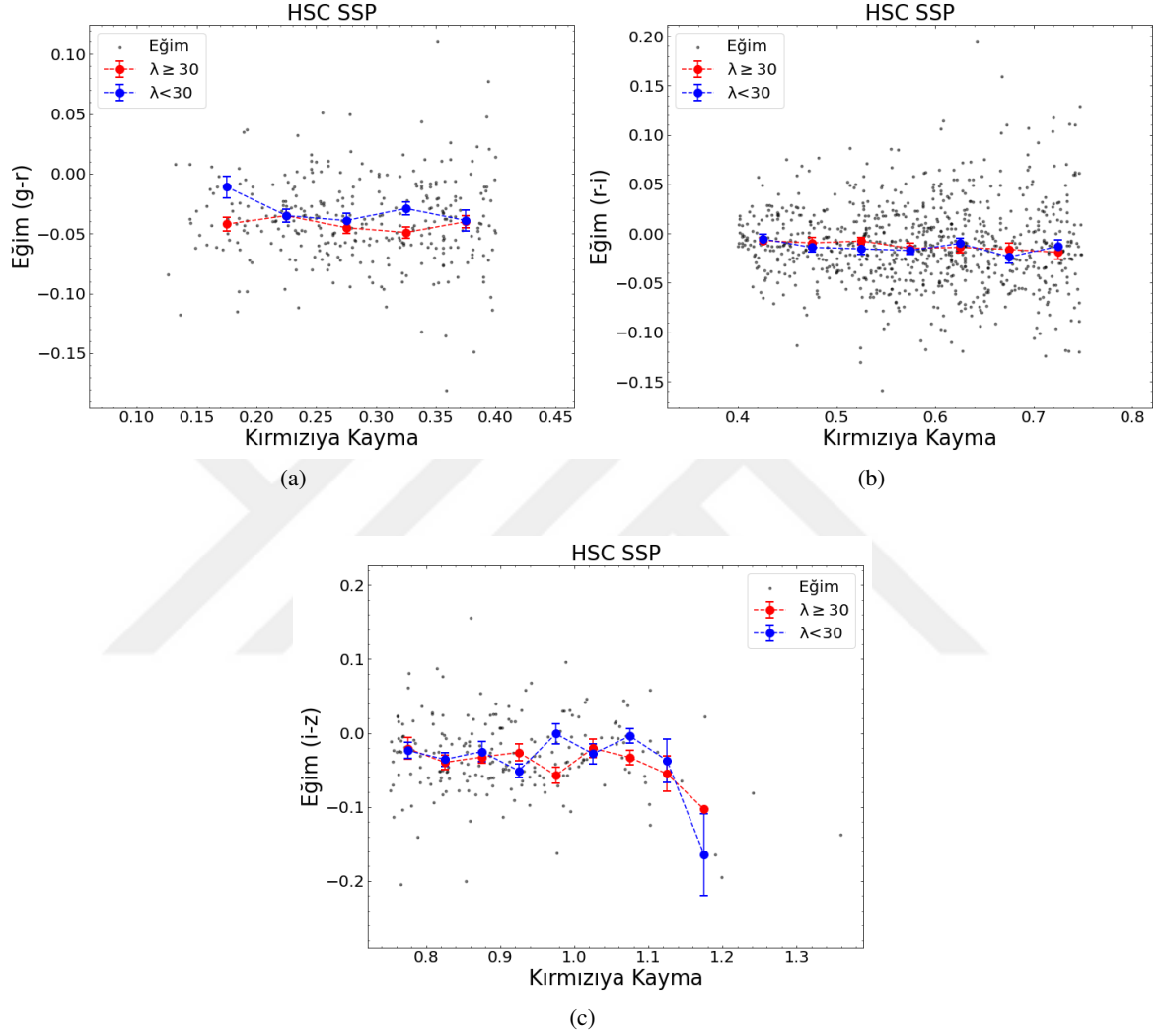
Zenginlik	Renk İndeksi	zbin	Küme Sayısı	Eğim	Saçılma
$\lambda \geq 30$	g-r	0.175	33	-0.042 ± 0.006	0.038 ± 0.003
	g-r	0.225	31	-0.035 ± 0.005	0.056 ± 0.002
	g-r	0.275	45	-0.045 ± 0.005	0.058 ± 0.003
	g-r	0.325	47	-0.049 ± 0.005	0.065 ± 0.003
	g-r	0.375	39	-0.040 ± 0.005	0.074 ± 0.003
	r-i	0.425	45	-0.007 ± 0.003	0.035 ± 0.003
	r-i	0.475	28	-0.010 ± 0.006	0.044 ± 0.003
	r-i	0.525	48	-0.008 ± 0.004	0.049 ± 0.003
	r-i	0.575	48	-0.015 ± 0.005	0.072 ± 0.004
	r-i	0.625	58	-0.014 ± 0.005	0.076 ± 0.003
	r-i	0.675	33	-0.016 ± 0.007	0.082 ± 0.005
	r-i	0.725	51	-0.019 ± 0.007	0.094 ± 0.004
	i-z	0.775	18	-0.021 ± 0.015	0.054 ± 0.007
	i-z	0.825	22	-0.040 ± 0.010	0.058 ± 0.007
	i-z	0.875	18	-0.032 ± 0.008	0.052 ± 0.005
	i-z	0.925	13	-0.026 ± 0.012	0.059 ± 0.007
	i-z	0.975	16	-0.057 ± 0.011	0.086 ± 0.006
	i-z	1.025	8	-0.020 ± 0.013	0.055 ± 0.008
	i-z	1.075	5	-0.033 ± 0.010	0.075 ± 0.013
	i-z	1.125	3	-0.055 ± 0.024	0.113 ± 0.011
	i-z	1.175	1	-0.103 ± 0.000	0.119 ± 0.000
$\lambda < 30$	g-r	0.175	5	-0.011 ± 0.009	0.032 ± 0.006
	g-r	0.225	23	-0.035 ± 0.005	0.054 ± 0.004
	g-r	0.275	27	-0.039 ± 0.006	0.054 ± 0.004
	g-r	0.325	23	-0.029 ± 0.006	0.057 ± 0.005
	g-r	0.375	39	-0.039 ± 0.009	0.064 ± 0.003
	r-i	0.425	44	-0.006 ± 0.005	0.032 ± 0.003
	r-i	0.475	59	-0.014 ± 0.004	0.048 ± 0.003
	r-i	0.525	72	-0.016 ± 0.005	0.058 ± 0.003
	r-i	0.575	88	-0.017 ± 0.004	0.072 ± 0.003
	r-i	0.625	93	-0.010 ± 0.005	0.075 ± 0.003
	r-i	0.675	64	-0.024 ± 0.006	0.080 ± 0.004
	r-i	0.725	67	-0.013 ± 0.006	0.089 ± 0.004
	i-z	0.775	18	-0.024 ± 0.011	0.062 ± 0.007
	i-z	0.825	10	-0.036 ± 0.009	0.074 ± 0.009
	i-z	0.875	23	-0.025 ± 0.014	0.058 ± 0.005
	i-z	0.925	18	-0.051 ± 0.009	0.068 ± 0.005
	i-z	0.975	10	-0.001 ± 0.014	0.066 ± 0.007
	i-z	1.025	5	-0.028 ± 0.013	0.035 ± 0.013
	i-z	1.075	11	-0.004 ± 0.010	0.086 ± 0.010
	i-z	1.125	4	-0.037 ± 0.029	0.091 ± 0.028
	i-z	1.175	3	-0.164 ± 0.055	0.114 ± 0.029



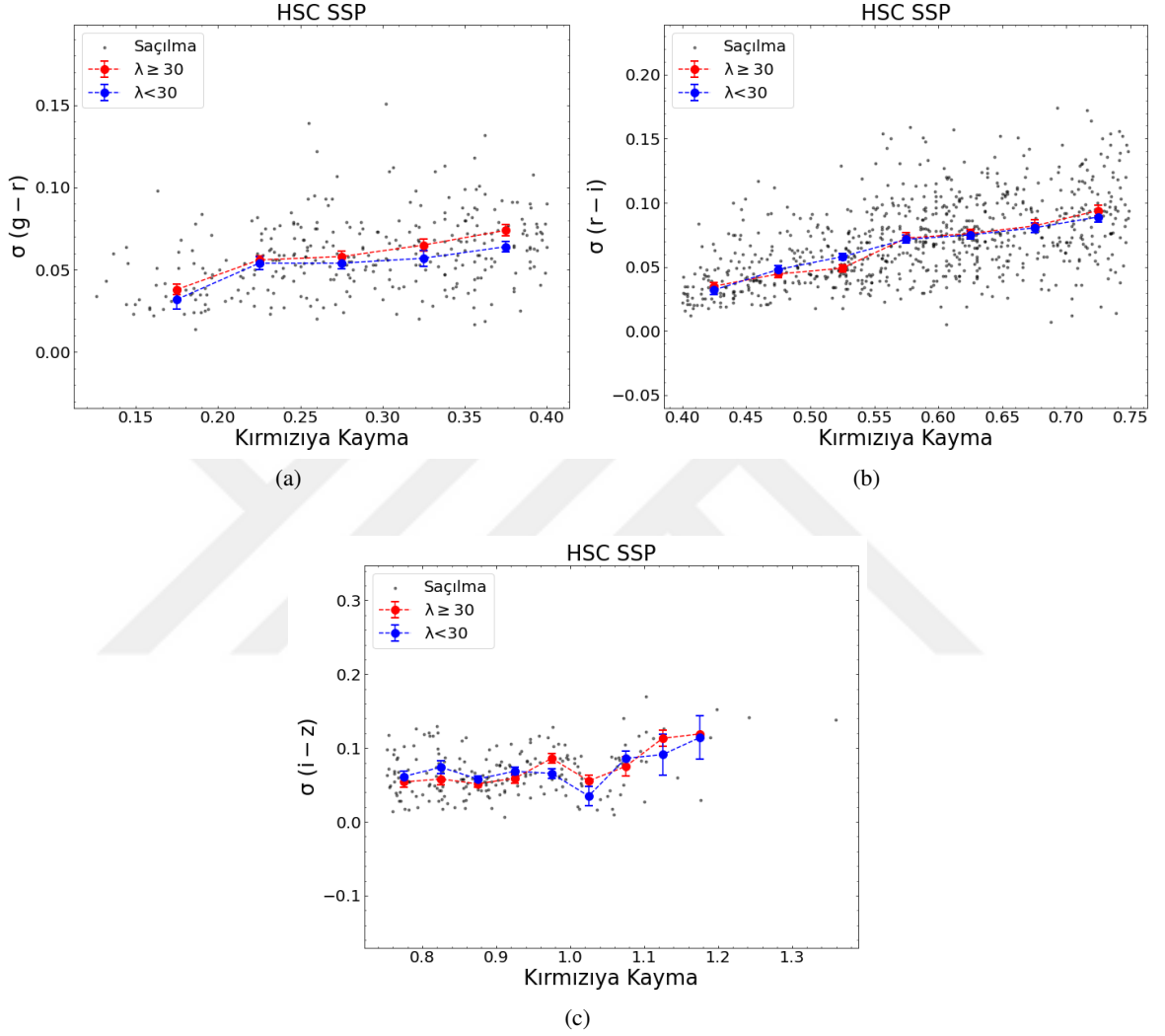
Şekil 4.11 CFHTLS-W1 kümelerine ait kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin eğimine karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.



Şekil 4.12 CFHTLS-W1 kümelerine ait kırmızı kolun saçılma parametresinin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.



Şekil 4.13 Subaru HSC SSP kümelerine ait kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.



Şekil 4.14 Subaru HSC SSP kümelerine ait kırmızı kolun saçılma parametresinin kırmızıya kaymaya göre değişimi. Siyah noktalar ilgili kırmızı kayma aralığındaki kümelerin saçılmasına karşılık gelmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar ise zengin ($\lambda \geq 30$) ve fakir ($\lambda < 30$) kümeleri temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi noktalar $\Delta z = 0.05$ 'lik kırmızıya kayma adımları için medyan değerleridir. Dikey hata çubukları ise standart hataları temsil etmektedir.

4.3. SÖNÜK/PARLAK GALAKSİ ORANININ EVRİMİ

Bir önceki bölümde kırmızı kolun eğimi, sıfır noktası ve saçılması belirlendiğinden kırmızı kol, renk-parlaklık diyagramında sönük galaksileri de içerecek şekilde uzatılabilir. **Şekil 4.7'**de parlaklık ekseninde bu şekilde uzatılmış kırmızı kol görülmektedir.

Kırmızı kol üzerindeki galaksilerin tamamı kullanılarak sönük/parlak galaksi oranları belirlenmiştir. Bu belirleme sırasında, kırmızı kol 2σ genişliğinde alınmıştır. Sönük ve parlak galaksilerin tanımı için de Lucia ve diğ.(2007) ile Stott ve diğ.(2007) tarafından verilen sınırlar kullanılmıştır. Buna göre; $M_r < -20.32$ olan galaksiler parlak, $-20.32 < M_r < -18.52$ aralığındaki galaksiler ise sönük olarak belirlenmiştir. Mutlak parlaklık limitlerine göre galaksiler sönük ve parlak olarak ayrılmadan önce tüm galaksilerin parlaklıkları evrimsel etkilerden arındırılmıştır. $E(z)$ düzeltilmesi için Mancone ve Gonzalez (2012) tarafından geliştirilen *EzGAL* programı *Python* arayüzü ile kullanılmış ve galaksilerin parlaklıklarına $E(z)$ düzeltilmesi uygulanmıştır. Tüm bu işlemler hem CFHTLS-W1 hem de Subaru HSC SSP kümelerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar **Tablo 4.7** ve **Tablo 4.8'**de ayrı ayrı verilmektedir.

Tablo 4.7 CFHTLS-W1 F/L Sayı Oranları

Bölge	zphot	NCL	$\lambda \geq 30$	NCL	$\lambda < 30$
			F/L		F/L
$0 < R/R_{200} \leq 0.5$	0.15	8	0.480 ± 0.135	67	0.667 ± 0.055
	0.25	26	0.607 ± 0.050	138	0.542 ± 0.032
	0.35	25	0.439 ± 0.028	173	0.529 ± 0.031
	0.45	32	0.233 ± 0.030	243	0.400 ± 0.018
	0.55	23	0.070 ± 0.032	188	0.286 ± 0.015
	0.65	7	0.079 ± 0.038	120	0.107 ± 0.009
	0.75	4	0.047 ± 0.010	33	0.083 ± 0.009
$0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$	0.15	7	0.586 ± 0.101	65	0.700 ± 0.052
	0.25	25	0.471 ± 0.032	131	0.857 ± 0.054
	0.35	24	0.356 ± 0.044	167	0.750 ± 0.049
	0.45	30	0.419 ± 0.054	224	0.611 ± 0.031
	0.55	16	0.227 ± 0.065	173	0.483 ± 0.032
	0.65	6	0.206 ± 0.055	99	0.200 ± 0.019
	0.75	2	0.100 ± 0.041	15	0.100 ± 0.009

Şekil 3.15'de verilen tüm adımlar uygulandığında, büyük olasılıkla küme üyesi olan galaksiler elde edilmiştir. Her küme için sönük ve parlak galaksiler belirlendikten sonra bunların birbirlerine oranı tespit edilmiştir. Kümelerin kırmızıya kayma aralıkları

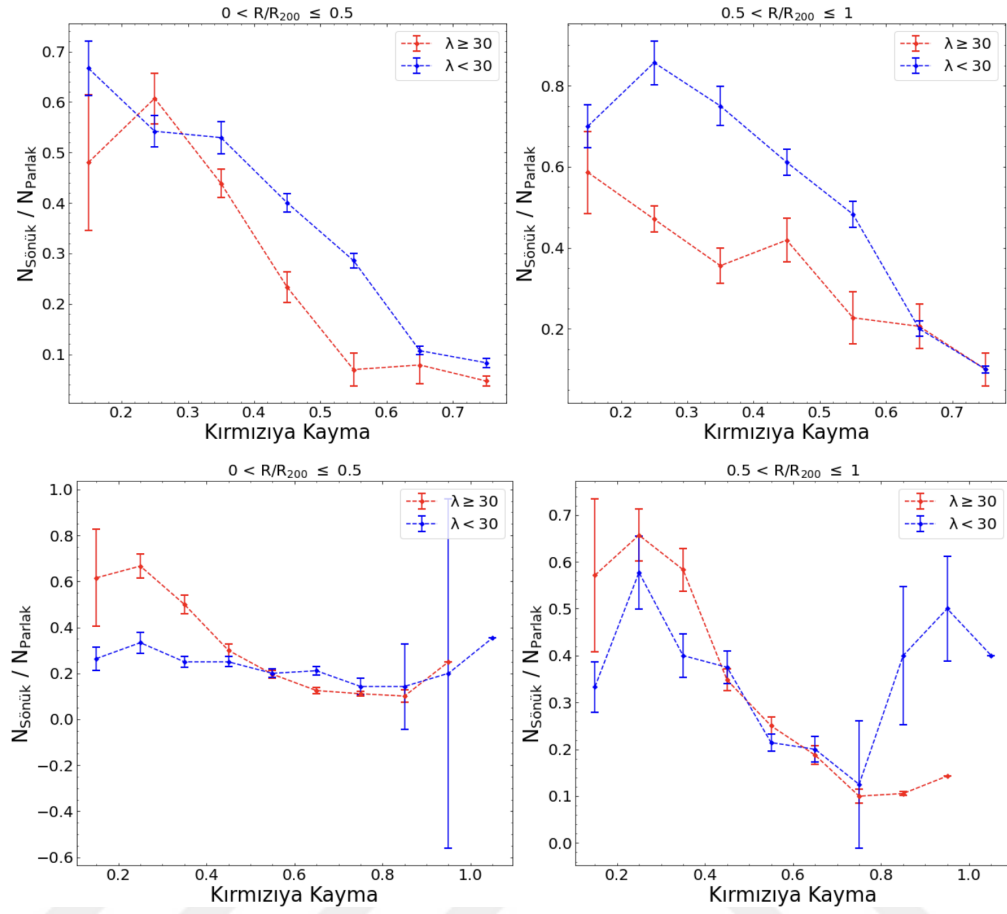
Tablo 4.8 Subaru HSC-SSP F/L Sayı Oranları

Bölge	z _{phot}	NCL	$\lambda \geq 30$	NCL	$\lambda < 30$
			F/L		F/L
$0 < R/R_{200} \leq 0.5$	0.15	39	0.615 ± 0.210	28	0.264 ± 0.051
	0.25	67	0.667 ± 0.053	50	0.333 ± 0.046
	0.35	73	0.500 ± 0.041	50	0.250 ± 0.023
	0.45	59	0.300 ± 0.027	71	0.250 ± 0.022
	0.55	72	0.196 ± 0.018	101	0.200 ± 0.019
	0.65	64	0.125 ± 0.014	54	0.211 ± 0.017
	0.75	22	0.111 ± 0.010	29	0.143 ± 0.036
	0.85	6	0.101 ± 0.027	7	0.143 ± 0.185
	0.95	1	0.250 ± 0.000	5	0.200 ± 0.761
	1.05	0	-	6	0.354 ± 0.000
	1.15	0	-	0	-
$0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$	0.15	39	0.571 ± 0.164	25	0.333 ± 0.054
	0.25	66	0.657 ± 0.056	48	0.577 ± 0.078
	0.35	71	0.583 ± 0.046	45	0.400 ± 0.046
	0.45	57	0.348 ± 0.023	64	0.375 ± 0.035
	0.55	70	0.250 ± 0.018	87	0.214 ± 0.018
	0.65	55	0.188 ± 0.020	36	0.200 ± 0.028
	0.75	17	0.100 ± 0.015	17	0.125 ± 0.136
	0.85	2	0.106 ± 0.004	5	0.400 ± 0.147
	0.95	1	0.143 ± 0.000	3	0.500 ± 0.111
	1.05	0	-	5	0.400 ± 0.000
	1.15	0	-	0	-

zbin = 0.1'lik adımlarla gruplandırılmıştır. Daha sonra ilgili kırmızıya kayma aralığındaki kümelerin F/L oranlarının medyan değerleri hesaplanmıştır. Böylece elde edilen F/L sayı oranları ve bu oranların kırmızıya kayma ile değişimi **Şekil 4.15**'te verilmektedir.

Şekil 4.15'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 iki gruba (zengin ve fakir) ayrılarak gösterilmiştir.

Şekil 4.15'te verilen sonuçlara göre, galaksilerin küme içerisindeki konumlarından bağımsız olarak düşük kırmızıya kaymalarda daha büyük F/L oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Yani sönük galaksiler, yerel evrende 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



Şekil 4.15 Üst Panel: WaZP kümelerine ait F/L oranı değişimini göstermektedir. Kırmızı çizgiler zengin kümeleri, mavi çizgiler ise fakir kümeleri temsil etmektedir. Grafiğin sol tarafı kümelerin merkezi kısmını ($R < 0.5 \times R_{200}$), sağ tarafı ise dış kısımlarını ($0.5 \times R_{200} < R < R_{200}$) göstermektedir. Alt Panel: CAMIRA kümeleri (çizgilerin anlamı üst panel ile aynıdır).

devam etmektedir (Mei ve diğ.,2009).

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 kümelerinin iç kısımlarında $z \sim 0.6$ 'dan itibaren F/L oranında artma görülürken, fakir kümelerde bu oran pek değişmediği görülmektedir. WaZP kümelerinde ise kümelerin merkezi bölgesinde ($0 < R/R_{200} \leq 0.5$) fakir ve zengin kümeler için benzer bir eğilim varken, fakir kümelerin dış kısımlarında ($0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$) sönük galaksilerin daha fazla olduğu görülmektedir.

Zengin ve fakir kümelerdeki F/L oranındaki değişim eğilimleri WaZP ve CAMIRA

algoritmalarına göre belirlenen kümelerde birbirlerinin tersi görünmektedir. Aradaki fark küçük olmakla birlikte, bu durum algoritmaların zenginlik tanımlarındaki farklılıklardan kaynaklanabilir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında iki ayrı gökyüzü tarama projesi verileri ile belirlenmiş galaksi kümelerindeki parlak galaksilerin özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu özellikler ortam yoğunluğunun bir göstergesi olarak küme zenginliğine göre ayrı ayrı ele alınmıştır.

CFHTLS tarama projesinden WaZP algoritması ile belirlenen 3284 galaksi kümesi ve Subaru HSC-SSP tarama projesinden CAMIRA algoritması ile belirlenen 7319 galaksi kümesi çalışılmıştır. Bu kümelerin merkez koordinatlarından itibaren belirlenen üye galaksiler kullanılarak renk-parlaklık diyagramları oluşturulmuş ve bu diyagramlarda kırmızı kol belirlenip karakteristik özellikleri elde edilmiştir.

Görüntü verilerinin depolanmasındaki güçlükler nedeniyle yalnızca CFHTLS kümelerindeki en parlak üç galaksi yapısal parametreleri bakımından incelenmiştir. Bölüm 4.1’de ayrıntıları verilen bu inceleme, galaksilerin iki boyutlu CCD görüntülerinin GALFIT programıyla analizi ve yüzey parlaklık profillerinin modellenmesiyle gerçekleşmiştir. GALFIT sonuçlarına göre her üç galaksisi de güvenilir çözümlere sahip olan 661 kümenin en parlak galaksileri istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. BCG ile kümedeki ikinci ve üçüncü parlak galaksiler arasındaki karşılaştırmalar, BCG ile hem ikinci hem de üçüncü galaksinin etkin yarıçap ve Sérsic indeksi bakımından istatistiksel olarak farklı popülasyon olduklarını göstermektedir. Bununla birlikte, bu üç galaksi, b/a ve Θ açıları göz önüne alındığında istatistiksel olarak birbirlerinden ayıramamaktadırlar. Kırmızı kol galaksilerinin erken-tip galaksiler olduğunu düşünülürse b/a oranlarının birbirleriyle benzer olması beklenen bir sonuç olabilir. Θ açıları ile ilgili yakın zamanda yapılan çalışmalar, BCG dahil kümelerdeki galaksilerin özel bir hizalanmaya (konum açısı) sahip olduklarını göstermiştir (Niederste-Ostholt ve diğ., 2010; West ve diğ., 2017). Bu durum ileride yürütülebilecek daha ayrıntılı görüntü analizleri ile incelenebilir. Bu konuda, 2023 yılı içerisinde fırlatılması beklenen Euclid uydusunun sağlayacağı yüksek kaliteli görüntüler önemli olabilir. 661 kümedeki 1983 galaksi ile yapılan karşılaştırma BCG’lerin, küme merkezlerindeki özel bir galaksi grubu olduğunu yeni gözlem ve analizlerle doğrulamaktadır.

Bu çalışmada incelenen galaksi kümelerinden WaZP kümelerinin kırmızı kol

karakteristikleri ilk defa belirlenmiştir.

Subaru HSC-SSP S16A veri seti ile belirlenen CAMIRA kümelerinin kırmızı kolları kısmen Nishizawa ve diğ. (2018) çalışmasında incelenmiştir. Ancak sözü edilen çalışmada kümelere ait galaksiler birleştirilerek (ing. stacking) kırmızıya kayma gruplarına ayrılmıştır. Daha sonra belirlenen kırmızı kollar, küme merkezine uzaklıklarına göre $r < 0.1$ Mpc, $r < 0.5$ Mpc ve $r < 1$ Mpc incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan CAMIRA küme kataloğu S16A'dan çok daha fazla küme içermektedir. Ancak, Bölüm 3.3'de ayrıntılarını verdiğimiz yöntemde uygulanan kriterler nedeniyle birçok CAMIRA kümesinin kırmızı kolu belirlenememiştir. Nishizawa ve diğ. (2018) ile bu tez çalışmasının kırmızı kol belirleme açısından farklılığı bu çalışmada her kümenin ayrı ayrı ele alınmasıdır.

Bölüm 4.2'de kırmızı kolların karakterizasyonu ile elde edilen eğim ve saçılma değerleri verilmiştir.

Genel olarak saçılmanın artan kırmızıya kayma ile arttığı görülmektedir. Bunun en temel nedeni, yüksek kırmızıya kaymalarda kırmızı kolu oluşturan galaksilerin henüz benzer renklere ulaşmamış olmasıdır. Bu hem bünyesel evrimleri ile hem de çevresel etkilerle gerçekleşmektedir. Saçılma için bir diğer sonuç, zengin kümelerde belirlenen saçılmaların fakir kümelere göre daha düşük olmasıdır. Kümede aynı renklere sahip galaksi sayısı ne kadar fazlaysa, kırmızı kol o kadar daha iyi belirlenebilmekte ve saçılma küçük bulunmaktadır. Bu sonuçlar, Nishizawa ve diğ. (2018) ile uyumludur. CAMIRA kümeleri için birleştirilmiş verilerden buldukları saçılmaların tüm kırmızıya kayma aralığı için $\sigma < 0.1$ olduğunu söylemişlerdir. **Tablo 4.6**'da aynı algoritmayla bulunan kümelere ait saçılmalar 0.1 kadirde küçüktür.

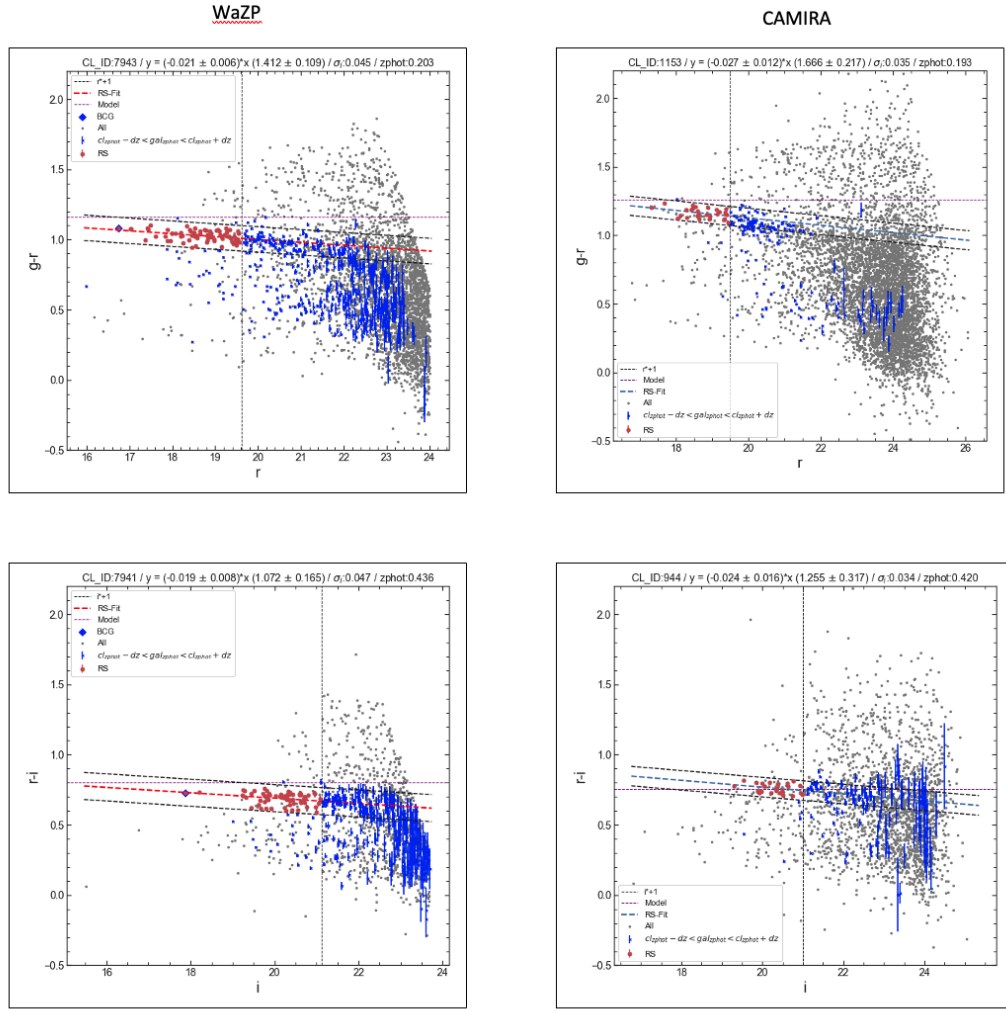
Tablo 4.5 ve **Tablo 4.6** karşılaştırıldığında, WaZP kümeleri için saçılma değerlerinin sistematik olarak CAMIRA kümelerinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Subaru HSC-SSP taraması tez çalışması süresince devam ettiğinden, verilerimizi ve analizlerimizi veri sürümlerine bağlı olarak güncelledik. En son veri sürümü olan PDR3 ile birlikte CFHTLS-WaZP kümeleriyle ortak kümeler olduğu belirlenmiş ve bu kümeler ayrıca incelenmiştir. Her iki küme kataloğunda da ortak olan yaklaşık 80 kümeden 24'ünün kırmızı kol analizleri yapılabilmektedir. Ortak olan bu kümelere ait temel bilgiler **Tablo 5.1**'de, kırmızı kol analizlerinin sonuçları ise **Tablo 5.2**'de ile verilmektedir.

Tablo 5.1 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan galaksi kümelerinin algoritmalar tarafından belirlenen kırmızıya kayma ve zenginlik değerleri. WaZP kümeleri için R_{200} değerleri algoritma tarafından, CAMIRA için ise Bölüm 3.1.2’de verildiği gibi bu tez çalışmasında hesaplanmıştır.

No	WaZP				CAMIRA			
	ID CFHTLS	zphot	Zenginlik	R_{200} (Mpc)	ID HSC-SSP	zphot	Zenginlik	R_{200} (Mpc)
1	7736	0.282	27.254	1.225	1201	0.282	22.454	0.389
2	7943	0.203	137.005	1.896	1153	0.193	121.565	0.84
3	7864	0.223	97.234	1.566	760	0.237	36.54	0.489
4	7846	0.583	58.908	1.343	1024	0.63	30.666	0.389
5	7576	0.69	44.949	1.084	524	0.692	26.648	0.357
6	7932	0.348	87.735	1.906	792	0.355	47.356	0.524
7	7820	0.304	26.775	1.405	494	0.279	30.675	0.446
8	7900	0.289	47.693	1.34	1131	0.266	37.638	0.49
9	7431	0.63	40.213	1.132	544	0.618	24.888	0.357
10	7937	0.742	75.999	1.2	666	0.74	63.41	0.511
11	7887	0.463	53.213	1.234	664	0.467	25.548	0.383
12	7813	0.739	26.51	0.944	517	0.699	23.244	0.335
13	7772	0.434	43.438	1.321	1091	0.431	24.446	0.381
14	7923	0.155	104.667	2.076	766	0.144	59.009	0.623
15	7941	0.436	93.458	1.752	944	0.42	62.858	0.578
16	7782	0.725	41.313	1.02	769	0.746	28.717	0.361
17	7588	0.392	30.39	1.079	1161	0.355	24.455	0.393
18	7610	0.636	46.541	1.129	661	0.65	23.217	0.342
19	7677	0.588	31.485	1.003	1218	0.59	22.909	0.348
20	7156	0.503	20.641	1.066	995	0.49	28.428	0.398
21	7185	0.886	23.781	0.696	638	0.928	20.424	0.289
22	6887	0.914	35.619	0.824	1166	1.01	29.869	0.331
23	7774	0.583	50.289	1.343	1094	0.614	38.703	0.434
24	6425	0.927	18.925	0.742	789	1.014	39.981	0.375

Tablo 5.1 incelendiğinde aynı kümelere ait R_{200} değerlerinin WaZP ve CAMIRA’da farklı olduğu görülmektedir. WaZP’da verilen R_{200} değerleri aynı kümelerin CAMIRA’daki değerlerinden yaklaşık 2-3 kat daha büyüktür. Bu da kırmızı kolun belirlenmesinde daha geniş bir alan ve dolayısıyla daha çok galaksi içermesi anlamına gelmektedir. Bu durum **Şekil 5.1**’den de görülebilir. Aynı kümelerin CFHTLS ve Subaru HSC-SSP verileriyle oluşturulmuş renk-parlaklık diyagramlarında, Subaru tarafında daha az galaksi görülmektedir. WaZP algoritması oldukça iyi geliştirilmiş ve yanlılığı çok az olan bir algoritmadır. ESA’nın 2023’te fırlatacağı Euclid uydusunun resmi küme bulma algoritması olmayı çok küçük farkla kaçırmıştır. Euclid Collaboration ve diğ.(2019) çalışmasında



Şekil 5.1 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan kümelerden ikisine ait renk-parlaklık diyagramları.

simülasyon verileri ile yapılan performans analizlerinde yüksek kırmızıya kaymalara kadar (Euclid kırmızıöte bantları nedeniyle) saflık ve tamlık değerleri çok yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, CAMIRA kümeleri için verilen zenginlik-kütle ilişkisi oldukça saçılmıştır. Tez çalışmasında CAMIRA kümeleri için R_{200} hesabında kullanılabilecek tek bilgi bu olduğundan Oguri ve diğ. (2018) ve Nishizawa ve diğ. (2018) çalışmalarındaki bağıntılar dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada ortaya koyduğumuz gibi kümelerin yarıçapları ve hatta bu yarıçapların belirlenmesinde anahtar rol oynayan zenginlik parametrelerinin iyi belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle, tez çalışmasında birçok CAMIRA kümesi kırmızı kol belirleme aşamalarındaki kriterleri sağlayamamış ve CAMIRA küme sayısı 7319'dan dramatik biçimde 1313'e düşmüştür. Bu tespit tez çalışmasının son aşamasında yayınlanan PDR3 verileri ile

Tablo 5.2 WaZP ve CAMIRA küme kataloglarında ortak olarak bulunan 24 galaksi kümesinin, CFHTLS ve Subaru HSC-SSP verileri ile elde edilmiş kırmızı kol parametrelerinin karşılaştırması.

No	Eğim Eğim	WaZP		Eğim Eğim	CAMIRA	
		F/L $0 < R/R_{200} < 0.5$	F/L $0.5 < R/R_{200} < 1.0$		F/L $0 < R/R_{200} < 0.5$	F/L $0.5 < R/R_{200} < 1.0$
1	-0.016 ± 0.011	0.182 ± 0.003	1.200 ± 0.045	-0.055 ± 0.020	0.500 ± 0.021	0.500 ± 0.015
2	-0.021 ± 0.006	0.724 ± 0.001	0.643 ± 0.003	-0.027 ± 0.012	1.111 ± 0.004	0.944 ± 0.007
3	-0.016 ± 0.008	0.774 ± 0.003	0.467 ± 0.003	-0.029 ± 0.014	0.875 ± 0.022	0.786 ± 0.009
4	-0.028 ± 0.024	0.079 ± 0.001	$\pm$	-0.024 ± 0.038	0.158 ± 0.004	0.071 ± 0.005
5	-0.026 ± 0.040	$\pm$	$\pm$	-0.027 ± 0.037	0.250 ± 0.006	0.353 ± 0.006
6	-0.013 ± 0.011	0.412 ± 0.001	0.179 ± 0.002	-0.031 ± 0.009	0.125 ± 0.014	0.667 ± 0.018
7	0.022 ± 0.016	0.048 ± 0.002	$\pm$	0.019 ± 0.032	0.182 ± 0.010	0.429 ± 0.025
8	-0.015 ± 0.018	0.400 ± 0.003	0.263 ± 0.005	-0.058 ± 0.020	0.857 ± 0.027	0.435 ± 0.004
9	0.000 ± 0.048	0.107 ± 0.002	0.152 ± 0.002	-0.032 ± 0.028	0.143 ± 0.018	0.182 ± 0.010
10	-0.002 ± 0.023			0.06 ± 0.038		
11	-0.017 ± 0.014	0.438 ± 0.003	0.455 ± 0.002	0.026 ± 0.011		
12	-0.109 ± 0.072			0.053 ± 0.047		
13	-0.026 ± 0.009	0.194 ± 0.002	0.6 ± 0.015	0.024 ± 0.034		
14	-0.020 ± 0.005	0.684 ± 0.001	0.607 ± 0.003	-0.038 ± 0.047	1.000 ± 0.062	0.727 ± 0.014
15	-0.019 ± 0.008	0.400 ± 0.001	0.341 ± 0.002	-0.024 ± 0.016	0.320 ± 0.003	0.895 ± 0.006
16	0.016 ± 0.018			-0.070 ± 0.044		
17	0.001 ± 0.021	0.222 ± 0.005		0.011 ± 0.057		
18	-0.064 ± 0.028			-0.068 ± 0.032		
19	0.009 ± 0.027	0.053 ± 0.003		0.011 ± 0.02		
20	-0.025 ± 0.015	0.125 ± 0.005	0.154 ± 0.007	0.025 ± 0.025	0.286 ± 0.022	0.167 ± 0.008
21	0.105 ± 0.12			0.031 ± 0.038		
22	-0.018 ± 0.042			-0.028 ± 0.021		
23	-0.05 ± 0.022	0.05 ± 0.002		-0.034 ± 0.021	0.231 ± 0.008	0.176 ± 0.005
24	0.01 ± 0.044			-0.003 ± 0.028		

yapılabildiğinden, CAMIRA kümeleri için R_{200} yerine sabit bir yarıçap (örn. 0.75 Mpc) kullanılarak analizlerin yenilenmesi düşünülmemiştir. Ancak, tez sonuçlarının yayına hazırlanmasında hem R_{200} ile ilgili tespitimizin vurgulanması hem de sonuçların karşılaştırılabilmesi için sabit bir yarıçapla kırmızı kol analizlerinin tekrar edilmesi planlanmaktadır.

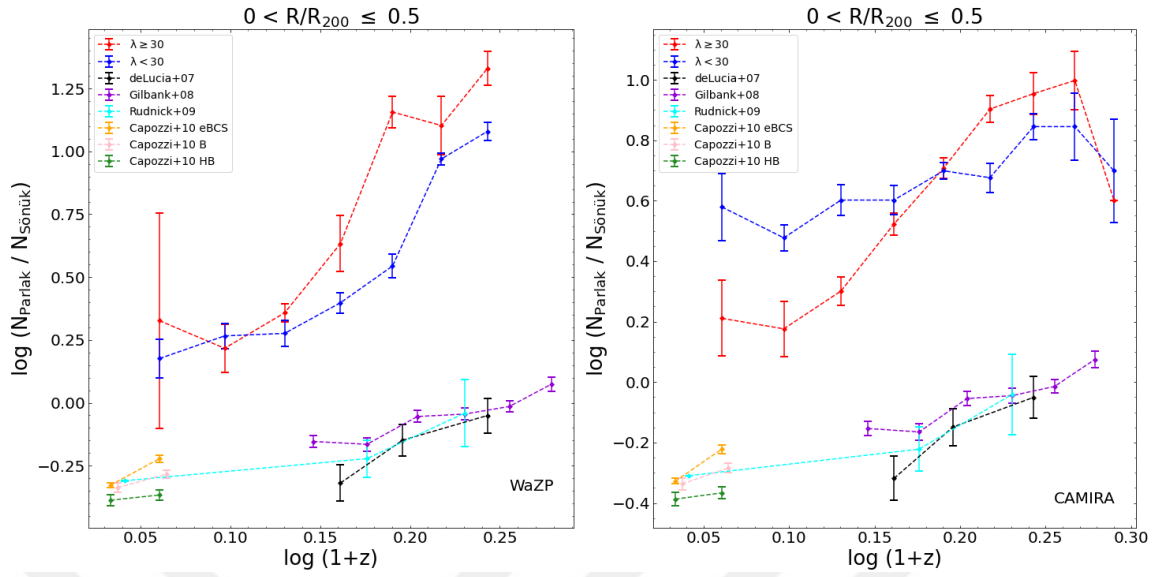
Kırmızı kolun saçılması dışında diğer önemli bir parametresi de eğimidir. Galaksi evrim modelleri kırmızı kolun eğiminin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak değişeceğini öngörmektedir. Bunun nedeni, yaşla birlikte metalce zengin galaksilerin metalce fakir olanlara göre daha hızlı bir şekilde kırmızılaşmasıdır. Dolayısıyla kırmızı kolun eğiminin galaksi kümelerinin oluşum zamanlarını belirlemede bir araç olabileceğini düşünülmektedir. Gladders ve diğ.(1998) çalışmasında $0.75 < z < 2$ aralığındaki altı küme ile $z < 0.15$ olan 44 Abell kümesini kullanmışlar ve kırmızı kol eğimlerinin galaksi evrim modellerinden beklentilerle uyumlu olduğunu söylemişlerdir. Stott ve diğ. (2009) $z \sim 0.1$, $z \sim 0.5$ ve $z \sim 1$ 'deki üç grup kümeyle yaptıkları çalışmada eğimin düşük kırmızıya kaymalara doğru azaldığını söylemişlerdir. Birçok farklı çalışmada bu olgu incelenmiş ancak küme örneklemelerinin seçimlerindeki farklılıklar ve üye galaksilerin belirlenmesi gibi etkenlerin

yarattığı sistematipler nedeniyle bir görüş birliğine varılamamıştır (Mei ve diğ., 2009; Capozzi ve diğ., 2010). Bu ikilemin bir nedeni modellerin Coma kümesine göre kalibre edilmiş olması olabilir. Örneklemlerdeki kümeler Coma ile aynı tür kümeler olmayabilir.

İki farklı küme verisi kullanılarak yapılan bu tez çalışmasında, kümelerin kırmızı kollarındaki eğimin kırmızıya kayma ile dikkate değer bir değişme göstermediği bulunmuştur. **Şekil 4.11** ve **Şekil 4.13**'de verilen grafiklerde hem WaZP kümeleri için hem de CAMIRA kümeleri için hatalar dikkate alındığında medyan değerlerin kırmızıya kayma ile bir değişimi olduğunu söylemek güçtür. Ancak bundan daha önemlisi, bu sonucun ortamdan bağımsız olduğu bulgusudur. Bu sonuç zengin ve fakir kümeler için neredeyse aynıdır.

Ayrıca, yukarıda belirttiğimiz WaZP ve CAMIRA kataloglarında ortak olan kümelere ait sonuçlarımız incelendiğinde kırmızı kolun eğimlerinin birbirleriyle oldukça tutarlı olduğu görülmektedir. Küme yarıçaplarından ileri gelen kırmızı kol galaksilerinin sayısındaki farklılık kırmızı kolun belirlenmesi, dolayısıyla eğimi üzerinde önemli bir etki yaratmamaktadır. Ancak aynı yorumu saçılma için yapmak zordur, çünkü saçılma kırmızı kol üzerindeki galaksi sayısına çok duyarlıdır. Kodama ve Arimoto (1997) ile Kauffmann ve Charlot (1998) çalışmalarında önerilen modeller ışığında, düşük saçılmalı kümelerdeki kırmızı kol galaksilerinin daha yaşlı yıldız popülasyonlarından oluştuklarını söylemek mümkündür. Saçılmanın düşük kırmızıya kaymalara doğru azalması da bu evrim senaryosunu desteklemektedir.

Son olarak, kırmızı kol üzerindeki sönük galaksilerin parlak galaksilere oranının nasıl evrimleştiğini inceledik. Galaksilere ilişkin evrimsel süreçler ve özellikle de küme içi ortamdaki süreçlerle, galaksilerin kırmızı kola sönük ucundan katıldığı bilinmektedir. Kırmızı kol üzerindeki sönük/parlak galaksi sayı oranı aslında kırmızı kol galaksilerinin ışınım gücü fonksiyonunun benzeri başka bir araçtır. Literatürde bu oranı parlak/sönük olarak veren çalışmalar da bulunmaktadır (Stott ve diğ., 2009; Capozzi ve diğ., 2010; Romeo ve diğ., 2015). Bölüm 4.3'te sonuçlarımızı sönük/parlak oranı şeklinde sunmuş olsak da, **Şekil 5.2**'de sonuçlarımızı uygun şekilde literatürden derlediğimiz sonuçlarla birlikte gösteriyoruz. Nitel olarak yorumlarsak, yüksek kırmızıya kaymalarda parlak galaksi sayısı daha fazla. Diğer bir ifadeyle, düşük kırmızıya kaymalara doğru geldikçe, yaşla birlikte, kırmızı koldaki sönük galaksi sayısı artıyor. **Şekil 5.2**'de tez çalışmasında fakir ve zengin



Şekil 5.2 Bu çalışmada WaZP (sol) ve CAMIRA (sağ) kümeleri için elde edilen L/F galaksi sayı oranlarının literatürle karşılaştırılması (de Lucia ve diğ.(2007), Gilbank ve diğ.(2008), Rudnick ve diğ.(2009), Capozzi ve diğ.(2010).

kümeler için elde ettiğimiz sonuçlar (hem WaZP hem de CAMIRA kümeleri için) eğilim bakımından literatürle uyumlu olsa da, bu çalışmada bulduğumuz oranlarda belirgin bir fazlalık görünmektedir. Romeo ve diğ. (2015), bu tez çalışmasında da uygulandığı gibi, sönük ve parlak galaksileri belirlerken sabit mutlak parlaklık limitleri kullanmanın bir yanlışlık getireceğini tartışmıştır. Yöntemsel açıdan tutarlı olmak için diğer yazarların verdiği limitlere bağlı kalsak da, ileriki çalışmalarda sönük ve parlak galaksilerin belirlenmesinde kümenin kırmızıya kaymasına bağlı parlaklık limitleri uygulamayı planlıyoruz. Ayrıca, eğim, saçılma ve F/L sayı oranları kütle, X-ışın ışıma gücü, küme içi gazın (ICM) durumu gibi farklı özelliklerdeki kümelerde karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Agüena, M., ve diğ., 2021, The Wazp Galaxy Cluster Sample of the Dark Energy Survey Year 1, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 502, 4435
- Aihara, H., ve diğ., 2021, Third Data Release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 74, 247
- Allen, C.W., 1947, Interpretation of Electron Densities From Corona Brightness, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 107, 426.
- Arech, A.V., Mesadi, T., Koshel, R.J., 2007, *Field Guide to Illumination*, SPIE field guides, Sayı 11, SPIE
- Arimoto, N. ve Yoshii, Y., 1987, Chemical and Photometric Properties of a Galactic Wind Model for Elliptical Galaxies, *Astronomy & Astrophysics*, 173, 23
- Arnouts, S., ve diğ., 1999, Measuring and Modelling the Redshift Evolution of Clustering: The Hubble Deep Field North, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 310, 540
- Axelrod, T., ve diğ., 2010, An Open Source Application Framework for Astronomical Imaging Pipelines, *Proceedings of the SPIE*, 7740, id. 774015
- Bahcall, N. A., 1999, Formation of Structure in the Universe, *Cambridge University Press*, ISBN: 978-0-521-5863-20, 135
- Baldry, I. K. ve diğ., 2004, Quantifying the Bimodal Color-Magnitude Distribution of Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 600, 681-694
- Baldry, Ivan K. ve diğ., 2006, Galaxy bimodality versus stellar mass and environment, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 373, 469-483
- Balogh, M. L. ve diğ., 2004, The Bimodal Galaxy Color Distribution: Dependence on Luminosity and Environment, *The Astrophysical Journal*, 615, L101-L104
- Bekki, K. ve Couch, W. J., 2011, Transformation from spirals into S0s with bulge growth in groups of galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415, 1783
- Bell, E. F. ve diğ., 2004, Nearly 5000 Distant Early-Type Galaxies in COMBO-17: A Red Sequence and Its Evolution since $z = 1$, *The Astrophysical Journal*, 608, 752
- Bertin, E., ve Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for Source Extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 117, 394
- Blanton, M. R. ve Moustakas, J., 2009, Physical Properties and Environments of Nearby Galaxies, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 47, 159-

- Blanton M. R. ve diğ., 2003, The Broadband Optical Properties of Galaxies with Redshifts $0.02 < z < 0.22$, *The Astrophysical Journal*, 594, 186-
- Borgani, S. ve diğ., 2001, Measuring Ω_m with the ROSAT Deep Cluster Survey, *The Astrophysical Journal*, 561, 13
- Boselli, A. ve Gavazzi, G., 2006, Environmental Effects on Late-Type Galaxies in Nearby Clusters, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118, 517–559
- Bosch, J., ve diğ., 2018, The Hyper Suprime-Cam Software Pipeline, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70, makale id.S5
- Bower, R. G. ve diğ., 1992a, Precision Photometry of Early-Type Galaxies in The Coma and Virgo Clusters: A Test of the Universality of The Colour-Magnitude Relation - I. The Data, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 254, 589
- Bower, R. G. ve diğ., 1992b, Precision Photometry of Early-Type Galaxies in The Coma and Virgo Clusters: A Test of the Universality of The Colour-Magnitude Relation – II. Analysis, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 254, 601
- Bruzual, A., ve diğ., 1993, Redmapper I: Algorithm and SDSS DR8 Catalog, *The Astrophysical Journal*, 405, 538
- Bruzual, G., ve diğ., 2003, Stellar Population Synthesis at the Resolution of 2003, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 344, 1000
- Burke, C. ve Collins, C. A., 2013. Growth of brightest cluster galaxies via mergers since $z=1$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434, 2856–2865.
- Capozzi D. ve diğ., 2010, The Ratio of Luminous to Faint Red-Sequence Galaxies in X-ray and Optically Selected Low-Redshift Clusters *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 403, 1274
- Clowe, D. ve diğ., 2006, A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter, *The Astrophysical Journal*, Volume 648, Issue 2, pp. L109-L113.
- Coil, A. L., 2013, The Large-Scale Structure of the Universe, in *Planets, Stars and Stellar Systems Vol. 6*, by Oswalt, Terry D.; Keel, William C., Springer, ISBN 978-94-007-5608-3, syf 387
- Coleman, G. D., Wu, C. C., Weedman, D. W., 1980, Colors and Magnitudes Predicted for High Redshift Galaxies, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 43, 393
- Conroy, C., ve diğ., 2009, The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling I: The Relevance of Uncertain Aspects of Stellar Evolution and the IMF to the Derived Physical Properties of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 699, 486
- Conroy, C., ve diğ., 2010, The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling. III. Model Calibration, Comparison, and Evaluation, *The Astrophysical Journal*, 712, 833

- Conselice, C. J., 2014, The Evolution of Galaxy Structure over Cosmic Time, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 52, 291-337.
- Cooper, M. C. ve diğ., (2007), The DEEP2 galaxy redshift survey: evolution of the colour-density relation at $0.4 < z < 1.35$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 376:1445–1459
- Cortese, L. ve diğ., 2021, The Dawes Review 9: The Role of Cold Gas Stripping on The Star Formation Quenching of Satellite Galaxies, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 38, makale id. e035
- Coupon, J., ve diğ., 2009, Photometric Redshifts for the CFHTLS T0004 Deep and Wide Fields, *Astronomy & Astrophysics*, 500, 981
- De Filippis E. ve diğ., 2011, The Luminosity Function of the NoSOCS Galaxy Cluster Sample, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 414, 2771
- De Lucia, G. ve diğ., 2007, The Build-Up of the Colour-Magnitude Relation in Galaxy Clusters Since $z \sim 0.8$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 374, Issue 3, pp. 809-822
- De Lucia, G. ve diğ., 2012, The Environmental History of Group and Cluster Galaxies in a Λ Cold Dark Matter Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 423, Issue 2, pp. 1277-1292.
- Diemer, B., 2018, COLOSSUS: A *Python* Toolkit for Cosmology, Large-scale Structure, and Dark Matter Halos, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 239, makale id. 35
- Dietrich J. P., ve diğ., 2014, Orientation Bias of Optically Selected Galaxy Clusters and Its Impact on Stacked Weak-Lensing Analyses, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 443, 1713
- Dressler, A., 1980, Galaxy Morphology in Rich Cluster: Implications for the Formations and Evolutions of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 236, 351
- Ellis R. S. ve diğ., 1997, The Homogeneity of Spheroidal Populations in Distant Clusters, *The Astrophysical Journal*, , 483, 582
- Capozzi D. ve diğ., 2019, Euclid Preparation. III. Galaxy Cluster Detection in The Wide Photometric Survey, Performance and Algorithm Selection, *Astronomy & Astrophysics*, 627, 27
- Faber S. M. ve diğ., 2007, Galaxy Luminosity Functions to $z \sim 1$ from DEEP2 and COMBO-17: Implications for Red Galaxy Formation, *The Astrophysical Journal*, Volume 665, Issue 1, pp. 265-294
- Ferdinand, H., Driffield., V.C., 1890, *The Journal of the Society of Chemical Industry*, No. 5, Vol IX.
- Fogarty, L. M. R. ve diğ., 2014, The SAMI Pilot Survey: the kinematic morphology-density relation in Abell 85, Abell 168 and Abell 2399, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 443, 485

- Gallazzi, A. ve Bell, E. F., 2009, Stellar mass to light ratios from galaxy spectra: How accurate can they be?, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 185, 253
- Gavazzi, G. ve diğ., 2013, H α 3: an H α imaging survey of HI selected galaxies from ALFALFA. III. Nurture Builds, up the Hubble sequence in the Great Wall, *Astronomy & Astrophysics*, 553, makale id.A90, sayfa 15
- Gladders, M. D ve diğ., 1998, The Slope of the Cluster Elliptical Red Sequence: A Probe of Cluster Evolution, *The Astrophysical Journal*, 501, 571
- Gladders, D. M., ve Yee, H. K. C., 2000, A New Method for Galaxy Cluster Detection. I. The Algorithm, *The Astrophysical Journal*, 120, 2148
- Goto, T. ve diğ., 2003, The morphology-density relation in the Sloan Digital Sky Survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 346, 601
- Gilbank D. G. ve diğ., 2008, The Red-Sequence Luminosity Function in Galaxy Clusters since $z \sim 1$, *The Astrophysical Journal*, 673, 742
- Guglielmo, ve diğ., 2018, The XXL Survey: XXII. The XXL-North Spectrophotometric Sample and Galaxy Stellar Mass Function in X-Ray Detected Groups and Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 620, 20
- Hao, J., ve diğ., 2009, Precision Measurements of the Cluster Red Sequence using an Error Corrected Gaussian Mixture Model, *The Astrophysical Journal*, 702, 745
- Hao, J., ve diğ., 2010, Precision Measurements of the Cluster Red Sequence using an Error Corrected Gaussian Mixture Model, *The Astrophysical Journal Supplement*, 191, 254
- Hilton, M. ve diğ., 2010, The XMM Cluster Survey: Active Galactic Nuclei and Starburst Galaxies in XMMXCS J2215.9-1738 at $z=1.46$, *The Astrophysical Journal*, 718, 133
- Hubble, E., 1926, Extra-Galactic Nebulae, *The Astrophysical Journal*, 64, 321-369
- Hubble, E., 1936, The Realm of the Nebulae, *Yale University Press*, ISBN 978-03-000-2500-2
- Hudelot, P., ve diğ., 2012, The CFHTLS Survey (T0007 release), *SPIE Conference. 2012*
- Ilbert, O., ve diğ., 2006, Measuring and Modelling the Redshift Evolution of Clustering: The Hubble Deep Field North, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 310, 540
- Axelrod, T., ve diğ., 2019, LSST: From Science Drivers to Reference Design and Anticipated Data Products, *The Astrophysical Journal*, 873, 44
- Jee, M. J. ve diğ., 2011, Scaling Relations and Overabundance of Massive Clusters at $z > \sim 1$ from Weak-lensing Studies with the Hubble Space Telescope, *The Astrophysical Journal*, 737, makale id. 59, syf. 32
- Juric, M., ve Tyson, T., 2015, LSST Data Management: Entering the Era of Petascale Optical Astronomy, *Highlights of Astronomy*, 16, 675

- Kaufmann, G. ve Charlot, S. 1998, Chemical Enrichment and The Origin of the Colour-Magnitude Relation of Elliptical Galaxies in a Hierarchical Merger Model, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 294, 705
- Kauffmann, G. ve diğ., 2004, The environmental dependence of the relations between stellar mass, structure, star formation and nuclear activity in galaxies, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 353, 713-731
- Kinney A. L., ve diğ., 1996, Template Ultraviolet to Near-Infrared Spectra of Star-forming Galaxies and Their Application to K-Corrections, *The Astrophysical Journal*, 467, 38
- Kodama, T. ve Arimoto, N. 1997, Origin of the Colour-Magnitude Relation of Elliptical Galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 320, 41
- Lemaux, B. C. ve diğ., 2012, The Assembly of the Red Sequence at $z \sim 1$: The Color and Spectral Properties of Galaxies in the C11604 Supercluster, *The Astrophysical Journal*, Volume 745, Issue 2, article id. 106, pp. 29
- Lidman, C. ve diğ., 2012, Evidence for significant growth in the stellar mass of brightest cluster galaxies over the past 10 billion years, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, pp. 550–568
- Lintott, C., ve diğ., 2011, Galaxy Zoo 1: Data Release of Morphological Classifications for Nearly 900 000 Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 410, 166
- Longair, M. S., 2008, Galaxy Formation, *Springer*, ISBN 978-3-540-73477-2
- Mancone, C. L. ve Gonzalez, A. H., 2012, EzGal: A Flexible Interface for Stellar Population Synthesis Models, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124, 606
- Mantz, A. ve diğ., 2010, Constraints on Cosmology and X-ray Scaling Relations from the Growth of Massive Galaxy Clusters, *American Astronomical Society*, AAS Meeting 215, id.437.10
- Maraston, C., 2003, Evolutionary Population Synthesis: Models, Analysis of the Ingredients and Application to High-Z Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 362, 799
- Martinet N. ve diğ., 2015, The Ratio of Luminous to Faint Red-Sequence Galaxies in X-ray and Optically Selected Low-Redshift Clusters, *Astronomy & Astrophysics*, 575, A116
- Maurogordato, S. ve diğ., 2008, A 2163: Merger events in the hottest Abell galaxy cluster. I. Dynamical analysis from optical data, *Astronomy & Astrophysics*, 481, 593
- Mei, S., ve diğ., 2006, Evolution of the Color–Magnitude Relation in High–Redshift Clusters: Early–Type Galaxies in the Lynx Supercluster at $z = 1.26$, *The Astrophysical Journal*, 644, 759
- Mei, S. ve diğ., 2012, Early-type Galaxies at $z = 1.3$. I. The Lynx Supercluster: Cluster and Groups at $z = 1.3$. Morphology and Color-Magnitude Relation, *The Astrophysical Journal*, Volume 754, Issue 2, article id. 141, pp. 20

- Muldrew, S. I. ve diğ., 2012, Measures of Galaxy Environment - I. What is Environment?, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 2670-2682.
- Niederste-Ostholt, M. ve diğ., 2010, Alignment of Brightest Cluster Galaxies with Their Host Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 405, 2023
- Nishizawa, A. J., ve diğ., 2018, First Results on the Cluster Galaxy Population from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey. II. Faint end Color-Magnitude Diagrams and Radial Profiles of Red and Blue Galaxies at $0.1 < z < 1.1$, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70, makale id. S24
- Oguri, M., diğ., 2014, A Cluster Finding Algorithm Based on the Multiband Identification of Red Sequence Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444, 147
- Oguri, E. R., ve diğ., 2018, An Optically-Selected Cluster Catalog at Redshift $0.1 < Z < 1.1$ from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S16A Data, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70, makale id. S20
- Oogi, T. ve diğ., 2016, Mass and Size Growth of Early-Type Galaxies by Dry Mergers in Cluster Environments, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 456, 300-313
- Pedregosa, F., ve diğ., 2009, *Scikit-learn: Machine Learning in Python*, *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825
- Peng, C. Y. ve diğ., 2002, Detailed Structural Decomposition of Galaxy Images, *The Astronomical Journal*, 124, 266-293
- Peng, C. Y. ve diğ., 2010, Detailed Structural Decomposition of Galaxy Images. II. Beyond Axisymmetric Models, *The Astronomical Journal*, 139, 2097-2129
- Pierre, M. ve diğ., 2011, Precision cosmology with a wide area XMM cluster survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 414, pp. 1732-1746.
- Planck Collaboration, ve diğ., 2013, Planck 2013 results. XXIX. The Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich Sources, *Astronomy & Astrophysics*, 571, 41
- Pompei, E., ve diğ., 2016, The DPOSS II Compact Group Survey: First Spectroscopically Confirmed Candidates, *Astronomy & Astrophysics*, 445, 857
- Postman, M. ve Geller, M. J., 1984, The Morphology-Density Relation - The Group Connection, *The Astrophysical Journal*, 281, 95
- Postman, M. ve diğ., 2005, The Morphology-Density Relation in $z \sim 1$ Clusters, *The Astrophysical Journal*, 623, 721-741.
- Reichert, A. ve diğ., 2011, Observational constraints on the redshift evolution of X-ray scaling relations of galaxy clusters out to $z \sim 1.5$, *Astronomy & Astrophysics*, 535:A4, pp. 22
- Reiprich, T. H. ve Bohringer H., 2002, The Mass Function of an X-Ray Flux-limited Sample of Galaxy Clusters, *The Astrophysical Journal*, Volume 567, Issue 2, pp. 716-740

- Roettiger, K. ve diğ., 1997, Numerical Simulations of Merging Clusters of Galaxies, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 109, Issue 2, pp. 307-332.
- Romeo, A. D. ve diğ., 2015, A Study on the Multicolour Evolution of Red-Sequence Galaxy Populations: Insights from Hydrodynamical Simulations and Semi-Analytical Models, *Astronomy & Astrophysics*, 581, id.A50, pp 10
- Rozo, E. ve diğ., 2010, Cosmological Constraints from the Sloan Digital Sky Survey maxBCG Cluster Catalog, *The Astrophysical Journal*, Volume 708, Issue 1, pp. 645-660.
- Rudnick G. ve diğ., 2009, The Rest-Frame Optical Luminosity Function Of Cluster Galaxies at $Z < 0.8$ and the Assembly of the Cluster Red Sequence, *The Astrophysical Journal*, 700, 1559
- Ruszkowski, M. ve Springel, V., 2009, The Role of Dry Mergers for the Formation and Evolution of Brightest Cluster Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 696, 1094
- Rykoff, E. R., ve diğ., 2014, Redmapper I: Algorithm and SDSS DR8 Catalog, *The Astrophysical Journal Supplement*, 785, 104
- Sersic, J. L., 1968, Atlas de Galaxias Australes, *Cordoba, Argentina: Observatorio Astronomico*
- Scarlata, C. ve diğ., 2007, The Redshift Evolution of Early-Type Galaxies in COSMOS: Do Massive Early-Type Galaxies Form by Dry Mergers?, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 172, 494-510
- Schneider, P., 2015, Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction (Second Edition), *Springer Press*, ISBN: 978-3-642-54083-7
- Spitzer L., ve Baade W., 1951, Stellar Populations and Collisions of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 113, 431
- Springer, V., Frenk, C. S. ve White, S. D. M., 2006, The Large-Scale Structure of the Universe, *Nature*, 440, 1137
- Stott, J. P., ve diğ., 2003, Near-Infrared Evolution of Brightest Cluster Galaxies in the Most X-Ray Luminous Clusters Since $z = 1$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 384, 1502
- Stott, J. P. ve diğ., 2007, An Increase in the Faint Red Galaxy Population in Massive Clusters since $z \sim 0.5$, *The Astrophysical Journal*, 661, 95
- Strateva, I., ve diğ., 2001, Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *The Astronomical Journal*, 122, 1861
- Strazzullo, V. ve diğ., 2013, Galaxy Evolution in Overdense Environments at High Redshift: Passive Early-type Galaxies in a Cluster at $z \sim 2$, *The Astrophysical Journal*, Volume 772, Issue 2, article id. 118, pp. 17

- Tanaka, M., 2015, Photometric Redshift with Bayesian Priors on Physical Properties of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 801, 20
- Tanaka, M. ve diğ., 2018, Photometric redshifts for Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program Data Release 1, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70, S9
- Toomre, A. ve Toomre, J., 1972, Galactic Bridges and Tails, *The Astrophysical Journal*, 178, 623
- Treu, T. ve diğ., 2009, The SLACS Survey. VIII. The Relation Between Environment and Internal Structure of Early-Type Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 692:1690
- Ülgen, E. K., ve diğ., 2022, Identification and Properties of Isolated Field Elliptical Galaxies from CFHTLS-W1, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 39, makale id., e031
- Vikhlinin, A. ve diğ., 2009, Cosmological studies with a large-area X-ray telescope, Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, *Science White Papers*, no. 304.
- Weinmann, Simone M. ve diğ., 2006, Properties of galaxy groups in the Sloan Digital Sky Survey - I. The dependence of colour, star formation and morphology on halo mass, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 366, 2-28
- West, M. J. ve diğ., 2017, Ten billion years of brightest cluster galaxy alignments, *Nature Astronomy*, 1, id. 0157
- Willett, K. W., ve diğ., 2013, Galaxy Zoo 2: Detailed Morphological Classifications for 304 122 Galaxies from the Sloan Digital Sky Survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 435, 2835
- Willmer, C. N. A. ve diğ., 2006, The Deep Evolutionary Exploratory Probe 2 Galaxy Redshift Survey: The Galaxy Luminosity Function to $z \sim 1$, *The Astrophysical Journal*, 647:853–873
- Zehavi, I. ve diğ., 2011, Galaxy Clustering in the Completed SDSS Redshift Survey: The Dependence on Color and Luminosity, *The Astrophysical Journal*, 736, 59
- Zwicky F. ve diğ., 1961, Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, Vol. I

EKLER

EK 1. UAK-2022’de sunulmuş ve Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics (TJAA) dergisinde yayın aşamasında olan çalışmanın ilk sayfası.

TJAA Vol. 0, Issue 0, p. (0000).

Research Article

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: XXX. Revised: YYY. Received: ZZZ.

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 (ing. faint-to-lum, F/L) galaksi oranlarının hem ortam yoğunluğuna hem de kırmızıya kaymaya bağlı değişimi araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı yöntemle, iki ayrı verisetinden belirlenmiş galaksi kümeleri kullanılmıştır. CFHTLS-W1 alanında galaksi yoğunluğunu esas alan WaZP algoritması ile Subaru HSC-SSP taramasında renk-parlaklık diyagramlarını kullanan CAMIRA algoritmalarının belirlendiği 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 (Cosmic 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 renklere sahiptir, 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 küme-

lendikleri görülmektedir (Gladders & Yee 2000). Bu durum, küme içerisindeki galaksilerin pasif evrim geçirdiklerine ve benzer zamanlarda oluştuklarına kanıt olarak yorumlanmaktadır (Bower et al. 1992).

Ağırlıklı olarak kırmızı, parlak ve pasif evrimleşen kırmızı kol galaksileri (Visvanathan & Sandage 1977; Annis et al. 1999) $z \sim 1,4$ 'lere kadar kümelerin merkezlerinde tespit edilebilmiştir (Bower et al. 1992; Smail et al. 1998; van Dokkum et al. 1998; Barrientos 1999; Blakeslee et al. 2003; Mullis et al. 2005; Eisenhardt et al. 2005; De Lucia et al. 2007; Hao et al. 2009). Kırmızı kol galaksileri kümenin sınımgücü fonksiyonunun parlak ucunda yer alırlar (Sandage et al. 1985; Barger et al. 1998). Kırmızı kolun doğasının belirlenmesi, galaksi oluşumu ve evrimini yönlendiren karmaşık fiziksel süreçleri anlamada önemli bir adım olmaktadır (Hao et al. 2009). Doğrusal bir modelle temsil edilebilen kırmızı kolun eğimi kırmızıya kayma ile değişir (Kodama et al. 1998). Bu durum, renk-parlaklık diyagramlarının galaksi kümelerini belirlemek için kullanılabilmesini sağlamıştır (Gladders & Yee 2000).

Kümelerdeki galaksi evriminin bir sonucu olarak, kırmızı kol üzerindeki sönük/parlak galaksi oranının kozmik zamanla değiştiği görülmüştür (De Lucia et al. 2007; Stott et al. 2007). Kırmızıya kayma ve çevrenin bir fonksiyonu olarak kırmızı kol

* kulgen90@gmail.com

EK 2. EAS-2021'de sunulan "Dwarf-to-giant of red-sequence galaxies in clusters" başlıklı poster bildirisi.

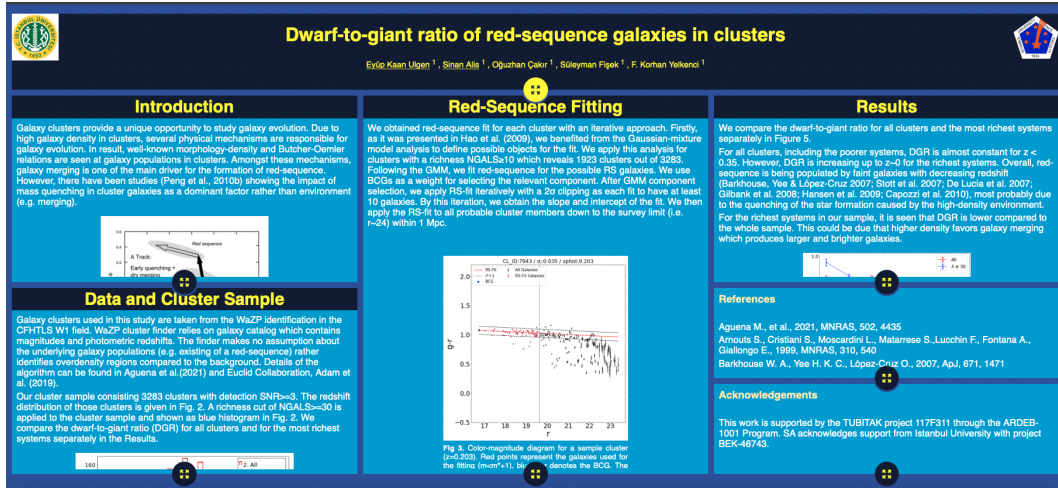
"Symposium S4: Massive Galaxies: The Build-up of Monsters Through Cosmic History"

EAS Yıllık Toplantısı (Çevrimiçi), Leiden, Hollanda

28 Haziran - 2 Temmuz 2021

<https://eas.unige.ch/EAS2021/>

Poster: "Dwarf-to-giant of red-sequence galaxies in clusters"



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Eyüp Kaan ÜLGEN
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Tarihi	2016

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Tarihi	2022

Makale ve Bildiriler	
Makaleler E. Kaan Ulgen, Sinan Alis Christophe Benoist, F. Korhan Yelkenci, Oguzhan Cakir, Suleyman Fisek, Yuksel Karatas, 2022, Identification and Properties of Isolated Field Elliptical Galaxies from CFHTLS-W1, <i>Publications of the Astronomical Society of Australia</i>, 39, makale id., e031 Burcu Akbulut, Eyüp Kaan Ülgen, Tansel Ak, 2022, Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Keşfedilen Seçilmiş Açık Kümelerin Detaylı Analizi, <i>Turkish Journal of</i>	

Astronomy and Astrophysics 3, 1–5

B. Akbulut, S. Ak, T. Yontan, S. Bilir, T. Ak, T. Banks, E. Kaan Ülgen, E. Paunzen, 2021, A Study of the Czernik 2 and NGC 7654 Open Clusters Using CCD UBV Photometric and Gaia EDR3 Data, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 336, makale id.68

Ülgen E. Kaan, Aliş S., Karataş Y., Yelkenci F., Benoist C., 2020, İzole Eliptik Galaksiler Normal Eliptik Galaksilerden Ne Kadar Farklı?, *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 1 (1), 403-404

Bildiriler

Ülgen, Burcu, Ak, Tansel, Bilir, Selçuk, Ülgen, Eyüp Kaan, Scorpius-Centaurus OB Oymağının Kinematik ve Fotometrik Analizi, Ulusal Astronomi Kongresi (UAK), Türkiye, İzmir, 6-8 Eylül 2022

Ülgen Eyüp Kaan, Aliş Sinan, Yelkenci Fuat Korhan, Çakır Oğuzhan, Fişek, Süleyman, Evrişimli Sinir Ağlarıyla Galaksilerin Sınıflandırılması, Ulusal Astronomi Kongresi (UAK), Türkiye, İzmir, 6-8 Eylül 2022

Ülgen Eyüp Kaan, Aliş Sinan, Yelkenci Fuat Korhan, Çakır Oğuzhan, Fişek, Süleyman, 2022, Galaksi Kümelerindeki Kırmızı-Kol Galaksilerinin Evrimi, Ulusal Astronomi Kongresi (UAK), Türkiye, İzmir, 6-8 Eylül 2020

Eyüp Kaan Ülgen, Sinan Aliş, Oğuzhan Çakır, Süleyman Fişek, F. Korhan Yelkenci, Dwarf-to-Giant Ratio of Red-Sequence Galaxies in Clusters, European Astronomical Society (EAS) Annual Meeting, Leiden, Hollanda, 27 Haziran - 1 Temmuz

Çakır O., Aliş S., Yelkenci F. K., Fişek S., Ülgen, E. Kaan, Evolution of the Galaxy Populations in Clusters, The European Astronomical Society (EAS) Annual Meeting, Leiden, Hollanda, 29 Haziran - 03 Temmuz 2020

Yelkenci F. Korhan, Ülgen E. Kaan, Aliş S., Fişek S., Comparing Performance of Machine Learning Algorithms for Galaxy Classification, Artificial Intelligence in Astronomy (AIA2019 - ESO), Münih, Almanya, 22-26 Temmuz 2019

Fişek S., Aliş S., Yelkenci F.K., Ülgen E. Kaan, Star Formation in Central Galaxies of Clusters at $0.1 < z < 1$, Early Stages of Galaxy Cluster Formation (GCF) 2017, Münih, Almanya, 17-21 Temmuz 2017, pp.1-2

Ülgen E. Kaan, Aliş S, Yelkenci K. F., Karataş Y., Fişek S., Eliptik Galaksilerin Gaz İçeriğine Çevrenin Etkileri, XX. Ulusal Astronomi Kongresi, 5 - 9 Eylül 2016, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

Ülgen E. Kaan, Aliş S, Karataş Y., Yelkenci Korhan F., Benoist, C., İzole Alan

Eliptik Galaksiler Normal Eliptiklerden NeKadar Farklı? , XIX. Ulusal Astronomi Kongresi, 2-6 Şubat 2015, ODTÜ, Ankara

Ülgen, E. Kaan, Benoist, C., Aliş, S., CFHTLS Projesinden Elde Edilen Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Karakterizasyonu, XVIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, Malatya, TÜRKİYE, 27 Ağustos – 1 Eylül 2012, ss. 157-161

